

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA



Clasificación de los suelos del fundo “La Albufera” con fines de riego mediante el Sistema Paramétrico de Sys y Verheye, Medio Mundo-Huaura

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGRÓNOMO

AUTOR

Claudio Lorenzo Rovegno Fasce

ASESOR

Honorio Eloy Munive Jáuregui

Lima, Perú

2022

METADATOS COMPLEMENTARIOS

Datos del autor

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Datos del asesor

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (obligatorio)	

Datos del Jurado

Datos del presidente del jurado

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos del segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos del tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos de la obra

Materia*	
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado:	
Idioma (Normal ISO 639-3)	
Tipo de trabajo de investigación	
País de publicación	
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	
Grado académico o título profesional	
Nombre del programa	
Código del programa Consultar el listado:	

*Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesoro).



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 028 - 2022/UCSS/FIA/DI

Siendo las 12:00 m. del 20 de junio de 2022, a través de la plataforma virtual zoom de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis integrado por:

- | | |
|---------------------------------|-----------------|
| 1. René Alfredo Pinazo Herencia | presidente |
| 2. Roger Manuel Mestas Valero | primer miembro |
| 3. Alejandro Ruiz Janje | segundo miembro |
| 4. Honorio Eloy Munive Jáuregui | asesor |

Se reunieron para la sustentación virtual de la tesis titulada **Clasificación de los suelos del fundo "La Albufera" con fines de riego mediante el Sistema Paramétrico de Sys y Verheye, Medio Mundo-Huaura**, que presenta el bachiller en Ciencias Agrarias, **Claudio Lorenzo Rovegno Fasce**, 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 Agrónomo**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el Jurado acuerda:

APROBAR

DESAPROBAR

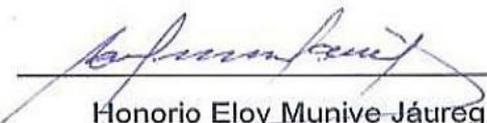
La tesis, con el calificativo de **MUY BUENA** y eleva la presente Acta al Decanato de la Facultad de Ingeniería Agraria, a fin de que se declare EXPEDITA para conferirle el TÍTULO de INGENIERO AGRÓNOMO.

Lima, 20 de junio de 2022.


René Alfredo Pinazo Herencia
PRESIDENTE


Roger Manuel Mestas Valero
1° MIEMBRO


Alejandro Ruiz Janje
2° MIEMBRO


Honorio Eloy Munive Jáuregui
ASESOR

Anexo 2

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR(A) DE **TESIS** / INFORME ACADÉMICO/ TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/ TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO

Ciudad, 22 de junio de 2022

Señor(a),
Wilfredo Mendoza Caballero
Jefe del Departamento de Investigación
Facultad de Ingeniería Agraria

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que **la tesis** / informe académico/ trabajo de investigación/ trabajo de suficiencia profesional, bajo mi asesoría, con título: Clasificación de los suelos del fundo "La Albufera" con fines de riego mediante el Sistema Paramétrico de Sys y Verheye, Medio Mundo-Huaura, presentado por Claudio Lorenzo Rovegno Fasce con código de estudiante 20091842 y DNI° 09861620, para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero agrónomo ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser sustentado ante el Jurado Evaluador.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 0 %** (poner el valor del porcentaje).* Por tanto, en mi condición de asesor(a), firmo la presente carta en señal de conformidad y adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,


Dr. Ing. Honorio Eloy Múnive Jauregui
DNI N°: 20662522
ORCID: 0000.0002-3746-8032
Facultad de Ingeniería Agraria - UCSS

* De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.

DEDICATORIA

A mis hijas, padres y hermanos,
con mucho afecto.

AGRADECIMIENTOS

- De manera especial al Dr. Honorio Eloy Munive Jáuregui por su experiencia, capacidad y paciencia necesaria para lograr la culminación de esta investigación destinada a la obtención de mi título profesional.
- Mi reconocido agradecimiento a Inversiones CLAHMAF SAC por el valioso apoyo brindado en la ejecución del presente trabajo de investigación.
- A mis profesores de la Facultad de Ingeniería Agraria de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, por sus enseñanzas y orientación durante mi formación profesional.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE APÉNDICES	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	4
1.1. Antecedentes del estudio	4
1.2. Bases teóricas especializadas.....	15
1.2.1. El suelo	15
1.2.2. Propiedades del suelo	18
1.2.3. El agua en el suelo	27
1.2.4. Movimiento del agua en el suelo	30
1.2.5. Tipos de agua en el suelo.....	31
1.2.6. Clasificación de suelos	32
1.2.7. Clasificación de tierras según su aptitud para el riego	33
1.2.9. Sistema paramétrico de evaluación del suelo por capacidad para el riego.....	36
1.2.10. Características que influyen en la capacidad de los suelos para la irrigación	37
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	44
2.1. Diseño de la investigación.....	44
2.1.1. Lugar y fecha de ejecución.....	44
2.1.2. Población y muestra.....	46
2.1.3. Técnicas e instrumentos.....	46
2.1.4. Descripción de la investigación.....	47
2.1.5. Identificación de las variables y su mensuración (Metodología)	49
2.1.6. Análisis de datos.....	49
CAPÍTULO III: RESULTADOS	54

3.1. Descripción morfológica de los perfiles del suelo del fundo “La Albufera”	54
3.1.1. Unidades de suelos	54
3.2. Análisis de las características de los suelos del fundo “La Albufera”	59
3.2.1. Evaluación de la textura	59
3.2.2. Evaluación de la profundidad efectiva	60
3.2.3. Evaluación del contenido de carbonato de calcio.....	61
3.2.4. Evaluación de la salinidad y alcalinidad.....	61
3.2.5. Evaluación del drenaje.....	62
3.2.6. Evaluación de la pendiente	62
3.3. Clases de aptitud para el riego.....	63
3.3.1. Determinación de las clases de aptitud de los suelos del fundo “La Albufera”	63
3.3.2. Elaboración del mapa de clasificación de los suelos del fundo “La Albufera”	64
CAPÍTULO IV: DISCUSIONES	66
4.1. Descripción de los suelos	66
4.2. Análisis de los parámetros físico, químicos, hídricos y ambientales	69
4.3. Clases de aptitud para el riego y mapa de clasificación	72
4.3.1. Índices de capacidad.....	72
4.3.2. Mapa de clasificación con fines de riego de suelos del fundo “La albufera”	73
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	74
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES	76
REFERENCIAS	77
TERMINOLOGÍA.....	84
APÉNDICES	87

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Puntos de muestreo</i>	47
Tabla 2. <i>Variables en estudio y su mensuración (Metodología)</i>	49
Tabla 3. <i>Rangos de capacidad para las clases texturales para fines de irrigación</i>	50
Tabla 4. <i>Rangos de la profundidad para fines de irrigación</i>	50
Tabla 5. <i>Rangos para el contenido de carbonato de calcio con fines de irrigación</i>	51
Tabla 6. <i>Rangos para el contenido de sulfato de calcio con fines de irrigación</i>	51
Tabla 7. <i>Rangos de la salinidad y alcalinidad para fines de irrigación</i>	51
Tabla 8. <i>Rangos de la pendiente para fines de riego</i>	52
Tabla 9. <i>Clases de drenaje en relación con la textura y la salinidad de la napa freática</i> . .	52
Tabla 10. <i>Índices de capacidad, clases y definiciones</i>	53
Tabla 11. <i>Evaluación de la textura y rangos texturales</i>	59
Tabla 12. <i>Profundidad efectiva</i>	60
Tabla 13. <i>Contenido de carbonato y sulfatos de calcio</i>	61
Tabla 14. <i>Salinidad y alcalinidad</i>	61
Tabla 15. <i>Evaluación del drenaje con relación a la clase textural y la napa freática</i>	62
Tabla 16. <i>Pendiente y relieve del suelo</i>	63
Tabla 17. <i>Índices de capacidad para el riego</i>	63

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Fotografía y descripción del perfil 01.	54
<i>Figura 2.</i> Fotografía y descripción del perfil 02.	55
<i>Figura 3.</i> Fotografía y descripción del perfil 03.	55
<i>Figura 4.</i> Fotografía y descripción del perfil 06.	56
<i>Figura 5.</i> Fotografía y descripción del perfil 07.	56
<i>Figura 6.</i> Fotografía y descripción del perfil 10.	57
<i>Figura 7.</i> Fotografía y descripción del perfil 04.	57
<i>Figura 8.</i> Fotografía y descripción del perfil 05.	58
<i>Figura 9.</i> Fotografía y descripción del perfil 08.	58
<i>Figura 10.</i> Fotografía y descripción del perfil 09.	59
<i>Figura 11.</i> Plano de clasificación por aptitud para el riego de los suelos del fundo “La Albufera”.....	66

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. Plano de ubicación y puntos de muestreo del fundo “La albufera”.....	87
Apéndice 2. Resultados del análisis de caracterización de los suelos del fundo “La Albufera”	88
Apéndice 3. Fotografías de la zona en estudio y del trabajo de campo.....	91

RESUMEN

Esta investigación se realizó en el fundo “La Albufera” ubicado en Medio Mundo (distrito de Végueta, provincia de Huaura, región Lima), para clasificar los suelos con fines de riego de acuerdo con el sistema paramétrico propuesto por Sys *et al.* (1991). Para ello, se describieron morfológicamente los suelos del fundo “La Albufera” mediante los 10 perfiles ubicados en los puntos de muestreo en la zona de estudio; luego se analizaron la textura, profundidad, contenido de carbonato de calcio (CaCO_3), sulfato de calcio (CaSO_4) y sodio intercambiable (Na^+), conductividad eléctrica, drenaje y pendiente de los suelos; luego se determinaron las clases de aptitud para el riego y se elaboró el mapa de clasificación de los suelos del fundo basado en la aptitud para el riego. Los índices de capacidad obtenidos variaron de 19,49 a 25,59, permitiendo agrupar a los suelos en dos clases para el riego: (i) suelos clase IV_{sn}, con índices de capacidad que variaron de 20,1 a 35,0, con limitaciones por la textura gruesa, profundidad superficial, con media a alta salinidad, y (ii) suelos clase V_{sn}, con índices de capacidad $< 20,0$, con limitaciones por textura muy gruesa, muy superficiales y con un alto porcentaje de salinidad en el horizonte superficial.

Los suelos de la Clase IV_n ocuparon un área de 55,7 ha (79 % de la superficie total) y fueron considerados casi inapropiados para el riego porque presentaron restricciones debido a la salinidad, escasa profundidad y textura gruesa; los de la Clase V_{sn} estuvieron distribuidos un área de 14,8 ha (21 %) y fueron considerados inapropiados y de ninguna manera podrán irrigarse porque presentaron mayores limitaciones por la alta salinidad, muy escasa profundidad y textura muy gruesa, aunque existiría la posibilidad de aplicarse un intenso programa de lavado por un periodo largo de tiempo, seguido del cultivos de plantas tolerantes a la alta salinidad.

Palabras clave: Recurso edáfico, clasificación de suelos por su aptitud, aptitud para el riego, parámetros fisicoquímicos.

ABSTRACT

This research was carried out in the "La Albufera" farm located in Medio Mundo (Végueta district, Huaura province, Lima region), to classify soils for irrigation purposes according to the parametric system proposed by Sys *et al.* (1991). For this, the soils of the "La Albufera" farm were morphologically described through the 10 profiles located at the sampling points in the study area; then the texture, depth, content of CaCO₃, CaSO₄ and Na⁺, electrical conductivity, drainage and soil slope; then the classes of aptitude for irrigation were determined and the classification map of the farm's soils based on the aptitude for irrigation was elaborated. The capacity indices obtained varied from 19,49 to 25,59, allowing the soils to be grouped into two classes for irrigation: (i) class IV_{sn} soils, with capacity indices that varied from 20,1 to 35,0, with limitations due to coarse texture, superficial depth, with medium to high salinity, and (ii) V_{sn} class soils, with capacity indices <20,0, with limitations due to very thick texture, very superficial and with a high percentage of salinity in the superficial horizon.

Class IV_n soils occupied an area of 55,7 ha (79 % of the total surface) and were considered almost unsuitable for irrigation because they presented restrictions due to salinity, shallow depth and coarse texture; those of Class V_{sn} were distributed over an area of 14,8 ha (21 %) and were considered inappropriate and these could be no irrigated because they presented greater limitations due to high salinity, very little depth and very coarse texture, although there would be the possibility of applying an intense washing program for a long period of time, followed by the cultivation of plants tolerant to high salinity.

Key words: Edaphic resource, classification of soils by their aptitude, aptitude for irrigation, physicochemical parameters.

INTRODUCCIÓN

La superficie agropecuaria del Perú está representada por 38 742 000 ha, que se divide principalmente en superficie no agrícola, con 31 617 000 ha (81,6 %) (representada por pastos naturales, con 46,5 %; montes y bosques, con 28,2 %; y otros usos, con 6,9 %), y en superficie agrícola, con 7 125 000 ha (18,4 %) (Instituto Nacional de Estadística e Información [INEI], 2015). La superficie, por región latitudinal, se clasifica en tropical, con 892 666 km² (69,5 %), subtropical, con 361 210 km² (28,1 %), y templada, con 31 340 km² (2,4 %); mientras que, por región natural, se distribuye en Costa, con 15 087 282 ha (11,7 %), Sierra, con 35 898 894 ha (28,0 %), y Selva, con 77 535 384 ha (60,3 %) (INEI, 2015).

En la Costa, los suelos afectados por erosión severa corresponden a 2 520 650 ha (30,6 % del total), mientras que los suelos afectados por desertificación constituyen 6 991 482 ha (20,3 %), en tanto que los suelos afectados por salinización representan 306 701 ha (100 %). Específicamente en Lima, la superficie agrícola bordea un área de 499 865,3 ha (7,0 % de la superficie agrícola nacional) y la mayor parte se encuentra en riego, con 398 154,6 ha (79,7 %), mientras que el resto se encuentra en secano, con 101 710,6 ha (20,3 %) (INEI, 2015).

Como es evidente, la disponibilidad de suelos agrícolas en el país es muy escaso, sumándose a esta limitación, el deficiente uso y manejo del recurso, sin tener en cuenta que los suelos están también sujetos a serios riesgos de degradación que está afectando los niveles de fertilidad, juntamente con la salinización y alcalinización en los suelos de las zonas áridas del país. Asimismo, uno de los factores que tiene una especial influencia en el uso del suelo y de los fertilizantes es la disponibilidad de agua, que debe ser suministrada de acuerdo con las características físicas, químicas y biológicas del suelo, por lo que se debe considerar que la superficie dedicada a la actividad agrícola en la costa central peruana es de suma importancia para la producción de los principales alimentos que se consumen en Lima Metropolitana y otras regiones. La totalidad de estos suelos son cultivados bajo condiciones de riego y, en el caso del distrito de Végueta (provincia de Huaura, región Lima), zona donde se ubica el fundo “La Albufera”, son irrigados con aguas provenientes del río Huaura. En este contexto, los análisis de suelos son necesarios para conocer el nivel de fertilidad de los

suelos, ya que permite identificar déficits nutricionales, así como evaluar la dinámica de nutrientes en el suelo y su disponibilidad, lo que favorece el uso adecuado de fertilizantes (sean químicos u orgánicos) y enmiendas (Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2013).

La presente investigación se desarrolló en los suelos del fundo “La Albufera” que está ubicada en el distrito de Végueta (Lima), donde se tienen suelos eriazos, pero con muchas posibilidades de ser aprovechados en la expansión de las tierras para cultivos. Para la clasificación de estas tierras según su aptitud para el riego, se consideró más conveniente el método propuesto por Sys *et al.* (1991), que es un sistema especialmente desarrollado para ejecutarse en las zonas áridas y semiáridas del planeta. El trabajo experimental fue ejecutado en cuatro fases de estudio que fueron las siguientes: fase preliminar, fase de campo, fase de laboratorio y fase de gabinete. Para clasificar los suelos por su aptitud para el riego, se analizaron varios factores y entre ellos se consideraron las variables siguientes: (a) variables físico-mecánicas (textural del suelo, profundidad efectiva, contenido de carbonatos de calcio y contenido de sulfatos de calcio), (b) variables químicas (salinidad y alcalinidad de suelo), (c) variables hídricas (drenaje) y (d) variables topográficas (pendiente).

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar los suelos del fundo “La Albufera” (Huaura, Lima) en función a las propiedades físicas, químicas y ambientales con fines de riego mediante el sistema paramétrico de Sys *et al.* (1991).

Objetivos específicos

- a. Describir morfológicamente los suelos del fundo “La Albufera” en base de los diez perfiles ubicados en los puntos de muestreo según el mapa base de la zona de estudio.
- b. Analizar la textura, profundidad, contenido de CaCO_3 , CaSO_4 y de sodio intercambiable, conductividad eléctrica, drenaje y pendiente de los suelos del fundo “La Albufera”.
- c. Determinar las clases de aptitud para el riego de los suelos del fundo “La Albufera”, de acuerdo con el sistema paramétrico de Sys *et al.* (1991) y elaborar el mapa de clasificación de los suelos del fundo “La Albufera”

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes del estudio

Internacionales

Choque (2013) estudió la clasificación de la comunidad de los suelos de la comunidad de Cebollullo (La Paz, Bolivia) según la aptitud de riego, cuyo objetivo fue conocer el estado de las propiedades físicas, químicas y biológicas, basado en una descripción general de los aspectos relacionados con el riego en los suelos de la comunidad de Cebollullo, ubicada en la microrregión de Río Abajo, en La Paz (Bolivia). La metodología de trabajo consistió en tres fases: (i) fase I (pre-campo), que incluyó el análisis fisiográfico (provincia fisiográfica, gran paisaje, paisaje y subpaisajes); (ii) fase II (campo), que contempló la caracterización general del riego (recursos hídricos, sistemas de riego, calidad de agua y gestión del riego), levantamiento de suelos (definición de los puntos de muestreo, descripción de perfiles de suelo mediante calicatas de 1 m de ancho x 1,5 m de largo x 1,2 m de profundidad máxima, análisis físico y químico de las muestras de suelo), el estudio para clasificación de suelos según la aptitud de riego (factores físicos como las características del suelo, topografía y condiciones de drenaje), pruebas de infiltración (método de los cilindros infiltrómetros); y (iii) fase III (gabinete), que consistió en la determinación de las características de la zona, la evaluación climática y la clasificación de suelos. Los resultados mostraron que en la comunidad de Cebollullo estuvieron utilizando tres sistemas de riego (canales trapezoidales y rectangulares, revestimiento de cemento, piedra o tubería de PVC) que fueron clasificados como sistemas tradicionales u originarios, con 67 agricultores afiliados en el Sindicato Agrario. La calidad de agua en los tres sistemas de riego se clasificó como C1-S1 (aguas bajas en salinidad y en sodio), lo que significó que no tuvieron restricciones de uso en el riego de los cultivos. Los resultados del análisis del suelo indicaron un pH muy variable entre 6,01 (perfil PCe-7) y 7,44, la conductividad eléctrica estuvo en un rango de 0,148. Según la clasificación de suelos para la aptitud para riego, existieron cuatro clases: (i) clase 2 (suelos moderadamente bien adaptados para una agricultura bajo riego) representó el 33,24

% del área clasificada y tuvo dos subclases (2td con 15,85 % y 2std con 17,39 %), (ii) clase 3 (suelos pobremente adaptados para la agricultura bajo riego con severas limitaciones que requieren un manejo especial) estuvo presente en 45,77 % del área y mostró tres subclases (3st con 18,75 %, 3td con 11,51 % y 3std con 15,51 %), (iii) clase 4 (suelos muy pobremente aptos para la agricultura bajo riego con severas limitaciones que requieren un manejo especial) representó el 16,81 % del área y tuvo dos subclases (4t con 5,82 % y 4std con 10,99 %), y (iv) clase 5 (suelos no aptos para la agricultura bajo riego por las severas limitaciones que presentan, pero presentan un valor potencial que justifica su clasificación tentativa) con 4,19 % del área y una sola subclase (5td con 4,19 %). Concluyó que los suelos presentaron una textura franco arcillosa a arcillosa, profundos a superficiales por estar ubicado en una zona montañosa, suelos de pH neutro a ligeramente alcalino y sin problemas de toxicidad de boro, presentando una fertilidad alta.

Da Costa *et al.* (2013) investigaron el efecto de las propiedades del suelo sobre el crecimiento de las plantas mediante la evaluación de la retención y disponibilidad del agua en los suelos de Santa Catarina (Brasil). La metodología consistió en el muestreo de los horizontes superficiales (O, A, AB y AC) y subsuperficiales (BA, B y C) de 44 perfiles en diferentes zonas del estado y con diferentes cultivos de cobertura; para ello, fueron recolectadas muestras no perturbadas con cilindros de acero inoxidable (diámetro 6,0 cm y altura 2,5 cm) introducidos al suelo, así como muestras perturbadas. Fueron analizadas las muestras no perturbadas en términos de capacidad de campo, punto de marchitez permanente y contenido de agua disponible, mientras que las muestras perturbadas fueron analizadas en función al tamaño de partículas de suelo y contenido de materia orgánica. Los resultados indicaron que la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente fueron similares para la mayoría de las clases de textura en los horizontes superficiales, mientras que hubo una distinción más clara entre las clases de textura por la retención de agua del suelo en los horizontes subsuperficiales. La capacidad de campo para los horizontes superficiales fue mayor ($0,41-0,55 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) en suelos arcillosos y francos y sus variaciones (partículas con diámetro $< 0,53 \mu\text{m}$), mientras que los valores fueron intermedios ($0,26 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) en los suelos franco arenosos y menores ($0,16 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) en los suelos de la clase arenosa. Los valores de humedad en capacidad de campo y punto de marchitez permanente para los horizontes subsuperficiales fueron mayores en horizontes con textura arcillo limosa, textura muy arcillosa y textura arcillosa (altos contenidos de arcilla, limo y materia orgánica), mientras

que los valores intermedios ocurrieron en horizontes con textura franco arcillosa, franco arcillosa arenosa y franco arenosa ($\frac{1}{3}$ de arcilla, limo y arena), en tanto que los menores valores se presentaron en suelos con textura franco arenosa, franco arenosa y textura arenosa. En cuanto a materia orgánica, los horizontes superficiales mostraron un valor medio de 47 g.kg^{-1} , mientras que fue 17 g.kg^{-1} para los horizontes subsuperficiales, resultados que estuvieron relacionados con el contenido de arcilla + limo. Por otro lado, el contenido de agua disponible tuvo valores medios de $0,08 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ y $0,04 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ para los horizontes superficiales y subsuperficiales, respectivamente. Además, la humedad del suelo en la capacidad de campo y en el punto de marchitez permanente fue más alta en los Cambisoles (Cambisols), Nitosoles (Nitisols) y Latosoles (Ferralsols); intermedia en los Argisoles (Acrisols), Neosoles litólicos (Leptosols) y Chernosoles (Chernozems); y baja en los Neosoles de arena de cuarzo (Arenosols). En conclusión, la retención de agua fue mayor en suelos arcillosos, limosos y arcillosos, dado que tuvieron un mayor contenido de materia orgánica, con pequeñas diferencias en la retención de agua entre las clases de textura del suelo debido a la mayor capacidad de campo y al punto de marchitez permanente.

Santos *et al.* (2006) evaluaron los suelos forestales de la provincia de Huelva (España) en función a la capacidad de retención de agua en el suelo (CRA) en 122 parcelas de *Pinus nigra*. La CRA evaluó la cantidad de agua de un suelo según su capacidad de campo bajo condiciones naturales, incluyendo al drenaje, y fue medida en tres etapas: (i) estimación de parámetros que condicionan la permeabilidad y condiciones de drenaje del perfil (coeficiente de capacidad de cementación y coeficiente de impermeabilidad del limo); (ii) cálculo del equivalente de humedad del suelo (h_e); y (iii) corrección de h_e a partir de los datos de drenaje y obtención del parámetro CRA. De igual manera, también fueron calculados la CRA modificada (CRAM) y la CRA disponible (CRAD). Los resultados mostraron que tanto CRAM y CRAD mostraron correlaciones muy significativas, superando a CRA, que también se manifiesta como significativo. En conclusión, la modificación del modelo favoreció el cálculo de valores de la capacidad de retención del agua más relacionada con terrenos de fuerte pendiente y, por extensión, al modelo de cálculo de la máxima reserva del agua disponible en el suelo.

Molfino y Califra (2001) generaron y actualizaron la información de almacenamiento potencial de agua disponible de los suelos con el fin de mejorar la eficiencia y calidad de tareas de evaluación de tierras incluidas en la carta de reconocimiento del suelo de Uruguay. La metodología incluyó los cálculos sobre 200 perfiles de suelos diferentes que fueron realizados mediante ecuaciones que estimaron la capacidad de campo (CC), el punto de marchitez permanente (PMP) y la densidad aparente (D_a); así como datos morfológicos: espesor, contenido porcentual de las fracciones granulométricas de la tierra fina (arena, limo y arcilla, materia orgánica y tipo de horizonte y subhorizonte), afectación por rocosidad, pedregosidad, erosión actual y halomorfismo. Además, los valores obtenidos en los parámetros de CC, PMP y D_a fueron transformados para obtener el contenido potencial de almacenamiento del agua (AD) en peso en los horizontes, mediante la diferencia entre la CC y el PMP, cuyos valores fueron multiplicados por las respectivas densidades aparentes y espesores de los suelos con el fin de lograr los contenidos de humedad potencial disponible en términos de peso. Los autores plantearon las siguientes fórmulas: (a) AD_H (% agua en peso) = CC (H % agua en peso) - PMP (H % agua en peso), (b) AD_H (H % agua en volumen) = CC (H % agua en peso) - PMP (H % agua en peso), (c) AD_H (mm) = AD_H (H % agua en volumen) x D_{aH} x espesor /10 cm y (d) AD_P (mm) = AD_H (mm). Los resultados de las asociaciones de suelos revelaron que el agua potencialmente disponible en los suelos fue clasificada en cinco categorías: (i) muy baja (menor a 40 mm), con 9,57 % de la superficie; (ii) baja (entre 40 y 80 mm), con 19,36 %; (iii) media (entre 80 y 120 mm), con 33,26 %; (iv) alta (entre 120 y 160 mm), con 29,01 %; y (v) muy alta (mayor a 160 mm), con 8,79 %. En conclusión, cerca de un 30 % de la superficie de Uruguay cuenta con tierras con muy baja y baja capacidad de almacenar agua disponible, lo que permitió generar mapas de riesgo frente a eventos de variabilidad climática y cambio climático, así como predecir el rendimiento de pasturas y cultivos o interpretar los valores del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).

Nacionales

Centeno (2017) estudió la caracterización físico-química de los suelos del distrito de Quellouno (Cusco) con el objetivo de conocer las clases y subclases por aptitud para el riego, así como la determinación de la velocidad de infiltración, en los suelos de la cuenca Chirumbia, distrito de Quellouno, provincia la Convención (Cusco). La metodología contempló la agrupación en unidades de manejo de las tierras (UMAT) como unidades

cartográficas- La investigación fue dividida en tres fases: (i) fase pre campo, en la que fue empleado el catastro de zonificación ecológica y económica (ZEE) de la municipalidad distrital de Quellouno; (ii) fase de campo, en la que fueron ejecutadas varias actividades, como el reconocimiento general del área, el levantamiento detallado de los suelos, la ubicación de las calicatas, la toma de muestras de suelo de 1 kg de la capa arable para el análisis físico-químico posterior y la selección de sitios de drenaje con el método de cilindros de doble anillos concéntricos; (iii) fase de gabinete, en la que fue realizada la interpretación de los resultados del análisis edáfico (textura, estructura, consistencia, adhesividad, color, entre otros), así como las características físico-químicas e hidrodinámicas de las muestras de suelos y los ensayos de infiltración (velocidad de infiltración básica y acumulada). Los resultados mostraron que los suelos fueron clasificados como franco arenosos en la capa arable (30-50 cm), color en seco 7,5 YR y 10 YR, no salino, profundidad efectiva excelente con capa arable profunda (0-155 cm), topografía empinada a moderadamente empinada (12 a 50 % de pendiente), baja capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica baja a media, fertilidad baja a media, carbonatos en baja concentración (0,11-0,88 ppm) y pH neutro a ligeramente alcalino (6,6-7,8). Con respecto a la velocidad de infiltración del agua, los suelos fueron clasificados como moderados (80 % de las pruebas), con un rango entre 2,10 y 3,96 cm/h, lo que significó que la cantidad de la lámina de agua que percoló en el suelo fue homogénea, sin ocasionar escorrentía superficial. En el caso de la aptitud de la tierra para el riego, fueron establecidas las siguientes clases: (i) clase II (tierras aptas), con 8,19 ha (0,43 %) y dos subclases (2t/L34B y 2t/L34B); (ii) clase III (tierras medianamente aptas), con 326,16 ha (16,93 %), que comprendió los sectores Santa María, con 127,94 ha (39,23 %); Cochayoc, con 70,91 ha (21,74 %); Sinkitoni, con 68,69 ha (21,06 %); Mercedesniyoc, con 29,42 ha (9,02 %) y Campanayoc, con 29,20 ha (8,95 %), y con 10 subclases (3td/L33B, 3st/L33B, 3t/L33B, 3st/L23B, 3std/L24B, 3sd/L33B, 3sd/L34B, 3st/L43B, 3t/L24B y 3t/L23B); (iii) clase IV (tierras de aptitud limitada), que comprendió los sectores Santa María, con 45,74 ha (6,47 %); Cochayoc, con 360,81 ha (51,04 %); Sinkitoni, con 92,22 ha (13,05 %); Huallpacalduyoc, con 25,25 ha (3,57 %); Mercedesniyoc, con 113,40 ha (16,04 %) y Campanayoc, con 69,44 ha (9,82 %), y con 10 subclases (4std/L42B, 4std/L34B, 4st/L43B, 4st/L33B, 4st/L44B, 4st/L42B, 4st/L51B, 4sd/L33B, 4t/L34B y 4t/L24B); (iv) clases V-VI (tierras sin uso o no aptas), con 693,69 ha (46 %), comprendiendo áreas misceláneas como bosques, viviendas, cementerios, carretera afirmada y trochas carrozales, rívera de ríos, caminos y otros, y con 13 subclases (5st/M, 5sd/H, 5st/M-H, 5t/M-H, 5st/H, 6s/H-M, 6st/H-M, 6st/M-H, 6t/M-H, 6st/M, 6st/H, 6st/H y 6s/M-H).

Camacho y Camacho (2015) evaluaron una propuesta técnica y económica sobre la instalación de riego tecnificado en cuatro sectores (Sambaray Alto, Sambaray Centro, Margaritayoc e Isilluvoc) en el distrito de Santa Ana (Cusco, Perú), con el fin de recabar información sobre la operatividad de los componentes del sistema de riego por aspersión, las condiciones de los recursos agua y suelo, el manejo de riego, así como efectuar pruebas de uniformidad y eficiencia de la aplicación del agua en los sistemas de riego por aspersión y el análisis económico y financiero del proyecto. El trabajo de investigación fue *ex post* de tipo descriptivo y explicativo, porque fueron evaluados el funcionamiento del sistema de riego luego de un período de operación de tres años por parte de las comunidades. La metodología incluyó una población de 139 familias dedicadas a la agricultura y fue tomada en cuenta una muestra de 45 beneficiarios (Sambaray Alto: 10 beneficiarios, Sambaray Centro: 10 beneficiarios, Margaritayoc: 11 beneficiarios e Isilluyoc: 14 beneficiarios), ubicados en una superficie de 116,76 ha, con 14,04 ha bajo riego (12,02 % del área total). La investigación comprendió las siguientes etapas: (i) etapa de pre campo para la revisión del expediente técnico del proyecto ya ejecutado; (ii) etapa de campo, que tuvo en cuenta los aspectos técnicos (toma de muestras de las fuentes de abastecimiento del sistema de riego, toma de muestras de suelos para el análisis físico-químico, pruebas de infiltración que fue realizado con un infiltrómetro de anillos concéntricos, pruebas de uniformidad de riego por aspersión y análisis socioeconómico (rentabilidad del proyecto mediante la toma de muestras de cultivo cosechados por los agricultores y precios de los cultivos en chacra basados en el cálculo del VAN, TIR y B/C, así como la ejecución de las encuestas a los beneficiarios; y (iii) etapa de gabinete, con aspectos técnicos (cálculo de la evapotranspiración de referencia) y socioeconómicos (análisis de los datos obtenidos en la etapa de campo). Los resultados sobre el análisis textural mostraron una textura arcillosa, franca, franco arcillo arenosa en los sectores de Sambaray, Isilluyoc y Margaritayoc, respectivamente. El pH fue fuertemente y ligeramente ácido en los sectores Isilluyoc y Margaritayoc y el sector de Sambaray Alto. Según los análisis respectivos, en los cinco sectores estudiados calidad del agua fue considerada apta para riego. De acuerdo con los aforos realizados, las fuentes hídricas fueron San Juan I, II, V, VIII y IX, ubicados en el sector de Sambaray Alto, mientras que el nivel de captación obtenido fue de 31 L.s⁻¹. La programación de los riegos por sectores fue establecida en una sola reunión anual, aprovechándose el día de la faena general para limpieza de los canales de riego, labor que fue incumplida por muchos usuarios. Los riegos en Sambaray Alto y Centro, Isilluyoc y Maragaritayoc, funcionaron con 1-2 aspersores por parcela, por un tiempo de 6-8 h.día⁻¹, correspondiéndole a cada sector un turno de seis días.

Las pruebas de infiltración básica expresadas en mm.h^{-1} , fueron calculadas determinándose una velocidad de $12,38 \text{ mm.h}^{-1}$ en el sector de Sambaray Alto, $11,27 \text{ mm.h}^{-1}$ en Sambaray Centro, $11,37 \text{ mm.h}^{-1}$ en Isilluyoc, $9,60 \text{ mm.h}^{-1}$ en Margaritayoc, consideradas como moderadamente lentas. En las pruebas de uniformidad, fue determinado un valor de 72 % en el sector de Sambaray Alto, 61 % en Sambaray Centro, 68 % en Isilluyoc y 60 % en Margaritayoc, cuyas eficiencias de uso fue de 83,27 %, 86,16 % y 86,24 %, respectivamente. La evaluación económica contempló la obtención de información Mediante el levantamientos encuestas fueron evaluados los costos del uso del agua y en base a muestras de rendimiento de las cosechas de los cultivos, fueron calculados los flujo financieros, cuyos resultados mostraron un VAN privado de -2 293.480,47 soles, un VAN social de -1 876 603,18 soles, un TIR privado de -3 %, TIR social de -1 % y una relación B/C privado de 0,85 y B/C social de 0,92, teniéndose en cuenta una tasa de descuento del 9 %. Concluyeron que los indicadores de los valores de la rentabilidad económica de los proyectos de riego no lograron ser aceptables, por lo que el proyecto ejecutado tiene menos rentabilidad que un proyecto alternativo.

Balbín (2006) clasificó los suelos de la Estación Experimental Agropecuaria “Santa Ana” del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) de Huancayo (Junín, Perú) por aptitud para riego según la metodología propuesta en el sistema paramétrico de Sys y Verheye, en un área de estudio de 63,66 ha, ubicada sobre una terraza de origen coluvio-aluvial conformada por conglomerados sueltos, gravas y calizas sedimentarias. La altitud promedio fue de 3 250 m, con un régimen de humedad ústico y régimen de temperatura isomésico, donde fueron evaluadas las propiedades del suelo mediante 10 calicatas que fueron ubicadas en las cinco series de suelos de la Estación Experimental y donde fueron evaluadas las propiedades de los perfiles de suelos en relación con la textura, profundidad, contenido de carbonatos, contenido de sulfatos, condiciones de salinidad/alcalinidad, tipo de drenaje y pendiente. Concluyó que fueron hallados las siguientes clases de aptitud para el riego: (a) clase IISw, suelos aptos para el riego con ligeras limitaciones debidas a la textura y al drenaje, con una extensión de 13,23 ha, por lo que fueron considerados los mejores suelos con respecto a su uso para el riego; (b) clase IIstw, para suelos aptos para el riego con limitaciones ligeras por textura, presencia de carbonatos, pendiente ligera y humedad alta, con una extensión de 4,32 ha; (c) clase IIst, para suelos aptos para el riego, con menor aptitud que las clases IISw y IIstw, con limitaciones por la textura y la pendiente mucho más

pronunciada, con una extensión de 12,40 ha; (d) clase IIIs, para suelos con moderada aptitud para el riego con limitaciones relacionadas a la propiedades físicas, especialmente la textura y la profundidad, con una extensión de 21,29 ha; y (e) clase IVs, para suelos inaptos para riegos por tener serias limitaciones debido a la textura y escasa profundidad, con una extensión de 12,42 ha.

Echevarría (1997) investigó sobre la “Evaluación de los suelos de la Estación Experimental Agropecuaria “El Mantaro” con fines de riego de acuerdo con la aptitud para el riego mediante el Método de Sys *et al.* (1991)”, en una extensión de 60 ha donde estuvo ubicada la Estación Experimental “El Mantaro” en Jauja, Junín, Perú. El método de clasificación para fines de riego consistió la evaluación de la textura, profundidad, contenido de carbonatos, contenido de sulfatos, condiciones de salinidad/alcalinidad, tipo de drenaje y pendiente. Con los resultados obtenidos fueron calculados los índices de capacidad para el riego de estos suelos los mismos que variaron de 13,1 a 53,2, lo cual permitió la identificación de los siguientes grupos de suelos: (a) suelos de la clase IIs, que correspondió a suelos apropiados para el riego con limitaciones edáficas, con una extensión de 18 ha (30 %); (b) suelos de la clase IIw, suelos apropiados con limitaciones debidas al drenaje, con una extensión de 14 ha (23,3 %); (c) suelos de la clase IIIs, suelos ligeramente apropiados con limitaciones edáficas, con 9 ha (15 %); (d) Suelos de la clase IIIw, suelos ligeramente apropiados con limitaciones de drenaje, con una extensión de 10 ha (16,7 %); (e) IVsw, suelos inapropiados para el riego por que tuvieron limitaciones edáficas y de drenaje, requiriendo de prácticas de manejo del drenaje y del uso de plantas adaptables al exceso de humedad, con un área de 3 ha (5 %) y (f) suelos de la clase Vs, que fueron suelos inapropiados con limitaciones inherentes al factor suelo que no pueden ser corregidas, con 6 ha (10 %).

Regionales

Silva (2020) hizo una investigación sobre la “Capacidad de retención del agua disponible en suelos agrícolas de acuerdo con la textura y el contenido de materia orgánica, trayecto Huaura-Mazo” (p, 1). “El objetico del trabajo de investigación fue determinar los niveles del agua disponible de los suelos en relación con las principales características edáficas”. La investigación determino como las clases texturales del suelo, el contenido de materia

orgánica, el pH, la salinidad, el porcentaje de carbonatos, los niveles de fósforo y potasio afectaron el contenido de agua disponible (AD) en los suelos. La metodología consideró la caracterización de los ocho perfiles a nivel de dos profundidades: de 0-20 y de 20-40 cm. Después de haberse realizado la descripción morfológica de los perfiles de suelos los suelos fueron agrupados de la siguiente forma: (a) Tierras azonales con la presencia de lutitas (arcilla), con escaso desarrollo (material madre), caracterizadas por tener perfiles de incipiente desarrollo (tipo A/C). Por capacidad de uso mayor (CUM), estos suelos fueron clasificados como A3swf por ser muy superficiales, arcillosos y con un alto nivel de humedad, con horizontes subterráneos compactación medianamente indicando un drenaje imperfecto. (b) Suelos con muy escaso desarrollo pedogenético, con perfiles del tipo A/C (suelos azonales), muy superficiales, con una clase textural arenosa a muy arenosa, sin exceso de humedad y con horizontes subterráneas sueltos. “Suelos con pH moderadamente básico, sin problemas de salinidad, con medio a alto 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” (p. 1). Concluyó que los niveles de humedad estuvieron relacionados con el contenido de arcilla y los niveles medios del material orgánico. Asimismo, la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente fueron mayores en los suelos arcillosos, con valores menores los suelos de textura arenosa. Las condiciones señaladas tuvieron una influencia clara sobre los contenidos de agua disponible, los que variaron 10,89 a 12,41 % en los suelos arcillosos y de 8,38 a 9,02 % en los suelos arenosos.

Ventocilla (2015) clasificó la fertilidad de los suelos mediante el el método de capacidad-fertilidad en el predio “Fundo Nuevo”, caserío de Medio Mundo, distrito de Végueta (Huaura, Lima). La investigación fue aplicada, *ex post facto*, descriptiva, simple y con un enfoque sistémico. La metodología consideró el estudio de los suelos en base al método de clasificación de tierras propuesto por Sánchez *et al.* (2003), en base a la evaluación de la textura tanto de la capa superficial (0-20 cm) como de una capa subyacente (20-60 cm). Para ello, fueron preparadas 15 calicatas en una superficie de 17 ha para caracterizar y evaluar los tipos y modificadores de las tierras de uso agrícola, determinar los niveles de fertilidad del suelo y obtener el mapa de clasificación por capacidad-fertilidad. La evaluación de los modificadores fueron realizadas en base a aquellas componentes que afectaron a las propiedades físicas (anegamiento, período seco, disponibilidad de agua, mermas en las temperaturas, gravosidad, inclinación de los terrenos, peligros erosivos y espesor de la capa

arable; que influenciaron sobre el grado de acidez o basicidad del suelo, propiciando la presencia de las arcillas sulfúricas, efecto tóxico del Al, incremento de reacciones químicas, presencia de material calcáreo, incremento del contenido de sales y de la sodicidad; vinculados estrechamente con la composición mineralógica de los suelos, muy especialmente con el contenido de los elementos nutritivos, la fijación del P disponible, la presencia de materiales de la actividad volcánica, el porcentaje de las arcillas expandibles, el incremento del lavado especialmente de los compuestos intemperizables. Del mismo modo, las características relacionadas con la actividad biológica en el suelo relacionada con los niveles de materia orgánica. Los datos obtenidos evidenciaron que los suelos del área estudiada tenían una delgada capa superficial con la presencia de gravas, con una baja capacidad agrológica y una reacción ligeramente básica. Asimismo, la textura fue variable de arenosa a arena franca, con contenidos muy bajos de materia orgánica y fósforo disponible de bajos ($< 7 \text{ mg.kg}^{-1}$) a medios (7 a 14 mg.kg^{-1}); medios en potasio disponible (100 a 200 mg.kg^{-1}), con baja (4 a 8 cmol.kg^{-1}) a muy baja ($< 4 \text{ cmol.kg}^{-1}$) capacidad de intercambio catiónico, con riesgo moderado de erosión y sin problema alguno con respecto a la salinidad cuyos valores estuvieron por debajo de $0,25 \text{ dS.m}^{-1}$. Fueron categorizados seis grupos de suelos: (i) grupo I (suelos muy superficiales), con 1,16 ha; (ii) grupo II (suelos superficiales), con 3,96 ha; (iii) grupo III (suelos superficiales gravosos), con 2,34 ha; (iv) grupo IV (suelos regulares), con 1,66 ha; (v) grupo V (suelos regulares gravosos en el horizonte Ap y A), con 2,43 ha; y (vi) grupo VI (suelos regulares gravosos en el horizonte A), con 5,45 ha. Dichos suelos fueron clasificados como Aridics (*Soil Taxonomy*) y A3sflr de acuerdo con la capacidad de uso mayor (suelos agrícolas con baja aptitud agrológica, con limitaciones debidas al factor suelo, fertilidad, salinidad y necesidades de riego). Por otro lado, fueron determinados dos niveles de fertilidad: (i) muy baja fertilidad (grupos I, IV y V), con 5,25 ha (30,87 % del área total); y (ii) baja fertilidad (grupos II, III y VI), con 11,75 ha (69,13 %), por lo que fue necesario la aplicación de enmiendas con el fin de incrementar la cantidad de materia orgánica, así como el manejo del agua de riego, uso de maquinaria agrícola y cultivo de especies de acuerdo al tipo de suelo. En conclusión, los suelos fueron de escaso desarrollo pedogenético con perfiles A/C, con bajos niveles de fertilidad natural y con serías desventajas por los niveles altos de carbonatos que podrían causar el bloqueo del P disponible, agregando que los niveles de salinidad presentes en dichos suelos permitieron el desarrollo normal de los cultivos, incluyendo a los cultivos muy sensibles a la salinidad del suelo.

Taxa (2013) describió los criterios de clasificación de tierras utilizado por la Comunidad Campesina de Laraos (Yauyos, Lima). Para ello, identificó los criterios de uso y manejo de la tierra, comparó el sistema tradicional de clasificación de tierras utilizado por la comunidad con la clasificación de tierras nacional por capacidad de uso mayor (CUM) decretado por el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. El tipo de investigación fue mixto, descriptivo y transversal. Asimismo, empleó el método de investigación etnográfico basado en el enfoque del uso y manejo tradicional de la tierra por parte de los agricultores en Laraos. La población de la Comunidad Campesina de Laraos estuvo constituida por 200 comuneros, aplicándose el muestreo no probabilístico (muestreo por conveniencia intencional y premeditado) de 20 comuneros. La metodología consistió en tres fases: (i) fase pre-campo, mediante la recopilación y preparación de formatos de recolección de información a través de encuestas y cuestionarios; (ii) fase de campo, mediante el reconocimiento de campo, contacto con las autoridades comunales, identificación de los encuestados, geo-referenciación de los terrenos, adecuación a sistema de CUM, y (iii) fase de gabinete, realizado a través del análisis, evaluación y sistematización de la información. Los resultados mostraron que los comuneros clasificaron a las tierras mediante la aplicación de 10 criterios (coloración, clase textural, espesor de la capa superficial, proporción de piedras superficiales, tipos de evacuación del agua, resistencia estructural, niveles de fertilidad natural y grados de pendiente). Asimismo, fue observado que la mayoría de usuarios utilizan sus tierras para cultivar diferentes tipos de pasturas y la expansión de plantaciones forestales, basados en labores de manejo tradicionales. La importancia de afianzar el conocimiento tradicional de uso las parcelas agrícolas, sirvió de enlace comunicativo entre usuarios de las tierras con los especialistas agrícolas, con el fin de encontrar consenso para el afianzamiento y la toma de criterios que llevaron a unir conceptos sobre la forma de uso de las tierras en base a un sistema de clasificación unificado. Finalmente, las tierras agrícolas fueron clasificadas en: (i) tierras aptas para cultivo en limpio (A), clase A3 con dos subclases (A3sc y A3sc(a)), con 130 ha (0,6 % del área total); (ii) tierras aptas para pastos (P), clase P2 con tres subclases (P2sc(a), P2sc(a) y P2sec(a)) y clase P3 con dos subclases (P3sc y P3sec), con 5,447 ha (25,9 %); y (iii) tierras de protección (X), con 15,459 ha (73,5 %). En conclusión, la clasificación de tierras de acuerdo a los productores de la comunidad campesina de Laraos-Yauyos fueron determinados de acuerdo a las propiedades del suelo considerándose los 10 criterios antes mencionados, aunque también tomaron en cuenta otras posibilidades como la disponibilidad de agua, tenencia y manejo de la tierra, el clima y la capacidad productiva de los suelos.

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. El suelo

Lazo (1996) menciona que los recursos naturales son elementos y bienes son los medios que permiten ganar el sustento. El ser humano aprovecha esto para generar bienestar y desarrollo en la sociedad. Los recursos naturales deben ser aprovechados y manejados de una forma que genere un desarrollo sostenible, usando la destreza y el ingenio humano. Dado que el suelo es un recurso de superficie limitada (es decir, semirenovable) y es el resultado de las interacciones entre los factores medio ambientales sobre el mineral no consolidado.

Salgado y Núñez (2010) mencionan que el suelo es el recurso más importante después de lo que significan los recursos humanos de un país, puesto que el suelo representa el sustrato que soporta la producción de las plantas y de los animales y, en consecuencia, el abastecimiento de los alimentos requeridos por los seres humanos depende de este recurso, ya que, al faltar las fuentes de energía alimenticia, limitaría las posibilidades de vida en el mundo. Aunque, los avances logrados por la biotecnología en el campo de la producción de alimentos, donde se podría incluir a los cultivos hidropónicos, no ha sido posible dejar de lado al recurso edáfico en su función noble para ofrecer tanto en calidad, cantidad o diversidad, los productos derivados de este recurso y que son sumamente necesarios para la humanidad. López y Estrada (2015) afirman que la presión ejercida por una población en continuo crecimiento sobre los suelos para obtener una producción de los recursos energéticos, es cada vez mayor, para lo cual el hombre continuamente está causando la eliminación de la cubierta vegetal, aunada a las prácticas exigentes de las labores agrícolas y el uso indiscriminado de productos químicos en el proceso productivo para obtener mayor cantidad de alimentos, está afectando de manera negativa a los componentes del suelo, lo que repercute directa o indirectamente en los factores de producción.

López y Estrada (2015) sostienen que el recurso suelo representa a un sistema complejo y disperso en razón de la gran variabilidad de componentes que tiene y que la dan un carácter heterogéneo. Además, es un compuesto muy dinámico como resultado de las interrelaciones entre los diversos componentes que lo conforman y que son los responsables de la calidad y

cantidad de productos obtenidos a través de los cultivos, cuando esas interacciones no funcionan adecuadamente, afectan negativamente a la potencialidad agrícola del recurso suelo y ocasiona finalmente la desertificación. Por lo tanto, es recomendable tener en cuenta las prácticas agroecológicas relacionadas con el uso de los residuos de las cosechas y los estiércoles producidos por los animales, las prácticas de la labranza mínima, el uso de cultivos como abono verde y de cobertura, una rotación temporal y espacial, entre otros aspectos. Asimismo, debe manejarse técnicamente las propiedades del suelo para prevenir la degradación del suelo mediante la realización de una producción sostenible. Según Porta *et al.* (2003), el suelo forma parte de un ecosistema, por lo que su análisis debe comenzar en el campo mediante la recolección de información detallada sobre el suelo y el ambiente que lo rodea. Desde el punto de vista cartográfico, se deberán elegir y analizar suelos representativos en donde se puede separar el paisaje, según la escala del trabajo experimental. También Porta *et al.* (2003) indican que el perfil del suelo representa un corte vertical, donde se puede observar capas denominadas horizontes, permitiendo su estudio en sus diferentes capas.

Brady y Weil (2010) consideran que el suelo consiste en un conjunto de cuerpos naturales que se han desarrollado sobre el material descompuesto de origen mineral y orgánico sobre la superficie de la corteza terrestre como consecuencia de la acción del clima y los organismos sobre el material original, influenciados por la temperatura en un periodo determinado. La palabra suelo tiene su origen en el término del latín *solum*, que significa piso o terreno. El suelo está conformado por numerosos elementos naturales que se ubican sobre la superficie de la tierra y que contiene material orgánico, y tiene la capacidad de permitir el desarrollo de las plantas. El suelo tiene como límite superior a la atmósfera, las aguas poco profundas y superficiales, permitiendo el desarrollo de las raíces, donde las plantas en desarrollo y el material orgánico acumulado no han iniciado su descomposición. Los límites laterales son las áreas donde el suelo ha sido inundado por las aguas, de por lo menos 2,5 m de profundidad, y también están considerados los materiales inertes, las rocas y el hielo. El límite inferior, que es muy difícil de conocer, está conformado por la roca dura y continua (material parental). La profundidad máxima de un suelo de manera convencional es considerada de 2 m (Jordán, 2010).

Tamhane *et al.* (1986) sostienen que el suelo es un sistema natural formado por fuerzas naturales, constituido por elementos minerales y orgánicos con una profundidad variable y con una clara diferencia del material original que se encuentra por debajo de ellos, estas diferencias son en morfología, propiedades físicas y constitución, propiedades y composición química y características biológicas. También definen al suelo como un sistema heterogéneo dado que está compuesto por una mezcla de materiales sólidos, líquidos y gaseosos, conformando las tres fases diferentes que la conforman: (a) la fase sólida, constituida por una parte mineral, otra parte orgánica y los materiales orgánicos; en esta fase, los minerales están conformados por partículas con formas, tamaños y composiciones químicas muy variadas; (b) la fase líquida, conformada por el agua, que ocupa los espacios vacíos en las partículas, cumpliendo su labor de transportar los elementos químicos entre los horizontes o la circulación de estos en un mismo horizonte; y (c) la fase gaseosa, representada por el aire, que se propaga desde la atmósfera hacia el suelo entre las partículas y los gases producidos.

Mengel y Kirkby (2001) consideran que el suelo es un material no homogéneo y que está constituido tres fases, las mismas que regulan la cantidad de elementos nutritivos que serán disponibles para el sistema radicular de las plantas:

- La fase sólida está constituida por partículas inorgánicas, que contienen cationes nutrientes, mientras que las partículas orgánicas representan la fuente principal de los nutrientes nitrogenados y, complementariamente y en menor proporción, también de material fosforado y de azufre.
- La fase líquida es conocida también como la solución del suelo y su función es muy importante para el movimiento de los elementos nutritivos en el suelo.
- La zona donde se realiza el intercambio de sustancias gaseosas entre los diversos organismos vivientes que habitan en del suelo, es la denominada fase gaseosa del suelo.

Domínguez (1997), considera que el suelo es el ambiente que soporta el desarrollo de las raíces de las plantas, del cual extraen agua y los elementos nutritivos necesarios para su crecimiento y sostén. Las exigencias para el desarrollo del conjunto de raíces y la importante

función para su crecimiento demuestra la necesidad del conocimiento sobre la información básica del suelo para plantear su uso eficaz y correcto.

1.2.2. Propiedades del suelo

Tamhane *et al.* (1986) reitera que el suelo es un sistema dinámico constituido por tres fases (fases sólida, líquida y gaseosa), las mismas que tienen propiedades físicas, químicas y biológicas que interactúan entre sí, teniendo como resultado la optimización de la evolución de la flora y el entorno donde se encuentra. Las propiedades cumplen una función importante en el desarrollo del suelo, pero es su estudio en conjunto lo que permite un mejor entendimiento sobre la influencia de la relación entre ellas en el suelo. Por ejemplo, las condiciones para que las raíces puedan anclar y penetrar el suelo, tienen relación con el espacio poroso y, a su vez, este espacio influye sobre el drenaje y la aireación. Asimismo, la degeneración de una propiedad puede afectar a otras propiedades, ocasionando la degradación del suelo, produciendo efectos negativos en la productividad del cultivo. Es fundamental conocer las principales propiedades, basados en la importancia y valores típicos que se presentan en los suelos agrícolas (López y Estrada, 2015).

a. Propiedades físicas

Tamhane *et al.* (1986) explican las razones de la importancia que tiene el suelo, para lo cual se definen y describen sus principales propiedades físicas, químicas y biológicas, discutiendo su rol en la actividad productiva y los valores típicos que se presentan en los suelos agrícolas. Las propiedades físicas pueden ser observadas y/o medidas sin causar ningún cambio químico en la constitución del recurso suelo. Estas propiedades tienen una relación estrecha el en movimiento, las variaciones de la temperatura, el movimiento del recurso agua, así como de las raíces y elementos nutritivos; tales como el espesor de los horizontes, las clases texturales, los tipos de estructura, la densidad aparente y la densidad de partícula, el porcentaje de porosidad, el color y la temperatura de los suelos. Por medio de la profundidad es posible calcular el volumen de suelo. Además, el sistema radicular de los vegetales requiere de un suelo profundo para fijarse y para obtener el agua y los nutrientes suficientes para que las plantas puedan cumplir con su ciclo biológico. La profundidad es limitada por la existencia de roca continua muy dura (Parker, 2010).

Textura

La textura se refiere a la distribución proporcional de las partículas individuales del suelo (arenas, limos y arcillas) (Huerta, 2010). Comprende las arenas (0,05–2 mm), los limos (0,002–0,05 mm) y las arcillas (< 0,002 mm). Un suelo con mayor cantidad de arena presenta textura gruesa, mientras que uno con mayor cantidad de arcillas muestra una textura fina. El suelo ideal es aquel que tiene una textura franca, con un contenido alrededor de 40 por ciento de arenas, 40 por ciento de limos y 20 por ciento de arcillas (Parker, 2010). La textura, aparte de ser una propiedad importante, es considerada como un factor que tiene relación estrecha con fertilidad del suelo y es determinante de la capacidad de retención del recurso hídrico, del movimiento del aire, y de la evacuación del agua conocido como drenaje, así como también afecta el contenido del material orgánico y otras propiedades. Para clasificar la textura y denominarla en las clases texturales, se utiliza el triángulo textural que puede ser de la FAO o del sistema americano. Los componentes del suelo que superan un tamaño de 2,0 mm de diámetro, son considerados como piedras y gravas, denominaciones que deben incluir necesariamente la clase textural (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2016).

Domínguez (1997) menciona que la textura es una de las características más importantes del suelo y determina su grado de actividad físico-química. Entonces, la clasificación de acuerdo con el tamaño de las partículas de un suelo tiene relación con la superficie activa del mismo, ya que a medida que disminuye el tamaño, aumenta considerablemente la superficie total de las partículas y, como consecuencia, la superficie específica que también es llamada superficie activa de las arcillas en estado coloidal, es mayor cien mil veces que la superficie específica de las gravas y mil veces que la superficie de las arenas finas. Estas diferencias podrían ser aún mayores si se comparan las otras formas, como las laminares, lenticulares, trapezoidales que adoptan las partículas texturales.

Estructura

Domínguez (1997) considera que la estructura es otra de las propiedades básicas del suelo y que significa la forma como se unen los componentes minerales que darán origen a los agregados, los mismos que están ordenados entre sí de una manera muy especial. El

agrupamiento de estos agregados son la causa de la formación de lo que se conoce como terrones, que son agrupados adoptando diversas formas en función al nivel de estabilidad que les caracteriza. Para la formación de estos agregados o terrones, tienen una significativa las partículas coloidales del suelo, así como la arcillas e hidróxidos (minerales del suelo), conjuntamente con el humus que un producto del componente orgánico del suelo, los mismos que se comportan como elementos de unión con un efecto cementante entre las partículas de mayor tamaño. La estabilidad estructural depende, en gran parte, de la magnitud del material coloidal que los une. Sin embargo, se debe tener en cuenta el efecto de la materia orgánica sobre la estabilidad de la estructura del suelo y el tipo de cationes que están asociados a la parte coloidal. Un importante efecto de la estructura del suelo es la formación del espacio que se forma entre los agregados y las partículas dentro de los mismos. Estos espacios son conocidos como poros, los mismos que posibilitan la circulación del agua y el aire. El espacio total es denominado porosidad del suelo (Domínguez, 1997).

Donahue *et al.* (1998) agregan que la forma cómo las partículas texturales del suelo (arena, limo y arcilla) son agrupadas en un compuesto estable es lo que conoce como estructura. Un suelo tiene una estructura aparente cuando sus partículas que la conforman permiten el origen de condiciones aparentes para favorecer el crecimiento y desarrollo de los vegetales, especialmente aquellos que muestran una relación con la porosidad y la permeabilidad, así como las propiedades que influyen en la evolución estructural de un determinado suelo. Esta propiedad afecta al proceso de la aireación movimiento del agua, desarrollo de las raíces y resistencia contra el proceso erosivo. Los agregados del suelo se adoptan a diversas formas como granulares, en bloques, prismáticos, en columnas o laminares, así como también en diversos tamaños y en diferentes grados de estabilidad (León, 2000). Los agregados estables que tienen un tamaño que varía entre 2 a 5 mm, generan una mejor calidad del suelo (United States Department of Agriculture [USDA], 2008)

Densidad del suelo

La densidad del suelo es la relación de la masa del suelo expresado en términos de peso dividido por su volumen, esta característica está estrechamente relacionada con la porosidad. La densidad puede ser denominada como aparente y densidad real o de partícula, ambas son expresadas en g.cm^{-3} . La densidad aparente está definida con la cantidad de masa de los

sólidos que están presentes en el volumen total de suelo, indicando que se debe tomar en cuenta el volumen que ocupan los sólidos y los poros, a su vez. Esta característica permite estimar el grado de compactación, la porosidad total, así como la micro y macro porosidad del suelo y los niveles de saturación de la humedad. Por lo tanto, los factores limitantes para el desarrollo normal de los vegetales son directamente influenciados por la textura del suelo (Flores y Alcalá, 2010).

Por otro lado, la densidad real es la masa de los sólidos por unidad de volumen de los sólidos, significando que se debe dejar de lado el volumen que está ocupado por los poros. Esta densidad sirve como un indicador de la composición mineralógica y del contenido de materia orgánica. En consecuencia, cuando el contenido de materia orgánica es mayor, menor será la densidad real. Cuando el suelo tiene deficiencias del material orgánico, la densidad real es parecida a la del mineral más abundante (Osman, 2013). Domínguez (1997) explica que la porosidad total del suelo puede ser conocida en función de la densidad aparente del suelo comparada con la densidad real del mismo. Cuanto menor es la densidad aparente, mayor será la porosidad del suelo, así como el espacio disponible para el aire y el agua. La densidad aparente es máxima en los suelos arenosos ($1,6 \text{ g.cm}^{-3}$) y mínima en los suelos arcillosos ($1,2 \text{ g.cm}^{-3}$) pero puede variar con la compactación del suelo. La densidad específica media del suelo es del orden de $2,65 \text{ g.cm}^{-3}$.

Porosidad del suelo

La porosidad también denominada el porcentaje de poros del suelo, explica el expresado en porcentaje que no está ocupado por la fase sólida y puede calcularse mediante la relación entre la densidad aparente y la densidad real; mediante la siguiente relación (Domínguez, 1997):

$$\text{Porosidad o \% P} = \left(1 - \frac{D_{ap}}{D_r}\right) 100$$

Donde:

P: porosidad

Dap: densidad aparente

Dr: densidad real

El espacio poroso permite el ingreso de tanto el agua como los nutrientes, mientras que el aire y los gases circulan o se retienen y se distinguen dos tipos de poros: (a) los macroporos ($> 250 \mu\text{m}$), que no tienen la capacidad de retener agua contra la fuerza de la gravedad, por ello, regulan el drenaje y la aireación del suelo constituyendo el espacio por donde desarrollarán las raíces; y (b) los microporos ($< 250 \mu\text{m}$), que retienen el agua, pero solo una parte es disponible para las plantas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2015). La sumatoria de las dos porosidades representa la porosidad total de los suelos y cuando representa una porosidad total entre 40 y 50 % es considerada como suficiente para el crecimiento y desarrollo de los vegetales, lo cual es equivalente a una densidad aparente intermedia aproximada de 1,3 a 1,4 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Por estas razones, la estructura del suelo es de suma importancia para el tipo de permeabilidad que tendrá un suelo con relación a la circulación del aire y del agua, así como para permitir la introducción y crecimiento de los sistemas radiculares y consecuentemente, para aumentar la capacidad de retentiva del agua disponible que requieren las plantas (Domínguez, 1997).

Color del suelo

Plaster (2005) afirma que el color del suelo es una de las características más fáciles de detectar ya que está ligada directamente con la temperatura, humedad, la materia orgánica y en ciertos casos se utiliza como señalizador de la fertilidad (León, 2000). Los suelos oscuros retienen más calor, generando el aumento de su temperatura y están relacionados con un mayor índice de materia orgánica y, por lo tanto, mayor retención de la humedad. El hierro (Fe) es el principal elemento que define el tono de los suelos y, junto con la materia orgánica, constituye uno de los principales factores de la coloración del suelo. El color del suelo es considerado como una guía útil para determinar el tipo de uso del suelo; sin embargo, las comparaciones del color entre regiones con diferentes climas y mineralogía pueden no ser válidas (Parker, 2010).

Ortiz y Ortiz (1990) indican que la tonalidad del suelo se establece por medio de la comparación con la Carta de Colores de Munsell, que se basa en la expresión de los colores del suelo en función de su tonalidad, brillo e intensidad. Además, Plaster (2005) agrega que el color del suelo tiene una relación estrecha con los tipos de compuestos minerales que dieron origen al suelo y con la evacuación (drenaje) del exceso de agua. Una coloración

negruzca está en estrecha relación con el contenido del material orgánico que está incorporado en el suelo. Asimismo, Porta *et al.* (2003) afirma que el color es una propiedad que no tiene significación sobre el comportamiento del suelo, por lo que el interés radica en que esa característica permite inferir otras propiedades, la posible naturaleza de los componentes y la respuesta esperable de las plantas.

Temperatura del suelo

La temperatura del suelo influye sobre el desarrollo de las plantas, así como en las funciones químicas y biológicas que tiene lugar en la flora y es regulador de la circulación del aire en el suelo. La temperatura del suelo depende principalmente del calor, el cual es absorbido en función de la disminución causada por efecto de la radiación solar y la evaporación y transpiración de la humedad que se produce en el suelo. La cantidad de calor que penetra y es retenido por los suelos está relacionado directamente con las condiciones climáticas, el color o tonalidad que muestra el suelo, la altitud con relación al nivel del mar, la topografía de la zona y el tipo de vegetación que está presente. Por lo tanto, el tipo de cobertura vegetal del suelo, viva, muerta o artificial, conjuntamente con el contenido de agua que es almacenada, regulan la temperatura del recurso suelo (López y Estrada, 2015).

b. Propiedades químicas

Las propiedades químicas pueden ser reconocidas a partir de las alteraciones químicas que ocurren en el suelo. Estas propiedades especifican la conducta de los elementos, sustancias y componentes que pertenecen al suelo. El pH, la capacidad de intercambio catiónico, la conductividad eléctrica, el contenido de MO y de elementos químicos tanto nutritivos como tóxicos, son algunas estas propiedades (López y Estrada, 2015).

pH del suelo

Ortiz y Ortiz (1990) señalan el grado de acidez o basicidad de una suspensión suelo-agua u otra solución es denominada pH del suelo que también es expresada como la cantidad de hidrogeniones (H^+) presentes en un litro de agua o como el logaritmo negativo de la concentración de protones (H^+) que se encuentra en la fase líquida del suelo denominada solución del suelo.

$$\text{pH} = - \text{Log}_{10} [\text{H}^+]$$

Donde:

pH: potencial de hidrógeno

$\log(\text{H}^+)$: logaritmo en base 10 de la concentración de iones hidrógeno (en $\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$)

La cantidad de protones (H^+) que se encuentra en la solución del suelo permite cuantificar al pH de los suelos. Por lo tanto, si un determinado suelo tiene un pH igual a 5, significa que tiene una concentración de iones H^+ 10 veces mayor que otro con un pH de 6. El pH al ser medido refleja solo la acidez actual, más no la acidez total que tiene el suelo, razón por la cual que los suelos con un pH similar, pero con diferente acidez, necesitarán cantidades muy diferentes de cal u otro compuesto similar, para cambiar el pH (Ortiz y Ortiz, 1990). El pH que es considerado como una propiedad química, es un indicador principal para interpretar la disponibilidad, movimiento, nivel de solubilidad y absorción de los elementos nutritivos que son considerados esenciales para el normal desarrollo de las plantas. Los rangos del pH del suelo son variables desde 3,5 (suelos fuertemente ácidos) hasta 9,5 (muy fuertemente básicos). La actividad libre de los microorganismos que viven en el suelo es afectada un pH extremadamente ácidos o extremadamente básicos, por lo tanto, el pH óptimo para la mayoría de cultivos debe estar entre 6,5 a 7,3 (López y Estrada, 2015). Porta *et al.* (2003) enfatizan que el término “reacción del suelo” se ha generalizado con relación al término “pH del suelo”, como resultado de la intención de querer indicar la presencia sistema que agrupa a muchos sistemas que se interrelacionan químicamente, lo que desde el punto de vista químico sería incorrecta tal expresión, porque las “reacciones” que ocurren en el suelo pueden ser muy diversas. Por lo tanto, las condiciones de acidez o de basicidad de un horizonte del suelo, se basa, por su rapidez y facilidad, en la medida del pH en una suspensión suelo-agua.

Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) representa de manera cuantitativa las cargas negativas que están localizadas en la superficie específica de las arcillas e hidróxidos y del humus del suelo, representado por la cantidad de iones con carga positiva (cationes) que son retenidos por que la superficie específica (cationes de Ca, K, Na, entre otros). La CIC indica la capacidad del suelo para la retención de los cationes, reflejando potencialmente la

disponibilidad y la cantidad de los minerales nutritivos que son absorbidos por las plantas. La CIC es expresado en cmol.kg^{-1} (centimoles de carga por kg de suelo) o también en meq.100 g^{-1} de suelo miliequivalentes de carga por 100 g de suelo). Cuando la CIC de un suelo está entre 15 y 25 cmol.kg^{-1} significa el valor más aceptable. Asimismo, los suelos que arenosos y bajos en materia orgánica, tienen una baja o pobre CIC (FAO, 2015).

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) representa la capacidad de la solución acuosa del suelo para transmitir la corriente eléctrica, siendo directamente proporcional a la cantidad de sales disueltas o ionizadas presentes en la solución (López y Estrada, 2015). En la actualidad, la CE es expresada en unidades de miliSiemens por m (mS.m^{-1}). También se puede reportar en unidades de deciSiemens por m (dS.m^{-1}), equivalente al valor de 1 mS.m^{-1} dividido entre 100. Esta propiedad es utilizada como un indicador de la salinidad del suelo.

Materia orgánica

Los residuos vegetales y animales que se incorporan al suelo en forma de residuos producidos durante el ciclo de vida o los tejidos producidos a la muerte de los organismos vivos, son las principales fuentes de la materia orgánica. Este componente por lo general está presente en los suelos agrícolas en niveles por debajo 2 %, encontrándose además, en diferentes estados de descomposición, permitiendo distinguir dos fracciones, una de disponibilidad inmediata denominada fracción lábil que es digerida en un corto periodo por los organismos del suelo, permaneciendo en el suelo en etapas cortas; y otra fracción muy resistente constituido por el humus del suelo que es denominada como recalcitrante por ser más estable y estar constituida por sustancias más complejas como los ácidos húmicos y fúlvicos y las huminas, los mismos que requieren una mayor permanencia en el suelo (FAO, 2015). El humus regula la actividad de algunas propiedades del suelo como es el caso del pH, el excesivo proceso de traslado o lavaje (lixiviación) de los elementos nutritivos, los niveles de almacenamiento del agua, entre otros. El cálculo del contenido de la materia orgánica de un suelo se hace a partir del contenido en porcentaje del carbono orgánico (CO) multiplicado por el factor 1,724, que es un factor obtenido al relacionar que la MO contiene un 58 % de carbono orgánico (CO) (Vela *et al.*, 2012).

La MO, junto con la arcilla, conforma el coloide arcillo húmico, factores necesarios para la retención de los nutrientes del suelo formando compuestos químicos que tienen una influencia notoria en el desarrollo y crecimiento de las plantas. Cuando estos nutrientes son insuficientes, las plantas no crecen normalmente, volviéndose muy susceptibles al ataque de enfermedades y/o plagas. Las plantas necesitan elementos minerales que se clasifican en macronutrientes (N, P, K, S, Mg y Ca), requeridos en mayores cantidades, y micronutrientes (Zn, Fe, Mn, Cl, Cu, B y Mo), necesarios, pero en cantidades muy pequeñas (Hall, 2008).

Algunos elementos menores pueden adquirir niveles de toxicidad, sobre todo cuando adquieren una alta concentración; como ejemplo se puede citar el caso del Cu, elemento que es requerido por la mayoría de los cultivos en cantidades de 4 a 6 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ y cuando excede estas concentraciones y en muchos casos supera los 20 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, se manifiesta inmediatamente los síntomas de toxicidad, especialmente en especies que son muy susceptibles. También se tiene el caso de otros elementos que en abundancia son tóxicos como es el caso del aluminio (Al) que no es un micronutriente, pero se vuelve tóxico, bloqueando la disponibilidad del Ca y el P, elementos mayores que no podrán ser absorbidos por las plantas (Hazelton y Murphy, 2007; Brady y Weil, 2010).

c. Propiedades biológicas

El contenido de materia orgánica más la presencia de muchos organismos que viven en el suelo, dentro de ellos las raíces de las plantas, las lombrices de tierra, los insectos, los nemátodos, los hongos, las bacterias, entre otros, son los factores que determinan y regulan las propiedades biológicas del suelo (Hall, 2008). Las actividades de los organismos que viven en el suelo desarrollan actividades que tienen mucha relación con el movimiento del agua y los minerales, especialmente de aquellos que están considerados como elementos nutritivos esenciales para las plantas, además son los responsables directos de la descomposición del material orgánico y liberando sustancias húmicas y los nutrientes requeridos por las plantas (López y Estada, 2015).

La fijación biológica de nitrógeno es la transformación del N_2 en amonio (NH_4^+) exclusivamente dada por los procariontes, generalmente las bacterias (Paredes, 2013).

Dentro de los microorganismos fijadores de N están los géneros *Frankia*, *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter* y *Azolla*; pero la simbiosis entre el rhizobium y las leguminosas destaca porque logra adicionar entre un 1/3 y un 1/2 del N₂ total que se encuentra en la atmósfera, como producto del intercambio del carbono (C) por N, generando una asociación rhizobium-leguminosa y evitando así que el nutriente más limitante sea el N (Martínez, 2001). Entonces, los microorganismos que habitan en el suelo son los responsables del movimiento de los elementos nutritivos dentro del suelo. La MO que se acumula sobre el suelo superficial o llega a las cercanías de la zona radicular es descompuesta inmediatamente por los microorganismos del suelo, originando la acumulación de C que puede ser renovada en un periodo corto de 1 a 3 años, para dar origen al humus que es uno de los subproductos microbianos de la descomposición de la materia orgánica y que está formada por sustancias de difícil degradación por ser una sustancia química muy compleja, razón por la cual es considerado como la reserva más estable de C en el suelo (FAO, 2015).

El conjunto de las micorrizas determina una simbiosis o asociación entre plantas y hongos donde la primera cede carbono y los segundos generan un incremento en la absorción de los elementos nutritivos, muy especialmente del fósforo, permitiendo el aumento de la tolerancia a la escasez de agua que pueden afectar a las plantas (Jhonson, 2009). Asimismo, las micorrizas tienen la capacidad de producir una sustancia conocida con glomalina, que es una glicoproteína que tiene gran influencia en la conformación de los agregados del suelo. El mayor porcentaje (80 %) de las angiospermas, así como la mayoría de gimnospermas, están relacionadas con las micorrizas (Dickie, 2002). La biomasa microbiana del suelo constituye un indicador inmediato de los cambios que se producen en las características del suelo, las mismas que son consecuencia del manejo deficiente y del estrés ambiental en los diversos agroecosistemas (López y Estrada, 2015).

1.2.3. El agua en el suelo

Al ritmo que la población mundial se incrementa, especialmente en las regiones tropicales y subtropicales, lugares donde un mayor porcentaje de la población rural vive en situación de pobreza, donde se encuentran muchas dificultades para incrementar los rendimientos de plantas alimenticias que cada vez se intensifican más. En las áreas empobrecidas, los rendimientos en promedio de los cultivos están sufriendo una merma constante. Aunque el

avance del mejoramiento de plantas es notorio, el aumento potencial de los rendimientos de los cultivos cada vez está dentro de un proceso de desmejoramiento. Las consecuencias negativas causadas por el creciente proceso erosivo y el anegamiento de las tierras bajas en las zonas planas, se están convirtiendo en procesos más frecuentes y muy destructivos, causando el desequilibrio ecológico en las tierras ubicadas en las zonas altas. Los niveles de las capas freáticas están distanciándose debido a las sequías, aunado al uso irracional de estos importantes recursos hídricos. Muchos agricultores cultivan áreas significativas de tierras ubicadas en laderas muy pronunciadas y en otros tipos de áreas marginales, acelerando, como consecuencia, la degradación de los suelos (Shaxson y Barber, 2005).

Debido que las tierras fértiles para el crecimiento de la actividad agrícola están escaseando en estos tiempos, se hace imprescindible el mejoramiento en las prácticas de uso y manejo de este importante recurso para lograr el mejoramiento del potencial productivo. Sin embargo, existe un creciente número de países que está iniciando cambios importantes en la actividad agrícola, en base al mejoramiento de las técnicas en la gestión del suelo, que permitirá lograr efectos positivos muy valiosos para que las acciones agrícolas sean sostenibles y se logre una mayor productividad. El contenido de agua en forma de humedad del suelo no tiene una consideración relevante, aunque el manejo del recurso es fundamental dentro de las mejoras de desarrollo sostenible en el proceso productivo de los alimentos y en el almacenamiento del agua (Shaxson y Barber, 2005). Una amplia percepción sobre la productividad del suelo, así como el conocimiento tanto de la erosión que ha producido y de la escorrentía superficial, permitirán la obtención de mayores rendimientos en la actividad agrícola relacionados con la productividad y la sostenibilidad, permitiendo las mejoras en la continuidad de las corrientes de agua. La falta de condiciones del suelo para retener, soltar y trasladar agua tiene como consecuencia la merma de los niveles productivos, tanto de principales cultivos, la variabilidad de pasturas, y el desarrollo de arbustos o especies arbóreas. Una gran tarea para las próximas generaciones, consistirá en el logro de aumentar la producción alimenticia al disponer una menor reserva de agua, especialmente en países que disponen de un bajo índice de agua y así como de tierra (FAO, 2015).

El impacto negativo producido por las sequías en varias zonas dedicadas a la agricultura puede disminuirse si se logra almacenar el agua proveniente de las lluvias y que impactan

sobre el suelo, la captura y almacenamiento de mayores cantidades de agua destinada para ser utilizada en el futuro permitirán el ingreso de los sistemas radiculares a ese almacén y favorecerá un mejor desarrollo de los vegetales. Los inconvenientes que afectan a una o a varias de estas condiciones, afectarán también en el contenido de humedad en el suelo, convirtiéndose en un limitante severo para la producción agroalimentaria. Como consecuencia, una baja capacidad productiva de los cultivos está relacionada con una marcada insuficiencia de humedad en el suelo como resultado de una ausencia prolongada de las lluvias (FAO, 2015). En consecuencia, la perspectiva para solucionar los problemas de la productividad debería estar dirigida hacia la correcta provisión de agua y de nutrientes. Sin embargo, las complejas interacciones entre clima, plantas, suelo, agua y ambiente afectan el rendimiento y la productividad de los cultivos en cada campaña agrícola, por lo que resulta fundamental identificar nuevas estrategias para profundizar el conocimiento de sistemas complejos (Shaxson y Barber, 2005).

Según Higuera y Oyarzun (2002) exceptuando las zonas terrestres que se caracterizan por extrema aridez (altamente secas), el agua constituye el componente de mayor importancia en el suelo, encontrándose en las formas de humedad intergranular dentro del espacio poroso o en forma sólida o conformando los suelos helados (permafrost), mostrando una variación de abundancia en relación con varios factores. Debido al constante cambio del suelo, el agua siempre contiene en solución una diversidad de componentes disueltos, y en forma ocasional, también en suspensión, aunque una carencia de mayor magnitud más significativa, minimizará a los componentes en solución. La interrelación de la naturaleza y las diferentes clases texturales del suelo, el agua estará presente como una fase libre y móvil en el suelo (alta porosidad y permeabilidad), en la que el agua mantendrá una composición homogénea, o también en una fase inmóvil, cuando es absorbida y/ adsorbida en los suelos que contienen altos porcentajes de arcillas, ocurriendo varios cambios en la composición del agua.

Asimismo, Higuera y Oyarzun (2002, p. 35) afirman “que el agua en el suelo tiene una dinámica en dirección vertical descendente: el agua de lluvia escasa en sales ingresa desde la superficie y ocasiona procesos de disolución, hidrólisis y/o precipitación de las sales que contiene”. “Por ejemplo, la formación de ácido carbónico (H_2CO_3) a partir del

CO₂ atmosférico, que a su vez favorece la disolución de carbonatos (CaCO₃) en bicarbonatos (2HCO₃⁻). “En épocas de sequías, se inicia el fenómeno inverso, las aguas subterráneas suben hasta la superficie por capilaridad o por gradiente de humedad, produciéndose la evaporación, el ascenso es interrumpido por la precipitación de las sales contenidas en la disolución”. Cuando este proceso es alterado por la actividad antropogénica, puede ocasionar afectaciones con enormes repercusiones, como la irrigación de los suelos en las zonas áridas y semiáridas, que puede ocasionar una salinización extrema. Higuera y Oyarzun (2002, p. 35) agregan que “la composición del agua retenida en los espacios del suelo está relacionada con la cantidad de sales solubles (bicarbonatos, carbonatos, sulfatos y cloruros) y condicionada por factores internos como la mineralogía y la litología del suelo y externos”.

1.2.4. Movimiento del agua en el suelo

La cantidad de agua que se encuentra retenida en el suelo será de uso para el desarrollo de cultivos, lo que dependerá de la escorrentía, evaporación y drenaje profundo. La cantidad de agua que se moviliza hacia las capas profundas será dependiente de los volúmenes de agua pluvial, lo que contribuirá en el restablecimiento de la capacidad de retención de agua del suelo, así como la transpiración de los cultivos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 1995). El buen manejo del agua de lluvia o de riego está destinado a maximizar la cantidad de agua que se filtra al suelo y la optimización de su uso, que se puede efectuar por medio de los cultivos y con las reservas de aguas subterráneas. Cualquier escorrentía inevitable se conduce de modo que no cause erosiones hídricas. Cuando un suelo desecado llega a saturarse hasta el nivel del espacio radicular, el agua de lluvia está almacenada en esa zona por un periodo de 48 h y será retenida en los poros del suelo con diámetros menores de 0,05 mm (FAO, 1995).

La cantidad de agua retenida después de 48 h se le denomina capacidad de campo del suelo (CC), que depende del tamaño de poro del suelo: los poros más grandes tienden a retener el agua a una presión atmosférica de 0,10 a 0,33 bar. La CC del suelo puede cambiar con el tipo de suelo y la profundidad del acuífero (FAO, 2015). En cualquier tipo de suelo, la profundidad de enraizamiento es directamente proporcional a la cantidad de agua disponible para el cultivo. Los cultivos anuales tienen menos tiempo para desarrollar raíces profundas y extensas que las especies perennes. La cantidad de agua disponible tiene cierta influencia

sobre la duración del crecimiento de las plantas desarrolladas en un determinado tipo de suelo (Ortiz y Ortiz, 1990). Los suelos con alta capacidad de agua disponible son más favorables que los de baja capacidad. Estos proporcionan mayores cantidades de agua retenidas durante los períodos secos en comparación con los suelos de baja capacidad. Los suelos más cercanos a la superficie tienen poca agua aprovechable y pueden llegar a ser incapaces de almacenar agua adicional en los años húmedos (Ortiz y Ortiz, 1990).

1.2.5. Tipos de agua en el suelo

Según Peña (2010), en el agua en el suelo se halla en las siguientes formas:

Agua gravitacional

El agua gravitacional se mantiene en poros con diámetros mayores que 2 mm del suelo, después de un período de lluvia o de un riego abundante. El agua que no está retenida puede ser gravitacional con un desplazamiento pausado y gravitacional con un desplazamiento acelerado en función de la velocidad de circulación. Estas masas de aguas están sometidas a presiones menores de 0,1 a 0,5 atm.

Agua capilar

Se encuentra en los espacios más finos e intermedios del suelo. La circulación de este tipo de agua no tiene un sentido exacto debido a que se encuentra sometido a las presiones que se den en un determinado momento. Ocupa las zonas capilares más finas e intermedias (10-0.2 μm) y se mantiene en el suelo por efecto capilar. Las presiones están influenciadas por la capacidad constante de retener agua en un suelo saturado y el volumen de humedad que puede retener una muestra, y oscilan desde 0,1 hasta 31 atm. Es tipo de agua que la vegetación emplea en mayor proporción, permanece por un periodo más largo en el suelo que la gravitacional, no produce lavado de elementos nutricionales y se halla en mayor índice en las arcillas que en las arenas.

Agua higroscópica

Es el agua retenida por los suelos y es dependiente de la humedad atmosférica. Este tipo de agua forma una fina película que recubre las partículas del suelo, los poros varían entre 8 y 30 μm de diámetro. No está condicionada a soportar un movimiento, no es nutritivo para las plantas por estar en estado de vapor y se encuentra ligada por el coeficiente higroscópico. La tensión de retenimiento varía entre 31 y 10 000 atm.

1.2.6. Clasificación de suelos

Según Patrick (2001), los especialistas en la ciencia del suelo dirigen los estudios agrológicos y desarrollan mapas de suelos y el levantamiento cartográfico, actividad técnica de mucha responsabilidad porque los suelos no tienen limitaciones en su espacio y no están bien definidos, ya que se ubican en zonas de circulación. Por lo tanto, se hace necesario el uso de calicatas o perforaciones para comprender la conformación del suelo. Zavaleta (1992) agrega que, al diseñar un sistema de clasificación de suelos, se agrupan teniendo como base los lineamientos de una categorización. El criterio fundamental de una categorización se define en base a las propiedades diferenciables entre un suelo respecto a otro. En una zona a estudiarse, la clasificación de los suelos comienza en base a una descripción sobre los pasos que se tomaron para hacer el mapeo, que debe incluir muchas propiedades o cualidades de difícil diagnóstico pero que son de una importancia práctica, tales como las fases pedregosas, en pendiente y erosionables.

El Decreto Supremo N° 017-2009-AG sobre el Reglamento Nacional de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI) (2009), p. 5) establece lo siguiente:

De acuerdo a los diferentes criterios existentes sobre suelos, existen distintas clasificaciones científicas o naturales y de carácter técnico o práctico, pero este sistema clasifica a los suelos según su utilización óptima en cinco grandes grupos: tierras aptas para cultivos intensivos (A), tierras aptas para cultivos permanentes (C), tierras aptas para pastos (P), tierras aptas para la producción forestal (F) y tierras de protección (X). La clase agrológica de cada grupo es la segunda categoría y está representada por números arábigos: suelos de buena aptitud agrológica (1), suelos con aptitud agrológica media (2), y suelos con baja aptitud agrológica (3);

las mismas que son agrupadas en una tercera categoría de acuerdo a factores limitantes, riesgos y condiciones especiales que restringen o definen el uso de las tierras, relacionadas con los factores: suelo (s), topografía (t), humedad y condiciones de drenaje (w), presencia de sales (n) y clima (cl). Además, en este grupo se consideran tres condiciones especiales: uso temporal (t), terraceo o andenería (a) y riego permanente o suplementario (r).

Lazo (1996, p. 10) agrega que:

Existen otros sistemas de clasificaciones científicas o naturales o técnicos, pero los más conocidos son el “*Soil Taxonomy*” (USDA) y los sistemas rusos, francés y el patrocinado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). En Perú, los sistemas de clasificación más utilizados son el “*Soil Taxonomy*” y el de la FAO.

Por otro lado, Brady (1990, p. 427) señala “que el desarrollo de la clasificación de suelos implica tres criterios: (i) los suelos como hábitat de las plantas, (ii) los suelos como el manto superficial constituido por rocas descompuestas por la intemperización, (iii) los suelos como materiales naturales”. El primer criterio está relacionado con la actividad agrícola, que es considerada como la más antigua (Brady, 1990). Asimismo, las clasificaciones técnicas están basadas en la interpretación y son utilizadas por planificadores, agricultores y responsables de las políticas nacionales. La clasificación técnica de los suelos toma en cuenta a dos sistemas norteamericanos: la primera agrupa a los suelos en ocho clases de “capacidad de uso”, mientras que la segunda reúne a los suelos en seis clases de “aptitud para el riego” (Ortiz y Ortiz, 1990).

1.2.7. Clasificación de tierras según su aptitud para el riego

La Torre (2003) expresa que el objetivo principal de la clasificación técnica de los suelos con fines de riego es conocer la extensión y calidad de tierras de un proyecto de riego dado, con posibilidades de incrementar el valor económico mediante la implementación de un sistema de riego y con la finalidad de más hacer una separación de las tierras que son aptos y las no aptas para la ejecución de proyectos de riego. La Torre (2003, p. 12) agrega “que el concepto de “tierra apta” para el riego se aplica cuando, al proporcionarle las prácticas o mejoras necesarias, adquiere una capacidad productiva suficiente para mantener una agricultura bajo riego y económicamente favorable”. Al contrario, el término de “tierra no apta” se aplica a los suelos que a pesar de las mejoras que se brindó, ya sea como

nivelaciones, drenaje, enmiendas, lavajes, técnicas de riego u otras, no adquieren una mejora en la capacidad productiva como para sostener el cultivo económicamente razonable y con retorno del capital invertido (La Torre, 2003).

Ortiz y Ortiz (1990) consideran que la clasificación de suelos con fines de riego es sumamente importante cuando se va a iniciar una obra de irrigación y que pueden ser agrupados en cuatro clases según su adaptabilidad para el riego, aunque pueden tener hasta seis clases, como en el método americano. Los factores para clasificar los suelos son diversos, pero los más relevantes son los siguientes: (1) S: factor suelo, (2) T: factores topográficos, (3) A: presencia de sales, (4) D: evacuación del agua, (5) I: riesgos de encharcamiento o inundación y (6) E: riesgos erosivos. El factor suelo está en relación con las propiedades que afectan a los rendimientos de un cultivo, tales como la profundidad de la capa arable, los niveles pedregosidad tanto superficial como interna, la existencia de horizontes compactados o endurecidas y el tipo de roca que está conformando al material parental. El aspecto topográfico toma en cuenta los diferentes grados de inclinación de la pendiente mientras que la sodicidad muestra la proporción de sales diluidas, expresado, generalmente por la presencia de Na^+ (sodio intercambiable). Asimismo, la evacuación del agua (drenaje) es un factor que permite observar el agua en exceso presente y al momento de aplicación del riego. Por último, la erosión permite conocer las causas y tipos que produce este proceso y las medidas para atenuar su efecto destructivo (Ortiz y Ortiz, 1990).

Del mismo modo, el sistema de clasificación sugerido por La Torre (2003) tiene las siguientes categorías para la de los suelos aptitud para el riego: (1) terrenos aptos para ser irrigados, (2) terrenos con limitada capacidad para los riegos, y (3) terrenos que de ninguna manera aptos para el riego. En estas categorías están consideradas las clases de aptitud en función de la posibilidad de adaptación de los suelos para una agricultura irrigada. La primera categoría considera tres clases de aptitud (1, 2 y 3), agrupadas en función al incremento progresivo de los factores de limitación, así como de financiamiento. La segunda categoría tiene una clase de aptitud. Además, la tercera categoría tiene dos clases de aptitud (5 y 6): en la clase 5 es considerada como un agrupamiento temporal porque los suelos agrupados en esta clase no pueden ser incluidos en un proyecto de irrigación, hasta no haberse hecho investigaciones técnicas sustentadas, incluido los costos para precisar la clase

definitiva. Asimismo, las clases son subdivididas en subclases, donde se señalarán las principales limitaciones o deficiencias que tienen. Algunas de estas limitaciones son susceptibles de ser eliminadas o atenuadas, por lo que se consideran de tipo transitorio, mientras que otras son consideradas como permanentes.

1.2.8. Factores requeridos para la clasificación de suelos por capacidad para el riego

Las diferencias entre cada clase de tierra con fines de la implementación de un programa de riego se hacen teniéndose en cuenta de tres factores principales: factor suelo, factor topografía y factor drenaje.

a. Suelo (s)

Este factor suelo estudia las propiedades y características del perfil del suelo que tienen influencia directa sobre el plan de manejo de los suelos con fines de implantar una irrigación, entre estas están consideradas la capacidad retentiva de la humedad, la velocidad de infiltración del agua, la profundidad efectiva del suelo, la presencia de materiales gruesos y las características físicas tanto de la parte superficial, así como del subsuelo. Otros parámetros significativos están dados por la presencia de sales solubles, sodio intercambiable u otras características calificadas como negativas para la retención del agua en el suelo (Ortiz y Ortiz, 1990).

b. Topografía (t)

En el estudio de la topografía como factor, se toma en cuenta las siguientes condiciones: inclinación de la pendiente, las características de la superficie y el tipo de ubicación. La inclinación de la pendiente regula los procesos de la escorrentía del agua de escorrentía, determinando el tipo de drenaje externo (Ortiz y Ortiz, 1990). Las características de la superficie tienen gran importancia cuando se plantea un programa de nivelación. Las pendientes consideradas como moderadas y que tienen una superficie muy irregular deben ser considerada como un factor predominante para determinar el precio y la reacción que produce sobre la productividad del suelo, cuando se plantea la nivelación de las capas edáficas que originan en valor dado. La ubicación (o posición) está relacionada más con la posibilidad del riego que con la aptitud del suelo. Además, se debe considerar tres

alternativas: (i) aislamiento, cuando los costos altos para suministrar el agua; (ii) altas, cuando son requeridos acciones especiales de la ingeniería para elevar el agua; y (iii) bajas, cuando existe riesgos de inundaciones cuyo control y manejo son necesarios (Ortiz y Ortiz, 1990).

c. Drenaje (w)

El drenaje es una característica de los suelos que está directamente relacionado otras propiedades como lo son la permeabilidad, el tipo de sustrato, las condiciones topográficas y la profundidad de la napa freática. Asimismo, el drenaje interno tiene una considerable influencia sobre la fertilidad de los suelos, en el proceso de adaptación de los cultivos, el costo del proceso de productivo, entre otros (Ortiz y Ortiz, 1990).

1.2.9. Sistema paramétrico de evaluación del suelo por capacidad para el riego

El Sistema Paramétrico de Evaluación de Tierras por su Capacidad para el Riego en zonas áridas propuesto por Sys *et al.* (1991) brinda un método que permite la evaluación de los suelos con propósitos de irrigación, basándose sobre características granulométricas uniformes, así como también en características fisicoquímicas del perfil del suelo. Según Sys *et al.* (1991) los factores que influyen en la capacidad de los suelos para la irrigación según el sistema paramétrico son los siguientes:

Propiedades físicas: Determinan la relación suelo-agua en el *solum*, especialmente la permeabilidad y el contenido de agua aprovechable relacionada con la textura, estructura y profundidad del suelo. El contenido de CaCO_3 y de CaSO_4 también deber ser considerado.

Propiedades químicas: Se tienen en cuenta los niveles de la alcalinidad y salinidad del suelo, así como también a la presencia de sales solubles y sales intercambiables (principalmente Na^+) en un determinado suelo.

Propiedades hídricas: Están muy cercanamente relacionadas con el movimiento del agua en el suelo, así como el tipo de drenaje, particularmente relacionado con la presencia de la napa freática que puede tener un carácter permanente o temporal.

Factores ambientales: Las diferentes características que tienen influencia sobre la capacidad de los suelos para la irrigación son ponderadas por un índice de capacidad (Ci), calculado de acuerdo con la evaluación paramétrica de la textura, la profundidad del suelo, el contenido de CaCO_3 y CaSO_4 , así como la salinidad y la alcalinidad, el drenaje y la pendiente.

1.2.10. Características que influyen en la capacidad de los suelos para la irrigación

Textura

Para determinar la textura de un suelo, es indispensable conocer la clasificación por tamaños de las partículas del suelo (conocido como el análisis granulométrico), una vez desagregado este y eliminados los componentes más gruesos. Para esto, se disponen de clasificaciones normalizadas de dichas partículas, especialmente el Sistema de Clasificación Internacional. Los grupos establecidos en estos sistemas de clasificación son: arena, limo y arcilla. La arena tanto gruesa como fina están formadas generalmente por granos de sílice y tienen casi nula superficie activa, por lo que es considerada como inerte, aunque juega un papel sumamente importante sobre la estructura física del suelo, porque tiene la función de facilitar el traslado del aire y agua, porque tiene la capacidad de formar espacios más amplios entre las partículas. El limo es otro elemento textural que reúne a las fracciones cuyo tamaño es intermedio, también se caracteriza por escasa actividad de naturaleza química, pero contribuye como un soporte de la estructura. La arcilla es la fracción más fina y está formada por fracciones de estructura cristalina de forma laminar, tiene una mayor superficie activa, que le permite ser base de las reacciones fisicoquímicas más importantes del suelo y al unirse con el humus del suelo forma el coloide arcillo-húmico. En consecuencia, las texturales tienen una relación muy estrecha con otras características importantes del suelo como la permeabilidad y el contenido de agua disponibles para las plantas. Al realizar la clasificación de los suelos con fines de riego, la textura debe ser evaluada en base de 1 m de profundidad del perfil del suelo (Sys y Verheye, 1981).

Profundidad del suelo

Domínguez (1997) define a la profundidad del suelo como una consecuencia simple del perfil del suelo y expresa la cantidad del suelo que está disponible para el aprovechamiento

por la planta. Cada una de las capas que componen el suelo difieren cualitativamente del resto, por lo que se ha obtenido un valor integrado que permite disponer de una medida más significativa que la simple profundidad del suelo desde la superficie hasta la roca subyacente. En cualquier caso, no hay duda de que un suelo muy profundo tiene un efecto muy favorable sobre desarrollo vegetal al proporcionar un mayor volumen y, en consecuencia, una mayor cantidad de elementos necesarios a disposición de la planta (aire, agua y elementos nutritivos), por lo que existe una estrecha correlación entre la profundidad del suelo y la productividad. Por otro lado, la profundidad es definida como el espesor del suelo que se encuentra sobre una capa limitante, la misma que es impenetrable por la raíz o por el agua de percolación (Domínguez, 1997). Sys *et al.* (1991) señalan que los tipos más comunes de capas limitantes son:

- Un horizonte con grava no consolidada o pedregosa, con por lo menos 75 % de fragmentos rocosos o gruesos.
- Una continua capa de CaCO_3 o CaSO_4 más o menos consolidada, con un mínimo de 30 cm de espesor y que contengan por lo menos 75 %, ya sea de CaCO_3 o CaSO_4 , o ambos.
- Una capa endurecida y continua o “hardpan” con más de 10 cm de espesor.

Con referencia a la profundidad efectiva del suelo, La Torre (2003) agrega que es el espesor total de las capas u horizontes del suelo donde las raíces de las plantas pueden desarrollarse normalmente. Se distinguen las siguientes clases de profundidad efectiva según el espesor: (i) muy superficiales (< 15 cm), (ii) superficiales (15-30 cm), (iii) ligeramente profundos (30-60 cm), (iv) moderadamente profundos (60-90 cm), (v) profundos (90-150 cm), y (vi) muy profundos (> 150 cm). Los principales factores limitantes de esta propiedad son la roca subyacente, los fragmentos gruesos, la napa freática permanente, los materiales cementados y las capas compactadas de arcilla. Esta propiedad influye sobre la capacidad de abastecimiento de agua y de nutrientes, el uso de maquinaria agrícola, la adaptación de cultivos, la nivelación de los campos, entre otros (La Torre, 2003).

Contenido de carbonato de calcio

El carbonato de calcio (CaCO_3) es una sal mineral difícil de disolver en medios acuosos, se encuentra en varias formas y grados de concentración de forma natural en el suelo. La

existencia de esta sal mineral es determinante para la estructura del suelo, si se encuentra dentro de los rangos establecidos, se evitará perjudicar o generar la degradación del recurso natural (FAO, 2016). El CaCO_3 es empleado para equilibrar el pH en los suelos ácidos y para proporcionar calcio (Ca) a la flora, debido que es un nutriente esencial en su desarrollo (Sys *et al.*, 1991). Sin embargo, el exceso del carbonato de calcio tiene como efecto la formación de complejos insolubles, sobrepasando la capacidad de adsorción del suelo y llegando a limitar las reservas de fósforo (P), boro (B) y hierro (Fe), lo que puede tener efectos perjudiciales sobre el desarrollo de los cultivos (FAO, 2016).

Fassbender y Bornemisza (1994) afirman que el CaCO_3 es el compuesto que contiene caliza más común en los suelos y se le llama calcita en su estructura cristalizada. En los suelos que han tenido una evolución lenta, se le puede encontrar en la zona más superficial. Es muy inestable y es desplazado hacia el horizonte C, donde se halla un alto nivel de acumulación de carbonatos. La cantidad de carbonatos que se desplazan a través de los horizontes están directamente relacionados con el tamaño de las partículas, el sistema hídrico y biológico del suelo. Asimismo, Fassbender y Bornemisza (1994) agregan que es poco usual encontrar calcita en los suelos de áreas tropicales húmedas, a menos que provengan de las calizas:

- La magnesita (MgCO_3) es inusual en suelos superficiales debido a su alta capacidad de disolverse y su escasa resistencia a la desintegración por factores ambientales.
- La dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) es un mineral compuesto por una gran cantidad de calizas dolomíticas que no han pasado por un proceso de desintegración. La disolución de este mineral en una solución acuosa libera iones de Ca y Mg, teniendo como efecto el blanqueamiento u enyesado de los suelos ácidos.
- La siderita (FeCO_3) se forma bajo condiciones de reducción química y su presencia es poco frecuente.

La presencia de carbonatos libres tiene un efecto hacia el ordenamiento y disposición sobre la forma cómo se agrupan las partículas, lo que resulta en la obstaculización de la infiltración del agua y sus procesos de evaporación. El porcentaje de CaCO_3 están inversamente relacionado con el crecimiento de las plantas, por lo que la presencia de este mineral debe estar de forma moderada dentro de los rangos para permitir el crecimiento efectivo de las

plantas (Sys *et al.*, 1991). El contenido de carbonatos en el campo se determina de manera práctica por la efervescencia producida por el CO₂ desprendido al aplicarse ácido clorhídrico al suelo. Un alto contenido de carbonatos puede ocasionar deficiencias inducidas de microelementos y pérdida de nitrógeno por volatilización (La Torre, 2003).

Contenido de sulfato de calcio

Según la FAO (2016), la acumulación secundaria de yeso (CaSO₄·2H₂O) se extiende sobre todo en regiones con déficit hídrico o donde el suelo es impermeable, ocasionando la difícil circulación del agua y, en consecuencia, el deficiente lavado de suelos. Los suelos afectados por porcentajes altos de yeso se han desarrollado en la gran mayoría en quebradas, coluviales y eólicos de material meteorizado con alto contenido de bases. El bajo índice de vegetación demuestra una alta concentración de yeso, encontrándose apenas arbustos y algunos árboles adaptados a vivir en un ambiente seco (FAO, 2016). Los sulfatos más importantes son la anhidrita (CaSO₄) y el yeso (CaSO₄·2H₂O) se acumulan en los suelos de las áreas desérticas y semidesérticas y a veces en capas duras de los horizontes B y C (Fassbender y Bornemisza, 1994).

Sys y Verheye (1981) manifiestan sulfatos libres que se encuentran en el suelo, además de tener un efecto sobre la disposición estructural del suelo, también tiene la capacidad de interferir de manera directa sobre el proceso de la infiltración del agua, sobre las condiciones para la evaporación, desempeñando un rol importante sobre el pH del suelo y en la conformación fisicoquímica de la profundidad efectiva (*solum*), actuando en todos los casos como un todo. El estado en que se encuentra el CaSO₄ afecta de manera directa a la relación suelo-agua y en la disponibilidad de los elementos nutritivos esenciales para el crecimiento de las plantas. Asimismo, la presencia del CaSO₄ también interfiere en el consumo de agua y el balance de los nutrientes disponibles, ya que causa una depresión debido a la disolución de sales cuando el suelo está sometido a riegos y cuando el contenido de este compuesto es alto. La influencia del CaSO₄ puede ser ampliamente comparado con el CaCO₃, pues interfiere tanto en el consumo de agua como en el balance de asimilación de nutrientes. Por otra parte, los suelos con alto contenido de CaSO₄ son considerados inadecuados para propósitos de irrigación (Sys *et al.*, 1991).

Salinidad y alcalinidad

La conductividad eléctrica (CE) es una propiedad que indica la capacidad que tiene la solución acuosa del suelo para permitir el paso de la corriente eléctrica. Está directamente relacionada con la capacidad de las sales disueltas o ionizadas que se encuentran en la solución. Generalmente, la CE se expresa en unidades de mili Siemens por metro ($\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$) y también en unidades de deciSiemens por metro ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$), lo que equivale a $1 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$ dividido por 100. Esta característica indica la salinidad del suelo (Doerge *et al.*, 2015).

Según la FAO (2016), las sales que se encuentran en la napa freática son transportadas a través del movimiento vertical del agua hacia la zona superficial del suelo al producirse un ascenso capilar. Al producirse la evaporación del agua por efecto de los factores ambientales, en la superficie se produce la acumulación de las sales. La salinización ocurre como consecuencia de un deficiente manejo del agua de riego, sobre todo al no considerarse el drenaje y lavaje de las sales que deben ser trasladados fuera de la zona radicular. Sin embargo, la acumular sales puede ocurrir de manera natural o mediante procesos de intrusión de las aguas marinas. Cuando existe una salinización excesiva acelera la degradación de los suelos y de la vegetación. Las sales pueden combinarse con los cationes de Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^* y con los aniones de cloro (Cl^-), sulfatos (SO_4^{-2}) y carbonatos (CO_3^{-2}) que se encuentran presentes en el suelo. Sys *et al.* (1991) aseveran que el efecto desfavorable de la salinidad y de la alcalinidad en forma combinada está en función del tipo de textura, siendo este efecto diferente en suelos finos y en suelos medios o gruesos. Por otro lado, Domínguez (1997) afirma que, en algunos suelos, especialmente de las zonas áridas y semiáridas, donde la precipitación es escasa o insuficiente, la circulación del agua en el suelo es muy limitada, produciéndose la acumulación de las sales solubles en la solución del suelo. También se produce este efecto cuando la napa freática es salina y ascienden las sales hacia la superficie con la evaporación del agua. En consecuencia, un contenido muy alto de sales totales en la solución suelo tiene efectos perjudiciales para los cultivos, produciéndose la plasmólisis de las células radiculares, aunque cada especie vegetal cuenta con diferentes niveles de la tolerancia a la salinidad. La medida de las sales se realiza calculando la CE de un extracto del suelo que se expresa en milimhos por centímetro ($\text{mmhos}\cdot\text{cm}^{-1}$). La CE está relacionada directamente con la concentración total de sales en la solución del suelo en condiciones naturales y el orden de magnitud de este valor oscila entre menos de 1-20

mmhos.cm⁻¹, por lo que los suelos salinos quedan definidos como aquellos que superan los 2 mmhos.cm⁻¹ y solo las plantas altamente tolerantes soportan valores del orden de 8-12 mmhos.cm⁻¹ (Domínguez, 1997).

Cuando existe una cantidad muy alta de sales con dominancia del catión Na y este es adsorbido por el complejo de cambio en cantidades excesivas, se da lugar a la formación de los suelos sódicos o alcalinos, especialmente cuando el ion Na está presente en más del 15 % de la capacidad de cambio del suelo. Estos suelos sódicos o alcalinos tienen un pH alto (alrededor de 8,5). El complejo coloidal saturado de Na parcialmente se dispersa con el agua, dificultando la circulación del agua y el aire al desaparecer la porosidad, una característica notoria de estos suelos es la formación de costras que se agrietan al secarse. Además, la presencia en exceso de sodio (Na) en los suelos puede resultar tóxica para las plantas. Hardy (1970) reporta que los principales efectos de la excesiva alcalinidad es la merma en la absorción de nutrientes, exceso del Ca, reducción de la disponibilidad de algunos microelementos como el Fe, Mn, Zn y Cu, formación de fosfato-carbonato cálcico insoluble, lo que favorece la fijación de los fosfatos, reduce el crecimiento y multiplicación de bacterias benéficas y favorece la proliferación organismos patogénicos.

Drenaje

Ortiz y Ortiz (1990) refieren que el drenaje consiste en la remoción del agua del suelo por escorrentía superficial y percolación, lo que se encuentra en estrecha relación con la presencia de la napa freática, que puede ser temporal y/o permanente. Asimismo, indica que el drenaje depende de la pendiente, la permeabilidad y la altura de la napa freática. Por otro lado, el drenaje está relacionado con la aireación del suelo, el desarrollo radicular de las plantas, la respiración celular y las reacciones de óxido-reducción. Baird y Cann (2014) aclaran que las diferencias entre los términos de drenaje del suelo y permeabilidad pueden causar cierta confusión. Técnicamente, el drenaje se refiere a la cantidad de oxidación que ocurre en el suelo y la permeabilidad significa el movimiento del agua a través del suelo. Por lo tanto, una arena puede ser muy permeable, pero pobremente drenada, si está en una depresión, mientras que una arcilla puede ser impermeable, pero bien drenada, si está sobre una loma.

Ortiz y Ortiz (1990) mencionan que las principales clases de drenaje son muy pobre, pobre, imperfecto, moderado, normal, ligeramente excesivo y excesivo. Los suelos de drenaje imperfecto se encuentran principalmente en la llanura amazónica, en las áreas depresionadas de la sierra y en las tierras bajas de la costa, a lo largo del litoral. Los suelos que tienen drenaje imperfecto requieren obras de ingeniería para ser habilitadas a la producción agrícola (Ortiz y Ortiz, 1990). El estudio del drenaje es importante porque afecta a la aireación del suelo, determina la aptitud del suelo para los cultivos, afecta el desarrollo radicular, a las reacciones de óxido-reducción y a la respiración radicular. Los problemas de drenaje para fines de irrigación están relacionados con la textura y la profundidad de la napa freática, así como el grado de salinidad (Sys *et al.*, 1991).

Pendiente

Ortiz y Ortiz (1990) definen a la pendiente como la diferencia de nivel entre dos puntos y que se expresa generalmente en porcentaje. El estudio de la pendiente es importante porque esta característica determina el grado de erosión del suelo, influye en el tipo de mecanización a utilizarse en la agricultura, afecta los sistemas de irrigación, determina el escurrimiento superficial del agua, actúa sobre el desarrollo del perfil del suelo y determina la intensidad de la erosión del suelo. La pendiente se refiere generalmente a la gradiente de la zona donde se ubica un perfil a describirse y que las principales clases de esta característica son: llano o casi llano, suavemente inclinado, inclinado, moderadamente escarpado y escarpado (Ortiz y Ortiz, 1990). Sys *et al.* (1991) afirman que el factor topográfico que tiene una influencia dominante sobre una adecuada irrigación es la pendiente y es posible considerar que el rango de las pendientes superficiales en conjunto puede ser tomado como suficiente, pero es conveniente diferenciar entre pendientes con terrazas y pendientes sin terrazas.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

La investigación fue de tipo no experimental, exploratoria y preliminar debido a que se trata de conocer la aptitud de los suelos por su capacidad para el riego, mediante un método de estudio propuesto por Sys *et al.* (1991), sin alterar ni manipular las condiciones naturales de la zona en estudio, basado en la interpretación de las características de los suelos en el momento de la descripción morfológica de los perfiles de acuerdo a lo señalado en la Guía Para la descripción de suelos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2009).

2.1.1. Lugar y fecha de ejecución

El presente estudio se realizó en el predio “La Albufera”, que está ubicado en el paraje “La Albufera”, una de las Reservas Naturales de la región Lima, en el centro poblado de Medio Mundo, perteneciente al distrito de Végueta, provincia de Huaura, en la región Lima. El Distrito de Végueta es uno de los 12 distritos de la Provincia de Huaura y fue creado mediante Ley N° 273 del 23 de agosto de 1920. Está conformado por los caseríos de Mazo, Santa Cruz, Medio Mundo y San Felipe; su población es de 18 265 habitantes y tiene una superficie de 253,94 km², con una densidad de 71,93 km².hab⁻¹ (Instituto Nacional de Estadística e Información [INEI], 2017).

El fundo en estudio se ubica geográficamente entre los paralelos 10° 53' 14'' de latitud sur y 77° 41' 13'' de longitud oeste del Meridiano de Greenwich, con una altura entre 18-34 m, sobre una terraza de origen aluvio-marítimo ocupando un área de 70,5 ha. El ingreso a “La Albufera” es a través de una carretera afirmada que se inicia a la altura del km 175 de la Carretera Panamericana Norte.

De acuerdo con las características climáticas de la zona de Végueta corresponde al tipo climático “semicálido muy seco” (Clasificación de Köppen) o tipo E (d) B'1 (a) H3 (Clasificación de Thornthwaite) (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI], 2020). El área es árida con ausencia de precipitaciones, semicálido relativamente uniforme, presenta nubosidad baja frecuente y elevada humedad relativa, condiciones típicas determinadas por la inversión térmica entre los 600 y 800 m de altura. De acuerdo con la caseta meteorológica de la Estación Experimental Agraria Donoso de Huaral [INIA] (2017, citado por Reynaldo, 2017, p. 22) las temperaturas máximas extremas se presentan en abril (24,8 °C) y la mínima extrema en octubre y diciembre (13,0 °C). Asimismo, existe una amplitud térmica promedio anual entre máximas y mínimas de 11,8 °C. Debido al elevado contraste entre el calentamiento del desierto y las aguas templadas del océano, se forman fuertes vientos cuya velocidad máxima es variable entre 8,9 m.s⁻¹ (agosto) y 6,1 m.s⁻¹ (mayo). La intensidad y frecuencia de estos vientos se incrementa a partir de las 11:00 horas. En cuanto a la dirección, aunque es variable, prevalece la dirección sur oeste (SW) durante todo el año. Por las características evaluadas, el fundo se ubica en la zona de vida de Desierto Desecado subtropical. La bio-temperatura media anual máxima es de 22,2 °C; el promedio de precipitación total por año es de 0,8 mm (Holdridge, 1985). Estas condiciones ecológicas, en las que no existe agua la mayor parte del año, no permite la presencia de una vegetación en sus formas superiores, sólo se observa una esporádica vegetación al ras de suelo compuesta por líquenes y musgos en forma aislada y bastante escasa, mayormente en época invernal.

El área está ubicada en una llanura de interfluvio actual dentro de la formación morfo estructural denominada llanura pre-andina, zona que se halla sometida a la dinámica eólica, constituida por formaciones clásticas cuaternarias, con influencia determinante del batolito andino que presenta rocas ígneas graníticas, compuesta de granito, granodiorita y tonalita. Las arenas tienen una composición mineralógica dominante de cuarzo, además, presenta ortoclasa, hornblenda y plagioclasa en menor proporción (Santos y Fluquer, 2016). La morfología de la zona, debido a la ausencia de vegetación que cohesione los sedimentos, está en función de los procesos erosivos y de sedimentación producidas por la acción del viento, constituyendo un desierto arenoso con sistema de dunas movedizas y barjanas, donde la agricultura intensiva y comercial aún no se ha establecido en el fundo, solo se aprecia

restos de una posible vegetación arbustiva muy antigua identificados en la terraza baja del predio.

El trabajo de investigación tuvo una duración de 12 meses, se inició en el mes de agosto de 2016 y concluyó en agosto de julio de 2017.

2.1.2. Población y muestra

Población

La población estuvo representada por los suelos del fundo “La Albufera”, que tiene una extensión de 70,5 ha, las cuales están consideradas actualmente como tierras eriazas sin uso en la agricultura.

Muestra

La muestra estuvo representada por diez calicatas ubicadas en los puntos de muestreo de acuerdo con el mapa base del fundo “La Albufera”, las mismas que fueron ubicadas al azar en base a la morfología externa que permitió la parcelación aparente del fundo (ver Apéndice 1). En cada punto de muestreo se estudiaron los perfiles y sus horizontes, obteniéndose las muestras de cada uno de ellos con un peso aproximado de 1 kg, las mismas que fueron enviadas al laboratorio para los análisis respectivos.

2.1.3. Técnicas e instrumentos

Para la descripción de los perfiles en los diez puntos de muestreo se hizo uso de la Guía para la Descripción de Suelos de la FAO (2009) y para la interpretación de las características de los suelos se utilizó el Manual para la Descripción y Muestreo de Suelos, propuesto por Schoeneberger *et al.* (2012). La evaluación de los parámetros para el riego considerados en el estudio se hizo de acuerdo con la metodología propuesta por Sys *et al.* (1991).

2.1.4. Descripción de la investigación

El estudio se realizó a través de una secuencia de diversas actividades que no solamente comprendió la investigación de campo, sino que fue complementada con la fase preliminar, fase de laboratorio y fase de gabinete (Mejía, 2019). Los datos obtenidos en el campo y laboratorio fueron analizados interpretados sin producirse alteración alguna según lo propuesto por Hernández *et al.* (2010) y las fases que se tomaron en cuenta para el ordenamiento de las actividades fue de la siguiente manera:

Fase preliminar

Esta primera fase comprendió la recopilación, análisis y evaluación de la información existente con referencia al área en estudio y otros aspectos importantes. En esta fase se elaboró un plano base de la zona en estudio en base al Apéndice 1.

Fase de campo

En esta fase se hizo el reconocimiento general del área en estudio con la finalidad de observar las principales características edáficas, topográficas, hídricas y fisiográficas (Sys *et al.* 1991). Luego se procedió a la ubicación de los puntos de muestreo en base al plano del predio (Tabla 1) en donde se construyeron las 10 calicatas de acuerdo con el mapa base de la zona en estudio (ver Apéndice 1). En cada punto de muestreo se describieron las características de los horizontes de cada perfil de suelo (FAO, 2009), para luego tomarse las muestras para realizar los análisis de laboratorio (ver Apéndice 2).

Tabla 1

Puntos de muestreo

Punto de muestreo	Ubicación	Altitud (m s.n.m.)	Coordenadas UTM	
			Este	Norte
1	Terraza alta	13	206128.91	8794229.69
2	Terraza alta	15	206038.52	8794241.60
3	Terraza alta	17	206513.01	8794181.20
4	Terraza baja	6	206447.19	8794104.26
5	Terraza baja	7	206634.48	8793980.20
6	Terraza baja	6	206945.57	8793582.70

Continuación

7	Terraza baja	6	207037.40	8793346.58
8	Terraza baja	8	207191.57	8793277.86
9	Terraza baja	8	207530.31	8793054.11
10	Terraza baja	8	207781.66	8792832.38

Fuente: Elaboración propia.

Esta fase requirió el uso de un tablero de mano, mapa base del fundo “La Albufera”, bolsas de polietileno de 1 kg, reglas de madera de 1,2 m de longitud, libreta de apuntes, papeles, lápices y lapiceros, borrador, plumones de punta fina y gruesa de color negro, etiquetas, guantes, tabla de colores, cámara fotográfica, calculadora, cinta métrica, herramientas (pico, pala y barretilla).

Fase de laboratorio

Las muestras de suelos tomadas en la fase anterior fueron enviadas al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, donde se realizaron los análisis de caracterización de cada una de las muestras colectadas (ver Apéndice 2).

Fase de gabinete

Consistió en el ordenamiento de los datos obtenidos tanto en la fase de campo (características edáficas) como en la fase de laboratorio (análisis físico-mecánico y químico de las muestras), y su posterior interpretación para el agrupamiento de las unidades de suelos de acuerdo con las características consideradas en la determinación de la aptitud de los suelos para el riego de acuerdo al sistema paramétrico propuesto por Sys *et al.* (1991), que considera el estudio del suelo en base de los parámetros: (a) físico-mecánicos: textura, profundidad, contenido de CaCO_3 y contenido de CaSO_4 ; (b) químicos: salinidad y alcalinidad del suelo; (c) hídricos: drenaje y (d) ambientales: pendiente. En la fase de gabinete se redactó el informe final y se elaboró el mapa de clasificación de los suelos de acuerdo con el sistema de clasificación considerado en este estudio. Para ello, se tomaron las coordenadas de los 10 puntos muestreados usando un GPS portátil (GPSMAP® 62S Garmin), con datum WGS84 y sistema de coordenada UTM 18S. Se diseñó el plano de ubicación mediante el programa AutoCAD® 2020, con una escala 1/1000. Para el plano de clasificación de los suelos del fundo “La Albufera” se ha empleado el método de Sys y Verheye (1981), usando el datum

WGS84 y sistema de coordenada UTM 18S, mientras que el área fue interpolada mediante el método de interpolación de kriging ordinario en ArcGIS® 10,8 y posteriormente calculada con la herramienta *Measure* de ArcGIS® 10,8.

2.1.5. Identificación de las variables y su mensuración (Metodología)

Los parámetros considerados en el estudio del predio “La Albufera” fueron las características físico-mecánicas, químicas y ambientales relacionadas con la aptitud del suelo para el riego. Algunas de las características fueron tomadas en el campo (profundidad del suelo, drenaje y pendiente) y otras fueron analizadas en el laboratorio (textura, carbonatos y sulfatos de calcio, salinidad y alcalinidad), tal como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2

Variables en estudio y su mensuración (Metodología)

Variables en Estudio	Unidades de medida	Método
1. Variables físico-mecánicas		
a) Textura del suelo	Clase textural	Hidrómetro de Bouyoucos
b) Profundidad del suelo	Centímetros	Visual
c) Contenido de CO ₃ Ca	Porcentual	Neutralización ácida con HCl
d) Contenido de SO ₄ Ca	Porcentual	Nelson
2. Variables químicas		
e) Salinidad del suelo	dS.m ⁻¹	Conductímetro
f) Sodicidad (alcalinidad) del suelo	% de Na ⁺ (PSI)	Fotómetro de llama
3. Variables hídricas		
a) Drenaje	Tipo	Visual
4. Variables ambientales		
a) Pendiente	Porcentual	Eclímetro

Fuente: Elaboración propia.

2.1.6. Análisis de datos

Los análisis de datos se hicieron en base al método paramétrico de clasificación de los suelos por aptitud para el riego (Sys *et al.*, 1991). La Tabla 3 muestra los rangos de capacidad para la evaluación de la textura de los suelos en estudio.

Tabla 3*Rangos de capacidad para las clases texturales para fines de irrigación*

Clase textural	>15 % de grava	Rangos porcentuales			
		Grava fina		Grava gruesa	
		15-40 %	45-74 %	15-40 %	45-74 %
CL, SicL	100	90	80	80	50
SCL	95	85	75	75	45
L, SiL, Si	90	80	70	70	45
SiC+C - 60 %	85	95	80	80	40
SC	80	90	75	75	35
SL	75	65	60	60	35
C+C + 60 %	65	65	55	55	30
S	45	30	30	30	25

Fuente: Sys et al. (1991).

Donde:

- CL = Franco arcilloso
- SiCL = Franco arcillo limoso
- SCL = Franco arcillo arenoso
- L = Franco
- SiL = Franco limoso
- Si = Limoso
- SiC+C-60 % = Arcillo limoso con arcilla menos del 60 %
- SL = Franco arenoso
- C+60 % = Más del 60 % de arcilla
- LS = Arena franca
- S = Arena

En la Tabla 4 se indica la evaluación con respecto a los cinco rangos de profundidad de los suelos en estudio.

Tabla 4*Rangos de la profundidad para fines de irrigación*

Profundidad del suelo (cm)	Rangos
< de 15 cm	60
de 16 a 30	70
de 31 a 60	80
de 61 a 100	90
> de 100	100

Fuente: Sys et al. (1991).

Los rangos para la evaluación del contenido de carbonatos de calcio presente en los suelos del fundo “La Albufera” están indicados en la Tabla 5.

Tabla 5*Rangos para el contenido de carbonato de calcio con fines de irrigación*

Contenido de CaCO ₃ (%)	Rangos
> de 50	80
de 25,1 a 50	90
de 10,1 a 25	100
de 0,3 a 10	95
< de 0,3	90

Fuente: Sys et al. (1991).

Los cinco rangos para la evaluación del contenido de sulfatos de calcio están mostrados en la Tabla 6.

Tabla 6*Rangos para el contenido de sulfato de calcio con fines de irrigación*

Contenido de CaSO ₄ (%)	Rangos
> de 50	30
de 25,1 a 50	60
de 10,1 a 25	85
de 0,1 a 10	100
< de 0,1	90

Fuente: Sys et al. (1991).

En la Tabla 7 se muestran los rangos para la evaluación del porcentaje de sodio (Alcalinidad intercambiable en relación con la conductividad eléctrica (salinidad)).

Tabla 7*Rangos de la salinidad y alcalinidad para fines de irrigación*

PSI (%)	C.E. (dS.cm ⁻¹)					
	0-4	4-8	8-16	16-30	> 30	
0-8	100	95	90	85	80	
8-15	100*	90	85	80	70*	60*
	95	90*	80*	70*	60*	50*
15-30	90	85	80	75	70	
	80*	70*	60*	50*	40*	
> 30	85	80	75	70	65	
	70*	60*	50*	40*	30*	

Fuente: Sys et al. (1991). () Arcilla (C), arcilla limosa (SiC) y arcilla arenosa (SC), siglas en inglés*.*

* Arcilla: clay (C); Arcilla limosa (SiC): silty clay; Arcilla arenosa (SC): Sandy clay.

La Tabla 8 muestra los rangos porcentuales para la evaluación de la pendiente en función a la ausencia o presencia de terrazas.

Tabla 8

Rangos de la pendiente para fines de riego

Clases de Pendiente (%)	Rangos	
	Sin terrazas	En terrazas
0,0-1,0	100	100
1,0-3,0	95	95
3,1-5,0	90	95
5,1-8,0	80	95
8,1-16,0	70	85
16,1-30,0	50	70
> 30,0	30	50

Fuente: Sys et al. (1991).

Los rangos porcentuales para la evaluación del drenaje con relación a la textura del suelo y a la salinidad de la napa freática están mostrados en la Tabla 9.

Tabla 9

Clases de drenaje en relación con la textura y la salinidad de la napa freática

Clases de drenaje	Rangos			
	Arcilla, Arcilla limosa, Franco arcillo limoso		Otras texturas	
	Napa Salina	Napa no salina	Napa salina	Napa no salina
Suelos bien drenados:				
Gleificación a más de 3 m	100	100	100	100
- De 2 a 3 m	95	85	100	95
- De 1,2 a 2 m	90	75	95	90
Suelos moderadamente bien drenados:				
- Gleificación de 80 a 120 cm				
Suelos imperfectamente drenados:	80	50	90	70
- Gleificación de 40 a 80 cm				
Suelos pobremente drenados:	70	35	80	60
- Gleificación a menos de 40 cm				
Suelos muy pobremente drenados:	40	20	65	30
- Horizonte de reducción < 40 cm				

Fuente: Sys et al. (1991).

En la Tabla 10 se indican los rangos porcentuales para la determinación de los índices de capacidad con las clases respectivas.

Tabla 10

Índices de capacidad, clases y definiciones

Índice de capacidad (Ci)	Clase	Definición
> 70,0	I	Excelente
50,1-70,0	II	Apropiado
35,1-50,0	III	Moderadamente apropiado
20,1-35,0	IV	Casi inapropiado
< 20,0	V	Inapropiado

Fuente: Sys *et al.* (1991).

Los índices de capacidad (Ci) de acuerdo con Sys *et al.* (1991) que están señalados en la Tabla 10, fueron calculados la siguiente ecuación (Ecuación 3):

$$Ci = A \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \frac{D}{100} \times \frac{E}{100} \times \frac{F}{100} \times \frac{G}{100}$$

Donde:

Ci = Índice de capacidad para irrigación

A = Rangos porcentuales para la textura del suelo

B = Rangos porcentuales para la profundidad del suelo

C = Rangos porcentuales de la condición del carbonato de calcio en el suelo

D = Rangos porcentuales de la condición del sulfato de calcio en el suelo

E = Rangos porcentuales para la salinidad/alcalinidad

F = Rangos porcentuales para el tipo del drenaje

G = Rangos porcentuales para la pendiente

Las clases señaladas tienen con factores limitantes a las siguientes subclases:

s: Limitaciones debidas a las propiedades físicas del suelo (A, B, C y D)

n: Limitaciones debidas a la salinidad y/o alcalinidad (E)

w: Limitaciones debidas a la humedad (F)

t: Limitaciones debidas a la topografía (G)

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Descripción morfológica de los perfiles del suelo del fundo “La Albufera”

3.1.1. Unidades de suelos

Sobre la base de la descripción de los perfiles de suelos de cada una de las calicatas construidas en los diez puntos de muestreo, los suelos en estudio fueron agrupados en cuatro unidades de suelos (US) de la siguiente manera:

Unidad I: Suelos moderadamente profundos ubicados en la terraza alta

Calicata 01	Hor.	Prof. (cm)	Características
	C1	0-35	Arena franca, marrón (7.5YR 5/4) en seco, grano simple, pH ligeramente ácido (6,43), alta salinidad (55,5 dS.m ⁻¹), muy bajo en materia orgánica (MO) (2,2 g.kg ⁻¹), bajo en fósforo (P) (4,9 mg.kg ⁻¹) y alto en potasio (K) (2 585 mg.kg ⁻¹) disponibles, friable, difuso.
	C2	> 35	Arena, marrón oscuro (7.5YR 4/4), en seco, grano simple, pH neutro (6,79), alta salinidad (55,1 dS.m ⁻¹), friable. Muy bajo en MO (2,1 g.kg ⁻¹), bajo en P (1,5 mg.kg ⁻¹) y alto en K (2 040 mg.kg ⁻¹) disponibles, friable.

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

..

Calicata 02	Hor.	Prof. (cm)	Características
	C1	0-30	Arena, olivo pálido (5Y 6/3) en seco, grano simple, pH neutro (7,25), alta salinidad (44,7 dS.m ⁻¹), muy bajo en MO (2,2 g.kg ⁻¹), bajo en P (4,5 mg.kg ⁻¹) y alto en K (1 508 mg.kg ⁻¹) disponibles, friable, difuso.
	C2	> 30	Arena franca, marrón (7.5YR 5/3), en seco, grano simple, pH neutro (6,79), alta salinidad (49,8 dS.m ⁻¹), Muy bajo en MO (0,4 g.kg ⁻¹), bajo en P (4,4 mg.kg ⁻¹) y alto en K (1 768 mg.kg ⁻¹) disponibles, friable.

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

Calicata 03	Hor.	Prof. (cm)	Características
	C1	0-50	Arena franca, marrón amarillento, (7.5YR 4/6) en seco, grano simple, gravoso, pH ligeramente básico (7,49), alta salinidad (38,6 dS.m ⁻¹), muy bajo en MO (1,7 g.kg ⁻¹), bajo en P (3,8 mg.kg ⁻¹) y alto en K (1 084 mg.kg ⁻¹) disponibles, friable, difuso.
	C2	> 50	Arena, gris (5YR 5/1), en seco, grano simple. pH ligeramente básico (8,03), moderada salinidad (11,72 dS.m ⁻¹). Muy bajo en MO (1,2 g.kg ⁻¹), bajo en P (1,2 mg.kg ⁻¹) y alto en K (482 mg.kg ⁻¹) disponibles, friable.

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

Unidad II: Suelos muy superficiales ubicados en la terraza baja

Calicata 06	Hor.	Prof. (cm)	Características
	C1	0-12	Arena franca, gris oscuro (10YR 4/1) en ligeramente húmedo, grano simple, pH ligeramente básico (7,89), muy alta salinidad (34,2 dS.m ⁻¹), muy bajo en MO (1,7 g.kg ⁻¹), bajo en P (3,4 mg.kg ⁻¹) y alto en K (1 074 mg.kg ⁻¹), friable, abrupto.
	C2	12-25	Arena, marrón pálido (10YR 6/3) en seco, grano simple. pH fuertemente básico (8,61), moderada salinidad (9,43 dS.m ⁻¹), Muy bajo en MO (0,6 g.kg ⁻¹), bajo en P (2,1 mg.kg ⁻¹) y alto en K (2 040 mg.kg ⁻¹) disponibles, friable.

Figura 4. Fotografía y descripción del perfil 06. Fuente: Elaboración propia

Calicata 07	Hor.	Prof. (cm)	Características
	C1	0-10	Arena, gris (10YR 5/1) en seco, grano simple con grava, pH ligeramente básico (7,73), alta salinidad (23,6 dS.m ⁻¹), muy bajo en MO (2,1, g.kg ⁻¹), bajo en P (4,5 mg.kg ⁻¹) y alto en K (512 mg.kg ⁻¹) disponibles, friable, difuso.
	C2	> 10	Arena, marrón (10YR 4/3) en seco, grano simple. pH moderadamente básico (8,12), moderada salinidad (8,58 dS.m ⁻¹). Muy bajo en MO (0,6 g.kg ⁻¹), bajo en P (2,4 mg.kg ⁻¹) y alto en K (180 mg.kg ⁻¹) disponibles, friable.

Figura 5. Fotografía y descripción del perfil 07. Fuente: Elaboración propia

Calicata 10	Hor.	Prof. (cm)	Características
	C1	0-15	Arena, marrón oscuro (10YR 4/3) en seco, grano simple, pH ligeramente básico (7,43), alta salinidad (42,0 dS.m ⁻¹), muy bajo en MO (2,4 g.kg ⁻¹), bajo en P (4,5 mg.kg ⁻¹) y alto en K (605 mg.kg ⁻¹) disponibles, friable, abrupto.
	C2	> 15	Arena, marrón oscuro (7.5YR 4/0), en seco, grano simple. pH moderadamente básico (8,24), moderada salinidad (6,04 dS.m ⁻¹), muy bajo en MO (1,6 g.kg ⁻¹), bajo en P (3,1 mg.kg ⁻¹) y medio en K (159 mg.kg ⁻¹) disponibles, friable.

Figura 6. Fotografía y descripción del perfil 10. Fuente: Elaboración propia

Unidad III: Suelos superficiales ubicados en la terraza baja

Calicata 04	Hor.	Prof. (cm)	Características
	C1	0-25	Arena franca, gris (5YR 5/1) en seco, grano simple, pH moderadamente básico (8,10), alta salinidad (24,7 dS.m ⁻¹), muy bajo en MO (1,6 g.kg ⁻¹), bajo en P (2,7 mg.kg ⁻¹) y alto en K (836 mg.kg ⁻¹) disponibles, friable, abrupto.
	C2	> 25	Arena, marrón pálido (10Y 6/3) en seco, grano simple. pH moderadamente básico (7,96), baja salinidad (1,54 dS.m ⁻¹), Muy bajo en MO (1,0 g.kg ⁻¹), bajo en P (2,1 mg.kg ⁻¹) y medio en K (134 mg.kg ⁻¹) disponibles, friable.

Figura 7. Fotografía y descripción del perfil 04. Fuente: Elaboración propia

Unidad IV: Suelos moderadamente profundos ubicados en la terraza baja

Calicata 05	Hor.	Prof. (cm)	Características
	C1	0-33	Arena, marrón (10YR 5/3) en seco, grano simple, pH ligeramente básico (7,54), alta salinidad (14,57 dS.m ⁻¹), muy bajo en MO (1,6 g.kg ⁻¹), bajo en P (2,2 mg.kg ⁻¹) y alto en K (329 mg.kg ⁻¹) disponibles, friable, difuso.
	C2	> 33	Arena, marrón (10YR 5/3) en seco, grano simple, pH ligeramente básico (7,54), alta salinidad (14,57 dS.m ⁻¹), muy bajo en MO (1,6 g.kg ⁻¹), bajo en P (2,2 mg.kg ⁻¹) y alto en K (329 mg.kg ⁻¹) disponibles, friable, difuso.

Figura 8. Fotografía y descripción del perfil 05. Fuente: Elaboración propia

Calicata 08	Hor.	Prof. (cm)	Características
	C1	0-31	Arena, marrón oscuro (7.5YR 4/4) en seco, grano simple, pH ligeramente básico (7,71), alta salinidad (29 dS.m ⁻¹), muy bajo en MO (1,7 g.kg ⁻¹), bajo en P (2,4 mg.kg ⁻¹) y alto en K (569 mg.kg ⁻¹) disponibles, friable, difuso.
	C2	> 31	Arena con grava, marrón oscuro (10YR 4/1) en seco, grano simple. pH moderadamente básico (8,02), moderada salinidad (10,54 dS.m ⁻¹), bajo en MO (2,0 g.kg ⁻¹), bajo en P (1,9 mg.kg ⁻¹) y alto en K (259 mg.kg ⁻¹) disponibles, friable.

Figura 9. Fotografía y descripción del perfil 08. Fuente: Elaboración propia

Calicata 09	Hor.	Prof. (cm)	Características
	C1	0-36	Arena, marrón oscuro (7.5YR 3/2) en seco, grano simple, pH ligeramente básico (7,75), alta salinidad (1,92 dS.m ⁻¹), muy bajo en MO (1,1 g.kg ⁻¹), bajo en P (1,3 mg.kg ⁻¹) y alto en K (305 mg.kg ⁻¹), friable, abrupto.
	C2	> 36	Arena con grava fina, marrón oscuro (10YR 4/1) en seco, grano simple, pH moderadamente básico (8,33), moderada salinidad (8,22 dS.m ⁻¹), bajo en MO (1,8 g.kg ⁻¹), bajo en P (2,5 mg.kg ⁻¹) y alto en K (172 mg.kg ⁻¹) disponibles, friable.

Figura 10. Fotografía y descripción del perfil 09. Fuente: Elaboración propia

3.2. Análisis de las características de los suelos del fundo “La Albufera”

La evaluación paramétrica de los perfiles estudiados fue hecha teniendo en cuenta los parámetros señalados por Sys *et al.* (1991), de la siguiente manera:

3.2.1. Evaluación de la textura

Los resultados de la evaluación de la textura cuyos rangos fueron variables se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11

Evaluación de la textura y rangos texturales

Nº Calicata	Horizonte	Prof. (cm)	Textura	Rango
01	C1	25	Arena franca (55)	47,50
	C2	75	Arena (45)	
02	C1	27	Arena (55)	52,3
	C2	73	Arena franca (55)	
03	C1	25	Arena franca (55)	47,50
	C2	75	Arena (45)	

Continuación

04	C1	25	Arena (45)	45,00
	C2	75	Arena (45)	
05	C1	10	Arena (45)	45,00
	C2	90	Arena (45)	
06	C1	12	Arena (45)	45,00
	C2	88	Arena (45)	
07	C1	10	Arena (45)	45,00
	C2	90	Arena (45)	
08	C1	32	Arena (45)	45,00
	C2	68	Arena (45)	
09	C1	38	Arena (45)	45,00
	C2	62	Arena (45)	
10	C1	15	Arena (45)	45,00
	C2	85	Arena (45)	

Fuente: Elaboración propia.

El horizonte C1 mostró una textura de arena (80 %) y arena franca (20 %); mientras que el horizonte C2 reveló una textura de arena (90 %) y arena franca (10 %) (Tabla 11). Adicionalmente, ambos horizontes tuvieron rangos texturales entre 45,00 y 52,30.

3.2.2. Evaluación de la profundidad efectiva

La Tabla 12 muestra los resultados de la evaluación paramétrica de la profundidad efectiva, cuyos rangos variaron de 60 a 80.

Tabla 12

Profundidad efectiva

Calicata N°	Profundidad efectiva (cm)	Rango
01	25	70
02	27	70
03	25	70
04	25	70
05	10	60
06	12	60
07	10	60
08	32	80
09	38	80
10	15	60

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. Evaluación del contenido de carbonato de calcio

La Tabla 13 muestra la evaluación paramétrica de contenido de carbonatos de calcio (CaCO_3) en relación con el contenido de sulfato de calcio (CaSO_4), cuyos rangos no fueron variables: 95 para CaCO_3 (0,35-2,40 %) y 100 para CaSO_4 (0,107-1,555 %).

Tabla 13

Contenido de carbonato y sulfatos de calcio

Calic. N°	Horizonte	Prof. (cm)	CaCO_3 (%)	Rango	CaSO_4 (%)	Rango
01	C1	25	0,35	95	0,439	100
02	C1	27	2,40	95	0,425	100
03	C1	25	2,20	95	0,260	100
04	C1	25	0,50	95	0,281	100
05	C1	10	0,60	95	0,107	100
06	C1	12	0,50	95	0,260	100
07	C1	10	0,60	95	1,555	100
08	C1	32	0,70	95	0,176	100
09	C1	38	1,00	95	0,112	100
10	C1	15	1,10	95	0,318	100

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4. Evaluación de la salinidad y alcalinidad

Los resultados de la evaluación paramétrica de la salinidad y alcalinidad están mostrados en la tabla 14, donde se aprecia que el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) estuvo en un rango de 2,50 % y 6,56 %; la conductividad eléctrica (CE) mostró valores de 14,6 ds.m⁻¹ y 55,5 ds.m⁻¹; y los rangos encontrados variaron de 80 a 90.

Tabla 14

Salinidad y alcalinidad

Calicata N°	Horizonte	Prof. (cm)	PSI* (%)	C.E.** (dS.m ⁻¹)	Rango
01	C1	25	4,38	55,5	80
02	C1	27	4,83	47,7	80

Continuación

03	C1	25	3,13	38,6	80
04	C1	25	2,50	14,6	90
05	C1	10	2,84	34,2	80
06	C1	12	2,81	23,6	85
07	C1	10	3,13	42,0	80
08	C1	32	6,56	24,7	85
09	C1	38	4,06	29,9	85
10	C1	15	3,13	42,0	80

Fuente: Elaboración propia. *PSI: Porcentaje de sodio intercambiable. ** C.E.: Conductividad eléctrica.

3.2.5. Evaluación del drenaje

La Tabla 15 contiene los rangos de la evaluación del drenaje con respecto a la clase textural y la napa freática. Los resultados mostraron que el drenaje fue bueno (100 %), las clases texturales dominantes fueron arena (80 %) y arena franca (20 %), la napa freática fue profunda (100 %) y los rangos no mostraron variación alguna (100).

Tabla 15

Evaluación del drenaje con relación a la clase textural y la napa freática

Calicata N°	Clase de drenaje	Clase textural	Napa freática	Rango
01	Bueno	Arena franca	Profunda	100
02	Bueno	Arena	Profunda	100
03	Bueno	Arena franca	Profunda	100
04	Bueno	Arena	Profunda	100
05	Bueno	Arena	Profunda	100
06	Bueno	Arena	Profunda	100
07	Bueno	Arena	Profunda	100
08	Bueno	Arena	Profunda	100
09	Bueno	Arena	Profunda	100
10	Bueno	Arena	Profunda	100

Fuente: Elaboración propia.

3.2.6. Evaluación de la pendiente

La evaluación de la pendiente con relación al relieve de los suelos de la zona en estudio no mostró variación alguna (terrace, ligeramente ondulada en un rango de 95 para todos los casos), tal como se aprecia en la Tabla 16.

Tabla 16*Pendiente y relieve del suelo*

Calicata N°	Pendiente (%)	Relieve	Rango
01	8	Terraza, ligeramente ondulada	95
02	7	Terraza, ligeramente ondulada	95
03	8	Terraza, ligeramente ondulada	95
04	5	Terraza, ligeramente ondulada	95
05	6	Terraza, ligeramente ondulada	95
06	6	Terraza, ligeramente ondulada	95
07	8	Terraza, ligeramente ondulada	95
08	8	Terraza, ligeramente ondulada	95
09	7	Terraza, ligeramente ondulada	95
10	8	Terraza, ligeramente ondulada	95

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Clases de aptitud para el riego

3.3.1. Determinación de las clases de aptitud de los suelos del fundo “La Albufera”

La Tabla 17 muestra los resultados referentes a los índices de capacidad para el riego (Ci) de los suelos del fundo “La Albufera”, donde se observa que estos índices variaron desde 19,49 hasta 27,62. De igual manera, se observa que los suelos se clasificaron en: (i) clase IV (definida como “casi inapropiado”), en el 70 % de las calicatas y con Ci de 25,14 en promedio (rango de 20,71 a 27,62); y (ii) clase V (definida como “inapropiado”), en 30 % de las calicatas tomadas (calicatas 5, 7 y 10) y con un Ci de 19,49 en promedio (Tabla 17).

Tabla 17*Índices de capacidad para el riego*

Calic. N°	Textura A	Prof. B	CaCO₃ C	CaSO₄ D	Al/Sa E	Dren. F	Pend. G	Ci	Clase	Sub-clase
01	47,50	70	95	100	80	100	95	24,01	IV	IVsn
02	52,30	70	95	100	80	100	95	26,43	IV	IVsn
03	47,50	70	95	100	80	100	95	24,01	IV	IVsn
04	45,00	70	95	100	90	100	95	25,59	IV	IVsn
05	45,00	60	95	100	80	100	95	19,49	V	Vsn
06	45,00	60	95	100	85	100	95	20,71	IV	Vsn
07	45,00	60	95	100	80	100	95	19,49	V	Vsn
08	45,00	80	95	100	85	100	95	27,62	IV	IVsn

Continuación

09	45,00	80	95	100	85	100	95	27,62	IV	IVsn
10	45,00	60	95	100	80	100	95	19,49	V	Vsn

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a las subclases, todas las calicatas (100 %) fueron clasificadas con las siglas sn, lo que indica la presencia de dos limitaciones: (i) s, con limitaciones atribuidas a las propiedades físicas del suelo, como textura (A), profundidad (B), CaCO₃ (C) y CaSO₄ (D); y (ii) n, con limitaciones debidas a la salinidad y/o alcalinidad (E) (Tabla 17).

3.3.2. Elaboración del mapa de clasificación de los suelos del fundo “La Albufera”

En la Figura 11 está representado el mapa de clasificación de los suelos del fundo “La Albufera”, el cual incluye las categorías de aptitud que tienen los suelos en estudio: (i) la categoría IVsn (área continua de color verde claro) estuvo representada por suelos “casi inapropiados” para la irrigación, con una extensión de 55,7 ha (79 %), y severas limitaciones debido a la textura, la profundidad efectiva y la salinidad; y (ii) la categoría Vsn (tres zonas aisladas de color rosado) estuvo caracterizada por suelos “inapropiados” para la irrigación, con una extensión de 14,8 ha (21 %) y severas limitaciones debido a la textura muy gruesa, la escasa profundidad efectiva y la alta salinidad.

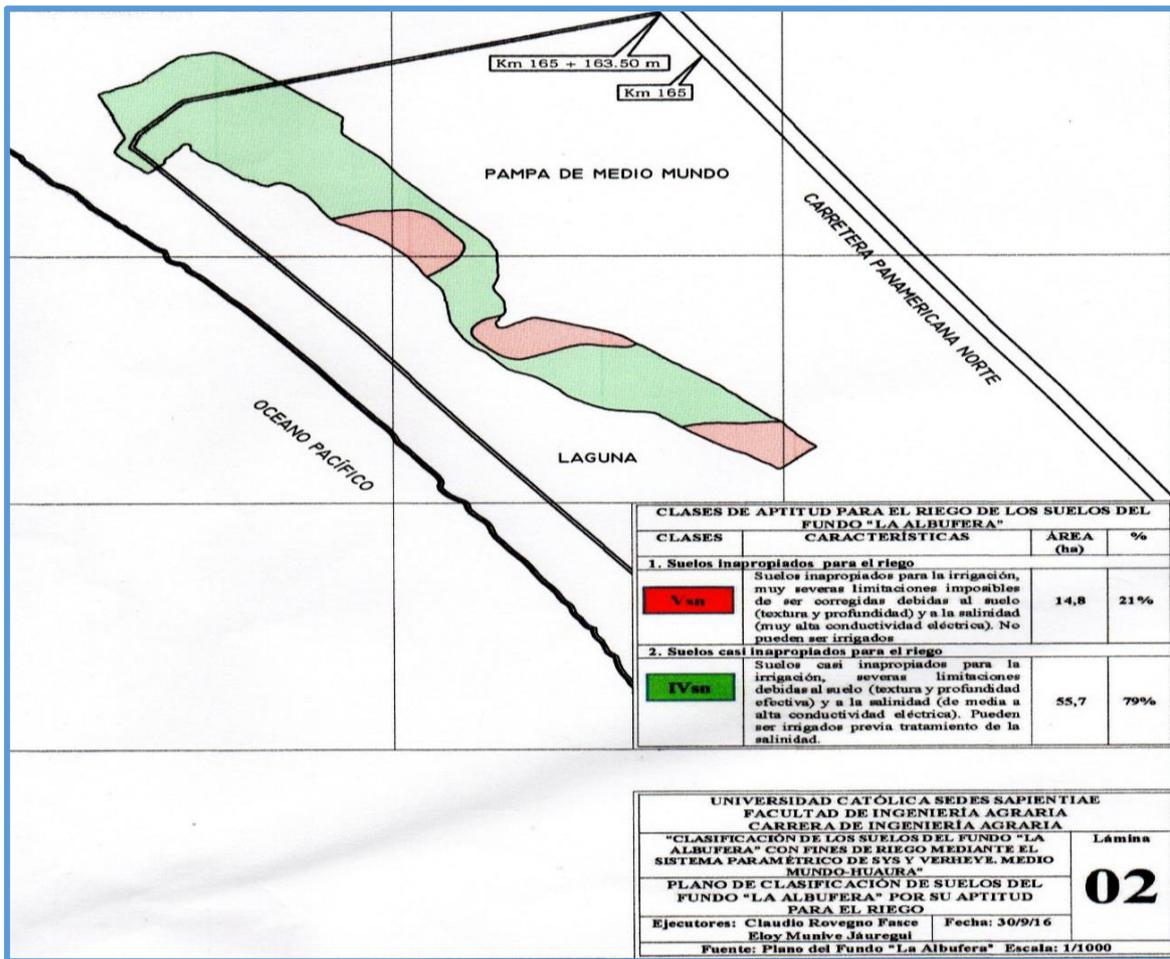


Figura 11. Plano de clasificación por aptitud para el riego de los suelos del fundo "La Albufera". Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: DISCUSIONES

4.1. Descripción de los suelos

La descripción de los diez perfiles de suelos del fundo “La Albufera” ha permitido encontrar cinco unidades de suelos determinados en base a las características generales y a la descripción de los perfiles *in situ*:

4.1.1. Evaluación de los perfiles de suelos

Unidad I - suelos moderadamente profundos ubicados en la terraza alta: Los resultados del análisis de estos suelos son presentados en el Apéndice 2 y están identificados por las calicatas 01, 02 y 03. Son suelos de textura arenosa, con presencia de aproximadamente 5 % de gravilla en el perfil, afectado por sales solubles en todo el perfil, de reacción neutra a fuertemente alcalina, con presencia de niveles bajos de calcáreo en el perfil. Muy pobres de materia orgánica, fósforo disponible y altos en potasio disponible. La CIC es muy baja, por el bajo contenido de coloide arcillo húmico, siendo el catión dominante el calcio y el sodio no presenta mayor problema de alcalinidad. Por las características morfológicas, físicas y químicas de estos suelos son clasificados como capacidad de uso tipo A3slfcCP y de acuerdo con el Soil Taxonomy son del orden Aridisols suborden Salids.

Unidad II - suelos muy superficiales ubicados en la terraza baja: Los resultados del análisis de estos suelos están presentados en el Apéndice 2 y están identificados por las calicatas 06, 07 y 10 con sus respectivos horizontes. Son suelos de textura arenosa, con presencia de aproximadamente 5 % de gravilla (en algunos casos), afectado ligeramente por sales solubles en todo el perfil, sin reacción alcalina, con presencia de niveles bajos de calcáreo en el perfil. Muy pobres de materia orgánica, fósforo disponible y altos en potasio disponible. La CIC es muy baja, por el bajo contenido de coloide arcillo-húmico, siendo el catión dominante el calcio y el sodio no presenta mayor problema. Por las características morfológicas, físicas y

químicas de estos suelos son clasificados como capacidad de uso tipo A3slfcCP y de acuerdo con el Soil Taxonomy son del orden Aridisols suborden Salids.

Unidad III - suelos superficiales ubicados en la terraza baja: Los resultados de los análisis de estos suelos son presentados en el Apéndice 2 y están representados por la calicata 04 y sus respectivos horizontes. Son suelos de textura arenosa, con presencia de aproximadamente 5 % de gravilla en el perfil, ligeramente afectado por sales solubles en todo el perfil, sin reacción alcalina, con presencia en niveles bajos de calcáreo en el perfil. Muy pobres de materia orgánica, fósforo disponible y medios potasio disponible. La CIC es muy baja, por el bajo contenido de coloide arcillo húmico, siendo el catión dominante el calcio y el sodio no presenta mayor problema. Por las características morfológicas, físicas y químicas de estos suelos son clasificados como capacidad de uso tipo A3slfcCP y de acuerdo con el Soil Taxonomy son del orden Aridisols suborden Salids.

Unidad IV - suelos moderadamente profundos ubicados en la terraza baja: Los resultados de los análisis son presentados en el Apéndice 2 y están representados por las calicatas 05, 08 y 09, con sus respectivos horizontes. Son suelos de textura arenosa, con presencia de aproximadamente 5 % de gravilla en el perfil; afectado por sales solubles en todo el perfil, de reacción básica, con presencia baja de calcáreo en el perfil. Muy pobres de materia orgánica, fósforo disponible y altos en potasio disponible. La CIC es muy baja, por el bajo contenido de coloide arcillo húmico, siendo el catión dominante el calcio y el sodio no presentan mayor problema. Por las características morfológicas, físicas y químicas de estos suelos son clasificados como capacidad de uso tipo A3slfcCP y de acuerdo con el Soil Taxonomy son del orden Aridisols suborden Salids.

Las características encontradas en los cuatro grupos de suelos tienen mucha similitud con los resultados obtenidos por Ventocilla (2015), quien evaluó la fertilidad de los suelos del predio “Fundo Nuevo” en la localidad de Medio Mundo, distrito de Végueta, y encontró suelos desde muy superficiales a superficiales, con bajo contenido de materia orgánica, de reacción básica y con fósforo y potasio disponibles de bajos a medio, con una CIC de muy baja a baja, con riesgo moderado de erosión, con la excepción que no encontró exceso de

sales ($<0,25 \text{ dS.m}^{-1}$). Del mismo modo, también clasificó a esos suelos como tierras aptas para cultivo en limpio (A), en las subclases A2 y A3 por su capacidad de uso mayor con limitaciones debidas a los factores suelo y fertilidad. Por otro lado, Silva (2020) realizó un estudio de suelos a dos profundidades (suelo superficial, de 0 a 20 cm, y suelo subterráneo, de 20 a 60 cm) en el transecto Huaaura-Mazo, que incluía el distrito de Végueta, y halló que la salinidad promedio era mayor en el suelo subterráneo (20-60 cm: $0,21-1,06 \text{ dS.m}^{-1}$) que en el suelo superficial (0-20 cm: $0,33-0,62 \text{ dS.m}^{-1}$), valores que se encuentran muy por debajo de los resultados encontrados en esta investigación ($14,6 \text{ dS.m}^{-1}$ y $55,5 \text{ dS.m}^{-1}$).

En cuanto a los carbonatos, se distribuyeron de manera similar en promedio tanto para el suelo superficial (0-20 cm: 1,9-10,0 %) como el subterráneo (20-60 cm: 2,1-12,4 %) (Silva, 2020), mientras que los valores estimados en este estudio estuvieron por debajo de los datos anteriormente mencionados (0,35-2,40 % para CaCO_3 y 0,107-1,555 % para CaSO_4). Sobre la textura, fue principalmente franco arcillosa (50 %), seguido de franco-arenosa (19 %), franco arcillo arenosa (13 %), arena franca (6 %) y arcilla (6%) (Silva, 2020), lo que difiere del presente estudio, ya que la textura arenosa fue predominante en las calicatas tomadas. Con respecto al contenido de materia orgánica, fue mayor en la capa superficial (0-20 cm: 0,96-1,19 %) que subterránea (20-60 cm: 0,48-0,94 %) (Silva, 2020), mientras que en este estudio los valores de materia orgánica son mucho menores (0,07-0,37 %). Cabe resaltar que se realizó una conversión porcentual de los valores de materia orgánica (expresados originalmente en g.kg^{-1}) mediante la siguiente ecuación: $\% \text{ MO} = \text{COT} * 1.724$, donde MO: materia orgánica (en %) y COT: C orgánico total (en g.kg^{-1}).

Con relación al contenido de fósforo disponible, fue mayor en el suelo superficial (0-20 cm: $5,8-20,8 \text{ mg.kg}^{-1}$) que subterráneo (20-60 cm: $2,7-17,2 \text{ mg.kg}^{-1}$) (Silva, 2020), en tanto que los valores reportados en esta investigación estuvieron muy por debajo de los resultados antes mencionados ($1,2-4,9 \text{ mg.kg}^{-1}$). Sobre el contenido de potasio disponible, fue mayor en el suelo superficial (0-20 cm: $42-161 \text{ mg.kg}^{-1}$) que subterráneo (20-60 cm: $52-182 \text{ mg.kg}^{-1}$) (Silva, 2020), lo que contrasta ampliamente con los valores reportados en este estudio ($172-2585 \text{ mg.kg}^{-1}$).

4.2. Análisis de los parámetros físico, químicos, hídricos y ambientales

4.2.1. Clases texturales

De acuerdo con el sistema paramétrico de clasificación de tierras con fines de riego propuesto por Sys y Verheye (1980), las clases texturales fueron evaluadas hasta la profundidad de un metro. En las unidades de suelos del predio “La Albufera” se han encontrado las clases texturales arena franca y arena, con un amplio predominio de las texturas gruesas en los horizontes de todos los perfiles estudiados, no encontrándose horizontes con texturas finas, lo cual indica el escaso desarrollo pedogenético de los suelos de la zona en estudio.

Los porcentajes de gravas encontradas en algunos perfiles fueron $< 15 \%$. Al respecto, Rücknagel *et al.* (2013) mencionan que los niveles de contenido de grava del 10 % en volumen resultan en una tendencia hacia el aumento de la tensión de precompresión para las clases texturales arcilla, franco limoso y franco arenoso. Sys *et al.* (1991) agregan que la textura juega un papel muy importante en la estructura física del suelo, al facilitar el paso del aire y agua y al formar espacios mayores entre las partículas. Además, los valores de la textura están estrechamente relacionados con la permeabilidad y el contenido de agua asimilable que tienen las diferentes clases texturales. Adicionalmente, Da Costa *et al.* (2013) afirman que la retención de agua es mayor en suelos arcillosos y limosos que con un alto contenido de materia orgánica. Los rangos de textura obtenidos como resultados de la evaluación de cada uno de los horizontes que conforman los perfiles variaron de 45,0 a 52,3, correspondiendo los valores más bajos para aquellos suelos textura muy gruesa (arena) y horizonte superior muy superficial mientras que los valores más altos se encontraron en suelos con texturas más gruesas (arena franca) y con mayor profundidad en el horizonte superior.

4.2.2. Profundidad efectiva

Los suelos del fundo “Albufera” que tienen menos de 50 cm de profundidad efectiva presentan serias limitaciones para el crecimiento de las plantas y no son capaces de permitir un enraizamiento profundo ni constituir un reservorio grande de agua disponible para los

cultivos a desarrollarse en los suelos de este grupo y más aún, teniéndose en cuenta el tipo de textura gruesa que predominan en estos suelos, habrá una escasa retención del agua procedente de la irrigación (Sys *et al.*, 1991). Los rangos obtenidos de los tipos de profundidad de acuerdo con la variaron de 60 (suelos muy superficiales), 70 (suelos superficiales) y 80 (suelos de mediana profundidad). La profundidad de la capa superficial de los suelos estudiados varió de 10 cm en la calicata 05 a 38 cm en la calicata 09, en consecuencia, los suelos del estudio fueron clasificados como muy superficiales (<15 cm de profundidad), superficiales (16-30 cm de profundidad) y de mediana profundidad (> 31 cm de profundidad). Con relación a ese punto, Sys *et al.* (1991) considera que un suelo muy profundo tiene un efecto muy favorable sobre desarrollo vegetal al proporcionar una mayor cantidad aire, agua y elementos nutritivos, existiendo una estrecha correlación entre la profundidad del suelo y la productividad.

4.2.3. Carbonatos y sulfatos de calcio

La presencia de carbonatos de calcio fue evaluada teniéndose en cuenta el horizonte superior de cada uno de los perfiles y los valores obtenidos en todos los casos fueron superiores a 0,3 %, notándose un incremento que en algunos casos hasta 2,4 % pero en ninguno de los casos se encontraron niveles superiores al 10 %. Los resultados obtenidos permiten asumir que estos suelos tienen bajos contenidos de carbonatos, los cuales afectarían ligeramente a la implementación de un sistema de riego. Los rangos obtenidos después de la evaluación de todos los perfiles estudiados fueron de 95 para cada uno de ellos. En cuanto al sulfato de calcio, también evaluado a nivel del horizonte superficial, muestra valores que son superiores a 0,1 %, pero tampoco sobrepasan valores de 10 %, lo que indica que los sulfatos tienen niveles óptimos y sus rangos dan un valor de 100. El contenido de CaCO_3 tiene una clara influencia sobre la relación suelo-agua y en la asimilación de los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas (Sys *et al.*, 1991) y cantidades excesivas de calcio puede restringir la disponibilidad de fósforo, boro y hierro para las plantas (FAO, 2016).

4.2.4. Salinidad y alcalinidad

La relación de la salinidad y la alcalinidad o sodicidad de los suelos estudiados fueron evaluadas en base al valor de la conductividad eléctrica (C.E.) expresados en $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y al porcentaje de sodio intercambiable (PSI) presentes en los suelos del fundo “La Albufera”.

Al evaluarse la conductividad eléctrica para determinar el factor del grado de salinidad en la capa superficial de los suelos, se encontraron valores que oscilaron de 23,6 a 55,5 dS.m⁻¹, valores que influirán negativamente en la capacidad de los suelos para la irrigación, debido a la alta concentración de sales. El origen de la alta salinidad puede deberse a la acumulación natural de las sales debido a que algún momento se produjo la intrusión del agua marina por la inundación tal como lo señala la FAO (2016), lo cual produce la salinización elevada ocasionando la degradación de los suelos y de la vegetación que podría desarrollarse.

El porcentaje de saturación de sodio intercambiable calculado en base a la cantidad de este elemento presente como catión cambiante varió de 2,50-6,52 %, correspondiendo a valores bajos generalmente en los horizontes superficiales. Los porcentajes obtenidos indican que los suelos estudiados para fines de riego no presentan problemas de alcalinidad. Sin embargo, puede existir un efecto desfavorable por la combinación de la salinidad y la alcalinidad en forma combinada de acuerdo con lo señalado por Sys *et al.* (1991), aunque este efecto es atenuado porque la textura de estos suelos es gruesa, generalmente, permitiendo un lavaje constante cuando la posibilidad de la irrigación llegue a estas tierras, pero, interfiere directamente sobre la infiltración del agua y sobre los procesos de evaporación (Sys y Veheye, 1981). En consecuencia, los rangos encontrados luego de la evaluación de todos los perfiles varían en el caso de la salinidad y alcalinidad varía de 80 a 95, demostrando que la interacción alcalinidad (PSI) y salinidad (C.E.), afecta a los índices de capacidad (Ci) de los suelos en estudio.

4.2.5. Drenaje

Para evaluar los suelos con fines de riego, el drenaje debe ser estudiado con relación a la textura del suelo y a la profundidad de la napa freática. En consecuencia, al examinar los perfiles de los suelos estudiados, se encontraron perfiles de suelos con buen drenaje y una textura gruesa que permite una evacuación rápida del agua. Asimismo, la napa freática es profunda, no influyendo notoriamente sobre la evaluación de los suelos con fines de riego. Los rangos obtenidos para el drenaje fueron equivalentes a 100, debido a que suelos tienen una textura gruesa, son bien drenados, con una napa freática profunda, lo cual indica que no existen problemas de drenaje. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el drenaje está

relacionado estrechamente con la aireación del suelo, el desarrollo radicular de las plantas, la respiración celular y las reacciones de óxido-reducción (Ortiz y Ortiz, 1990).

4.2.6. Pendiente

En cuanto a la pendiente se ha podido notar que este factor tiene variaciones que van del 6-8 % y en general el área estudiada tiene una apariencia plana con ligeras ondulaciones, lo cual es de importancia porque esta característica determina el grado de erosión del suelo, influye en el tipo de mecanización a utilizarse en la agricultura, influyendo notoriamente sobre los sistemas de irrigación, determinando el escurrimiento superficial del agua, actuando favorablemente sobre el desarrollo del perfil del suelo con lo señalan Ortiz y Ortiz (1990). La valoración o rangos de acuerdo con la tabla respectiva propuesta por Sys *et al.* (1991) es de 95, haciendo entender que la pendiente que en todos los casos es menor del 8 %, influyendo muy ligeramente en la evaluación de los suelos estudiados.

4.3. Clases de aptitud para el riego y mapa de clasificación

4.3.1. Índices de capacidad

Los índices de capacidad (C_i) de los diez perfiles de suelos del fundo “La Albufera”, estudiados con fines de riego y obtenidos de acuerdo a lo que indican Sys *et al.* (1991), muestran valores que van de 19,49-27,62, los mismos que permiten clasificar a estos suelos en las clases IV_{sn} (suelos casi inapropiados para los riegos) y V_{sn} (suelos inapropiados para el riego), agregando que los números romanos significan las clases y la combinación de éstos con las letras minúsculas significan las subclases determinadas en base a las limitaciones mayores de cada una de las clases, notándose que las limitaciones en todos los suelos estudiados se deben a las deficiencias en las propiedades físicas del suelo (s), especialmente expresados por la textura y la profundidad; seguido de las limitaciones por salinidad/alcalinidad (n) parámetro que está seriamente afectando a los suelos en estudio.

La presencia escasa de gravas de tamaño medio en cantidades inferiores al 15 % no es considerada con un modificador textural que puede afectar a la capacidad de los suelos para la irrigación. El mayor problema después de la textura gruesa y la escasa profundidad es la

alta salinidad/alcalinidad, aunque los suelos no presentan problemas de alcalinidad en forma aislada. En estudios similares realizados por Echevarría (1997) y Balbín (2006) en suelos de sierra encontraron mayor variación en las clases de suelos por aptitud para el riego, indicando que en esa zona existe una mayor variabilidad en los suelos que generalmente están siendo cultivadas con especies anuales.

4.3.2. Mapa de clasificación con fines de riego de suelos del fundo “La albufera”

Dentro los planes de la implementación de un programa de riegos se debe poner énfasis en la aplicación de un exigente lavado de los suelos para corregir la alta salinidad, especialmente en los suelos de la terraza alta, cuyos desagües deben ser orientados a una zona donde no afecte a los suelos de la terraza baja. Asimismo, no se hace necesaria la corrección química por cuanto los suelos no tienen problema alguno de alcalinidad. Adicionalmente, los suelos de la clase IV_{sn} abarcaron una extensión de 55,7 ha, que representa al 79 % de la extensión total del predio, seguido de la clase V_{sn}, con una extensión de 14,8 ha, equivalente al 21 % de predio en estudio.

Finalmente, Ventocilla García (2015) también reportó suelos con muy baja fertilidad (grupos I, IV y V), con una extensión de 5,25 ha (30,87 % del área total) y baja fertilidad (grupos II, III y VI), con 11,75 ha (69,13 %) en el distrito de Végueta, por lo que recomendó la aplicación de enmiendas para aumentar la cantidad de materia orgánica disponible en el suelo, así como el manejo del agua de riego, el uso de maquinaria agrícola y el cultivo de especies de acuerdo al tipo de suelo

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

1. Los suelos en el predio “La Albufera” estudio fueron pobres en materia orgánica en fósforo disponible y de medio a altamente dotados en potasio disponible y de acuerdo con el *Soil Taxonomy* fueron son Aridisols, suborden Salids, con una capacidad de uso mayor de A3sfc-CP de acuerdo con el sistema nacional.
2. Los suelos tuvieron clases texturales arena franca y arena, con predominancia de las texturas gruesas en todos los horizontes de los perfiles estudiados y los rangos de valoración de esta propiedad variaron de 45,00 en los suelos muy gruesos (arenosos) a 52,30 en los suelos gruesos (arena franca).
3. La profundidad superficial también fue variable, encontrándose suelos muy superficiales (< 15 cm), como es el caso de las calicatas 5, 6, 7 y 10; suelos superficiales (16-30 cm) calicatas 1, 2, 3 y 4; y suelos de profundidad media (30-60 cm) calicatas 8 y 9, por lo que los rangos de valoración fueron 60 para los suelos muy superficiales, 70 para los suelos superficiales y 80 para los suelos de profundidad media.
4. La presencia de carbonato de calcio mostró valores de 0,35-2,20 % en los horizontes superficiales, con rangos de valoración de 95, por lo que podrían afectar ligeramente a las posibilidades de riego; mientras que la presencia de sulfato de calcio mostró valores de 0,112-1,555 %, con rangos de valoración de 100, por lo que no interfieren en absoluto en la capacidad de estos suelos.
5. El porcentaje de sodio intercambiable (PSI) mostró valores < 15 %, por lo que no se tendrán problemas de alcalinidad; en tanto que la conductividad eléctrica (CE) tuvo valores elevados, con rangos de valoración de 80, 85 y 90, lo que influiría negativamente en la capacidad de los suelos para el riego.

6. Los suelos del predio “La Albufera” mostraron un buen drenaje (suelos de textura gruesa), con una nula influencia del nivel freático por ser profundo en todos los casos y rangos de valoración de 100 en las 10 calicatas evaluadas.
7. La evaluación de la pendiente permitió observar que los suelos en la zona de estudio tuvieron una configuración casi plana, con ligeras ondulaciones y con pendientes que varían de 6-8 %, correspondiéndoles rangos de valoración de 95, lo que influiría ligeramente en los suelos con fines de riego.
8. Los índices de capacidad (Ci) encontrados en las 10 calicatas estudiadas tuvieron valores que varían de 19,49 (suelos “inapropiados”) a 27,62 (suelos “casi inapropiados”), notándose claramente en todos los perfiles estudiados que las mayores limitaciones son debidas al factor edáfico (s), expresados principalmente por la textura y la profundidad del suelo, seguidos por el factor salinidad, característica de los suelos de las zonas áridas de la costa peruana.
9. La evaluación de los suelos del fundo “La Albufera” mediante el método sugerido por Sys *et al.* (1991) permitió establecer las siguientes clases de suelos: (i) IVsn (calicatas 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 y 9), con suelos “casi inapropiados” para la irrigación y con un Ci de 20,71-27,62; y (ii) Vsn (calicatas 5, 7 y 10), con suelos “inapropiados” para la irrigación y con un Ci < 20 (19,49); por lo que resulta imposible la implementación de un sistema de riego sin el tratamiento previo para reducir la alta salinidad.
10. El mapa de clasificación de los suelos por la aptitud mostró que la categoría IVsn tuvo una extensión de 55,7 ha (79 %) y correspondió a suelos con severas limitaciones debido a la textura, la profundidad efectiva y la salinidad; mientras que la categoría Vsn tuvo una extensión de 14,8 ha (21 %) y se vinculó con suelos que presentaron severas limitaciones debido a la textura muy gruesa, la escasa profundidad efectiva y la alta salinidad.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

1. Los suelos IVsn son apropiados para la irrigación, pero cuentan con severas limitaciones por las condiciones físicas del suelo (textura y profundidad) y por los niveles altos de salinidad, por lo que se recomienda la aplicación de riegos profundos y con mayor frecuencia, a fin de causar el lavado de sales y mantener así en cierto modo la conductividad eléctrica en niveles que no afecten el desarrollo de las plantas.
2. Los suelos Vsn no son aptos para la irrigación, por lo que su uso está restringido dentro los planes de implementación de un sistema de riego convencional, aunque previo tratamiento especial de estos suelos podría permitir un plan de recuperación mediante el cultivo de plantas muy resistentes y extractoras de la salinidad.
3. Los suelos del fundo “La Albufera” con fines agrícolas que muestran serias limitaciones edáficas, químicas y nutricionales requieren la aplicación de materia orgánica con el fin de mejorar la capacidad retentiva de agua y elevar los escasos niveles de nitrógeno y fósforo. Debe considerarse además el plano de clasificación para ubicar las zonas aptas para el riego.

REFERENCIAS

- Baird, C. y Cann, M. (2014). *Química ambiental*. Editorial Reverté. Quinta edición. Barcelona, España.: https://www.academia.edu/40989190/Qu%C3%ADmica_ambiental_Colin_Baird.
- Balbín, M. (2006). *Clasificación de los suelos de la Estación Experimental Agropecuaria "Santa Ana", INIA-Huancayo*. (Tesis de postgrado). Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú. 86 pp.
- Brady, N. y Weil, R. (2010). *The nature and properties of soils*. Fourteenth edition. Prentice Hall, Upper Saddle River. New Jersey, USA.
- Brady, N. C. (1990). *The nature and properties of soils*. Macmillan Publishing Company Incorporated. University of Michigan. Michigan, USA
- Camacho, D.M. y Camacho, Y. (2015). *Evaluación técnica y económica de la instalación de riego tecnificado en la comunidad de Sambara y Alto, Centro, Margaritayoc e Isilluvoc, distrito de Santa Ana, provincia la Convención*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Cusco, Perú.
- Centeno, H. V. (2017). *Clasificación de tierras según su aptitud para el riego en la cuenca Chirumbia, distrito de Quellouno, provincia la Convención – Cusco*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Cusco, Perú.
- Choque, F. G. (2013). *Clasificación de suelos según la aptitud de riego en la comunidad de Cebollullo (Municipio de Palca – La Paz)*. (Tesis de grado). Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia.
- 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 Ciência do Solo*; 37(6), 1535-1548
- Dickie, I. A. (2002). *Mycorrhiza of forest ecosystems*. In Encyclopedia of Soil Science. Rattan Lal (Ed.) Marcel Dekker. New York, USA. Pp. 1111-1113.
- Doerge, T., Kitchen, N. y Lund, D. (2015). *Mapeo de Conductividad Eléctrica del suelo*. http://www.logemin.com/eng/Download/pdf/39_mapeo_conductividad_electrica.pdf

- Domínguez, A. (1997). *Tratado de Fertilización*. 3ª edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid-Barcelona-México.
- Donahue, R. L., Miller, R. W., y Shickluna, J. C. (1998). *Soils: An Introduction to Soils and Plant Growth*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall. New Jersey, USA.
- Echevarría, T. (1997). *Evaluación de los suelos de la Estación Experimental Agropecuaria "El Mantaro" con fines de riego*. (Tesis de grado). Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú.
- 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.
- Flores, D. y Alcalá, R. (2010). *Manual de procedimientos analíticos*. Laboratorio de Física de Suelos. Instituto de Geología. Departamento de Edafología. UNAM. <http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/manualLFS.pdf>
- Hall, R. (2008). *Soil essentials: managing your farm's primary asset*. CSIRO Publishing. Collingwood, Australia. 192 pp.
- Hardy, F. (1970). *Edafología Tropical*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, OEA. Herrero Hnos. Turrialba, Costa Rica. 334 pp.
- Hazelton, P. y Murphy, B. (2007). *Interpreting soil test results: what do all the numbers mean?* Second ed. CSIRO Publishing. NSW Government, Department of Natural Resources, University of Technology Sydney. Australia. 160 pp.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. 6ta. Edición. Mc Graw Hill Educación. México.: <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/78etodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Higueras, P. y Oyarzun, R. (2002). *El agua en el Suelo*. Departamento de Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense. Madrid, España. http://www.uclm.es/users/higueras/MGA/Tema03/Tema_03_Suelos_0.htm
- Holdridge, L. (1985). *Ecología basada en zonas de clima*. Centro Científico Tropical. Edit. IICA. Segunda Edición. San José. Costa Rica. 216 pp.

- Huerta, H. (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, Campus Juriquilla. https://nanopdf.com/downloadFile/determinacion-de-propiedades-fisicas-y-quimicas-de-suelos-con_pdf
- Instituto de la Potasa y el Fósforo. (1997). *Manual Internacional de Fertilidad de Suelos*. 1ra. Edición. Quito, Ecuador. [INPOFOS].
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). *Directorio Nacional de Municipalidades Provinciales, Distritales y de Centros Poblados*. Lima. [INEI].
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2015). Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales [INEI]. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1342/libro.pdf
- INIA, (2017). Condiciones Agroclimática del cultivo de cebolla. Estación Experimental Agraria Donoso – Huaral. Lima, Perú.
- Jhonson, C. (2009). *Biology of soil science*. Oxford Book. Jaipur. India. 308 pp.
- Jordán, A. (2010). *Edafología*. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Universidad de Sevilla. Sevilla, España.
- Lazo, O. (1996). *Clasificación por Capacidad de Uso Mayor de las Tierras de Sicaya*. (Tesis de postgrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.
- La Torre, G. (2003). *Estudio Detallado de Suelos del Fundo "Santa Bárbara"*. Humay-Pisco. Ica, Perú.
- León, M. (2000). *Propiedades de los suelos*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria. CORPOICA, Bucaramanga, Colombia. www.agronet.gov.co/www/docs_si2/200671995247_Propiedades%20de%20los%20suelos.pdf

- López, M. y Estrada, H. (2015). *Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo*. Departamento de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán. México. 11 pp.
- Martínez, R. (2001). Poblaciones de Rhizobia nativas de México. *Acta Zoológica Mexicana*, Es1, 29-38.
- Mejía, C. (2019). *Estructura de un proyecto de investigación*. <https://www.youtube.com/watch?v=mScO6ojcC8I>
- Mengel, K. y Kirkby, E. (2001). *Principios de Nutrición Vegetal*. International Potash Institute. Worblaufen. Bern, Switzerland. 665 pp.
- Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI]. (2009). *Decreto Supremo N° 017-2009-AG. Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor*. Lima, Perú. 33 pág.
- 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. <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219220807174344.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). *Portal del suelo de la FAO*. [FAO]. <http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2015). *Propiedades del suelo*. <http://www.fao.org/soils-portal/en/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). *El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas*. [FAO]. <http://www.fao.org/3/i3361s/i3361s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2009). *Guía para descripción de suelos*. Cuarta edición. Roma, Italia. [FAO].
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1995). *Sustainable dryland cropping in relation to soil productivity*. By Pearson, C.J.,

- Norman, D.W. y Dixon, J. *In: FAO Soils Bulletin No 72*. [FAO], Roma. ISBN 92-5-103792-2. 146 pp.
- Osman, K. (2013). *Soils: principles, properties, and management*. Dordrecht: Springer. 274 pp.
- Ortiz, B. y Ortiz, C. (1990). *Edafología, Suelos*. Editorial de la Universidad Autónoma de Chapingo. 7ma. Edición en español. Chapingo, México. 331 pp.
- Paredes, M. C. (2013). *Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas*. (Tesis de grado). Universidad Católica Argentina. <http://biblioteca.digital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/fijacion-biologica-nitrogeno-leguminosas-pdf>.
- Parker, R. (2010). *Plant and soil science: Fundamentals and applications*. Clifton Park, Delmar Cengage Learning, New York, USA. 480 pp.
- Patrick, F. (2001). *El suelo, su formación, clasificación y distribución*, CECSA. México D. F., México.
- Peña, C. D. (2010). *El agua en el suelo*. Escuela de Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Venezuela. http://webdelprofesor.ula.ve/forestal/clifford/materias/suelos/agua%20U2010_UniK.pdf
- Plaster, J. E. (2005). *La ciencia del suelo y su manejo*. Thompson Editores. 2da. Reimpresión. Madrid, España.
- 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. Pág. 21.
- Reynaldo, M. J. (2017). Comparativo de rendimiento de ocho cultivares de *Allium cepa* L. “cebolla roja” en el Valle de Huaral. (Tesis de grado). Universidad Nacional Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Lima. <http://200.48.129.167/bitstream/handle/UNJFSC/2080/REYNALDO%20ROJAS%20JESUS%20MANUEL.pdf?sequence=2>
- Salgado, S. y Núñez, R. (2010). *Manejo de Fertilizantes Químicos y Orgánicos*. Primera Edición. Colegio de Postgraduados. Mundi-Prensa México S. A. Col. Cuauhtémoc. México D.F., México. Pág. 7-8.

- Santos, B. L. y Fluquer, L. (2016). *Modelo hidrogeológico de las albuferas de Medio Mundo*, sector Huaura. XVIII Congreso Peruano de Geología. Sociedad Peruana de Geología. Lima, Perú.
https://www.researchgate.net/publication/346649702_Modelo_Hidrogeologico_de_las_Albuferas_de_Medio_Mundo_Sector_Huaura_XVIII_Congreso_Peruano_de_Geologia
- Santos, J., Fernández, R., 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.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2020). Mapa de Clasificación Climática del Perú [SENAMHI].
[//idesep.senamhi.gob.pe/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/9f18b911-64af-4e6b-bbef-272bb20195e4](http://idesep.senamhi.gob.pe/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/9f18b911-64af-4e6b-bbef-272bb20195e4)
- Schoeneberger, P., Wysocki, D., Benham, E. y Broderson, W. (2012). *Field Book for Describing and Sampling Soils*. Natural Resources Conservation Service, USDA. National Soil Center. Lincoln, USA.
- Shaxson, F. y Barber, R. (2005). *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal*. Boletín de Suelos de la FAO-79. Roma, Italia.
- Silva, R. C. (2020). *Capacidad de retención del agua disponible en suelos agrícolas de acuerdo a la textura y al contenido de materia orgánica, transecto Huaura-Mazo*. (Tesis de grado). Universidad Católica Sedes Sapientiae. Lima, Perú.
<http://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/UCSS/837/Tesis%20-%20Silva%20Julca%2c%20Ronald%20Christian.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sys, C. y Verheye, M. (1981). *Land Evaluation*. International Training Centre for Post-graduate Soil Scientists. State University of Ghent. Ghent, Belgium.
- 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. Agricultural Publication N° 7. GADC. Brussels, Belgium.
- Tamhane, R., Motiramani D., Bali, Y. y Donahue, R. (1986). *Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales*. Editorial Diana Técnico. México D.F. 483 pp.

- Taxa, L. Y. (2013). *Sistema tradicional de clasificación de tierras utilizado por la Comunidad Campesina de Laraos-Yaayos*. (Tesis de Grado). Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú.
<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3512/Taxa%20Villegas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Universidad Católica Sedes Sapientiae. (2017). *Silabo de la asignatura de seminario de Tesis*. Sede Huaura. Lima, Perú.
- United States Department of Agriculture (USDA). (2008). *Aggregate Stability. Soil Quality Indicators*.
http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053287.pdf.
- Vela, C., López, B., y Rodríguez, G. (2012). Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal. Centro de Investigaciones Geográficas. *Boletín del Instituto de Geografía*, 77:(18-30) UNAM. México.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112012000100003&lng=es&nrm=iso
- Ventocilla, J. T. (2015). *Clasificación de la fertilidad de los suelos del predio “Fundo Nuevo” por el método de capacidad-fertilidad en Végueta-Huaura*. (Tesis de grado). Universidad Católica Sedes Sapientiae. Lima, Perú.
- Zavaleta, G., A. (1992). *Edafología, El Suelo en relación con la Producción*. Primera Edición. Lima, Perú

TERMINOLOGÍA

Aridisol

Uno de los doce órdenes de suelos del “Soil Taxonomy”, común en las regiones áridas. El suelo es seco y con bajo contenido de materia orgánica (Plaster, 2005).

Capacidad de campo

El concepto de capacidad de campo se aplica únicamente a suelos bien estructurados donde el drenaje del exceso de agua es relativamente rápido. Si el drenaje ocurre en suelos pobremente estructurados, por lo general continuará durante varias semanas y este tipo de suelos de estructura tan pobre raramente tiene una capacidad de campo claramente definida. (FAO, 2015).

Color del suelo

El color del suelo depende de sus componentes y varía con el contenido de humedad, materia orgánica presente y grado de oxidación de minerales presentes. Se puede evaluar como una medida indirecta ciertas propiedades del suelo y se usa para distinguir las secuencias en un perfil del suelo, determinar el origen del material parental, la presencia de materia orgánica, el estado de drenaje y la presencia de sales y carbonatos (Brady y Weil, 2010).

Degradación de suelos

La degradación del suelo o de las tierras consiste en un proceso antrópico simple que afecta en forma negativa al suelo afectando su capacidad para soportar vida en un ecosistema, incluyendo el almacenamiento y el reciclaje del agua, la materia orgánica y los nutrientes. Ocurre cuando el suelo pierde importantes propiedades como consecuencia de una inadecuada utilización (Tamhane *et al.*, 1986).

Densidad del suelo

Se refiere al peso por volumen del suelo. Existen dos tipos de densidad, real y aparente. La densidad real, de las partículas densas del suelo, varía con la proporción de elementos constituyendo el suelo y en general está alrededor de $2,65 \text{ g/cm}^3$. Una densidad aparente alta indica un suelo compacto o tenor elevado de partículas granulares como la arena. Una densidad aparente baja no indica necesariamente un ambiente favorecido para el crecimiento de las plantas (Ortiz y Ortiz, 1990).

Drenaje

Es el grado de remoción del agua del suelo por escorrentía superficial y percolación, que se encuentra en relación con la presencia de la napa freática temporal y/o permanente (Brady, 1990).

Estudio agrológico

Es estudio del suelo con fines de planificación de las explotaciones agropecuarias y el establecimiento de colonizaciones en zonas con potencial de uso agrícola y pecuario. Ayuda en el planeamiento y la zonificación de los cultivos y es vital para la implementación de sistemas de riego y el establecimiento de sistemas de labranza (Ortiz y Ortiz, 1990).

Gleificación

Proceso o condición que se origina por el agotamiento de oxígeno caracterizado por una coloración gris o violácea con presencia de moteaduras originadas por drenaje deficiente. El exceso de humedad produce la reducción de algunos minerales como es el caso de hierro (Plaster, 2005).

Napa freática

Es la acumulación de agua subterránea que se encuentra a una profundidad relativamente pequeña bajo el nivel del suelo. De ellas se alimentan los pozos y las fuentes de agua, útiles para el consumo y la agricultura (Ortiz y Ortiz, 1990).

Porosidad del suelo

El espacio poroso del suelo se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macroporos y microporos donde agua, nutrientes, aire y gases pueden circular o retenerse. Los macroporos no retienen agua contra la fuerza de la gravedad, son responsables del drenaje, aireación del suelo y constituyen el espacio donde se forman las raíces. Los microporos retienen agua y parte de la cual es disponible para las plantas (Instituto de la potasa y el fósforo [INPOFOS], 1997).

Punto de marchitez

Se refiere al contenido de agua de un suelo que ha perdido toda su agua a causa del cultivo y, por lo tanto, el agua que permanece en el suelo no está disponible para las plantas. En esas condiciones, el cultivo está permanentemente marchito y no puede revivir cuando se le coloca en un ambiente saturado de agua. Al contacto manual, el suelo se siente casi seco o muy ligeramente húmedo (INPOFOS, 1997).

Sistema paramétrico

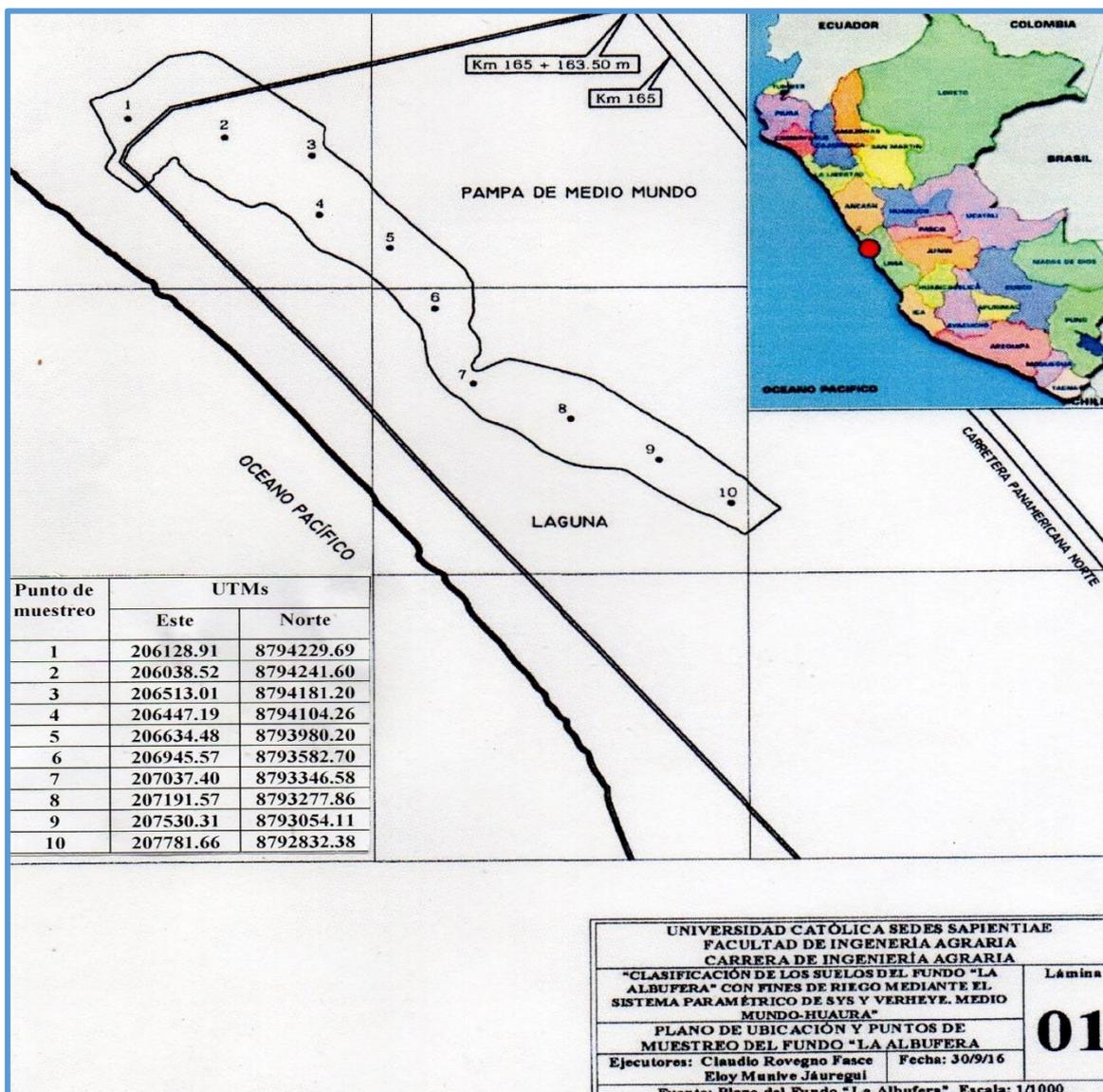
Es un método para la evaluación del suelo con fines de riego. Se basa en características granulométricas y fisicoquímicas del perfil de suelo, estimando que el suelo es el medio para el crecimiento de las plantas y cuando está bajo riego debe proporcionar, en primer lugar, agua y nutrientes necesarios en forma disponible (Sys y Veheye, 1981).

Solum

Parte superior meteorizada del perfil del suelo constituido por el horizonte A más los horizontes E y B, si es que existieran, en la zona donde crece el mayor porcentaje de raíces. También se le dice que es la profundidad efectiva del suelo (Plaster, 2005).

APÉNDICES

Apéndice 1. Plano de ubicación y puntos de muestreo del fundo “La albufera”.



Apéndice 2. Resultados del análisis de caracterización de los suelos del fundo “La Albufera”



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



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : INVERSIONES CLAHMAF S.A.C.

Departamento : LIMA
 Distrito : VEGUETA

Provincia : HUAJRA
 Predio : FUNDO ALBUFERA
 MEDIO MUNDO

Referencia : H.R. 54216-081C-16 Fact.: 35897 Fecha : 20/05/16

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺² meq/100g	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺ Al ⁺³ + H ⁺				
6990	Calicata 1, Muestra 1	6.43	55.50	0.00	0.22	4.9	2585	85	10	5	A.Fr.	4.80	3.20	1.12	0.28	0.21	0.00	4.80	4.80	100
6991	Calicata 1, Muestra 2	6.79	55.10	0.10	0.21	1.5	2040	89	6	5	A.	5.76	4.14	0.87	0.44	0.31	0.00	5.76	5.76	100
6992	Calicata 2, Muestra 1	7.25	44.70	2.40	0.22	4.5	1508	89	8	3	A.	3.52	1.68	1.48	0.17	0.00	3.52	3.52	100	
6993	Calicata 2, Muestra 2	7.31	49.80	9.10	0.04	4.4	1768	83	12	5	A.Fr.	5.92	4.10	1.23	0.44	0.15	0.00	5.92	5.92	100
6994	Calicata 3, Muestra 1	7.49	38.60	2.20	0.17	3.8	1084	85	6	9	A.Fr.	3.20	1.35	1.50	0.25	0.10	0.00	3.20	3.20	100
6995	Calicata 3, Muestra 2	8.03	11.72	5.10	0.12	1.2	482	95	5	0	A.	3.52	2.22	0.87	0.31	0.12	0.00	3.52	3.52	100

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

Lab.	Número de Muestra Claves	S ppm
6990	Calicata 1, Muestra 1	1026.34
6991	Calicata 1, Muestra 2	1007.17
6992	Calicata 2, Muestra 1	1000.00
6993	Calicata 2, Muestra 2	834.90
6994	Calicata 3, Muestra 1	868.68
6995	Calicata 3, Muestra 2	312.34



Dr. Saty Garcia Bendezu
 Jefe del Laboratorio

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

Fuente: UNALM (2016).



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



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : INVERSIONES CLAHMAF S.A.C.

Departamento : LIMA
 Distrito : VEGUETA

Provincia : HUAURA
 Predio : FUNDO ALBUFERA
 MEDIO MUNDO

Referencia : H.R. 54216-081C-16

Fact.: 35897

Fecha : 20/05/16

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dSim	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺			
6996	Calicata 4, Muestra 1	8.10	24.70	0.50	0.16	2.7	836	93	4	3	A.	3.20	2.03	0.78	0.17	0.21	0.00	3.20	3.20	100
6997	Calicata 4, Muestra 2	7.96	1.54	0.90	0.10	2.1	134	97	3	0	A.	3.20	2.60	0.33	0.16	0.10	0.00	3.20	3.20	100
6998	Calicata 5, Muestra 1	7.54	14.57	0.60	0.16	2.2	329	97	3	0	A.	3.20	2.56	0.45	0.11	0.08	0.00	3.20	3.20	100
6999	Calicata 6, Muestra 1	7.89	34.20	0.50	0.17	3.4	1074	91	4	5	A.	3.52	2.30	0.98	0.13	0.10	0.00	3.52	3.52	100
7000	Calicata 6, Muestra 2	8.61	9.43	0.70	0.06	2.1	315	95	5	0	A.	3.20	2.07	0.70	0.23	0.21	0.00	3.20	3.20	100

A = Arena ; A.F. = 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

Lab.	Número de Muestra Claves	S ppm
6996	Calicata 4, Muestra 1	661.97
6997	Calicata 4, Muestra 2	153.50
6998	Calicata 5, Muestra 1	253.13
6999	Calicata 6, Muestra 1	615.68
7000	Calicata 6, Muestra 2	476.92



Dr. Sady García Bendeziú
 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

Fuente: UNALM (2016).



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



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : INVERSIONES CLAHMAF S.A.C.

Departamento : LIMA
 Distrito : VEGUETA

Provincia : HUAURA
 Predio : FUNDO ALBUFERA
 MEDIO MUNDO
 Fecha : 20/05/16

Referencia : H.R. 54216-081C-16

Fact.: 35897

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺			
7001	Calicata 7, Muestra 1	7.73	23.60	0.60	0.21	4.5	512	95	5	0	A.	3.20	2.23	0.75	0.13	0.09	0.00	3.20	3.20	100
7002	Calicata 7, Muestra 2	8.12	8.58	1.00	0.06	2.4	180	100	0	0	A.	3.20	2.46	0.47	0.13	0.14	0.00	3.20	3.20	100
7003	Calicata 8, Muestra 1	7.71	29.90	0.70	0.17	2.4	569	95	5	0	A.	3.20	2.24	0.70	0.13	0.13	0.00	3.20	3.20	100
7004	Calicata 8, Muestra 2	8.02	10.54	1.30	0.20	1.9	259	95	5	0	A.	3.20	2.39	0.50	0.18	0.12	0.00	3.20	3.20	100
7005	Calicata 9, Muestra 1	7.75	16.92	1.00	0.11	1.3	305	95	5	0	A.	4.16	3.44	0.48	0.11	0.13	0.00	4.16	4.16	100
7006	Calicata 9, Muestra 2	8.33	8.22	0.90	0.18	2.5	172	97	3	0	A.	3.52	2.52	0.50	0.17	0.32	0.00	3.52	3.52	100

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

Número de Muestra		S ppm
Lab.	Claves	
7001	Calicata 7, Muestra 1	365.81
7002	Calicata 7, Muestra 2	209.05
7003	Calicata 8, Muestra 1	413.67
7004	Calicata 8, Muestra 2	591.55
7005	Calicata 9, Muestra 1	264.61
7006	Calicata 9, Muestra 2	298.12



Dr. Sady 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

Fuente: UNALM (2016).

Apéndice 3. Fotografías de la zona en estudio y del trabajo de campo



Fotografía 1: Vista panorámica de la zona alta del Fundo Albufera



Fotografía 2: Vista panorámica de la zona baja del Fundo Albufera



Fotografía 3: Coordinando en inicio del trabajo de campo



Fotografía 4: Preparando la descripción de una calicata



Fotografía 5: Descripción del perfil del suelo



Fotografía 6: Medición de la pendiente del terreno



Fotografía 9: Verificación de la toma de datos del perfil del suelo



Fotografía 8: Toma e identificación de las muestras de suelos