



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



**CLASIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS
SUELOS EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA ILLPA –
INIA, REGIÓN PUNO**

TESIS

PRESENTADA POR:

RICHARD PELEY MOYA SUCARI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

PUNO-PERÚ

2024



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

CLASIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS SUELOS EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA ILLPA - INIA, REGIÓN PUNO

AUTOR

RICHARD PELEY MOYA SUCARI

RECuento DE PALABRAS

18503 Words

RECuento DE CARACTERES

100919 Characters

RECuento DE PÁGINAS

109 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

7.0MB

FECHA DE ENTREGA

Jan 29, 2024 3:31 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jan 29, 2024 3:32 PM GMT-5

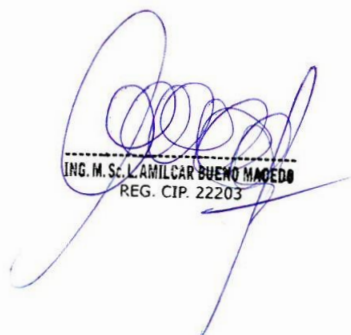
● 16% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 15% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 5% Base de datos de trabajos entregados
- 5% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



ING. M. SC. L. AMILCAR BUENO MAEDO
REG. CIP. 22203



Sandro Sardón Nina
INGENIERO AGRÓNOMO
CIP. 142025

Resumen



DEDICATORIA

*A Dios por orientar mi travesía,
consederme la fuerza y conocimiento.*

*Al amor de mi vida Melissa, que fue mi mayor
apoyo en este viaje académico, como muestra
de gratitud por la confianza y amor
incondicional, esta tesis es un regalo para ti.*

*Con mucho aprecio a mis padres, Lorenzo
Moya y Victoria Sucari, por haberme
brindado su apoyo durante mi formación
profesional. También, a mis hermanos:
Mayk, Tony, Elizabeth y Deosy.*

*Con mucho cariño a mi segunda madre
Delfina Fernández, por su presencia y apoyo
incondicional durante esta etapa académica.*

*A Gonzalo quien me brindo su amistad,
confianza y apoyo desinteresado.*

*A la Dra. Cinthya, quien es una de mis fuentes
de inspiración profesional. Tu apoyo,
sabiduría y bondad han sido fundamentales
en esta etapa académica.*

Richard P. Moya Sucari



AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiarme día a día, darme la fuerza y sabiduría durante todo este proceso.

Agradezco a la Universidad Nacional del Altiplano, en especial a la Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, por proporcionarme una preparación sólida en mi carrera profesional. Expreso mi gratitud a los educadores por las valiosas enseñanzas y conocimientos transmitidos a lo largo de mi proceso de formación académica.

Con mucho respeto y admiración, agradezco al de mi tesis, M.Sc. SARDON NINA SANDRO, por el respaldo, consejo y asistencia en el transcurso de la realización y conclusión de esta investigación científica.

Expreso mi agradecimiento a los integrantes del tribunal de tesis, compuesto por M.Sc. Manuel Alfredo Callohuanca Pariapaza, M.Sc. Abdon Charaja Villalta y D.Sc. Juan Carlos Luna Quecaño por el valioso respaldo proporcionado a lo largo de esta fase.

Mostrar mi agradecimiento al Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA), proyecto Pro Suelos y Aguas, LABSAF, por proporcionarme los ambientes necesarios y ofrecer su apoyo invaluable para llevar a cabo las actividades de campo y laboratorio.

Expreso mi reconocimiento a los ingenieros Selima Salcedo Mayta y Jorge Canihua Rojas por su valioso respaldo a lo largo de la realización del proyecto de tesis. Su experiencia y dirección han sido esenciales para el logro exitoso de esta iniciativa.



Agradezco la colaboración inquebrantable de mis colegas de investigación, Franklin Millward Aduviri Yucra y David Jonathan Mamani Nina, en las actividades realizadas tanto en el campo como en el laboratorio.

Por último, expreso mi agradecimiento a aquellas personas que me han respaldado ya sea de manera indirecta o de manera directa a lo largo de la ejecución del proyecto de investigación. Su apoyo ha sido fundamental para el logro de este trabajo

Richard P. Moya Sucari



ÍNDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 15

ABSTRACT..... 16

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVO GENERAL 18

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 18

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES..... 20

2.2. MARCO TEÓRICO 25

2.2.1. El suelo como cuerpo natural 25

2.2.2. Factores formadores del suelo..... 26

2.2.3. Procesos pedogenéticos..... 26

2.2.3.1. Humificación..... 26

2.2.4. Historia de la clasificación de suelos 27

2.2.5. Finalidad de la clasificación de los suelos 28

2.2.6. Clasificación de suelos de Estados Unidos (Soil Taxonomy-USDA) 30

2.2.7. Clasificación de suelos según la WRB 30



3.4.3.3. Cuantificación de carbono orgánico.....	46
3.4.4. Etapa de gabinete	47

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZAR Y CLASIFICAR LOS SUELOS DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA ILLPA-INIA SEGÚN LA SOIL TAXONOMY Y WRB	48
4.1.1. Suelo de la E.E.A-Illpa, Carretera Profundo.....	49
4.1.2. Suelo de la E.E.A-Illpa, Waru Waru Antiguo.....	50
4.1.3. Suelo de la E.E.A-Illpa, Waru Waru Reciente.....	52
4.1.4. Suelo de la E.E.A-Illpa, Peaje.....	54
4.1.5. Suelo de la E.E.A-Illpa, Río.....	56
4.1.6. Clasificación de los suelos según la Soil Taxonomy y la WRB de la Estación Experimental Agraria Illpa – Puno.....	58
4.2. EVALUAR LA CALIDAD DE LOS SUELOS A PARTIR DE LA MATERIA ORGÁNICA	64
4.3. EVALUAR LA COMPACTACIÓN DE SUELOS AGRÍCOLAS SEGÚN EL USO ACTUAL DE TIERRAS	66
V. CONCLUSIONES.....	72
VI. RECOMENDACIONES	73
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
ANEXOS.....	78

ÁREA : Ciencias agrícolas

TEMA : Manejo y Conservación de Recursos de Agua y Suelo

FECHA DE SUSTENTACION: 31 de enero de 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Métodos para el análisis de caracterización.....	44
Tabla 2 Superficie y porcentaje de las consociaciones de suelos	48
Tabla 3 Propiedades físicas y Textura del suelo Carretera Profundo	49
Tabla 4 Propiedades fisicoquímicas del suelo Carretera Profundo	50
Tabla 5 Características de sorción del suelo Carretera Profundo	50
Tabla 6 Propiedades físicas y Textura del suelo Waru Waru Antiguo	51
Tabla 7 Propiedades fisicoquímicas del suelo Waru Waru Antiguo	51
Tabla 8 Características de sorción del suelo Waru Waru Antiguo	52
Tabla 9 Textura y propiedades físicas del suelo Waru Waru Reciente	53
Tabla 10 Propiedades fisicoquímicas del suelo Waru Waru Reciente	53
Tabla 11 Características de sorción del suelo Waru Waru Reciente	54
Tabla 12 Textura y propiedades físicas del suelo Peaje	55
Tabla 13 Propiedades físicas y químicas del suelo Peaje	55
Tabla 14 Características de sorción del suelo Peaje	56
Tabla 15 Textura y propiedades físicas del suelo Río	56
Tabla 16 Propiedades fisicoquímicas del suelo Río	57
Tabla 17 Características de sorción del suelo Río	57
Tabla 18 Clasificación de los suelos según la Soil Taxonomy.....	59
Tabla 19 Clasificación de suelos según la WRB	61
Tabla 20 Resultados de la cuantificación del carbono orgánico.....	64
Tabla 21 Uso Actual de Tierras de acuerdo al sistema de clasificación de la Unión Geográfica Internacional.....	67
Tabla 22 Grado de compactación en el suelo Carretera Profundo.....	68



Tabla 23	Grado de compactación en el suelo Waru Waru Antiguo	68
Tabla 24	Grado de compactación en el suelo Waru Waru Reciente.....	69
Tabla 25	Grado de compactación en el suelo Peaje.....	70
Tabla 26	Grado de compactación en el suelo Río.....	70



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Procesos pedogenéticos globales	27
Figura 2 Mapa de ubicación	38
Figura 3 Escala en PSI del penetrómetro de cono	43
Figura 4 Mapa de clasificación de suelos (Soil Taxonomy y WRB)	88
Figura 5 Mapa geomorfológico de la EEA Ilpa Puno	89
Figura 6 Mapa de Uso Actual de Tierras de la EEA Ilppa Puno	90
Figura 7 Apertura de calicatas	91
Figura 8 Uso de la Tabla Munsell para la determinación del color del suelo	91
Figura 9 Muestreo de suelos	92
Figura 10 Realización de pruebas de compactación usando el penetrómetro AG081807	92
Figura 11 Realización de pruebas de compactación en la unidad de suelo alfalfa “Medicago sativa L.” usando el penetrómetro AG081807	93
Figura 12 Realización de pruebas de compactación en terreno roturado usando el penetrómetro AG081807	93
Figura 13 Realización de pruebas de compactación usando el penetrómetro AG081807	94
Figura 14 Realización de pruebas de compactación en el suelo Waru Waru Reciente...	94
Figura 15 Recepción y secado de muestras de suelo	95
Figura 16 Molido y tamizado de muestras de suelos.....	95
Figura 17 Determinación de la textura por el método Bouyoucos	96
Figura 18 Materiales para el fraccionamiento de la MO	96



Figura 19	Fraccionamiento de la materia orgánica del suelo	97
Figura 20	Baño María en el fraccionamiento de la materia orgánica del suelo	97
Figura 21	Uso de la centrifuga para el fraccionamiento	98
Figura 22	Tubos de plástico para el fraccionamiento	98
Figura 23	Determinación del CO en las fracciones húmicas	99
Figura 24	Separación de ácido fúlvico y ácido húmico	99
Figura 25	Cuantificación del carbono orgánico	100
Figura 26	Adicionamiento de 10 ml de H ₂ SO ₄ (ácido sulfúrico) a los Erlenmeyers	100
Figura 27	Ácidos húmicos + difenilamina	101
Figura 28	Titulación de los ácidos fúlvicos, húmicos y huminas	101
Figura 29	Perfil modal del suelo Carretera Profundo	102
Figura 30	Paisaje del suelo Carretera Profundo	102
Figura 31	Perfil modal del suelo Waru Waru Antiguo	103
Figura 32	Paisaje del suelo Waru Waru Antiguo	103
Figura 33	Perfil modal del suelo Waru Waru Reciente	104
Figura 34	Paisaje del suelo Waru Waru Reciente	104
Figura 35	Perfil modal del suelo Peaje	105
Figura 36	Paisaje del suelo Peaje	105
Figura 37	Perfil modal del suelo Río	106
Figura 38	Paisaje del suelo Río	106
Figura 39	Equipo de trabajo de campo	107



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AF	: Acido fúlvico
AH	: Acido húmico
$Al^{3+} + H^+$: Aluminio + Hidrógeno
BP	: Buenas prácticas
bh-MS	: Bosque húmedo-montano subtropical
CE	: Conductividad eléctrica
CIC	: Capacidad de intercambio catiónico
CIRS	: Centro de Información y Referencia de Suelo
CS	: Calidad de suelo
CO	: Carbono orgánico
COT	: Carbono orgánico total
COS	: Carbono orgánico del suelo
$CaCO_3$: Carbonato de calcio
CEe	: Conductividad eléctrica del extracto de suelo
Da	: Densidad aparente
EEA	: Estación Experimental Agraria
FAO	: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
GSR	: Grupos de Suelos de Referencia
GPS	: Sistema de Posicionamiento Global
ha	: Hectáreas
Hna	: Humina
IH	: Índice de Humificación
INIA	: Instituto Nacional de Investigación Agraria
K	: Potasio
$K_2Cr_2O_7$: Dicromato de potasio
MP	: Malas prácticas
MN	: Manejo natural
MO	: Materia orgánica
MOS	: Materia orgánica del suelo
N	: Nitrógeno



NaOH	: Hidróxido de sodio
Na ₂ SO ₄	: Sulfato de sodio
NH	: No húmicas
pH	: Potencial de hidrogeno
P	: Fósforo
PSI	: Libra por pulgada cuadrada (Pound per Square Inch)
RP	: Resistencia a la penetración
SB	: Saturación de bases
SD	: Siembra directa
SMS	: Sistema de manejo de suelos
SSC	: Suelo sin cultivar
USDA	: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
UAT	: Uso Actual de Tierra
UNA	: Universidad Nacional del Altiplano
WRB	: Base Referencial Mundial
ZEE	: Zonificación Ecológica Económica
µm	: Micras



RESUMEN

El uso continuo de la mecanización agrícola y la génesis de los suelos tienen impactos negativos en la degradación de los suelos. Por ello se realizó la investigación en la Estación Experimental Agraria Illpa - INIA Puno, con la finalidad de conocer el estado de los suelos mediante la calidad química y física de los suelos. Por lo tanto, los objetivos específicos fueron: 1) caracterizar y clasificar los suelos según la Soil Taxonomy y la WRB, 2) evaluar la calidad de los suelos a partir de la materia orgánica y 3) evaluar la compactación de suelos según el uso actual de tierras. La metodología que se empleó para el primer objetivo fue el uso del reglamento de levantamiento de suelos del Perú, para el segundo objetivo se empleó el método Nagoya para la extracción de las sustancias húmicas y para el tercer objetivo se empleó el uso del penetrómetro de cono según al uso actual de tierras. Los resultados fueron: los cinco suelos se clasificaron como orden Mollisol e Inceptisol según la Soil Taxonomy, mientras que la WBR se clasificaron como Phaeozem y Cambisol. Según la calidad de la materia orgánica, los suelos Peaje y Río fueron clasificados como calidad buena, mientras que los suelos Carretera Profundo, Waru Waru Antiguo y Waru Waru Reciente fueron clasificados de calidad media. Finalmente, los terrenos con praderas naturales presentaron una compactación alta ($PSI > 300$), siendo una restricción para el desarrollo de las raíces. Mientras que los terrenos con cultivos agrícolas y en barbecho presentaron una compactación media a baja ($PSI < 300$).

Palabras Clave: Calidad, Método Nagoya, Parámetros físicos, Parámetros químicos.



ABSTRACT

The continuous use of agricultural mechanization and soil genesis have negative impacts on soil degradation. For this reason, the research was carried out at the Illpa Agrarian Experimental Station - INIA Puno, with the purpose of knowing the state of the soils through the chemical and physical quality of the soils. Therefore, the specific objectives were: 1) characterize and classify soils according to Soil Taxonomy and WRB, 2) evaluate soil quality based on organic matter and 3) evaluate soil compaction according to current use of lands. The methodology used for the first objective was the use of the soil survey regulations of Peru, for the second objective the Nagoya method was used for the extraction of humic substances and for the third objective the use of the cone penetrometer was used according to current land use. The results were: the five soils were classified as order Mollisol and Inceptisol according to the Soil Taxonomy, while the WRB were classified as Phaeozem and Cambisol. According to the quality of organic matter, the Peaje and Rio soils were classified as good quality, while the Carretera Profundo, Waru Waru Antiguo and Waru Waru Reciente soils were classified as medium quality. Finally, the lands with natural grasslands presented high compaction ($PSI > 300$), being a restriction for root development. While the lands with agricultural and fallow crops presented medium to low compaction ($PSI < 300$).

Keywords: Quality: Nagoya Method, Physical parameters, Chemical parameters.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La degradación de suelos es la pérdida de productividad económica o biológica, debido a procesos degradativos muy diversos por el mal manejo de los suelos, es por ello, que es necesario evaluar la calidad de los suelos agrícolas mediante los parámetros químicos y físicos de un determinado suelo y esto permitirá tomar acciones y decisiones al momento de realizar las actividades agrícolas.

Además, la clasificación de los suelos servirá como un medio de comunicación global a la comunidad científica en suelos y profesionales de agronomía, lo que facilitará la identificación de los usos más adecuados de los suelos (Buol et al., 2013).

Porta *et al.* (2014) mencionan que, el sistema de clasificación se fundamenta en conceptos y propiedades del suelo que posibilitan la creación de niveles jerárquicos, siendo algunos más generales que otros. De esta manera, las categorías establecidas estructuran el sistema de clasificación como un esquema jerárquico. Las propiedades empleadas para definir cada clase de suelos experimentan una variación de intervalos cada vez más estrechos a medida que se desciende hacia niveles más específicos del sistema de categorización.

Una clasificación ilustra el grado de conocimiento en un periodo exacto. Conforme se adquiere un mayor entendimiento sobre objetos a clasificar, los nuevos conocimientos se integran al sistema de clasificación. Por lo tanto, este sistema debe considerarse como dinámico y sujeto a cambios a lo largo del tiempo para adaptarse a nuevas situaciones. Estos cambios, en ocasiones, pueden generar cierta confusión en personas no especializadas en ciencia del suelo (Porta et al., 2014).



Un suelo de calidad buena es aquella que fomenta la productividad sin sufrir deterioro, posee la capacidad de aminorar sustancias tóxicas del medio ambiente y microorganismos dañinos, contribuye al bienestar de los seres vivos (NRCS-USDA, 2000; Porta et al., 2014).

NRCS-USDA (2000) menciona que, la evaluación de suelos confronta a diversos desafíos como; la degradación del suelo, pérdida de calidad por las malas prácticas que realizamos, contaminación y problemas climáticos. Estos factores generan un impacto negativo en suelos agrícolas por ende hay deficiencia en el desarrollo de las plantas, lo que provoca una reducción en la producción de cultivos.

Realizar evaluaciones de suelos es importante para garantizar la sostenibilidad de la agricultura, protección del entorno y mantenimiento de los elementos naturales, siendo así clave para afrontar problemas actuales y futuros relacionados con la producción de alimentos (NRCS-USDA, 2000).

El trabajo de investigación tuvo como finalidad caracterizar, clasificar y evaluar los suelos de la Estación Experimental Agraria Illpa – INIA. Para demostrar el estado actual de la calidad de suelos se realizó la evaluación de la materia orgánica y la compactación de los suelos por medio de la resistencia a la penetración. También, se describen y clasifican los suelos según la Soil Taxonomy y la WRB, y se tiene los objetivos siguientes:

1.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la calidad de los suelos de la Estación Experimental Agraria Illpa - INIA a partir de las variables químicas y físicas.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS



- Caracterizar y clasificar los suelos de la Estación Experimental Agraria Illpa - INIA según la Soil Taxonomy y la WRB.
- Evaluar la calidad de los suelos en la Estación Experimental Agraria Illpa - INIA a partir de la materia orgánica.
- Evaluar la compactación de suelos en Estación Experimental Agraria Illpa - INIA según el Uso Actual de Tierras.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Cantú *et al.* (2007) indican que, el desarrollo de la agricultura, requiere realizar evaluaciones de la calidad de suelos, haciendo uso de indicadores, con este propósito elaboró y aplicó un conjunto de indicadores para evaluar el estado del recurso suelo con el objetivo de analizar la calidad, en la metodología utilizó un suelo Hapludols típico, en distintos sistemas de utilización, las propiedades que evaluó fue: CO, pH, Sb, permeabilidad, velocidad de absorción y grosor de capa y el primer horizonte. Fijó criterios de calidad que sirvieron como base para la normalización de los indicadores, teniendo en cuenta las características particulares del entorno y del suelo en la región que fue investigada, estos fueron sencillos de evaluar y recurrentes. En conclusión, estos indicadores de estado del suelo no son aplicables universalmente.

Barrera *et al.* (2020) mencionan que, la calidad del suelo es una herramienta que facilita prácticas de manejo que promuevan sistemas agronómicos sostenibles, en su investigación caracterizó diferentes usos de la tierra a través de propiedades fisicoquímicas, en campos de cultivo de plátanos y cacao, determinando así la calidad de suelos.

Álvarez & Gómez. (2007) indican que, la pérdida del suelo y la degradación de su calidad se encuentran entre los mayores problemas agrícolas, donde la actividad agrícola orgánica fomenta la preservación de los recursos naturales, su objetivo fue identificar el estado de la calidad del suelo en olivares orgánicos con espacios naturales colindantes, con un sistema de gestión: laboreo y ganadería, en relación con cada



categoría de suelo se muestrearon trece olivares y tres espacios orgánicos, se determinaron variantes físicas: textura, Da, corrosividad, estabilidad de agregados, CE, capacidad de retención de H₂O), químicas: pH, MO, CO, disponibilidad de N, P y K y CIC). Como resultado los suelos en olivares ecológicos mostraron un estado de regular a bueno, principalmente en donde el ganado controlaba la cobertura vegetal.

Segueda *et al.* (2011) realizaron estudios sobre la calidad del suelo (CS) y bases conceptuales que sustentan el uso de sus indicadores desde el punto de vista ecológico y agronómico, para establecer las medidas de evaluación de calidad de suelo y consideró que la medición sea fácil, y que las propiedades biológicas, químicas y físicas puedan aplicarse en campo. Estos indicadores permitieron aplicar políticas de preservación, y optimizaron la calidad del suelo modificando la pérdida del suelo.

Duval *et al.* (2015) mencionan que, la aplicación de la siembra directa (SD) incrementó a nivel global en los últimos años, por lo tanto, en el experimento seleccionó parcelas con diferentes manejos agrícolas, buenas prácticas (BP), malas prácticas (MP) y manejo natural (MN). La disminución del carbono orgánico total (COT) es debido a la influencia de las actividades agrícolas, esto provoca una disminución de los poros totales en el suelo, reducción del volumen de macro poros (>30 μ m). El uso agrícola (MN) produce poca compactación a expensas de microporos, mientras que la diferencia entre BP y MP se ve afectada por las características del suelo evaluado.

Mata (2014) evaluó la calidad del suelo en tres fincas de diferentes, con base en indicadores de calidad presente y tipo de suelo adecuado. La erosión de la zona se calculó aplicando la Ecuación Universal de Perdida de Suelos (USLE). En efecto fue un índice de calidad muy bajo de I, equivalente a una calidad del suelo del 3%. El suelo se puede mejorar en un 18% aplicando métodos como sub soleo, ajuste de pH y drenaje. Las



parcelas en el área de estudio tienen un grado IV equivalente a suelo de alto estrés que requiere prácticas agrícolas muy intensivas. El 36% sobrante tiene una capacidad de Clase III con restricciones ajustadas para el cultivo. Es probable que el área de estudio se convierta en Categoría II en la extensión, lo que equipara a suelos con restricciones en el rendimiento agrícola y prácticas de manejo que no presentan costos significativos.

Según García *et al.* (2006) la siembra directa (SD) sobre residuos de cultivos es un método para aumentar la materia orgánica del suelo (MOS) y mejorar sus características. Analizaron el impacto de la SD en las acumulaciones de carbono y fracciones de materia orgánica del suelo en un Vertisol. Además, compararon: SD con la adición de la caña entera de maíz en el suelo (SDR) y la adición parcial al suelo del rastrojo después del empacado (SDE); el sembrío convencional con la quema de residuos de cultivos (SCQ) y por último suelo no cultivado (SNC). Utilizaron un DBCA con 4R, los indicadores fueron: Ácidos fúlvicos, ácidos húmicos, huminas, reservas de CO, materia orgánica fresca (MOF), relación carbono nitrógeno C/N, pH, N total y físicas como contenido de arcilla, Da. El SNC produjo mayor reserva de COS y fracciones húmicas en estratos de 0-15 cm; No hubo diferencia estadística en COS entre SNC. AF alcanza el 70% en SDR. SDE aumenta el MOS en un 1 % en comparación con SCQ. La administración de Vertisol convencional redujo significativamente las existencias orgánicas en COS-33%, MOF-57%, AF-35%, AH-47%, AH-38%, en comparación con el suelo no cultivado.

Hernández *et al.* (2010) indican que, los mayores problemas que afronta la agricultura es la erosión y la disminución de fertilidad, los residuos orgánicos se incorporan en las tierras de cultivo para incrementar la cantidad de MO y ser fuente de nitrógeno, tomando en cuenta las características del suelo y el nivel de procesamiento de restos orgánicos.



Esta práctica no está siendo aplicada por lo tanto pueden causar daños, como salinización del suelo, escurrimiento de nitratos, movimiento de sustancias fitotóxicas hacia las aguas subterráneas, una alternativa para el uso de estos restos es la elaboración del compost. La inclusión de estos fertilizantes orgánicos es muy relevante debido a sus impactos positivos en las características biológicas, químicas y físicas de los suelos agrícolas (Hernández et al., 2010).

Reyes (2010) menciona que, la compactación del suelo es uno de los motivos del desgaste físico de tierras agrícolas. En la investigación, se generaron curvas de compactación de cuatro series de suelos destinadas a usos agrícolas aplicando la metodología Proctor estándar, con el objetivo de estimar la susceptibilidad del suelo y la humedad a los que presentan mayor riesgo en la compactación, las variables para determinar la compactación fueron, la humedad crítica y la D_a máxima, la separación de la materia orgánica y las partículas, se identificó que el alto contenido de partículas de mayor tamaño y la baja cantidad de MO causaron niveles altos de densidad con un contenido de humedad bajo, mientras que el predominio de las partículas de menor tamaño y el alto contenido de MO resultaron en baja densidad a menor humedad. Los suelos con el cuarto variable son más susceptibles a la compactación que los suelos de partículas de tamaño similar.

Jaurixje *et al.* (2013) establecieron el efecto de un sistema de manejo de suelos (SMS) sobre su calidad, analizaron aspectos físicos y químicos en fincas agrícolas. Se extrajeron muestras a dos niveles de profundidad (0-10 cm y 10-20 cm), también se evaluaron características biológicas del suelo (biomasa microbiana y respiración basal), químicas (K, MO, C, y pH) y físicas (densidad de masa, porosidad y conductividad hidráulica). Los resultados más altos de biomasa microbiana y respiración basal se determinaron en suelos orgánicos o abandonado silvestre, los valores más bajos



corresponden a suelos donde se aplicó tractor agrícola y fertilizantes químicos. La biomasa microbiana mostró una compensación con la conductividad hidráulica.

Novillo *et al.* (2018) señalan que, sistemas de monocultivos provocan degradación del suelo, impactando negativamente sus propiedades físicas y químicas, para las características físicas del suelo, se empleó un DCA con 3R, a cubrir suelos de bosques con flora original y palma aceitera (26 años), pasto, cacao (50 años), y monocultivos de maíz (30 años) a distintos niveles de profundidad hasta 0,6 m. Se examinaron características físicas como conductividad hidráulica, D_a , índice de arcilla, materia orgánica, grado de floculación, arcilla dispersa en agua, textura, humedad volumétrica, porosidad total y porosidad de aireación. Se llevaron a cabo análisis estadísticos utilizando la prueba de Tukey, con un nivel de significancia establecido en $P \leq 0.05$, revelaron que el pasto, maíz y palma aceitera incrementan la densidad aparente del suelo.

Rodríguez *et al.* (2012) indican que, el grado de compactación inducido en el campo está influenciado por el uso de tractores y maquinarias agrícolas. La compactación del suelo incrementa la resistencia mecánica del suelo y evita el ingreso de agua al suelo y el alargamiento de raíces; también produce un cambio en la densidad aparente y reduce el espacio poroso.

Herrera *et al.* (2011) mencionan que, el impacto de la compactación de tierras de cultivo ha llevado a la determinación de nuevos métodos para combatirlo, el objetivo de esta investigación fue realizar un sensor que mida la compactación del suelo, el sensor consta de un transductor de anillo octogonal extendido (EORT), que mide la resistencia mecánica del suelo y luego se correlaciona con el estado compactado del suelo. El funcionamiento de la sonda desarrollada fue verificado en la Universidad Agraria de La



Habana (UNAH), y muestra el correcto funcionamiento, haciendo adecuado para determinar la compactación de suelos.

Becerra *et al.* (2005) indican que, en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) investigó la resistencia a la penetración en suelos Vertisol, Mollisols y Alfisol, empleando métodos geoestadísticos y la superposición Arc-View, para determinar las propiedades físicas del suelo como: humedad, Da, y la resistencia a la penetración. También, se comprobó la cantidad de M.O. y la textura en campo y en laboratorio a profundidades superficiales (2.5 centímetros) y profundidades variables (10 a 30 cm). La compactación se caracteriza por las relaciones directas entre la densidad de humedad y la resistencia a la penetración. Tanto la MO como la textura inciden en densidad, contenido de humedad y resistencia a la penetración., lo cual estrecha las conexiones que explican el comportamiento del suelo durante trabajos de labranza. Las áreas moderadamente compactadas ocupan más de 60% del área de la muestra y menos de 40% llegan al área sin comprimir.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. El suelo como cuerpo natural

El suelo es un cuerpo natural compuesto por minerales, materia orgánica, líquidos y gases, ocupando un espacio y caracterizado por la presencia de horizontes o capas de suelo que surgen por adición y pérdida del material original o movimiento y transformación (Jaramillo, 2002 ; Soil Survery Staff, 2014).

Dokuchaev (1886) consideró al suelo como un cuerpo natural independiente y en evolución, que se da bajo la determinación de cinco factores formadores como clima, organismos, relieve, material parental y tiempo de estos consideró a la vegetación como el más indispensable.



El suelo es un organismo natural en evolución, dinámico y complejo, formado por factores formadores y procesos, localizado en la superficie de la corteza terrestre y formado por minerales orgánicos y agua, de los cuales las plantas obtienen alimento para sí mismas, a sí brindar productos en beneficio de las personas (Herrera, 2010)

2.2.2. Factores formadores del suelo

Sardon (2019) indica que, el suelo es un cuerpo natural cuya formación está determinada por cinco factores que desencadenan los procesos que le confieren su morfología y sus propiedades químicas, físicas y orgánicas, los cuales está enunciada en la siguiente ecuación factorial.

$$Suelo = f(cl, o, r, p, t \dots)$$

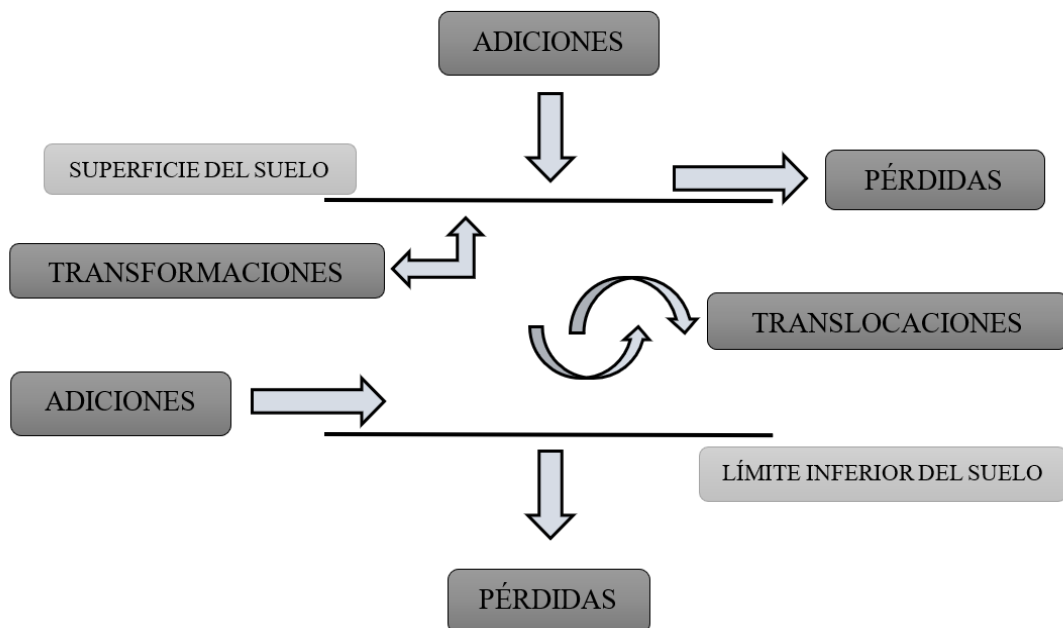
Los factores que influyen en la formación del suelo son: el clima (cl), los organismos (o), el relieve (r), el material parental (p) y el tiempo (t). El suelo se encuentra en la corteza terrestre, se describe como un cuerpo natural en constante cambio tridimensional, independiente y dinámico, con características únicas según su ubicación, y experimenta varios procesos pedogenéticos (Fitzpatrick, 2006).

2.2.3. Procesos pedogenéticos

Los procesos pedogenéticos con un conjunto de cambios sucesivos que tienen lugar en el sistema y que dan lugar a la formación de los suelos y se organizan según el impacto que generan en el suelo (Porta *et al.*, 2014). Los procesos generados se identifican como: adiciones, transformaciones, translocaciones y pérdidas (Jaramillo, 2014).

Figura 1

Procesos pedogenéticos globales



Nota: Adaptado del libro Ciencias del suelo (p.73), por (Jaramillo, 2014)

2.2.3.1. Humificación

Pertenece al proceso de específico de transformaciones y esta hace referencia a la conversión de materiales orgánicos en humus; este proceso contribuye significativamente a la concentración de materia orgánica en el suelo y al tono negro de su capa superficial. Además, favorece la creación de horizontes A, que pueden constituir, desde una perspectiva taxonómica, los epipedones más frecuentes, como el móllico, ócrico y melánico (típico de los Mollisoles) (Jaramillo, 2014).

2.2.4. Historia de la clasificación de suelos

En el año 1883, V. Dokuchaev presentó un informe detallado sobre su investigación de campo acerca de los chernozems. En este estudio, aplicó los fundamentos de la morfología del suelo, describió las principales categorías de



suelos, creó la primera clasificación científica y desarrolló técnicas para cartografiar tanto en el campo como en el laboratorio. En 1886, presentó fundamentos de las ciencias de geografía y génesis de suelos, propuso que el "suelo" se utilizara como un término científico para describir estratos de roca que, de forma regular o casi constante, modifican sus características debido al impacto combinado del agua, el aire y diversos organismos bióticos como abióticos (Buol et al., 2013).

2.2.5. Finalidad de la clasificación de los suelos

Buol *et al.* (2013) en su libro de Génesis y Clasificación de Suelos menciona que, las razones por las cuales nosotros llevamos a cabo las clasificaciones y propósitos que asignan al proceso formal de clasificación. Mili (1925), examinó las bases lógicas y principios asociados con dicho proceso. Estos eventos naturales son clasificados con el propósito de:

1. Cumple con el propósito de organizar el conocimiento, lo que contribuye a economizar los pensamientos.
2. Resaltar las conexiones y entender las interacciones entre individuos y las diversas categorías de la población es otro objetivo clave.
3. Recordar las propiedades inherentes a las diferentes categorías en las que se han clasificado.
4. También tiene como propósito facilitar el aprendizaje de nuevas relaciones y principios dentro de dicha población.



5. Crear grupos o subdivisiones (clases) de los objetos investigados con el fin de facilitar la organización y comprensión de la información asociada a cada categoría para:
 - a) Pronosticar su actuación.
 - b) Reconocer sus aplicaciones óptimas.
 - c) Evaluar su rendimiento productivo.
 - d) Suministrar elementos o unidades de estudio, además de ampliar y proyectar hallazgos de investigaciones u observaciones.

2.2.6. Clasificación de suelos de Estados Unidos (Soil Taxonomy-USDA)

La Soil Taxonomy presenta un diseño y nomenclatura completamente innovadores y está en constante desarrollo. Fue desarrollada en Estados Unidos a inicios de 1950 para clasificar suelos, utilizando horizontes de diagnóstico y otras propiedades del suelo (Buol et al., 2013).

Organización estructural del sistema:

Este sistema consta de seis etapas, las cuales siguen una jerarquía de mayor a menor que incluye: orden, suborden, gran grupo, subgrupo, familia y serie de suelos (Soil Survey Staff, 2014).

Nina (2023) en su trabajo de investigación menciona que, en la categoría de "Orden", se incluyen 12 subcategorías que clasifican suelos según la presencia o ausencia de horizontes de diagnóstico, como el epipedón y el endopedón, o según el grado de desarrollo genético. Estas subcategorías son: Alfisol, Andisol,



Aridisol, Entisol, Espodosol, Gelisol, Histosol, Inceptisol, Molisol, Oxisol, Ultisol y Vertisol.

Para la clasificación de "Suborden", se cuentan con 63 subcategorías que se organizan según si están presentes o ausentes los regímenes de temperatura y humedad, el sedimento original del suelo y el grado de descomposición de la MO, particularmente cuando los suelos se originan de materiales orgánicos.

En la división de "Gran Grupo", se distinguen 319 subcategorías que organizan los suelos de acuerdo al parecido en la caracterización de los horizontes del suelo, los regímenes, la existencia o falta de capas de diagnóstico, y niveles de saturación de bases.

Dentro de la clasificación de "Subgrupo", se identifican 2,484 subcategorías que establecen una serie de propiedades para designar el concepto central.

Dentro de las divisiones de "Familia" y "Serie", ambas con 5,000 subcategorías, se establecen distintivas características diagnósticas, que abarcan desde el volumen de partículas, mineralogía, actividad de intercambio catiónico, reacción del suelo hasta la presencia de carbonatos, profundidad del suelo, régimen de temperatura, recubrimiento de arenas, resistencia a la ruptura y la existencia de grietas (Nina, 2023).

2.2.7. Clasificación de suelos según la WRB

La World Reference Base for Soil Resources (WRB), que es la Clasificación Base Referencial Mundial del Recurso Suelos en español, adopta un enfoque amplio para nombrar cualquier objeto en la zona superficial de la corteza



terrestre (IUSS, 2022). El privilegio de este enfoque es que permite la consideración integral y sistemática de las condiciones ambientales. El principio fundamental de la WRB radica en la utilización de las características de diagnóstico del suelo relacionadas con procesos pedogenéticos y características diagnósticas para la gestión del suelo (Buol et al., 2013).

El sistema de clasificación de la WRB se compone de dos niveles: 1) el nivel uno incluye 32 Grupos de Suelos de Referencia (GSR); 2) el nivel dos consiste en el nombre del GSR combinado con calificativos principales y complementarios (IUSS, 2022). Las propiedades, materiales y horizontes de diagnóstico están sincronizados con el Soil Taxonomy. Sin embargo, al correlacionar con el Soil Taxonomy, surgen limitaciones, ya que la WRB no considera los regímenes de humedad del suelo (Buol et al., 2013).

2.2.8. Calidad de suelo

Se refiere a la aptitud del suelo para un propósito concreto a lo largo de un extenso período de tiempo. (Carter et al., 1997).

Es la potencialidad para operar dentro del contexto de un sistema ambiental, respaldar la productividad de los seres vivos, conservar el bienestar ambiental y fomentar la calidad de las plantas, animales, y de los seres humanos, en consecuencia constituye la calidad del suelo (Parkin & Duran, 1995).

2.2.9. Salud de suelo

La salud del suelo se caracteriza por el contenido de propiedades específicas, como la cantidad de materia orgánica, la variedad de organismos y la presencia microbiana, en un momento dado (Porta et al., 2014).



2.2.10. Indicadores de calidad de suelo

Un indicador es un valor numérico o un descriptor que sintetiza un conjunto de circunstancias relacionadas con el estado o la evolución de un sistema. Estos instrumentos de análisis facilitan la simplificación, cuantificación y comunicación de fenómenos complejos como la calidad, degradación, sostenibilidad (Porta et al., 2014).

El carbono orgánico del suelo (COS) cuantifica la cantidad de carbono presente en forma orgánica en el suelo, su medición se lleva a cabo mediante técnicas como la oxidación húmeda o seca.

El pH del suelo es un parámetro que evalúa el nivel de alcalinidad o acidez del suelo. Se considera que los resultados de pH entre 6 - 7 son generalmente adecuados para la mayoría de los cultivos, su medición se puede realizar utilizando un medidor de pH.

La presencia de salinidad puede tener impactos adversos para el desarrollo de las plantas, la medición de la salinidad se puede llevar a cabo utilizando métodos como la Conductividad Eléctrica del Extracto de Suelo (CEe) (Porta et al., 2014).

2.2.11. Degradación de suelos

La degradación de un suelo trata sobre la reducción de su utilidad actual. Conforme avanza este proceso, el suelo pierde la capacidad de llevar a cabo funciones que inicialmente se esperaban.

En cuanto a las propiedades intrínsecas, la degradación puede ser definida como la disminución, pérdida o alteraciones de parámetros de calidad. Ejemplos



de estos cambios incluyen la reducción del espesor del epipedón debido a la erosión, la pérdida de material fino en la corteza por ende el incremento de la pedregosidad, la disminución de la materia orgánica por efecto de la erosión o el trabajo excesivo, y la disminución de la conductividad hidráulica por captación (Porta et al., 2014).

2.2.12. Procesos de degradación de suelos

Los procesos del deterioro del suelo pueden ser clasificados en:

La disminución del recurso suelo; el transporte de partículas mediante erosión hídrica, erosión eólica y movimientos en masa implica la pérdida física del suelo.

Un estrés interno sin evidencias externas; la presión generada internamente en el suelo debido a la degradación implica que, para desempeñar una función específica, se necesita una intensificación del trabajo interno en el sistema. Aunque el suelo permanezca en su lugar, pierde eficiencia. Es importante distinguir los siguientes procesos.

2.2.12.1. Degradación química

Reducción de la fertilidad; cabe resaltar que las cosechas extraídas deben ser equilibradas de alguna manera; de lo contrario, la fertilidad del suelo disminuirá con el tiempo.

Salinización; Implica un incremento en la acumulación de sales altamente solubles, principalmente NaCl , Na_2SO_4 , MgCl_2 , MgSO_4 , lo cual resulta en una alta concentración en la porción líquida del suelo.



Sodificación; se observa un aumento de sodio en los sitios de intercambio, lo cual afecta la composición de la arcilla en contacto con el líquido. La evaluación se efectúa a través del Porcentaje de Sodio Intercambiable, y se considera que un suelo presenta problemas de sodicidad cuando esta es mayor al 15% (Porta *et al.*, 2014).

Lavado de iones y acidificación; la acidificación es un proceso natural que puede ser acentuado por factores como la aplicación inapropiada de fertilizantes con reacción ácida, como la urea, la fijación biológica del nitrógeno y las precipitaciones ácidas.

La contaminación por elementos tóxicos ocurre cuando hay un aumento de sustancias nocivas en el suelo. Estas sustancias pueden incluir metales pesados como el plomo (Pb), mercurio (Hg), cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), selenio (Se), arsénico (As), así como compuestos inorgánicos como xenobióticos, pesticidas, dioxinas, hidrocarburos y aceites, los cuales son originados por actividades humanas. (Porta *et al.*, 2014).

2.2.12.2. Degradación biológica

El empobrecimiento de la materia orgánica; alude a la reducción gradual del contenido de la (MOS) a lo largo de un período de varios años.

La disminución de la (MOS); tiene efectos tanto a nivel local en el propio suelo como consecuencias medioambientales a escala global. Esto impacta en el secuestro de carbono, la biodiversidad, el deterioro de suelo por erosión y la desertificación (Porta *et al.*, 2014).



Pérdida de población microbiana; la disminución de la población microbiana en el suelo puede deberse a varias razones, y sus consecuencias pueden ser significativas para la salud del suelo, por tanto, para la productividad de los cultivos. Algunas de las causas comunes incluyen el uso de pesticidas y herbicidas, la aplicación de fertilizantes sintéticos, prácticas intensivas de labranza, la contaminación del suelo y cambios en la utilización del suelo (Coleman, 2017).

Estos microorganismos desempeñan funciones fundamentales. Entre estas funciones se incluyen la fijación de nitrógeno, procesamiento de MO y la liberación de nutrientes y la supresión de patógenos. La pérdida de estos microorganismos puede afectar negativamente la fertilidad y la productividad del suelo (Coleman, 2017).

2.2.12.3. Degradación física

Desgaste de la estructura; la estructura del suelo es una clave de propiedad que influye significativamente en su calidad. Esta propiedad le confiere al suelo la capacidad de llevar a cabo diversas funciones esenciales, como el aumento de tamaño de las raíces, el crecimiento de los cultivos, el ingreso, acumulación y desplazamiento del H₂O, así como la rotación del carbono y de los nutrientes. En un sentido más amplio, la estructura del suelo afecta aspectos como la compactación, el sellado y encostramiento de la superficie, la densidad aparente, la aireación y la susceptibilidad a la erosión. En conjunto, estos factores contribuyen a lo que comúnmente se conoce como fertilidad del suelo (Porta et al., 2014).



Compactación; la compactación del suelo, ya sea debido al tráfico de maquinaria agrícola o al paso del ganado en condiciones de humedad excesiva, tiene importantes efectos en la estructura del suelo. Este proceso conduce al aumento de la D_a y a la reducción de la porosidad, especialmente de los macro poros. La presión ejercida durante estos eventos compactantes reduce el espacio entre las partículas del suelo, afectando el potencial del suelo para conservar soluciones, la aireación y la movilidad de las raíces.

Sellado y encostramiento superficial; se refiere a la creación de una capa delgada, con un grosor (entre 5 y 10 mm), en el estrato superior del suelo. Este fenómeno es resultado de la influencia de las gotas pluviales, ya sea de manera natural o mediante un aspersor, sobre un suelo sin cobertura y con una estructura poco estable. La capa sellada presenta una alta densidad aparente, una baja porosidad. Cuando esta capa se seca, se origina una costra superficial con una estructura laminar, baja porosidad y una compactación considerable. Este proceso conlleva una disminución en la infiltración de agua, un aumento en la corriente superficial en terrenos con pendiente y la posibilidad de encharcamiento en áreas llanas del suelo (Porta et al., 2014).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR EXPERIMENTAL

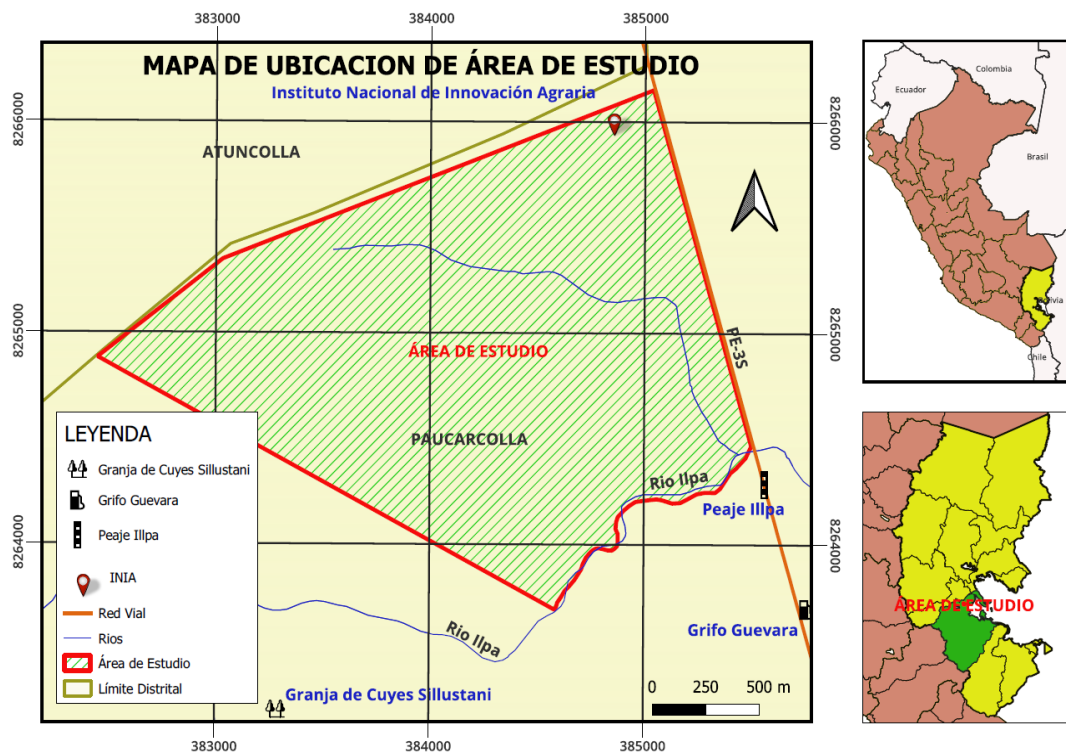
La ejecución de este estudio de investigación tuvo lugar en la Estación Experimental Agraria Illpa Puno, que forma parte del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) sede Puno, situado en el distrito de Paucarcolla, provincia de Puno, Región de Puno.

Según (SENAMHI, 2023), los datos de temperatura, precipitación, altitud, latitud y longitud del distrito de Paucarcolla – Estación Experimental Illpa de INIA son:

Altitud	: 3827 msnm
Latitud Sur	: 15°41' 14.12"
Longitud Oeste	: 70°4'47.55"
UTM/Zona 19S	: 384977 Este/ 8266094 Norte
Precipitación	: 638.77 mm anuales
Temperatura	: 8.05 °C anuales

Figura 2

Mapa de ubicación



3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1. Materiales de campo

- Cuaderno de campo
- Pala cuadrada
- Pico
- Barreta
- Barreno
- Tabla Munsell
- Picota geológica
- Cuchillo
- Fichas de campo



- Marcadores
- Lápices
- Cinta de embalaje
- Bolsas de plástico (Ziploc) para muestras de suelo
- Flexómetro (3-5 m)

3.2.2. Materiales de laboratorio

- Probeta
- Vaso precipitado
- Piseta
- Erlenmeyer
- Embudos
- Matraz
- Tubo de ensayo
- Pipeta volumétrica
- Papel filtro (Whatman N°42, Toyo Roshi 5C)
- Bagueta de agitación
- Bureta
- Bandeja metálica
- Propipeta
- Espátula
- Papel aluminio
- Balde
- Hielo

3.2.3. Equipos

- Cámara digital



- Penetrómetro
- GPS - Sistema de Posicionamiento Global
- Balanza analítica
- pH metro
- Conductímetro
- Estufa
- Termómetro
- Centrifuga
- Plancha

3.2.4. Reactivos

- Hidróxido de sodio (NaOH)
- Ácido sulfúrico (H₂SO₄)
- Sulfato de sodio (Na₂SO₄)
- Dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇)
- Agua destilada
- Sulfato ferroso (FeSO₄)
- Difenilamina (C₆H₅)₂NH

3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.3.1. Diseño experimental

Para los tres objetivos se optó por un enfoque de investigación no experimental, específicamente de tipo transversal o transeccional con un carácter descriptivo.

La investigación de tipo no experimental se centra en la observación de fenómenos dentro de un entorno natural, con el propósito de analizar situaciones



ya existentes en lugar de crear intencionalmente alguna condición. El estudio llevado a cabo también adoptó un enfoque transeccional o transversal al recopilar datos en un único momento específico, con el objetivo de describir las hipótesis planteadas (Salvatierra, 2006).

3.4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.4.1. Etapa de gabinete

En esta etapa del proyecto se reunió la información ya preexistente, referente al material cartográfico y temático. A partir de la imagen de satélite corregida y georreferenciada, así como del mapa geológico y ecológico, se utilizó el método de análisis geomorfológico para la interpretación analógica, con el fin de obtener el mapa geomorfológico preliminar incluyendo sus pendientes, a escala 1:10 000, que constituyó la base para elaborar el mapa concerniente al estudio de clasificación de suelos y a la calidad de suelos. Utilizando el mapa geomorfológico como referencia, se planeó la labor de campo mediante la ubicación estratégica de calicatas y la ubicación de puntos para las pruebas de compactación.

3.4.2. Etapa de campo

En esta fase, se realizó la cartografía sistemática del suelo mediante la apertura o excavación de calicatas, con el propósito de obtener datos confiables sobre el recurso edáfico, considerando variaciones en el paisaje, litología y formas de terreno. Así mismo, se llevó a cabo la validación de las unidades geomorfológicas y sus pendientes predeterminadas en la etapa anterior.



La caracterización del suelo se llevó a cabo mediante la evaluación del perfil del suelo, describiendo sus características físicas y morfológicas internas y externas a través de la excavación de calicatas con dimensiones de 1.50 metros de longitud, 1.00 metro de anchura y 1.20 metros de profundidad.

En cada calicata se llevó a cabo la descripción integral del entorno, a incluir aspectos como el relieve, micro relieve, drenaje, erosión, pendiente, material parental, vegetación, entre otros. Además, se detallaron las características morfológicas del perfil del suelo, estos aspectos abarcan la identificación de horizontes de diagnóstico, con la descripción de características como el espesor, color, textura, estructura, consistencia, profundidad efectiva y la presencia de fragmentos rocosos, concreciones, moteaduras, densidad aparente y nivel freático, entre las más importantes.

Seguidamente se procedió con la toma de muestras de suelo de todos los horizontes identificados, con una cantidad aproximada de 1 kg para realizar el análisis de caracterización en el laboratorio. Estos análisis permitieron determinar las características físico-mecánicas y químicas de los suelos. Además, se tomó 1kg de suelos para la caracterización de la materia orgánica del suelo.

También, con el instrumento del penetrómetro de cono modelo AG081807 se realizó las pruebas de compactación en un recorrido en zigzag, considerando el área de cada unidad, en época de primavera (meses de enero y febrero), en base a la cartografía del mapa de uso actual de tierras.

En las categorías de terrenos urbanos y/o instalaciones gubernamentales se exceptuaron las evaluaciones ya que no son parte de la producción agrícola. Los

terrenos con cultivos, pastos naturales, suelos agrícolas, se han considerado dichas pruebas que abarca 367.60 ha.

Las pruebas de compactación se realizaron considerando la unidad de medida del PSI (Libra por Pulgada Cuadrada) y la escala SMALL TIP que es recomendado para los suelos arcillosos y LARGE TIP es recomendando para suelos de textura arenosa, estas pruebas se realizaron a una profundidad de 5 a 10 cm de la superficie del suelo, también se tuvo en cuenta la escala donde indica que de 0-200 PSI son buenas condiciones para el cultivo (no compacto), 200-300 PSI condiciones regulares para el cultivo (compacto) y 300 PSI a más (muy compacto) considerándose como malas condiciones para el cultivo o groseramente restrictivo (figura 3) (Arriaga, 2015).

Figura 3

Escala en PSI del penetrómetro de cono



3.4.3. Etapa de laboratorio

En esta etapa se registró y almacenó las muestras procedentes del campo para el secado, posterior a ello se realizó el molido y tamizado de cada una de las muestras de suelos. Seguido a eso se desarrolló el análisis de caracterización que se consideró como la primera etapa, la segunda etapa fue la extracción y fraccionamiento de la materia orgánica del suelo y finalmente la tercera etapa fue la cuantificación del carbono orgánico.

3.4.3.1. Análisis de caracterización

Las muestras de suelo procedentes de campo fueron emitidos al Laboratorio de Aguas y Suelos de INIA Salcedo, donde se realizaron el análisis de Caracterización. Estos análisis incluyen la determinación de la clase textural (contenido de arena, limo y arcilla), pH, conductividad eléctrica, carbonatos, materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio disponibles, así como la capacidad de intercambio catiónico total y los cationes intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , $\text{Al}^{3+}+\text{H}^+$). Para cada una de las muestras se empleó los siguientes ensayos (Tabla1).

Tabla 1

Métodos para el análisis de caracterización

ENSAYO	MÉTODO
Ph	La medición en el potenciómetro de suspensión del suelo - Agua 1:1
Conductividad Eléctrica	La lectura del extracto acuoso en la relación con el suelo - Agua 1:1
Textura	Hidrómetro de Bouyoucos
Materia Orgánica	Walkley y Black
Nitrógeno	Micro Kjeldahl
Fósforo disponible	Olsen Modificado, Extractor de bicarbonato de sodio al 0.5N



Potasio disponible	Saturación con $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ al 1N pH 7.0. Lectura en espectrofotómetro
Aluminio Intercambiable	Método de Yuan. Extracción con KCl 1N
Carbonato de calcio	Neutralización ácida
CIC	Método del Acetato de Amonio 1N, pH 7.0 Determinaciones en el extracto de amonio Ca: Método del E.D.T.A Mg: Método del amarillo de tiazol
Cationes cambiables	K: Fotómetro de llama Na: Fotómetro de llama

Fuente: Adaptado del trabajo de tesis (p.37), por D.J. Nina, 2023

3.4.3.2. Fraccionamiento y extracción de la materia orgánica del suelo

El fraccionamiento y extracción de la materia orgánica del suelo se llevó a cabo mediante el método Nagoya, según la descripción de Kumada (1987). Los suelos muestreados fueron secados en ambiente abierto y tamizadas. El fraccionamiento de la materia orgánica del suelo se realizó mediante una extracción de una solución básica, NaOH 0.1N (relación suelo-extractante 1:300, peso/volumen). Esta relación fue ajustada en función del contenido de carbono orgánico en el suelo.

Seguidamente, se pesó 0.300 gramos de muestra de suelo en la balanza analítica y se transfirió al Erlenmeyer, para hervirlo a 100°C durante 30 minutos, revolviendo más de una vez. Después de la ebullición, se añadió 1 gramo de Na_2SO_4 como agente coagulante. Posteriormente, tras enfriar en un baño de agua con hielo, la muestra fue sometida a centrifugación a 11,000 rpm durante 15 minutos.

Posteriormente, se realizó la separación del extracto alcalino a través de decantación, seguido por dos lavados del residuo del suelo con 20 ml. de un agente extractante que contenía (NaOH) mediante el proceso



de centrifugación, tal como se hizo en el paso anterior. Después de combinar el extracto soluble con los lavados, se acidificó el extracto utilizando concentrado de H_2SO_4 en una proporción de 1 ml. por cada 100 ml. dejándolo reposar durante 30 minutos.

Después de este proceso, se filtraron los extractos acidificados a través de un filtro (Toyo Roshi N°5C) en un Erlenmeyer volumétrico de 100 ml. Posteriormente, se lavó el precipitado con NaOH en una proporción ácido-agua de 1 ml. por cada 100 ml. y se horneó el volumen filtrado (AF) hasta alcanzar los 100 ml. El ácido húmico precipitado en el papel filtro se disolvió utilizando NaOH 0.1N, y la solución resultante se recolectó en un Erlenmeyer de 100 o 250 ml. dependiendo del contenido de ácido húmico (AH) (Sardón, 2019).

3.4.3.3. Cuantificación de carbono orgánico

El contenido de carbono orgánico (CO) total y en las fracciones húmicas (AH, AF y Hna), se determinó mediante combustión húmeda por el método Walkley y Black (1934), se consideró el siguiente procedimiento:

- Preparar en un Erlenmeyer de 200 ml y adicionar 10 ml de AH.
- Hacer un blanco para cada serie de muestras.
- Agregar 5ml de $K_2Cr_2O_7$ (dicromato de potasio) 1N.
- Adicionar 10 ml de H_2SO_4 (ácido sulfúrico) agitar por unos segundos y dejar reposar por 30 minutos.
- Calentar la solución a 100 °C.



- Añadir 50 ml. de agua destilada, se puede agregar más cantidad de agua para facilitar su observación al momento de titular.
- Adicionar 2 a 3 gotas de difenilamina.
- Finalmente, titular con Sulfato Ferroso, de gota en gota hasta que se torne de color verde.

Después de culminar con la cuantificación del carbono orgánico, se determinó el índice de humificación (IH) para establecer la calidad de los suelos, donde; AH: Ácido Húmico, AF: Ácido Fúlvico, Hna: Humina.

Índice de humificación (IH):

$$IH = HN / (AH + AF)$$

IH < 1 : Buena calidad

IH 1 - 2 : Calidad media

IH > 2 : Mala calidad

Los valores menores a 1 serán de buena calidad, valores de 1-2 de calidad media, mayores a 2 de mala calidad (Zapata., 2009).

3.4.4. Etapa de gabinete

En esta etapa se recopiló e interpretó las informaciones o datos de las etapas anteriores, en la etapa de campo se distribuyeron y realizaron nueve (9) calicatas en toda el área de las 402.94 hectáreas (ha) que abarcan en la EEA Illpa del INIA, por consiguiente, se obtuvieron nueve (9) fichas de campo (descripción de calicatas). Posterior a ello, por similitud se agruparon a cinco (5) perfiles modales de las nueve (9) calicatas. Finalmente, se diferenciaron en cinco tipos de suelos.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZAR Y CLASIFICAR LOS SUELOS DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA ILLPA-INIA SEGÚN LA SOIL TAXONOMY Y WRB

En esta sección, se proporciona una descripción e identificación de las unidades cartográficas en el área de estudio, compuestas por cinco consociaciones debidamente reconocidas y delimitadas en el mapa de suelos. Cada una de estas unidades se caracteriza por su superficie total aproximada, junto con los porcentajes correspondientes de sus componentes. Además, se ofrecen detalles exhaustivos sobre las características físicas, morfológicas y químicas de los distintos tipos de suelos que predominan en cada unidad cartográfica.

Tabla 2

Superficie y porcentaje de las consociaciones de suelos

Consociaciones	Símbolo	Proporción %	Superficie	
			Área ha	% área
Carretera Profundo	Ca-Pr	100	57.21	14.20
Waru Waru Antiguo	W-an	100	54.02	13.41
Waru Waru Reciente	W-re	100	201.02	49.89
Peaje	Pe	100	19.89	4.94
Río	Ri	100	35.46	8.80
Otras unidades	Otr		35.34	8.77
TOTAL			402.94	100.00

Fuente: Elaboración propia

4.1.1. Suelo de la E.E.A-Illpa, Carretera Profundo

El suelo Carretera Profundo, está ubicado en una superficie llana cerca de la autopista Puno – Juliaca, este suelo cubre 57.21 ha con un porcentaje del 14.20%, tiene una pendiente de 0-2 % es proveniente de un depósito aluvial, consta de 4 horizontes genéticos y una capa, de perfil Ap/BA/Bw1/Bw2/C, tiene una profundidad efectiva de 123 cm, presenta un ligero desarrollo genético, cuya textura es franco arcillo limoso hasta los 38 cm y franco limoso desde los 38-66 cm, (Tabla 3), pertenece al régimen de temperatura y humedad (mésico y ústico), identificando un epipedón mollic y un endopedón cambic, con un adecuado drenaje, los colores de este suelo varían desde pardo muy oscuro a pardo oscuro.

Tabla 3

Propiedades físicas y Textura del suelo Carretera Profundo

Horizonte	Profundidad [cm]	% de fracciones, tamaño de las fracciones en mm, (USDA)				Clase Textural	Da [Mg.m ⁻³]
		Gravas >2.0	Arena 2.0-0.05	Limo 0.02-0.002	Arcilla <0.002		
Ap	0-20	-	16	53	31	Fr.Ar.L.	1.42
BA	20-38	-	16	53	31	Fr.Ar.L.	1.42
Bw1	38-66	-	14	59	27	Fr.L.	1.12
Bw2	66-112	-	16	37	47	Ar.	1.24
C	112-123	-	62	17	21	Fr.Ar.A.	1.71

Las características fisicoquímicas (Tabla 4), indican que el suelo es moderadamente ácido a fuertemente alcalino y con presencia de carbonatos de calcio en el tercer y cuarto horizonte en el rango de 1.01 a 1.32 %. La proporción de materia orgánica en el horizonte 1 es media con (2.70%), y la cantidad de CE es 0.07 (ds.m-1), el nivel de fósforo disponible se considera como baja (2.9 mg.kg-1), y en cuanto al potasio disponible, se sitúa dentro del rango alto (430.07 mg.kg-1), en consecuencia, la fertilidad del suelo se considera de nivel baja.

Tabla 4

Propiedades fisicoquímicas del suelo Carretera Profundo

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m ⁻¹]	CaCO ₃ [%]	M.O. [%]	P	K
						disponible [mg.kg ⁻¹]	disponible
Ap	0-20	5.9	0.07	0.00	2.70	2.9	430.07
BA	20-38	7.0	0.11	0.00	1.50	2.4	312.78
Bw1	38-66	7.5	0.12	1.32	1.30	2.35	430.07
Bw2	66-112	7.8	0.16	1.01	1.50	2.75	762.41
C	112-123	8.2	0.21	0	0.10	0.95	742.86

Las características de sorción (Tabla 5), indican que el primer horizonte presenta una CIC de 22.10 cmol(+).kg⁻¹, clasificada como media. Además, se observa una alta saturación de bases en ese horizonte.

Tabla 5

Características de sorción del suelo Carretera Profundo

Horizonte	Profundidad [cm]	CIC	Cationes cambiables					SB [%]
			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ +H ⁺	
Ap	0-20	22.10	17.40	2.40	0.56	0.06	T	92
BA	20-38	38.00	26.90	7.80	0.49	0.07	0.00	93
Bw1	38-66	40.00	28.40	9.10	0.61	0.08	0.00	95
Bw2	66-112	44.20	31.00	10.50	0.50	0.23	0.00	96
C	112-123	26.80	13.60	10.40	0.62	0.39	0.00	93

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Suelo de la E.E.A-Illpa, Waru Waru Antiguo

El suelo Waru Antiguo, está ubicado en una superficie llana, este suelo cubre 54.02 ha con un porcentaje del 13.41%, con una pendiente de 0-2 % es proveniente de un depósito aluvial, consta de 5 horizontes genéticos, de perfil Ap/Bw1/Bw2/Bw3/C, tiene una profundidad efectiva de 150 cm, presenta un ligero desarrollo genético, cuya textura es franco limoso hasta los 14 cm y franco arcilloso desde los 14-47 cm, (Tabla 6), pertenece al régimen de temperatura y humedad (mésico y ústico), identificándose un epipedón mollic y un endopedón

cambic, con buen drenaje, los colores de este suelo presentan desde pardo oscuro a pardo.

Tabla 6

Propiedades físicas y Textura del suelo Waru Waru Antiguo

Horizonte	Profundidad [Cm]	% de fracciones, tamaño de las fracciones en mm, (USDA)				Clase Textural	Da [Mg.m ⁻³]
		Gravas >2.0	Arena 2.0-0.05	Limo 0.02-0.002	Arcilla <0.002		
Ap	0-14	-	33	50	17	Fr.L.	1.28
Bw1	14-47	-	24	40	36	Fr.Ar.	1.44
Bw2	47-72	-	18	80	2	Fr.L.	1.39
Bw3	72-96	-	18	62	20	Fr.L.	1.28
C	96-150	-	16	81	3	L.	1.49

Fuente: Elaboración propia.

Las características fisicoquímicas (Tabla 7), indican que el suelo es neutro a ligeramente alcalino y con presencia de carbonatos de calcio en el tercero, cuarto y quinto horizonte, con un rango de 1.18 a 3.16 %. La proporción de materia orgánica en el horizonte 1 es alta con (4.7%), y la cantidad de CE es 0.08 (ds.m⁻¹), el nivel de fósforo disponible se considera como baja (2.20 mg.kg⁻¹), y en cuanto al potasio disponible, se sitúa dentro del rango alta (410.52 mg.kg⁻¹), en consecuencia, la fertilidad del suelo se considera de nivel baja.

Tabla 7

Propiedades fisicoquímicas del suelo Waru Waru Antiguo

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m ⁻¹]	CaCO ₃ [%]	M.O. [%]	P disponible	K disponible
						[mg.kg ⁻¹]	
Ap	0-14	7.1	0.08	0.00	4.70	2.20	410.52
Bw1	14-47	7.5	0.09	0.00	0.30	0.35	606.01
Bw2	47-72	7.5	0.04	1.18	0.30	0.55	390.98
Bw3	72-96	7.7	0.04	3.16	0.20	0.55	527.82
C	96-150	7.6	0.02	1.67	0.40	0.15	390.98

Las características de sorción (Tabla 8), indica que el primer horizonte presenta una CIC de 34.00 cmol(+).kg-1, clasificada como alta. Además, se observa una alta saturación de bases en ese horizonte.

Tabla 8

Características de sorción del suelo Waru Waru Antiguo

Horizonte	Profundidad [cm]	CIC	Cationes cambiabiles					SB [%]
			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ +H ⁺	
			cmol(+).kg-1					
Ap	0-14	34.00	9.40	22.40	0.79	0.09	0.00	96
Bw1	14-47	30.00	17.70	9.40	0.53	0.33	0.00	93
Bw2	47-72	58.10	55.60	1.40	0.42	0.36	0.00	99
Bw3	72-96	62.00	49.40	10.60	0.40	0.41	0.00	98
C	96-150	32.00	18.90	10.90	0.46	0.40	0.00	96

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Suelo de la E.E.A-Illpa, Waru Waru Reciente

El suelo Waru Waru Reciente, está ubicado en una superficie llana, este suelo cubre 201.02 ha con un porcentaje del 49.89%, con una pendiente de 0-2 % es proveniente de un depósito aluvial, consta de 5 horizontes genéticos, de perfil Ap/Bw1/Bw2/C1/C2, tiene una profundidad efectiva de 137 cm, muestra un desarrollo genético leve, la textura es arcillo limosa hasta los 38 cm y arcillosa desde 38 a 68 cm, (Tabla 9), pertenece al régimen de temperatura y humedad (mésico y ústico), mostrándose un epipedón mollic y un endopedón cambic, con drenaje ineficiente, los colores de este suelo presentan desde pardo muy oscuro a pardo oscuro.

Tabla 9

Textura y propiedades físicas del suelo Waru Waru Reciente

Horizonte	Profundidad [Cm]	% de fracciones, tamaño de las fracciones en mm, (USDA)				Clase Textural	Da [Mg.m ⁻³]
		Gravas >2.0	Arena 2.0-0.05	Limo 0.02-0.002	Arcilla <0.002		
Ap	0 - 26	-	16	41	43	Ar.L.	1.33
Bw1	26 - 38	-	14	43	43	Ar.L.	1.42
Bw2	38 - 68	-	22	35	43	Ar.	1.22
C1	68 - 106	-	62	21	17	Fr.A.	1.34
C2	106 - 137	-	80	15	5	A.Fr.	1.45

Fuente: Adaptado del trabajo de tesis (p.54), por D.J. Nina, 2023

Las propiedades físicas y químicas, como se detallan en la (Tabla 10), indican que el suelo experimenta una transición de neutro a fuertemente alcalino en los tres últimos horizontes, con la presencia de carbonato de calcio en el cuarto horizonte de 3.12 %. En el horizonte 1 (Ap), se registra una proporción de materia orgánica de media (3.10 %), y la conductividad eléctrica (CE) de 0.14 (ds.m⁻¹). Además, se observa un nivel medio de fósforo disponible (7.05 mg.kg⁻¹) y un nivel alto de potasio disponible (508.27 mg.kg⁻¹). Estos resultados sugieren que la fertilidad del suelo se clasifica como media.

Tabla 10

Propiedades fisicoquímicas del suelo Waru Waru Reciente

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m ⁻¹]	CaCO ₃ [%]	M.O. [%]	P	K
						disponible [mg.kg ⁻¹]	Disponible
Ap	0 - 26	7.1	0.14	0.00	3.10	7.05	508.27
Bw1	26 - 38	7.6	0.22	0.00	2.00	2.75	469.17
Bw2	38 - 68	7.5	0.17	0.00	1.60	2.80	390.98
C1	68 - 106	8.4	0.46	3.12	0.20	0.45	273.68
C2	106 - 137	8.5	0.21	0.00	0.10	0.45	332.33

Nota: Adaptado del trabajo de tesis (p.54), por D.J. Nina, 2023

Las propiedades de sorción, según se detallan en la (Tabla 11) para el primer horizonte, muestran que la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es de

20.40 cmol(+).kg⁻¹, clasificándose como nivel medio, y con una saturación de bases (SB) alto.

Tabla 11

Características de sorción del suelo Waru Waru Reciente

Horizonte	Profundidad [cm]	CIC	Cationes cambiabiles					SB [%]
			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ +H ⁺	
Ap	0 - 26	20.40	12.20	6.70	0.55	0.26	0.00	97
Bw1	26 - 38	12.00	4.80	4.50	0.46	0.25	0.00	83
Bw2	38 - 68	36.50	24.30	10.70	0.48	0.44	0.00	98
C1	68 - 106	30.00	18.60	8.90	0.52	0.49	0.00	95
C2	106 - 137	18.20	10.90	5.90	0.42	0.31	0.00	96

Fuente: Adaptado del trabajo de tesis (p.54), por D.J. Nina, 2023

4.1.4. Suelo de la E.E.A-Ilpa, Peaje

El suelo Peaje, está ubicado en una superficie llana, este suelo cubre 19.89 ha con un porcentaje del 4.94%, con una pendiente de 0-2 % es proveniente de un depósito aluvial, consta de 6 horizontes genéticos, de perfil A/Bw1/Bw2/Bw3/Bw4/C, tiene una profundidad efectiva de 120 cm, presenta un ligero desarrollo genético, cuya textura es franco arenoso hasta los 31 cm, arcilloso de 31 a 44 cm y franco limoso desde los 44-56 cm, (Tabla 12), pertenece al régimen de temperatura y humedad (mésico y ústico), identificándose un epipedón mollic y un endopedón cambic, con buen drenaje, los colores de este suelo presentan desde gris muy oscuro a pardo oscuro.

Tabla 12

Textura y propiedades físicas del suelo Peaje

Horizonte	Profundidad [Cm]	% de fracciones, tamaño de las fracciones en mm, (USDA)				Clase Textural	Da [Mg.m ⁻³]
		Gravas >2.0	Arena 2.0-0.05	Limo 0.02-0.002	Arcilla <0.002		
A	0-31	-	22	43	35	Fr.A.	1.28
Bw1	31-44	-	18	37	45	Ar.	1.41
Bw2	44-56	-	20	77	3	Fr.L.	1.24
Bw3	56-72	-	19	62	19	Fr.L.	1.16
Bw4	72-110	-	30	41	29	Fr.Ar.	1.11
C	110-120		21	54	25	Fr.L.	1.16

Fuente: Elaboración propia.

Las características fisicoquímicas (Tabla 13), indican que el suelo es neutro a ligeramente alcalino y con presencia de carbonatos de calcio en el cuarto y quinto horizonte, con un rango de 0.31 a 0.66 %. La proporción de materia orgánica en el horizonte 1 es media con (2.9 %), y la cantidad de CE es 0.13 (ds.m⁻¹), el nivel de fósforo disponible se considera como baja (1.70 mg.kg⁻¹), y en cuanto al potasio disponible, se sitúa dentro del rango media (234.58 mg.kg⁻¹), en consecuencia, la fertilidad del suelo se considera de nivel baja.

Tabla 13

Propiedades físicas y químicas del suelo Peaje

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m ⁻¹]	CaCO ₃ [%]	M.O. [%]	P	K
						disponible [mg.kg ⁻¹]	disponible
A	0-31	6.7	0.13	0.00	2.90	1.70	234.58
Bw1	31-44	6.6	0.94	0.00	0.60	1.65	351.38
Bw2	44-56	7.2	0.03	0.00	0.10	0.50	215.03
Bw3	56-72	7.7	0.02	0.31	0.10	0.45	234.58
Bw4	72-110	8.3	1.16	0.66	0.10	0.80	215.03
C	110-120	7.8	0.98	0.00	0.10	0.90	410.52

Las propiedades de sorción (Tabla 14) en el primer horizonte presenta una CIC de 14.60 cmol(+).kg⁻¹ habiendo clasificado como baja, también observamos una saturación de bases (SB) alto.

Tabla 14

Características de sorción del suelo Peaje

Horizonte	Profundidad [cm]	CIC	Cationes cambiables					SB [%]
			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ +H ⁺	
cmol(+).kg ⁻¹								
A	0-31	14.60	7.40	4.40	0.51	0.19	0,00	86
Bw1	31-44	38.60	25.90	8.50	0.41	0.35	0,00	91
Bw2	44-56	52.00	37.60	10.80	0.43	0.36	0,00	95
Bw3	56-72	40.00	25.30	12.40	0.55	0.50	0,00	97
Bw4	72-110	34.40	20.00	12.80	0.51	0.47	0,00	98
C	110-120	30.60	15.00	12.90	0.49	0.46	0,00	94

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5. Suelo de la E.E.A-Illpa, Río

El suelo Río, está ubicado en una superficie plana cercano al río Illpa, este suelo cubre 35.46 ha con un porcentaje del 8.80%, con una pendiente de 0-2 % es proveniente de un depósito aluvial, consta de 4 horizontes genéticos, de perfil A/Bw/C/2C, tiene una profundidad efectiva de 120 cm, muestra un desarrollo genético leve, su textura es franca hasta 60 cm y arena de 60 a 120 cm, (Tabla 15), pertenece al régimen de temperatura y humedad (mésico y ústico), identificándose un epipedón mollic y un endopedón cambic, con drenaje imperfecto, los colores de este suelo presentan desde pardo oscuro a pardo grisáceo oscuro.

Tabla 15

Textura y propiedades físicas del suelo Río

Horizonte	Profundidad [Cm]	% de fracciones, tamaño de las fracciones en mm, (USDA)				Clase Textural	Da [Mg.m ⁻³]
		Gravas >2.0	Arena 2.0-0.05	Limo 0.02-0.002	Arcilla <0.002		
A	0-10	-	29	48	23	Fr.	1.36
Bw	10-35	-	29	48	23	Fr.	1.34
C	35-60	-	45	45	10	Fr.	1.46
2C	60-120	-	91	8	1	A.	1.38

Fuente: Adaptado del trabajo de tesis (p.55), por D.J. Nina, 2023

Las propiedades físicas y químicas, como se detallan en la (Tabla 16), indican que el suelo va desde ligeramente alcalina hasta fuertemente alcalina, con la presencia de carbonato de calcio en los tres primeros horizontes que oscila desde 1.05 a 1.80%. En el horizonte 1 (A), la cantidad de materia orgánica es bajo (1.9%), mientras que la conductividad eléctrica (CE) es de 0.12 (ds.m^{-1}). Respecto al fósforo disponible en este horizonte, se registra en el nivel bajo (0.60 mg.kg^{-1}), pero la cantidad de potasio disponible es alto ($312.78 \text{ mg.kg}^{-1}$). Por ende, se concluye que tiene baja fertilidad del suelo.

Tabla 16*Propiedades fisicoquímicas del suelo Río*

Horizonte	Profundidad [cm]	pH (1:1)	CE [ds.m^{-1}]	CaCO ₃ [%]	M.O. [%]	P	K
						disponible [mg.kg^{-1}]	disponible
A	0-10	7.5	0.12	1.05	1.9	0.60	312.78
Bw	10-35	8	0.15	1.80	0.7	0.15	332.33
C	35-60	8.5	0.21	1.10	0.2	0.05	547.37
2C	60-120	8.1	0.07	0.00	0.2	0.60	2.15.03

Fuente: Adaptado del trabajo de tesis (p.56), por D.J. Nina, 2023

Las propiedades de sorción, según se detallan en la (Tabla 17) para el primer horizonte, revelan una capacidad de intercambio catiónico (CIC) de 24.00 $\text{cmol}(+).\text{kg}^{-1}$, clasificándose como nivel medio, y con una saturación de bases alta.

Tabla 17*Características de sorción del suelo Río*

Horizonte	Profundidad [cm]	CIC	Cationes cambiables					SB [%]
			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ +H ⁺	
A	0-10	24.00	17.40	4.90	0.47	0.03	0.00	95
Bw	10-35	30.00	18.50	9.00	0.46	0.21	0.00	94
C	35-60	24.40	16.50	6.50	0.45	0.34	0.00	98
2C	60-120	4.20	2.00	0.40	0.53	0.13	0.00	73

Fuente: Adaptado del trabajo de tesis (p.56), por D.J. Nina, 2023



4.1.6. Clasificación de los suelos según la Soil Taxonomy y la WRB de la Estación Experimental Agraria Illpa – Puno

La Soil Taxonomy y la World Reference Base for Soil Resources (WRB) son sistemas de clasificación de suelos ampliamente utilizados en todo el mundo. Ambos comparten el objetivo fundamental de ofrecer un marco organizado para describir y categorizar los suelos. Mientras que la Soil Taxonomy, originaria de los Estados Unidos, fue inicialmente diseñada para abordar las características de los suelos en ese país, ha sido adaptada y adoptada en varias naciones de América del Norte y Sudamérica. En contraste, la WRB, desarrollada por la Unión Internacional de Ciencias del Suelo (IUSS), tiene un enfoque más global y menos detallado, lo que la hace más flexible y adecuada para su implementación en diversas condiciones y regiones del mundo.

Las siguientes tablas ofrecen la clasificación de suelos según el sistema Soil Taxonomy del USDA, y su correlación con el sistema WRB (World Reference Base for Soil Resources) de la IUSS. Además, proporcionan información sobre las características generales de los suelos.

4.1.6.2. Clasificación natural de suelos según Soil Taxonomy

Tabla 18

Clasificación de los suelos según la Soil Taxonomy

SOIL TAXONOMY (2022)					
Orden	Sub orden	Grandes grupos	Sub grupo	Familia	Suelo
Mollisols	Ustolls	Haplustolls	Typic Haplustolls	Arcillosa (fina), Typic Haplustolls	Carretera Profundo
			Fluentic Haplustolls	Francosa fina Typic Haplustolls	Peaje
			Typic Haplustepts	Francosa gruesa Fluentic Haplustolls	Waru Waru Reciente
Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Typic Haplustepts	Francosa (fina) Typic Haplustepts	Waru Waru Antiguo
			Fluentic Haplustepts	Francosa gruesa Fluentic Haplustepts	Río

Fuente: Elaboración propia.

Según el Soil Taxonomy Soil Survery Staff (2022), los suelos Carretera Profundo, Peaje y Waru Waru Reciente, se clasificaron en el Orden Mollisols, y muestran un epipedón mollic. Además, en los tres tipos de suelo, el Suborden se clasificó como Ustolls, con un régimen de humedad ústico. En cuanto a Grandes Grupos, todas fueron designados como Haplustolls (Otros Haplustolls). En la categoría de Sub grupo, el suelo Carretera Profundo y Peaje se clasificaron como Typic Haplustolls y el suelo Waru Waru Reciente se clasificó como Fluentic Haplustolls, destacando la característica de una pendiente por debajo al 25 % y el material parental proveniente del depósito aluvial. El suelo Carretera Profundo, en el ámbito de familia se clasificó como Arcillosa fina Typic



Haplustolls, el suelo Peaje como Francosa fina Typic Haplustolls, por último, el suelo Waru Waru Reciente en el ámbito de familia se clasificó como Franca gruesa Fluventic Haplustolls.

Para la clasificación de los suelos Waru Waru Antiguo y Río se determinó como Orden Inceptisols, específicamente con un horizonte Cambic a una profundidad de hasta 100 cm y un epipedón Ocric. En cuanto al Suborden, se clasificó como Ustepts, con características de Régimen de humedad Ústico. Para los Grandes Grupos, se identificó como Haplustepts (Otros Ustepts), en el nivel de Sub Grupo, el suelo Waru Waru Antiguo se clasificó como Typic Haplustepts y el suelo Río se clasificó como Fluventic Haplustepts, con la característica adicional de desarrollarse en pendientes menores al 25% y originarse a partir de depósitos aluviales. Finalmente, a nivel de Familia, el suelo Waru Waru Antiguo se clasificó como Francosa fina Typic Haplustepts y Río como Franca gruesa, Fluventic Haplustepts.

ONERN (1985) realizó estudios semidetallados de suelos en Coata – Puno, donde clasifica los suelos mediante la Soil Taxonomy USDA (1975), se encontraba a una altura de 3814 m.s.n.m. tenía una pendiente de 2-4%, el tipo de depósito aluvial por lo tanto determinaron que pertenece a un Haplustol fluvéntico. Estas características son muy similares al suelo de Illpa – Waru Waru reciente, que al clasificar por la WRB se determinó que es un Fluventic Haplustolls, tiene una pendiente de 0-2%, se encuentra a una altura de 3828 m.s.n.m. la vegetación de ambos suelos terreno en descanso.

En estudios pasados por la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales en la comunidad de Ichu – Puno, se clasificó los suelos como Haplustol fluvéntico perteneciendo al orden Mollisol (ONERN, 1985). Esta investigación es similar a la clasificación obtenida en el suelo Illpa – Waru Waru Reciente.

A través de una investigación en el año 1984 la ONERN, clasifica los suelos de Illpa como Haplustol (Gran grupo), identificó un epipedón Móllico y un endopedón Cámbico a través de la Soil Taxonomy, esta investigación tiene similitud con el trabajo actual que se ejecutó en suelos de la Estación Experimental Agraria Illpa del INIA (ONERN, 1984).

4.1.6.2. Clasificación natural de suelos según la WRB

Tabla 19

Clasificación de suelos según la WRB

BASE REFERENCIAL MUNDIAL – WRB (2022)				
Grupo de Suelos de Referencia (GSR)	Calificadores principales	Calificadores suplementarios	Clasificación WRB	Suelo
Phaeozems	Someric, Cambic	Loamic, Humic	Someric Cambic Phaeozems (Epiloamic, Humic)	Carretera Profundo
		Siltic, Humic	Someric Cambic Phaeozems (Siltic, Humic)	Peaje
	Fluvic, Cambic	Clayic, Humic	Fluvic Cambic Phaeozems (Clayic, Humic)	Waru Waru Reciente
Cambisols	Eutric	Siltic, Humic	Eutric Cambisols (Siltic, Humic)	Waru Waru Antiguo
	Fluvic, Cambic, Eutric	Epiloamic, Endoarenic	Fluvic Eutric Cambisols (Endoarenic, Epiloamic)	Río

Fuente: Elaboración propia.



De acuerdo a la clasificación de la Base Referencial Mundial WRB (IUSS, 2022), para llevar a cabo este procedimiento, se ejecutó lo siguiente; primero, identificar horizontes, características y materiales de diagnóstico; como segundo paso designar al Suelo un Grupo de Suelo de Referencia y, finalmente, asignar calificadores, tanto principales como suplementarios.

Para los suelos Illpa – Carretera Profundo, Peaje, Waru Waru Reciente se clasificó como Phaeozems en el Grupo de Suelo de Referencia debido a la presencia de un Horizonte Móllico, caracterizado por su tonalidad oscura en la superficie (primer horizonte).

Para los suelos Illpa – Carretera Profundo y Peaje, se designaron como Calificadores Principales los términos Someric y Cambic, indicando la presencia de un Horizonte móllico de < 20 cm de espesor y un Horizonte Cambic. En cuanto a los Calificadores Suplementarios, se clasificó como Clayic y Humic en Carretera Profundo indicando su clase textural como franco arcilloso limoso, Siltic y Humic en suelo Peaje que indica la clase textural como franco limoso, ambos con más del 1% de carbono orgánico. En consecuencia, la clasificación final para el suelo Carretera Profundo según la WRB es Someric Cambic Phaeozems (Epiloamic, Humic) y para el suelo Illpa Peaje es Someric Cambic Phaeozems (Siltic, Humic). Para el suelo Waru Waru Reciente se le asignaron como calificadores principales los términos Fluvic y Cambic indicando la presencia de un horizonte Fúlvico que empieza por debajo de los 0.30 metros de la superficie del suelo y un horizonte Cámbico, en cuanto a los calificadores suplementarios, se clasificaron como Clayic y Humic, indicando una clase



textural arcillo limoso y arcillosa, con más del 1% de CO, finalmente su clasificación final fue Fluvic Cambic Phaeozems (Clayic, Humic).

Para los Waru Waru Antiguo y Río, se designaron el Grupo de Suelo de Referencia como Cambisols, indicando su moderado desarrollo. En cuanto a calificadores principales para el suelo de Illpa – Waru Waru Antiguo se clasificó como Eutric y para el suelo Río, se clasificó como Fluvic, Cambic, Eutric, señalando la presencia de horizontes Fúlvico y Cámbico, con un pH superior a 5.5. En los calificadores suplementarios, se categorizó como Epiloamic y Endoarenic, indicando la existencia de un horizonte con límite inferior a menos de 50 cm de la superficie y otro que comienza a más de 50 cm de profundidad, con presencia de arena y una clase textural arenosa, para el suelo Waru Waru Antiguo se categorizó como Siltic, Humic, indicando que tiene una textura de franco limoso. Finalmente, la clasificación final según la WRB para el suelo Waru Waru Antiguo es Eutric Cambisols (Siltic, Humic) y para el suelo Río es Fluvic Eutric Cambisols (Endoarenic, Epiloamic).

ONERN (1985) en la evaluación semidetallada de recursos del suelo realizado en la provincia de Puno del distrito de Platería clasificó mediante la WRB, encontrándose un suelo cámbico eutrítico, este suelo estuvo situado en la pendiente de 4%, una altitud de 3817 m.s.n.m. zona de vida Bosque húmedo-Montano Subtropical (bh-MS) con pH de 8.5, con colores de pardo a pardo oscuro, muy similares a los suelos de Illpa – Río que tiene un pH de 8.1 moderadamente alcalino pendiente 0-2% y se encuentra a una altura 3820 m.s.n.m. también ambos suelos pertenecen a la misma zona de vida y son Cambic Eutric.

4.2. EVALUAR LA CALIDAD DE LOS SUELOS A PARTIR DE LA MATERIA ORGÁNICA

En el marco de este análisis se consideró el primer horizonte de cada tipo de suelo (Epipedón), la cuantificación del carbono orgánico (CO) total y en las fracciones húmicas (AH, AF y Hna), fue establecido a través de la combustión húmeda utilizando el método de Walkley y Black (1934). Para lo cual se consideró 5 tipos de suelo de la Estación Experimental Agraria Illpa. Tales como; Carretera profundo, Waru Waru Antiguo, Waru Waru Reciente, Peaje y Río. Los resultados del fraccionamiento del ácido húmico, fúlvico y Humina se mostrará en la siguiente tabla (Tabla 20).

Tabla 20

Resultados de la cuantificación del carbono orgánico

Suelos	% (AH)	% (AF)	% (Hna)	% IH	Grado de calidad
Carretera Profundo	0.90	0.90	3.30	1.83	Media
Waru Waru Antiguo	1.13	1.88	3.38	1.13	Media
Waru Waru Reciente	1.50	0.90	2.70	1.13	Media
Peaje	1.50	1.20	2.10	0.78	Buena
Río	0.94	0.38	1.13	0.86	Buena

AH: Ácido Húmico, AF: Ácido Fúlvico, Hna: Humina, IH: Índice de humificación

Los suelos Peaje y Río resultaron ser de buena calidad, este alto grado de humificación se debe a que estos suelos son poco recorridos, son suelos donde no intervino la actividad humana (agricultura, perturbaciones, ganadería), también se encuentra aislada de la urbanización o simplemente son terrenos en descanso.

Los suelos Carretera Profundo, Waru Waru Antiguo y Waru Waru Reciente resultaron ser de calidad media, este grado de humificación media se debe a que son



altamente intervenidos por la actividad humana (antrópico), la agricultura intensiva, prácticas de quema, constante pastoreo de animales, mecanización agrícola, entre otros. También resaltamos que en suelo Waru Waru Antiguo, se encontró acumulación y encharcamiento de agua.

Salazar *et al.* (2013) llevaron a cabo evaluaciones de uso del suelo en suelos Andisoles de Colombia, abarcando cinco tipos distintos de vegetación. Se caracterizaron estos suelos mediante análisis de propiedades químicas y físicas, como CIC, pH, % CO y Da, así como la estabilidad de agregados. Las sustancias húmicas se obtuvieron utilizando pirofosfato e hidróxido de sodio 0.1N, del fraccionamiento de los ácidos húmicos y fúlvicos mediante analíticas y espectroscópicas. El contenido de materia orgánica humificada superó al de la materia orgánica fresca. La extracción de sustancias húmicas mostró variaciones según el uso del suelo, destacando la predominancia de huminas en comparación con las sustancias húmicas extraíbles, similares a los resultados obtenidos en la investigación.

González *et al.* (2008) llevaron a cabo fraccionamientos de la materia orgánica, reconociendo que es un indicador para la productividad del suelo, la cuantificación del carbono de ácidos húmicos (AH) y ácidos fúlvicos (AF) se realizó en cafetales en Caldas, los cuales presentaban contrastes en su material parental, las muestras fueron recolectadas de Chinchiná (formación de cenizas volcánicas), Guamal (sedimentaria), Tablazo (roca metamórfica), Maiba (formación ígnea), también se tomaron muestras en 40 plantaciones de café. los ácidos húmicos (AH) y fúlvicos (AF) fueron aislados y purificados utilizando el método de la Sociedad Internacional de Sustancias Húmicas. No se observaron diferencias significativas en el contenido de carbono de los AH entre las unidades de suelo. La concentración de carbono en los AF fue uniforme entre ellos, representando el 10.2% del carbono de los AH. En relación con el trabajo actual, los



suelos Carretera profunda y peaje mostraron similitud en cuanto al AH, ambos con un 1.50%, y en cuanto al AF, los suelos Carretera Profundo y Waru Waru Reciente no presentaron diferencias, ambos con un 0.90%.

Cabrales *et al*, (2011) llevaron a cabo el fraccionamiento químico de la materia orgánica en tres tipos de suelos en Venezuela, tomaron muestras a una profundidad de 20 centímetros en tres áreas: cultivos de durazno, fresa y bosque. La fracción de la materia orgánica, compuesta por ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y sustancias no húmicas (NH), se llevó a cabo mediante el método de oxidación en húmedo de Walkley y Black. Por lo tanto, la metodología empleada en la extracción y subdivisión de la materia orgánica fue consistente con el método utilizado en la tesis de investigación.

4.3. EVALUAR LA COMPACTACIÓN DE SUELOS AGRÍCOLAS SEGÚN EL USO ACTUAL DE TIERRAS

Para este objetivo se usó del instrumento del penetrómetro de cono modelo AG081807, para determinar la resistencia del suelo a la penetración, para ello se consideró el mapa de suelos y el mapa de Uso Actual de Tierras, para el registro de los puntos de compactación.



Tabla 21

Uso Actual de Tierras de acuerdo al sistema de clasificación de la Unión Geográfica

Internacional

CATEGORÍA Y CLASE DE USO	EEA ILLPA-INIA	
	ha	%
<u>1.Terrenos Urbanos y/o Instalaciones Gubernamentales</u>	6.25	1.56
1a. Estación Experimental Illpa	1.22	0.31
1b. Almacenes	1.76	0.44
1c. Cabañas	1.40	0.35
1d. Establo	1.46	0.36
1e. Corral	0.40	0.10
<u>3. Terrenos con Cultivos Permanentes</u>	58.73	14.70
3a. Terrenos con cultivos de alfalfa	58.73	14.70
<u>4. Terrenos con cultivos extensos</u>	26.99	6.75
4a. Terrenos con cultivos de avena	20.21	5.05
4b. Terrenos con cultivos de cañihua	4.27	1.07
4c. Terrenos con cultivos de quinua	2.50	0.63
<u>6. Terrenos con Praderas Naturales</u>	250.74	62.69
6a. Terreno con pasto natural cebadilla	11.49	2.87
6b. Terreno con pasto natural chiji	18.64	4.66
6c. Terreno con pasto natural chillihua	45.73	11.43
6d. Terreno con pasto natural mufa	5.99	1.50
6e. Terreno con pasto natural pega pega	18.63	4.66
6f. Terreno con pasto natural cebadilla/alfalfa	1.64	0.41
6g. Terreno con pasto natural cebadilla/cola de zorro	27.80	6.95
6h. Terreno con pasto natural chicchipa/pega pega	6.41	1.60
6i. Terreno con pasto natural chiji/cebadilla	8.89	2.22
6j. Terreno con pasto natural chiji/ cola de zorro	8.48	2.12
6k. Terreno con pasto natural chiji/ichu	34.36	8.59
6l. Terreno con pasto natural chiji/pega pega	48.65	12.16
6m. Terreno con pasto natural asociado a varias especies naturales	14.03	3.51
<u>9. Terrenos Sin Uso y/o Improductivos</u>	57.23	14.31
9a. Caminos	28.38	7.10
9b. Parcela de investigación	0.49	0.12
9c. Terreno agrícola en descanso	9.15	2.29
9d. Terreno en barbecho	15.69	3.92
9e. Pozas para ensilado	0.35	0.09
9f. Otras parcelas	3.16	0.79
TOTAL	402.94	100.00

Fuente: (ONERN, 1985) (p.68)

Tabla 22*Grado de compactación en el suelo Carretera Profundo*

Clase	Simbología	Número de pruebas	PSI	Grado de compactación
Terrenos con cultivos de alfalfa	3a	6	248	Compacto
Terrenos con cultivos de avena	4a	5	244	Compacto
Terrenos con cultivos de cañihua	4b	2	260	Compacto
Terrenos con cultivos de quinua	4c	2	246	Compacto
Terrenos con pasto natural cebadilla	6a	2	310	Muy compacto
Terrenos con pasto natural cebadilla/cola de zorro	6g	2	275	Compacto
Parcelas de investigación	9b	2	245	Compacto
Terrenos en barbecho	9d	2	190	No compacto
Parcela	9f	2	275	Compacto

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23*Grado de compactación en el suelo Waru Waru Antiguo*

Clase	Simb.	Número de pruebas	PSI	Grado de compactación
Terrenos con cultivos de avena	4a	2	250	Compacto
Terrenos con pasto natural pega pega	6e	6	290	Compacto
Terrenos con pasto natural cebadilla/alfalfa	6g	3	278	Compacto
Terrenos con pasto natural chicchipa/pega pega	6h	2	315	Muy compacto
Terrenos con pasto natural chiji/cebadilla	6i	5	308	Muy compacto
Terrenos con pasto natural chiji/cola de zorro	6j	2	250	Compacto
Terreno con pasto natural chiji/pega pega	6l	5	268	Compacto

Tabla 24*Grado de compactación en el suelo Waru Waru Reciente*

Clase	Simbología	Número de pruebas	PSI	Grado de compactación
Terrenos con cultivos de alfalfa	3a	9	293	Compacto
Terrenos con cultivos de avena	4a	4	245	Compacto
Terrenos con cultivos de cañihua	4b	3	244	Compacto
Terrenos con cultivos de quinua	4c	8	258	Compacto
Terrenos con pasto natural cebadilla	6a	6	306	Muy compacto
Terrenos con pasto natural chillihua	6c	14	320	Muy compacto
Terreno con pasto natural mufa	6d	4	311	Muy compacto
Terreno con pasto natural pega pega	6e	3	312	Muy compacto
Terreno con pasto natural cebadilla/alfalfa	6f	3	301	Muy compacto
Terreno con pasto natural cebadilla/cola de zorro	6g	2	260	Compacto
Terreno con pasto natural chicchipa/pega pega	6h	4	313	Muy compacto
Terreno con pasto natural chiji/cola de zorro	6j	3	277	Compacto
Terreno con pasto natural chiji/ichu	6k	5	311	Muy compacto
Terreno con pasto natural chiji/pega pega	6l	4	302	Muy compacto
Terreno con pasto natural asociado a varias especies naturales	6m	4	295	Compacto
Terreno agrícola en descanso	9c	2	244	Compacto
Terreno en barbecho	9d	5	180	No compacto
Otras parcelas	9f	2	280	Compacto

Tabla 25*Grado de compactación en el suelo Peaje*

Clase	Simbología	Número de pruebas	PSI	Grado de compactación
Terreno con pasto natural chiji/pega pega	6l	4	295	Compacto
Terreno con pasto natural cebadilla/cola de zorro	6g	3	258	Compacto
Terreno con pasto natural cebadilla	6b	5	276	Compacto

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26*Grado de compactación en el suelo Río*

Clase	Simbología	Número de pruebas	PSI	Grado de compactación
Terreno con pasto natural asociado a varias especies naturales	6m	2	313	Muy compacto
Terrenos con cultivos de avena	4a	3	245	Compacto
Terreno con pasto natural chiji/ichu	6k	6	264	Compacto
Terreno con pasto natural pega pega	6e	2	298	Compacto
Terreno con pasto natural cebadilla/cola de zorro	6g	2	290	Compacto

Fuente: Elaboración propia.

Los grados de compactación se realizaron en los suelos Carretera Profundo de clasificación Arcillosa (fina) Typic Haplustolls donde, los terrenos con pasto natural cebadilla resultaron muy compactos, terrenos con cultivos de alfalfa, avena, cañihua y



quinua compactos y no compactos los terrenos en barbecho. En el suelo Waru Waru Antiguo de clasificación Francosa (fina) Typic Haplustepts donde los terrenos con pasto natural chichipa/pega pega y chiji/cebadilla fueron muy compactos, terrenos con cultivos de avena, pasto natural pega pega y cebadilla/alfalfa resultaron compactos. En el suelo Waru Waru Reciente Franca (gruesa) Fluventic Haplustolls de acuerdo al grado de compactación los terrenos muy compactos fueron; pasto natural cebadilla, chillihua, pega pega entre los más resaltantes, los terrenos con cultivos de alfalfa, avena, cañihua, quinua y terrenos agrícolas en descanso compactos, por último, el terreno en barbecho fue no compacto. En el suelo Peaje Francosa (fina) Typic Haplustolls los terrenos con pasto natural chiji/pega pega, cebadilla/cola de zorro y cebadilla fueron compactos de acuerdo al grado de compactación. Finalmente el suelo Río de clasificación Franca (gruesa) Fluventic Haplustepts el terreno con pasto natural asociado a varias especies naturales fue muy compacto y los terrenos con cultivos de avena, con pasto natural de especies chiji/ichu, pega pega y cebadilla/cola de zorro compactos.

Gutiérrez *et al.* (2012) llevaron a cabo pruebas de compactación en suelos agrícolas del tipo Vertisol, revelaron que el nivel de compactación inducido en los campos de cultivo está significativamente influenciado por la circulación de tractores y maquinaria agrícola. En mayoría de casos, la compactación del suelo incrementa, lo que conlleva a una resistencia mecánica que obstaculiza la infiltración del agua y el desarrollo de raíces, además de causar cambios en la densidad aparente y reducción del espacio poroso. Sin embargo, los resultados de esta investigación coinciden con la investigación actual, por que muestran que los suelos agrícolas como avena, alfalfa son compactos. Por otro lado, los suelos con pasto natural exhibieron una mayor compactación que los suelos agrícolas.



V. CONCLUSIONES

- Los cinco suelos identificados en la EEA Illpa, muestra una diferencia en cuanto a sus características físicas, químicas y taxonómicas a nivel de familia, clasificándose que: el suelo Carretera Profundo presenta una clase textural arcillosa fina, mientras que el suelo Peaje presenta una clase textural francosa fina, seguidamente el suelo Waru Waru Reciente presenta una clase textural franca gruesa, estos tres suelos se clasificaron como suelos del orden Mollisol (Soil Taxonomy) y Phaeozem (WRB). Además, los suelos Waru Waru Antiguo y Río presentan un desarrollo pedogenético incipiente con clase textural francosa fina y gruesa, ambos se clasificaron como suelos del orden Inceptisol (Soil Taxonomy) y Cambisol (WRB).
- En la evaluación de la calidad de los suelos a partir de la materia orgánica mostró que los suelos Peaje y Río fueron clasificados como calidad buena, mientras que los suelos Carretera Profundo, Waru Waru Antiguo y Waru Waru Reciente fueron clasificados de calidad media debido a la actividad agrícola.
- De acuerdo a la evaluación de compactación de suelos según el uso actual de tierras, los terrenos con praderas naturales presentaron una compactación alta ($PSI > 300$), siendo una restricción para el desarrollo de las raíces. Mientras que los terrenos con cultivos agrícolas y en barbecho presentaron una compactación media a baja ($PSI < 300$).



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar la planificación agrícola de acuerdo a la cartografía de suelos obtenidos en el estudio de investigación, teniendo en cuenta las aptitudes que se muestran en la clasificación taxonómica de suelos.
- Con los resultados obtenidos de la calidad de la materia orgánica de los suelos, se recomienda realizar la rotación de cultivos y aporte de enmiendas orgánicas altamente despuesto en los suelos Carretera Profundo, Waru Waru Antiguo y Waru Waru Reciente.
- Finalmente, en los terrenos con compactación media a alta se recomienda el uso de la práctica del subsolado para mejorar el desarrollo radicular de los cultivos.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arriaga, F. (2015). *University of Wisconsin-Madison, Soil Science*.
- Barrera, J., Barrezueta, S., & García, R. (2020). Evaluation of Soil Quality Indices of Different Crops Under Different Topographic Con-. *Revista Metropolitana De Ciencias Aplicadas*, 183–190.
- Bravo, R. I. (2016). *Química de la materia orgánica de andisoles altoandinos en Colombia* (primera ed.). (L. G. E., Ed.) Popayán, Colombia, Colombia: 2016.
- Becerra, C. M., Madero, E. M., Herrera, O. G., & Amézquita, E. A. (2005). *Space Characterization of the Compaction in Agricultural Lands of Ciat Colombia*. 33–37.
- Buol, S. W., Hole, F. D., & McCracken, R. J. (2013). *Scribd.Vdownloaders.Com_Buol-Genesis-Y-Clasificacion-De-Suelos*. 2, 417.
- Cabrera, E. M., Ferrer, J., & Hernández, R. M. (2011). *Tres Suelos De La Colonia Tovar - Venezuela Chemical Fractionation of Organic Matter Three Soil in Colonia Tovar - Venezuela*.
- Cantú, M. P., Becker, A., Bedano, J. C., & Schiavo, H. F. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ciencia Del Suelo*, 25(2), 173–178.
- Coleman, C. J. (2017). *Fundamentos de la ecología del suelo. prensa academica*.
- Duval, M., Galantini, J. A., Martínez, J. M., López, F. M., & Wall, L. G. (2015). Evaluación de la calidad física de los suelos de la región pampeana: efecto de las prácticas de manejo. *Ciencias Agronómicas* -, XXV(15), 033–043. <http://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/11587>
- Fitzpatrick, E. A. (2006). Factors of soil formation: Time. In *Soils: Basic Concepts and Future Challenges* (Vol. 9780521851). <https://doi.org/10.1017/CBO9780511535802.014>
- Gallardo, J. F. (2016). LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO *Residuos orgánicos, humus, compostaje y captura de carbono* (Vol. 1). Salamanca ESPAÑA.



- García-Silva, R., Espinosa-Victoria, D., Figueroa-Sandoval, B., García-Calderón, N. E., & Gallardo-Lancho, J. F. (2006). Soil Organic Carbon and Humic Fraction Stocks in a Vertisol under Non-tillage Management. *Terra Latinoamericana*, 24(2), 241–251.
- González-Osorio, H., Siavosh Sadeghian-Khalajabadi, :, Raúl, :, Zapata-Hernández, D., & Mejía-Muñoz, B. (2008). *Fraccionamiento De La Materia Orgánica En Suelos De La Zona Cafetera De Caldas*. 59(4), 310–320. [https://www.cenicafe.org/es/publications/arc059\(04\)310-320.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc059(04)310-320.pdf)
- Gutiérrez-Rodríguez, González-Huerta, Pérez-López, Franco-Mora, Morales-Rosales, Saldívar-Iglesias, & Martínez-Rueda. (2012). Compactación Inducida por el Rodaje de Tractores Agrícolas en un Vertisol. *Compaction Induced by Breaking of Agricultural Tractors in Vertisol. Terra Latinoamericana*, 30(1), 1–7.
- Hernández, O., Ojeda, D., López, J., & Arras, A. (2010). Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. *Vocero.Uach.Mx*, 1(Mexico), 2–3. <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/719>
- Herrera, A. T. (2010). *SUELOS: Con Énfasis del Altiplano (primera ed.)*. Puno, Puno, Perú.
- Herrera, M., Iglesias, C. E., Lara, D., González, O., & López, E. (2011). Desarrollo de un sensor para la medición continua de la compactación del suelo. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(1), 6–11.
- IUSS, S. S. I. U. of. (2022). *World Reference Base for Soil Resources (IUSS Working Group WRB (ed.); 4th editio)*.
- JARAMILLO, D. F. J. (2014). Ciencia, L A Suelo, D E L Génesis, L A Suelo, D E L Propiedades, L A S Del, Macromorfológicas Propiedades, L A S Del, Físicas. *In libro*.
- Jaurixje, M., Torres, D., Mendoza, B., Henríquez, M., & Contreras, J. (2013). Propiedades Físicas y Químicas del Suelo y Su Relación con la Actividad Biológica Bajo Diferentes Manejos en la Zona de Quíbor, Estado Lara. *Bioagro*, 25(1), 47–56.



- M.R.CARTER, E.G., & GREGORICH. (1997). *Soil Quality FOR CROP PRODUCTION AND ECOSYSTEM HEALTH* (Issue july).
- Mata, P. J. R. (2014). *Evaluación de la calidad de los suelos y desarrollo de un plan de manejo de los terrenos de San Nicolás, Terencio Reyes y Elvin Santos de Zamorano, Honduras.* 47.
<https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/3516/1/CPA-2014-072.pdf>
- Navarrete Segueda, A., Vela Correa, G., Lopez, J., & Rodriguez, M. D. L. (2011). Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. *ContactoS*, 80, 29–37.
- NINA, D. J. M. (2023). CARACTERIZACIÓN, CLASIFICACIÓN Y ELABORACIÓN DE MONOLITOS DE SUELOS EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA ILLPA – INIA, REGIÓN PUNO. In *Tesis*.
http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza_Mamani_Joel_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Novillo, I., Carrillo, M., Cargua, J., & Moreira, V. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas. *Temas Agrarios*, 23(2), 177–187.
- NRCS-USDA. (2000). *MANUAL DE CONSERVACIÓN DE RECURSOS NATURALES* (Vol. 01).
- ONERN. (1984). *Evaluación e Integración de los Recursos Naturales de la Micro Región Puno.*
- ONERN. (1985). *Evaluación semidetallada de los Recursos Naturales de Suelos, Uso Actual De La Tierra E Hidrología De La Micro-Región Puno. 1*, 227.
- Parkin, & Duran. (1995). *Defining Soil Quality for* (Issue 35).
- Porta, C. J., Marta Acevedo, R., & Poch Claret, R. (2014). *Introducción a la edafología: uso y protección del suelo.* (Issue May).
- S. Álvarez, M. A. S., & Gómez, J. A. (2007). *EVALUACIÓN DEL ESTADO DEL SUELO EN OLIVARES ECOLÓGICOS DE MONTAÑA EN SIERRA MORENA* S. Álvarez. *VIII*, 203–210.



- Salazar, J. C. M., Flores, J. C. M., & Del Socorro Bravo Realpe, I. (2013). Fraccionamiento y cuantificación de la materia orgánica en andisoles bajo diferentes sistemas de producción. *Acta Agronomica*, 62(4), 333–343.
- Salvatierra, W. (2006). *Diseño de investigación no experimental*. https://files.uladech.edu.pe/docente/43342417/Psicologia_experimental/sesión_9/sesión_9.pdf
- Sardon, S. (2019). *Factores morfoclimáticos favorables para la preservación del carbono orgánico humificado en suelos de montaña, San Rafael (Perú)*. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/75591/118797483.2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- SENAMHI. (2023). *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú*.
- Soil Survery Staff. (2014). Claves para la Taxonomía de Suelos United States Department of Agriculture (USDA) y Natural Resources Conservation Service (NRCS). *Mdp.Edu.Ar*, 339. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf %0Ahttp://www.mdp.edu.ar/agrarias/grado/723_Genesis/archivos/Taxonomia_Suelos_2010.pdf
- Willians J. Reyes. (2010). *EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA COMPACTACIÓN EN CUATRO SERIES DE SUELO BAJO USO AGRÍCOLA EN VENEZUELA*.
- Zapata., H.-R. D. (2009). El compostaje y los índices para evaluar su estabilidad. *Materia Orgánica Biología Del Suelo y Productividad Agrícola: Segundo Seminario Regional Comité Regional Eje Cafetero*, 33–42. https://doi.org/10.38141/10791/0003_2



ANEXOS

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELO CARRETERA PROFUNDO

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Lugar	: Sede Estación Experimental Agraria Illpa – INIA
Distrito	: Paucarcolla
Provincia	: Puno
Departamento	: Puno
Ubicación geográfica	: 15°41'02.78" Latitud Sur, 70°04'24.80" Longitud oeste UTM Zona 19S, Este: 0384954, Norte: 8265715
Altitud	: 3834 m.s.n.m.
Suelo	: Illpa Carretera Profundo Soil Taxonomy (2022): Arcillosa fina Typic Haplustolls.
Clasificación natural	: WRB (2022): Someric Cambic Phaeozems (Epiloamic, Humic)
Material parental	: Aluvial
Paisaje	: Llanura
Unidad geomorfológica	: Superficie llana
Pendiente	: 0 - 2 %
Vegetación	: Cultivo de avena
Pedregosidad superficial	: Libre
Zona de vida	: Bosque húmedo - Montano Subtropical (bh-MS)
Descrito y elaborado por	: Richard Peley Moya Sucari.

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DEL SUELO

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0 - 20	Franco arcillo limoso; negro pardusco (10YR 2/2), en húmedo; granular, medio, moderada; muy firme; moderadamente ácido (pH 5.9); contenido de materia orgánica de 2.7%; raíces muy finas, pocas. Límite de horizonte difuso, suave al
BA	20 - 38	Franco arcillo limoso; pardusco (10YR 2/2), en húmedo; bloques sub angulares, moderada/granular, media, moderada; friable; neutro (pH 7.0); contenido de materia orgánica de 1.5%; raíces medio, pocas. Límite de horizonte difuso, suave al
Bw1	38 - 66	Franco limoso; negro (7.5YR 2.5/1), en húmedo bloques sub angulares, moderada; friable; ligeramente alcalino (pH 7.5); contenido de materia orgánica (1.3%); raíces medio pocas. Límite de horizonte claro, suave al
Bw2	66-112	Arcilla; negro (10YR 2/1), en húmedo, bloque angular, fuerte; firme; ligeramente alcalino (pH 7.8); contenido de materia orgánica (1.5%); raíces finas, pocas. Límite de horizonte abrupto, ondulado al
C	112-123	Franco arcillo arenoso; pardo oscuro (7.5YR 3/2), en húmedo; masivo; friable; fuertemente alcalino (pH 8.2); contenido de materia orgánica (0.1%).



DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELO WARU WARU ANTIGUO CARACTERÍSTICAS GENERALES

Lugar	: Sede Estación Experimental Agraria Illpa – INIA
Distrito	: Paucarcolla
Provincia	: Puno
Departamento	: Puno
Ubicación geográfica	: 15°41'38.38" Latitud Sur, 70°4'5479" Longitud oeste UTM Zona 19S, Este: 0383976, Norte: 8264862
Altitud	: 3824 m.s.n.m.
Suelo	: Illpa Waru Waru Antiguo
Clasificación natural	Soil Taxonomy (2022): Francosa fina Typic Haplustepts. WRB (2022): Eutric Cambisols (Siltic, Humic)
Material parental	: Aluvial
Paisaje	: Llanura
Unidad geomorfológica	: Superficie llana
Pendiente	: 0 - 2 %
Vegetación	: Pastizal en descanso Waru Waru
Pedregosidad superficial	: Libre
Zona de vida	: Bosque húmedo - Montano Subtropical (bh-MS)
Descrito y elaborado por	: Richard Peley Moya Sucari.

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DEL SUELO

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-14	Franco limoso; pardo oscuro (7.5YR 3/2), en húmedo; bloques, medio, moderado; duro; neutro (pH 7.1); contenido de materia orgánica de 4.7%; raíces finas, medias, gruesas, comunes. Límite de horizonte difuso, suave al
Bw1	14-47	Franco arcilloso; pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2), en húmedo; bloques subangulares, moderada; firme; ligeramente alcalina (pH 7.5); contenido de materia orgánica de 0.3%; raíces medias, pocas. Límite de horizonte claro, suave al
Bw2	47-72	Franco limoso; pardo rojizo (5YR 4/3) en un 90% y blanco (W 9.5/N) en un 10 %, ambos en húmedo, bloques subangulares, moderada; muy friable; ligeramente alcalino (pH 7.5); contenido de materia orgánica (0.3%); raíces medias, pocas. Límite de horizonte claro, suave al
Bw3	72-96	Franco limoso; pardo rojizo (5YR 4/3), en húmedo, bloques subangulares; fuerte; ligeramente alcalino (pH 7.7); contenido de materia orgánica (0.2%); raíces medias, pocas. Límite de horizonte difuso, suave al
C	96-150	Limoso; pardo (7.5 YR 5/4), en húmedo, masivo; muy friable; ligeramente alcalino (pH=7.6); contenido de materia orgánica (0.4%); raíces medias, pocas al



DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELO WARU WARU RECIENTE

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Lugar	: Sede Estación Experimental Agraria Illpa – INIA
Distrito	: Paucarcolla
Provincia	: Puno
Departamento	: Puno
Ubicación geográfica	: 15°40'38.24" Latitud Sur, 70°4'42.27" Longitud oeste UTM Zona 19S, Este: 384430, Norte: 8265773
Altitud	: 3828 m.s.n.m.
Suelo	: Illpa Waru Waru Reciente. : Soil Taxonomy (2022): Francosa Gruesa Fluventic Haplustolls.
Clasificación natural	WRB (2022): Fluvic Cambic Phaeozems (Clayic, Humic)
Material parental	: Aluvial
Paisaje	: Llanura
Unidad geomorfológica	: Superficie llana
Pendiente	: 0 - 2 %
Vegetación	: Pastizal en descanso Waru Waru Reciente
Pedregosidad superficial	: Libre
Zona de vida	: Bosque húmedo - Montano Subtropical (bh-MS)
Descrito y elaborado por	: David Jonathan Mamani Nina y Richard Peley Moya Sucari

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DEL SUELO

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-26	Arcillo limoso; negro pardusco (10YR 2/2), en húmedo, pardo (10YR 6/6) en húmedo, granular, medio, fuerte; extremadamente firme; neutro (pH 7.1); contenido de materia orgánica de 3.1%; raíces finas, medias, comunes. Límite de horizonte difuso, suave al
Bw1	26-38	Arcillo limoso; negro pardusco (10YR 2/2), en húmedo; bloques subangulares, media, moderada; extremadamente firme; ligeramente alcalina (pH 7.6); contenido de materia orgánica de 2.0%; raíces finas, pocas. Límite de horizonte difuso, suave al
Bw2	38-68	Arcilla; negro (10YR 2/1), en húmedo, bloques subangulares; firme; ligeramente alcalino (pH 7.5); contenido de materia orgánica (1.6%); raíces finas pocas. Límite de horizonte abrupto, suave al
C1	68-106	Franco arenoso; pardo oscuro a oscuro (7.5YR 4/4), en húmedo, masivo; firme; moderadamente alcalino (pH 8.4); contenido de materia orgánica (0.2%); raíces finas, muy pocas. Límite de horizonte claro, suave al
C2	106-137	Arena franca; pardo oscuro (7.5 YR 3/4), en húmedo; grano simple; suelto; fuertemente alcalino (pH 8.5); contenido de materia orgánica (0.1%).



DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELO PEAJE

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Lugar	: Sede Estación Experimental Agraria Illpa – INIA
Distrito	: Paucarcolla
Provincia	: Puno
Departamento	: Puno
Ubicación geográfica	: 15°41'37.13" Latitud Sur, 70°4'14.13" Longitud oeste UTM Zona 19S, Este: 0385277, Norte: 8264661
Altitud	: 3817 m.s.n.m.
Suelo	: Illpa Peaje : Soil Taxonomy (2022): Francosa Fina, Typic Haplustolls.
Clasificación natural	: WRB (2022): Someric Cambic Phaeozems (Siltic, Humic)
Material parental	: Aluvial
Paisaje	: Llanura
Unidad geomorfológica	: Superficie llana
Pendiente	: 0 - 2 %
Vegetación	: Pastizal en descanso
Pedregosidad superficial	: Libre
Zona de vida	: Bosque húmedo - Montano Subtropical (bh-MS)
Descrito y elaborado por	: Richard Peley Moya Sucari.

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DEL SUELO

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-31	Franco arenoso; gris muy oscuro (10YR 3/1), en húmedo; bloques angulares, medio, fuerte; extremadamente firme; neutro (pH 6.7); contenido de materia orgánica de 2.9%; raíces finas, medias, gruesas, abundantes. Límite de horizonte gradual, suave al
Bw1	31-44	Arcilla; pardo muy oscuro (10YR 2/2), en húmedo; bloques angulares, media, fuerte; extremadamente firme; neutro (pH 6.6); contenido de materia orgánica de 0.6%; raíces finas, medias, pocas. Límite de horizonte abrupto, suave al
Bw2	44-56	Franco limoso; pardo oscuro a pardo (7.5YR 4/4), en húmedo, bloques subangulares, media, débil; firme; neutro (pH 7.2); contenido de materia orgánica (0.1%); raíces finas pocas. Límite de horizonte difuso, suave al
Bw3	56-72	Franco limoso; pardo (7.5YR 5/3), en húmedo, bloques subangulares, media, moderada; firme; moderadamente alcalino (pH 7.7); contenido de materia orgánica (0.1%); raíces finas, pocas. Límite de horizonte difuso, suave al
Bw4	72-110	Franco arcilloso; pardo oscuro (7.5 YR 3/4) al 60% y gris rosado (7.5YR 7/2), ambos en húmedo; bloques subangulares, media, moderada; firme; moderadamente alcalino (pH=8.3); contenido de materia orgánica (0.1%); raíces finas, pocas. Límite de horizonte difuso, suave al
C	110-120	Franco limoso; pardo oscuro (7.5 YR 3/3), en húmedo; masivo, media, moderada; friable; ligeramente alcalino (pH=7.8); contenido de materia orgánica (0.1%); raíces finas, pocas al



DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE ILLPA RÍO

CARACTERÍSTICAS GENERALES

Lugar	: Sede Estación Experimental Agraria Illpa – INIA
Distrito	: Paucarcolla
Provincia	: Puno
Departamento	: Puno
Ubicación geográfica	: 15°41'57.17" Latitud Sur, 70°4'43.26" Longitud oeste UTM Zona 19S, Este: 0384413, Norte: 8264041
Altitud	: 3820 m.s.n.m.
Suelo	: Illpa Río : Soil Taxonomy (2022): Francosa Gruesa, Fluventic Haplustepts
Clasificación natural	: WRB (2022): Fluvic Eutric Cambisols (Endoarenic, Epiloamic)
Material parental	: Aluvial
Paisaje	: Llanura
Unidad geomorfológica	: Superficie llana
Pendiente	: 0 - 2 %
Vegetación	: Pastizal en descanso
Pedregosidad superficial	: Libre
Zona de vida	: Bosque húmedo - Montano Subtropical (bh-MS)
Descrito y elaborado por	: David Jonathan Mamani Nina y Richard Peley Moya Sucari.

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DEL SUELO

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-10	Franco; pardo oscuro (10YR 3/3), en húmedo; granular, medio, moderado; muy duro; ligeramente alcalino (pH 7.5); contenido de materia orgánica de 1.9%; raíces muy gruesas, comunes. Límite de horizonte difuso, suave al
Bw	10-35	Franco; pardo oscuro (10YR 3/3) en un 60% blanco (W 9.5/N) en un 40%, ambos en húmedo; bloques subangulares, muy firme; modernamente alcalina (pH 8.0); contenido de materia orgánica de 0.7%; raíces finas, pocas. Límite de horizonte claro, suave al
C	35-60	Franco; pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en un 95% y blanco (W 9.5/N) en un 5%, ambos en húmedo, masivo; muy firme; fuertemente alcalino (pH 8.5); contenido de materia orgánica (0.2%); raíces finas pocas. Límite de horizonte abrupto, suave al
2C	60-120	Arenoso; pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo, grano simple; suelto; moderadamente alcalino (pH 8.1); contenido de materia orgánica (0.2%).



RESULTADO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS



INFORME DE ENSAYO N° 08102-22/SU/ILLPA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente : Estación Experimental Agraria Illpa/Prosueltos
 Propietario / Productor : Pro Suelos
 Dirección del cliente : Km 22 Carretera Puno-Juliaca -Paucarcolla
 Solicitado por : Richad Moya Sucri.
 Muestreado por : Cliente.
 Número de muestra(s) : 28 muestras.
 Producto declarado : Suelo Agrícola.
 Presentación de las muestras(s) : Bolsa de plástico.
 Referencia del muestreo : Illpa
 Procedencia de muestra(s) : Paucarcolla/Puno/Puno.
 Fecha(s) de muestreo : 2022-08-8 al 2022-08-11 (*)
 Fecha de recepción de muestra(s) : 2022-08-12
 Lugar de ensayo : LABSAF Illpa.
 Fecha(s) de análisis : 2022-08-15
 Cotización del servicio : 107-22-ILL
 Fecha de emisión : 2022-09-26

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6		
Código de Laboratorio	SU950-ILL-22	SU951-ILL-22	SU952-ILL-22	SU953-ILL-22	SU954-ILL-22	SU955-ILL-22		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo	2022-08-11	2022-08-11	2022-08-11	2022-08-11	2022-08-11	2022-08-11		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	12:35 (*)	12:21 (*)	13:30 (*)	14:30 (*)	15:30 (*)	17:10 (*)		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	CAL01-01/UTMX:03849 54/UTMY:82657 15/3830	CAL01-02/UTMX:03849 54/UTMY:82657 15/3830	CAL01-03/UTMX:03849 54/UTMY:82657 15/3830	CAL01-04/UTMX:38495 4/UTMY:826571 5/3830	CAL01-05/UTMX:38495 4/UTMY:826571 5/3830	CAL03-01/UTMX:03839 76/UTMY:82648 62/3824		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	unid. pH	--	5,9	7,0	7,5	7,8	8,2	7,1
Conductividad Eléctrica	mS/m	--	6,5	11,2	11,6	16,2	21,3	8,4
Materia Orgánica	%	--	2,7	1,5	1,3	1,5	0,1	4,7
Nitrógeno	%	--	0,10	0,05	0,04	0,05	0,003	0,001
Fósforo	ppm	--	2,90	2,40	2,35	2,75	0,95	2,20
Potasio	ppm	--	430,07	312,78	430,07	762,41	742,86	410,52
Carbonatos calcio	%	--	0,00	0,00	1,32	1,01	0,00	0,00
Análisis de Mecánica								
Arena	%	--	16	16	14	16	62	33
Limo	%	--	53	53	59	37	17	50
Arcilla	%	--	31	31	27	47	21	17
Clase Textural	--	--	Franco arcillo Limoso	Franco arcillo Limoso	Franco Limoso	Arcilla	Franco Arcillo Arenoso	Franco Limoso
Cationes Intercambiables								
Aluminio (Al)	meq/100g	--	T	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Calcio (Ca)	meq/100g	--	17,40	26,90	28,40	31,00	13,60	9,40
Magnesio (Mg)	meq/100g	--	2,40	7,80	9,10	10,50	10,40	22,40
Potasio (K)	meq/100g	--	0,56	0,49	0,61	0,50	0,62	0,79
Sodio (Na)	meq/100g	--	0,06	0,07	0,08	0,23	0,39	0,09
Suma de Cationes	meq/100g	--	20,42	35,26	38,19	42,23	25,01	32,68
Capacidad de Intercambio cationico	meq/100g	--	22,10	38,00	40,00	44,20	26,80	34,00

INFORME DE ENSAYO
N° 08102-22/SU/ILLPA

ITEM	7	8	9	10	11	12		
Código de Laboratorio	SU956-ILL-22	SU957-ILL-22	SU958-ILL-22	SU959-ILL-22	SU960-ILL-22	SU961-ILL-22		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo	2022-08-11	2022-08-11	2022-08-11	2022-08-11	2022-08-11	2022-08-11		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	17:05 (*)	17:00 (*)	16:37 (*)	16:50 (*)	15:12 (*)	15:00 (*)		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	CAL03-02/UTMX:03839 76/UTMY:82648 62/3824	CAL03-03/UTMX:03839 76/UTMY:82648 62/3824	CAL03-04/UTMX:03839 76/UTMY:82648 62/3824	CAL03-05/UTMX:03839 76/UTMY:82648 62/3824	CAL04-01/UTMX:03844 30/UTMY:82657 73/3828	CAL04-02/UTMX:03844 30/UTMY:82657 73/3828		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	unid. pH	--	7,5	7,5	7,7	7,8	7,1	7,6
Conductividad Eléctrica	mS/m	--	8,9	3,6	4,0	1,7	14,1	21,6
Materia Orgánica	%	--	0,3	0,3	0,2	0,4	3,1	2,0
Nitrógeno	%	--	0,011	0,011	0,007	0,014	0,11	0,074
Fósforo	ppm	--	0,35	0,55	0,55	0,15	7,05	2,75
Potasio	ppm	--	606,01	390,98	527,82	390,98	508,27	469,17
Carbonatos calcio	%	--	0,00	1,18	3,16	1,67	0,00	0,00
Análisis de Mecánica								
Arena	%	--	24	18	18	16	16	14
Limo	%	--	40	80	62	81	41	43
Arcilla	%	--	36	2	20	3	43	43
Clase Textural	--	--	Franco Arcilloso	Franco Limoso	Franco Limoso	Limoso	Arcillo Limoso	Arcillo Limoso
Cationes Intercambiables								
Aluminio (Al)	meq/100g	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Calcio (Ca)	meq/100g	--	17,70	55,60	49,40	18,90	12,20	4,80
Magnesio (Mg)	meq/100g	--	9,40	1,40	10,60	10,90	6,70	4,50
Potasio (K)	meq/100g	--	0,53	0,42	0,40	0,46	0,55	0,46
Sodio (Na)	meq/100g	--	0,33	0,36	0,41	0,40	0,26	0,25
Suma de Cationes	meq/100g	--	27,96	57,78	60,81	30,66	19,71	10,01
Capacidad de Intercambio catiónico	meq/100g	--	30,00	58,10	62,00	32,00	20,40	12,00

ITEM	13	14	15	16	17	18		
Código de Laboratorio	SU962-ILL-22	SU963-ILL-22	SU964-ILL-22	SU965-ILL-22	SU966-ILL-22	SU967-ILL-22		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo	2022-08-11	2022-08-11	2022-08-11	2022-08-12	2022-08-12	2022-08-12		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	15:05 (*)	15:00 (*)	14:44 (*)	09:35 (*)	09:25 (*)	09:18 (*)		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	CAL04-03/UTMX:03844 30/UTMY:82657 73/3828	CAL04-04/UTMX:03844 30/UTMY:82657 73/3828	CAL04-05/UTMX:03844 30/UTMY:82657 73/3828	CAL06-01/UTMX:03831 53/UTMY:82650 73/3820	CAL06-02/UTMX:03831 53/UTMY:82650 73/3820	CAL06-03/UTMX:03831 53/UTMY:82650 73/3820		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	unid. pH	--	7,5	8,4	8,5	8,0	8,0	7,8
Conductividad Eléctrica	mS/m	--	16,6	46,1	21	13,7	76	89,1
Materia Orgánica	%	--	1,6	0,2	0,1	1,4	0,5	0,3
Nitrógeno	%	--	0,059	0,007	0,003	0,052	0,018	0,011
Fósforo	ppm	--	2,80	0,45	0,45	1,60	0,75	0,00
Potasio	ppm	--	390,98	273,68	332,33	606,01	351,88	625,56
Carbonatos calcio	%	--	0,00	3,12	0,00	0,00	1,01	3,56
Análisis de Mecánica								
Arena	%	--	22	62	80	18	14	42
Limo	%	--	35	21	15	35	33	55
Arcilla	%	--	43	17	5	47	53	3
Clase Textural	--	--	Arcilla	Franco Arenoso	Arena Franca	Arcilla	Arcilla	Franco Limoso
Cationes Intercambiables								
Aluminio (Al)	meq/100g	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Calcio (Ca)	meq/100g	--	24,30	18,60	10,90	6,70	11,80	20,00
Magnesio (Mg)	meq/100g	--	10,70	8,90	5,90	4,40	7,20	11,60
Potasio (K)	meq/100g	--	0,48	0,52	0,42	0,50	0,51	0,47
Sodio (Na)	meq/100g	--	0,44	0,49	0,31	0,20	0,40	0,36
Suma de Cationes	meq/100g	--	35,92	28,51	17,53	11,80	19,91	32,43
Capacidad de Intercambio catiónico	meq/100g	--	36,50	30,00	18,20	12,10	21,00	33,00



LBSAF

INFORME DE ENSAYO
N° 08102-22/SU/ILLPA

ITEM	19	20	21	22	23	24		
Código de Laboratorio	SU968-ILL-22	SU969-ILL-22	SU970-ILL-22	SU971-ILL-22	SU972-ILL-22	SU973-ILL-22		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo	2022-08-12	2022-08-12	2022-08-12	2022-08-12	2022-08-12	2022-08-12		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	13:00 (*)	12:50 (*)	12:41 (*)	12:38 (*)	12:20 (*)	11:58 (*)		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	CAL07-01/UTMX:03384 720/UTMY:8264 593/3823	CAL07-02/UTMX:03384 720/UTMY:8264 593/3823	CAL07-03/UTMX:03384 720/UTMY:8264 593/3823	CAL07-04/UTMX:03384 720/UTMY:8264 593/3823	CAL07-05/UTMX:03384 720/UTMY:8264 593/3823	CAL07-06/UTMX:03384 720/UTMY:8264 593/3823		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados					
pH	unid. pH	--	6,6	6,3	6,4	6,3	6,3	6,3
Conductividad Eléctrica	mS/m	--	4,9	3,4	3,9	2,6	3,5	4,3
Materia Orgánica	%	--	3,2	1,00	0,4	0,1	0,1	0,1
Nitrógeno	%	--	0,11	0,03	0,01	0,003	0,003	0,003
Fósforo	ppm	--	5,35	11,35	7,55	10,40	3,90	8,30
Potasio	ppm	--	195,49	547,37	195,49	312,78	195,49	234,58
Carbonatos calcio	%	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Análisis de Mecánica								
Arena	%	--	28	28	60	70	68	8
Limo	%	--	45	39	19	23	11	65
Arcilla	%	--	27	33	21	7	21	27
Clase Textural	--	--	Franco	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso Arenoso	Franco Arenoso	Franco Arcilloso Arenoso	Franco Arcilloso Limoso
Cationes Intercambiables								
Aluminio (Al)	meq/100g	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Calcio (Ca)	meq/100g	--	8,70	14,10	10,20	6,20	10,40	16,30
Magnesio (Mg)	meq/100g	--	3,70	7,60	3,80	3,80	5,80	7,00
Potasio (K)	meq/100g	--	0,52	0,57	0,52	0,56	0,42	0,39
Sodio (Na)	meq/100g	--	0,06	0,11	0,10	0,07	0,08	0,11
Suma de Cationes	meq/100g	--	12,98	22,38	14,62	10,63	16,70	23,80
Capacidad de Intercambio cationico	meq/100g	--	14,10	24,00	16,00	12,00	18,00	24,00

ITEM	25	26	27	28	29	30
Código de Laboratorio	SU974-ILL-22	SU975-ILL-22	SU976-ILL-22	SU977-ILL-22		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo	2022-08-12	2022-08-12	2022-08-12	2022-08-12		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	11:30 (*)	11:20 (*)	11:10 (*)	11:07 (*)		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	CAL08-01/UTMX:03844 16/UTMY:82740 47/3820	CAL08-02/UTMX:03844 16/UTMY:82740 47/3820	CAL08-03/UTMX:03844 16/UTMY:82740 47/3820	CAL08-04/UTMX:03844 16/UTMY:82740 47/3820		
Ensayo	Unidad	LC	Resultados			
pH	unid. pH	--	7,5	8,0	8,5	8,1
Conductividad Eléctrica	mS/m	--	12,4	14,9	20,8	6,8
Materia Orgánica	%	--	1,9	0,7	0,2	0,2
Nitrógeno	%	--	0,07	0,02	0,007	0,007
Fósforo	ppm	--	0,60	0,15	0,05	0,60
Potasio	ppm	--	312,78	332,33	547,37	215,03
Carbonatos calcio	%	--	1,05	1,80	1,10	0,00
Análisis de Mecánica						
Arena	%	--	29	29	45	91
Limo	%	--	48	48	45	8
Arcilla	%	--	23	23	10	1
Clase Textural	--	--	Franco	Franco	Franco	Arenoso
Cationes Intercambiables						
Aluminio (Al)	meq/100g	--	0,00	0,00	0,00	0,00
Calcio (Ca)	meq/100g	--	17,40	18,50	16,50	2,00
Magnesio (Mg)	meq/100g	--	4,90	9,00	6,50	0,40
Potasio (K)	meq/100g	--	0,47	0,46	0,45	0,53
Sodio (Na)	meq/100g	--	0,03	0,21	0,34	0,13
Suma de Cationes	meq/100g	--	22,77	28,17	23,79	3,06
Capacidad de Intercambio cationico	meq/100g	--	24,00	30,00	24,40	4,20

INFORME DE ENSAYO N° 08107-22/SU/ILLPA

I. INFORMACIÓN GENERAL

Cliente	: Estación Experimental Agraria Illpa/Prosuelos
Propietario / Productor	: Pro suelos.
Dirección del cliente	: Km 22 Carretera Puno-Juliaca -Paucarcolla
Solicitado por	: Richad Moya Sucarl.
Muestreado por	: Cliente
Número de muestra(s)	: 10 muestras
Producto declarado	: Suelo Agrícola
Presentación de las muestras(s)	: Bolsa de plástico
Referencia del muestreo	: Illpa
Procedencia de muestra(s)	: Paucarcolla/Puno/Puno.
Fecha(s) de muestreo	: 2022-08-12 al 2022-08-14 (*)
Fecha de recepción de muestra(s)	: 2022-08-16
Lugar de ensayo	: LABSAF Illpa
Fecha(s) de análisis	: 2022-08-17
Cotización del servicio	: 112-22-ILL
Fecha de emisión	: 2022-08-29

II. RESULTADO DE ANÁLISIS

ITEM	1	2	3	4	5	6		
Código de Laboratorio	SU1010-ILL-2022	SU1011-ILL-2022	SU1012-ILL-2022	SU1013-ILL-2022	SU1014-ILL-2022	SU1015-ILL-2022		
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de Muestreo	2022-08-16	2022-08-16	2022-08-16	2022-08-16	2022-08-16	2022-08-16		
Hora de Inicio de Muestreo (h)	14:15 (*)	14:05 (*)	13:59 (*)	13:50 (*)	12:30 (*)	12:20 (*)		
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada		
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	CAL02-01/UTMX: 0384865/UTMY: 8265051/3832	CAL02-02/UTMX: 0384865/UTMY: 8265051/3832	CAL02-03/UTMX: 0384865/UTMY: 8265051/3832	CAL02-04/UTMX: 0384865/UTMY: 8265051/3832	CAL05-01/UTMX: 0385277/UTMY: 8264661/3817	CAL05-02/UTMX: 0385277/UTMY: 8264661/3817		
Resultados								
Ensayo	Unidad	LC						
pH	unid. pH	--	6,5	7,5	7,7	7,6	6,7	6,6
Conductividad Eléctrica	mS/m	--	9,07	36,4	84,1	16,12	13,03	94,2
Materia Orgánica	%	--	2,5	0,6	0,3	0,1	2,9	0,6
Nitrógeno	%	--	0,093	0,022	0,011	0,003	0,10	0,022
Fósforo	ppm	--	0,50	0,80	0,75	0,95	1,70	1,65
Potasio	ppm	--	312,78	508,27	488,72	488,72	234,58	351,38
Carbonatos calcio	%	--	0,00	0,00	1,540	0,00	0,00	0,00
Análisis de Mecánico								
Arena	%	--	20	18	16	82	22	18
Limo	%	--	44	60	38	12	42	36
Arcilla	%	--	34	20	44	4	34	44
Clase Textural	--	--	Franco Arcilloso	Franco Limoso	Arcilla	Arena Franca	Franco Arenoso	Arcilla
Cationes Intercambiables								
Aluminio (Al)	meq/100g	--	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Calcio (Ca)	meq/100g	--	3,00	6,80	19,70	10,30	7,40	25,90
Magnesio (Mg)	meq/100g	--	4,10	3,00	9,60	1,00	4,40	8,50
Potasio (K)	meq/100g	--	0,38	0,39	0,51	0,49	0,51	0,41
Sodio (Na)	meq/100g	--	0,13	0,29	0,38	0,21	0,19	0,35
Suma de Cationes	meq/100g	--	7,61	10,48	30,19	12,00	12,50	35,16
Capacidad de Intercambio Cationico	meq/100g	--	10,03	12,80	34,08	14,00	14,60	38,60

INFORME DE ENSAYO
N° 08107-22/SU/ILLPA

ITEM	7	8	9	10	11	12
Código de Laboratorio	SU1016-ILL-2022	SU1017-ILL-2022	SU1018-ILL-2022	SU1019-ILL-2022	--	--
Matriz Analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	--	--
Fecha de Muestreo	2022-08-16	2022-08-18	2022-08-18	2022-08-18	--	--
Hora de inicio de Muestreo (h)	12:15 (*)	12:08 (*)	11:58 (*)	11:48 (*)	--	--
Condición de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada	Conservada	--	--
Código/Identificación de la Muestra por el Cliente	03/UTMX:03852 77/UTMY:82646 61/3817	04/UTMX:03852 77/UTMY:82646 61/3817	05/UTMX:03852 77/UTMY:82646 61/3817	06/UTMX: 385277/UTMY:8 264861/3817	✓	--
Ensayo		Unidad	LC	Resultados		
pH	unid. pH	--	7,2	7,7	8,3	7,8
Conductividad Eléctrica	mS/m	--	3,41	1,62	115,9	98
Materia Orgánica	%	--	0,1	0,1	0,1	0,1
Nitrógeno	%	--	0,003	0,003	0,003	0,003
Fósforo	ppm	--	0,50	0,45	0,80	0,90
Potasio	ppm	--	215,03	234,58	215,03	410,52
Carbonatos calcio	%	--	0,00	0,308	0,660	0,00
Análisis de Mecánico						
Arena	%	--	20	18	30	20
Limo	%	--	76	62	40	54
Arcilla	%	--	2	18	28	24
Clase Textural	--	--	Franco Limoso	Franco Limoso	Franco Arcilloso	Franco Limoso
Cationes Intercambiables						
Aluminio (Al)	meq/100g	--	0,00	0,00	0,00	0,00
Calcio (Ca)	meq/100g	--	37,60	25,30	20,00	15,00
Magnesio (Mg)	meq/100g	--	10,80	12,40	12,80	12,90
Potasio (K)	meq/100g	--	0,43	0,55	0,51	0,49
Sodio (Na)	meq/100g	--	0,36	0,50	0,47	0,46
Suma de Cationes	meq/100g	--	49,19	38,75	33,78	28,85
Capacidad de Intercambio Cationico	meq/100g	--	52,00	40,00	34,40	30,60

III. METODOLOGÍA DE ENSAYO

ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA
pH	EPA 9045D, Rev. 4, 2004. Soil and waste pH.
Conductividad Eléctrica	ISO 11265:1994 First Edition. Soil Quality. Determination of the Specific Electrical Conductivity- <i>Technical Corrigendum 1</i>
Textura	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.1.9 AS-09.2000. Determinación de la textura del suelo por procedimiento de Bouyoucos.
Materia Orgánica	Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego -INIA Ed 1era.2017.Item 4.5. Pag 39. Determinación de carbono orgánico.
Nitrógeno	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.3.17 AS-25. Determinación de nitrógeno total en el suelo por procedimiento de digestado.
Fósforo	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000.Segunda Sección(31 de Diciembre 2002).Item 7.1.10AS-011.2000.Contenido de fósforo extraíble por el método de Olsen.
Potasio	Manual de los procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego -INIA.Ed. 1era.2017.Item 4.9.1.Pag. 62. Potasio Disponible
Aluminio Intercambiable	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección (31 de Diciembre 2002). Item 7.3.17 AS-23. Determinación de la acidez y el aluminio intercambiable de cloruro de potasio.
Carbonatos de calcio	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Segunda Sección(31 de Diciembre 2002). Item 7.3.25 AS-29.2000. Determinación de Carbonato de calcio por el método de Neutralización Ácida.

IV. CONSIDERACIONES

- Estado en las que ingreso la Muestras: Buenas Condiciones de almacenamiento
- Este informe no puede ser reproducido total, ni parcialmente sin la autorización de LABSAF y del cliente.
- Los resultados se relacionan solamente con los items sometidos a ensayo
- Los resultados se aplican a las muestras, tales como se recibieron
- Este documento es válido sólo para el producto mencionado anteriormente.
- (*) El Laboratorio no es responsable cuando la información proporcionada por el cliente pueda afectar la validez de los resultados.
- Medición de pH realizada a 25 °C

FIN DE INFORME DE ENSAYO

Figura 4

Mapa de clasificación de suelos (Soil Taxonomy y WRB)

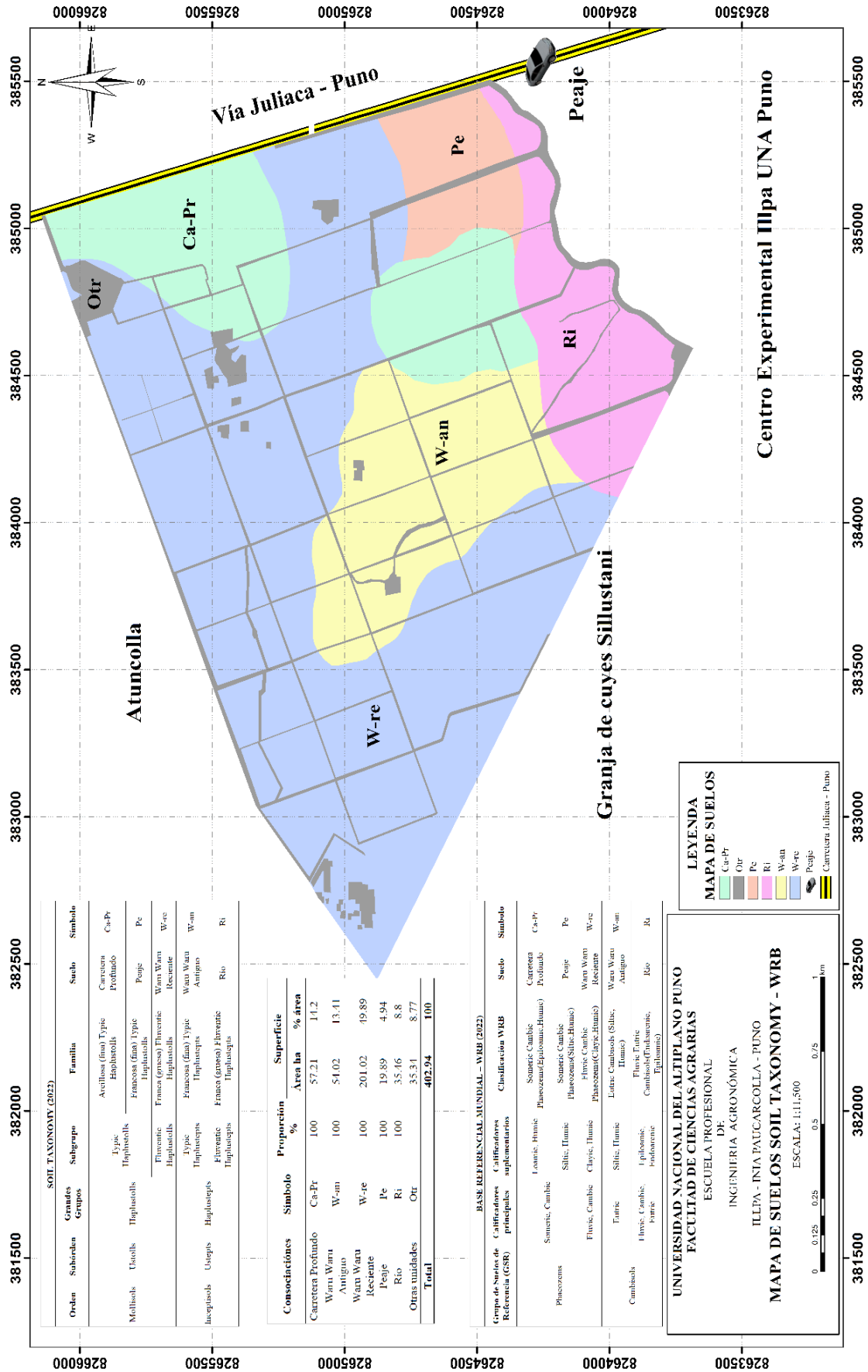


Figura 5

Mapa geomorfológico de la EEA Illpa Puno

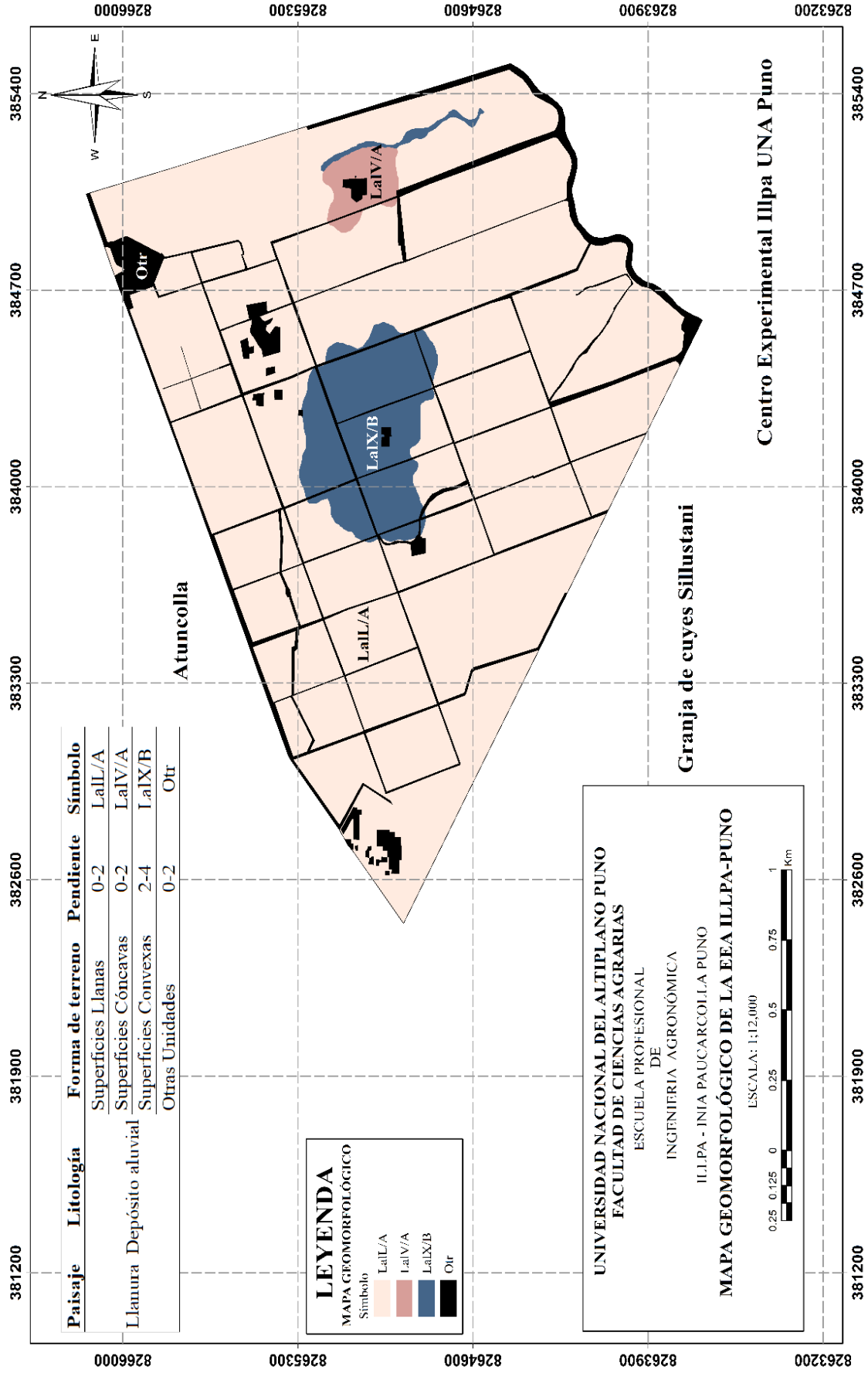
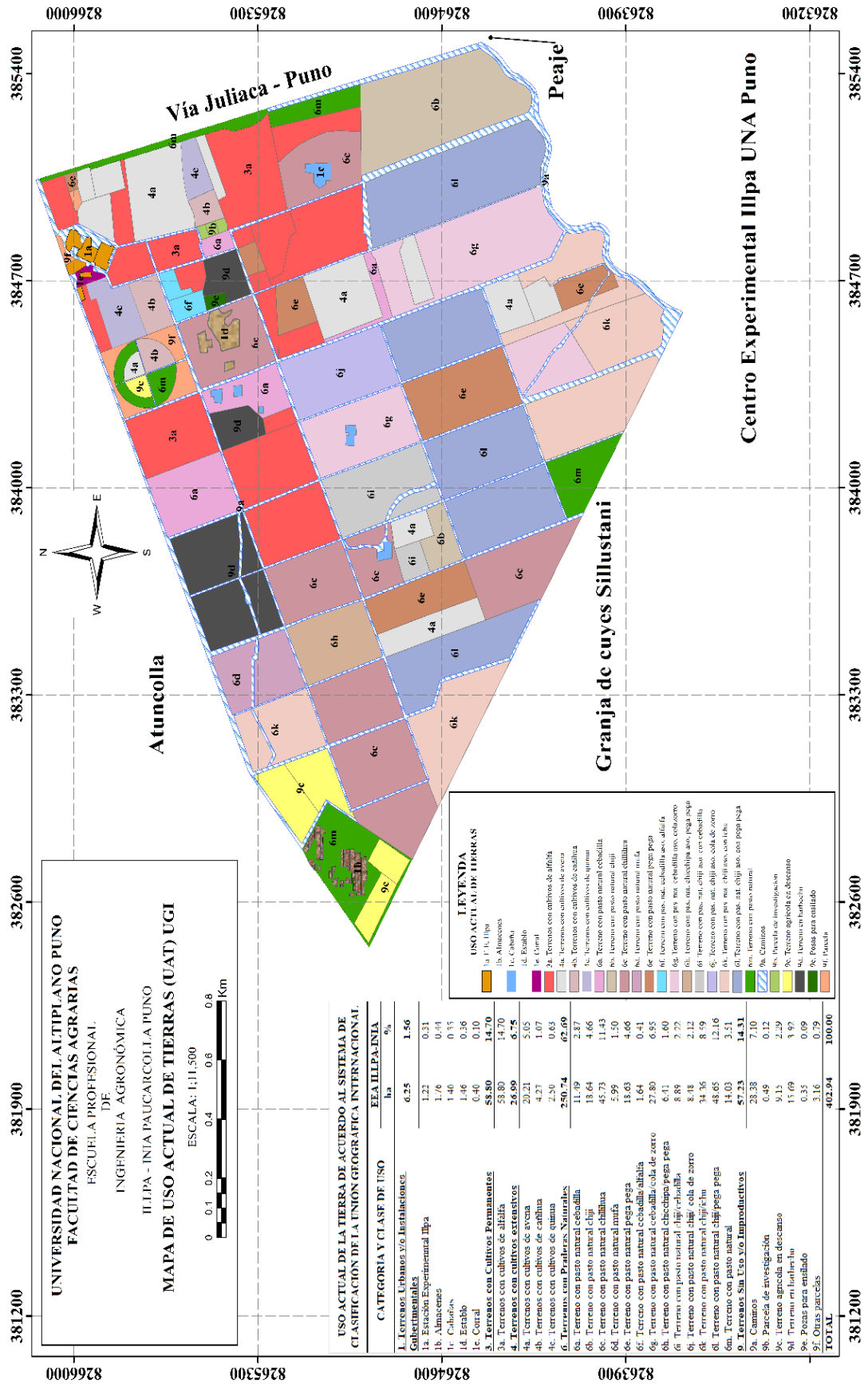


Figura 6

Mapa de Uso Actual de Tierras de la EEA Ilppa Puno



PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 7

Apertura de calicatas



Figura 8

Uso de la Tabla Munsell para la determinación del color del suelo



Figura 9

Muestreo de suelos

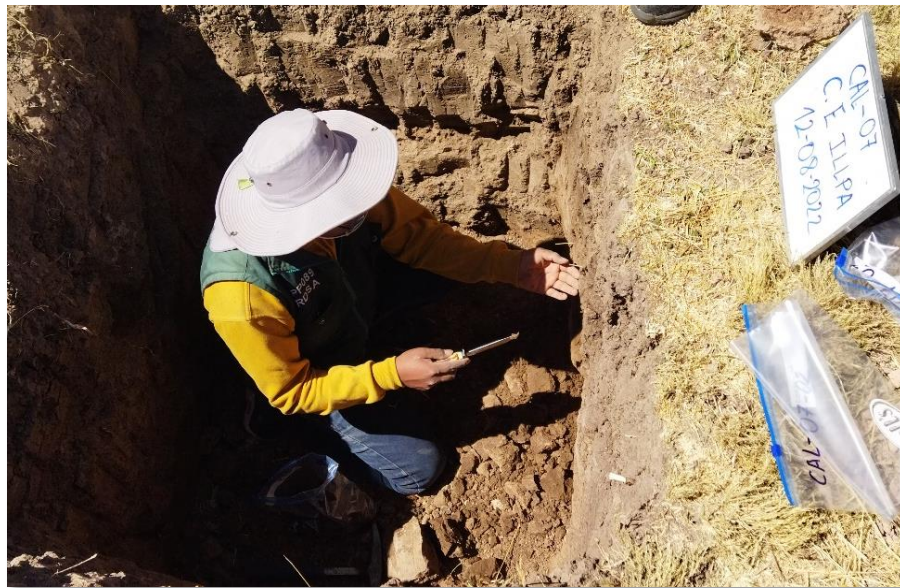


Figura 10

Realización de pruebas de compactación usando el penetrómetro AG081807



Figura 11

Realización de pruebas de compactación en la unidad de suelo alfalfa “Medicago sativa L.” usando el penetrómetro AG081807



Figura 12

Realización de pruebas de compactación en terreno roturado usando el penetrómetro AG081807



Figura 13

Realización de pruebas de compactación usando el penetrómetro AG081807



Figura 14

Realización de pruebas de compactación en el suelo Waru Waru Reciente



Figura 15

Recepción y secado de muestras de suelo



Figura 16

Molido y tamizado de muestras de suelos



Figura 17

Determinación de la textura por el método Bouyoucos



Figura 18

Materiales para el fraccionamiento de la MO



Figura 19

Fraccionamiento de la materia orgánica del suelo



Figura 20

Baño María en el fraccionamiento de la materia orgánica del suelo



Figura 21

Uso de la centrifuga para el fraccionamiento



Figura 22

Tubos de plástico para el fraccionamiento



Figura 23

Determinación del CO en las fracciones húmicas



Figura 24

Separación de ácido fúlvico y ácido húmico

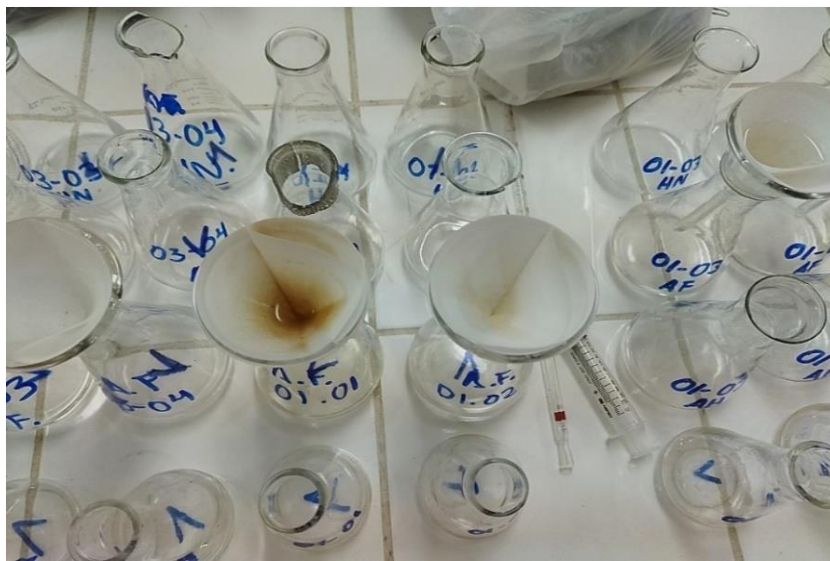


Figura 25

Cuantificación del carbono orgánico



Figura 26

Adicionamiento de 10 ml de H_2SO_4 (ácido sulfúrico) a los Erlenmeyers



Figura 27

Ácidos húmicos + difenilamina



Figura 28

Titulación de los ácidos fúlvicos, húmicos y huminas



Figura 29

Perfil modal del suelo Carretera Profundo



Figura 30

Paisaje del suelo Carretera Profundo



Figura 31

Perfil modal del suelo Waru Waru Antiguo



Figura 32

Paisaje del suelo Waru Waru Antiguo



Figura 33

Perfil modal del suelo Waru Waru Reciente



Figura 34

Paisaje del suelo Waru Waru Reciente



Figura 35

Perfil modal del suelo Peaje



Figura 36

Paisaje del suelo Peaje



Figura 37

Perfil modal del suelo Río



Figura 38

Paisaje del suelo Río



Figura 39

Equipo de trabajo de campo





DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo RICHARD PELEY MOYA SUCARI,
identificado con DNI 75022169 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA AGRONÓMICA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“CLASIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS SUELOS EN LA

EXPERIMENTAL AGRARIA ILLPA – INIA, REGIÓN PUNO

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 29 de enero del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo RICHARD PELEY MOYA SUCARI
identificado con DNI 75022169 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, **Programa de Segunda Especialidad**, **Programa de Maestría o Doctorado**

INGENIERÍA AGRONÓMICA

informo que he elaborado el/la **Tesis** o **Trabajo de Investigación** denominada:

“CLASIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS SUELOS EN LA ESTACIÓN

EXPERIMENTAL AGRARIA ILLPA – INIA, REGIÓN PUNO

para la obtención de **Grado**, **Título Profesional** o **Segunda Especialidad**.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.


En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 29 de enero del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella