

**REPÚBLICA DEL ECUADOR**



**MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA  
ACUACULTURA Y PESCA**



**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS**

**"CARACTERIZACIÓN EDAFOCLIMÁTICA PARA  
EL PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE  
LA GRANJA EXPERIMENTAL INIAP - YACHAY"**

**ESCALA 1: 10000**

**MEMORIA TÉCNICA Ver. 4.1**

Quito, DM. Julio 2 016



## CONTENIDO

	Página
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ASPECTOS GENERALES.....</b>	<b>3</b>
2.1. Ubicación y límites.....	3
2.2. Límites de la Granja Experimental INIAP-YACHAY.....	3
2.3. Superficie.....	4
<b>3. MAPA BASE.....</b>	<b>5</b>
3.1. Parámetros cartográficos.....	5
3.2. Metodología.....	5
3.3. Resultados.....	5
<b>4. ASPECTOS BIOFÍSICOS.....</b>	<b>7</b>
4.1. Geología.....	7
4.1.1. Metodología.....	7
4.1.2. Resultados.....	7
4.2. Geomorfología.....	8
4.2.1. Metodología.....	9
4.2.2. Resultados.....	10
4.3. Pendiente.....	13
4.3.1. Metodología.....	13
4.3.2. Resultados.....	14
4.4. Suelos.....	17
4.4.1. Metodología.....	19
4.4.2. Resultados.....	31
4.5. Fertilidad.....	35
4.5.1. Metodología.....	46
4.5.2. Resultados.....	50

<b>5.</b>	<b>CLIMA E HIDROLOGÍA.....</b>	<b>61</b>
5.1.	Clima.....	61
5.1.1.	Metodología.....	61
5.1.2.	Resultados.....	71
5.2.	Hidrología.....	71
5.2.1.	Metodología.....	71
5.2.2.	Resultados.....	77
5.3.	Infiltración.....	79
5.3.1.	Metodología.....	80
5.3.2.	Resultados.....	81
5.4.	Zonas aptas para riego.....	82
5.4.1.	Metodología.....	82
5.4.2.	Resultados.....	88
<b>6.</b>	<b>CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA.....</b>	<b>89</b>
6.1.	Metodología.....	89
6.2.	Resultados.....	100
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>104</b>
<b>8.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>106</b>
<b>9.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>107</b>
<b>10.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>110</b>

## LISTA DE CUADROS

	<b>Página</b>
Cuadro 1. Clases, rangos de pendientes y tipo de inclinación.....	14
Cuadro 2. Resultados de las clases y rangos de pendientes en la Granja Experimental INIAP - Yachay.....	14
Cuadro 3. Métodos y extractantes utilizados en las determinaciones físicas y químicas de suelos.....	21
Cuadro 4. Regímenes de temperatura del suelo.....	23
Cuadro 5. Regímenes de humedad del suelo.....	23
Cuadro 6. Categorías de profundidad efectiva de los suelos.....	25
Cuadro 7. Clases de textura del suelo.....	26
Cuadro 8. Categorías de pedregosidad de los suelos.....	27
Cuadro 9. Niveles de salinidad del suelo.....	27
Cuadro 10. Niveles de toxicidad por aluminio en el suelo.....	28
Cuadro 11. Niveles de toxicidad por carbonatos en el suelo.....	28
Cuadro 12. Clases de drenaje en el suelo.....	29
Cuadro 13. Periodos de inundación en el suelo.....	30
Cuadro 14. Clasificación del pH en el suelo.....	31
Cuadro 15. Órdenes de suelos presentes en la Granja Experimental INIAP - Yachay.....	32
Cuadro 16. Entisols en la Granja Experimental INIAP - Yachay.....	33
Cuadro 17. Andisols en la Granja Experimental INIAP - Yachay.....	33
Cuadro 18. Mollisols en la Granja Experimental INIAP - Yachay.....	34
Cuadro 19. Niveles de interpretación de las variables edafológicas.....	50
Cuadro 20. Niveles de interpretación de los valores de pH en el suelo.....	50
Cuadro 21. Niveles de interpretación de conductividad eléctrica en el suelo.....	50
Cuadro 22. Estadística descriptiva por variable química edafológica.....	51
Cuadro 23. Coeficientes de correlación entre variables químicas edafológicas....	56
Cuadro 24. Prueba de normalidad de las variables químicas edafológicas.....	57
Cuadro 25. Superficie y porcentaje de ocupación de los niveles del pH en la Granja Experimental INIAP - Yachay.....	58
Cuadro 26. Superficie y porcentaje de ocupación de las variables químicas	

edafológicas en la Granja Experimental INIAP - Yachay.....	59
Cuadro 27. Ponderación para calificar la fertilidad química del suelo en la Granja Experimental INIAP - Yachay.....	60
Cuadro 28. Superficie y porcentaje de ocupación de los niveles de fertilidad en la Granja Experimental INIAP - Yachay.....	60
Cuadro 29. Ubicación de las estaciones meteorológicas de las Estaciones Meteorológicas M053 Ibarra Aeropuerto, M085 Salinas-Imbabura INERHI y M571 Tumbabiro.....	62
Cuadro 30. Precipitación media mensual (Serie 1985 - 2009) de las Estaciones Meteorológicas M053 Ibarra Aeropuerto, M085 Salinas INERHI y M571 Tumbabiro.....	63
Cuadro 31. Temperatura media mensual (°C) de las Estaciones Meteorológicas M053 Ibarra Aeropuerto y M085 Salinas INERHI.....	64
Cuadro 32. Temperaturas mínima y máximas (°C) de las Estaciones Meteorológicas M053 Ibarra Aeropuerto y M085 Salinas INERHI.....	65
Cuadro 33. Nubosidad (octavos) de las Estaciones Meteorológicas M053 Ibarra Aeropuerto y M085 Salinas INERHI.....	66
Cuadro 34. Heliofanía (horas de sol) de la Estación Meteorológica M053 Ibarra Aeropuerto.....	67
Cuadro 35. Evapotranspiración potencial mensual (mm) por el Método Thornthwaite de las Estaciones Meteorológicas M053 Ibarra Aeropuerto y M085 Salinas INERHI.....	67
Cuadro 36. Balance Hídrico Climático (mm) de la Estación Meteorológica M085 Salina-Ibarra INERHI.....	69
Cuadro 37. Índice de compacidad de la cuenca hidrográfica del Río Mira.....	73
Cuadro 38. Tendencias a crecidas de la cuenca hidrográfica del Río Mira.....	73
Cuadro 39. Microcuencas de la Granja Experimental INIAP-Yachay.....	74
Cuadro 40. Caudal de escurrimiento.....	75
Cuadro 41. Caudal específico en la Microcuencas de la Granja Experimental INIAP-Yachay.....	76

Cuadro 42.	Sitios de toma de muestras de agua en la Granja Experimental INIAP-Yachay.....	77
Cuadro 43.	Resultados del coeficiente de permeabilidad en la Granja Experimental INIAP-Yachay.....	81
Cuadro 44.	Zonas de riego en la Granja experimental INIAP-Yachay.....	88
Cuadro 45.	Parámetros por factor o variable para definir las clases de capacidad de uso de las tierras.....	92
Cuadro 46.	Modificación de clase de capacidad de uso de las tierras por profundidad efectiva.....	93
Cuadro 47.	Modificación de clase de capacidad de uso de la tierra por textura superficial.....	93
Cuadro 48.	Superficie y porcentaje de ocupación de la capacidad de uso de la tierra en la Granja Experimental INIAP-Yachay.....	100

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación de la Granja Experimental INIAP-Yachay.....	3
Figura 2. Perfil de suelo representativo en la Granja Experimental INIAP-Yachay.....	20
Figura 3. Triángulo de clases texturales del suelo.....	26
Figura 4. Flujograma empleado en la investigación.....	47
Figura 5. Flujograma para la selección del método de interpolación en el modelo de fertilidad de suelo.....	48
Figura 6. Diagramas de cajas (Box plots) de las variables químicas edafológicas.....	54
Figura 7. Periodos de humedad según el balance hídrico-climático (mm) de la Estación Meteorológica M085 Salina-Ibarra.....	69
Figura 8. Factores que determinan la capacidad de uso de la tierra.....	90



## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	<b>Página</b>
Fotografía 1. Toba dacítica volcánica Chachimbiro. Hacienda. San Carlos.....	8
Fotografía 2. Flujo piroclástico. Hacienda. San Carlos.....	11
Fotografía 3. Vertiente de flujo piroclástico. Quebrada La Banda.....	12
Fotografía 4. Barranco. Quebrada s/n.....	12
Fotografía 5. Pendiente 5-12% en flujo piroclástico. Hacienda La Banda.....	15
Fotografía 6. Pendiente 12-25% en flujo piroclástico. Hacienda La Banda.....	15
Fotografía 7. Pendiente 25 a 50% en vertiente de flujo piroclástico. Hacienda la Edelmira.....	16
Fotografía 8. Pendiente >70% en vertientes de flujos piroclásticos. Quebrada La Banda.....	16

## LISTA CUADROS DEL ANEXO

	Página
Cuadro A.1. Reporte de análisis químico de suelos en la Granja Experimental INIAP - YACHAY.....	111
Cuadro A.2. Reporte de análisis de la capacidad de intercambio catiónico en la Granja Experimental INIAP - YACHAY.....	116
Cuadro A.3. Reporte de análisis de la salinidad de suelos en la Granja Experimental INIAP - YACHAY.....	122
Cuadro A.4. Reporte de análisis de agua en la Granja Experimental INIAP - YACHAY.....	128

## LISTA FIGURAS DEL ANEXO

	Página
Figura A.1. Ubicación de los perfiles de suelos en la Granja Experimental INIAP - YACHAY.....	129

## LISTA FICHAS DEL ANEXO

	Página
Ficha A.1. Descripción del perfil de suelo número 1 en la Granja Experimental INIAP - YACHAY.....	130
Ficha A.2. Descripción del perfil de suelo número 2 en la Granja Experimental INIAP - YACHAY.....	133
Ficha A.3. Descripción del perfil de suelo número 3 en la Granja Experimental INIAP - YACHAY.....	136
Ficha A.4. Descripción del perfil de suelo número 4 en la Granja Experimental INIAP - YACHAY.....	139

## 1. INTRODUCCIÓN

La población mundial se incrementará en más de 40% en los próximos 50 años pasando de los actuales 6.6 billones a 9.4 billones de personas (Kincannon, et.al., 2006). En estas condiciones, será necesario incrementar el rendimiento de los cultivos y la eficiencia de la producción para lograr abastecer el constante incremento de la demanda de alimentos para una población en crecimiento y generalmente con mayor poder adquisitivo (FAO STAT, 2014).

En Ecuador es práctica tradicional utilizar las tierras con monocultivo y pastos extensivos como forma de explotación, lo que ha ocasionado que los suelos se compacten, pierdan su fertilidad natural y presenten limitaciones en la producción. La introducción de especies vegetales y animales no adaptadas a las condiciones agro ecológicas, así como el sobre pastoreo, ocasionan la pérdida de la biodiversidad, erosión del suelo y la contaminación de las aguas; obteniéndose un creciente malestar social, que a su vez, ha llevado a buscar nuevas alternativas para recuperar los suelos y el ambiente (MAGAP, 2012).

En 1959, el Gobierno del Ecuador creó el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), con el propósito de encontrar solución a los crecientes problemas que afectaban a la producción agropecuaria y al modelo de desarrollo adoptado. Sin embargo, por falta de recursos, recién en 1961 el Instituto comenzó sus actividades de investigación en una hacienda de la Asistencia Pública, que luego se convirtió en la Estación Experimental Santa Catalina (INIAP, 2014).

La Estación Experimental Santa Catalina, ubicada al sur de Quito; debe reubicarse hacia la Ciudad del Conocimiento YACHAY, que está en el Cantón Urcuquí de la provincia de Imbabura, la misma que se desarrollará en dos fases. La primera con la suscripción de un convenio de Cooperación Interinstitucional entre INIAP y Yachay, firmado el 30 de junio del 2014. La segunda fase comprende la movilización de la Estación Experimental que ocupará las haciendas “La Banda Occidental”, “La Banda Oriental”, “La Hermosa”, “La Edelmira”, “La Lorena” y “San Carlos” en la Ciudad del Conocimiento YACHAY, para efectuar diversas actividades como: instalación de los

sistemas de riego, equipamiento, adecuación de infraestructura básica, entre otras. Un total de 905 hectáreas en las que se desarrollarán varios rubros de investigación para mejoramiento de variedades, manejo y control de plagas, investigación nutricional y agroindustrial para el desarrollo de proyectos de investigación agrícola y agro-industrial (INIAP, 2014).

Con estos antecedentes y con el objetivo realizar una línea base sólida con aplicaciones de finalidad múltiple, es necesario disponer de información detallada sobre los recursos naturales: suelos, clima, hidrología, geomorfología y geología del área de estudio "Granja Experimental INIAP-Yachay", para determinar las clases de capacidad de uso de la tierra.



### **2.3. Superficie**

El área de estudio comprende una superficie de 944.99ha, mientras que las zonas asignadas a particulares son 39.49 ha, obteniendo una superficie total de 905.50 ha.



### 3. MAPA BASE

Un eficiente conocimiento y rápido desarrollo de los recursos naturales depende en gran parte del tipo de información cartográfica disponible. La cartografía es esencial para “integrar” sobre un mapa la información relacionada con: suelos, uso, población, infraestructura y otros.

La información básica comprende, una representación gráfica de las características tanto naturales como antrópicas de un área geográfica. Este mapa provee las características de las posiciones horizontales y verticales del terreno. Los signos convencionales permiten conocer a simple vista los rasgos característicos del área de estudio cartografiada, guiados por la red hidrográfica, vías de comunicación, localización de poblaciones y viviendas.

#### 3.1. Parámetros cartográficos

Escala	1: 10 000.
Coordenadas	Coordenadas planas (Este y Norte - metros).
Proyección Cartográfica	Universal Transversa de Mercator (UTM).
Zona Cartográfica	Zona 17 Sur.
Datum	World Geodetic System 1984 (WGS 84).
Formato	Digital en ArcGIS 10.

#### 3.2. Metodología

Para la generación del Mapa Base de la Granja Experimental "INIAP-YACHAY", se consideró como insumo principal la ortofoto escala 1:5000, en formato digital, levantamientos de información en campo (puntos GPS) e información secundaria existente del sector.

#### 3.3. Resultados

La información básica contiene las siguientes coberturas:

- Cobertura de drenajes (ríos, acequias, canales y quebradas).
- Cobertura de Vías (caminos).
- Cobertura de Infraestructura (construcciones y reservorios).

## **4. ASPECTOS BIOFÍSICOS**

El área de investigación se ubica al norte del cantón Urcuquí, provincia de Imbabura, entre altitudes que van desde los 1800 a los 2160 m.s.n.m, en la gran unidad ambiental o paisajística denominada "Relieves de los Fondos de las Cuencas con Relleno Volcano Sedimentario", es decir, en el Callejón Interandino al este de la parte interna de la Cordillera Occidental.

### **4.1. Geología**

La Geología es la ciencia por excelencia de la tierra, debido a que estudia su origen, conformación. Los materiales que la integran tanto interna como exteriormente y los procesos y que marcaron su evolución.

La geología se considera en el sentido morfo-estructural (litología y tectónica) para explicar el relieve actual y sus características.

#### **4.1.1. Metodología**

Para la determinación del tipo de roca existente y colocar el nombre de la unidad geológica, la cartografía geológica oficial fue adaptada y modificada, en base a la fotointerpretación y la comprobación de campo en la zona de estudio, para lo cual, se utilizó la información secundaria, generada por la DINAGE (Dirección Nacional de Geología) (Ministerio de Energía y Minas) y British Geological Survey (BGS) en el año de 1998, escala 1:200000, correspondiente al "Mapa Geológico de la Cordillera Occidental del Ecuador entre 0°- 1° N".

#### **4.1.2. Resultados**

La zona de investigación de la Granja Experimental INIAP- YACHAY, está ubicada en el callejón interandino, sobre un amplio Flujo piroclástico, constituido por materiales de tobas dacíticas, provenientes de la actividad volcánica reciente explosiva, del complejo dómico de Chachimbiro (5690 a AP - años antes del presente), asociada a la formación

de domos dacíticos, tefras plinianas y flujos piroclásticos (Nubes ardientes), los cuales han sido depositados en dirección este (Fotografía 1).



**Fotografía 1.** Toba dacítica volcánica Chachimbiro. Hacienda San Carlos.  
Fuente: CGSIN, 2015.

#### **4.2. Geomorfología**

La geomorfología es el estudio de las diferentes formas del relieve, considerando su naturaleza, origen, evolución e interrelación, para poner en evidencia los aspectos genéticos de los diferentes fenómenos que han intervenido o están interviniendo en la formación de los diferentes modelados del terreno.

El origen de las unidades geomorfológicas se deben a procesos volcánicos, en esta génesis se incluyen los estrato-volcanes y aquellas formas que evolucionan en las rocas resultantes de sus erupciones (flujos piroclásticos-nubes ardientes, proyecciones piroclásticas, lava, y otras). Las geoformas son afectadas por la denudación, pero conservan rasgos definidos de sus formas iniciales. Las rocas ígneas extrusivas, lavas y piroclastos, constituyen los materiales parentales que conforman el soporte de este tipo de geoformas.

### **4.2.1. Metodología**

#### **- Revisión, análisis y evaluación de la información secundaria disponible**

Esta fase comprendió la revisión, análisis y evaluación de la información disponible sobre los levantamientos geomorfológicos, realizados en la zona de interés, a efectos de analizar sus características y establecer su compatibilidad con las especificaciones técnicas aplicables a los propósitos del presente estudio.

#### **- Modelo Digital del Terreno**

Consiste en la unión de un conjunto de capas tipo raster (conjunto de datos compuestos filas y columnas), que representan distintas características de la superficie terrestre, insumo principal para la interpretación digital. Además, se preparó los insumos básicos: fotografía aérea digital, cartografía base y se recopiló la información secundaria referencial, principalmente para el proceso de fointerpretación digital.

#### **- Fointerpretación y elaboración del mapa geomorfológico**

La interpretación geomorfológica es la subdivisión del territorio de acuerdo a las formas del terreno, sus clases y génesis. La metodología se fundamenta en la generación de información primaria, obtenida a partir de fointerpretación digital, tomando como material de referencia cartas geológicas, topográficas y el Modelo Digital del Terreno (MDT) para interpretar en las ortofotos las diversas unidades morfológicas, en base a la morfología (valles, flujos piroclásticos, vertientes, barrancos, terrazas y otros), morfografía (tipo de forma de cima y vertiente) y morfometría (aspectos cuantitativos como: pendiente y desnivel relativo). Realización de la leyenda geomorfológica preliminar.

#### **- Comprobación de campo**

Las actividades en el campo consisten en realizar recorridos con el objeto de verificar la interpretación efectuada en gabinete, para comprobar o modificar lo determinado.

## - **Cartografía e información final**

Con la información de campo se realizó la corrección y ajuste de las unidades, revisión topológica, cuantificación de las áreas y elaboración de la leyenda definitiva que se incluyó en el mapa.

### **4.2.2. Resultados**

Las unidades geomorfológicas se presentan en la zona de investigación en base a la unidad genética.

## - **Origen Volcánico**

### **Flujos piroclásticos (Fp)**

Caracterizada morfológicamente por presentar grandes formas alargadas y pequeñas lomas aisladas que provienen de las partes altas del edificio volcánico Chachimbiro (localizado al oeste de la zona de estudio), responsable de su origen, distribuyéndose hacia las zonas más bajas, abriéndose en forma de abanico.

Realiza un recorrido desde el cráter del volcán hacia el fondo del graben en dirección este, en la depresión interandina, entre las cordilleras occidental y oriental. Esta geoforma ocupa 493.25 ha, lo que equivale al 54.47% de la superficie total del área de estudio presentan pendientes de 2 al 25%, con desniveles relativos que varían de 5 a 25 m (Fotografía 2).

### **Vertiente de flujos piroclásticos (Vfp)**

Esta geoforma ocupa 373.68 ha, equivalente al 41.27% de la superficie total del área de estudio, presentan pendientes entre 7 y 70% y desnivel relativo de 50 a 100 m; su origen está dada por los procesos de erosión de los flujos piroclásticos, generando vertientes con inclinación Suave a Muy Fuerte y Abruptas, que en muchos casos evidencian inestabilidad por la continua caída de detritos en la base de los mismos. Limitan la zona

de estudio, al norte la quebrada La Banda, al sur la quebrada Pingunchuela y hacia el este el canal de riego (Fotografía 3).



**Fotografía 2.** Flujo piroclástico. Hacienda. San Carlos.  
Fuente: CGSIN, 2015.

### **Barranco (Br)**

Esta geoforma, es originada por agentes de erosión hídrica y eólica, pertenecen a la unidad ambiental: relieves de los Fondos de Cuencas con Relleno Volcano-Sedimentarios.

Este tipo de geoforma presenta pendientes mayores al 70% (Muy Fuerte), con desniveles relativos mayores a 25 m, con formas de vertientes de tipo rectilíneo e irregular. Esta geoforma abarca 8.01 ha, que representa el 0.88% del total de la zona investigada (Fotografía 4).

### **Origen Depositional o Acumulativo Aluvial**

#### **Terraza baja y cauce actual (Tb)**

Constituyen el nivel de depositación aluvial actual, constituidos de rodados, gravas arenas y limos. La pendiente 0 a 2%, desnivel relativo 0 a 5 m. Esta geoforma ocupa 0.32 ha, que representa el 0.04% del área de estudio.



**Fotografía 3.** Vertiente de flujo piroclástico. Quebrada La Banda.  
Fuente: CGSIN, 2 015.



**Fotografía 4.** Barranco. Quebrada s/n.  
Fuente: CGSIN, 2 015.

### **Origen Denudativo**

### **Coluvión antiguo (Can)**

Están compuestos por materiales detríticos, transportados desde las partes altas de los relieves y vertientes, por acción de la gravedad y depositados en las partes intermedias o al pié de las mismas. Los materiales depositados son arenas de grano medio, gravas y



bloques. Esta geofoma ocupa 3.28 ha, lo que equivale al 0.36% de la superficie total del área de estudio, presentan pendientes del 12 al 25%, con desniveles relativos que varían entre 5 a 25 m.

### **Glacis coluvial (Gc)**

Superficies uniformes amplias, planas a ligeramente inclinadas, al pié de relieves primarios, producto del depósito o acumulación de sedimentos erosionados de los relieves piroclásticos de arenas, tobas limosas, provenientes del volcán Chachimbiro; presenta desniveles menores de 5 m, con pendientes 2 a 5%. El área de esta unidad tiene 7.72 ha, que corresponde al 0.85% de la zona investigada.

### **Talud de derrubios (Td)**

Depósito de material muy grueso que se forma al pié de una ladera por la caída de rocas y materiales del volcán Chachimbiro, conformado de bloques, gravas y limos de las tobas dacíticas; tiene pendientes de 12 a 50%, con vertientes irregulares. Esta geofoma cubre una superficie de 19.24 ha, que representa al 2.13% del área de estudio.

## **4.3. Pendiente**

La pendiente es una de las variables más importantes y ayuda a determinar la mayor o menor facilidad para el desarrollo de las actividades humanas en el medio biofísico.

La pendiente o grado de inclinación de las laderas o vertientes de un terreno con relación a la horizontal, es la relación que existe entre el desnivel que se debe superar y la distancia horizontal que se debe recorrer. La distancia horizontal se la mide en el mapa. La pendiente se expresa en grados o en tanto por ciento (%).

### **4.3.1. Metodología**

Para realizar los estudios a nivel de semidetalle por la naturaleza del predio con fines de riego, se adoptó las siguientes clases y rangos de pendientes (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Clases, rangos de pendientes y tipo de inclinación.

<b>Clase</b>	<b>Rango (%)</b>	<b>Rango (grados)</b>	<b>Tipo de inclinación</b>
1	0-2	1	Plano a casi plano.
2	2-5	1 - 3	Muy suave o ligeramente inclinado.
3	5-12	3 - 7	Suave.
4	12-25	7 - 16	Media.
5	25-50	16 - 27	Media a Fuerte.
6	50-70	27 - 35	Fuerte.
7	>70	> 35	Muy Fuerte.

- A partir de un Modelo Digital de Elevación se generó el mapa de pendientes, tipo raster en porcentajes de pendientes, en el software ArcGIS 10.
- La capa raster de pendientes obtenida posteriormente fue vectorizada.
- Los vectores resultantes se sometieron a edición de polígonos irregulares con control topológico, para obtener los polígonos finales.
- Se realizó una comprobación en gabinete con la fotointerpretación de las fotografías aéreas de la zona de estudio.
- Con el trabajo de campo se comprobó o modificó para realizar el mapa final de Pendientes.

#### 4.3.2. Resultados

La zona de estudio presentó las siguientes clases y rangos de pendientes (Cuadro 2):

**Cuadro 2.** Resultados de las clases y rangos de pendientes en la Granja Experimental INIAP - Yachay.

<b>Clase</b>	<b>Rango (%)</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Ocupación (%)</b>
1	0-2	0.32	0.04
2	2-5	32.97	3.64
3	5-12	406.05	44.84
4	12-25	285.02	31.47
5	25-50	61.34	6.77
6	50-70	9.65	1.06
7	>70	110.14	12.16

**Clase 1:** Esta clase abarcó una superficie de 0.32 ha, que representó el 0.04% en relación a la superficie total de la zona de estudio.

**Clase 2:** Esta clase comprendió una superficie de 32.97 ha, que representó el 3.64% en relación a la superficie de la zona de estudio.

**Clase 3:** Esta clase cubrió una superficie de 406.05 ha, que representó el 44.84% de la zona de estudio (Fotografía 5).



**Fotografía 5.** Pendiente 5-12% en flujo piroclástico. Hacienda La Banda.  
Fuente: CGSIN, 2015.

**Clase 4:** Esta clase tuvo una superficie de 285.02 ha, que representó 31.47% (Fotografía 6).



**Fotografía 6.** Pendiente 12-25% en flujo piroclástico. Hacienda La Banda.  
Fuente: CGSIN, 2015.

**Clase 5:** Corresponde a una superficie de 61.34 ha, que representó el 6.77% de la zona de estudio (Fotografía 7).



**Fotografía 7.** Pendiente 25 a 50% en vertiente de flujo piroclástico. Hacienda La Edelmira.  
Fuente: CGSIN, 2.015.

**Clase 6:** Esta clase comprende una superficie de 9.65 ha, que representó el 1.06% de la zona de estudio.

**Clase 7:** Se presentó en las unidades morfológicas de Vertientes de flujos piroclásticos y en los Barrancos. Esta clase ocupa una superficie de 110.14 ha, que representó 12.16% de la zona de estudio (Fotografía 8).



**Fotografía 8.** Pendiente >70% en vertientes de flujos piroclásticos. Quebrada La Banda.  
Fuente: CGSIN, 2015.

#### 4.4. Suelos

Dentro de los recursos naturales renovables el recurso suelo es sin duda el de mayor importancia considerando que es el medio en el que se desarrolla la actividad agropecuaria es importante tener un amplio conocimiento de este para su mejor aprovechamiento y conservación.

Es necesario en cualquier programa de desarrollo regional estatal o privado, realizar un amplio estudio de suelos a fin de identificar geográficamente sus características físicas, químicas, morfológicas y productivas de las diferentes clases de suelo e interpretar estas características con fines de planificación de “Uso Sustentable” de la tierra, evaluación y monitoreo de la fertilidad investigación y aplicación referente a la “Agricultura de Precisión”

El nivel de estudio de suelos realizado a escala 1:10000, está fundamentado en el “Enfoque Geopedológico” basado en la alta correlación que existe entre la geomorfología (formas del relieve) y el suelo lo cual permite caracterizar los tipos de suelos de mejor forma. Los estudios de suelos realizados a escala 1:25000 corresponde técnicamente al nivel **Semidetallado**; se intensificó las observaciones de suelos a fin de acercarse al nivel **Detallado** específicamente en el área con vocación agrícola y tener mayor sustento técnico requerido para los estudios o levantamientos de suelos con fines de riego.

La caracterización edáfica del área de estudio, se realizó utilizando los lineamientos del Manual de Levantamiento de Suelos (Soil Survey Staff, 2010) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. El propósito de una clasificación, es organizar la característica de los suelos, con una finalidad específica para un proceso de agrupación de unidades con propiedades comunes.

El sistema de clasificación de los suelos determina 4 categorías para el nivel de estudio Semidetallado:

- **Orden:** Agrupa los suelos de acuerdo a la presencia o ausencia de horizontes diagnóstico.
- **Suborden:** Similitud en propiedades asociadas a la humedad del suelo, material de partida y efectos de la vegetación.
- **Gran Grupo:** Subdivisión de acuerdo a la disposición de los horizontes, temperatura y humedad del suelo y presencia o no de capas de formación especial.
- **Subgrupo:** Conserva el concepto central del Gran Grupo reflejan transiciones a otros gran grupos o subórdenes.

La unidad cartográfica, según el nivel edafológico empleado es la consociación y la unidad taxonómica de clasificación es el subgrupo. Utilizándose simbología especial y/o un nombre local con fines de facilidad de lectura a manera de fases de Subgrupos o Series de suelos.

- **La consociación:** Es una unidad geográfica en la que predomina un tipo de suelo o un área miscelánea que cubre más del 85% de su superficie.
- **Subgrupo:** Cuarta categoría en el ordenamiento de la clasificación de suelos en el nivel de estudio “Semidetallado”.
- **Fases y Serie de suelos:** Agrupación de suelos con características particulares de diferenciación de los suelos (disposición de los horizontes de diagnóstico, color, textura, espesor del horizonte superficial, drenaje y fragmentos gruesos, pedregosidad. En relieve (micro relieve y pendiente) y erosión. El clima es sin mayor influencia por ser la zona uniforme, los mismos que influyen en el uso y manejo de los suelos.
- **Áreas misceláneas:** Áreas de la tierra que no tiene suelo definido (deslaves, afloramientos rocosos, arenales, ciénagas y pantanos).

Es necesario resaltar que tanto el Manual de Levantamiento de Suelos como el Sistema Soil Taxonomy son empleados a nivel nacional para los estudios de suelos a diferentes niveles y escalas de estudio. Con modificaciones a ciertos criterios, parámetros y requerimientos de la clasificación válidos para nuestro medio biofísico.

#### **4.4.1. Metodología**

El presente estudio fue realizado a través de una secuencia de actividades en gabinete, campo y laboratorio que se describen:

- **Recopilación de información secundaria temática y cartográfica:**

Esta fase comprendió la revisión, análisis y evaluación de la información disponible sobre los levantamientos de suelos realizados en el país, a efectos de validar sus características y establecer su compatibilidad con las especificaciones técnicas aplicables a los propósitos del presente estudio.

- **Generación de información preliminar de suelos:**

Para la generación de la información preliminar, se dispuso de los insumos básicos: cartografía base, fotografías aéreas, imágenes satelitales, ortofotos, modelo digital del terreno, información secundaria y la utilización de los sistemas de información geográfica, principalmente para el proceso de fotointerpretación geomorfológica.

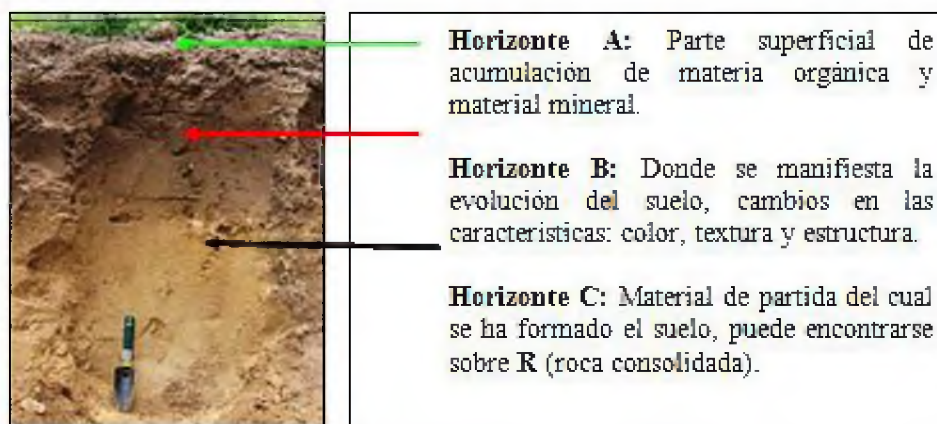
A partir de la información generada, se elaboró la cartografía temática de suelos y sobre este mapa se colocó la información edáfica que caracteriza a todas y cada una de las unidades geomorfológicas interpretadas en el área de estudio, así como la programación y localización georeferenciada de los puntos de muestreo para la caracterización de suelos y diagnóstico de la fertilidad.

- Fase de campo y laboratorio en esta etapa se realizó el mapeo sistemático procediendo a una evaluación y un examen minucioso de los suelos mediante la apertura de calicatas en las unidades geomorfológicas seleccionadas, cuyas capas u horizontes se describieron cuidadosamente, anotando su color, espesor, moteo, textura, estructura, consistencia, presencia de gravas y/o piedras dentro y fuera del perfil, formaciones especiales, entre otras.

Registro de la ubicación geográfica mediante coordenadas planas (UTM) tomadas con GPS y altitud sobre el nivel del mar.

Se realizaron 4 calicatas o perfiles, 102 barrenaciones de los cuales se tomaron muestras de suelo para análisis químico con fines de clasificación y diagnóstico de la fertilidad (Figura A.1., Fichas A.1., A.2., A.3. y A.4.) .

Las calicatas o perfiles (hasta 1.20 m de profundidad ), barrenaciones compuestas (0.4 m) para determinación de fertilidad del suelo (Figura 2).



**Figura 2.** Perfil de suelo representativo en la Granja Experimental INIAP-Yachay.

Registro de la descripción de las observaciones de suelos en hojas de campo previamente preparadas.

### **Fase de gabinete**

Se realizó el procesamiento final y la compilación de la información de campo y laboratorio. También se reajustó la interpretación preliminar y el establecimiento de trazos definitivos en las unidades del mapa, las cuales fueron descritas en base al análisis geopedológico y al resultado de los análisis físico-químico (Cuadro 3).



**Cuadro 3.** Métodos y extractantes utilizados en las determinaciones físicas y químicas de suelos.

<b>Parámetro</b>	<b>Método</b>	<b>Extractante</b>
Textura.	Densimétrico.	Hidróxido de sodio 0.1 N.
pH.	Potenciométrico.	Agua.
Al + H.	Volumétrico.	Cloruro de potasio 1 N.
Conductividad Eléctrica (C. E.).	Conductimétrico.	Pasta de saturación.
Materia Orgánica (M. O. S.).	Volumétrico.	Dicromato de potasio 1 N.
Capacidad de Intercambio Catiónico (C. I. C).	Físico-Químico.	Acetato de amonio 1 N pH 7.
Nitrógeno amoniacal.	Fotocolorimétrico.	Olsen modificado.
Nitrógeno total (N. total).	Destilación.	Ácido sulfúrico.
Fósforo (P).	Fotocolorimétrico.	Olsen modificado.
Cationes Cambiables. (K. Ca. Mg).	Espectrofotometría de absorción atómica.	Olsen modificado.
Microelementos. (Cu., Zn, Mn y Fe).	Espectrofotometría de absorción atómica.	Olsen modificado.
Azufre (S).	Fotocolorimétrico.	Fosfato ácido de calcio.
Boro (B).	Fotocolorimétrico.	Fosfato ácido de calcio.
Sodio (Na).	Espectrofotometría de absorción atómica.	Pasta de saturación.

Posteriormente, se elaboró el mapa final, como la base de datos, leyenda explicativa, memoria técnica, cuadros, gráficos y anexos.

La caracterización climática del suelo, esta representa por las zonas de humedad y temperatura al interior del área de estudio.

Esta información permite la caracterización del régimen climático del suelo con los parámetros fundamentales: los regímenes de humedad y temperatura, en base a los rangos definidos en el Soil Taxonomy, fueron ajustados al medio nacional durante las investigaciones y estudios de levantamientos de suelos realizados a nivel nacional por el MAG-PRONAREG-ORSTOM (1980 y 1984).

#### - **Regímenes de temperatura del suelo**

La temperatura es el elemento climático que indica el grado de calor o frío, siendo la fuente generadora de dicho calor el sol. La tierra no recibe igual energía solar en todas

sus partes, existe variación de temperatura y además es complementada por otras causas: altitud, latitud, vegetación, época del año y otros factores (MAGAP-PRAT-SIGAGRO-BID, 2008). Tiene un importante impacto sobre los suelos y las condiciones de desarrollo de los diferentes cultivos producción de biomasa, humificación y procesos degradativos como erosión, compactación y contaminación.

La relación entre la temperatura media ambiental y la temperatura media del suelo a 0.5 m de profundidad se define como una diferencia de 1°C entre la temperatura media anual ambiental y la temperatura media anual del suelo a 0.5 m (Porta et al, 2003):

$$t_{mas} = t_{maa} + 1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Donde:

$t_{mas}$  = temperatura media anual del suelo.

$t_{maa}$  = temperatura media anual ambiental.

En el Cuadro 4 se presentan los regímenes de temperatura del suelo

#### - **Regímenes de humedad del suelo**

Se refiere a los estados de humedad de una sección de control, cuyos límites pueden ser determinados para cada perfil además se debe relacionar con la información climática como por ejemplo con las isoyetas y meses ecológicamente secos. Este régimen está estrechamente relacionado con la disponibilidad de agua para las plantas y su crecimiento.

La zona de estudio, se localizó dentro de un régimen ústico, al permanecer seca en alguna o en todas sus partes por 90 días o más acumulativos en años normales y húmeda en alguna parte por más de 180 días acumulativos por año o por 90 días o más consecutivos. Es posible hacer cultivos de ciclo corto sin riego pero con irregularidad y deficiencia de agua algunos años.

**Cuadro 4.** Regímenes de temperatura del suelo.

<b>Zonas de temperatura</b>	<b>Descripción</b>
<b>Isohipertérmico</b>	Suelos con temperatura de más de 20 a 22°C entre 0.5 y 1 m de profundidad.
<b>Isotérmico</b>	Suelos con temperatura de 13 a 20°C entre 0.5 y 1 m de profundidad durante todo el año con una variación muy débil.
<b>Isoméxico</b>	Suelos con temperatura de 10 a 13°C entre 0.5 y 1 m de profundidad durante todo el año.
<b>Isufrígido</b>	Suelos con temperatura de menos de 10°C entre 0.5 y 1 m de profundidad durante todo el año

Fuente: Soil Survey Staff, 2010.

**Cuadro 5.** Regímenes de humedad del suelo.

<b>Etiqueta</b>	<b>Descripción</b>
<b>Árido</b>	El suelo está seco en todo el perfil, durante más o menos la mitad del año, pero ninguna parte está húmeda más de tres meses consecutivos. Generalmente, hay infiltración del agua por abajo. No hay lixiviación pero en muchos casos una acumulación de elementos minerales: sal, carbonatos.
<b>Ústico</b>	Este régimen de humedad es intermedio entre el régimen árido y el údico. La sección de control en áreas del régimen ústico está seca, en alguna o en todas sus partes por 90 días o más acumulativos en años normales. Sin embargo, está húmeda en alguna parte por más de 180 días acumulativos por año o por 90 días o más consecutivos. Es posible hacer cultivos de ciclo corto sin riego pero con irregularidad y deficiencia de agua algunos años.
<b>Údico</b>	El suelo no está seco en todo el perfil más de tres meses consecutivos la mayoría de los años.
<b>Perúdico</b>	Las precipitaciones mensuales son más altas que la evapotranspiración, por consecuencia, hay percolación del agua en el perfil durante todo el año y lixiviación de algunos elementos minerales útiles.
<b>Ácuico</b>	Suelos saturados con agua, con predominio de reacciones de reducción debido a la ausencia de oxígeno, condiciones no favorables para desarrollo de microorganismos.

Fuente: Soil Survey Staff, 2010.

#### - Factores para la caracterización de los suelos

Los factores, que determinan las características del suelo considerados en el presente estudio, son: textura, profundidad efectiva, pedregosidad (superficial o afloramiento), drenaje natural, inundabilidad, nivel de la capa freática o de agua, salinidad, pH,

toxicidad (por carbonatos y/o aluminio). Estos factores califican las diferentes propiedades físicas del suelo e influyen de manera temporal o permanente pueden modificar la capacidad de uso de la tierra e influyen en el nivel de fertilidad del suelo.

#### - **Relieve - Pendiente**

Se consideró la variable pendiente para la evaluación de tierras por su capacidad de uso, debido a que constituye un factor determinante al incidir directamente en las diferentes prácticas agronómicas y mecánicas para el cultivo del suelo (MAGAP-PRAT-SIGAGRO-BID, 2008).

Este factor determina a su vez, las medidas de conservación y las prácticas de manejo necesarias para la preservación del suelo y agua (Cuadro 1).

#### - **Profundidad efectiva del suelo**

La profundidad efectiva de un suelo constituye el espesor de las capas del suelo y subsuelo en las cuales las raíces pueden penetrar sin dificultad, en busca de agua, nutrimentos y sostén.

Siendo el límite inferior definido por capas u horizontes compactos que impiden el desarrollo de las raíces, como arcillas muy densas y compactas, horizontes cementados compactos, estratos rocosos o pedregosos continuos, nivel freático asociado con gleyzación u horizontes con concreciones tóxicas de algún elemento como Cobre, Manganeso o Calcio, ésta variable puede marcar la diferencia entre un suelo productivo y otro que no lo sea, debido a que esta propiedad regula directa o indirectamente varias funciones de los suelos agrícolas en beneficio de las plantas (Cuadro 6).

#### - **Textura**

La textura se define como el porcentaje en peso del suelo mineral que queda comprendido en varias fracciones de tamaño de partículas.

**Cuadro 6.** Categorías de profundidad efectiva de los suelos.

<b>Categoría</b>	<b>Profundidad (m)</b>
Muy superficial	0 - 0.10
Superficial	0.11 - 0.20
Poco profundo	0.21 - 0.50
Moderadamente profundo	0.51 - 1.00
Profundo	> - 1

Fuente: IEE- SENESCYT, 2012.

La importancia de conocer la textura o clase textural a la que pertenece un suelo consiste en que permite hacer una deducción aproximada de las propiedades generales del suelo y así ajustar las prácticas de manejo, labranza, riego y fertilización para obtener mayor eficiencia en la producción agrícola. La información relativa a la textura del suelo también puede utilizarse para clasificar suelos, evaluar y valorar tierras, determinar la capacidad de uso y otros (Cuadro 7 y Figura 3).

#### - **Pedregosidad del suelo**

Se refiere a la presencia o ausencia de fragmentos gruesos superficiales o presentes en los horizontes del suelo que afecten a la mecanización y desarrollo de la plantas; también incluyen aquellos que se exponen parcialmente y están descritos en términos de porcentaje de cobertura. La pedregosidad es considerada un factor limitante para el uso del territorio (Cuadro 8).

#### - **Salinidad del suelo**

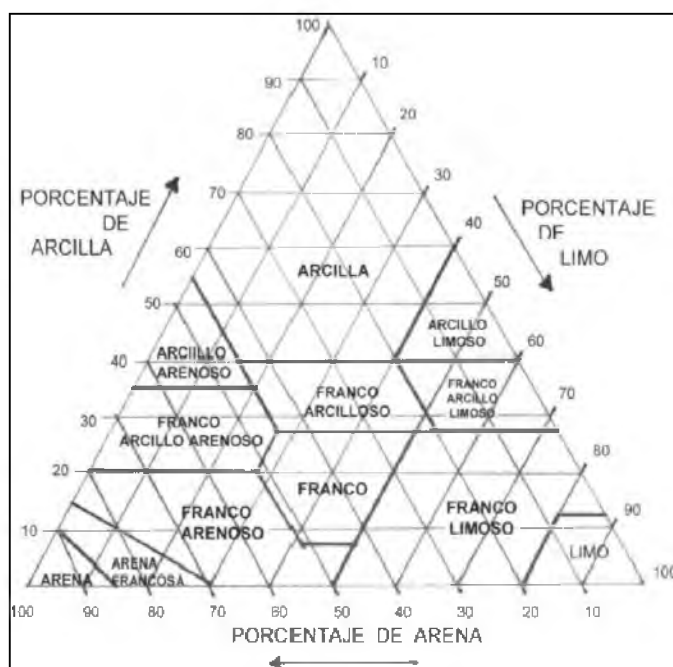
La salinidad es una característica del suelo que consiste en una alta concentración de sales y en especial de sodio que limita el crecimiento de los cultivos, ya que las plantas no pueden absorber una cantidad suficiente de agua para funcionar adecuadamente.

Conforme se produce el incremento de las sales en el suelo, se hace más difícil para las raíces de las plantas absorber agua. Muchos cultivos sensitivos a las sales presentan síntomas de insuficiencia hídrica con sus hojas achurruscadas. Existe un progresivo decrecimiento en el desarrollo y rendimiento a medida que los índices salinos se incrementan.

**Cuadro 7.** Clases de textura del suelo.

Categoría	Símbolo	Descripción
Arena	A	Tiene un buen drenaje y se cultivan con facilidad, pero también se secan fácilmente y los nutrientes se pierden por lavado.
Areno francoso	AF	
Franco	F	Muestran mayor capacidad de uso agrícola.
Franco arenoso	FA	
Franco limoso	FL	
Franco arcilloso	FY	
Franco arcillo-arenoso	FYA	
Franco arcillo-limoso	FYL	
Limoso	L	Son texturas que dan una sensación harinosa (como polvo del talco). Tienen velocidad de infiltración baja, almacenamiento de nutrientes medio.
Arcilloso	Y	Tienden a no drenar bien, se compactan con facilidad y se cultivan con dificultad y a su vez, presentan una buena capacidad de retención de agua y nutrientes.
Arcillo-arenoso	YA	
Arcillo-limoso	YL	

Fuente: IEE- SENESCYT, 2012.



**Figura 3.** Triángulo de clases texturales del suelo.

**Cuadro 8.** Categorías de pedregosidad de los suelos.

<b>Categorías</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>
Sin	S	No posee fragmentos gruesos
Muy pocas	M	< 10 % de fragmentos gruesos y no interfieren con el laboreo.
Poca	P	10 a 25 % de fragmentos gruesos, existe interferencia con el laboreo, es posible el cultivo de plantas de escarda (maíz, plantas con raíces útiles y tubérculos)
Frecuente	F	25 a 50 % de fragmentos gruesos, existe dificultad para el laboreo, es posible la producción de heno y pasto.
Abundantes	A	50 a 75 % de fragmentos gruesos, no es posible el uso de maquinaria agrícola, solo se puede utilizar máquinas livianas y herramientas manuales.
Pedregoso o rocoso	R	> 75 % de fragmentos gruesos en la superficie, excesivamente pedregoso como para ser cultivado.

Fuente: Porta, J. y López-Acevedo, M., 2005.

Este proceso puede tener lugar en ambientes áridos (régimen de humedad arídico) y semiáridos (régimen de humedad xérico), en llanuras costeras, estuarios y deltas en donde los suelos acumulan sales procedentes del material original así como también se puede presentar en zonas de cultivos por acción antrópica (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Niveles de salinidad del suelo.

<b>Categoría</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor (dS/m)</b>	<b>Descripción</b>
No salino	NS	< 2.0	Nivel de sales que no limitan el rendimiento.
Ligeramente salino	LS	2.0 - 4.0	Nivel de sales ligeramente tóxico con excepción de cultivos tolerantes.
Salino	S	4.0 - 8.0	Nivel de sales tóxico en mayoría de cultivos.
Muy salino	MS	8.0 - 16.0	Nivel de sales muy tóxico en los cultivos.
Extremadamente salino	ES	> 16.0	Nivel de sales muy tóxico en los cultivos.

#### - Toxicidad del suelo

La toxicidad se define como el efecto negativo que producen los aniones y cationes sobre las plantas cuando se encuentran presentes en exceso en el suelo.

La toxicidad por acidez ocurre en los suelos minerales donde la hidrólisis del aluminio intercambiable es la fuente principal de iones hidrógeno por lo que el grado de acidez del suelo está íntimamente relacionado con el aluminio intercambiable presente en el complejo coloidal (Cuadro 10 y 11).

**Cuadro 10.** Niveles de toxicidad por aluminio en el suelo.

<b>Categoría</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Clase (meq/100ml)</b>	<b>Descripción</b>
Sin o nula	S	-	Ausencia de acidez de aluminio e hidrógeno intercambiable aplicable tanto para la Costa como para la Sierra.
Ligera	La	< 0.50	Ligera acidez de aluminio e hidrógeno intercambiable aplicable tanto para la Costa como para la Sierra.
Media	Ma	0.50 - 1.5	Media acidez de aluminio e hidrógeno intercambiable aplicable tanto para la Costa como para la Sierra.
Alta	Aa	> 1.5	Alta acidez de aluminio e hidrógeno intercambiable aplicable tanto para la Costa como para la Sierra.

Fuente: FAO, 2009.

**Cuadro 11.** Niveles de toxicidad por carbonatos en el suelo.

<b>Categoría</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Clase (meq/100ml)</b>	<b>Descripción</b>
Sin o nula	S	-	Ausencia de carbonatos, sin reacción al HCl.
Ligera (car)	Lc	0 -10	Reacción Ligera al HCl. presencia de pequeñas burbujas. Contenido de carbonatos muy bajo y bajo.
Media (car)	Mc	11 - 25	Reacción moderada al HCl. presencia de burbujas con espuma baja. Contenido de carbonatos normal.
Alta (car)	Ac	> 25	Reacción fuerte y extremadamente fuerte al HCl. presencia de efervescencia con burbujas y espuma alta. Contenido de carbonatos alto y muy alto.

Fuente: FAO, 2009.



## - Drenaje del suelo

El drenaje de un suelo expresa la rapidez con que se elimina el agua sobrante en relación con las aportaciones.

La clase de drenaje es un atributo del suelo que viene determinado por un conjunto de propiedades (estructura, textura, porosidad, capa impermeable, permeabilidad, posición del suelo en el paisaje y color).

Es necesario evaluar esta variable debido a que la misma condiciona el uso del suelo ya que sirve para diagnosticar zonas inundables, zonas húmedas y definir limitaciones para el desarrollo de las raíces (Cuadro 12).

**Cuadro 12.** Clases de drenaje en el suelo.

<b>Categoría</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>
Excesivo	E	Eliminación rápida del agua en relación al aporte por la lluvia. Suelos de texturas gruesas. Normalmente ningún horizonte permanece saturado durante varios días después de un aporte de agua.
Bueno	B	Eliminación fácil del agua de precipitación, aunque no rápidamente. Suelos de textura media a fina. Algunos horizontes pueden permanecer saturados durante unos días después de un aporte de agua. Sin moteados en los 100 cm superiores o con menos de un 2 % entre los 60 y 100 cm.
Moderado	M	Eliminación lenta del agua en relación al aporte de agua. Suelos con un amplio intervalo de texturas. Algunos horizontes pueden permanecer saturados durante más de una semana después del aporte de agua. Moteados del 2 al 20 % entre 60 y 100 cm.
Mal drenado	X	Eliminación muy lenta del agua en relación al suministro. Suelos con un amplio intervalo de texturas. Los horizontes permanecen saturados por agua durante varios meses. Rasgos gléicos. propiedades estagnicas (moteados y coloraciones naranja o herrumbrosas en los canales de raíces). Problemas de hidromorfismo. Estas características se observan por lo general en zonas deprimidas y con régimen de humedad ácuico.

Fuente: IEE- SENESCYT, 2012.

## - Inundabilidad del suelo

La inundación es la condición en la que el suelo es cubierto por agua. Encharcamiento es cuando el agua se encuentra en una depresión.

Las inundaciones, están relacionadas precisamente con las precipitaciones intensas de carácter excepcional y de larga duración que aumentan considerablemente el caudal de los ríos, produciendo desbordamiento y generando inundaciones por anegamiento especialmente en aquellas áreas de topografía plana con suelos de texturas arcillosas.

Las inundaciones se clasifican de acuerdo al número de días, semanas y meses que permanecen inundados, lo cual constituye un factor importante para los cultivos (Cuadro 13).

**Cuadro 13.** Periodos de inundación en el suelo.

<b>Categoría</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Tiempo meses</b>	<b>Descripción</b>
Sin o muy corta	O	0 a 1	Suelos con ninguna presencia de agua o máximo durante un mes.
Corta	C	1 a 3	Suelos con presencia de agua durante uno a tres meses.
Mediana	M	3 a 6	Suelos con presencia de agua durante tres a seis meses.
Larga	L	6 a 9	Suelos con presencia de agua durante seis a nueve meses.
Permanente	P	> 9	Suelos permanentemente inundados. más de 9 meses cubiertos de agua.

Fuente: Yugcha.T, 1992.

## - Potencial hidrógeno del suelo

El pH es la concentración en forma logarítmica de iones  $H^+$  de una solución acuosa que se ha mantenido en contacto con el suelo en el tiempo suficiente para alcanzar el equilibrio.

La determinación del pH sirve para interpretar algunas características de los suelos relacionados especialmente con sus propiedades acidas o alcalinas y el funcionamiento general en cuanto a la utilización y solubilidad de los nutrientes del suelo (Cuadro 14).

**Cuadro 14.** Clasificación del pH en el suelo.

<b>Categoría</b>	<b>Clase</b>
Muy ácido	> 5.0
Ácido	5.0 - 5.5
Medianamente ácido	5.6 - 6.0
Ligeramente ácido	6.1 - 6.5
Prácticamente neutro	6.6 - 7.5
Ligeramente alcalino	7.6 - 8.0
Medianamente alcalino	8.1 - 8.5
Alcalino	> 8.5

Fuente: IEE- SENESCYT, 2012. Cartagena, 2002.

#### **4.4.2. Resultados**

Los suelos de la Granja Experimental INIAP- YACHAY, se encuentran distribuidos dentro de la unidad ambiental Relieves de fondos de cuencas volcano-sedimentarios y/o piroclásticos donde predomina un régimen de temperatura y humedad del suelo Isotérmico y ústico respectivamente.

Estos suelos se encuentran en las zonas más bajas, en condiciones climáticas secas, suelos todavía poco evolucionados y menos húmiferos. Corresponde a la mayoría de las superficies típicas de los rellenos, pero comprenden localmente glacis establecidos al pie de algunos volcanes. Su morfología es típica de estas formas, interfluvios planos a suavemente redondeados, separados por incisiones en V. Las superficies de sus interfluvios, mostraron abundantes huellas de un escurrimiento difuso antiguo y actual: canales anastomozados, socavados de algunas capas más recientes bloques esparcidos en la superficie que se asemejan localmente a un pavimento muy abierto en las cercanías del Tocachi o Tabacundo. Estuvieron presentes en el contorno oeste y sur de la cuenca de Ibarra, entre los 2200 y 2400 m.s.n.m y bajan hasta 1800 m.s.n.m al Noreste, cerca del Valle del Chota.

Sus características son:

Ecología: Formación herbácea y arbustiva espinosa.

Geología: Volcánicos Chachimiro.

Edafología: Los suelos, presentaron cantidades de materia orgánica inferiores al 1%, el pH se aproxima a 7, elevándose hasta 8 en las regiones más secas, mientras que el carbonato de calcio se acumulo en el perfil, los suelos desarrollados a partir de cenizas volcánicas.

Estos suelos de poco espesor cubren cenizas antiguas endurecidas (cangahua) que aflora cuando los suelos están erosionados.

Cobertura natural: Matorral seco.

Uso actual de las tierras: Vegetación protectora o productiva, agrícola y ganadera.

Vías Principales: Corresponden a caminos de segundo orden y la vía principal Urcuqui - Ibarra.

Poblados Aledaños: Tumbambiro y Urcuqui.

Peligros naturales: erosión por surcos y cárcavas; movimientos en masa.

En la Granja Experimental INIAP- YACHAY, se identificaron los siguientes ordenes de suelos: Entisols, Andisols y Mollisols (Cuadro 15).

**Cuadro 15.** Órdenes de suelos presentes en la Granja Experimental INIAP - Yachay.

<b>Orden</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Ocupación (%)</b>
Andisols	15.89	1.75
Entisols	202.68	22.38
Mollisols	686.60	75.82
Tierras misceláneas	0.405	0.04

### **Entisols**

El Subgrupo de los Entisols, encontrados en el predio pertenecen a un Grande Grupo y a un Suborden. Este orden tiene una superficie de 202.68 ha que representó el 22.383 % del área total del área de estudio.

Se encontraron espacialmente distribuidos en la siguientes unidades morfológicas: barrancos, talud de derrubios, vertientes de flujos piroclásticos y flujos piroclásticos (Cuadro 16).

**Cuadro 16.** Entisols en la Granja Experimental INIAP - Yachay.

<b>Orden</b>	<b>Subórdenes</b>	<b>Grandes grupos</b>	<b>Subgrupos</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Ocupación (%)</b>
Entisols	Orthents	Ustorthents	Lithic Ustorthents	202.68	22.38

**Lithic Ustorthents** (LEEB.) Familia Franco Arenosa/Serie Quebrada La Banda.

Presentes en la unidad morfológica, talud de derrubios y vertientes de flujos piroclásticos y flujos piroclásticos en pendientes medias a fuertes (25 - 70%). Suelos superficiales, color variable, sin estructura; erosionados, erosión hídrica y eólica en alto grado. Ocupó una superficie de 45.67 ha que correspondió al 4.80% en relación a la superficie total del área de estudio.

**Lithic Ustorthents** (LEEB.) Familia Franco Arenosa/Serie Quebrada Pigunchuela.

Presentes en la unidad morfológica, talud de derrubios y vertientes de flujos piroclásticos y flujos piroclásticos en pendientes medias a fuertes (25 - 70%). Suelos superficiales, color variable, sin estructura; erosionados, erosión hídrica y eólica en alto grado. Este serie ocupa una superficie de 158.73 ha que corresponde al 16.69% de la superficie total del área de estudio.

**Andisols**

Existe un subgrupo de Andisols, encontrado en el predio, pertenecen a un Grandes Grupos y a un subórdenes. Este orden, cubrió una superficie de 15.89 ha que representa el 1.75% en relación al área total de estudio. Se hallan espacialmente distribuidos en la unidades morfológicas flujo de piroclastos (Cuadro 17).

**Cuadro 17.** Andisols en la Granja Experimental INIAP - Yachay.

<b>Orden</b>	<b>Subórden</b>	<b>Grande grupo</b>	<b>Subgrupo</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Ocupación (%)</b>
Andisol	Vitrands	Ustivitrands	Typic Ustivitrands	15.89	1.75

### **Typic Ustivitrands (DFAF)/Familia Franco Arcillosa/Serie Quebrada Pigunchuela.**

Suelos color grisáceo castaño oscuro en húmedo, sin o estructura débil, granular, texturas franca arenosa, sin consistencia, suelto, profundos sobre 1.4 m, capas sucesivas de horizontes de textura franca arenosa; muchos poros, abundantes raíces, finas y muy finas, ninguna actividad biológica, ningún indicio de desarrollo evolutivo. pH, ligeramente alcalino a alcalino, materia orgánica muy baja, capacidad de intercambio catiónico y saturación de base alta. Esta serie cubrió una superficie de 15.95 ha que correspondió al 1.67% de la superficie total del área de estudio.

### **Mollisols**

Existe dos Subgrupos de mollisols, en el predio pertenecen a Grande Grupo y un Suborden, comprenden una superficie de 686.62 ha que representan el 75.82 % del área total de la zona de estudio.

Se encuentran espacialmente distribuidos en la siguientes unidades morfológicas: barrancos, talud de derrubios, vertientes de flujos piroclásticos y flujos piroclásticos y glaciais. (Cuadro18).

### **Vitrandic Haplustolls (IGGO)/Familia Franca/Serie Hacienda San Carlos.**

Se encuentran en los flujos piroclásticos, donde la pendiente varía del 5 a 12 %. Son suelos de textura franca, drenaje natural bueno y poco profundos. Tiene un perfil del tipo Ap/A/BC/C.

**Cuadro 18.** Mollisols en la Granja Experimental INIAP - Yachay.

<b>Orden</b>	<b>Subórdenes</b>	<b>Grandes grupos</b>	<b>Subgrupos</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Ocupación (%)</b>
Mollisol	Ustolls	Haplustolls	Vitrandic Haplustolls	469.41	51.84
			Entic Haplustolls	217.21	23.98

Presentó colores pardo oscuro en la superficie a pardo claro en profundidad. Su estructura es de tipo granular con presencia de grava fina (pómez). Los resultados que

se muestran, responden al promedio ponderado del análisis de laboratorio de los horizontes tipo Ap y A. Se determinó un pH alcalino, materia orgánica baja, capacidad de intercambio catiónico baja y la saturación de bases alta. Esta serie comprende una superficie de 418.17 ha que representa el 43.98% de la superficie total del área de estudio.

#### **Vitrantic Haplustolls (IGGO)/Familia Franca Arenosa/Serie Hacienda La Lorena.**

Se localizan en la vertiente de flujos piroclásticos, donde la pendiente varía del 5 a 12 %. Suelos con textura franca arenosa drenaje natural bueno y poco profundos. Tiene un perfil del tipo Ap/A/C/C1. Presentó colores pardo oscuro en la superficie a pardo claro en profundidad. la estructura es de tipo granular. Los resultados que se exhiben responden al promedio ponderado del análisis de laboratorio de los horizontes tipo Ap y A. Se determinó un pH alcalino, materia orgánica baja, capacidad de intercambio catiónico baja y la saturación de bases alta. Esta serie abarca una superficie de 86.27 ha que corresponden al 9.07% de la superficie total del área de estudio (Anexo 2).

#### **Entic Haplustolls IGGB Familia Franca/Serie Hacienda La Lorena.**

Se encuentran en la vertiente de flujos piroclásticos, donde la pendiente varía del (12 a 25 %). Suelos con textura franca arenosa, drenaje natural bueno y poco profundos, tiene un perfil del tipo Ap/A/C/C1. Presentó colores pardos oscuro en la superficie a pardo claro en profundidad, su estructura es de tipo granular. Los resultados que se presentaron responden al promedio ponderado del análisis de laboratorio de los horizontes tipo Ap y A. Se determinó un pH alcalino, materia orgánica baja, capacidad de intercambio catiónico baja y la saturación de bases alta. Esta serie alcanza una superficie de 217.12 ha que corresponden al 22.83% de la superficie total del área de estudio.

#### **4.5. Fertilidad**

La fertilidad del suelo es la capacidad que permite proporcionar los nutrientes necesarios en balance adecuado para el desarrollo de las plantas. Los sistemas

convencionales de evaluación de suelos estudian de una forma global el comportamiento práctico del sistema-suelo, considerando colectivamente las características edáficas y algunas otras adicionales. Debido a la enorme complejidad del sistema, se trata de una tarea de síntesis más que de análisis, por lo que la mejor manera de procesar la información, es la modelización de sistemas; que la fertilidad natural de los suelos, en base a las características del epipedón u horizonte superficial, un pronóstico de la capacidad nutricional que abastecerá. Un buen diagnóstico de la fertilidad, de los primeros 0.5 m del suelo, puede conseguirse interpretando en conjunto los siguientes parámetros: pH, capacidad de intercambio catiónico, bases totales, saturación de bases, saturación por aluminio, carbono orgánico, potasio y fósforo aprovechable y la salinidad (IGAC, 2006).

#### - **Geoestadística**

La Geoestadística, es una rama de la estadística que estudia fenómenos espaciales cuyo fin es la estimación, predicción y simulación de dichos fenómenos (Myers, 1987) se define como una ciencia aplicada que estudia las variables distribuidas espacialmente, partiendo de una muestra representativa del fenómeno en estudio.

#### - **Interpolación**

Es el procedimiento que predice los valores de los atributos en sitios no muestreados desde mediciones realizadas en localizaciones puntuales dentro de la misma área. convirtiendo datos puntuales a campos continuos (Dalence, 2003).

La recolección de datos en campo es costosa y muchas veces difícil. En ocasiones se utiliza los datos disponibles para estimar los parámetros necesitados. En la estimación de puntos, se utilizan variables medidas de ciertas localizaciones para estimar el valor de las mismas variables en otro punto. Por lo anterior, una de las tres fuentes más comunes de datos crudos para operaciones de un "Sistema de Información Geográfico" (SIG) consiste, de datos puntuales: registros de estaciones de precipitación, pozos, perfiles de suelos, barrenaciones y otros; para lo cual, y con el fin de poder estudiar los patrones espaciales, así como para posibilitar las combinaciones espaciales de diferentes



tipos de datos, los datos puntuales (basados en registros medidos con sus respectivas coordenadas), deben ser convertidos a datos espaciales con una imagen base (Meijerink et. al., 1994). En resumen los esquemas de interpolación pueden ser agrupados como: a) determinísticos: esquemas noestocásticos; y b) estadísticos: esquemas de interpolación estocástica u óptimos. La aproximación determinística intenta ajustar un tipo de superficie a través de un conjunto de valores muestreados ( $z$ ) en coordenadas conocidas ( $x, y$ ), en donde se requiere de un esquema exacto si los datos puntuales se refieren como verdaderos de la variable en las localizaciones muestreadas. Se usan muchas funciones matemáticas de varios tipos y complejidad para ajustar superficies a través de los puntos. Una vez hecho esto, entonces se puede determinar ( $z_0$ ) de cualquier posición conocida; se debe tomar particular atención al uso de superficies polinomiales, ya que estos métodos se basan en esquemas de distancias próximas y distancias inversas. La aproximación estadística depende enteramente en los datos espaciales, es decir, de la realización de los procesos que se puede considerar que tengan una variación aleatoria. Si no, la estimación de ( $z$ ) puede ser realizada en términos de probabilidad.

La estimación de la media espacial dentro de un área está en función del tamaño de la muestra y la probabilidad de inclusión de la muestra. La aproximación estocástica puede ser definida como un proceso en el cual tiene un componente determinístico o estructural y un componente correlacionado espacialmente en forma aleatoria (Meijerink, et. al, 1994).

Los métodos de interpolación disponibles en programa ILWIS 3.3 Academic (Integrate Land and Water Information System), como modelos determinísticos se tienen: nearest point (punto cercano), moving average (movimiento promedio), trend surface (superficie de tendencia) y moving surface (superficie en movimiento) y como modelo estocástico o probabilístico: kriging.

Para este caso se utilizó el modelo Moving average, es un método local, es decir, el valor  $z$  de una localización puntual desconocida se estima desde localizaciones vecinas puntuales conocidas y en el cual. los valores predichos se encuentran dentro del rango de los valores máximos y mínimos en la distribución. Asigna a las celdas (píxeles) los

valores de puntos con peso promediado. Los factores de peso para los puntos son calculados por una función de peso especificada por el usuario.

Los pesos pueden, por ejemplo, igualar aproximadamente, la distancia inversa de un píxel de salida. La función de peso asegura que los puntos próximos a un píxel de salida obtengan pesos más grandes que los puntos que se encuentran alejados. Además, las funciones de peso están implementadas de tal modo que los puntos que están más alejados de un píxel de salida, que la distancia limitante definida por el usuario, obtengan un valor de cero; esto permite acelerar el cálculo y previene incongruencias. Se aplica este método cuando del análisis exploratorio de datos indica que existe datos extremos. Se utiliza distancia inversa, en este método exacto, cuando existe una buena densidad de puntos y los mismos han sido medidos de forma muy exacta. Asimismo, se aplica disminución lineal, cuando los puntos medidos tienen error y poca densidad (ITC, 2005).

### **Variables edafológicas**

El efecto de cada variable del suelo sobre su comportamiento individualmente estudiado resulta del mayor interés como análisis preliminar. Este análisis aislado de interpretación práctica, más propio de los especialistas en fertilidad de suelos, fue planteado en un principio por Liebig en su ley del mínimo: “El desarrollo de una planta lo regula el factor que se presenta en menor cantidad” y posteriormente, matematizado (Mitscherlinch 1909), que describe el rendimiento de un cultivo (Y) en función de la cantidad de nutriente facilitado (X), lo cual representó el punto de partida del análisis cuantitativo de la relación entre el desarrollo de las plantas y los factores que lo condicionan (De la Rosa, 2008).

Además, el estudio de las propiedades químicas del suelo desde el punto de vista de la fertilidad es útil para diagnosticar y proponer soluciones, directas o indirectas a problemas prácticos como disponibilidad de nutrientes, toxicidad de iones, conversión a formas no disponibles de elementos adicionados en los fertilizantes, necesidades de cal en los suelos ácidos y de yeso en los sódicos; comprensión y explicación probable de las variaciones en su fertilidad (IGAC, 2006).

## - **Potencial hidrógeno**

El término pH se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógenos expresados en moles por litro. El balance ácido-base está determinado por el pH en el suelo, oscilando entre muy ácido (pH = 3) y fuertemente alcalino (pH = 8); cualquier suelo con pH por encima de 7 (neutro) se considera básicos y aquellos con pH inferior a 6.6 se consideran ácidos.

Muchos suelos incrementan su acidez por un proceso natural de acidificación, como resultado de la pérdida de bases por lavado o absorción de iones nutrientes de las plantas y también por la producción de ácidos orgánicos por las raíces y microorganismos. El efecto de la variable pH sobre el desarrollo de los cultivos de manera general es indirecto a través de la disponibilidad de nutrientes, que llega a ser impedida para pH muy ácido o muy básico. El rango de pH entre ligeramente ácido y ligeramente alcalino (6.0 a 7.5) se considera óptimo para la disponibilidad de nutrientes para la mayoría de las plantas.

## - **Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)**

Se la expresa en unidades del Sistema Internacional de Medidas  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  de suelo seco. Esta unidad proporciona un valor numérico que coincide con el que corresponde a expresarla en meq/100 ml de suelo seco (Porta et. al., 2008). Es deseable que un suelo tenga una CIC alta, ya que indica una gran capacidad potencial de suministro y reserva de Ca, Mg y K (INIAP, 2006). Es decir, a mayor CIC, mayor fertilidad del suelo por su capacidad de retener los elementos necesarios, caso contrario estarían en la solución del suelo fácilmente disponibles para su lavado.

## - **Bases Totales (BT)**

El término bases intercambiables o bases totales intercambiables, se refiere a la suma de las bases ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$ ) en formas intercambiables en el suelo, expresadas en meq/100 gramos de suelo; es decir, a los metales alcalinos y alcalinotérreos adheridos a las arcillas y a la materia orgánica, que pueden ser cambiados entre sí o con otro ión

cargado positivamente de la solución del suelo (Cortés & Malagón, 1983; citado por Serrano & Vargas, 2005).

Uno de los métodos para su medición es por acetato de amonio (1N NHOAc a pH 7) (Cartagena, 2002. Soil Survey Staff, 2010).

$$BT = \text{meq}/100 \text{ g de suelo } (Ca^{++} + K^{+} + Mg^{+} + Na^{+})$$

#### - **Saturación de Bases (SB)**

La saturación total de bases en el suelo se expresa en porcentaje (%) y es el producto de dividir la suma de las bases ( $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $K^{+}$  y  $Na^{+}$ ), por la capacidad de intercambio catiónico (Cartagena, 2002).

La saturación de bases cambiables disminuye a medida que aumenta el grado de lavado y el intemperismo de los suelos; de esta manera, se separan clases de suelos distróficos y eutróficos (Serrano & Vargas, 2005).

$$S. B. (\%) = \frac{\text{meq}/100 \text{ g de suelo } (Ca^{++} + K^{+} + Mg^{++} + Na^{+})}{CIC} \times 100$$

#### - **Conductividad Eléctrica (CE)**

La conductividad eléctrica del extracto de la pasta de saturación del suelo, se utiliza para determinar la concentración de sales solubles en el suelo (salinidad) y que se reporta como dS/m; considerando las siguientes equivalencias: 1 dS/m = 1 mmhos/cm = 1mS/cm (Soil Survey Staff, 2010).

En las regiones áridas y semiáridas es frecuente que los suelos acumulen sales, procedentes del material original o de los diferentes materiales utilizados y que no son lavadas por las escasas lluvias y la elevada evapotranspiración. Las sales solubles de Cl aparecen en el suelo combinadas con otras de  $HCO_3^{-}$ ,  $NO_3^{-}$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$  y K, expresándose globalmente por la conductividad eléctrica. Las aguas de riego pueden

añadir más sales a los suelos, que normalmente suben a la superficie por capilaridad durante la evaporación. También ciertos fertilizantes como, por ejemplo; el nitrato de amonio, pueden incrementar la salinidad de los suelos.

Los efectos negativos del exceso de sales solubles en el suelo sobre los cultivos son de tipo osmótico, tóxico y en relación con la conductividad hidráulica (De la Rosa, 2008).

#### - **Materia Orgánica (MO)**

La materia orgánica del suelo, está representada por los residuos de las plantas y animales en varios estados de descomposición, es decir que el contenido de la materia orgánica varía según la tasa de mineralización, por existir relación inversa entre altitud y temperatura. Se ha encontrado correlación positiva entre el contenido de materia orgánica total aumenta dos a tres veces por cada 10°C de disminución de temperatura (INPOFOS, 1997 y Navarro, 2003).

La temperatura límite de equilibrio de la descomposición y acumulación de la materia orgánica es de 25.4°C. Es decir, sobre esta temperatura la descomposición será mayor que la acumulación y bajo esta temperatura la acumulación será mayor que la descomposición de la materia orgánica (Luzuriaga, 2001).

#### - **Macronutrientes**

##### - **Nitrógeno**

En la naturaleza existen dos fuentes principales de reserva de nitrógeno para las plantas siendo la atmósfera, en la cual el 78% del aire es nitrógeno. Se estima que por encima de una hectárea de suelo existe aproximadamente 300000 toneladas de nitrógeno, el aire del suelo tiene normalmente una composición similar a la atmósfera, aunque ocasionalmente puede estar más enriquecido en alguna de las otras formas gaseosas, como  $N_2O$  o  $NH_3$ , debido a la acción de procesos químicos o microbiológicos. El nitrógeno es esencial para los procesos fisiológicos de las plantas porque es el principal componente de la clorofila y por ende de los tejidos.

## - Fósforo

El fósforo es esencial para el crecimiento, desarrollo y producción de las plantas, ya que es parte integral de muchos compuestos metabólicos: ácidos nucleicos (ADN). ATP, fosfolípidos, coenzimas; cumpliendo algunas funciones: biogénesis de los glúcidos, biosíntesis de los lípidos, síntesis de clorofilas y compuestos carotenoides, glucólisis y metabolismo de los ácidos orgánicos; por lo que es indispensable, además, para la fotosíntesis de las plantas, las cuales obtienen el fósforo del suelo, mediante la absorción por las raíces, en forma de aniones ortofosfatos ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{HPO}_4^{2-}$ ), los cuales son muy sensibles a formar precipitados insolubles con el aluminio o el hierro a pH muy ácidos (inferior a 5.5), y con el calcio y el magnesio a pH muy alcalinos (superior a 8); por ello la disponibilidad de este elemento se encuentra entre pH 5.6 y 7.9, teniendo a un pH de 6.5 como el de mayor disponibilidad del fósforo para los cultivos. (Serrano & Vargas, 2005 y Navarro & Navarro, 2003).

## - Potasio

El potasio cumple las siguientes funciones: regulación de la presión osmótica y de más de 60 sistemas enzimáticos, colaborando en la fotosíntesis, promoviendo la traslocación de los fotosintatos, absorción del nitrógeno y la síntesis de proteínas, además de la regulación de la apertura de los estomas y el uso del agua.

Tiene una movilidad limitada en el suelo (por adsorción) y puede lavarse en suelos arenosos, indicando que es más móvil que el fósforo, pero menos que el nitrógeno, por tanto, su aplicación debe ser también fraccionada en el tiempo. Puede ocasionar deficiencias de  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ , cuando se encuentra en grandes cantidades, ya que estos nutrientes tienen características similares y el  $\text{K}^+$  compite con ellos en la absorción radicular. En cambio, cuando su nivel es bajo, repercute en la reducción del tamaño del fruto y del rendimiento, que además tiene malas cualidades organolépticas. Su mayor disponibilidad se presenta en pH de 5.5 a 7.5, siendo su óptimo en suelos minerales con un pH de 6.5 ; Porta & López-Acevedo, 2003 y Navarro & Navarro, 2003).

#### - **Azufre**

El azufre, es considerado un elemento esencial para la nutrición de las plantas; participa en el fortalecimiento de la estructura vegetal y favorece la resistencia al frío y al ataque de plagas y enfermedades.

Su concentración en los tejidos de la planta es similar a la del fósforo, situación que lo ubica como el cuarto elemento más importante en la agricultura después del nitrógeno, el fósforo y el potasio. En el suelo existen básicamente dos formas de este elemento; la orgánica, asociada a la materia orgánica y la inorgánica, dentro de la cual se incluye la forma disponible o aprovechable por las plantas llamada sulfato ( $\text{SO}_4$ ).

#### - **Calcio**

La mayoría del calcio intercambiable es disponible para la planta, a pesar de que el calcio contenido en los minerales primarios y secundarios están disponibles en forma muy lenta; razón por la cual, un análisis de calcio total no está muy relacionado con la asimilación de calcio y la nutrición y crecimiento de las plantas.

#### - **Magnesio**

El magnesio interviene en varias funciones vitales para la planta. Los procesos metabólicos y reacciones en las cuales interviene el magnesio son: fotofosforilación formación de ATP en los cloroplastos, fijación fotosintética del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), síntesis de proteínas, formación de clorofila, recarga del floema, partición y asimilación de los productos de la fotosíntesis, generación de las formas reactivas de oxígeno, foto oxidación de los tejidos de las hojas, en consecuencia, varios procesos fisiológicos y bioquímicos críticos para la planta se alteran cuando existe deficiencia de Mg, afectando el crecimiento y el rendimiento de la planta (Carmak, et. al., 1994).

El magnesio, se origina por la meteorización de las rocas que contienen minerales primarios. tales como la biotita, la dolomita, hornablenda, olivino, piroxeno y

serpentina. También se encuentra en los minerales de las arcillas como la clorita, illita, montmorillonita y vermiculita.

Durante la meteorización mineral de las rocas, el magnesio es liberado a la solución del suelo donde puede perderse por lixiviación, puede ser adsorbido por organismos vivos, adsorbido por la CIC o precipitar como mineral secundario, especialmente en climas áridos (Padilla, 2007).

#### - **Micronutrientes**

Los micronutrientes, son tan importantes como los macronutrientes porque los requerimientos por parte de las plantas de cada uno de ellos es menor, son esenciales para la actividad biológica correcta y la carencia de alguno de ellos tiene consecuencias negativas directas en el desarrollo de los cultivos.

#### - **Hierro**

El hierro participa en las reacciones enzimáticas de las plantas. Tiene especial importancia en la síntesis de clorofila para la fotosíntesis. Con la ausencia de hierro o imposibilidad de que pueda absorberse en la raíz (pH alcalinos) se produce una clorosis progresiva, desde las hojas jóvenes a las más viejas y caída de las hojas.

#### - **Zinc**

El Zinc forma parte de una enzima importante, la RNA polimerasa. Esta enzima es vital en la síntesis de proteínas, regulará el crecimiento de la planta por su actividad auxínica.

Con ausencia de zinc, las hojas se quedan pequeñas, arrosetadas y puntas blancas. La planta se queda enana. Los brotes y hojas jóvenes de frutales mueren antes de su marchitez.



#### **- Manganeso**

El Manganeso interviene directamente en la fotosíntesis, en la síntesis de los cloroplastos y ácidos grasos, reduce la presencia de nitratos, fomenta el desarrollo de nuevas raíces laterales en las plantas. Aumentan la concentración de ácido cítrico y vitamina C en los frutos, hojas y tubérculos.

Con la ausencia de manganeso aparecen clorosis entre las venas de las hojas medias y jóvenes, disminuye el crecimiento y el desarrollo de raíces laterales.

#### **- Boro**

El Boro mejora la estabilidad de la pared celular vegetal y su funcionamiento. Forma parte en la síntesis de la sacarosa, almidón y correcta regulación del funcionamiento del floema. Regula la formación de RNA, regula la síntesis de proteínas, fomenta el crecimiento.

Las carencias de boro repercuten en un crecimiento lento en los ápices jóvenes, marchitez de hojas y raíces, aumenta el número de yemas axilares, fragilidad general de plantas y aborto de frutos.

#### **- Cobre y magnesio**

El cobre junto con el magnesio toma los radicales libres de oxígeno para hacerlos inofensivos para la planta. Participa en la formación de lignina, vitamina A y en todo el metabolismo de los carbohidratos y el transporte electro-fotosintético. Es decir, interviene en actividades catalíticas importantes de la planta formando parte de las enzimas. Con el cobre, el molibdeno es menos tóxico.

Las hojas no son turgentes y es vital en la relación simbiótica con leguminosas en la fijación del nitrógeno atmosférico. Cuando la planta esta carente de cobre las hojas jóvenes se emblaquecen y se enrollan hasta que mueren especialmente en los cereales.

### **4.5.1. Metodología**

Se realizaron 102 barrenaciones y 4 perfiles de suelos (106 datos), levantados por el grupo técnico de la CGSIN e INIAP, en las haciendas: “La Banda Occidental”, “La Banda Oriental”, “La Hermosa”, “La Edelmira”, “La Lorena” y “San Carlos”

La información obtenida, se analizó con los programas: ILWIS 3.3 Academic (Integrated Land and Water Information System), ArcGis 10.2.2 de ESRI (Environmental Systems Research Institute) y Microsoft Excel XLSTAT Pro 7.5, en el análisis exploratorio de datos.

Es necesario indicar que de los 106 datos obtenidos, 17 datos fueron utilizados para validar el modelo de fertilidad y 89 datos fueron tomados para realizar la regionalización de las variables edafológicas (Cuadros A.1., A.2., A.3. y A.4.) y el modelo de fertilidad (Figuras 4 y 5).

#### **- Análisis geoestadístico**

Se realizó un análisis exploratorio de datos dentro del programa de Microsoft Excel XLSTAT Pro 7.5, realizando el siguiente procedimiento:

Preparación de los datos.

Estadísticas descriptivas, como las medidas de dispersión y posición central.

Gráficas de boxplot.

Análisis de correlación entre variables.

Pruebas o test de normalidad, (Prueba de Lilliefors).

Con respecto al diseño del modelo de predicción espacial, involucra dos alternativas a partir de la respuesta a un criterio específico: ¿Tienen las variables distribución normal? Si la respuesta fue negativa, el modelo de interpolación empleado corresponde aquel denominado determinístico, mientras que si la respuesta fue positiva, se procedió a emplear modelos probabilísticos, mecanismo para seleccionar los diferentes modelos realizado por (Dalence, 2003).

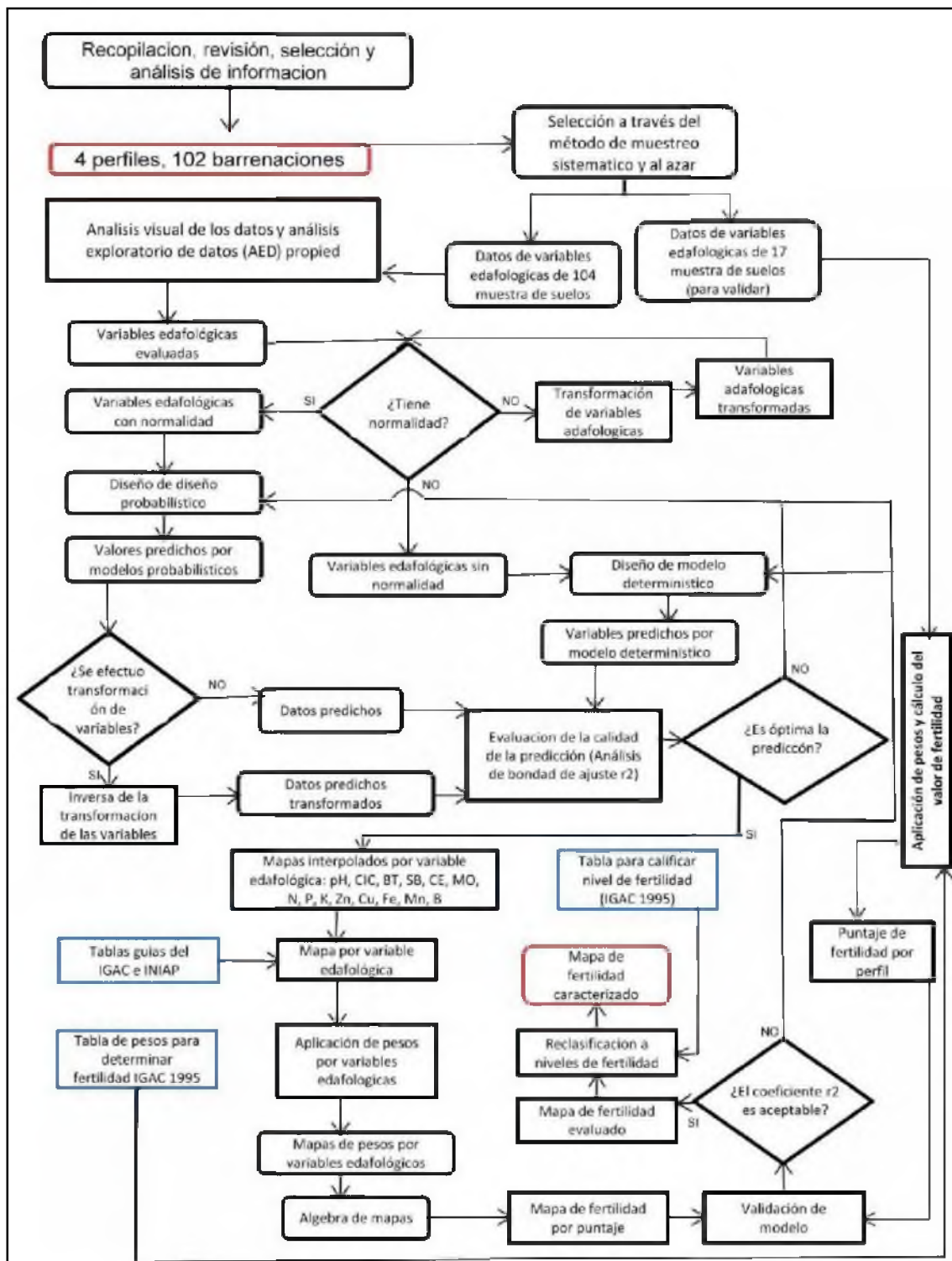
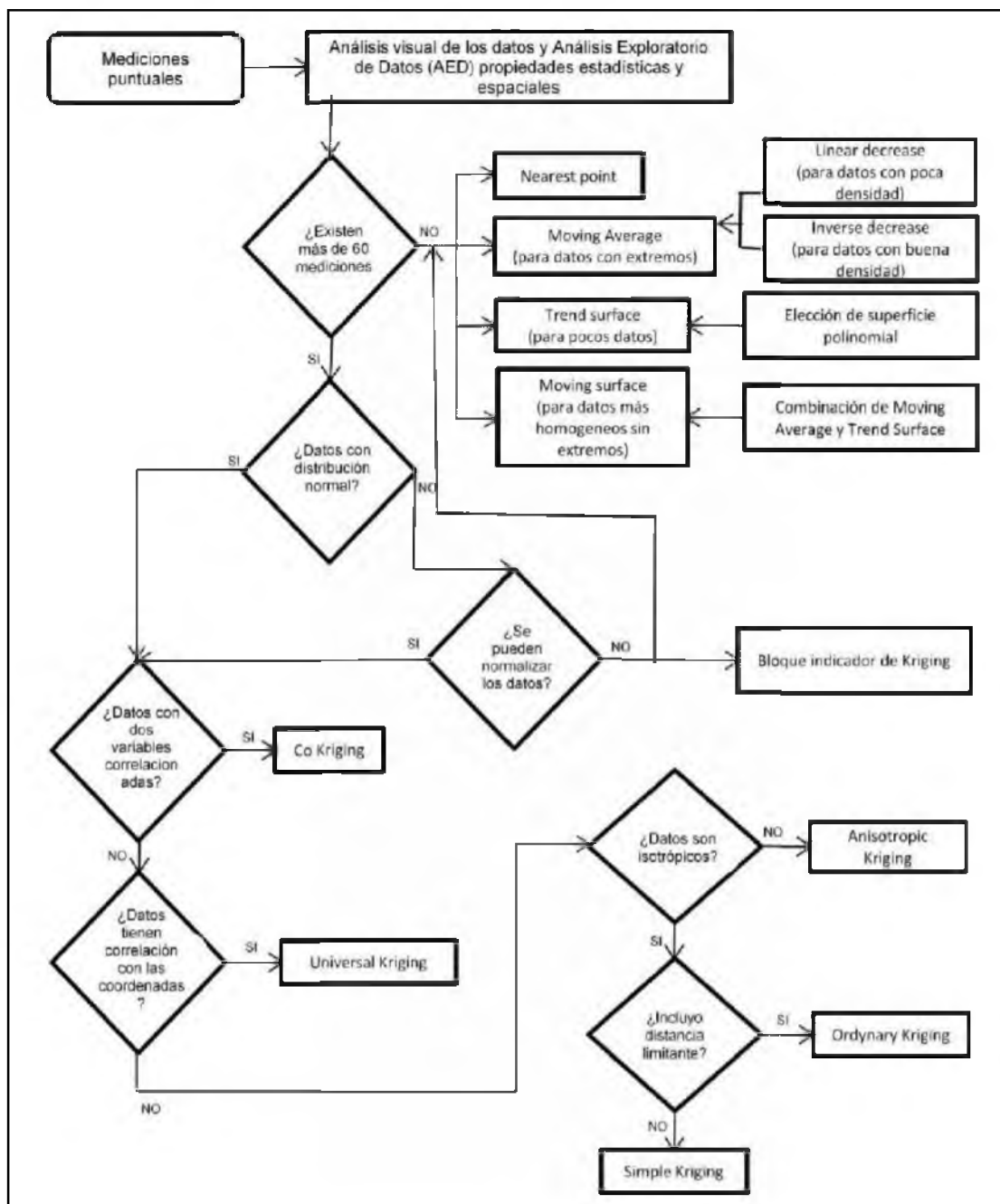


Figura 4. Flujograma empleado en la investigación.



**Figura 5.** Flujoograma para la selección del método de interpolación en el modelo de fertilidad de suelo.

Una vez interpolados los valores de cada variable edafológica que fueron transformadas y que pasaron la prueba de normalidad, fueron transformadas nuevamente a valores de la variable original, aplicando la inversa de la transformación ( $10^x$ ,  $e^x$ ,  $x^2$ ) dado que el mapa de fertilidad, solamente, puede darse sobre las escalas originales de las propiedades edáficas.

La evaluación de la calidad de la predicción se realizó a partir de la comparación entre el valor estimado por modelo de predicción seleccionado y el valor observado.

Esta evaluación se efectuó a partir de la bondad de ajuste ( $r^2$ ), que determina la diferencia cuadrada entre cada predicción y el promedio de los puntos de validación, de tal forma que su suma es dividida por la obtenida para las observadas (Araujo, 2009).

#### **- Regionalización de las variables edafológicas**

En esta fase se determinó regiones calificadas cualitativamente, con base a tablas guías, determinadas por rangos cuantitativos, sobre los niveles óptimos, moderados o deficientes en los suelos para cada variable química edafológica. Se procedió a regionalizar los mapas de las siguientes variables edafológicas (Cuadros 19, 20 y 21).

#### **Validación del modelo**

Una vez calculado el valor de fertilidad, se procedió a validar el modelo para lo cual se comparó el puntaje obtenido de fertilidad tanto de los 17 barrenaciones referenciales, con los valores obtenidos del mapa elaborado, con el fin de comprobar estadísticamente que el modelo resulta representativo a la realidad.

Se calculó el coeficiente  $r^2$  para evaluar la variabilidad de los datos dependiente (datos de las barrenaciones reales) que están explicados por el modelo de predicción. Se tuvo como valor aceptable de  $r^2$ , valores mayores o iguales a 0.80.

**Cuadro 19.** Niveles de interpretación de las variables edafológicas.

Parámetro	Unidad	Niveles de interpretación			
		Bajo	Medio	Alto	Tóxico
N	mg/kg	< 30.0	30.0 - 60.0	> 60.0	
P	mg/kg	< 10.0	10.0 - 20.0	> 20.0	
S	mg/kg	< 12.0	12.0 - 24.0	> 24.0	
K	meq/100ml	< 0.2	0.2 - 0.38	> 0.38	
Ca	meq/100ml	< 2.0	2.0 - 5.0	> 5.0	
Mg	meq/100ml	< 0.5	0.5 - 1.5	> 1.5	
Cu	mg/kg	< 1.0	1.0 - 4.0	> 4.0	
Fe	mg/kg	< 20.0	20.0 - 40.0	> 40.0	
Mn	mg/kg	< 5.0	5.0 - 15.0	> 15.0	
Zn	mg/kg	< 3.0	3.0 - 7.0	> 7.0	
B	mg/kg	< 1.0	1.0 - 2.0	2.1 - 4.0	> 4.0
MO	%	< 3.0	3.0 - 5.0	> 5.0	
CIC	meq/100g	< 10	11 - 20	> 21	

**Cuadro 20.** Niveles de interpretación de los valores de pH en el suelo.

Interpretación	pH
Muy ácido	< 5
Ácido	5.0 - 5.5
Medianamente ácido	5.6 - 6.0
Ligeramente ácido	6.1 - 6.5
Prácticamente neutro	6.6 - 7.5
Ligeramente alcalino	7.6 - 8.0
Medianamente alcalino	8.1 - 8.5
Alcalino	> 8.5

**Cuadro 21.** Niveles de interpretación de conductividad eléctrica en el suelo.

Interpretación	CE (dS/m)
No Salino	< 2.0
Ligeramente salino	2.0 - 4.0
Salino	4.0 - 8.0
Muy Salino	> 8.0

#### 4.5.2. Resultados

La estadística descriptiva de los datos de las 106 observaciones de las variables edafológicas en estudio se pueden observar en el Cuadro 22.

Como se observa en la Cuadro 22, la variable potencial hidrogeno (pH) presenta una asimetría negativa es decir, implica que existe más valores distintos a la izquierda de la media; mientras que las variables que tienen un coeficiente de asimetría positivo, implica que tienen más valores distintos a la derecha de la media fueron las variables: NH<sub>4</sub>, P, K, S, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn, B, MO y CIC.

Es necesario mencionar que cuando este valor es igual a cero los datos presentan una curva normal Gaussiana (Colell et. al., 2009).

**Cuadro 22.** Estadística descriptiva por variable química edafológica.

	<b>NH<sub>4</sub></b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>
Núm. de valores utilizados	106.0	106.0	106.0	106.0	106.0	106.0	106.0	106.0	106.0
Núm. de valores ignorados	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Núm. de val. min.	2.0	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0	5.0	2.0	1.0
% de val. min.	1.9	0.9	0.9	1.9	0.9	0.9	4.7	1.9	0.9
Mínimo	7.8	0.2	1.3	0.3	7.9	1.5	0.6	3.1	14.0
Primer cuartil	27.0	1.8	3.4	0.5	11.3	2.3	0.8	4.4	26.0
Mediana	38.0	4.9	5.3	0.6	12.9	3.3	1.0	6.0	28.0
Tercer cuartil	47.0	11.0	7.5	0.7	21.0	4.4	1.2	7.0	32.0
Máximo	82.0	260.0	35.0	1.8	30.7	8.0	2.9	11.1	46.0
Rango	74.2	259.8	33.7	1.6	22.8	6.5	2.3	8.0	32.0
Suma	3999.6	1334.6	706.6	64.3	1682.8	375.1	108.9	628.2	3093.0
Media	37.7	12.6	6.7	0.6	15.9	3.5	1.0	5.9	29.2
Media geométrica	34.5	5.0	5.4	0.6	14.8	3.3	1.0	5.7	28.6
Media armónica	30.6	2.6	4.6	0.5	13.9	3.1	1.0	5.4	28.0
Curtosis (Pearson)	-0.2	45.2	10.9	5.6	-0.7	0.1	12.2	-0.3	0.5
Asimetría (Pearson)	0.3	6.1	3.0	1.6	0.7	0.8	2.6	0.4	0.4
Curtosis	-0.1	48.5	11.7	6.1	-0.7	0.2	13.2	-0.2	0.7
Asimetría	0.3	6.3	3.1	1.7	0.7	0.8	2.6	0.4	0.4
CV (desv típica/media)	0.4	2.3	0.8	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2
Varianza de muestra	223.0	860.9	29.2	0.1	37.0	1.9	0.1	2.9	33.8
Varianza estimada	225.1	869.1	29.4	0.1	37.3	1.9	0.1	3.0	34.2
Desv. típica de muestra	14.9	29.3	5.4	0.2	6.1	1.4	0.3	1.7	5.8
Desv. típica estimada	15.0	29.5	5.4	0.2	6.1	1.4	0.3	1.7	5.8
Desv. típica media	12.2	13.0	3.3	0.2	5.3	1.1	0.2	1.4	4.4
Desv. absoluta mediana	10.5	3.6	2.0	0.1	3.8	1.0	0.2	1.3	3.0
Desv. típica de la media	1.5	2.9	0.5	0.0	0.6	0.1	0.0	0.2	0.6
Lím. inf. IC de la media	34.8	6.9	5.6	0.6	14.7	3.3	1.0	5.6	28.1
Lím. sup. IC de la media	40.6	18.3	7.7	0.6	17.1	3.8	1.1	6.3	30.3

Fuente: Grupo técnico-Unidad Estructural 2015.

**Cuadro 22.** Continuación...

	Mn	B	MO	CE	SB	Ntot	CIC	pH
Núm. de valores utilizados	106.0	106.0	106.0	106.0	106.0	106.0	106.0	106.0
Núm. de valores ignorados	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Núm. de val. min.	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	12.0	1.0	1.0
% de val. min.	2.8	0.9	0.9	0.9	0.9	11.3	0.9	0.9
Mínimo	3.1	0.5	0.2	0.1	10.9	0.0	7.8	6.6
Primer cuartil	3.7	0.9	0.8	0.2	14.4	0.0	9.2	8.2
Mediana	4.3	1.5	1.0	0.3	16.4	0.0	10.0	8.5
Tercer cuartil	5.2	2.5	1.3	0.5	25.5	0.0	11.9	8.9
Máximo	12.4	9.1	4.1	1.8	36.8	0.1	17.1	9.3
Rango	9.3	8.6	3.9	1.6	25.9	0.1	9.3	2.8
Suma	494.9	209.5	111.0	43.8	2122.7	3.5	1129.4	900.8
Media	4.7	2.0	1.0	0.4	20.0	0.0	10.7	8.5
Media geométrica	4.5	1.6	0.9	0.4	18.9	0.0	10.5	8.5
Media armónica	4.4	1.3	0.8	0.3	17.9	0.0	10.3	8.5
Curtosis (Pearson)	7.8	5.0	10.8	7.8	-0.7	-0.4	0.4	1.6
Asimetría (Pearson)	2.2	1.9	2.3	2.4	0.8	0.4	1.0	-0.5
Curtosis	8.5	5.4	11.7	8.4	-0.6	-0.3	0.5	1.8
Asimetría	2.3	2.0	2.3	2.4	0.8	0.4	1.0	-0.5
CV (desv. típica/media)	0.3	0.7	0.5	0.6	0.4	0.5	0.2	0.1
Varianza de muestra	1.9	2.1	0.3	0.1	50.8	0.0	3.9	0.2
Varianza estimada	2.0	2.1	0.3	0.1	51.2	0.0	3.9	0.2
Desv. típica de muestra	1.4	1.4	0.5	0.3	7.1	0.0	2.0	0.5
Desv. típica estimada	1.4	1.5	0.5	0.3	7.2	0.0	2.0	0.5
Desv. típica media	1.0	1.1	0.3	0.2	6.1	0.0	1.6	0.4
Desv. absoluta mediana	0.6	0.7	0.3	0.1	3.6	0.0	1.2	0.3
Desv. típica de la media	0.1	0.1	0.0	0.0	0.7	0.0	0.2	0.0
Lím. inf. IC de la media	4.4	1.7	0.9	0.4	18.6	0.0	10.3	8.4
Lím. sup. IC de la media	4.9	2.3	1.1	0.5	21.4	0.0	11.0	8.6

Fuente: Grupo técnico-Unidad Estructural 2015.

En la figura 6, se puede observar que para las variables NH<sub>4</sub>, P, K, S, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn, B, MO, CIC y pH, existen datos extremos, lo cual se puede también corroborar observando el coeficiente de curtosis de las mismas variables (Cuadro 22), así como con los coeficientes de asimetría, ya que al haber una mayor curtosis, existirán más datos extremos, y elevado coeficiente de variación, esto se puede explicar debido a que la curtosis estudia la proporción de la varianza por la combinación de datos extremos respecto a la media en contraposición con datos poco alejados de la misma, es decir, a mayor curtosis implica una mayor concentración de datos muy cerca de la media de la



distribución coexistiendo al mismo tiempo con una relativamente elevada frecuencia de datos muy alejados de la misma (Colell et. al., 2009).

Vargas, (2009), menciona que los datos edafológicos atípicos o datos extremos pueden ser consecuencia de la variabilidad de los suelos o que representan observaciones únicas localizadas en regiones específicas, ya que en su investigación para las variables K, MO, CE, pH, CIC y BT, todas presentaron datos extremos con coeficientes de variación superiores al 50%, excepto para la variable pH que fue del 12%, que en este estudio arrojó también el menor coeficiente de variación con 5%.

Lo anterior evidencia que los datos extremos más que ser por consecuencia de errores en el muestreo o en la medición de laboratorio, puede ser el reflejo del comportamiento espacial de las variables del suelo específicos dentro del ecosistema. Con respecto a la variable Ca no existen datos extremos. En el Cuadro 23, se observa un bajo coeficiente de correlación entre las variables químicas edafológicas, excepto para las relaciones Ca, Mg, K y Suma de Bases donde hay una correlación del 100, 70, 80% respectivamente, existiendo una relación directa positiva, es decir a mayor meq/100 ml, de K, Ca, Mg, mayor suma de bases.

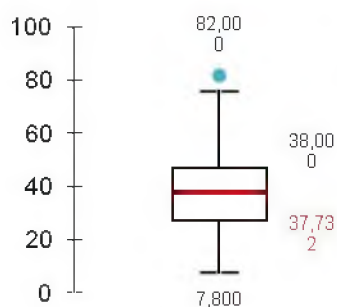
#### **- Pruebas de Normalidad**

Se realizó la prueba de normalidad con el programa Xlstat 2003, cabe indicar que cuando el valor de p-value sea menor que el valor de Alpha, se aceptara la hipótesis alternativa que indica que la no-normalidad es significativa y en caso contrario se aceptaría la hipótesis nula que indica que la normalidad, es significativa (Cuadro 24).

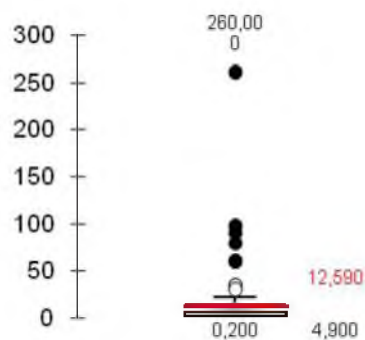
#### **- Selección del método de interpolación**

El método que más se ajustó para las variables edafológicas, fue Moving Average-Inverse distance, debido a que cumplen con las siguientes condiciones: los datos no tienen normalidad.

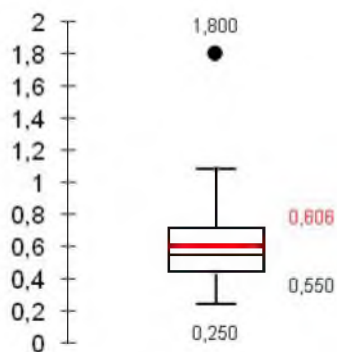
a)  $\text{NH}_4$  (mg/kg)



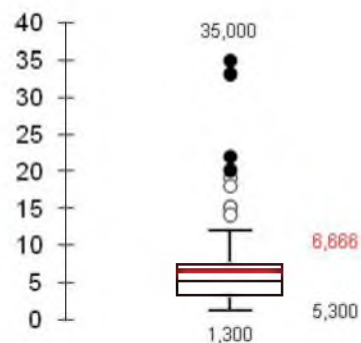
b) Fósforo (mg/kg)



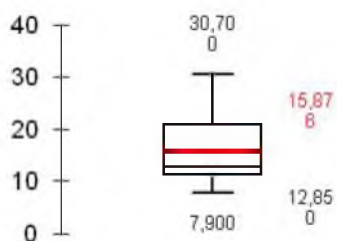
c) Potasio (meq/100ml)



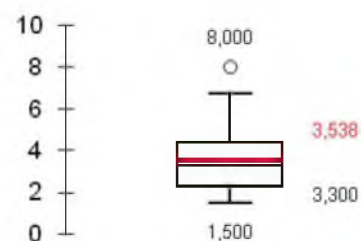
d) Azufre (mg/kg)



e) Calcio (meq/100ml)

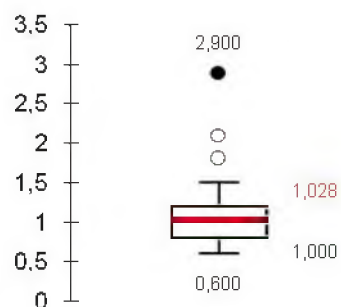


f) Magnesio (meq/100ml)

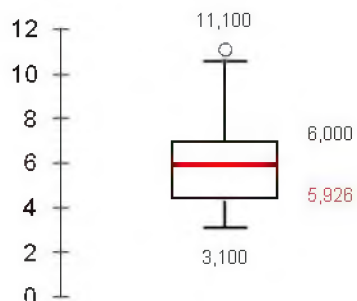


**Figura 6.** Diagramas de cajas (Box plots) de las variables químicas edafológicas.

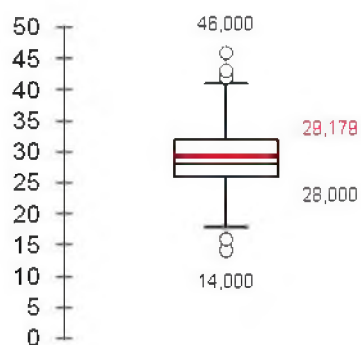
**g) Zinc (mg/kg)**



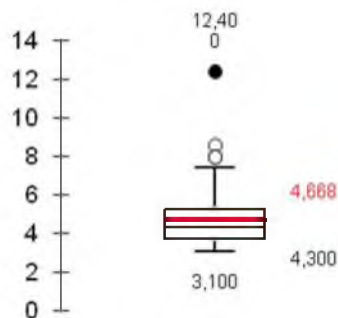
**h) Cobre (mg/kg)**



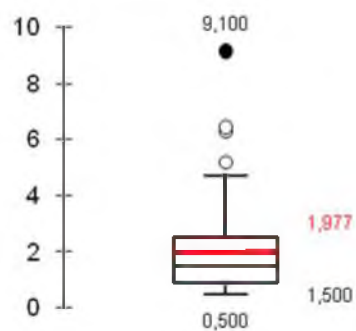
**i) Hierro (mg/kg)**



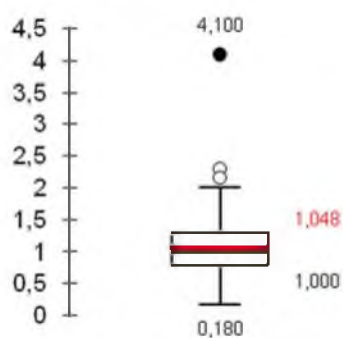
**j) Manganeso (mg/kg)**



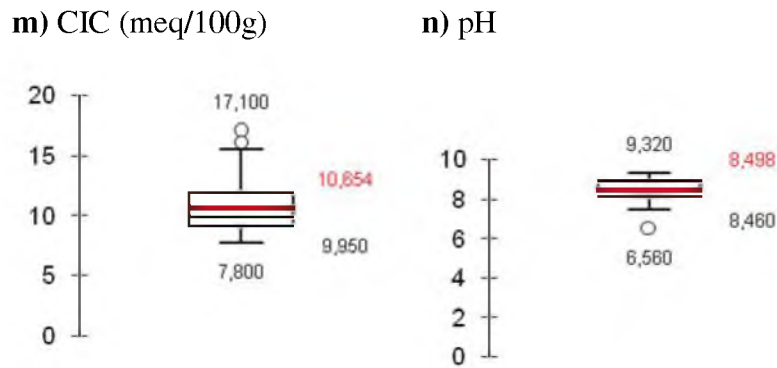
**k) Boro (mg/kg)**



**l) Materia orgánica (%)**



**Figura 6.** Continuación...



**Figura 6.** Continuación...

así como sus respectivas transformaciones; existen datos extremos y tienen una buena densidad de puntos y los mismos han sido medidos de forma muy exacta (Dalence, 2012). Para aplicar este método se procedió a calcular la distancia limitante para las 102 barrenaciones y 4 perfiles de suelos, mediante el programa ILWIS 3.3 de forma automática lo que coincide cuando se visualiza el análisis de patrón (Pattern Analysis), en la cual se graficó la distancia (eje x) versus la probabilidad para encontrar cuatro puntos (eje y). Con cual, se obtuvo una distancia limitante de 750 m.

**Cuadro 23.** Coeficientes de correlación entre variables químicas edafológicas.

Varia.	pH	Nt	NH <sub>4</sub>	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B	MO	CE	SB	CIC
pH	1.0	<b>0.4</b>	<b>0.3</b>	0.0	0.0	0.1	<b>0.4</b>	<b>0.6</b>	0.1	<b>0.6</b>	<b>0.3</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	-0.1	<b>0.3</b>	<b>0.5</b>	<b>-0.3</b>
Nt		1.0	<b>0.3</b>	<b>0.2</b>	0.1	0.1	0.0	<b>0.3</b>	0.1	<b>0.5</b>	0.1	<b>0.4</b>	<b>0.3</b>	0.1	0.2	0.1	<b>0.4</b>
NH <sub>4</sub>			1.0	0.2	0.1	0.2	<b>0.2</b>	<b>0.5</b>	0.0	<b>0.4</b>	0.0	<b>0.3</b>	<b>0.4</b>	0.0	<b>0.2</b>	<b>0.3</b>	0.0
P				1.0	0.1	0.1	0.1	0.1	<b>0.4</b>	0.1	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>	0.1	<b>0.2</b>	0.1	0.1	-0.1
S					1.0	<b>0.6</b>	<b>0.2</b>	<b>0.3</b>	0.1	<b>0.2</b>	0.1	<b>0.2</b>	<b>0.5</b>	0.0	<b>0.8</b>	<b>0.3</b>	0.1
K						1.0	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	0.2	<b>0.2</b>	0.1	<b>0.3</b>	<b>0.4</b>	0.1	<b>0.7</b>	<b>0.8</b>	<b>0.2</b>
Ca							1.0	<b>0.6</b>	<b>0.3</b>	0.2	0.1	0.0	<b>0.4</b>	<b>0.2</b>	<b>0.5</b>	<b>1.0</b>	<b>0.4</b>
Mg								1.0	<b>0.3</b>	<b>0.4</b>	0.1	<b>0.3</b>	<b>0.7</b>	<b>0.3</b>	<b>0.5</b>	<b>0.7</b>	<b>0.3</b>
Zn									1.0	<b>0.2</b>	<b>0.5</b>	<b>0.3</b>	0.1	<b>0.5</b>	0.1	<b>0.3</b>	<b>0.3</b>
Cu										1.0	0.2	<b>0.5</b>	<b>0.6</b>	0.1	<b>0.4</b>	<b>0.2</b>	<b>0.5</b>
Fe											1.0	<b>0.4</b>	0.1	<b>0.7</b>	0.1	0.1	<b>0.3</b>
Mn												1.0	<b>0.3</b>	<b>0.3</b>	0.1	0.1	<b>0.4</b>
B													1.0	0.0	<b>0.7</b>	<b>0.5</b>	0.1
MO														1.0	0.1	<b>0.3</b>	<b>0.4</b>
CE															1.0	<b>0.6</b>	0.1
SB																1.0	<b>0.4</b>
CIC																	1.0

**Cuadro 24.** Prueba de normalidad de las variables químicas edafológicas.

<b>Variable</b>	<b>D</b>	<b>D Estandarizado</b>	<b>P-Value</b>	<b>Alpha</b>	<b>Interpretación</b>
pH	0.088	0.905	0.043	0.05	No normal
Nt	0.163	1.677	<0.0001	0.05	No normal
NH <sub>4</sub>	0.073	0.753	0.177	0.05	<b>Normal</b>
P	0.279	2.873	<0.0001	0.05	No normal
S	0.228	2.351	<0.0001	0.05	No normal
K	0.104	1.071	0.007	0.05	No normal
Ca	0.227	2.34	<0.0001	0.05	No normal
Mg	0.102	1.055	0.008	0.05	No normal
Zn	0.151	1.552	<0.0001	0.05	No normal
Cu	0.079	0.81	0.110	0.05	<b>Normal</b>
Fe	0.111	1.143	0.003	0.05	No normal
Mn	0.143	1.471	<0.0001	0.05	No normal
B	0.183	1.887	<0.0001	0.05	No normal
MO	0.136	1.401	<0.0001	0.05	No normal
CE	0.161	1.656	<0.0001	0.05	No normal
SB	0.204	2.1	<0.0001	0.05	No normal
CIC	0.151	1.552	<0.0001	0.05	No normal

#### - Regionalización de las variables edafológicas

Se procedió a la regionalización de las variables edafológicas, utilizando las tablas guías elaborada por CGSIN-INIAP 2015, para obtener los deferentes mapas de cada una de las variables químicas edafológicas.

#### Potencial hidrógeno

Los resultados del potencial hidrógeno, en el área de estudio predominan las zonas con pH medianamente alcalino con un 51.54%, en la zona oeste que corresponde a la Hacienda San Carlos, mientras que al este del área de estudio encontramos suelos con pH alcalinos con un 42.58% que corresponde a la Hacienda. La Lorena. Estos valores elevados de pH se deben principalmente a la presencia de un régimen de humedad ústico y bajas precipitaciones, esto hace que exista un desequilibrio de la concentración de hidrógeno en el suelo, y por ende no se produzca lavado de cationes básicos del mismo (Cuadro 25).

**Cuadro 25.** Superficie y porcentaje de ocupación de los niveles del pH en la Granja Experimental INIAP - Yachay.

<b>Interpretación</b>	<b>pH</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Ocupación (%)</b>
Prácticamente neutro	6.6 - 7.5	3.39	0.59
Ligeramente alcalino	7.6 - 8.0	30.59	5.29
Medianamente alcalino	8.1 - 8.5	298.36	51.54
Alcalino	> 8.5	246.49	42.58
<b>Total</b>		<b>578.86</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Grupo técnico-Unidad Estructural, 2 015

En el Cuadro 26, se puede observar, que son suelos altos en bases cambiables como K, Ca y Mg bajos niveles de S, P, Mn, Zn y MO, se pueden apreciar también niveles medios de CIC, Fe y NH<sub>4</sub>, en cuanto al Cu se encuentran en alta concentración. Con respecto al micronutriente B se encontró zonas con niveles bajos, medios y altos, existiendo un sector al noreste del área de estudio con niveles tóxicos (> 4.0 mg kg<sup>-1</sup>); Con respecto a la variable conductividad eléctrica es baja determinándose, que los suelos no son salinos, en el área de estudio.

#### **- Aplicación del modelo de Fertilidad**

En esta etapa, se procedió a ponderar en niveles Alto, Medio y Bajo, a los que se les proporciono pesos según su importancia de acuerdo al estudio realizado por (MAGAP, 2012), las variables pH, NH<sub>4</sub>, P, K, Ca, MO y CIC y aplicar el modelo de interpolación para la generación del mapa regionalizado de fertilidad, (Cuadro 27).

El cálculo de puntaje de cada variable, se la ejecuto mediante la ecuación, en la cual la sumatoria de puntajes se multiplica por el factor k (0.217) para transformar a un puntaje dentro de la escala de 0 a 10.

$$\text{Fertilidad Total} = \sum_n \text{Puntajes} \times k$$

Dónde:

$$k = 10/46 = 0.217$$

**Cuadro 26.** Superficie y porcentaje de ocupación de las variables químicas edafológicas en la Granja Experimental INIAP - YACHAY.

	<b>Interpretación</b>			
	<b>Baja</b>	<b>Media</b>	<b>Alta</b>	<b>Tóxico</b>
	<b>NH<sub>4</sub> (mg/kg)</b>			
Superficie ha	169.62	169.62	0.00	
Ocupación %	29.30	29.30	0.00	
	<b>P (mg/kg)</b>			
Superficie ha	420.54	104.84	53.48	
Ocupación %	72.65	18.11	9.24	
	<b>S (mg/kg)</b>			
Superficie ha	536.01	39.21	3.63	
Ocupación %	92.60	6.77	0.63	
	<b>K (mg/kg)</b>			
Superficie ha	0.00	27.34	551.49	
Ocupación %	0.00	4.72	95.28	
	<b>Ca (mg/kg)</b>			
Superficie ha	0.00	0.00	578.86	
Ocupación %	0.00	0.00	100.00	
	<b>Mg (mg/kg)</b>			
Superficie ha	0.00	0.00	578.86	
Ocupación %	0.00	0.00	100.00	
	<b>Zn (mg/kg)</b>			
Superficie ha	578.86	0.00	0.00	
Ocupación %	100.00	0.00	0.00	
	<b>Cu (mg/kg)</b>			
Superficie ha	0.00	47.13	531.73	
Ocupación %	0.00	8.14	91.86	
	<b>Fe (mg/kg)</b>			
Superficie ha	5.56	569.18	4.12	
Ocupación %	0.96	98.33	0.71	
	<b>Mn (mg/kg)</b>			
Superficie ha	394.28	184.58	0.00	
Ocupación %	68.11	31.89	0.00	
	<b>B (mg/kg)</b>			
Superficie ha	172.90	191.73	162.97	51.26
Ocupación %	29.88	33.13	28.16	8.84
	<b>MO (%)</b>			
Superficie ha	578.86	0.00	0.00	
Ocupación %	100.00	0.00	0.00	
	<b>CIC (meq/100g)</b>			
Superficie ha	212.19	366.66	0.00	
Ocupación %	36.66	63.34	0.00	

Fuente: Grupo técnico-Unidad Estructural, 2015.

**Cuadro 27.** Ponderación para calificar la fertilidad química del suelo en la Granja Experimental INIAP - YACHAY.

pH		NH <sub>4</sub> P K Ca MO CIC Total								
Clase	Ponderación	Clase	Ponderación							
< 5	4 Bajo	Bajo	2	2	2	1	1	1	1	9
5.1 - 5.5	9 Medio	Medio	4	4	4	2	2	2	2	18
5.6 - 6.0	14 Medio	Alto	6	6	6	4	3	3	3	28
6.1 - 6.5	18 Alto									
6.6 - 7.5	14 Medio									
7.6 - 8.0	9 Medio									
8.1 - 8.5	4 Bajo									
> 8.6	4 Bajo									

Indicando que 46 es el puntaje máximo obtenido de las sumatoria de las variable para determinar la fertilidad, es decir, de las condiciones óptimas de cada una de las variables. Los niveles de fertilidad, se señalan en el área de interés predominando el nivel medio de fertilidad con el 75.66% que corresponde a 437.94 ha, seguido de un nivel alto con el 24.34% (Cuadro 28).

### Validación del modelo de fertilidad

Para la validación del modelo, se extrajo el valor de fertilidad del mapa correspondiente, con la función Mapvalue en ILWIS, a través de las coordenadas de las 17 barrenaciones de suelos, el valor de fertilidad calculado para cada barrenación y se procedió a comparar dichos valores, para calcular el nivel de correlación, a través de la prueba de bondad de ajuste ( $r^2$ ), obteniéndose un valor de 0.89, lo que indica que las predicciones realizadas a partir del modelo obtenido en un 89 %, son muy fiables.

**Cuadro 28.** Superficie y porcentaje de ocupación de los niveles de fertilidad en la Granja Experimental INIAP - YACHAY.

Interpretación	Fertilidad	Superficie (ha)	Ocupación (%)
Baja	< 3.3	0.00	0.00
Media	3.4 - 6.6	437.94	75.66
Alta	> 6.7	140.9	24.34
Total		578.84	100.00

Fuente: Grupo técnico-Unidad Estructural, 2015



## **5. CLIMA E HIDROLOGÍA**

### **5.1. Clima**

El clima en general y el régimen pluviométrico de la zona de estudio, dependen de ciertos factores genéticos que influyen en toda la región ecuatorial andina, es decir la zona de convergencia intertropical, el sistema orográfico de la región (altitud, orientación de las vertientes y relieve) y principalmente a la penetración de masas de aire amazónico entre octubre y noviembre ó del pacífico de enero a mayo (régimen de los vientos).

Podemos definir el clima como la sucesión habitual de los diferentes tipos de tiempo, que se producen durante un cierto período y en un lugar concreto de la tierra. El término tiempo designa la combinación simultánea de los elementos del clima que se caracterizan en un lugar y momento dado, el estado particular, instantáneo y propios en un lugar determinado.

#### **5.1.1. Metodología**

La compilación de información de las estaciones meteorológicas se baso principalmente en los archivos de la red meteorológica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y de la Dirección de Aviación Civil (DAC).

En el área de estudio no existe una estación meteorológica o pluviométrica, se tomo información de estaciones que se encuentran muy cerca y alrededor de la misma, lo que posibilita obtener la información meteorológica necesaria para la caracterización climática.

El número de estaciones meteorológicas y pluviométricas recopiladas fueron tres:

- Estaciones Meteorológicas (dos): Estas estaciones proporcionan registros de los siguientes parámetros climáticos: precipitación, temperatura media, temperaturas medias máxima y mínima, temperaturas máximas y mínimas absolutas, nubosidad,

velocidad del viento, humedad relativa y heliofanía. Siendo éstas: Ibarra Aeropuerto y Salinas INERHI - Imbabura (Cuadro 29).

- Estaciones pluviométricas (una): La estación Tumbabiro, la cual registra solamente el valor de precipitación (Cuadro 29).

**Cuadro 29.** Ubicación de las Estaciones Meteorológicas M053 Ibarra Aeropuerto, M085 Salinas-Imbabura INERHI y M571 Tumbabiro.

<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>Este (X)</b>	<b>Norte (Y)</b>	<b>Altitud (m.s.n.m.)</b>	<b>Clase</b>	<b>Período de funcionamiento</b>
M053	Ibarra aeropuerto	819078	10038259	2 249	C	1 980-2 009
M085	Salinas-Imbabura- INERHI	917566	10055590	1 730	C	1 980-2 009
M571	Tumbabiro	812778	10051366	2 120	P	1 980-2 009

C: Estaciones Meteorológicas

P: Estaciones Pluviométricas

Fuente: INAMHI, 1 985-2 009

### **Análisis de los elementos del clima**

- En las cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar (IGM) a escala 1:50000 se procedió a ubicar las coordenadas geográficas y UTM de la estación meteorológicas.
- Con los datos de los anuarios meteorológicos del INAMHI, se digitó los valores mensuales de todos los parámetros climáticos desde los años 1985 hasta 2009.
- La serie histórica de registros de la estación (Ibarra-Aeropuerto, Salinas-INERHI y Tumbabiro), se calcularon los promedios mensuales y anuales para cada elemento meteorológico.
- Régimen de precipitación

El aporte hídrico para el balance de agua proviene de las precipitaciones. Un análisis de las precipitaciones medias mensual y anual muestra el panorama tanto de la distribución de los periodos con y sin lluvia, como la cantidad total disponible en el ciclo anual.

En el Cuadro 30, se encuentran los promedios mensuales y anuales de la pluviometría, valores basados en períodos de las observaciones (años de registro) de las estaciones climáticas.

**Cuadro 30.** Precipitación media mensual (Serie 1985 - 2009) de las Estaciones Meteorológicas M053 Ibarra Aeropuerto, M085 Salinas INERHI y M571 Tumbabiro.

Código	Precipitación (mm)												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
<b>M053</b>	42.6	44.1	80.5	97.5	71.2	34.9	13.1	10.2	33.7	60.9	68.4	57.3	614.3
<b>M085</b>	33.9	48.1	53.8	56.8	30.6	13.6	9.6	12	16.9	44.3	66.9	50.6	437.0
<b>M571</b>	58.1	73.2	71.4	87.3	50.3	20.1	14.9	9.4	33.8	46.9	96.7	76.4	668.4

Fuente: INAMHI, 1985 - 2009.

Se observa, dos picos máximos en los meses de abril y noviembre donde la precipitación es más abundante, para las tres estaciones meteorológicas y también un descenso en los meses de julio y agosto coincidiendo con la época de verano en la sierra (Cuadro 30).

Los valores de precipitación obtenidos en las estaciones meteorológicas son puntuales, por lo tanto es necesario conocer su distribución geográfica de la zona en estudio; para esto, uno de los métodos para comprender esta distribución es por medio de trazos de Isoyetas (líneas de igual valor de precipitación).

El mapa de isoyetas fue elaborado con valores de los promedios anuales obtenidos de todas las estaciones meteorológicas existentes a nivel regional, tomando como referencia la topografía de la zona estudiada, clima, cobertura vegetal y reconocimiento terrestre.

La precipitación media anual en el área de estudio varía desde la parte Occidental con isoyetas de 800 mm, hasta la sección Oriental con 500 mm de precipitación.

En base a los resultados obtenidos en el predio en estudio, la precipitación anual es del orden de los 700 mm.

#### - **Régimen de temperatura media (°C)**

La temperatura es un valor que representa la magnitud de registros de temperaturas

obtenidas cada día, durante un periodo de tiempo considerado y se calcula con el promedio de las observaciones de 07: 00, 13:00 y 19:00 horas.

Para cada una de las estaciones meteorológicas consideradas, se calculó las temperaturas medias mensuales y anuales de sus periodo histórico de funcionamiento (Cuadro 31).

**Cuadro 31.** Temperatura media mensual (°C) de las Estaciones Meteorológicas M053 Ibarra Aeropuerto y M085 Salinas INERHI.

Código	Temperatura (°C)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
M053	17.8	17.8	18.1	18.3	18.4	18.6	18.6	19	18.9	18.4	18	17.8	18.3
M085	19.2	19.1	19.7	19.8	19.9	20	20	19.9	19.9	19.8	19.5	19.5	19.7

Fuente: Anuarios Meteorológicos del INAMHI serie (1985 - 2009).

Se puede mencionar que los valores más altos de temperatura mensual, se encuentran en los meses de Junio a Septiembre, que corresponden a los meses de menor precipitación y los más bajos en los meses de Enero y Febrero. Las variaciones mensuales de las temperatura son mínimas en el transcurso del año y por lo tanto su amplitud (diferencia entre los valores máximos y mínimos) es poco significativo, siendo menor a 1.5°C. El promedio de la temperatura media anual está comprendida entre los 18 y 18.5°C en Ibarra y cercanos a los 20°C en el sector de Salinas INAMHI (Cuadro 31).

Con la finalidad de estimar el perfil vertical de la temperatura (disminución de la temperatura con la altura), se efectuó una correlación lineal de los valores de temperatura media anual vs altitud de la cuenca de Río Mira. El gradiente térmico de la zona es aproximadamente de 1°C por cada 130 metros de elevación, el mismo que está representado por la ecuación:

$$T \text{ } ^\circ\text{C} = 27.605 - (0.0046 * A)$$

Donde:

T = Temperatura Media (°C)

A = Altura Media (m)

Conociendo que la temperatura disminuye con la altura, en base a las curvas de nivel y mediante la ecuación anterior, se realizó el trazo de las isotermas con rangos de 1°C estas isotermas tienen valores de 17°C en las partes altas, hasta llegar a temperaturas mayores a 19°C en las partes bajas.

**- Temperaturas extremas (°C)**

En el Cuadro 32, se presenta las temperaturas mínimas y máximas absolutas en las estaciones meteorológicas consideradas para el presente estudio.

**Cuadro 32.** Temperaturas mínima y máximas (°C) de las Estaciones Meteorológicas M053 Ibarra Aeropuerto y M085 Salinas INERHI.

Código		Temperatura (°C)											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
M053	Min.	2.4	2.0	1.5	3.3	3.5	2.0	1.3	1.0	0.0	2.8	3.1	2.4
	Max.	27.6	27.2	27.8	26.7	27.8	27.4	27.4	28.1	29.1	27.5	29.2	27.2
M085	Min.	9.5	8.4	10.0	10.6	9.6	10.0	7.0	6.5	8.0	10.0	9.5	10.5
	Max.	37.0	31.5	31.0	33.0	31.0	32.0	36.5	34.0	32.0	35.2	31.0	30.5

Fuente: Anuarios Meteorológicos del INAMHI serie (1985 - 2009).

En la estación meteorológica de Salinas INERHI la temperatura máxima absoluta registrada es de 36.5°C y la mínima absoluta bajó hasta 6.5°C. En los meses con poca precipitación se presentan los valores más bajos de la temperatura mínima.

**- Nubosidad (octavos)**

La nubosidad, se determina observando la proporción de la bóveda celeste cubierta por nubes y expresado en una escala que esta desde 0 a 8 octavos.

Del Cuadro 33, los promedios mensuales y anuales en la estación meteorológica de Ibarra Aeropuerto es de 6/8; mientras que en el sector que se encuentra ubicada la estación meteorológica Salinas INERHI, la nubosidad es de 5/8 valor que indica que el cielo permanece cubierto menos de sus 3/4 partes.

**Cuadro 33.** Nubosidad (octavos) de las Estaciones Meteorológicas M053 Ibarra Aeropuerto y M085 Salinas INERHI.

Código	Nubosidad (octavos)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
M053	6	6	7	6	6	6	5	5	6	6	6	6
M085	5	5	5	5	5	4	4	4	5	5	5	5

Fuente: INAMHI, (1985 - 2009).

#### - Heliofanía (horas/sol)

La heliofanía se expresa en horas de brillo del sol, se relaciona en forma inversa a la nubosidad y constituye uno de los parámetros climáticos más escasos del país y en la zona de estudio y solamente se dispone de datos en la estación meteorológica Ibarra Aeropuerto.

De acuerdo al cuadro 34, la suma anual de las horas de sol en la estación meteorológica Ibarra Aeropuerto es de 1740, indicando que el número de horas con sol es bajo, en concordancia con la nubosidad que es de 6 octavos.

El valor anual de la estación con registro de la heliofanía en comparación con la teórica en el Ecuador, que es de 12 horas de sol por día (4380 horas al año), se tiene que este valor equivale al 40%, siendo muy bajo en relación a las horas teóricas de brillo solar al año; los meses con valores más altos de horas de brillo solar son julio y agosto.

#### - Régimen de evapotranspiración potencial (ETP)

Las precipitaciones mensuales son los aportes de agua, en tanto que la evapotranspiración potencial (ETP) son los egresos de agua.

Este elemento del clima esta influenciando el ambiente en la demanda evaporativa (radiación y temperatura) y por ser de difícil medición, se estima, con formulas empíricas desde las más simples a las más complejas.

**Cuadro 34.** Heliofanía (horas de sol) de la Estación Meteorológica M053 Ibarra Aeropuerto.

Código	Heliofanía (horas de sol)											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>M053</b>	154.3	124.5	122.9	115.2	142.5	138.4	173.6	176.4	143.9	148.3	148.8	150.5

Fuente: INAMHI, (1985 - 2009).

Para el cálculo de la ETP se aplicó el método de Thornthwaite que utiliza en su formula la temperatura media y la latitud, es fácil de calcular y por haber demostrado su aplicabilidad a las condiciones que existen a nivel nacional.

Para las estaciones meteorológicas consideradas en el área de estudio se calcularon los siguientes valores de evapotranspiración potencial mensual y anual (Cuadro 35).

**Cuadro 35.** Evapotranspiración potencial mensual (mm) por el Método Thornthwaite de las Estaciones Meteorológicas M053 Ibarra Aeropuerto y M085 Salinas INERHI.

Código	Evapotranspiración potencial mensual (mm)												Etp-anual (mm)
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
<b>M053</b>	65.2	59.4	67.8	66.7	70.2	69.3	71.7	74.1	71.1	70.0	64.9	65.7	816.6
<b>M085</b>	70.6	63.6	74.5	73.3	77.0	74.8	77.7	76.9	74.2	75.3	70.8	73.1	882.2

Fuente: INAMHI, (1985 - 2009).

La ETP mensual más alta es de 77.7 mm en el mes de julio (Salinas INERHI), debido al método de cálculo se toma en cuenta la temperatura media mensual, los valores de demanda atmosférica más elevados corresponden al período seco y los más bajos al período húmedo de acuerdo con los registros térmicos estacionales en el área.

Como la temperatura estival (verano) aumenta en el mismo sentido que disminuye la disponibilidad hídrica (NE - SO) los valores mensuales de la ETP tienen esa misma dirección de incremento. En el área de estudio la ETP está comprendida entre los 800 y 1000 mm anuales.

## **- Balance hídrico-climático**

Es el sistema por el cual se comparan los ingresos (precipitaciones) y los egresos (evapotranspiración potencial) mediante un cálculo que incluye como intermediario al suelo con su capacidad máxima de retención de agua y curva de desecación. Se utiliza el método de Thornwaite y Mather con una capacidad de retención máxima del suelo de 200 mm.

Debido a que la precipitación es un elemento climático irregular y con una distribución que no se ajusta a la curva normal, su medida no coincide con la probabilidad del 50% y la comparación con la ETP media en el Balance Hídrico Climático no es totalmente real. Con la utilización de la mediana se calcula un Balance de Agua Climático más representativo.

En el Cuadro 36, señala la variación mensual de los elementos del Balance Hídrico Climático y en la Figura 7 de los períodos de humedad para la estación de Salinas INAMHI, como se pudo observar que en todos los meses del año, existe déficit de humedad siendo el total anual de las deficiencias de 326.7 mm, en los meses de Julio a Septiembre; no existe un período húmedo bien marcado y en la zona de Salinas, el período semi-húmedo comprende 132 días, que va desde el 27 de diciembre al 7 de mayo.

En todos los meses del año, existe déficit de humedad siendo el total anual de las deficiencias de 326.7 mm, en los meses de Julio a Septiembre. No existe un período húmedo bien marcado. En la zona de Salinas, el período Semi-húmedo comprende 132 días, que va desde el 27 de diciembre al 7 de mayo.

## **- Clasificación climática**

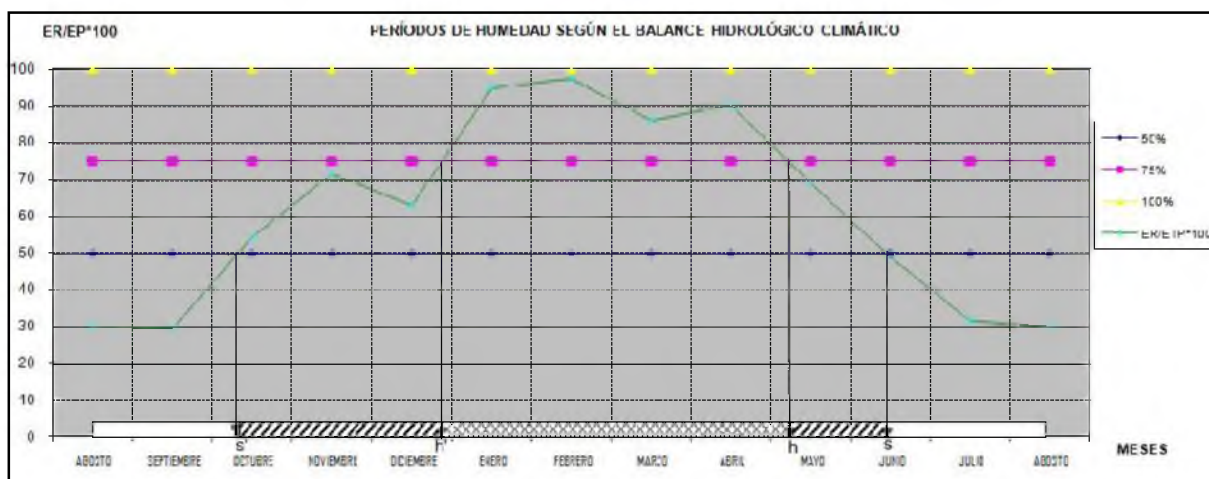
Las clasificaciones, pueden basarse en distintas combinaciones de los diversos elementos y factores climáticos, por esto no existe una clasificación única para satisfacer los distintos fines.



**Cuadro 36.** Balance Hídrico Climático (mm) de la Estación Meteorológica M085 Salina-Ibarra INERHI.

Balance Hídrico Climático (mm)													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Precipitación (P)	27.1	55.9	37.1	55.1	28.3	11.8	4.6	9.2	13.9	36.8	48.7	43.1	371.5
ETP	70.6	63.6	74.6	73.4	77.0	74.9	77.7	76.9	74.2	75.4	70.8	73.1	882.2
P-ETP	-43.5	-7.7	-37.5	-18.3	-48.7	-63.1	-73.1	-67.7	-60.3	-38.6	-22.2	-30.0	
(P-E'IP)	-43.5	-51.3	-88.7	-107.0	-155.7	-218.8	-291.9	-359.6	-419.9	-458.5	-480.7	-510.7	
Negativos (P-ETP)	-43.5	-51.3	-88.7	-107.0	-155.7	-218.8	-291.9	-359.6	-419.9	-458.5	-480.7	-510.7	
Almac	<b>160.0</b>	<b>154.0</b>	<b>127.0</b>	<b>116.0</b>	<b>91.0</b>	<b>66.0</b>	<b>46.0</b>	<b>32.0</b>	<b>24.0</b>	<b>20.0</b>	<b>18.0</b>	<b>15.0</b>	<b>869.0</b>
L almac	-40.0	-6.0	-27.0	-11.0	-25.0	-25.0	-20.0	-14.0	-8.0	-4.0	-2.0	-3.0	
ER	67.1	61.9	64.1	66.1	53.3	36.8	24.6	23.2	21.9	40.8	50.7	46.1	556.5
EXC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DEF	3.5	1.7	10.5	7.3	23.7	38.1	53.1	53.7	52.3	34.6	20.2	27.0	325.7
ER/ETP*100	95.0	97.3	86.0	90.1	69.2	49.1	31.7	30.2	29.5	54.1	71.5	63.1	

Fuente: INAMHI, (1985 - 2009).



CODIGO	SECO s's	HÚMEDO SECO sh y n's	SUBHÚMEDO HÚMEDO h'n
	M085	10 junio - 11 octubre	8 mayo - 12 junio y 12 octubre - 26 diciembre

100% ER/ETP*100	s's	Período seco : ER/ETP*100 < 50%
75% ER/ETP*100	Sh-y-h'S'	Período subhúmedo seco : ER/ETP*100 entre 50% y 75%
50% ER/ETP*100	hH-y-h'h'	Período subhúmedo húmedo : ER/ETP*100 entre 75% y 100%
ER/ETP*100	HH'	Período húmedo : ER/ETP*100 = 100%
	hh'	Período vegetativo : ER/ETP*100 > 75%
		ER Evapotranspiración Real ETP Evapotranspiración Potencial

Períodos (días)			
Seco	Húmedo-Seco	Semi-Húmedo	Disponibilidad
121	112	132	132

**Figura 7.** Períodos de humedad según el balance hídrico-climático (mm) de la Estación Meteorológica M085 Salinas-Ibarra.

Las clasificaciones basadas en temperatura y precipitación son las más abundantes, la clasificación presentada a continuación fue concebida por el Dr. Pierre Pourrut, investigador de hidrometeorología que está basada en parámetros escogidos por su simplicidad y cuyos valores están subdivididos, en un número limitado de categorías. Los parámetros considerados son las precipitaciones (totales anuales y regímenes) y las temperaturas (medias anuales).

Para caracterizar al régimen de lluvias se recurre al número anual de máximos pluviométricos.

- Ecuatorial: Se observan dos picos pluviométricos (dos estaciones lluviosas) y una estación relativamente seca.
- Tropical: Se registra únicamente un máximo lluvioso y una sola estación seca muy marcada.
- Uniforme: Las lluvias se presentan durante todo los meses del año.

Para caracterizar la altura anual de las precipitaciones, se tiene los siguientes límites y definiciones:

- Semi-árido: Para totales inferiores a 500 mm.
- Seco a semi-húmedo: Entre 500 y 1000 mm.
- Húmedo: Entre 1000 y 2000 mm.
- Muy húmedo: Entre 2000 y 3000 mm.
- Lluvioso: Para totales superiores a 3 500 mm.

Para distinguir las temperaturas anuales, se tienen tres clases que son:

- Megatérmico: Temperaturas medias superiores a 20°C.
- Mesotérmico: Temperaturas medias entre 12 y 20°C.
- Frío: Temperaturas inferiores a 12°C.

### **5.1.2. Resultados**

#### **Clima ecuatorial mesotémico seco a semi húmedo**

Este clima está asociado a los valles interandinos y menor altura. Las temperaturas medias anuales fluctúan entre 12 y 20 °C con poca diferencia entre los meses de verano e invierno. Las lluvias anuales están comprendidas entre 500 y 1000 mm y repartidas en dos épocas lluviosas de febrero a mayo y de octubre a noviembre. La época seca principal es de junio a septiembre, generalmente muy marcada, en cuanto a la segunda época su duración es muy corta y se sitúa a fines de diciembre, razón por la que se denomina veranillo del niño y la duración de la insolación es mayor a 1600 horas anuales.

### **5.2. Hidrología**

En una cuenca hidrográfica, es necesario determinar ciertos parámetros físicos característicos, simples y calculables con los datos disponibles que permitan delimitar zonas de iguales condiciones hidrológicas que lleven a estimar las disponibilidades de agua en toda una región, incluyendo zonas en las cuales no existen estaciones de medida y control.

#### **5.2.1. Metodología**

##### **- Delimitación hidrográfica**

En base a la división hidrográfica en cuencas y subcuencas realizadas por MAG (DINAREN)-CLIRSEN, a escala 1:250000 y aprobada en el 2002 por el Comité Interinstitucional (Ministerio de Relaciones Exteriores, IGM, MOP, MIDUVI, CNRH, DINAREN, CONELEC, CLIRSEN e INAMHI), se delimitó las cuencas, subcuencas y microcuencas sobre cartas topográficas digitales, teniendo como referencia los modelos del terreno en zonas de poca definición altimétrica.

Los conceptos generales sobre división hidrográfica a ser tomados en cuenta son:

- **Cuenca hidrográfica:** Es el área limitada por la divisoria de aguas en la cual escurre el agua que se recoge en un solo cauce y que desemboca directamente al mar o sale del territorio nacional.
- **Subcuenca:** Es el área que drena directamente al cauce principal de la cuenca hidrográfica.
- **Microcuenca:** Es el área donde se recoge el agua que alimenta al cauce principal de la subcuenca.

El área de drenaje de la zona en estudio pertenece a la cuenca hidrográfica del Río Mira. En la zona se delimitaron dos microcuencas, que son afluentes de la subcuenca del Mira.

En el cuadro 35, se encuentran las microcuencas y los parámetros físicos morfométricos (área, perímetro e índice de compacidad).

#### - **Índice de Compacidad**

La cuenca está definida en primer lugar por su contorno, que tiene una cierta forma y encierra una cierta superficie. La forma de la cuenca va a tener una influencia sobre el escurrimiento, la velocidad con la que el agua llega al cauce principal y las características de las crecidas.

El índice para representar la forma de la cuenca es el “Coeficiente de compacidad”, está determinado como la relación entre el perímetro P y el perímetro de un círculo que contenga la misma área A de la cuenca hidrográfica:

$$I.C. = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

I.C.= Índice de compacidad.

P = Perímetro (km).

A = Área (km<sup>2</sup>).

Por la forma como fue definido:  $I.C. \geq 1$ , que para el caso igual a  $= 1$ , es una cuenca circular.

La razón para usar la relación del área equivalente a la ocupada por un círculo es porque una cuenca circular tiene mayores posibilidades de producir crecidas dada su simetría.

Para la definición de la forma de una cuenca, se describe en el (Cuadro 37).

**Cuadro 37.** Índice de compacidad de la cuenca hidrográfica del Río Mira.

Índice de Compacidad	Forma de la Cuenca	Tendencia a las Crecidas
1.00 - 1.25	Casi redonda a oval redonda	Alta
1.25 - 1.50	Oval redonda a oval oblonga	Media
1.50 - 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga	Baja
> 1.75	Oblonga	Muy baja

Los valores del Índice de Compacidad de la microcuencas tienen valores de 1.47 y 1.91, por lo que las microcuencas tienen tendencia de crecidas bajas (Cuadro 38).

**Cuadro 38.** Tendencias a crecidas de la cuenca hidrográfica del Río Mira.

Microcuencas	Perímetro (km <sup>2</sup> )	Área (km <sup>2</sup> )	Índice de compacidad	Forma	Tendencia a crecidas
Quebrada Chuspihuaycu	43.12	68.39	1.47	1.25-1.50 Oval redonda a oblonga	1.25-1.50 Media
Quebrada Pigunchuela	42.89	40.15	1.91	>1.75 Rectangular oblonga	>1.75 Nula

#### - Características Hidrofísicas

El estudio hidrológico está condicionado con la disponibilidad de la información hidrológica existente, la cual en la zona de estudio es deficiente o no existe.

De esta forma la determinación de las características microfísicas es muy variable y su precisión esta disminuida en comparación con el resto de regiones del país. De esto la necesidad de apoyarse en el estudio “Hidrometeorológico e Hidrogeológico Preliminar

de las Cuencas de los Ríos Esmeraldas, Mira y Norte Ecuatoriano.” realizado para obtener resultados satisfactorios.

Para la determinación de zonas hidrológicas homogéneas a nivel nacional se basaron en cuatro parámetros con amplitud y límites de clase, siendo por orden de importancia los siguientes:

- **Precipitación (P):** Totales pluviométricos anuales (representado por las isoyetas y la repartición estacionales), con indicación del período de aparición de la estación lluviosa, 5 clases.
- **Permeabilidad (K):** Tipo de aporte subterráneo, determinado en función de la permeabilidad del suelo y del subsuelo. Clasificada en 5 clases de permeable a impermeable.
- **Relieve (R):** Calculado de manera tradicional con base en niveles específicos, 8 clases, desde relieve muy débil a extremadamente fuerte.
- **Altura (A):** Utilizando la curva hipsométrica, se determina la altura media clasificada en 10 clases.

De acuerdo al estudio mencionado anteriormente, las microcuencas en que se encuentra ubicado Yachay tienen las siguientes características (Cuadro 39):

La caracterización hidrológica en la microcuenca de la Quebrada Chuspihuaycu (el área mayor de drenaje de Yachay), indica que en la zona de estudio existe:

**Cuadro 39.** Microcuencas de la Granja Experimental INIAP-Yachay.

Microcuencas	Área (km <sup>2</sup> )	Altura media (m.s.n.m)	Clase de altura	Relieve	Desnivel específico	Clase de relieve	Precip. (mm)	Permeabilidad
Quebrada Chuspihuaycu	68.39	2277	Am5	Muy fuerte	814.2	R7	659.8 P3	K4, K2 y K1
Quebrada Pigunchuela	40.15	2198	Am5	Fuerte	370.9	R6	712.3 P3	K2 y K1

- **P3:** Precipitación de clase 3. El promedio general anual de la precipitación es de 660 mm.

- **R7:** Relieve muy fuerte (desnivel específico 814 m).
- **Am5:** Las alturas medias de la microcuenca, comprendidas entre 2 000-2 400 m.
- **K4, K2 y K1:** Zona impermeable (K4) en la parte superior de la microcuenca (rocas semimetamórficas), el resto de la microcuenca son zonas permeables.
  
- **Disponibilidad Hídrica**

Se revisó toda la red de las estaciones hidrológicas que opera el INAMHI y otras instituciones que tienen proyectos específicos relacionados con el recurso hídrico y no se encontró una estación hidrológica cercana al área de estudio. Debido a que no existen registros de caudales y para tener valores indicativos de la cantidad de agua promedio escurrida anualmente de las microcuencas, se procedió obtenerlos mediante módulos específicos.

El módulo específico (Caudal de escurrimiento), es el caudal promedio escurrido por unidad de superficie expresado en  $l/s/km^2$  (Cuadro 40).

**Cuadro 40.** Caudal de escurrimiento.

Clase	Caudal de escurrimiento ( $l/s/km^2$ )
M1	0 - 10
M2	10 - 20
M3	20 - 30
M4	30 - 50
M5	> 50

Para determinar la clase de módulos de las distintas microcuencas, se utilizaron los conceptos de lámina, déficit y coeficiente de escurrimiento. Recordemos que un  $l/s/km^2$  que se escurre en promedio durante un año, corresponde a una lámina escurrida equivalente a 31.5 mm de agua; por consiguiente la clase:

- **M1** Corresponde a una lámina escurrida entre 0 y 315 mm.
- **M2** Corresponde a una lámina escurrida entre 315 y 630 mm.

También, debe indicarse que el déficit de escurrimiento es la diferencia entre el agua precipitada y la escurrida y el coeficiente de esorrentía puede definirse como la relación entre la lámina escurrida y la lámina precipitada.

Mediante la superposición de las cuencas controladas por varias estaciones hidrométricas y con cartografía de las zonas hidrológicas homogéneas, es posible calcular las láminas escurridas relativas en otras cuencas. De acuerdo al estudio antes mencionado, en las dos microcuencas el caudal específico es muy bajo, con un valor inferido menor a  $10 \text{ l/s/km}^2$ , que corresponde a la clase M1.

En el cuadro 41, se presenta el volumen anual escurrido en millones de metros cúbicos para cada microcuena delimitadas en la zona del proyecto.

**Cuadro 41.** Caudal específico en las Microcuencas de la Granja Experimental INIAP-Yachay.

Microcuena	Perímetro (km <sup>2</sup> )	Área (km <sup>2</sup> )	K rango de caudal (l/s/ km <sup>2</sup> )	Clase de módulo	Caudal (l/s)	Volumen anual en millones de (m <sup>3</sup> )
Quebrada Chuspihuaycu	43.133	68.391	0 - 10	M1	683.9	21.567
Quebrada Pigunchuela	42.893	40.150	0 - 10	M1	401.5	12.661

### Calidad de las Aguas Superficiales

El diagnóstico de la contaminación del agua de los ríos que drenan el área de estudio ó en los canales de riego, permite determinar el impacto de las actividades humanas (urbanas y agrícolas) y la incidencia en la calidad del medio natural.

Por lo tanto, en esta sección se presentan los resultados del estudio realizado para determinar la calidad del agua superficial para uso de riego en la zona de interés, atendiendo a las características del sustrato geológico y edafológico y los índices de contaminación orgánica y bacteriológica ocasionada por las actividades actuales.

Los sitios de muestreo fueron ubicados mediante, GPS (Global Positioning System- Sistema de Posicionamiento Global) considerando la existencia de los conglomerados



humanos porque los sitios representativos y en tramos de la red hidrográfica, con el fin de visualizar la evaluación de la calidad del agua superficial en Yachay.

Con estos criterios, se realizaron tomas de muestras de aguas para ser analizadas en el laboratorio del INIAP (Cuadro 42)

**Cuadro 42.** Sitios de toma de muestras de agua en la Granja Experimental INIAP-Yachay.

No. de Muestra	Ubicación	Identificación	Coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 Sur		
			Este	Norte	Elevación
187	Sifón de hierro dúctil	Yachay 1	815011	10048422	1930
188	Acequia La Banda	Yachay 2	808050	10048834	2220
189	Entrada al reservorio	Yachay 3	812109	10048736	2237
190	Acequia Venas de Oro	Yachay 4	811534	10047342	2132
191	Quebrada Pisangacho	Yachay 5	811602	10047225	2137
192	Acequia Guzmaná	Yachay 6	815479	10047850	1991
193	Reservorio	Yachay 7	816804	10049982	1812
1	Estanque Hda. La Lorena	Yachay 8	816759	10051235	1818
2	Estanque 1 Hda. San Carlos	Yachay 9	815569	10049495	1860
3	Estanque 2 Hda. San Carlos	Yachay 10	815536	10049495	1862
4	Estanque Las Ruinas	Yachay 11	814837	10050057	2000

## 5.2.2. Resultados

### Calidad físico - química

El análisis de las propiedades físicas y químicas del agua superficial, se realizaron en base a la comparación con las Normas de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes referente al Recurso Agua (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente Registro Oficial N°. 3516 del 31 de Marzo del 2003) y que se presentan en el Cuadro A.4.

### **- Potencial Hidrógeno**

En la zona de estudio el pH de las aguas superficiales tienen valores de 6.7 a 8.73 con promedio de 7.8 que corresponde a una condición neutra a ligeramente básica.

De acuerdo a los límites máximos permisibles de agua, el valor del pH para consumo humano y doméstico es de 6 a 9 y para uso en riego va de 5 a 9.

Por lo expuesto, el valor de pH de los drenajes de la zona de estudio están dentro los límites máximos permisibles. No tiene ningún grado de restricción para que el agua sea utilizada en riego y para el consumo doméstico e industrial.

### **- Conductividad eléctrica**

El agua químicamente pura ostenta una conductividad eléctrica muy baja, significando esto que es un buen aislante; con la adición de una pequeñísima cantidad de minerales y sólidos disueltos, el agua se vuelve conductiva.

Los valores de conductividad varían de 0.12 a 1.59 ds/m. que corresponden a aguas que contienen de baja a media salinidad.

### **- Salinidad**

La salinidad, es definida como la suma del peso de los siguientes iones: Ca, Mg, Na, K, CO<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub>H, Cl y SO<sub>4</sub>. Esta salinidad varía mucho según el lugar de muestreo.

Así en general, la zona en estudio tiene una salinidad baja a alta con un mínimo de 288.7 mg/l en la Acequia Guzman y un máximo de 1400.2 mg/l en la captación de la acequia Cuambo- Edelmira, puede utilizarse en el riego de cultivos tolerantes a las sales y en suelos con adecuado drenaje.

## - **Concentración relativa de sodio**

Es de gran utilidad el conocimiento de la proporción relativa de sodio y cationes en el agua de riego, por su efecto sobre la sodificación del suelo. Un indicador de la concentración relativa de sodio es la Relación de Absorción de Sodio (**RAS**), en contraendose valores altos de sodio ( $RAS=3.02$ ) a excepción de la muestra Yachay 1.

### **5.3. Infiltración**

La capacidad de infiltración, es la cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones, valor que es variable en el tiempo en función de la humedad del suelo, material que conforma el suelo y la mayor o menor compactación que tiene el mismo; está determinada por la intensidad de lluvia y se denomina velocidad de infiltración (relación entre la lámina de agua que se infiltra y el tiempo en que tarda en hacerlo).

El coeficiente de permeabilidad, es la propiedad que tiene el suelo en transmitir el agua y el aire; está relacionado con la textura y estructura del suelo, por lo que los valores, mientras más fina sea la textura del suelo, más lento será el valor de K. Suele medirse en función de la velocidad del flujo de agua a través del suelo, durante un período determinado. Existen muchos métodos directos e indirectos para su medida. En este caso, para los cuatro tipos de ensayos realizados en la zona de estudio, se utilizó el método de anillos (cilindros) concéntricos tipo Munz, que permitió conocer la variación de la capacidad de infiltración en función del tiempo, decreciente a medida que transcurre el tiempo.

Estos cilindros tienen las ventajas que son portátiles, sencillos, bajo costo, fácil de manejar y requieren poca agua para su funcionamiento. La desventaja es que el área de infiltración es pequeña y a veces no es representativo de una clase de suelo en general. Esto puede requerir muchas repeticiones en una determinada clase de suelo para llegar a un valor confiable para infiltración representativa. Otra desventaja, es que a veces es difícil instalar en terrenos pedregosos y la misma se realiza solamente en pendientes menores al 50%.

### 5.3.1. Metodología

#### - Selección del sitio de muestreo

La selección del sitio para la instalación consistió en que esté libre de fisuras, piedras, raíces, materia orgánica y pisoteo de animales o maquinaria.

Se verifico que el suelo escogido sea representativo del área bajo consideraciones o de variabilidad que se requiere medir. Los factores que afectan a la medida de la infiltración tienen carácter eminentemente local, es por esto que los métodos de campo para su determinación, tiene un valor relativo y representan las características del lugar donde se han realizados las mediciones. Al realizar los diferentes ensayos de determinaciones de capacidades de infiltración seleccionar lugares más representativos de una zona, tomando como base los sitios en que se realizaron las calicatas por los edafólogos.

Se registró las medidas y los tiempos correspondientes. Estos registros de mediciones, se realizó en base de una tabla con distintas alturas de agua infiltradas en el cilindro interior, a intervalos periódicos de tiempo.

Las medidas iniciales (tres por cada intervalo de tiempo) fueron realizadas rápidamente en intervalos de tiempo cortos de 5 y 15 segundos, 1 y 5 minutos al comenzar la prueba y luego se alargó estos intervalos cada 15 y 30 minutos.

El tiempo de duración de cada ensayo fue variable, considerando que la velocidad de infiltración comienza a estabilizarse. El tiempo de duración de cada ensayo, dependió principalmente del tipo de suelo y en general se realizaron durante un período mayor a 2 horas.

#### - Procesamiento en gabinete

En cada uno de los ensayos se determinaron las siguientes velocidades de infiltración:

- **Velocidad de infiltración media.** Es la infiltración acumulada en un periodo de tiempo, dividido por ese periodo de tiempo.

$$\bar{V} = \frac{h}{t}$$

Donde:

V= velocidad media (mm/h).

h= altura (mm).

t= tiempo (h).

- **Velocidad de infiltración básica.** Cuando la velocidad de infiltración instantánea se vuelve constante con lo que se obtuvo el coeficiente de permeabilidad K.

$$V.I.B. = \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

Donde

V.I.B = Velocidad de infiltración básica (mm/h).

$\Delta h$ = diferencia de altura (mm).

$\Delta t$ = diferencia de tiempo (h).

### 5.3.2. Resultados

En el cuadro 43, se presentan los resultados del coeficiente de permeabilidad, como la velocidad de infiltración básica y los cuatro ensayos de infiltración realizados en el área de estudio.

**Cuadro 43.** Resultados del coeficiente de permeabilidad en la Granja Experimental INIAP-Yachay.

Código	Fecha	Este	Norte	K (Vib mm/h)	Permeabilidad
P001	24 de marzo 2015	813993	49871	19.3	P
P002	24 de marzo 2015	814564	50272	4.5	PP
P003	24 de marzo 2015	816845	50376	16.9	P
P004	24 de marzo 2015	816172	50996	4.1	PP

Fuente: CGSIN - INIAP, 2015.

La clasificación de los suelos por su grado de coeficiente de permeabilidad (Terzaghi, K. y Peck, R. 1.963), proporcionó dos categorías que se detallan a continuación:

- Permeables (**P**): Suelos que tienen capacidades de infiltración moderadas cuando están completamente húmedos, generalmente son suelos moderadamente profundos y con buen drenaje, con texturas medias a finas (francos y francos arenosos). Están caracterizados por tener velocidades medias de transmisión de agua es decir entre 15 hasta 70 mm/h. Las pruebas de infiltraciones realizadas en los puntos P001 y P003 dieron valores de coeficientes de permeabilidad de 19.3 mm/h y 16.9 mm/h respectivamente.
- Poco permeables (**PP**): Son suelos que tienen capacidades de infiltración baja cuando están completamente húmedos principalmente los de textura fina o moderadamente fina (franco arcillo-arenoso), los valores de coeficiente de permeabilidad son bajos (P002 valor de 4.5 mm/h y en el P004 4.1 mm/h).

#### **5.4. Zonas aptas para riego**

La utilización racional de una zona hídricamente deficitaria se apoya en estudios físicos y hidroclimáticos netamente orientados hacia una aplicación práctica para delimitar zonas favorables para riego.

##### **5.4.1. Metodología**

Para responder a la pregunta donde regar, se debe delimitar las zonas a irrigar, se partirá de las condiciones físicas y climáticas locales, sin considerar las realidades económicas y sociales.

El análisis de la información pluvio-climatológica permite encontrar las verdaderas fronteras del estudio, que delimitan las áreas donde existe la necesidad de irrigar los cultivos.

Esta necesidad de agua para riego está estrechamente relacionada con la cantidad de agua de lluvia disponible durante un tiempo determinado, así como de la cantidad de

agua requerida para completar el ciclo vegetativo de los cultivos durante el mismo período. Cuando el agua de lluvia llega efectivamente a las raíces para ser utilizada por las plantas, supera a los requerimientos de las mismas, el riego es inútil, en el caso contrario, el riego es necesario.

#### **- Factor climático**

El clima, se refiere al régimen normal de los parámetros medios de la atmósfera; en otras palabras a la sucesión habitual del conjunto de los elementos durante un cierto período, por lo que el conocimiento de estos parámetros medios requiere de largas series de observaciones relativas a cada elemento.

Los elementos que caracterizan al clima son variables físicas mensurables (precipitación, temperaturas del ambiente, insolación, nubosidad, evaporación, velocidad del viento y humedad del aire) y varían bajo la influencia de factores reinantes en una zona, como: factores astronómicos (movimiento de la tierra, movimiento aparente del sol, radiación solar y sus variaciones) factores geográficos (latitud, relieve, altitud y corrientes oceánicas) y factores meteorológicos (circulación atmosféricas y masas de aire locales).

A continuación se presentan los principales parámetros climáticos que tienen influencia importante sobre los escurrimientos y la producción potencial del sector agrícola (riego), siendo:

#### **- Precipitación (mm)**

El aporte hídrico para el balance de agua proviene de las precipitaciones. Un análisis de las precipitaciones media mensual y anual muestra la distribución de los períodos con y sin lluvias (régimen de precipitación), como el monto total disponible en el ciclo anual y los diferentes valores anuales a lo largo de todo el período histórico, a fin de observar tendencias crecientes o decrecientes y presencia de fenómenos extremos (como ejemplo la presencia fenómeno del niño).

Con la finalidad de determinar la variabilidad a través del tiempo, se elaboraron cuadros de resumen con el cálculo de los valores medios mensuales y anuales de las alturas de precipitación, que corresponderían a todo el período de años de observación de cada estación y a los períodos homogéneos reconstituidos (1985 - 2009).

#### - **Trazo de isoyetas**

Conociendo que los datos de precipitación obtenidos de la red de estaciones pluviométricas son puntuales, uno de los métodos para espacializarla es por medio de isos. Se trazó a escala 1:50000 una red de isoyetas medias anuales con intervalos de 100 mm, en base a los resultados antes mencionados y homogenizados.

Para facilitar el trazado de las isoyetas, se consideró las precipitaciones anuales de las estaciones meteorológicas y pluviométricas vecinas a la zona de estudio, relieve, orografía y observaciones en el campo de la vegetación, realizadas en el reconocimiento terrestre.

La confiabilidad y precisión de estas isoyetas trazadas es muy variable, de acuerdo o en íntima relación con la calidad y cantidad de estaciones de la red actualmente existente, dependiendo únicamente de los pocos datos disponibles.

Estas isoyetas medias anuales nos permitirán calcular las precipitaciones anuales medias que tendrían las microcuencas y en el área de influencia de las estaciones hidrométricas, como parte de la zonificación hidrológica y del balance hídrico.

#### - **Déficit hídrico climático**

El déficit hídrico en una zona establecida y en un período determinado, es cuando el valor de la evapotranspiración potencial supera al total de las precipitaciones sin tomar en cuenta el agua disponible en el suelo (es decir la reserva fácilmente utilizable "RFU", que corresponde a la cantidad de agua almacenada en el suelo durante los meses lluviosos).



Como se expuso anteriormente, el primer paso consiste en definir las zonas de acuerdo a las condiciones climáticas, que tienen la necesidad de ser irrigadas, considerando que las zonas que se benefician de un aporte pluvial (precipitaciones) suficiente y ofrecen menor interés.

Confrontando la pluviosidad y la evapotranspiración potencial mensuales, se trazó una cartografía de las isolíneas de igual déficit hídrico de origen climático anual  $D$  y éstas seleccionando valores límites superiores e inferiores más adecuados, se pudo a su vez delimitar las zonas que tienen necesidades similares de riego.

Para Ecuador, la ex ORSTOM y ex PRONAREG definieron 5 clases (Elementos básicos para la planificación de la irrigación en el Ecuador 1982) de zonas para riego, que corresponden a riego: indispensable, necesario, complementario, facultativo e innecesario.

Los valores del déficit hídrico anual que definen estas clases son diferentes según se trate de la zona costanera o de la sierra, fueron determinados de acuerdo a la realidad del campo ecuatoriano, tomando además en consideración el criterio de varios especialistas en las diferentes disciplinas de estas Instituciones. Estas clases son:

- **Clase 1 (RI):** Zonas en la que el **riego** es **indispensable** para cualquier tipo de cultivo (zonas semi-áridas y muy secas). El déficit anual es mayor a 1000 mm en la zona costera y mayor a los 400 mm, en la zona interandina. Este déficit se presenta en todos los meses (11 a 12 meses) del año y sin el cual no se podrían obtener cosechas normales.
- **Clase 2 (RN):** Zonas donde una fuerte dosis de **riego** es **necesario** para el desarrollo y la obtención de rendimientos regulares (normales) de los cultivos. Zonas que necesitan entre 8 a 10 meses tener riego. El déficit anual es de 750 a 1 000 mm en la costa y de 175 a 400 mm en la sierra.
- **Clase 3 (RC):** Zonas donde con un **riego complementario** permite mejorar claramente los rendimientos o hacer una cosecha suplementaria. El número de meses deficitarios es de 5 a 7. Este déficit es de 500 a 750 mm en la costa y de 100 a 175 mm al año en la sierra.

- **Clase 4 (RF):** Zonas donde el riego es **facultativo**, solamente útil durante los años fuertemente deficitarios. El déficit es de 250 a 500 mm anuales en la costa y de 50 a 100 mm en la sierra repartidos entre 2 y 4 meses.
- **Clase 5 (N):** Zonas donde el **riego** es **innecesario (inútil)** ya que se benefician de una pluviometría suficiente y bien repartida durante todo el año. El déficit es menor a los 250 mm en la costa y menor a los 50 mm en la sierra.

Con estos criterios, la zona de estudio el riego es Indispensable para la instalación de cualquier cultivo.

### **Zonas de riego de acuerdo a factores físicos (zonas regables)**

Una vez determinada las zonas de interés climática, queda por definir las zonas cuyas características físicas permiten una buena utilización agrícola (zonas regables).

Los factores más importantes que intervienen en la delimitación de las zonas aptas para una utilización de riego son: la calidad agronómica de los suelos (elemento dado por los edafólogos) y el rango de las pendientes que condicionan la degradación de la capa arable, la instalación de la red de riego y la mecanización agrícola (datos proporcionados por los geomorfólogos).

#### **- El suelo**

El suelo, siendo el soporte nutritivo de los cultivos, tiene una importancia predominante. En base a las características de los suelos proporcionada por los edafólogos, permiten conocer la calidad agronómica de la cobertura superficial y su vocación agrícola y la existencia de factores limitantes para utilización de riego como son la falta de profundidad del suelo, un pH prohibitivo (muy ácido o muy alcalino), la presencia de sales, la existencia de rocas en los horizontes superficiales (obstáculo para la mecanización), una textura demasiado arcillosa o una textura demasiado arenosa (pérdidas durante las irrigaciones), así es posible establecer una clasificación preliminar: suelos de buena, mediana y mala calidad para riego.

## - Las pendientes

Son un factor limitante para la utilización agrícola cuando son muy fuertes, ya que condicionan: la elaboración de un sistema de mecanización agrícola, la instalación de una red de irrigación ordenada, la erosión de las vertientes y la degradación de capas arables.

## - Delimitación de zonas regables según los factores suelos y pendiente

Utilizando una matriz de variables, mediante la superposición de las cartas (mapas) de clases de suelos y con límites adecuados de pendientes permitió la delimitación de zonas que tienen diferentes aptitud para riego, clasificando las zonas en diferentes clases de prioridades para su utilización racional de riego.

De la base de datos de los diferentes estudios de suelos, se obtuvieron los siguientes parámetros: pendiente (Cuadro 1), profundidad (Cuadro 6), textura (Cuadro 7), pedregosidad (Cuadro 8) y drenaje (Cuadro 12), que son los elementos más importantes para determinar las aptitudes agrícolas (potencialmente regables) de una zona.

La combinación de estos cinco parámetros físicos (suelo-pendiente), nos proporciona la aptitud de los suelos para riego.

Esta reclasificación, permitió el establecimiento de una escala de prioridades para su utilización racional y la delimitación de zonas con diferentes aptitud para riego:

- **Clase 1. Zonas aptas:** Suelos buenos (o con pocos limitantes) y pendientes débiles a moderadas (0-12%).
- **Clase 2. Zonas moderadas:** Son zonas en las cuales el principal factor limitante es el relieve que tiene una pendiente moderada (12-25%) y la existencia de suelos buenos a moderados con uno o dos parámetros limitantes como la textura: franco arcilloso (< 35% de arcilla), arcilloso, arcillo arenoso, arcillo limoso, arenoso franco y/o suelos pocos profundos (20-50 cm).

- **Clase 3. Zonas marginales:** Zonas que se caracterizan por tener pendientes fuertes (25-50 %) y/o zonas con dos o más limitantes en sus parámetros del suelo.
- **Clase 4. Zonas no aptas:** Zonas con pendientes muy fuerte y abruptas (> 50 %).

#### 5.4.2. Resultados

En el cuadro 44. observamos suelos aptos para riego con pocas limitaciones con pendientes menores al 12%, ocupan una superficie de 432.77 ha, en cambio las zonas no aptas para el riego comprenden una superficie de 202.26 ha (Cuadro 44).

**Cuadro 44.** Zonas de riego en la Granja experimental INIAP-Yachay.

<b>Clase</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Ocupación (%)</b>
Clase 1	432.77	47.79
Clase 2	270.45	29.86
Clase 4	202.26	22.33

## **6. CAPACIDAD DE USO DE LA TIERRA**

La finalidad principal es conocer el potencial de las tierras con fines de planificación de uso manejo y conservación del recurso suelo y presentar una visión de la aptitud para el desarrollo agropecuario del área de estudio. Muestra la aptitud relativa de los suelos para los cultivos, pastoreo u otros propósitos. Se basa en las limitaciones y necesidades de los suelos, el peligro de dañarlos y su respuesta al manejo.

Es un proceso de interpretación sistemática del suelo, clima, relieve (pendiente) y otros aspectos, el cual permite ordenar y agrupar en clases a la tierra, según su aptitud o capacidad, de acuerdo al grado de limitaciones que la misma presenta, permitiendo de esta manera definir su capacidad de uso o uso potencial.

### **6.1. Metodología**

Las metodologías de Capacidad de Uso de la Tierra que se han utilizado o adaptado a los estudios nacionales son: el Sistema Americano u "ocho clases", el Sistema Agrológico de capacidad de uso con fines de catastro, que contempla el estudio de ocho clases, derivado de la metodología utilizada por MAG-PRONAREG-ORSTOM, para los mapas de Aptitud Agrícola, escala 1:200000 realizados a nivel nacional, los cuales en algunos casos no son aplicados textualmente y en otros, se han realizado ciertas adaptaciones válidas para nuestro medio.

En la Clasificación de Capacidad de Uso de las Tierras, se puede realizar la interpretación de la información de suelos con fines agrícolas por:

Las clases individuales de suelos.

El grupo de suelos, que se comportan de manera similar respecto a la respuesta al manejo y tratamiento.

## - Factores que determinan la capacidad de uso de la tierra

Se evalúan variables edáficas, climáticas y geomorfológicas (formas del relieve), con el fin de seleccionar las de mayor influencia en la determinación de las clases de capacidad de uso.

De la base de datos del mapa de suelos que contiene 14 variables (físicas y químicas), se seleccionaron las de mayor influencia en el establecimiento y manejo de los sistemas de producción son las siguientes:

- **Relieve:** Pendiente.
- **Suelo:** Textura, profundidad efectiva, drenaje, pedregosidad superficial, pH, toxicidad, salinidad, inundación.
- **Clima:** Precipitación, temperatura, meses secos y déficit hídrico, reflejados en los regímenes de humedad y temperatura del suelo.

## - Recolección de los factores de la tierra

Se puede considerar como la primera etapa, para determinar la capacidad de uso de la tierra, es la identificación y caracterización de las unidades de suelos realizada previamente en el área de estudio generando todos los factores importantes para determinar su uso y tratamiento (Figura 8).



**Figura 8.** Factores que determinan la capacidad de uso de la tierra.

## **Definición de las categorías por capacidad de uso**

El sistema reúne a los suelos en arables y no arables, agrupando en tres categorías: clases, subclases y unidades de capacidad, se lo hace en base a la capacidad de los suelos para producir plantas cultivadas y pastos, sin deteriorar el recurso suelo (Cuadro 45).

**Clases:** Agrupamiento más alto, son 8 y se expresan con números romanos. Tienen las mismas limitaciones y problemas de manejo de igual categoría, pero puede ser de diferente grado.

**Subclase:** Indica el factor o factores predominantes de limitaciones y riesgo. Se reconocen cuatro:

**Erosión (e):** La limitación dominante es la susceptibilidad a la erosión o ha sufrido erosión, por el viento o el agua. En esta subclase la pendiente es el factor determinante

**Humedad (h):** Limitación de exceso de agua. Limitaciones comunes: drenaje imperfecto o mal drenado, capa freática alta o inundación o encharcado.

**Suelo (s):** La limitación dominante de alguna de las características del suelo afecta principalmente la zona radicular, pueden ser, poca profundidad efectiva, texturas arcillosas o arenosas, toxicidad, pH ácidos o alcalinos, pedregosidad, o fertilidad baja difícil de corregir.

**Clima (c):** Destaca problemas serios en el clima, bajas temperaturas (heladas) o carencia de humedad o escasas precipitaciones

**Unidades de capacidad:** Son necesarias para mostrar los factores y condiciones específicas que afectan al uso y manejo de los suelos.

**Cuadro 45.** Parámetros por factor o variable para definir las clases de capacidad de uso de las tierras.

Factor	Variables	Clases de capacidad de uso de la tierra							
		Agricultura y otros usos – arables				Poco riesgo de erosión	Aprovechamiento forestal o con fines de conservación - No arables		
		Sin limitaciones a ligeras		Con limitaciones de ligeras a moderadas		Con limitaciones fuertes a muy fuertes	Con limitaciones muy fuertes		
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
<b>Erosión</b>	Pendiente (%)	Menor a 5	Menor a 12	Menor a 25	Menor a 40	Hasta 12	Menor a 70	Menor a 100	Cualquiera
	Profundidad efectiva (cm)	Mayor a 100	Mayor a 50	Mayor a 20	Mayor a 20	Cualquiera	Mayor a 50	Mayor a 20	Cualquiera
<b>Suelo</b>	Textura superficial	Grupo 1	Grupo 1, 2 y 3	Grupo 1, 2 y 3	Grupo 1, 2 y 3	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera
	Pedregosidad (%)	Menor a 10	Menor a 25	Menor a 25	Menor a 25	Menor a 50	Menor a 25	Menor a 75	Cualquiera
	Salinidad (dS/m)	Menor a 2	Menor a 4	Menor a 8	Menor a 8	Menor a 16	Menor a 16	Menor a 16	Cualquiera
	Toxicidad	Sin o nula	Sin o nula y ligera	Sin o nula, ligera y media	Sin o nula, ligera y media	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera
<b>Humedad</b>	Drenaje	Bueno	Bueno y moderado	Excesivo, moderado y bueno	Excesivo, moderado y bueno	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera
	Periodos de inundación	Sin o muy corta	Sin o muy corta	Sin o muy corta y corta	Sin o muy corta y corta	Sin o muy corta, corta, mediana y larga	Sin o muy corta y corta	Sin o muy corta, corta y mediana	Cualquiera
<b>Climático</b>	Regímenes de humedad del suelo	Údico	Údico y Ústico	Údico y Ústico	Údico y Ústico	Cualquiera	Údico, Ústico y Perústico	Údico, ÚsticoPerústico y Arídico	Cualquiera
	Regímenes de temperatura del suelo	Isohipertérmico e isotérmico	Isohipertérmico e isotérmico	Isohipertérmico e isotérmico	Isohipertérmico e isotérmico	Isohipertérmico e isotérmico	Isohipertérmico, isotérmico e isomésico	Isohipertérmico, isotérmico e isomésico	Cualquiera

Fuente: IEE-MAGAP (CGSIN), 2014.



- **Elaboración de matrices de interacción de los factores o variables**

Para el área de estudio se seleccionaron los factores o variables físicas y químicas que pueden constituirse en limitaciones para el uso del suelo, en tal virtud desechando las que no se muestran como limitaciones, como por ejemplo la salinidad, toxicidad y fertilidad, de acuerdo al estudio de suelos y resultados de laboratorio (Cuadros 46 y 47).

**Cuadro 46.** Modificación de clase de capacidad de uso de las tierras por profundidad efectiva.

Clase	Profundidad efectiva (cm)				
	Profundo (> a 100)	Moderadamente profundo (51 - 100)	Poco profundo (21 -50)	Superficial (10 - 20)	Muy superficial (0 - 10)
I	I	II	III	V	V
II	II	II	III	V	V
III	III	III	III	VIII	VIII
IV	IV	IV	IV	VIII	VIII
VI	VI	VI	VII	VIII	VIII
VII	VII	VII	VII	VIII	VIII
VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII

Fuente: IEE-MAGAP (CGSIN), 2014.

**Cuadro 47.** Modificación de clase de capacidad de uso de la tierra por textura superficial.

Clase	Grupos texturales				
	1	2	3	4	5
I	I	II	II	V	V
II	II	II	II	V	V
III	III	III	III	VI	VI
IV	IV	IV	IV	VI	VI
V	V	V	V	V	V
VI	VI	VI	VI	VI	VI
VII	VII	VII	VII	VII	VII
VIII	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII

Fuente: IEE-MAGAP (CGSIN), 2014.

Mediante la utilización de las matrices de decisión, se asignó clases de tierra según su capacidad de uso a cada variable en estudio.

El análisis de las clases de pendiente, permite asignar clases de tierra, las cuales serán modificadas, al sobreponerles con las variables de profundidad efectiva, textura superficial, pedregosidad, salinidad, toxicidad, drenaje, períodos de inundación, clima (regímenes de humedad del suelo y regímenes de temperatura del suelo).

### **Clases y Subclases de Capacidad de Uso de las Tierras**

Conforme incrementa las limitaciones disminuyen las opciones de uso, así las cuatro primeras clases (I a IV) reservadas para los usos agrícolas arables y los cuatro restantes (VI a VIII) para las no-agrícolas, no arables. La clase V sin peligro de erosión, pero con otras limitaciones fuertes.

De acuerdo a las especificaciones técnicas descritas, las clases de capacidad de uso se definen de la siguiente manera:

Tierras adecuadas para cultivos y otros:

- Clase I.- Tierras sin limitaciones o con muy ligeras limitaciones.
- Clase II.- Tierras con algunas limitaciones.
- Clase III.- Tierras con severas limitaciones.
- Clase IV.- Tierras con muy severas limitaciones.

Tierras de uso limitado o no adecuados para cultivos.

- Clase V.- Tierras para pastos o bosques.
- Clase VI.- Tierras con limitaciones ligeras para pastos y bosques.
- Clase VII.- Tierras con severas limitaciones para pastos y bosques.
- Clase VIII.- Tierras con muy severas limitaciones para cualquier uso.

Es preciso considerar que debido a diferencias en las condiciones biofísicas, sociales, económicas y políticas, ninguna clasificación puede aplicarse en su totalidad o de forma original de un país a otro sin considerar modificaciones sustentables.

- Descripción general de clases de capacidad de uso

De acuerdo a las especificaciones técnicas descritas, las clases de capacidad de uso se definen de la siguiente manera:

### **Agricultura y otros usos - arables**

#### **Clase III**

Estas clases de tierras presentan limitaciones ligeras a moderadas. Se encuentran en pendientes menores o iguales al 25%. Presentan suelos poco profundos, con una pedregosidad menor o igual al 25%. Sus texturas corresponden al grupo 1, 2 o 3 (Cuadro 45). El drenaje puede ser excesivo, bueno o moderado. Incluyen suelos no salinos o ligeramente salinos. Pueden presentar toxicidad media por aluminio intercambiable o por carbonatos. Los períodos de inundación pueden ser nulos o muy cortos. Los regímenes de humedad del suelo pueden ser údico o ústico; de temperatura isohipertérmico o isotérmico.

#### **Clase IV**

Son tierras que presentan limitaciones de ligeras a moderadas, que se encuentran en pendientes menores al 40%. Son suelos poco profundos, con poca pedregosidad (< 25%). Las texturas corresponden al grupo 1, 2 y 3 (Cuadro 45), cuyo drenaje va de bueno a excesivo. Incluyen a suelos no salinos y ligeramente salinos, con toxicidad media por aluminio intercambiable o por carbonatos. Los períodos de inundación son nulos o muy cortos. Se ubican en regímenes de humedad del suelo údico o ústico y en regímenes de temperatura isohipertérmico o isotérmico.

#### **Clase VII**

Presentan muy fuertes limitaciones. Las pendientes son menores o mayores al 70%. La pedregosidad menor o igual al 75% y la profundidad efectiva mayor a 0.2 m. Incluye cualquier tipo de drenaje, textura y toxicidad. Tolera hasta una salinidad menor o igual a

16 dS/m (muy salinos). Se ubican en regímenes de humedad del suelo údico, ústico, perúdicico o arídico; con regímenes de temperatura isohipertérmico, isotérmico o isoméxico.

### **Clase VIII**

Son tierras con limitaciones muy fuertes; pendientes mayores al 70% o con suelos con profundidad efectiva menores de 0.2 m. Asimismo, se pueden incluir suelos extremadamente salinos o altamente tóxicos. Se encuentran en un variado régimen de temperatura del suelo, que incluye hasta el isofrígido. Con respecto al régimen de humedad del suelo, se aceptan en esta clase hasta el arídico y el perúdicico.

#### **- Subclases de capacidad de uso**

Las subclases de capacidad de uso están determinadas de acuerdo con las limitaciones y en función de los siguientes factores: riesgo de erosión por la pendiente dominante (p), suelo (s), drenaje (d), periodos de inundación (i) y clima (c).

La metodología plantea la utilización de subíndices con letras minúsculas en el siguiente orden por ejemplo: p, s, d, i y c que identifica las subclases de acuerdo al factor o los factores limitantes.

#### **Pendiente (p)**

Se refiere a las limitantes que se pueden presentar en una determinada clase de capacidad de uso por efecto de la pendiente.

#### **Suelo (s)**

Se refiere a las limitantes que se pueden presentar en una determinada clase de capacidad de uso por los siguientes factores: profundidad efectiva, textura, pedregosidad, toxicidad y salinidad del suelo. Generalmente con limitaciones en la zona radicular.

### **Drenaje (d)**

Representa las limitaciones que puede presentar una determinada clase de capacidad de uso debido al exceso o deficiencia en el contenido de humedad del suelo.

### **Periodos de inundación (i)**

Identifica las limitaciones que puede presentar una determinada clase de capacidad de uso debido a los periodos de inundación que pueda sufrir.

### **Clima (c)**

Estas limitaciones se deben a distintas características climáticas que pueden afectar al desarrollo de los cultivos dependiendo de los regímenes de humedad y de temperatura del suelo, que se encuentran íntimamente relacionados con las condiciones climáticas ambientales.

### **Unidades de manejo**

#### **Pendiente**

- p2: Tierras ubicadas en pendientes suaves (> 5 a 12%).
- p3: Tierras ubicadas en pendientes medias (> 12 a 25%).
- p4: Tierras ubicadas en pendientes medias a fuertes (> 25 a 40%).
- p5: Tierras ubicadas en pendientes fuertes (> 40 a 70%).
- p6: Tierras ubicadas en pendientes muy fuertes (> 70%).

#### **Suelo**

Profundidad efectiva (s1), constituyen limitantes en el espesor de las capas del suelo y subsuelo en las cuales las raíces pueden penetrar sin dificultad.

- s11: Es utilizado para identificar limitantes de profundidad efectiva cuando los suelos son muy superficiales (0 a 10 cm).
- s12: Identifica limitantes de profundidad efectiva cuando los suelos son superficiales (> 10 a 20 cm).
- s13: Se refiere a la limitante de profundidad efectiva cuando los suelos son poco profundos (> 20 a 50 cm).
- s14: Se refiere a la limitante de profundidad efectiva cuando los suelos son moderadamente profundos (> 50 a 100 cm).

Textura superficial (s2), hace referencia a limitantes por texturas demasiado gruesas o finas.

- s21: Identifica limitantes de suelo por texturas arcillosas, arcillo-limosas, arcillo-arenosas y arcillosas pesadas.
- s22: Es utilizado para identificar limitantes de suelo cuando las texturas son: arena, arena muy fina, arena media, arena gruesa y arena francoso.

Pedregosidad (s3), identifica limitantes de suelo cuando existen piedras en diferente cantidad en la superficie.

- s31: Identifica poca pedregosidad en la superficie (> 10 a 25% de fragmentos gruesos).
- s32: Identifica pedregosidad frecuente en la superficie (> 25 a 50% de fragmentos gruesos).
- s33: Hace referencia a pedregosidad abundante (> 50 a 75% de fragmentos gruesos).
- s34: Identifica zonas pedregosas o rocosas (más de 75% de fragmentos gruesos).

Salinidad (s4), resalta limitaciones de suelo debidas al contenido excesivo de sales.

- s41: Identifica suelos ligeramente salinos (2.0 a 4.0 dS/m).
- s42: Identifica suelos salinos (> 4.0 a 8.0 dS/m).
- s43: Resalta suelos muy salinos (> 8.0 a 16.0 dS/m).
- s44: Representa a suelos extremadamente salinos (> 16.0 dS/m).

Toxicidad por aluminio intercambiable (s5), representan las limitaciones que producen los niveles de toxicidad en el suelo por efecto del aluminio intercambiable.

- s51: Indica niveles ligeros de toxicidad por aluminio intercambiable (< 0.50 meq/100ml).
- s52: Indica niveles medios de toxicidad por aluminio intercambiable (0.50 a 1.5 meq/100ml).
- s53: Indica niveles altos de toxicidad por aluminio intercambiable (>1.5 meq/100ml).

Toxicidad por carbonatos (s6). indica los diferentes niveles de toxicidad en el suelo por efecto de los carbonatos.

- s61: Identifica niveles ligeros de toxicidad por carbonatos (< 10%).
- s62: Identifica niveles medios de toxicidad por carbonatos (10 a 25%).
- s63: Identifica niveles altos de toxicidad por carbonatos (más de 25%).

## **Drenaje**

Se considera limitante en los suelos mal drenados que presentan pendientes planas.

- d1: Mal drenado, eliminación muy lenta del agua en relación al suministro.
- d2: Drenaje excesivo, eliminación muy rápida del agua en relación al aporte por la lluvia.
- d3: Moderadamente drenado, eliminación lenta del agua en relación al suministro.

## **Períodos de inundación**

Es la permanencia del agua o anegamiento causado por estancamiento del agua o por inundaciones de los ríos.

- i1: El período de inundación es corto (de 1 a 3 meses).
- i2: El período de inundación es mediano (de 3 a 6 meses).
- i3: El período de inundación es largo (de 6 a 9 meses).

- i4: El período de inundación es permanente (más de 9 meses).

## Clima

Régimen de humedad del suelo (c1), se refiere a los estados de humedad de una sección de control, cuyos límites pueden ser determinados para cada perfil.

- c11: Limitantes por régimen de humedad del suelo arídico.
- c12: Limitantes por régimen de humedad del suelo ústico.
- c13: Limitantes por régimen de humedad del suelo ácuico.
- c14: Limitantes por régimen de humedad del suelo perúdico.

Régimen de temperatura del suelo (c2), es descrito por la temperatura media anual del suelo, las fluctuaciones estacionales promedio con respecto a la media y la gradiente de temperatura más caliente y más fría por estación dentro de la zona de enraizamiento, que es la zona con profundidad de 100 cm.

- c21: Limitantes por régimen de temperatura del suelo isofrígido ( $< 10^{\circ}\text{C}$ ).
- c22: Limitantes por régimen de temperatura del suelo isomésico ( $10$  a  $13^{\circ}\text{C}$ ).

## 6.2. Resultados

El área de estudio, cubre una superficie de 905.5 ha. Predominan las clases de capacidad de uso de las tierras III con 416.83 ha, IV con 239.13 ha, la clase VII comprende 138.41 ha; mientras que la clase VIII abarca una superficie de 111.13 ha. (Cuadro 48).

**Cuadro 48.** Superficie y porcentaje de ocupación de la capacidad de uso de la tierra en la Granja Experimental INIAP-Yachay.

Clases de uso de la tierra	Superficie (ha)	Ocupación (%)
III	416.83	46.04
IV	239.13	26.41
VII	138.41	15.29
VIII	111.13	12.27
<b>Total</b>	<b>905.5</b>	<b>100.0</b>



En base a las condiciones particulares del área de estudio, para las clases de uso de las tierras de acuerdo con las diferentes unidades de manejo, se describe a continuación:

### **Clase III**

La clase III, ocupa un área de 416.83 ha, que corresponde al 46.04 % en relación a la superficie total del predio. En virtud del objetivo del estudio - investigación; a esta clase se la subdividió en dos subclases de acuerdo a los diferentes limitantes encontrados en cada unidad así:

Clase III-s62, misma que se caracteriza por presentar limitaciones moderadas, localizada en pendientes planas a suaves (2-5%), suelos poco profundos a moderadamente profundos (0.21-1.0 m), con toxicidad por carbonatos (10-25%), pH < 7.5 a 8.5, ligeramente alcalino a medianamente alcalino, régimen de humedad del suelo ústico. Esta unidad cubre una superficie de 317.80 ha, que representa el 35.09 %, en relación a la superficie total del área de estudio. Se recomienda el establecimiento de agricultura moderada, implementación reducida de cultivos, adaptados a las condiciones naturales como: maíz duro, fréjol arbustivo, col y lechuga; el riego se torna indispensable, enmiendas con sulfato de hierro y/o azufre elemental en combinación con un buen aporte de materia orgánica, no utilizar fertilizantes alcalinizantes.

Clase III-s13s62, se caracteriza por presentar limitaciones moderadas, ubicadas en pendientes suaves (5-12%), suelos poco profundos (0.21-0.50 m), con toxicidad por carbonatos (10-25%), pH < 7.5-8.5 ligeramente alcalino a medianamente alcalino, régimen de humedad del suelo ústico. Esta unidad cubre una superficie de 99.03 ha, que representa el 10.93%, en relación a la superficie total de la zona de intervención. Se recomienda el establecimiento de agricultura moderada extensiva, implementación reducida de cultivos de ciclo corto, adaptados a las condiciones naturales como: maíz duro, fréjol arbustivo, col, lechuga, con prácticas de conservación de suelos; labranza en contorno, curvas de nivel; riego indispensable, enmiendas con sulfato de hierro y/o azufre elemental en combinación con un buen aporte de materia orgánica, no utilizar fertilizantes alcalinizantes.

Clase IV-s13s63, caracterizada por presentar severas limitaciones, localizada en pendientes muy suaves a suaves (2- 12%), suelos poco profundos (0.21-0.50 m), con toxicidad por carbonatos >25%, pH >8.5 alcalino, toxicidad por boro muy localizada, régimen de humedad del suelo ústico. Comprende una superficie de 239.13 ha, que representa el 26.41%, en relación a la superficie total del área de estudio. Se recomienda el establecimiento de agricultura muy limitada, dada la presencia actual de caña de azúcar, adaptada a las condiciones naturales imperantes, se recomienda el mantenimiento de la gramínea, con practicas agronómicas de conservación de suelos (cultivo en contorno, fajas, abonos verdes, compost, zanjas de desviación, terrazas) y riego indispensable.

Clase VII, esta clase presenta limitaciones severas, mismas que reduce el establecimiento de cultivos, recomendando la implementación de pasturas y/o establecimiento de bosque, para el presente estudio y con el objeto de transparentar espacialmente las limitaciones imperantes, se los dividió en dos subclases que se detallan a continuación:

VII-p5s13s62, se localiza en pendientes muy irregulares (50-70%), suelos poco profundos a moderadamente profundos (0.21-1.0m), toxicidad por carbonatos (10-25%), pH < 7.5-8.5 ligeramente alcalino a medianamente alcalino y régimen de humedad del suelo ústico. Se recomienda el uso de pastos o explotación forestal limitada (silvopastoril), mantenimiento y/o mejoramiento de los pastos existentes o mejorados. Tiene una superficie de 95.34 ha, equivalentes al 10.53%, en relación a la superficie total de la zona de estudio.

VII-p5s14s62, localizada en pendientes muy irregulares (50-70%), suelos poco profundos a moderadamente profundos (0.21-1.0 m), con toxicidad por carbonatos (10-25%), pH < 7.5 a 8.5 ligeramente alcalino a medianamente alcalino y régimen de humedad del suelo ústico. Se recomienda el uso de pastos o explotación forestal limitada (sistema silvopastoril) y mantenimiento de la cobertura vegetal. Comprende una superficie de 43.07 ha, equivalentes al 4.76%, en relación a la superficie total del área en estudio.

VIII-p6s13s62, presenta muy severas limitaciones, ubicada en pendientes muy fuertes (>70%), suelos poco profundos (0.21-0.5 m), toxicidad por carbonatos (10-25%), pH < 7.5 ligeramente alcalino, régimen de humedad del suelo ústico. Se recomienda el uso de conservación y/o protección con fines recreacionales, mantenimiento de la cobertura vegetal permanente. Abarca una superficie de 111.13 ha, que representan el 12.30%, en relación a la superficie total del área en estudio.

## 7. CONCLUSIONES

- Se obtuvo la caracterización física y química de los suelos, que con una adecuada interpretación de las tecnologías que direccionan al desarrollo sostenible, con un acompañamiento y caracterización, se puede potenciar el área y transformar las condiciones biofísica de acuerdo con sus aptitud natural e intervenir en la disminución de los procesos degradativos y restaurativos de los mismos.
- Se determinó que existen tres Ordenes de suelos: Entisoles, Andisoles y Mollisoles.
- Los Mollisoles es el orden con mayor superficie (75.82%) que se localizan principalmente en las haciendas San Carlos y La Lorena sobre relieves de flujos piroclásticos y vertientes de flujos piroclásticos con un rango de pendientes (2 a 25%).
- El modelo de fertilidad aplicado, respecto a la realidad, obtenida a partir de las 17 observaciones alcanzo un 89%, de confiabilidad y mostró que existe una fertilidad media con el 75.66% en relación al total del área de estudio, lo cual se explica, principalmente de acuerdo a la regionalización de las variables edafológicas.
- El pH, medianamente alcalino a alcalino, nota una alta saturación de cationes básicos (potasio, calcio, magnesio y sodio), estos suelos se caracterizan por la presencia de carbonatos, estos rangos de pH hace que disminuya la concentración de formas asimilables de los elementos.
- Los suelos en general, son moderadamente profundos, de textura franco arenoso, en tal virtud su manejo es limitado.
- Se determinó niveles altos de los elementos: Potasio, Calcio, Magnesio, Cobre, mientras que el: Azufre, Boro, Fósforo, Hierro, Manganeso, Zinc y Materia Orgánica presentan un nivel bajo.

- En lo que respecta a las condiciones climáticas, las precipitaciones fluctúan entre 600 a 800 mm anuales, con temperaturas medias anuales de 17 a 20°C.
- La capacidad de uso de las tierras dominantes, son de Clase 3, misma que presenta limitaciones moderadas, caracterizado principalmente por la toxicidad por carbonatos 10-25%, con pH < 7.5-8.5, ligeramente alcalino a medianamente alcalino con pendientes entre 5 a 12%, caracterizada como suave , cubre una superficie de 416.83 ha, con un 46.04% en relación a la superficie total de la zona de estudio.

## **8. RECOMENDACIONES**

- Manejar la información geopedológica generada en investigaciones aplicadas en la implementación de cultivos adaptados a estas condiciones naturales, mediante un adecuado uso, manejo y conservación del recurso suelo.
- Emplear los reportes de laboratorio, ya que son datos puntuales sobre el estado químico de los suelos.
- Utilizar los niveles de las variables edafológicas regionalizadas nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, cobre, hierro, manganeso, zinc, boro, saturación de bases y capacidad de intercambio catiónico, obtenidas en este estudio, ya que a través del mismo se conoce las áreas y niveles de los nutrientes que en mayor y menor cantidad son disponibles y se consumen en la producción agrícola para planes de fertilización de los diferentes cultivos cumpliendo determinados rendimientos que se pueden implementar o se estén cultivando y desarrollando en el área de estudio, por ejemplo, las tablas utilizadas por el INIAP, con respecto a los macronutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio.
- Mejorar el uso de la infraestructura de riego existente (reservorio-albarradas, acequias entre otras).
- Mantener, la variedad de caña de azúcar actual, en virtud de la adaptación a suelos alcalinos.
- Implementar cultivos adaptados a las condiciones agroclimáticas predominantes en la zona, previo la realización de una zonificación agroecológica de cultivos.
- Establecer un plan agresivo de restauración de suelos y agua en aquellas áreas que se pueden implementar una cobertura agro productiva (prácticas culturales, agronómicas y mecánicas), principalmente en aquellos sectores donde las pendientes y oscilan entre el 5 al 25%.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Araujo, G. A. (2009). Predicción valores de variables edafológicas a partir de kriging de regresión para la determinación del grado de salinidad y/o alcalinidad en el valle alto de Cochabamba. Bolivia. Cochabamba: UMSS-CLAS-ITC. Asignación Final Individual.
- Cartagena, Y. (2002). Análisis químico de suelos una herramienta para diseñar recomendaciones de fertilización y enmiendas en los cultivos. Tesina presentada previa a la obtención del título de Especialista en Suelos y Nutrición de Plantas. Universidad Central del Ecuador. Quito. Ecuador.
- Colell, E., Uribe, J. & Chale, P. (2009). Conceptos básicos de Geoestadística. s.l.: Trabajo distribuido bajo la licencia Creative Commons: Attribution–Noncommercial–NoDerivs 3.0 License.
- Cortés, A. & Malagón, D. (1983). Levantamientos de suelos y sus aplicaciones multidisciplinarias. Mérida, Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. 409 p. (Serie Suelos y Clima SC-58).
- Dalence, S., (2003). Spatial analysis. interpretation and regionalization of groundwater quality data in the central valley of Cochabamba (Bolivia). Enschede: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC). Master of Science Thesis.
- De La Rosa, D. (2008). Evaluación agro-ecológica de suelos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España. 404 p.
- Food and Agriculture Organization, FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos. Trad. R. Vargas. 1 ed. Roma. Italia. 99 p
- Food and Agriculture Organization, FAO STAT. (2014). Agriculture Statistics. Consultado 23 de octubre del 2014. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>

Instituto Espacial Ecuatoriano, IEE - SENESCYT, Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación. (2012). Generación de Geoinformación 1:5000 del proyecto ciudad del conocimiento "Yachay".

Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC. (2006). Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Sexta ed. Bogotá. Colombia.

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, INIAP. (2014). 904 hectáreas para proyectos de investigación agrícola y agro-industrial. Ecuador. Disponible en: <http://www.yachay.gob.ec/estacion-experimental-del-iniap-se-traslada-a-yachay-904-hectareas-para-proyectos-de-investigacion-agricola-y-agro-industrial/>

Instituto de la Potasa y el Fosforo, INPOFOS. (1997). Manual internacional de fertilidad de los suelos. Narcross, USA.

International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, ITC. (2005). Integrated Land and Water Information System, ILWIS 3.3 Academic.

Kincannon, C.; Habermann, H.; Johnson, T. and Odom, W. (2006). State and Metropolitan Area Data Book: 2006. US. Census Bureau. 2006. Disponible en: <https://www.census.gov/prod/2006pubs/smadb/smadb-06.pdf>.

Luzuriaga, C. (2001) Curso de Edafología General. Instituto Superior Agropecuario Andino, Facultad de Ciencias Agrícolas. Quito. Ecuador.

Ministerio de Agricultura y Ganadería, MAG - Programa Nacional de Regionalización, PRONAREG - Institute Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération, ORSTOM. (1980 y 1984). Leyenda de los mapas de suelos de la sierra. Quito. Ecuador.

Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, - MAGAP, Programa de Regularización y Administración de Tierras Rurales, PRAT - Sistema de Información Geográfica y Agropecuaria, SIGAGRO - Banco Interamericano de Desarrollo BID. (2008). Metodología de Valoración de Tierras Rurales. Quito. Ecuador.



- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, MAGAP. (2012). Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional componente: clima, hidrología y amenazas hidrometeorológicas. Quito. Ecuador. Disponible en:  
[http://sinagap.agricultura.gob.ec/fenomenonino/descargas/susceptibilidad\\_Inundaciones.pdf](http://sinagap.agricultura.gob.ec/fenomenonino/descargas/susceptibilidad_Inundaciones.pdf)
- Meijerink, A., De Brouwer, H., Mannaerst, C. & Valenzuela, C. (1994). Introduction to the use of Geographic Information Systems for practical Hydrology. Enschede: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC).
- Navarro, S. & Navarro, G. (2003). Química agrícola. Segunda ed. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Padilla, W. (2007). Fertilización del suelo y nutrición vegetal. Agrobiolab. Cuarta edición. Quito. Ecuador.
- Porta, J. & López-Acevedo, M. (2005). Agenda de campo de suelos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España.
- Porta, J., López-Acevedo., M. & Poch, R. (2008). Introducción a la Edafología: uso y protección del suelo. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España.
- Soil Survey Staff, (2010). Claves para la taxonomía de suelos. Undécima ed. Washington, DC: USDA Servicio de Conservación de Recursos Naturales.
- Serrano, E. & Vargas, H., (2005). Evaluación de la fertilidad de los suelos del departamento de Cundinamarca utilizando métodos geoestadísticos. Análisis Geográficos. Issue. pp. 124-137.
- Yugcha, T. (1992). Mapa de aptitudes agrícolas. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Quito. Ecuador.

## **10. ANEXOS**

**Cuadro A.1.** Reporte de análisis químico de suelos en la Granja Experimental INIAP - Yachay.

Identificación	X	Y	pH	Nt	NH <sub>4</sub>	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B	MO	CE	SB	CIC
M 1	813581.11	10049597.99	8.83	0.04	72.00	20.00	5.40	0.23	12.70	2.30	1.20	7.30	28.00	3.90	1.10	0.80	0.30	15.23	10.30
M 2	813466.31	10049781.02	8.52	0.06	45.00	90.00	7.40	1.03	17.70	1.60	1.40	7.80	31.00	5.50	2.20	0.70	0.43	20.33	9.30
M 3	814060.63	10049979.93	8.17	0.07	46.00	4.50	2.70	0.53	12.00	1.90	1.10	6.70	26.00	4.90	0.90	0.80	0.29	14.43	10.90
M 4	813878.74	10049991.78	8.07	0.04	47.00	4.40	7.80	0.49	12.80	2.10	0.90	7.50	27.00	7.40	0.80	0.70	0.33	15.39	10.50
M 5	813800.15	10049772.25	8.17	0.06	54.00	26.00	7.50	0.55	13.40	2.20	1.40	7.30	42.00	6.90	1.00	1.70	0.50	16.15	10.40
M 6	813564.23	10049890.35	8.41	0.02	54.00	22.00	8.70	0.54	12.00	2.80	1.20	6.60	42.00	5.40	0.90	1.50	0.35	15.34	9.60
M 7	814174.39	10050177.27	8.10	0.03	46.00	1.60	3.40	0.41	11.60	2.90	1.00	5.70	30.00	5.40	0.90	1.20	0.15	14.91	9.20
M 8	814381.10	10050183.81	8.34	0.04	41.00	6.10	5.00	0.45	11.30	3.00	1.00	7.10	29.00	4.30	0.90	1.10	0.20	14.75	9.70
M 9	814583.61	10050293.76	8.53	0.03	47.00	5.80	2.60	0.40	11.90	2.70	1.00	7.00	31.00	4.00	1.00	1.40	0.16	15.00	9.90
M 10	814583.92	10050487.07	8.26	0.04	49.00	12.00	3.70	0.82	12.80	1.80	1.20	7.70	24.00	5.20	1.00	0.90	0.21	15.42	10.70
M 11	814590.81	10050651.06	8.27	0.04	57.00	79.00	3.50	0.73	17.30	2.00	0.90	8.20	22.00	6.10	1.10	1.00	0.25	20.03	9.00
M 12	814865.35	10050582.25	8.22	0.04	60.00	8.10	4.80	0.53	12.80	2.00	0.80	7.20	23.00	4.90	0.80	0.90	0.22	15.33	9.90
M 13	814882.26	10050777.71	8.50	0.05	66.00	16.00	6.70	0.86	22.10	2.50	1.20	7.60	33.00	5.90	1.50	1.00	0.45	25.46	12.60
M 14	815063.86	10050698.43	8.03	0.05	14.00	6.30	1.60	0.62	12.10	2.20	0.90	8.10	26.00	6.70	1.00	0.80	0.29	14.92	10.60
M 15	814884.31	10050294.07	7.90	0.06	55.00	4.50	1.90	0.42	11.40	1.90	0.90	6.60	22.00	4.20	0.90	0.60	0.24	13.72	8.80
M 16	814963.70	10050388.78	8.27	0.06	60.00	5.60	6.90	0.42	12.60	1.90	0.70	6.00	25.00	4.70	1.00	0.60	0.25	14.92	10.00
M 17	815069.07	10050179.62	8.18	0.04	46.00	4.40	4.40	0.54	12.30	2.00	0.80	6.90	25.00	4.60	0.90	0.50	0.24	14.84	10.20
M 18	814980.05	10050100.29	8.32	0.05	24.00	3.40	2.00	0.51	11.10	2.30	0.80	6.40	22.00	4.30	1.10	0.30	0.22	13.91	9.10
M 19	814700.31	10050085.72	6.56	0.04	60.00	13.00	35.00	1.80	10.00	1.50	1.00	8.00	39.00	12.40	1.30	0.80	1.53	13.30	12.20
M 20	814512.25	10049938.84	8.35	0.04	38.00	12.00	3.70	0.55	11.60	1.90	1.00	6.80	22.00	4.80	1.00	0.80	0.24	14.05	10.20
M 21	814689.58	10049669.77	8.16	0.03	45.00	6.10	5.20	0.37	11.00	2.20	0.80	6.50	21.00	4.20	0.70	0.50	0.19	13.57	9.30
M 22	814455.57	10049485.24	7.99	0.06	48.00	6.60	5.30	0.32	17.50	2.80	1.00	8.90	36.00	5.60	0.80	1.10	0.21	20.62	13.40

**Cuadro A.1.** Continuación...

Identificación	X	Y	pH	Nt	NH <sub>4</sub>	P	S	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B	MO	CE	SB	CIC
M 23	814566.77	10049397.38	8.23	0.06	42.00	10.00	6.50	0.38	18.60	2.60	0.90	9.00	31.00	4.70	0.90	1.10	0.27	21.58	12.80
M 24	814648.94	10049121.45	8.15	0.04	32.00	1.50	3.20	0.59	11.30	2.10	0.80	6.10	23.00	4.70	1.00	0.40	0.20	13.99	9.70
M 25	814487.33	10049103.71	8.65	0.04	40.00	1.10	4.10	0.32	12.90	2.50	0.80	6.40	19.00	3.80	0.90	0.40	0.27	15.72	10.10
M 26	813765.16	10049278.08	7.76	0.04	34.00	3.70	2.40	0.45	11.40	2.20	0.90	7.50	25.00	6.00	0.70	1.00	0.27	14.05	11.30
M 27	813849.19	10049188.59	8.43	0.04	21.00	1.00	3.80	0.25	21.90	3.70	0.90	8.30	24.00	4.00	0.90	0.30	0.37	25.85	14.00
M 28	813956.95	10049287.02	8.54	0.04	47.00	2.70	3.70	0.32	11.60	1.90	0.80	6.90	16.00	3.70	0.70	0.50	0.32	13.82	9.90
M 29	813956.40	10049486.01	8.46	0.04	53.00	9.20	6.90	0.52	21.80	3.00	1.40	9.00	42.00	6.40	1.10	1.50	0.41	25.32	14.30
M 30	814060.20	10049609.89	8.08	0.05	47.00	11.00	3.30	0.49	17.00	2.30	1.00	7.80	25.00	5.40	0.80	1.30	0.28	19.79	13.50
M 31	814068.21	10049685.62	7.97	0.04	45.00	0.20	3.30	0.48	13.00	2.30	1.00	8.10	25.00	5.70	0.80	1.00	0.22	15.78	11.50
M 32	814303.90	10049813.03	8.22	0.04	46.00	2.40	3.30	0.51	12.00	2.07	0.80	6.70	18.00	5.00	0.80	0.70	0.21	14.58	10.40
M 33	815179.06	10049919.64	8.16	0.04	47.00	1.30	6.30	0.64	22.90	3.40	1.30	9.30	36.00	4.90	0.80	1.10	0.32	26.94	15.60
M 34	815263.89	10049809.98	8.10	0.06	53.00	4.70	5.70	0.76	18.70	2.60	1.40	7.50	38.00	8.50	1.10	1.60	0.39	22.06	13.30
M 35	815357.79	10049614.68	7.91	0.06	29.00	1.00	2.90	0.38	11.60	2.30	0.80	5.70	26.00	6.00	0.80	0.50	0.22	14.28	9.60
M 36	815481.24	10049392.45	8.22	0.02	40.00	1.00	3.50	0.69	13.30	2.30	0.80	6.80	22.00	5.50	1.00	0.60	0.36	16.29	11.40
M 37	815679.87	10049391.33	8.93	0.04	64.00	2.40	6.10	0.68	12.00	3.10	0.70	5.80	14.00	3.90	2.90	0.80	0.52	15.78	10.80
M 38	815379.74	10049984.50	8.30	0.04	46.00	7.70	4.20	0.72	24.90	3.80	1.80	10.60	37.00	8.00	0.90	1.50	0.36	29.42	16.20
M 39	815564.43	10049909.06	8.57	0.07	41.00	5.00	7.20	0.68	21.70	4.60	0.90	8.50	32.00	5.20	2.20	1.00	0.54	26.98	14.50
M 40	815768.93	10049995.67	8.49	0.04	21.00	1.00	15.00	0.52	13.40	4.10	0.70	5.10	28.00	5.30	2.30	0.70	0.35	18.02	11.90
M 41	815775.08	10050381.95	8.31	0.02	41.00	1.80	6.10	0.47	10.10	2.30	0.70	5.70	22.00	4.60	1.50	0.50	0.27	12.87	9.20
M 42	815690.80	10050557.83	8.46	0.01	51.00	2.70	4.80	0.41	10.00	2.50	0.70	5.00	23.00	4.00	1.70	0.30	0.33	12.91	9.30
M 43	815471.73	10050797.29	8.20	0.03	61.00	1.00	5.30	0.45	9.70	2.20	0.60	5.20	19.00	3.90	1.60	0.60	0.30	12.35	9.70
M 44	815766.33	10050801.91	8.26	0.02	42.00	1.00	6.40	0.38	8.40	2.10	0.60	4.10	32.00	3.70	1.70	0.40	0.47	10.88	8.40

**Cuadro A.1.** Continuación...

<b>Identificación</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>pH</b>	<b>Nt</b>	<b>NH<sub>4</sub></b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>B</b>	<b>MO</b>	<b>CE</b>	<b>SB</b>	<b>CIC</b>
M 45	815788.53	10051000.51	8.17	0.02	58.00	1.00	1.30	0.44	8.70	1.80	0.70	4.10	29.00	3.90	1.30	0.70	0.20	10.94	8.20
M 46	815585.61	10051117.11	8.07	0.03	76.00	1.00	4.70	0.48	8.90	2.00	0.70	4.80	33.00	4.00	1.30	1.10	0.21	11.38	8.70
M 47	816069.11	10050798.07	8.74	0.02	38.00	1.00	2.70	0.53	9.00	2.30	0.70	3.80	30.00	3.70	2.40	1.00	0.42	11.83	8.20
M 48	816268.95	10050490.14	8.76	0.01	27.00	1.00	6.60	0.60	8.70	3.66	0.60	4.50	32.00	3.90	2.70	0.60	0.38	12.96	9.80
M 49	816178.83	10050695.57	9.08	0.01	34.00	1.00	5.30	0.90	20.10	3.90	0.70	4.90	28.00	3.50	3.30	0.60	0.55	24.90	9.10
M 50	816468.33	10050295.77	8.49	0.03	31.00	21.00	7.80	0.85	21.00	4.70	0.70	4.40	31.00	4.70	1.80	1.00	0.52	26.55	12.30
M 51	816479.11	10050101.86	8.85	0.03	27.00	4.00	3.40	0.60	19.70	3.00	0.60	3.80	29.00	3.70	1.90	0.90	0.52	23.30	8.60
M 52	816682.71	10050192.33	8.92	0.04	61.00	1.80	8.30	0.60	29.50	4.00	0.60	3.70	31.00	4.00	2.30	1.50	0.61	34.10	11.20
M 53	816877.45	10050293.15	9.05	0.02	21.00	1.00	5.70	0.75	30.70	3.40	1.20	3.70	28.00	3.20	2.20	0.60	0.43	34.85	8.80
M 54	816087.16	10050986.05	8.88	0.01	20.00	1.30	3.20	0.71	9.10	3.00	1.00	4.20	27.00	3.40	2.20	0.80	0.30	12.81	8.30
M 55	815977.00	10050889.00	8.54	0.01	23.00	1.00	3.30	0.65	9.00	4.10	1.10	5.00	26.00	4.70	2.40	0.90	0.30	13.75	11.80
M 56	816672.84	10050992.22	9.24	0.01	15.00	33.00	9.10	0.65	25.50	4.20	1.10	3.10	28.00	3.80	3.60	1.00	0.67	30.35	8.10
M 57	816574.30	10051090.13	9.27	0.02	25.00	34.00	11.00	1.03	28.10	4.90	1.10	3.20	25.00	4.20	4.70	1.10	0.85	34.03	9.00
M 58	816579.01	10051285.04	9.18	0.02	35.00	19.00	19.00	0.72	25.40	4.50	0.90	3.10	26.00	3.20	4.40	0.18	0.87	30.62	7.80
M 59	816477.40	10051387.72	8.94	0.04	21.00	12.00	33.00	1.02	27.60	6.30	1.10	3.40	28.00	4.30	9.10	1.40	1.78	34.92	12.30
M 60	816466.47	10051587.53	9.26	0.03	28.00	33.00	15.00	1.01	21.20	5.40	1.10	3.60	27.00	3.60	5.20	0.90	0.38	27.61	9.50
M 61	816280.30	10051779.48	9.12	0.02	35.00	11.00	4.20	0.71	22.00	5.00	1.20	3.50	31.00	4.20	3.40	0.90	0.66	27.71	9.70
M 62	816275.92	10051987.30	9.08	0.04	53.00	96.00	3.00	0.53	27.50	5.60	2.10	3.70	35.00	5.30	6.30	1.30	0.74	33.63	9.40
M 63	815876.50	10051886.36	9.08	0.01	35.00	9.70	5.90	0.56	21.90	4.50	1.10	4.30	30.00	3.70	3.50	1.10	0.67	26.96	8.60
M 64	815874.87	10051888.64	9.01	0.02	27.00	15.00	2.70	0.67	18.20	4.60	1.20	4.20	31.00	4.30	4.20	1.00	0.62	23.47	8.80
M 65	815880.53	10051196.51	9.29	0.03	29.00	29.00	4.30	0.62	10.40	4.00	1.00	3.70	30.00	3.70	4.60	1.00	0.52	15.02	8.60
M 66	815676.00	10051393.67	8.89	0.03	40.00	8.90	2.70	0.47	13.30	4.40	1.00	4.90	32.00	3.80	2.10	1.40	0.39	18.17	10.50

**Cuadro A.1.** Continuación...

<b>Identificación</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>pH</b>	<b>Nt</b>	<b>NH<sub>4</sub></b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>B</b>	<b>MO</b>	<b>CE</b>	<b>SB</b>	<b>CIC</b>
M 67	815881.00	10051491.34	8.96	0.02	41.00	7.90	2.30	0.59	17.50	4.10	1.00	4.30	27.00	3.90	2.50	1.30	0.47	22.19	9.80
M 68	816475.11	10050867.47	8.93	0.05	20.00	9.70	9.70	0.94	25.30	8.00	1.00	3.40	29.00	5.00	6.40	1.40	0.90	34.24	13.80
M 69	816529.72	10050729.42	8.27	0.02	30.00	7.70	18.00	0.82	11.20	4.40	1.00	4.30	29.00	5.00	2.70	1.00	0.93	16.42	9.20
M 70	816522.05	10050501.84	8.49	0.02	18.00	4.70	14.00	1.02	28.10	6.20	1.10	4.10	30.00	4.50	2.10	1.00	0.95	35.32	13.60
M 71	816674.03	10050521.70	8.71	0.01	32.00	6.60	12.00	0.98	29.10	6.70	1.00	3.50	31.00	4.90	3.50	1.70	1.06	36.78	17.10
M 72	816876.67	10050538.52	8.77	0.03	15.00	1.10	7.50	0.89	18.10	6.60	1.20	3.60	28.00	3.50	2.70	1.00	0.50	25.59	13.30
M 73	816761.36	10050763.91	8.84	0.02	28.00	2.90	7.80	0.62	16.80	4.30	1.00	6.00	28.00	3.10	2.10	0.80	0.55	21.72	8.80
M 74	816321.63	10051158.78	8.75	0.03	7.80	15.00	11.00	0.75	27.00	6.50	1.20	5.30	28.00	4.50	4.20	1.20	0.53	34.25	9.80
M 75	816185.95	10051269.00	8.97	0.02	22.00	5.60	7.80	0.68	12.70	4.60	1.00	5.00	27.00	3.30	2.30	1.00	0.55	17.98	9.00
M 76	816221.76	10051474.58	9.32	0.01	25.00	5.80	6.50	0.53	22.10	5.60	0.90	4.30	25.00	3.30	4.60	0.90	0.63	28.23	8.50
M 77	816044.15	10049768.90	7.99	0.02	27.00	11.00	12.00	0.45	9.10	3.00	1.30	5.40	34.00	4.30	1.50	1.20	0.31	12.55	9.40
M 78	815929.86	10049662.26	8.00	0.02	28.00	13.00	22.00	0.46	10.50	3.70	1.30	6.00	33.00	4.00	1.60	1.30	0.44	14.66	10.70
M 79	815726.88	10049592.36	8.69	0.02	25.00	14.00	5.30	0.51	10.10	3.80	1.20	6.70	31.00	3.40	2.10	1.10	0.26	14.41	9.50
M 80	816306.34	10049766.05	8.78	0.03	7.80	5.50	5.20	0.60	19.20	4.20	0.90	4.60	31.00	3.50	1.70	1.00	0.40	24.00	9.50
M 81	816444.03	10049800.05	8.58	0.03	16.00	3.90	6.20	0.61	11.00	4.70	0.80	5.00	28.00	3.10	1.60	0.90	0.32	16.31	10.10
M 82	816436.96	10049634.49	9.06	0.02	53.00	1.30	8.00	0.69	24.20	6.70	1.00	4.90	29.00	3.50	2.80	1.00	0.49	31.59	11.70
M 83	816066.11	10049949.59	8.28	0.03	23.00	1.00	4.90	0.34	9.20	3.50	1.00	5.40	28.00	4.20	1.70	0.60	0.19	13.04	8.70
M 84	816212.67	10050172.68	8.73	0.02	13.00	4.40	7.20	0.65	24.70	4.20	0.90	5.40	28.00	3.50	1.40	0.80	0.49	29.55	9.60
M 85	815810.54	10049392.24	8.91	0.01	40.00	3.40	3.00	0.38	11.50	3.80	1.00	6.40	27.00	3.20	1.70	0.50	0.25	15.68	8.80
M 86	816163.80	10049324.02	9.01	0.01	28.00	3.10	8.40	0.74	9.10	3.30	0.90	4.70	27.00	3.70	3.40	1.00	0.32	13.14	8.70
M 87	816074.30	10049406.50	8.35	0.03	30.00	1.00	6.70	0.29	7.90	2.90	0.90	4.30	37.00	3.70	1.60	1.00	0.21	11.09	8.30
M 88	815870.31	10050583.87	9.23	0.01	35.00	1.00	7.40	0.50	10.70	4.10	1.00	6.40	28.00	3.10	3.50	1.00	0.47	15.30	9.50

**Cuadro A.1.** Continuación...

<b>Identificación</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>pH</b>	<b>Nt</b>	<b>NH<sub>4</sub></b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Zn</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>B</b>	<b>MO</b>	<b>CE</b>	<b>SB</b>	<b>CIC</b>
M 89	816022.12	10050490.52	8.95	0.03	12.00	6.90	7.50	1.09	25.60	6.30	1.10	6.00	29.00	3.80	2.60	1.20	0.50	32.99	14.30
M 90	814299.21	10049122.11	8.37	0.04	68.00	10.00	5.20	0.41	11.20	2.20	1.00	6.10	34.00	4.20	0.70	1.10	0.19	13.81	9.50
M 91	814264.48	10049351.61	8.58	0.04	82.00	6.50	6.00	0.40	17.50	3.70	1.10	8.70	32.00	4.10	0.80	0.90	0.20	21.60	12.30
M 93	814977.00	10049389.00	8.08	0.02	27.00	2.60	2.70	0.45	11.90	3.30	1.00	6.70	33.00	4.80	0.80	1.10	0.16	15.65	9.70
M 94	814878.00	10049590.00	8.14	0.03	36.00	4.40	3.40	0.46	12.70	3.30	1.00	6.90	36.00	6.30	0.90	1.80	0.21	16.46	12.50
M 95	814976.00	10049797.00	7.52	0.04	26.00	2.10	2.60	0.51	12.90	3.30	1.40	6.70	46.00	7.90	0.50	2.30	0.18	16.71	12.60
M 96	814772.00	10049894.00	7.96	0.06	32.00	1.80	2.90	0.48	12.50	3.40	1.10	6.60	41.00	6.00	0.70	1.90	0.17	16.38	13.20
M 97	814476.00	10049688.00	8.30	0.04	27.00	2.10	5.80	0.25	17.90	4.10	1.20	7.30	40.00	4.50	0.80	1.30	0.25	22.25	13.00
M 98	814378.00	10050390.00	8.30	0.03	54.00	59.00	6.30	0.85	18.00	3.10	1.40	8.00	41.00	7.30	1.00	1.90	0.32	21.95	11.40
M 99	815078.00	10049590.00	7.82	0.03	41.00	4.50	3.10	0.78	14.90	3.20	1.00	6.80	43.00	5.20	0.80	2.00	0.16	18.88	12.00
M 100	814722.00	10049357.00	8.21	0.04	21.00	1.80	6.20	0.48	18.90	5.80	1.00	11.10	30.00	3.70	1.20	1.40	0.24	25.18	15.10
M 101	815614.00	10050930.00	8.24	0.02	38.00	4.80	3.00	0.37	10.20	3.20	0.80	6.20	32.00	3.40	1.30	1.50	0.16	13.77	10.30
M 102	816121.00	10051202.00	8.77	0.04	22.00	8.50	20.00	0.78	10.20	4.50	1.20	5.40	28.00	3.50	4.00	1.10	0.79	15.48	9.90
M 103	815845.00	10051362.00	9.06	0.04	39.00	6.00	3.10	0.68	12.40	4.60	1.20	6.10	28.00	3.40	3.60	1.00	0.41	17.68	10.10
YACHAY 04	816172.00	10050998.00	8.91	0.04	36.00	19.00	5.08	0.62	23.21	5.57	1.50	4.89	27.00	4.40	0.95	2.16	0.57	29.41	11.61
YACHAY 03	816845.00	10050374.00	9.00	0.03	39.00	2.00	5.85	0.75	11.95	4.45	1.07	4.90	25.00	4.00	2.60	1.10	0.26	17.68	9.79
YACHAY 02	814567.00	10050276.00	8.35	0.04	42.00	16.60	4.23	0.44	17.60	3.00	1.20	6.96	26.00	4.09	1.01	1.40	0.15	21.08	10.78
YACHAY 01	813995.00	10049866.00	9.00	0.02	48.00	6.87	9.00	0.33	12.18	2.91	1.36	6.32	25.00	5.06	1.36	1.40	0.32	15.43	10.28

**Cuadro A.2.** Reporte de análisis de la capacidad de intercambio catiónico en la Granja Experimental INIAP - Yachay.

Identificación	meq/100g suelo				Suma de Bases meq/100g suelo	Saturación de bases	CIC meq/100g suelo
	K	Ca	Mg	Na		%	
M 1	0.25	12.30	2.40	0.56	15.50	Saturado	10.30
M 2	1.13	18.40	1.80	0.26	21.60	Saturado	9.30
M 3	0.57	11.40	2.10	0.14	14.20	Saturado	10.90
M 4	0.51	12.00	2.40	0.68	15.60	Saturado	10.50
M 5	0.58	13.00	2.40	0.34	16.30	Saturado	10.40
M 6	0.57	13.00	2.20	0.41	16.20	Saturado	9.60
M 7	0.47	13.10	2.10	0.35	16.00	Saturado	9.20
M 8	0.47	12.20	2.10	0.25	15.00	Saturado	9.70
M 9	0.41	10.90	2.00	0.20	13.50	Saturado	9.90
M 10	0.86	12.50	2.10	0.20	15.70	Saturado	10.70
M 11	0.75	16.40	2.30	0.22	19.70	Saturado	9.00
M 12	0.54	12.40	2.20	0.27	15.40	Saturado	9.90
M 13	0.85	20.40	2.40	0.24	23.90	Saturado	12.60
M 14	0.66	13.10	2.30	0.21	16.30	Saturado	10.60
M 15	0.47	12.40	2.10	0.24	15.20	Saturado	8.80
M 16	0.49	12.10	2.10	0.25	14.90	Saturado	10.00
M 17	0.61	13.10	2.10	0.26	16.10	Saturado	10.20
M 18	0.59	12.00	2.20	0.34	15.21	Saturado	9.10
M 19	1.60	9.50	1.90	0.46	13.50	Saturado	12.20
M 20	0.57	12.60	2.20	0.27	19.60	Saturado	10.20



**Cuadro A.2.** Continuación...

Identificación	meq/100g suelo				Suma de Bases meq/100g suelo	Saturación de bases	CIC meq/100g suelo
	K	Ca	Mg	Na		%	
M 21	0.10	10.00	2.20	0.26	12.90	Saturado	9.30
M 22	0.35	16.90	3.50	0.34	21.10	Saturado	13.40
M 23	0.42	19.60	3.10	0.32	23.40	Saturado	12.80
M 24	0.65	11.80	2.20	0.19	14.80	Saturado	9.70
M 25	0.36	13.60	2.40	0.29	16.70	Saturado	10.10
M 26	0.48	12.50	2.50	0.26	15.70	Saturado	11.30
M 27	0.29	19.20	3.80	0.29	23.60	Saturado	14.00
M 28	0.36	12.40	2.10	0.23	15.10	Saturado	9.90
M 29	0.56	19.90	3.20	0.27	23.90	Saturado	14.30
M 30	0.55	16.00	3.10	0.23	19.90	Saturado	13.50
M 31	0.49	12.90	2.40	0.23	16.00	Saturado	11.50
M 32	0.59	11.80	2.20	0.25	14.80	Saturado	10.40
M 33	0.68	21.40	3.70	0.31	26.10	Saturado	15.60
M 34	0.81	19.50	2.60	0.21	23.10	Saturado	13.30
M 35	0.41	13.00	2.30	0.21	15.90	Saturado	9.60
M 36	0.73	12.40	2.40	0.32	15.90	Saturado	11.40
M 37	0.72	12.60	3.20	0.46	17.00	Saturado	10.80
M 38	0.79	22.10	3.90	0.36	27.20	Saturado	16.20
M 39	0.73	20.90	4.50	0.46	26.60	Saturado	14.50
M 40	0.54	13.10	4.60	0.78	19.00	Saturado	11.90

**Cuadro A.2.** Continuación...

Identificación	meq/100g suelo				Suma de Bases meq/100g suelo	Saturación de bases	CIC meq/100g suelo
	K	Ca	Mg	Na		%	
M 41	0.49	10.50	2.60	0.56	14.20	Saturado	9.20
M 42	0.47	10.60	2.90	0.52	14.50	Saturado	9.30
M 43	0.44	9.60	3.00	0.50	13.50	Saturado	9.70
M 44	0.41	8.50	2.60	0.56	12.10	Saturado	8.40
M 45	0.46	8.80	2.30	0.43	12.00	Saturado	8.20
M 46	0.51	9.20	2.40	0.43	12.50	Saturado	8.70
M 47	0.54	9.00	2.60	0.62	12.80	Saturado	8.20
M 48	0.62	8.90	3.90	0.70	14.10	Saturado	9.80
M 49	0.94	19.40	3.50	0.63	24.50	Saturado	9.10
M 50	0.89	19.00	4.60	0.51	25.00	Saturado	12.30
M 51	0.64	20.20	2.50	0.46	23.80	Saturado	8.60
M 52	0.66	26.80	3.70	0.43	31.60	Saturado	11.20
M 53	0.78	28.70	2.50	0.47	32.50	Saturado	8.80
M 54	0.75	9.00	2.60	0.44	12.80	Saturado	8.30
M 55	0.61	8.60	4.70	0.78	14.70	Saturado	11.80
M 56	0.66	22.40	2.90	0.69	26.70	Saturado	8.10
M 57	1.07	25.20	3.80	0.57	30.60	Saturado	9.00
M 58	0.76	23.10	2.60	0.78	27.20	Saturado	7.80
M 59	1.05	26.70	5.30	0.79	33.80	Saturado	12.30
M 60	1.03	20.40	3.80	0.81	26.00	Saturado	9.50

**Cuadro A.2.** Continuación...

Identificación	meq/100g suelo				Suma de Bases	Saturación de bases	CIC
	K	Ca	Mg	Na	meq/100g suelo	%	meq/100g suelo
M 61	0.73	21.60	3.80	0.84	27.00	Saturado	9.70
M 62	0.57	25.60	3.80	0.81	38.80	Saturado	9.40
M 63	0.59	19.40	3.20	0.66	23.90	Saturado	8.60
M 64	0.72	17.60	3.00	0.63	22.00	Saturado	8.80
M 65	0.67	11.20	2.90	0.91	15.70	Saturado	8.60
M 66	0.51	12.70	3.50	0.42	17.10	Saturado	10.50
M 67	0.62	16.90	2.90	0.46	20.90	Saturado	9.80
M 68	0.97	22.40	6.50	0.97	30.80	Saturado	13.80
M 69	0.86	12.30	2.90	0.34	16.40	Saturado	9.20
M 70	1.06	24.60	4.60	0.75	31.00	Saturado	13.60
M 71	1.02	26.10	6.00	0.72	33.80	Saturado	17.10
M 72	0.96	17.10	4.70	0.51	83.30	Saturado	13.30
M 73	0.69	15.40	2.50	0.35	18.90	Saturado	8.80
M 74	0.81	25.30	4.10	0.57	30.80	Saturado	9.80
M 75	0.69	11.20	3.20	0.25	15.30	Saturado	9.00
M 76	0.55	19.10	3.60	0.68	23.90	Saturado	8.50
M 77	0.43	9.70	2.40	0.36	12.90	Saturado	9.40
M 78	0.46	9.80	3.10	0.41	13.80	Saturado	10.70
M 79	0.55	10.00	2.60	0.40	13.60	Saturado	9.50
M 80	0.63	18.20	2.60	0.35	21.80	Saturado	9.50

**Cuadro A.2.** Continuación...

Identificación	meq/100g suelo				Suma de Bases	Saturación de bases	CIC
	K	Ca	Mg	Na	meq/100g suelo	%	meq/100g suelo
M 81	0.66	10.10	3.40	0.44	14.60	Saturado	10.10
M 82	0.72	19.20	4.50	0.60	25.00	Saturado	11.70
M 83	0.37	9.30	2.50	0.43	12.60	Saturado	8.70
M 84	0.69	20.70	2.50	0.42	24.30	Saturado	9.60
M 85	0.41	12.50	2.30	0.33	15.50	Saturado	8.80
M 86	0.76	10.00	2.20	0.38	13.30	Saturado	8.70
M 87	0.31	8.90	2.20	0.39	11.80	Saturado	8.30
M 88	0.53	10.50	3.00	0.50	14.50	Saturado	9.50
M 89	1.11	21.60	4.40	0.62	27.70	Saturado	14.30
M 90	0.46	12.20	2.20	0.31	15.20	Saturado	9.50
M 91	0.42	18.10	3.60	0.35	22.50	Saturado	12.30
M 93	0.46	12.30	2.10	0.24	15.10	Saturado	9.70
M 94	0.49	11.40	2.50	0.23	14.60	Saturado	12.50
M 95	0.53	13.30	2.50	0.25	16.60	Saturado	12.60
M 96	0.50	12.00	3.20	0.34	16.00	Saturado	13.20
M 97	0.27	16.70	3.30	0.35	20.60	Saturado	13.00
M 98	0.87	18.30	2.10	0.15	21.40	Saturado	11.40
M 99	0.81	13.90	2.40	0.26	17.40	Saturado	12.00
M 100	0.51	19.00	4.60	0.58	24.70	Saturado	15.10

**Cuadro A.2.** Continuación...

Identificación	meq/100g suelo				Suma de Bases meq/100g suelo	Saturación de bases	CIC meq/100g suelo
	K	Ca	Mg	Na		%	
M 101	0.39	11.00	2.60	0.35	14.30	Saturado	10.30
M 102	0.82	10.40	3.40	0.78	15.40	Saturado	9.90
M 103	0.66	11.90	3.50	0.56	16.60	Saturado	10.10
Yachay 01	0.78	11.10	1.90	0.38	14.20	Saturado	10.10
Yachay 01	0.11	12.30	2.30	0.68	15.40	Saturado	10.40
Yachay 02	0.66	22.20	2.00	0.12	25.00	Saturado	10.50
Yachay 02	0.41	13.70	2.40	0.27	16.40	Saturado	10.90
Yachay 03	0.72	12.30	3.10	0.47	16.60	Saturado	9.30
Yachay 03	0.85	11.50	3.30	0.21	15.90	Saturado	11.40
Yachay 04	1.06	19.90	3.90	0.23	25.10	Saturado	13.40
Yachay 04	0.55	22.20	4.30	0.82	27.90	Saturado	11.10

**Cuadro A.3.** Reporte de análisis de la salinidad de suelos en la Granja Experimental INIAP - Yachay.

Identificación	pH	C.E.	Cationes meq/litro					Aniones meq/litro				$\Sigma$
		dS/m	K <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	$\Sigma$	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	
M 1	8.96	0.301	0.23	2.09	1.51	1.75	5.58	0.00	4.50	0.54	0.40	5.44
M 2	8.42	0.431	1.32	2.99	1.64	1.20	7.15	0.00	4.22	1.42	1.42	7.06
M 3	8.24	0.289	0.56	2.66	1.57	0.77	5.57	0.00	4.13	0.22	1.18	5.52
M 4	8.17	0.329	0.36	2.49	1.56	1.00	5.42	0.00	3.17	0.73	1.65	5.55
M 5	8.18	0.498	0.51	3.34	2.00	1.12	6.96	0.00	4.85	0.53	1.68	7.05
M 6	8.60	0.351	0.46	2.88	1.94	0.98	6.27	0.00	3.45	0.53	2.38	6.36
M 7	8.24	0.149	0.22	1.66	1.15	0.86	3.90	0.00	2.25	0.46	1.25	3.96
M 8	8.46	0.200	0.23	2.01	1.36	0.92	4.52	0.00	2.95	0.33	1.45	4.73
M 9	8.65	0.160	0.24	2.04	1.33	0.77	4.38	0.00	2.82	0.19	1.52	4.53
M 10	8.37	0.214	0.77	2.49	1.52	0.61	5.40	0.00	4.43	0.45	0.32	5.20
M 11	8.40	0.250	0.75	2.59	1.48	0.88	5.69	0.00	4.38	0.19	1.40	5.97
M 12	8.35	0.224	0.44	2.31	1.54	0.71	5.00	0.00	3.30	0.40	1.25	4.95
M 13	8.46	0.445	0.78	4.03	2.15	0.82	7.78	0.00	6.25	0.38	1.20	7.83
M 14	8.12	0.292	0.62	2.32	1.58	0.86	5.38	0.00	3.35	0.63	1.28	5.26
M 15	8.00	0.235	0.28	1.86	1.16	0.76	4.06	0.00	2.85	0.16	1.15	4.16
M 16	8.18	0.251	0.26	2.47	1.45	0.80	4.97	0.00	3.33	0.33	1.23	4.89
M 17	8.22	0.238	0.35	1.86	1.13	0.79	4.13	0.00	2.96	0.31	0.97	4.25
M 18	8.40	0.217	0.21	1.52	1.02	0.83	3.57	0.00	2.25	0.14	1.13	3.52
M 19	6.70	1.526	5.18	4.50	2.85	2.92	15.46	0.00	4.48	5.62	4.55	14.65
M 20	8.45	0.239	0.39	1.85	1.19	0.90	4.34	0.00	3.13	0.00	1.48	4.60

Cuadro A.3. Continuación...

Identificación	pH	C.E.	Cationes meq/litro					Aniones meq/litro				
		dS/m	K <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Σ	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	Σ
M 21	8.26	0.185	0.25	1.66	1.17	0.87	3.94	0.00	2.75	0.20	1.08	4.03
M 22	8.08	0.211	0.19	1.88	1.21	0.81	4.09	0.00	2.95	0.22	1.05	4.22
M 23	8.16	0.270	0.26	2.45	1.57	0.99	5.28	0.00	3.55	0.50	1.32	5.37
M 24	8.22	0.200	0.42	1.96	1.43	0.74	4.55	0.00	2.75	0.55	1.18	4.48
M 25	8.56	0.269	0.22	2.12	1.51	0.86	4.71	0.00	3.13	0.04	1.63	4.79
M 26	7.84	0.266	0.39	1.82	1.22	0.91	4.34	0.00	2.50	0.12	1.55	4.17
M 27	8.52	0.367	0.18	2.91	1.89	0.96	5.94	0.00	3.75	0.16	1.55	5.46
M 28	8.66	0.322	0.21	2.64	1.65	0.83	5.33	0.00	3.30	0.20	1.65	5.15
M 29	8.37	0.409	0.35	3.63	2.12	0.92	7.02	0.00	4.62	0.62	1.55	6.79
M 30	8.16	0.280	0.36	2.54	1.62	0.85	5.37	0.00	3.75	0.30	1.18	5.23
M 31	8.09	0.218	0.38	2.02	1.42	0.85	4.66	0.00	2.88	0.09	1.53	4.50
M 32	8.34	0.206	0.44	2.02	1.41	0.85	4.72	0.00	2.50	0.37	1.80	4.67
M 33	8.22	0.317	0.38	2.34	1.57	0.97	5.27	0.00	2.92	0.82	1.30	5.04
M 34	8.20	0.388	0.67	2.82	1.75	0.89	6.13	0.00	3.75	0.22	2.05	6.02
M 35	8.04	0.220	0.23	1.62	1.06	0.72	3.63	0.00	2.25	0.06	1.55	3.86
M 36	8.16	0.357	0.60	2.53	1.63	0.95	5.70	0.00	4.00	0.24	1.55	5.79
M 37	8.86	0.518	0.63	2.42	2.11	1.93	7.10	0.00	4.55	0.52	2.06	7.13
M 38	8.42	0.364	0.45	3.15	2.08	1.15	6.83	0.00	4.86	0.42	1.63	6.91
M 39	8.42	0.544	0.50	3.24	2.70	1.81	8.24	0.00	4.96	1.12	1.95	8.03
M 40	8.56	0.348	0.27	2.91	2.64	2.61	8.42	0.00	5.38	1.41	1.55	8.33

**Cuadro A.3.** Continuación...

Identificación	pH	C.E.	Cationes meq/litro					Aniones meq/litro				
		dS/m	K <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Σ	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	Σ
M 41	8.41	0.266	0.34	1.65	1.32	1.18	4.49	0.00	2.38	0.86	1.10	4.34
M 42	8.52	0.327	0.35	1.95	1.69	1.55	5.54	0.00	3.55	0.26	2.13	5.94
M 43	8.30	0.295	0.38	1.49	1.16	1.44	4.47	0.00	2.12	0.57	1.85	4.55
M 44	8.28	0.473	0.36	1.91	1.69	1.68	5.64	0.00	3.30	0.73	1.53	5.56
M 45	8.20	0.203	0.25	1.09	0.79	1.07	3.20	0.00	1.68	0.15	1.65	3.48
M 46	8.17	0.208	0.31	1.04	0.78	1.16	3.29	0.00	1.75	0.32	1.42	3.49
M 47	8.62	0.417	0.48	2.15	2.02	1.61	6.25	0.00	4.25	0.20	1.68	6.13
M 48	8.70	0.377	0.30	1.41	1.30	2.18	5.19	0.00	3.55	0.40	1.35	5.30
M 49	9.12	0.551	0.59	1.70	1.65	2.85	6.79	0.00	4.63	0.04	2.05	6.63
M 50	8.56	0.517	0.39	2.89	2.55	1.50	7.34	0.00	5.17	0.47	1.80	7.44
M 51	8.90	0.524	0.40	2.64	2.00	1.60	6.64	0.00	4.48	0.25	1.68	6.41
M 52	9.96	0.605	0.50	3.15	2.52	1.77	7.95	0.00	6.56	0.34	1.83	8.73
M 53	9.15	0.431	0.35	3.09	1.78	1.56	6.78	0.00	4.43	0.12	2.25	6.80
M 54	8.96	0.298	0.40	1.70	1.65	1.28	5.02	0.00	3.55	0.14	1.53	5.22
M 55	8.62	0.296	0.26	1.15	1.17	1.95	4.53	0.00	2.86	0.23	1.56	4.65
M 56	9.26	0.672	0.52	2.61	2.30	3.22	8.65	0.00	6.12	1.08	1.30	8.50
M 57	9.34	0.854	0.97	2.91	2.68	3.27	9.83	0.00	6.63	0.83	2.55	10.01
M 58	9.26	0.872	0.66	2.86	2.53	4.00	10.05	0.00	5.62	1.79	3.43	10.84
M 59	9.05	1.777	1.06	4.17	4.79	9.58	19.60	0.00	9.20	5.06	4.28	18.54
M 60	9.34	0.380	0.81	2.44	2.73	4.03	10.01	0.00	5.25	2.45	2.18	9.88



Cuadro A.3. Continuación...

Identificación	pH	C.E.	Cationes meq/litro					Aniones meq/litro				Σ
		dS/m	K <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Σ	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	
M 61	9.26	0.658	0.37	2.12	2.20	3.19	7.88	0.00	6.00	0.39	1.23	7.62
M 62	9.16	0.737	0.25	2.45	2.60	3.98	9.28	0.00	6.75	1.08	1.35	9.18
M 63	9.14	0.665	0.37	2.27	2.41	3.13	8.18	0.00	5.95	0.29	1.93	8.16
M 64	9.10	0.624	0.47	2.02	2.27	3.28	8.03	0.00	4.90	0.45	2.60	7.95
M 65	9.34	0.522	0.43	1.75	1.73	3.78	7.68	0.00	5.15	0.24	2.35	7.74
M 66	9.03	0.385	0.25	2.56	2.59	1.23	6.63	0.00	5.00	0.07	1.80	6.87
M 67	9.05	0.472	0.44	2.40	2.30	2.00	7.15	0.00	5.15	0.06	2.13	7.34
M 68	9.00	0.899	0.68	2.44	3.42	4.57	11.10	0.00	7.95	0.80	2.18	10.93
M 69	8.37	0.927	0.95	4.91	4.78	2.05	12.69	0.00	7.50	2.39	1.96	11.85
M 70	8.42	0.945	0.70	4.12	3.51	2.34	10.67	0.00	4.95	3.35	2.13	10.43
M 71	8.63	1.060	0.77	4.49	3.99	2.53	11.78	0.00	6.97	0.93	3.63	11.53
M 72	8.84	0.503	0.42	2.19	2.08	1.76	6.45	0.00	3.75	0.57	2.28	6.60
M 73	8.76	0.546	0.37	2.37	2.04	1.33	6.11	0.00	4.18	0.51	1.55	6.24
M 74	8.64	0.530	0.53	2.76	3.74	3.17	10.19	0.00	5.90	1.75	2.40	10.05
M 75	9.08	0.547	0.48	2.47	2.50	1.05	6.50	0.00	4.38	0.22	2.00	6.59
M 76	9.36	0.629	0.26	2.14	2.57	3.23	8.20	0.00	5.62	1.38	1.10	8.10
M 77	8.12	0.312	0.31	1.82	1.42	1.17	4.72	0.00	2.30	0.98	1.50	4.78
M 78	8.16	0.436	0.31	2.05	1.81	1.56	5.72	0.00	2.55	1.75	1.63	5.93
M 79	8.80	0.258	0.31	1.60	1.45	1.55	4.91	0.00	2.88	0.44	1.55	4.86
M 80	8.62	0.398	0.32	2.31	1.73	1.36	5.72	0.00	3.28	0.70	1.68	5.66

**Cuadro A.3.** Continuación...

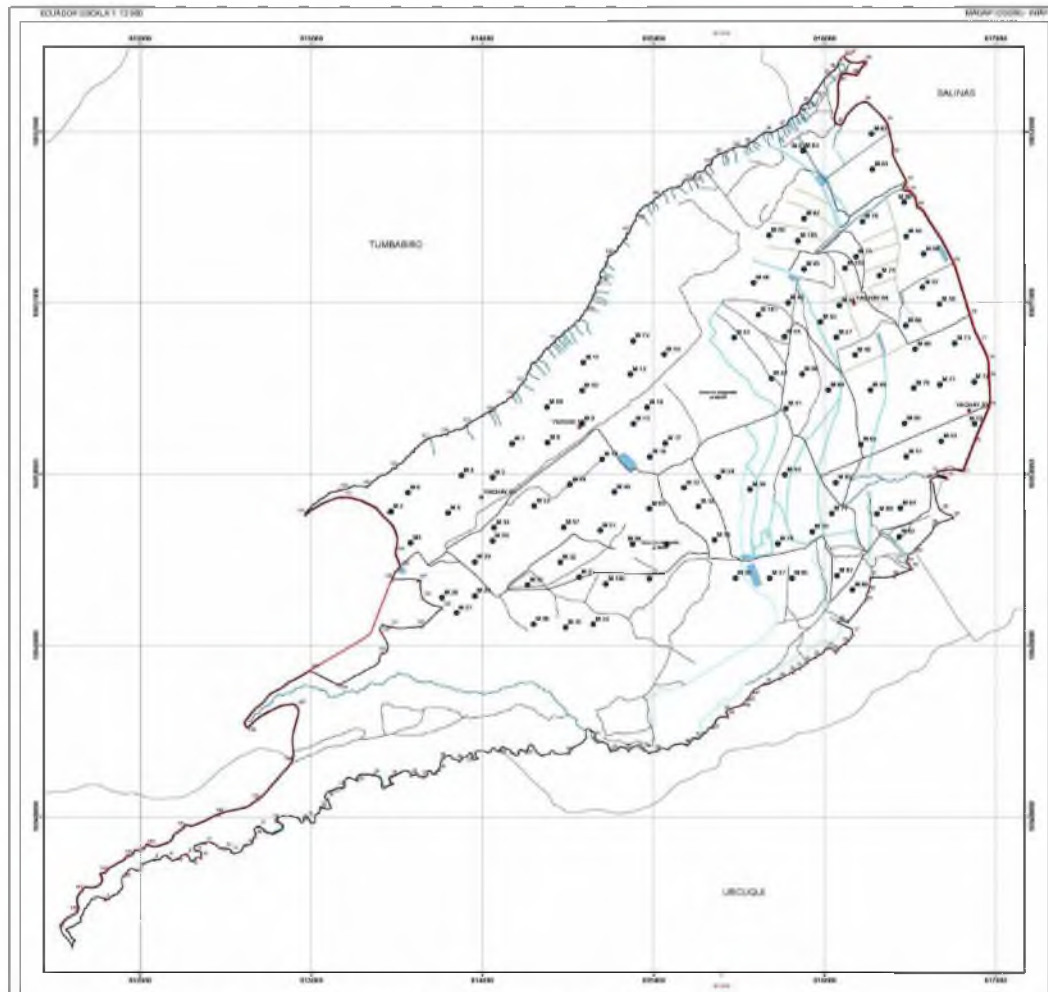
Identificación	pH	C.E.	Cationes meq/litro					Aniones meq/litro				
		dS/m	K <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Σ	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	Σ
M 81	8.55	0.320	0.24	1.82	1.57	1.37	5.00	0.00	2.88	0.50	1.72	5.10
M 82	9.20	0.491	0.27	2.35	2.21	2.09	6.92	0.00	4.75	0.72	1.30	6.77
M 83	8.40	0.192	0.17	1.38	1.16	1.23	3.94	0.00	2.15	0.47	1.26	3.88
M 84	8.86	0.485	0.41	2.66	1.99	1.58	6.64	0.00	4.00	0.76	1.93	6.69
M 85	9.05	0.252	0.22	2.01	1.79	1.12	5.14	0.00	2.75	0.26	2.10	5.11
M 86	9.12	0.320	0.59	2.05	1.76	1.64	6.04	0.00	3.50	0.55	1.90	5.95
M 87	8.42	0.212	0.17	1.38	1.10	1.39	4.04	0.00	2.30	0.40	1.55	4.25
M 88	9.40	0.470	0.32	2.13	2.11	2.25	6.81	0.00	4.75	0.52	1.58	6.85
M 89	9.10	0.501	0.64	2.30	2.22	1.96	7.11	0.00	4.35	1.02	1.63	7.00
M 90	8.43	0.188	0.37	1.65	1.48	0.99	4.49	0.00	2.88	0.24	1.46	4.58
M 91	8.56	0.197	0.27	1.63	1.56	1.15	4.62	0.00	2.75	0.08	1.37	4.20
M 93	8.18	0.158	0.25	1.34	0.97	0.92	3.48	0.00	1.88	0.17	1.60	3.65
M 94	8.26	0.210	0.32	1.96	1.22	0.89	4.39	0.00	1.96	0.56	1.75	4.27
M 95	7.64	0.177	0.28	1.35	0.86	0.70	3.19	0.00	1.88	0.32	1.12	3.32
M 96	8.04	0.167	0.28	1.34	0.89	0.87	3.38	0.00	1.80	0.24	1.32	3.36
M 97	8.42	0.245	0.08	1.71	1.08	0.97	3.83	0.00	1.43	0.39	1.95	3.77
M 98	8.45	0.316	0.96	2.93	1.78	0.92	6.60	0.00	4.63	0.50	1.58	6.71
M 99	7.96	0.163	0.61	1.37	0.89	0.88	3.75	0.00	2.32	0.23	1.42	3.97
M 100	8.16	0.236	0.35	1.97	1.73	1.23	5.29	0.00	3.13	0.26	2.05	5.44

**Cuadro A.3.** Continuación...

Identificación	pH	C.E.	Cationes meq/litro					Aniones meq/litro				
		dS/m	K <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Σ	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	Σ
M 101	8.28	0.156	0.22	1.54	1.18	1.27	4.21	0.00	2.92	0.18	1.30	4.40
M 102	8.64	0.791	0.64	2.49	2.44	4.27	9.85	0.00	4.85	1.92	2.98	9.75
M 103	9.10	0.406	0.41	2.28	2.16	2.54	7.38	0.00	5.12	0.10	2.18	7.40
Yachay 01	9.00	0.376	0.48	3.06	1.47	1.65	6.65	0.00	4.18	0.85	1.65	6.68
Yachay 01	9.08	0.299	0.06	1.89	1.25	1.87	5.06	0.00	3.25	0.62	1.43	5.30
Yachay 02	7.64	0.182	0.66	1.89	1.15	0.59	4.30	0.00	2.50	0.17	1.60	4.27
Yachay 02	8.56	0.144	0.17	1.81	1.16	0.78	3.92	0.00	2.28	0.28	1.42	3.99
Yachay 03	9.26	0.274	0.48	1.73	1.35	2.00	5.55	0.00	3.56	0.23	1.82	5.61
Yachay 03	8.40	0.261	0.84	2.06	1.75	0.77	5.41	0.00	4.05	0.21	1.30	5.56
Yachay 04	8.10	0.686	1.61	4.14	3.45	1.15	10.34	0.00	8.35	0.43	1.65	10.43
Yachay 04	9.12	0.531	0.19	2.65	2.44	3.05	8.32	0.00	6.55	0.41	1.52	8.48

**Cuadro A.4.** Reporte de análisis de agua en la Granja Experimental INIAP - Yachay.

Identificación	C.E.	mg/l									Ras	Dureza	
	dS/m	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>++</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	B	pH	CaCO <sub>3</sub>	
Yachay 1	1.59	65.40	83.30	156.20	14.20	0.00	806.50	259.20	15.40	6.40	8.17	3.02	506.00
Yachay 2	0.14	10.40	6.00	5.40	2.00	0.00	125.60	9.20	0.15	0.13	7.75	0.33	50.70
Yachay 3	0.12	8.90	4.80	4.10	1.20	0.00	119.00	9.90	1.40	0.05	7.72	0.28	42.00
Yachay 4	1.02	63.00	48.90	63.50	8.80	0.00	509.20	149.80	3.10	2.90	7.45	1.46	358.60
Yachay 5	1.41	89.80	69.20	101.80	12.10	0.00	793.50	196.70	9.00	4.80	6.70	1.96	509.00
Yachay 6	0.32	23.60	12.90	19.60	1.80	0.00	198.40	20.60	11.50	0.41	8.06	0.81	112.00
Yachay 7	0.68	32.90	41.50	50.90	5.20	0.00	469.50	63.20	21.60	2.20	8.73	1.39	252.90



**Figura A.1.** Ubicación de los perfiles de suelos en la Granja Experimental INIAP - Yachay.

**Ficha A.1.** Descripción del perfil de suelo número 1 en la Granja Experimental INIAP - Yachay.



**CARACTERIZACIÓN EDAFOCLIMÁTICA PARA EL PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LA GRANJA EXPERIMENTAL INIAP - YACHAY**

**PERFIL No.:** YACHAY 01      **FECHA:** 2015-03-10      **AUTOR(es):** CALAHORRANO, MALDONADO.

**1. CLASIFICACIÓN:**

USDA, 2006: Vitrandic Haplustolls (IGGO)

**2. UBICACIÓN:**

**Sistema Espacial:** UTM, WGS 84, Zona 17 Sur  
**Provincia:** Imbabura  
**Parroquia:** Tumbabiro  
**Coordenada X:** 813 995 m

**Cantón:** San Miguel de Urququí  
**Sitio:** Hda. San Carlos  
**Coordenada Y:** 10 049866 m

**Altitud:** 2058 msnm

**3. GEOMORFOLOGÍA:**

**Unidad morfológica:** Flujos piroclásticos

**Pendiente general:** Suave 5 a 12 %

**Pendiente local:** 10%

**Geología (Material Parental):** Toba dacítica, cenizas finas tobáceas arcillo-limo arenosas, suave.

**4. USO DE LA TIERRA Y VEGETACIÓN:**

**Uso de la tierra:** Agrícola  
**Influencia humana:** Labores de labranza, riego por surcos

**Cultivos:** Aguacate  
**Vegetación natural:** Arbustiva dispersa

**5. CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE:**

- **AFLORAMIENTO ROCOSO:** Cobertura: SIN  
 Dureza: -

**Distancia afloramientos (m):** -

- **FRAGMENTOS GRUESOS:** Clases de tamaño:  
 Cobertura: -

**Dureza:** -

- **EROSIÓN:** Categoría:  
 - **ENCOSTRAMIENTO:** Grosor:

**Superficie (%):**      **Grado:**  
**Consistencia:**

- **GRIETAS:** Ancho: -  
 Profundidad: -

**Distancia entre grietas:** -

**6. CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL:**

- **PROFUNDIDAD EFECTIVA:** 48 cm  
 - **DRENAJE:** Externo: Bueno  
 - **INUNDACIÓN:** Mes ocurrencia: -No  
 - **TABLA DE AGUA:** Profundidad: Sin evidencia

**Tipo:** Poco profundo  
**Interno:** Bueno  
**Duración:** -

**7. FOTOS DEL PERFIL:**

**PANORÁMICA:**



**PERFIL:**



**8. DESCRIPCIÓN DE HORIZONTES o CAPAS**

**PERFIL No.:** YACHAY 01

Horizonte o capa	Color del suelo en	Características Descri tas en Campo
Ap	0-18	Color del suelo en húmedo: pardo (10YR 3/3); textura de campo franco arenosa, estructura de tipo granular de tamaño fino y de grado fuerte, consistencia muy friable; en mojado ligeramente adherente, no plástico; con porosidad de tipo canales de tamaño fino y abundancia comunes; raíces de tipo finas y abundancia comunes; actividad biológica poca; fragmentos finos abundantes; el límite de distinción es claro y topografía suave.
A	18 - 48	Color principal en húmedo: pardo (10YR 3/3); textura de campo franco, estructura de tipo subangular de tamaño fino y grado moderado, consistencia friable, en mojado ligeramente adherente, ligeramente plástico; con porosidad de tipo canales, muy finos y abundancia comunes; raíces de tipo medias y abundancia pocas; fragmentos de tipo grava y tamaño muy fina; el límite de distinción es claro y topografía suave.
BC	48 - 64	Color principal en húmedo: Pardo (10YR 4/3); textura de campo franco, estructura de tipo subangular de tamaño fino y grado débil, consistencia friable; en mojado ligeramente adherente, ligeramente plástico; tipo de poros canales de tamaño finos y abundancia comunes; raíces de tamaño fino y abundancia pocas; el límite de distinción es claro y topografía suave.
C	64 - 120	Color principal en húmedo: (10YR 4/4); textura de campo franco - franco arenoso, estructura masiva, consistencia muy firme; en mojado ligeramente adherente, ligeramente plástico; el límite de distinción es claro y topografía ondulada.

9. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO

PERFIL No.: YACHAY 01

DETERMINACIONES FÍSICAS

Horizonte/ Capa	Profundidad (cm)	Arena	Limo	Arcilla	Clase textural	Da (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad (%)	CC (g/g)	PMP (g/g)
		[%]							
Ap	0-18	47	41	12	franco				
A	18-48	46	43	8	franco				

DETERMINACIONES QUÍMICAS

Horizonte/ Capa	Profundidad (cm)	pH	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B
			(ppm)		(meq/100g)			(ppm)					
Ap	0-18	8.95	41	51	0.75	12.5	2.8	11.0	1.8	6.7	34	9	1.3
A	18-48	8.04	47	47	0.09	12.0	3.1	7.8	1.1	8.1	21	2.7	1.4

Horizonte/ Capa	Profundidad (cm)	CE (meh/cm)	MO (%)	CO (%)	Nitrógeno Total (%)	C / N	Ca/Mg	Mg/K	[Ca+Mg]/K	Al+H (meq/100g)
Ap	0-18	0.376	1.60		0.03		4.81	3.47	20.13	
A	18-48	0.299	1.30		0.02		3.87	34.44	167.78	

Horizonte/ Capa	Profundidad (cm)	Na	K	Ca	Mg	Suma Bases	CIC (meq/100 g)	SB (%)
		(meq/100 g)						
Ap	0-18	0.38	0.78	11.1	1.9	14.2	10.1	SATURADO
A	18-48	0.68	0.11	12.3	2.3	15.4	10.4	SATURADO



**Ficha A.2.** Descripción del perfil de suelo número 2 en la Granja Experimental INIAP - Yachay.



**CARACTERIZACIÓN EDAFOCLIMÁTICA PARA EL PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LA GRANJA EXPERIMENTAL INIAP - YACHAY**

PERFIL No.: YACHAY 02      FECHA: 2015-03-10      AUTOR(es): CALAHORRANO, MALDONADO.

**1. CLASIFICACIÓN:**

USDA, 2006: Vitrandic Haplustolls (IGGO)

**2. UBICACIÓN:**

Sistema Espacial: UTM, WGS 84, Zona 17 Sur  
 Provincia: Imbabura  
 Parroquia: Tumbabiro  
 Coordenada X: 814 567 m

Cantón: San Miguel de Urcoqui  
 Sitio: Hda. San Carlos  
 Coordenada Y: 10 050276 m

Altitud: 2018 msnm

**3. GEOMORFOLOGÍA:**

Unidad morfológica: Flujos piroclásticos

Pendiente general: Suave 0 a 5 %

Pendiente local: 2 %

Geología (Material Parental): Toba dacítica, cenizas finas tobáceas arcillo-limo arenosas, suave.

**4. USO DE LA TIERRA Y VEGETACIÓN:**

Uso de la tierra: Sin Uso  
 Influencia humana: Sin evidencia

Cultivos: Sin cultivo  
 Vegetación natural: Arbustiva

**5. CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE:**

- AFLORAMIENTO ROCOSO: Cobertura:      Distancia afloramientos (m): -  
 Dureza: -

- FRAGMENTOS GRUESOS: Clases de tamaño:      Dureza: -  
 Cobertura: -

- EROSIÓN: Categoría:      Superficie (%):      Grado:

- ENCOSTRAMIENTO: Grosor:      Consistencia:

- GRIETAS: Ancho: -      Distancia entre grietas: -  
 Profundidad: -

**6. CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL:**

- PROFUNDIDAD EFECTIVA: 50 cm      Tipo: Poco profundo

- DRENAJE: Externo: Bueno      Interno: Bueno

- INUNDACIÓN: Mes ocurrencia: -No      Duración: -

- TABLA DE AGUA: Profundidad: Sin evidencia

**7. FOTOS DEL PERFIL:**

PANORÁMICA:



PERFIL:



YACHAY 02

**8. DESCRIPCIÓN DE HORIZONTES o CAPAS**

**PERFIL No.:** YACHAY 02

Horizonte o capa	Profundidad (cm)	Características Descritas en Campo
Ap	0-16	Color del suelo en húmedo: pardo (10YR 3/3); textura de campo franco arenosa, estructura de tipo granular de tamaño fino y de grado fuerte, consistencia muy friable; en mojado ligeramente adherente, no plástico; con porosidad de tipo canales de tamaño fino y abundancia comunes; raíces de tipo finas y abundancia comunes; actividad biológica poca; fragmentos grava muy fina abundantes; el límite de distinción es claro y topografía suave.
A	16 - 50	Color principal en húmedo: pardo (10YR 3/3); textura de campo franco arenosa, estructura de tipo bloques subangulares de tamaño fino y grado moderado, consistencia muy friable, en mojado ligeramente adherente, no plástico; con porosidad de tipo canales, muy finos y abundancia comunes; raíces de tipo medias y abundancia pocas; fragmentos de tipo grava tamaño fina y abundancia comun; el límite de distinción es claro y topografía ondulado.
BC	50 - 92	Color principal en húmedo: Pardo amarillento (10YR 4/4); textura de campo franco arenosa, estructura de tipo subangular de tamaño fino y grado débil, consistencia friable; en mojado ligeramente adherente, ligeramente plástico; tipo de poros canales de tamaño finos y abundancia comunes; raíces de tamaño fino y abundancia pocas; el límite de distinción es claro y topografía ondulado.
C	92 - 150	Color principal en húmedo: (10YR 5/4); textura de campo franco arenoso, estructura masiva, consistencia friable; en mojado ligeramente adherente, ligeramente plástico; el límite de distinción es abrupto y topografía suave.

9. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO

PERFIL No.: YACHAY 02

DETERMINACIONES FÍSICAS

Horizonte/ Capa	Profundidad (cm)	Arena	Limo	Arcilla	Clase textural	Da (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad (%)	CC (g/g)	PMP (g/g)
		[%]							
Ap	0-16	51	37	12	franco				
A	16-50	43	43	14	franco				

DETERMINACIONES QUÍMICAS

Horizonte/ Capa	Profundidad (cm)	pH	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B
			(ppm)		(meq/100g)			(ppm)					
Ap	0-16	7.58	47	37	0.63	28.10	3.10	5.30	1.7	8.1	27.0	5.8	0.80
A	16-50	8.67	40	2.6	0.37	13.3	3.0	3.8	1.0	8.5	26.0	3.4	1.1

Horizonte/ Capa	Profundidad (cm)	CE (meq/100g)	MO (%)	CO (%)	Nitrógeno Total (%)	C / N	Ca/Mg	Mg/K	[Ca+Mg]/K	Al+H (meq/100g)
Ap	0-16	0.182	1.90		0.06		8.06	4.92	49.52	
A	16-50	0.144	1.20		0.04		4.43	8.11	44.05	

Horizonte/ Capa	Profundidad (cm)	Na	K	Ca	Mg	Suma Bases	CIC (meq/100 g)	SB (%)
		(meq/100 g)						
Ap	0-16	0.12	0.66	22.2	2.00	25.0	10.5	SATURADO
A	16-50	0.27	0.41	13.7	2.4	16.4	10.9	SATURADO

**Ficha A.3.** Descripción del perfil de suelo número 3 en la Granja Experimental INIAP - Yachay.



**CARACTERIZACIÓN EDAFOCLIMÁTICA PARA EL PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LA GRANJA EXPERIMENTAL INIAP - YACHAY**

PERFIL No.: YACHAY 03

FECHA: 2015-03-10

AUTOR(es): CALAHORRANO, MALDONADO.

**1. CLASIFICACIÓN:**

USDA, 2006: Vitrandic Haplustolls (IGGO)

**2. UBICACIÓN:**

Sistema Espacial: UTM, WGS 84, Zona 17 Sur  
 Provincia: Imbabura  
 Parroquia: Tumbabiro  
 Coordenada X: 816 845 m

Cantón: San Miguel de Urcoqui  
 Sitio: Hda. San Carlos  
 Coordenada Y: 10 050 374 m

Altitud: 1837 msnm

**3. GEOMORFOLOGÍA:**

Unidad morfológica: Vertiente de flujos piroclásticos  
 Geología (Material Parental): Toba dacítica, cenizas finas tobáceas arcillo-limo arenosas, suave.

Pendiente general: Suave 5 a 12 %

Pendiente local: 5 %

**4. USO DE LA TIERRA Y VEGETACIÓN:**

Uso de la tierra: Sin Uso  
 Influencia humana: Sin evidencia

Cultivos: Sin cultivo  
 Vegetación natural: Herbácea

**5. CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE:**

- AFLORAMIENTO ROCOSO: Cobertura: -  
 Dureza: -  
 - FRAGMENTOS GRUESOS: Clases de tamaño: -  
 Cobertura: -  
 - EROSIÓN: Categoría: -  
 - ENCOSTRAMIENTO: Grosor: -  
 - GRIETAS: Ancho: -  
 Profundidad: -

Distancia afloramientos (m): -

Dureza: -

Superficie (%): -  
 Consistencia: -  
 Grado: -

Distancia entre grietas: -

**6. CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL:**

- PROFUNDIDAD EFECTIVA: 50 cm  
 - DRENAJE: Externo: Bueno  
 - INUNDACIÓN: Mes ocurrencia: -No  
 - TABLA DE AGUA: Profundidad: Sin evidencia

Tipo: Poco profundo  
 Interno: Bueno  
 Duración: -

**7. FOTOS DEL PERFIL:**

PANORÁMICA:



PERFIL:



**8. DESCRIPCIÓN DE HORIZONTES o CAPAS**

**PERFIL No.:** YACHAY 03

Horizonte o capa	Profundidad	Características Descritas en Campo
Ap	0-16	Color del suelo en húmedo: pardo (10YR3/2); textura de campo franco arenosa, estructura de tipo granular de tamaño fino y de grado fuerte, consistencia muy friable; en mojado ligeramente adherente, no plástico; con porosidad de tipo canales de tamaño fino y abundancia comunes; raíces de tipo finas y abundancia comunes; actividad biológica poca; fragmentos grava muy fina abundantes; el límite de distinción es claro y topografía ondulado.
A	16 - 68	Color principal en húmedo: pardo (10YR 3/2); textura de campo franco arenosa, estructura de tipo bloques sub angulares de tamaño fino y grado débil a masiva, consistencia friable, en mojado ligeramente adherente, ligeramente plástico; con porosidad de tipo canales, muy finos y abundancia comunes; raíces de tipo finas y abundancia pocas; fragmentos de tipo grava tamaño muy fina; el límite de distinción es claro y topografía ondulado.
C	68 - 116	Color principal en húmedo: Pardo claro(10YR 5/4); textura de campo franco arenosa, estructura de tipo masiva, consistencia friable; en mojado no adherente, no plástico; tipo de poros canales de tamaño finos y abundancia comunes; el límite de distinción es claro y topografía ondulado.
C1	116 - 150+	Color principal en húmedo: (10YR 5/4); textura de campo franco arenoso, estructura masiva, consistencia friable, en mojado ligeramente adherente, ligeramente plástico; tipo de poros canales muy finos de abundancia pocos, grava muy fina.

9. RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE LABORATORIO

PERFIL No.: YACHAY 03

DETERMINACIONES FÍSICAS

Horizonte/ Capa	Profundidad (cm)	Arena	Limo	Arcilla	Clase textural	D <sub>a</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad (%)	CC (g/g)	PMP (g/g)
		Limo Arcilla (%)							
Ap	0-16	61	31	8	franco arenoso				
A	16-50	67	29	4	franco arenoso				

DETERMINACIONES QUÍMICAS

Horizonte/ Capa	Profundidad (cm)	pH	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B
			(ppm)			(meq/100g)			(ppm)				
Ap	0-16	8.27	51	4	0.82	12.80	4.3	4.4	1.1	4.1	33.0	6.5	1.80
A	16-50	8.23	36	1	0.74	11.70	4.5	6.3	1.0	5.2	23.0	3.3	2.90

Horizonte/ Capa	Profundidad (cm)	CE (mmolohcm)	MO (%)	CO (%)	Nitrógeno Total (%)	C / N	Ca/Mg	Mg/K	[Ca+Mg]/K	Al+H (meq/100g)
Ap	0-16	0.261	2.10		0.04		2.98	5.24	20.85	
A	16-50	0.274	0.80		0.02		2.60	6.08	21.89	

Horizonte/ Capa	Profundidad (cm)	Na	K	Ca	Mg	Suma Bases	CIC (meq/100 g)	SB (%)
		(meq/100 g)						
Ap	0-16	0.12	0.85	11.5	0.21	15.9	11.4	SATURADO
A	16-50	0.27	0.72	12.3	0.47	16.6	9.3	SATURADO

**Ficha A.4.** Descripción del perfil de suelo número 4 en la Granja Experimental INIAP - Yachay.



**CARACTERIZACIÓN EDAFOCLIMÁTICA PARA EL PLAN DE MANEJO INTEGRAL DE LA GRANJA EXPERIMENTAL INIAP - YACHAY**

PERFIL No.: YACHAY 04

FECHA: 2015-03-13

AUTOR(es): CALAHORRANO.

**1. CLASIFICACIÓN:**

USDA, 2006: Entic Haplustolls (IGGZd)

**2. UBICACIÓN:**

Sistema Espacial: UTM, WGS 84, Zona 17 Sur  
 Provincia: Imbabura  
 Parroquia: Tumbabiro  
 Coordenada X: 816 172 m

Cantón: San Miguel de Urcoqui  
 Sitio: Hda. La Lorena  
 Coordenada Y: 10 050 998 m

Altitud: 1890 msnm

**3. GEOMORFOLOGÍA:**

Unidad morfológica: Vertiente de flujos piroclásticos  
 Geología (Material Parental): Toba dacítica, cenizas finas tobáceas arcillo-limo arenosas, suave.

Pendiente general: Suave 12 a 25 %

Pendiente local: 25 %

**4. USO DE LA TIERRA Y VEGETACIÓN:**

Uso de la tierra: Sin Uso  
 Influencia humana: Sin evidencia

Cultivos: Sin cultivo  
 Vegetación natural: Herbácea

**5. CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE:**

- AFLORAMIENTO ROCOSO: Cobertura: -  
 Dureza: -  
 - FRAGMENTOS GRUESOS: Clases de tamaño: -  
 Cobertura: -  
 - EROSIÓN: Categoría: -  
 - ENCOSTRAMIENTO: Grosor: -  
 - GRIETAS: Ancho: -  
 Profundidad: -

Distancia afloramientos (m): -

Dureza: -

Superficie (%): Grado:

Consistencia:

Distancia entre grietas: -

**6. CARACTERÍSTICAS DEL PERFIL:**

- PROFUNDIDAD EFECTIVA: 50 cm  
 - DRENAJE: Externo: Bueno  
 - INUNDACIÓN: Mes ocurrencia: -No  
 - TABLA DE AGUA: Profundidad: Sin evidencia

Tipo: Poco profundo  
 Interno: Bueno  
 Duración: -

**7. FOTOS DEL PERFIL:**

PANORÁMICA:



PERFIL:



**8. DESCRIPCIÓN DE HORIZONTES o CAPAS**

PERFIL No.: YACHAY 04

Horizonte o capa	profundidad	Características Descritas en Campo
Ap	0 -9	Color del suelo en húmedo: pardo (10YR 3/2); textura de campo franco arenosa, estructura de tipo granular de tamaño fino y de grado fuerte, consistencia muy friable; en mojado ligeramente adherente, no plástico; con porosidad de tipo canales de tamaño fino y abundancia comunes; raíces de tipo finas y abundancia comunes; actividad biológica poca; fragmentos grava muy fina abundantes; el límite de distinción es claro y topografía ondulado.
A	9 - 40	Color principal en húmedo: pardo (10YR 3/3); textura de campo franco arenosa, estructura de tipo bloques sub angulares de tamaño fino y grado débil a masiva, consistencia friable, en mojado ligeramente adherente, ligeramente plástico; con porosidad de tipo canales, muy finos y abundancia comunes; raíces de tipo finas y abundancia pocas; fragmentos de tipo grava tamaño muy fina ; el límite de distinción es claro y topografía ondulado.
C	40 - 95	Color principal en húmedo: Pardo amarillento (10YR 5/4); textura de campo franco arenosa, estructura de tipo masiva, consistencia friable; en mojado no adherente, no plástico; tipo de poros canales de tamaño finos y abundancia comunes; el límite de distinción es claro y topografía ondulado.
C1	95 - 150+	Color principal en húmedo: (10YR 5/4); textura de campo franco arenoso, estructura masiva, consistencia friable; en mojado ligeramente adherente, ligeramente plástico; tipo de poros canales muy finos de abundancia pocos, grava muy fina.



9. RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE LABORATORIO

PERFIL No.: YACHAY 04

DETERMINACIONES FÍSICAS

Horizonte/ Capa	Profundidad (cm)	Arena	Limo	Arcilla	Clase textural	Da (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad (%)	CC (g/g)	PMP (g/g)
		(%)							
Ap	0-9	63	29	8	franco				
A	9-40	51	37	12	franco				

DETERMINACIONES QUÍMICAS

Horizonte/ Capa	Profundidad (cm)	pH	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B
			(ppm)		(meq/100g)			(ppm)					
Ap	0-9	8.01	41	59	1.0	25.00	4.8	5.70	2.9	4.2	32.0	7.9	2.50
A	9-40	8.18	35	8.50	0.51	22.70	5.8	4.9	1.1	5.1	25.0	4.4	0.50

Horizonte/ Capa	Profundidad (cm)	CE (mmol/cm)	MO (%)	CO (%)	Nitrógeno Total (%)	C / N	Ca/Mg	Mg/K	[Ca+Mg]/K	Al+H (meq/100g)
Ap	0-9	0.886	2.10		0.04		5.21	4.80	29.80	
A	9-40	0.531	0.80		0.04		3.91	11.37	55.88	

Horizonte/ Capa	Profundidad (cm)	Na	K	Ca	Mg	Suma Bases	CIC (meq/100 g)	SB (%)
		(meq/100 g)						
Ap	0-9	0.23	1.06	19.9	3.9	25.10	13.40	SATURADO
A	9-40	0.62	0.55	22.2	4.3	27.90	11.10	SATURADO