

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



**“EFECTO DEL SUBSOLADOR SOBRE LA VELOCIDAD DE
INFILTRACIÓN Y COMPACTACIÓN EN DOS CLASES DE
SUELOS EN EL CIP ILLPA”**

TESIS

PRESENTADA POR:

REMY QUISPE AQUINO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

PROMOCION: 2011 - II

PUNO – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

“EFECTO DEL SUBSOLADOR SOBRE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN Y
COMPACTACIÓN EN DOS CLASES DE SUELOS EN EL CIP ILLPA”

TESIS

PRESENTADA POR:

REMY QUISPE AQUINO

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 22 DE OCTUBRE DEL 2018

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

:

Ing. M.Sc. Julio Mayta Quispe

PRIMER MIEMBRO

:

D.Sc. Flavio Ortiz Calaña

SEGUNDO MIEMBRO

:

D.Sc. Ali William Canaza Cayo

DIRECTOR / ASESOR

:

Ing. M.Sc. Dawes Ramos Alata

PUNO – PERÚ

2018

Área : Ciencias agrícolas

Tema : Economía, innovación y extensión agraria



DEDICATORIA

A Dios por llenarme de bendiciones e iluminar mi camino, por hacerme disfrutar de la vida con buena salud y me permita ser feliz, por sus buenos actos conmigo, ¡Gracias Padre!

*Porque me diste la vida, y me enseñaste lo dura que iba ser, porque me guiaste en mis primeros pasos y me entregaste tu amor, porque velaste mis sueños y modelaste mi corazón, porque escuchaste mis dudas y tu consejo me hizo mejor, porque hoy vivo y lucho es gracias a tu amor, gracias **Eulogia Aquino Cahuana**, muy orgulloso de ser tu hijo mi amada Madre.*

*No importa la edad que tengan, me han hecho reír, me han hecho llorar, hemos compartido momentos inolvidables, hemos peleado como perros y gatos, con ellos aprendí a mentir, a decir la verdad, y no importa si mañana nos separa la distancia, siempre estaremos unidos, gracias mis hermanos y hermana: **David, William, Vadim, Jhosselyn**.*

*Cosas buenas y malas son las que hemos pasado juntos, tu apoyo incondicional y confianza, hacen que en cada instante de estos momentos me haya dado cuenta de que contigo, puedo superar todo, gracias **Beatriz** ¡te amo!*

AGRADECIMIENTO

- *A la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, a la Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, que me ha recibido con las puertas abiertas y me han formado como profesional.*

- *A los docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNA - Puno, quienes me brindaron sus sabias enseñanzas durante mi formación profesional.*

- *Al Director de la presente tesis, Ing° M.Sc. Dawes Ramos Alata, por sus valiosos consejos, orientación y asesoramiento en el presente trabajo de investigación.*

- *Al Ing. Luis Pauro Flores, por sus valiosos consejos y permanente orientación y apoyo en la ejecución del proyecto de investigación.*

- *A los miembros del jurado: Ing. M.Sc. Julio Mayta Quispe, D.Sc. Flavio Ortiz Calcina, Ing. D.Sc. Ali William Canaza Cayo, por su comprensión y colaboración en la culminación del presente estudio.*

- *Deseo agradecer al personal del CIP-ILLPA por haberme brindado las facilidades para la experimentación y obtención de datos para la ejecución de esta investigación.*

- *Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron en la realización de la presente investigación.*

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
I. INTRODUCCIÓN	14
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	16
2.1. Antecedentes de investigación.....	16
2.2. Tractor agrícola	16
2.2.1. Funciones del tractor agrícola.....	17
2.3. Suelos	18
2.4. Las propiedades físicas del suelo	18
2.4.1. Textura.....	19
2.4.2. Estructura.....	20
2.4.3. Humedad (Agua en el suelo).....	20
2.4.4. Densidad.....	21
2.4.5. Resistencia a la penetración	23
2.4.6. Velocidad de infiltración del agua en el suelo	24
2.5. Conceptos básicos de compactación del suelo.....	24
2.6. Subsulado del suelo	27
2.7. Subsolador tipo Topo	28
2.8. Regulación del arado subsolador	29
2.8.1. Regulación en sentido transversal	29
2.8.2. Regulación en sentido longitudinal.....	29
2.8.3. Regulación de la profundidad de trabajo.....	29
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
3.1. Lugar de investigación	31
3.2. Materiales y equipos	31
3.2.1. Maquinaria agrícola.....	31
3.2.2. Instrumentos y equipos de laboratorio	31

3.2.3. Materiales para la realización de pruebas con las propiedades físicas y muestreo de suelos.....	32
3.2.4. Materiales para la prueba de velocidad de infiltración	32
3.3. Variables en estudio.....	32
3.3.1. Variables independientes	32
3.3.2. Variables dependientes.....	33
3.4. Análisis estadístico.....	33
3.5. Conducción del experimento	34
3.5.1. Fase de Campo.....	34
3.5.2. Fase de Laboratorio	35
3.5.3. Observaciones	39
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1. Velocidad de infiltración en un suelo franco arcilloso y franco arenoso ...	42
4.2. Porcentaje de macro y microporosidad antes y después del uso del subsolador.	45
4.2.1. Macroporosidad	46
4.2.2. Microporosidad.....	48
4.3. Efecto del subsolador sobre la compactación del suelo a nivel de capa arable.....	50
CONCLUSIONES.....	54
RECOMENDACIONES	55
REFERENCIAS.....	56
ANEXOS	61

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Comportamiento de las temperaturas (Enero-Julio, 2018).....	40
Figura 2. Comportamiento de la Humedad relativa (Enero-Julio, 2018).....	40
Figura 3. Comportamiento de la Precipitación pluvial (Enero-Julio, 2018)..	41
Figura 4. Velocidad de infiltración en dos tipos de suelo a tres profundidades de subsulado.	45
Figura 5. Macroporosidad en dos tipos de suelo a tres profundidades de subsulado.	48
Figura 6. Microporosidad en dos tipos de suelo a tres profundidades de subsulado.	50
Figura 7. Compactación en dos tipos de suelo a tres profundidades de subsulado.	53
Figura 8. Imagen satelital del area experimental cip illpa.....	61
Figura 9. Certificado de análisis físico de suelos.....	70
Figura 10. Maquinaria, materiales y equipos para la ejecución.....	78
Figura 11. Determinación de la velocidad de infiltración en suelo franco arcilloso a 00 cm de profundidad.....	78
Figura 12. Subsulado a una profundidad de 40 cm en un suelo franco arcilloso .	79
Figura 13. Determinación de la velocidad de infiltración en suelo franco arcilloso a 40 cm de profundidad.....	79
Figura 14. Recolección de muestras para determinar D_a , micro y macroporosidad de una suelo franco arcilloso a una profundida de 40 cm	80
Figura 15. Determinación compactación de suelo a 40 cm en suelo franco arcilloso	80
Figura 16. Subsulado a una profundidad de 70 cm en un suelo franco arcilloso .	81
Figura 17. Determinación de la velocidad de infiltración en suelo franco arcilloso a 70 cm de profundidad.....	81
Figura 18. Recolección de muestras para determinar D_a , micro y macroporosidad de una suelo franco arcilloso a una profundida de 70 cm	82

Figura 19. Determinación compactación de suelo a 70 cm en suelo franco arcilloso	82
Figura 20. Determinación de la velocidad de infiltración en suelo franco arenoso a 00 cm de profundidad.....	83
Figura 21. Subsulado a una profundidad de 40 cm en un suelo franco arenoso..	83
Figura 22. Determinación de la velocidad de infiltración en suelo franco arcilloso a 40 cm de profundidad.....	84
Figura 23. Recolección de muestras para determinar Da, micro y macroporosidad de una suelo franco arenoso a una profundidad de 40 cm.....	84
Figura 24. Determinación compactación de suelo a 40 cm en suelo franco arenoso	85
Figura 25. Subsulado a una profundidad de 70 cm en un suelo franco arenoso..	85

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de las partículas del suelo por su tamaño	19
Tabla 2. Densidad aparente con relación a la textura del suelo	22
Tabla 3. Registro de datos meteorológicos, Enero-Julio del 2018.	39
Tabla 4. ANOVA para velocidad de infiltración en suelo franco arcilloso y franco arenoso	43
Tabla 5. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para tipo de suelo	43
Tabla 6. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para profundidad de subsolado	44
Tabla 7. ANOVA para datos transformados de macroporosidad en suelo franco arcilloso y franco arenoso.....	46
Tabla 8. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor tipo de suelo	47
Tabla 9. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para profundidad de subsolado	47
Tabla 10. ANOVA para datos transformados de microporosidad en suelo franco arcilloso y franco arenoso.....	49
Tabla 11. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor tipo de suelo	49
Tabla 12. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para profundidad de subsolado	49
Tabla 13. ANOVA para compactación en suelo franco arcilloso y franco arenoso	51
Tabla 14. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor tipo de suelo sobre la compactación del suelo.	51
Tabla 15. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para profundidad de subsolado sobre la compactación del suelo.	52
Tabla 16. Prueba de infiltración en suelo Franco arcilloso a 40 cm de profundidad.....	62
Tabla 17. Prueba de infiltración en suelo Franco arcilloso a 70 cm de profundidad.....	63
Tabla 18. Prueba de infiltración en suelo Franco arcilloso a 00 cm de profundidad.....	64
Tabla 19. Prueba de infiltración en suelo Franco arenoso a 40 cm de profundidad.....	65

Tabla 20. Prueba de infiltración en suelo Franco arenoso a 70 cm de profundidad.....	66
Tabla 21. Prueba de infiltración en suelo Franco arenoso a 00 cm de profundidad.....	67
Tabla 22. Datos de evaluación de velocidad de infiltración (mm/h) en suelos a diferentes profundidades de subsolado.....	68
Tabla 23. Datos de evaluación macroporosidad (%) en suelos a diferentes profundidades de subsolado.....	68
Tabla 24. Datos transformados de macroporosidad a valores angulares	68
Tabla 25. Datos de evaluación microporosidad (%) en suelos a diferentes profundidades de subsolado.....	69
Tabla 26. Datos transformados de microporosidad a valores angulares.....	69
Tabla 27. Datos evaluados de compactación de suelos en suelos a diferentes profundidades de subsolado.....	69
Tabla 28. Datos meteorológicos, mes de enero-2018.....	71
Tabla 29. Datos meteorológicos, mes de Febrero-2018.....	72
Tabla 30. Datos meteorológicos, mes de Marzo-2018.....	73
Tabla 31. Datos meteorológicos, mes de Abril-2018.....	74
Tabla 32. Datos meteorológicos, mes de Mayo-2018.....	75
Tabla 33. Datos meteorológicos, mes de Junio-2018.....	76
Tabla 34. Datos meteorológicos, mes de Julio-2018.....	77

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- C.V. = Coeficiente de variación
- C.M. = Cuadrados medios
- F.V. = Fuente de variabilidad
- F_c = F calculada
- F_t = F tabular
- n.s. = No significativo
- S.C. = Suma de cuadrados
- % = Porcentaje
- * = Es significativo
- ** = Es altamente significativo

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en el Centro de Investigación y Producción ILLPA, de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, ubicado en el kilómetro 18 de la carretera Puno – Juliaca, del distrito de Paucarcolla, provincia y región de Puno; con el objetivo de: a) Determinar el efecto del subsolador sobre la velocidad de infiltración en un suelo Franco Arcilloso y Franco Arenoso, b) Determinar el porcentaje de macro y microporosidad antes y después del uso del subsolador, y c) Determinar el efecto del subsolador sobre la compactación del suelo a nivel de capa arable con penetrometro en KPa. Se empleó un experimento de diseño completamente al azar con un arreglo factorial de 2 factores. Siendo el primer factor en estudio tipo de suelo con 2 niveles (Suelo Franco Arcilloso y Suelo Franco Arenoso), y el segundo factor profundidad de subsolado con 3 niveles (00 cm, 40 cm y 70 cm). Las variables de respuesta fueron: Velocidad de infiltración, porcentaje de macroporosidad y microporosidad y Resistencia a la penetración, con un total de 6 tratamientos; el número de repeticiones por tratamiento corresponderán a 3, haciendo un total de 18 parcelas o unidades experimentales. Los datos obtenidos fueron analizados mediante análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$). Dónde: a) La mayor infiltración se da en el suelo franco arenoso a una profundidad de 70 cm con 12.32 mm/h y la menor a una profundidad de 00 cm con 8.18 mm/h., así mismo en el suelo franco arcilloso, se da en la profundidad de 70 cm con 10.78 mm/h, y la menor se da a 00 cm con 6.97 mm/h. b) La mayor macroporosidad se da a una profundidad de 70 cm en el suelo franco arenoso con 12.388% y en el suelo franco arcilloso con 9.928%. Las menores macroporosidades se dan en la profundidad de 00 cm con 9.680% en suelo franco arenoso y 3.857% en suelo franco arcilloso. La mayor microporosidad se da a una profundidad de 70 cm en el suelo franco arcilloso con 32.142% y en el suelo franco arenoso con 30.829%. Las menores microporosidades se dan en la profundidad de 00 cm con 29.423% en suelo franco arcilloso y 29.023% en suelo franco arenoso. c) La mayor compactación se da en el suelo franco arcilloso en la profundidad de 00 cm con 2394.507 KPa. Mientras que en el suelo franco arenoso se da en la profundidades de 00 cm con 2217.136 KPa. Las menores compactaciones se dan en la profundidad de 40 cm con 1726.273 KPa en suelo franco arcilloso y 1598.401 KPa en el suelo franco arenoso.

Palabras clave: Compactación, infiltración, porosidad, suelo, subsolado.

ABSTRACT

This research work was carried out at the ILLPA's Research and Production Center at Universidad Nacional del Altiplano - Puno, that is located at 18 kilometers of Puno City, in Paucarcolla district, province and region of Puno; with the main objectives : a) Determine the effect of the subsoiler on the infiltration velocity in a clay loam and Sandy Sandy soil, b) Determine the percentage of macro and microporosity before and after the use of the subsoiler, c) Determine the effect of the subsoiler on soil compaction at the level of arable layer with penetration in KPa. A completely randomized design experiment was used with a factorial arrangement of 2 factors. Being the first factor in soil type study with 2 levels (Clay Loam Soil and Sandy Loam Soil), and the second subsoil depth factor with 3 levels (00 cm, 40 cm and 70 cm). The response variables were: infiltration rate, percentage of macroporosity and microporosity and resistance to penetration, with a total of 6 treatments; the number of repetitions per treatment will correspond to 3, making a total of 18 experimental plots or units. The data obtained were analyzed by analysis of variance and Tukey's mean comparison test ($P \leq 0.05$). Where: a) The greatest infiltration occurs in the loamy sandy soil at a depth of 70 cm with 12.32 mm / h and the lowest at a depth of 00 cm with 8.18 mm / h., Likewise in the clay loam soil, it is in the depth of 70 cm with 10.78 mm / h, and the lowest is given at 00 cm with 6.97 mm / h. b) The greatest macroporosity occurs at a depth of 70 cm in sandy loam soil with 12.388% and in loamy clay soil with 9.928%. The smallest macroporosities occur in the depth of 00 cm with 9.680% in sandy loam soil and 3.857% in loamy clay soil. The highest microporosity occurs at a depth of 70 cm in the clay loam soil with 32,142% and in the loamy sandy soil with 30,829%. The smallest microporosities occurs in the depth of 00 cm with 29,423% in loamy clay soil and 29,023% in sandy loam soil. c) The greatest compaction occurs in the clay loam soil at the depth of 00 cm with 2394.507 KPa. While in the sandy loam soil occurs in the depths of 00 cm with 2217.136 KPa. The smallest compaction occurs in the depth of 40 cm with 1726.273 KPa in loamy clay soil and 1598.401 KPa in the loamy sandy soil.

Key words: Compaction, infiltration, porosity, soil, subsoiling.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la adopción de la agricultura intensiva a nivel mundial, involucra ciclos de cultivo más cortos y frecuentes y el uso de maquinaria más pesada, ha originado un incremento en la compactación del suelo (Poesse, 1992). La compactación incrementa la dureza del suelo y disminuye su fertilidad física al minimizar el almacenamiento y suministro de agua y nutrientes, lo que ocasiona requerimientos adicionales de fertilización y un mayor costo de producción. Ocurre entonces una secuencia perjudicial de crecimiento reducido de la planta, que origina menores entradas de materia orgánica fresca al suelo, un reducido reciclaje de nutrientes y mineralización, menor actividad de microorganismos y un mayor uso y desgaste de la maquinaria de cultivo (Hamza y Anderson, 2005). A nivel mundial, alrededor de 68 millones de hectáreas de suelo han sido degradadas por la compactación, principalmente como resultado del tránsito de maquinaria agrícola (Flowers y Lal, 1998).

Cuando se aprecia que, en cualquier superficie donde se opere la maquinaria agrícola, se requiere el uso de la labranza para regresar al suelo a una baja impedancia para la exploración de raíces y a un estado conductivo para la infiltración del agua (Carter *et al.*, 1991). En este sentido, el sistema de labranza convencional (tradicional), involucra una alta intensidad de trabajo del suelo y el volteo del mismo (Filipovic *et al.*, 2006), mientras que los sistemas de labranza de conservación tratan de alterar al suelo lo menos posible para conservar su estructura natural, lo que debería conducir a una menor compactación (Varsa *et al.*, 1997; Weise y Bourarach, 1999).

En razón a ello, no es de extrañar que, en la región de Puno, el proceso de mecanización está incrementándose considerablemente, en este contexto se plantea como una alternativa viable y de solución el presente proyecto que es el Efecto del Subsolador sobre la velocidad de infiltración y compactación en dos clases de suelo en el CIP ILLPA. Para el presente estudio se tomó como referencia los estudios de clasificación de suelos de Condori (2014), donde se identifica suelos Franco Arcillosos y Franco Arenosos para el Centro de Investigación y Producción

ILLPA, en donde se procederá a utilizar el implemento de labranza especial, denominado subsolador a una profundidad de 40 y 70 cm durante 50 m para luego tomar al azar puntos donde se medirá la velocidad de infiltración en suelos franco arcillosos y franco arenosos por tres repeticiones y sus respectivos análisis de laboratorio de macroporosidad y microporosidad, así mismo la resistencia a la penetración, para lo cual nos planteamos las siguientes interrogantes para este proyecto:

¿Cuál será el efecto del subsolador sobre la velocidad de infiltración en un suelo Franco Arcilloso y Franco Arenoso?

¿Cuál será el efecto del subsolador sobre el porcentaje de macroporosidad y microporosidad en un suelo Franco Arcilloso y Franco Arenoso?

¿Cuál será el efecto del subsolador sobre la compactación del suelo?

Por lo antes mencionado, se ha planteado los siguientes objetivos:

Objetivo general:

Estimar los cambios de velocidad de infiltración a consecuencia del uso del subsolador en dos tipos de suelos en el CIP Illpa.

Objetivos específicos:

- Determinar el efecto del subsolador sobre la velocidad de infiltración en un suelo Franco Arcilloso y Franco Arenoso.
- Determinar el efecto del subsolador sobre el porcentaje de macro y microporosidad en un suelo Franco Arcilloso y Franco Arenoso.
- Determinar el efecto del subsolador sobre la compactación del suelo a nivel de capa arable con penetrometro en KPa en un suelo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de investigación

Ortiz (2005), menciona que, según las propiedades físicas y químicas de los suelos y el tipo de cultivo considerado, la densidad aparente óptima, la que permite una máxima producción, varía entre 0,9 y 1,4. De las experiencias realizadas se deduce que, si se superan valores entre 1,5 y 1,7, disminuye la producción, con cosechas reducidas a la mitad de lo que permite el potencial productivo del suelo, duplicándose además la energía necesaria para labrar.

La compactación, que resulta nociva para el desarrollo de los cultivos, difiere del necesario asentamiento, en el que se produce un apoyo entre los componentes del suelo, dejando los suficientes huecos pequeños para que circulen el aire y el agua. Después de la arada, el suelo se asienta gradualmente por la acción de la gravedad, por la influencia del clima y por el peso de las máquinas durante la labranza secundaria y retorna por fin a su estado natural.

Compactación mecánica; el crecimiento de las raíces puede ser restringido por la compactación del suelo o por el valor de tensión del agua.

A bajas presiones, la compactación mecánica es un factor mínimo (0.5 kg/cm^2); la concentración de oxígeno determina el grado de crecimiento de las raíces (mínimo 1%, óptimo 10% de oxígeno).

Las raíces no se alargan bajo altos niveles de compactación mecánica (2 kg/cm^2) cualquiera que sea el nivel de oxígeno. Para una concentración de oxígeno dada, el alargamiento de las raíces decrece en proporción con el aumento de la tensión del agua.

2.2. Tractor agrícola

Murillo (1987), sostiene que, un tractor es una máquina dotada de motor para su desplazamiento, puede ser usada para tirar de equipos como arados, rastras, etc.

o para accionar mecanismos de máquinas estacionarias trilladoras, etc. y de máquinas móviles como empacadoras y segadoras.

Gilardi (1977), indica que, es una maquina automotriz compuesta de muchas partes y mecanismos que están sometidos a continuo desgaste y es utilizada para operar otras máquinas e implementos agrícolas.

Frank (1977), señala que, una maquinaria agrícola es cualquier dispositivo que consiste en un cuerpo o sistema de cuerpos apoyados en puntos o ejes destinados a suministrar, transformar, transferir, aplicar o regular energía para realizar trabajos agropecuarios o coadyuvar a ellos.

Ramos (2008), menciona que, el tractor es la fuente principal para desarrollar energía en la producción agropecuaria, debido a la creciente demanda en la producción agrícola.

2.2.1. Funciones del tractor agrícola

Ramos (2008), considera que las funciones del tractor agrícola son:

- Desarrollar fuerza de tiro o tracción, para las operaciones de labranza primaria, labranza secundaria y para jalar sembradoras, remolques y cosechadoras, a través de la barra de tiro.
- Desarrollar potencia de giro para accionar los mecanismos de máquinas de campo, que pueden o no ser simultáneamente remolcadas por el mismo tractor, tales como segadoras, empacadoras, sembradoras, fertilizadoras, cosechadoras, etc. suministrando potencia a través del eje toma de fuerza.
- Desarrollar potencia mediante su sistema hidráulico para el levante, accionamiento y el control remoto de máquinas, esto incluye el sistema de enganche en tres puntos para el accionamiento de implementos montados que trabajan sobre la superficie del terreno o en profundidad, y el acople rápido de mangueras con mando a distancia para el funcionamiento de aperos grandes y pesados.
- El chasis del tractor puede servir como soporte de máquinas que van montadas; ya sea en su parte trasera por medio del enganche en tres puntos, pala mecánica,

etc.; en su parte delantera, como la cargadora frontal; o en su parte central, como la barra de corte.

2.3. Suelos

Jaramillo (1994), indica que, el suelo, es aquella delgada capa, de pocos centímetros hasta algunos metros de espesor, de material terroso, no consolidado, en ella interactúan elementos de la atmósfera e hidrosfera (aire, agua, temperatura, viento, etc.), de la litosfera (rocas, sedimentos) y de la biosfera y se realizan intercambios de materiales y energía entre lo inerte y lo vivo, produciéndose una enorme complejidad.

El suelo según Hillel (1998), es un sistema heterogéneo, polifásico, particulado, disperso y poroso en el cual el área interfacial por unidad de volumen puede ser muy grande.

Las tres fases que componen el sistema suelo son:

- La fase sólida, compuesta por el conjunto de las partículas inorgánicas (cristalinas y no cristalinas) y las orgánicas.
- La fase líquida, que la componen el agua y los solutos que están disueltos en ella, es decir, la fase líquida es, en realidad, una solución: la solución del suelo.
- La fase gaseosa: o atmósfera del suelo, formada por todos aquellos compuestos que se presentan en forma gaseosa y cuyos representantes más abundantes, en condiciones de aireación adecuada del suelo son el CO_2 , O_2 y vapor de agua.

2.4. Las propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas de los suelos, determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes. Se considera necesario para las personas involucradas en el uso de la tierra, conocer las propiedades físicas del suelo, para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas, en qué medida y cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas, y

comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles (Rucks *et al.*, 2004).

2.4.1. Textura

Según Jordán (2006), los suelos son una mezcla de partículas minerales y orgánicas de diferentes formas y tamaños, la distribución de estas partículas de acuerdo a su tamaño y la cantidad en porcentaje que contiene el suelo se denomina textura. Las partículas del suelo se conocen como arena, limo y arcilla, y cada una se puede subdividir en fina, media y gruesa. Su clasificación sigue una escala logarítmica con límites entre 0.002 y 2mm. La clasificación de estas partículas es la siguiente:

Tabla 1. *Clasificación de las partículas del suelo por su tamaño*

Partículas del Suelo	Diámetro
Grava	>2mm
Arena	0.02 – 2mm
Limo	0.002 – 0.02mm
Arcilla	<0.002mm

Jaramillo (2002) dice que la textura es aquella propiedad que establece las cantidades relativas en que se encuentran las partículas de diámetro menor a 2 mm, es decir, la tierra fina en el suelo; estas partículas, llamadas separados, se agrupan en tres clases, por tamaños: Arena (A), Limo (L) y Arcilla (Ar).

La textura es, quizás, la característica más permanente del suelo aunque puede ser modificada por la remoción de horizontes superficiales por laboreo y el desarrollo de una nueva superficie de textura diferente; o por la acumulación de materiales acarreados por el viento o por el agua de riego, etc. (Giménez, 2001).

El término textura hace referencia a la proporción relativa de arena, limo y arcilla, en la masa del suelo, es decir, a las partículas inferiores a 2 mm de diámetro equivalente.

2.4.2. Estructura

Las partículas de origen orgánico y mineral que constituyen el suelo no se encuentran aisladas unas de otras, sino que forman agregados estructurales (también llamados peds).

Para Jordán (2006), el hecho de que las partículas de suelo no formen una masa continua y compacta, sino que se asocian de manera que conforman un espacio de poros intercomunicados hace posible el desarrollo de la vida en el suelo. Este espacio hueco, formado por poros, canales, cámaras y fisuras es el que permite el movimiento de gases y líquidos en el suelo, ofreciendo un entorno favorable a la actividad de los microorganismos y facilitando el crecimiento radicular de las plantas. Algunos autores consideran que, más que una propiedad, la estructura es un estado del suelo, ya que cuando está seco, se pone de manifiesto, pero si está húmedo, el suelo se vuelve masivo, sin grietas, y la estructura no se manifiesta. La estructura, por lo tanto, puede definirse de manera simple como la disposición espacial de las partículas del suelo.

2.4.3. Humedad (Agua en el suelo)

El agua es importante no sólo por ser uno de los factores que más influye en la formación de los suelos, erosión y estabilidad de las estructuras; lo es también por ser base de la alimentación de los seres vivos, especialmente en la producción de cultivos. Por todos esos efectos que ocasiona, se le considera al agua como el reactante universal (Herrera, 2010).

El agua del suelo transporta en disolución: nutrientes, sales solubles, compuestos orgánicos solubles y contaminantes, así como materia en suspensión, y permite su absorción por las raíces. Desde el punto de vista de la fertilidad física, la humedad del suelo controla su consistencia, penetrabilidad por las raíces, temperatura, etc. De esta forma, el adecuado manejo de suelo requiere un conocimiento de la dinámica del agua en el suelo. La humedad del suelo es la cantidad de agua que se encuentra en el suelo (Jordán, 2006).

2.4.4. Densidad

La densidad es una propiedad física de la materia que relaciona su masa y el volumen que ocupa en el espacio. Es una propiedad muy importante en el suelo ya que es un indicador de la compactación del suelo y se puede deducir su composición. La organización de las partículas individuales del suelo en unidades mayores hace que el suelo sea un medio poroso, lo que permite establecer dos tipos de densidades, la densidad de las partículas (minerales y orgánicas) o densidad real y la del suelo en su conjunto o densidad de volumen o aparente (Porta *et al.*, 1999).

a) Densidad aparente o relativa

La densidad de volumen o densidad aparente se define como el peso seco del suelo por unidad de volumen de suelo inalterado, tal cual se encuentra en su emplazamiento natural, incluyendo el espacio poroso (Pinot, 2000).

Para medir la densidad aparente se retira del campo una muestra de suelo de volumen conocido y se seca en el horno a 105°C, hasta que alcanza un peso constante. La densidad aparente se calcula dividiendo el peso seco del suelo por el volumen que ocupaba en el campo:

$$D_a(\text{g/cm}^3 \text{ o } \text{Mg/m}^3) = \frac{\text{Peso de los sólidos de la muestra o peso seco}}{\text{Volúmen de los sólidos} + \text{Volúmen de los poros}}$$

Los valores que puede tomar la densidad aparente dependen de muchos factores, incluyendo la textura, estructura y contenido de materia orgánica del suelo, así como del manejo del mismo. En contraste con la densidad real, que es más o menos constante, la densidad aparente es altamente variable debido a variaciones en la cantidad / calidad del espacio poroso.

Los suelos de textura fina, bien estructurados y con altos contenidos de materia orgánica presentan valores más bajos de densidad aparente que los suelos de textura gruesa, poco estructurados y con bajos contenidos de materia orgánica.

Tabla 2. Densidad aparente con relación a la textura del suelo

Textura	Densidad Aparente
Fina (Arcillosos)	1.00 – 1.30 g/cm ³
Media (Francos)	1.30 – 1.50 g/cm ³
Gruesa (Arenosos)	1.50 – 1.70 g/cm ³

Los valores pueden llegar a ser inferiores a 0,25 g/cm³ en suelos turbosos y superiores a 1,80 g/cm³ en suelos muy compactados (Porta *et al.*, 1999).

b) Interpretación de la Densidad Aparente (Da)

La densidad aparente puede ser incluida dentro de un grupo reducido de parámetros cuya medida es necesaria para evaluar la calidad de un suelo, como indicador de la estructura, la resistencia mecánica al enraizamiento y la cohesión del mismo (Doran y Parkin, 1994). Cambios en la densidad aparente reflejan cambios en la estructura del suelo, debido a la relación existente entre densidad aparente y la porosidad total.

La densidad aparente del suelo es un buen indicador de propiedades importantes del suelo, como son: la compactación, porosidad, grado de aireación y capacidad de infiltración, lo que condiciona la circulación de agua y aire en el suelo, los procesos de establecimiento de las plantas (emergencia, enraizamiento) y el manejo del suelo.

La densidad aparente afecta al crecimiento de las plantas debido al efecto que tienen la resistencia y la porosidad del suelo sobre las raíces. Con un incremento de la densidad aparente, la resistencia mecánica tiende a aumentar y la porosidad del suelo tiende a disminuir, con estos cambios limitan el crecimiento de las raíces a valores críticos. Los valores críticos de la densidad aparente para el crecimiento de las raíces, varían según la textura que presenta el suelo y de la especie de que se trate (Rubio, 2010).

Los valores bajos de densidad aparente son propios de suelos porosos, bien aireados, con buen drenaje y buena penetración de raíces, lo que permite un buen desarrollo de las raíces. Los valores altos de densidad aparente son propios de

suelos compactos y poco porosos, con aireación deficiente e infiltración lenta del agua, lo cual puede provocar anegamiento, anoxia y que las raíces tengan dificultades para elongarse y penetrar hasta alcanzar el agua y los nutrientes necesarios. En estas condiciones, el desarrollo y crecimiento de las plantas es impedido o retardado consistentemente (Donoso, 1992).

2.4.5. Resistencia a la penetración

Es la fuerza que opone el suelo a la introducción de una determinada herramienta de sondeo, proporcionando una idea de su dureza para las condiciones específicas en que se encuentra en un determinado momento. Su valor es un índice integrado de la compactación del suelo, del contenido de humedad, de la textura, del tipo de arcilla mineral presente, del contenido de materia orgánica y de la estructura del suelo. Por lo anterior, en su medición se deben considerar estas características (Ortiz-Cañavate y Hernanz, 1989; Narro, 1994).

Aunque los valores obtenidos de resistencia no reflejan más que un índice, que a su vez depende de la forma del elemento que se ha introducido en el suelo (placas, semiesferas, conos, etc.), es posible encontrar una relación entre la resistencia a la penetración y la que opone el suelo a una acción diferente producida por un neumático o a una determinada herramienta de trabajo de un apero agrícola. Actualmente, gran parte de las líneas de investigación que se llevan a cabo para establecer ecuaciones de predicción, en relación con lo mencionado con anterioridad, consideran como variable principal la resistencia a la penetración o índice de cono. La ventaja de manejar esta variable para los diferentes estudios del comportamiento del suelo ante acciones externas, radica en el gran número de mediciones que se pueden efectuar en un corto espacio de tiempo, esto permite conocer la variabilidad que presenta el suelo y actuar en consecuencia a la hora de establecer conclusiones (Ortiz-Cañavate y Hernanz, 1989).

Los instrumentos que se utilizan para la determinación de la resistencia a la penetración son los llamados penetrómetros (si miden sobre escala numérica), o penetrógrafos (si registran dicha variable). Los equipos manuales incluyen una serie de dispositivos o elementos comunes (Ortiz-Cañavate y Hernanz, 1989):

- a) Captador de esfuerzos (mecánico, electrónico o hidráulico).
- b) Cuantificador (escala numérica, indicador digital, registrador, etc.).
- c) Varilla soporte.
- d) Elemento de penetración (semiesfera, placa, punta cónica, etc.).

2.4.6. Velocidad de infiltración del agua en el suelo

La infiltración se refiere a la entrada del agua en el suelo. La cantidad de agua que se infiltra en un suelo en una unidad de tiempo, bajo condiciones de campo, disminuye conforme aumenta la cantidad de agua que ya ha entrado en él, la cual es máxima al comenzar la aplicación de agua en el suelo. La disminución de la infiltración a medida que transcurre el tiempo, después del humedecimiento de un suelo, es de gran importancia para los estudios de aprovechamiento de agua de lluvia y riego (Aguilera y Martínez, 1996).

La velocidad de infiltración es la relación entre la lámina que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo, expresada generalmente en $\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$ o $\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$ (De la Peña, 1977). La velocidad de infiltración depende de muchos factores, entre ellos: la lámina de riego o de lluvia, la temperatura del agua y del suelo, la estructura y compactación, textura, contenido de humedad del suelo, estratificación y actividades microbianas. Las determinaciones de infiltración pueden efectuarse en el laboratorio, sobre muestras alteradas y/o inalteradas, o siguiendo algunos métodos de campo (Aguilera y Martínez, 1996).

2.5. Conceptos básicos de compactación del suelo

La compactación se define como el aumento en la densidad aparente debido a un proceso de reestructuración de las partículas del suelo, que disminuye el espacio poroso e incrementa el contacto entre ellas (Soil Science Society of America, 1996). Según Ortiz-Cañavate y Hernanz (1989), la compactación es un proceso que genera una variación de volumen de suelo bajo la acción de fuerzas de compresión que pueden ser de origen mecánico (paso de vehículos), o naturales (humectación-desección, impacto de las gotas de lluvia, etc.).

Cuando el suelo se somete a la acción de una carga de compresión lo suficientemente grande para originar un cambio de volumen, se encuentran cuatro causales (Ortiz-Cañavate y Hernanz, 1989):

- a) Deformación debida a la compresión entre las partículas que integran la fase sólida.
- b) Compresión de la fase gaseosa.
- c) Variación del contenido de líquido y gas en el espacio poroso.
- d) Reordenación de las partículas sólidas.

Debido a que las fases sólida y líquida son relativamente incompresibles bajo la acción de una carga, las variaciones en el estado de compactación dependen principalmente de los cambios de posición de las partículas. Para suelos granulares no saturados de humedad, dichos cambios se efectúan por rodadura y deslizamiento entre partículas, mientras que para un estado de saturación dado, el factor que más incide en la variación de volumen, es el movimiento del agua en el interior de la masa de suelo. En general, puede establecerse que la reorganización de los componentes de la fase sólida del suelo es consecuencia primeramente de una variación del volumen de huecos. En ensayos de compresión uniaxial sobre muestras de suelo, se han podido establecer relaciones de tipo empírico entre dicha variación de volumen (cuantificada por la porosidad, índice de huecos, o densidad aparente) y la presión hidrostática ejercida (Ortiz-Cañavate y Hernanz, 1989).

Las fuerzas que originan la compactación se pueden clasificar en dos grupos (Ortiz-Cañavate y Hernanz, 1989):

- 1) Internas.
- 2) Externas.

Las fuerzas *internas* se producen principalmente por los efectos de la humectación y desecación que se traducen respectivamente en un aumento del volumen del suelo debido a la hinchazón de las arcillas y a una posterior retracción. La alternancia de estos procesos hace que se origine una reorientación de las partículas del suelo y un desplazamiento de las mismas que ocupan poco a poco los espacios porosos.

Las fuerzas *externas* son aquellas que se aplican sobre la masa del suelo. Por su origen se distinguen dos tipos:

a) Mecánicas y b) Naturales.

Las de origen *mecánico* fundamentalmente son debido a los vehículos agrícolas, máquinas no suspendidas, y aperos de labranza. Todo vehículo o máquina, a través de sus elementos de propulsión, ejerce sobre el suelo una serie de cargas que causan una deformación del mismo, así como un aumento de la densidad aparente que va disminuyendo en profundidad. La compactación originada por el tráfico de vehículos, u otro tipo de máquinas rodantes, depende entre otros factores de (Ortiz-Cañavate y Hernanz, 1989):

- La carga aplicada.
- La superficie de contacto del neumático o cadena con el suelo.
- Tipo de suelo y humedad del mismo.

El tipo de suelo tiene una influencia importante sobre su capacidad de compactación, aquellos cuyo contenido de arcilla es medio o alto son los que más problemas pueden presentar. No obstante, la humedad es el factor que más incidencia directa tiene en el proceso de compactación. Un suelo estructurado y seco presenta un entramado rígido entre sus partículas que le confieren una importante resistencia a la deformación. Al ir aumentando la humedad, dicho entramado se debilita, de manera que al cargarlo sus partículas se reorientan y desplazan unas sobre otras haciendo que la porosidad disminuya. Esta porosidad queda reducida de forma permanente causando una serie de problemas para el desarrollo radicular una vez que el suelo se deseca, así como incrementando la dureza del suelo y disminuyendo su fertilidad física al minimizar el almacenamiento y suministro de agua y nutrientes, lo que ocasiona requerimientos adicionales de fertilización y un mayor costo de producción (Ortiz-Cañavate y Hernanz, 1989; Hamza y Anderson, 2005).

Por otra parte, la compactación de origen natural es debida, entre otras causas, a la acción del ganado y al impacto de las gotas de lluvia. En el primer caso depende de la “carga ganadera”, es decir del número de cabezas por unidad de superficie, del peso de cada una de ellas, y de la superficie de apoyo sobre el suelo. Las gotas de lluvia influyen también en la compactación del suelo (Cuadro 3), ésta viene

condicionada por la intensidad y tamaño de las gotas que influyen directamente sobre la energía de impacto (Ortiz-Cañavate y Hernanz, 1989).

2.6. Subsulado del suelo

Si se ha determinado la presencia de una estrata compactada en el suelo, se debe proceder a su rotura mediante un arado denominado subsolador. El subsolador puede constar de uno, tres o más brazos montados sobre una barra portaherramientas. Los brazos deberían tener una inclinación vertical mayor de 25° a 30°, preferentemente de 45°, y es aconsejable que la altura sea regulable de modo de ajustar la profundidad de trabajo con respecto a la profundidad a la que se encuentra la estrata compactada. Según Márquez (2001) para que el subsolador actúe con eficacia, debe trabajar 10 cm por debajo de la capa que se pretende romper.

Habitualmente se designan como subsoladores los que pueden hacerlo a profundidades que superan los 50 cm, mientras que se denominan como arados descompactadores a los que trabajan a menor profundidad.

La denominación de “ripper”, que se utiliza en la maquinaria de movimiento de tierras para designar a las herramientas diseñadas para romper capas de acumulación en el subsuelo, se puede considerar equivalente a la de subsolador.

La bota o pie de un subsolador, presenta en su frente de corte una punta o cincel intercambiable, con un ángulo de inclinación diseñado para facilitar la penetración del arado en el suelo. Este elemento protege a la bota del efecto abrasivo del terreno alargando su vida útil. La condición de la punta es muy importante, y muchas veces el subsulado no da buenos resultados, debido a la mala condición de la misma (Ibáñez y Hetz, 1988).

Un disco cortador delante del subsolador facilita el corte de rastrojos o cubierta vegetal de los primeros centímetros del suelo, abriendo un camino expedito al brazo de la unidad de rotura del subsolador. Un rodillo desterronador acoplado detrás de los brazos, ayuda a desmenuzar los agregados grandes. Para asegurar una buena superposición del aflojamiento en la parte superior y en la parte inferior, el

espaciamiento entre los brazos no debe ser mayor que la profundidad de trabajo (Ibáñez y Hetz, 1988).

La potencia requerida por cada brazo varía con el estado de compactación del suelo, con el tipo de subsolador y especialmente con el estado de la punta, así como la velocidad de trabajo, la cual debe ser relativamente baja debido fundamentalmente a la gran potencia que requiere para moverse.

El número de brazos y el espaciamiento entre ellos dependerán de la potencia del tractor y de la profundidad de penetración deseada. Cuando el brazo del subsolador pasa a través del suelo, afloja un volumen de suelo que tiene una sección triangular. Para asegurar una buena superposición del aflojamiento en la parte superior y en la parte inferior, el espaciamiento entre los brazos no debe ser mayor que la profundidad de trabajo. Los suelos arcillosos se rompen formando grietas de mayor longitud que texturas medias y arenosas.

Para determinar el ancho entre pasadas del subsolador se recomienda introducir el subsolador en la pared de una calicata, a la profundidad determinada y luego medir la longitud media de las grietas producidas al avanzar el tractor. La separación entre pasadas del subsolador debe ajustarse de tal forma que las grietas se traslapen ligeramente.

A objeto de lograr un mayor efecto agrietador en el terreno, es recomendable operar con el suelo seco. Un suelo excesivamente húmedo se corta con facilidad, pero no logra producir el resquebrajamiento deseado.

2.7. Subsolador tipo Topo

Es un apero que consta de un solo brazo y está suspendiendo a los tres puntos del elevador hidráulico. El brazo es recto y va protegido por su parte delantera con una cuchilla. La parte inferior del brazo lleva la reja, que es el elemento encargado de facilitar la penetración en el terreno y de romper el pie de arado. En la parte posterior de la reja y unido por medio de unos eslabones, lleva una pieza de forma cilíndrica cuya misión es crear una tierra removida por la reja una galería en el terreno que facilite la aireación de las capas profundas y el drenaje del agua en aquellos

terrenos con tendencia a encharcarse. En estos terrenos habrá que dar los pases desde la parte más alta de la parcela hacia la más baja o viceversa, para de esta forma, llevar el exceso de agua a un punto donde puede eliminarse mediante un drenaje o una acequia (Laguna, 1999).

2.8. Regulación del arado subsolador

Para conseguir un apropiado funcionamiento del arado subsolador, este debe estar correctamente nivelado. Las regulaciones a considerar son, en el sentido transversal, longitudinal, y la profundidad del arado.

2.8.1. Regulación en sentido transversal

En el sentido transversal, el chasis o barra porta herramienta, debe mantener un plano paralelo con el terreno. En los arados de enganche integral esta nivelación se logra acortando o alargando el brazo lateral derecho del tractor. En los de arrastre, depende de la posición de la ruedas de transporte. Esta nivelación transversal permite, que todas las unidades de rotura penetren verticalmente en el suelo a la misma profundidad.

2.8.2. Regulación en sentido longitudinal

En el sentido longitudinal del trabajo, la nivelación del marco o chasis del arado subsolador, garantiza que la unidad de rotura mantendrá el ángulo de penetración diseñado por el fabricante para conseguir el resultado deseado. En los arados de enganche integral, la regulación se logra modificando la longitud del brazo superior (tercer punto) del sistema de levante hidráulico del tractor.

2.8.3. Regulación de la profundidad de trabajo

Para regular la profundidad de trabajo, es fundamental regular la profundidad de la unidad o unidades de rotura, en función de las características del perfil del suelo a trabajar y de su grado de compactación. Ello porque este equipo, ha sido diseñado con el objetivo de romper capas compactadas en el subsuelo, además que es la “bota” o punta del arado la que produce grietas al pasar a través de esas capas (Ibáñez y Hetz, 1988).

Si a través de una calicata se establece que existe presencia de una capa compactada, que se ubica desde la superficie hasta 60 centímetros profundidad existiendo el mayor grado de compactación a una profundidad que va entre los 40 y 50 centímetros, la profundidad de trabajo recomendable sería el subsolar a una profundidad de 48 centímetros. Esto, en la práctica, se consigue midiendo el largo total del brazo del subsolador, supongamos 80 centímetros, el cual se resta a los 48 centímetros, por lo cual la diferencia entre ellos (33 centímetros) corresponde al largo del brazo del implemento que debe sobresalir desde el suelo, al momento de iniciar la labor de subsolado (Carrasco y Riquelme, 2010).

En terreno, una forma de comprobar la efectividad de la profundidad de trabajo de la labor, es extraer los primeros 30 a 40 centímetros más superficiales, y posteriormente medir con una varilla graduada, después de una pasada del subsolador, la profundidad a la cual éste ha penetrado (Carrasco y Riquelme, 2010).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de investigación

Se realizó en el CIP ILLPA, ubicado en el kilómetro 18 de la carretera Puno – Juliaca. Long. Oeste 70° 4' 50". Latitud Sur 15° 42' 30", con altitud de 3820 msnm., con una extensión superficial de 409.246 ha. Cuya ubicación política es la siguiente:

Distrito : Paucarcolla
Provincia : Puno
Departamento : Puno
País : Perú

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Maquinaria agrícola

a) Tractor New Holland TD 95D Plus de 98HP de potencia y peso de 4000kg.

Sus dimensiones son:

- Ancho de la trocha delantera: 1410-1910 mm
- Ancho de la trocha posterior: 1400-2032 mm
- Distancia entre ejes : 2248 mm
- Longitud total: 3283 mm

- Neumáticos

- Delanteros: 12.4 x 24 R1
- Posteriores: 18.4 x 30 R1
- Presión Mecánica : 1.5 kg/cm²

b) Arado Subsolador tipo topo de peso neto 300kg.

- Numero de brazos: 01 brazo
- Tamaño reja: 0.50x0.10 m
- Profundidad de trabajo: 0.70 m

3.2.2. Instrumentos y equipos de laboratorio

- Balanza de triple barra con capacidad de 500g.
- Balanza analítica de 200g.
- Estufa para la desecación de muestras y obtener la humedad gravimétrica.

- Probetas de 100ml, para la medición aproximada de volúmenes.
- Fiola de 100ml, para la determinación de la densidad real o de partícula.
- Piseta con la que se administró agua destilada a la fiola en la determinación de la densidad real.
- Termómetro digital con aproximación a 0.1°C.
- Agua destilada
- Tamiz N°10 (2mm) para cernir las muestras de suelo y determinar la densidad de partícula.
- Luna de reloj en la que se separaron las muestras cernidas.

3.2.3. Materiales para la realización de pruebas con las propiedades físicas y muestreo de suelos

- Unidades experimentales (parcelas): Cada parcela tiene un área de 50m².
- Picos y palas para despejar el lugar de muestreo para Da.
- Cilindros muestreadores.
- Cuchillo, con los que se enrasó las muestras de los cilindros.
- Envases para transportar las muestras.
- Penetrómetro estático (Geofix).

3.2.4. Materiales para la prueba de velocidad de infiltración

- Cilindros infiltrómetros concéntricos con los que realizó las pruebas de velocidad de infiltración.
- Baldes y recipientes, para acarrear agua hasta el lugar de la prueba de infiltración.
- Escalímetro o regla milimetrada para la medición de lámina de infiltración.
- Bolsa o plástico colocado en la superficie del suelo dentro del cilindro interior para disminuir la erosión y evitar la alteración de la capa superficial del suelo.
- Gancho metálico para observar la superficie del agua.

3.3. Variables en estudio

3.3.1. Variables independientes

- a) Tipos de suelo, siendo los sub- niveles:
 - Suelo Franco Arcilloso

- Suelo Franco Arenoso
- b) Profundidad de subsolado en suelo, siendo los sub-niveles:
- 00 cm de profundidad
 - 40 cm de profundidad
 - 70cm de profundidad

3.3.2. Variables dependientes

- Velocidad de infiltración (mm/h)
- Porcentaje de macroporosidad y microporosidad (%)
- Resistencia a la penetración (KPa)

3.4. Análisis estadístico

En el presente estudio se empleó un experimento diseño completamente al azar con arreglo factorial de 2 factores, siendo el primer factor en estudio tipo de suelo, cuyos niveles son Suelo Franco Arcilloso (S1) y Suelo Franco Arenoso (S2), y el segundo factor profundidad de subsolado, 00 cm (P0), 40 cm (P1) y 70 cm (P2), con un total de 6 tratamientos; el número de repeticiones por tratamiento corresponderán a tres, haciendo un total de 18 parcelas o unidades experimentales. Para la comparación de tratamientos se utilizara la prueba de comparación múltiple de Tukey.

Siendo el modelo matemático, para un diseño factorial completamente al azar es:

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + S_j + (P*S)_{ij} + e_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Valor real observado en el i-esima potencia del tractor j-esimo tipo de suelo, k-esimo bloque.

μ = Medida general.

P_i = Es el efecto de la i-esimo potencia del tractor.

S_j = Es el efecto de j-esimo tipo de suelo.

$(P*S)_{ij}$ = el efecto de la interacción entre la i-esimo de potencia de tractor con el j-esimo de tipo de suelo.

e_{ijk} = error experimental.

3.5. Conducción del experimento

3.5.1. Fase de Campo

Para determinar los efectos del Arado de sub suelo sobre dos tipos de suelo a dos profundidades sobre el terreno en la densidad aparente, porosidad, resistencia a la penetración y velocidad de infiltración se condujo de la siguiente manera:

a) Estudio previo al experimento

Se realiza un diagnóstico de las áreas en donde se va realizar el estudio, para identificar los tipos de suelo (Franco Arenoso y Franco Arcilloso) los mismos que deberían tener una producción agrícola de más de 20 años, para luego buscar indicadores que determinen la presencia de compactación en el suelo, para lo cual se realiza una evaluación visual, en donde se pueda observar encharcamiento en época de lluvias y/o riego, así mismo, baja incidencia de pastos naturales, por otra parte se realiza un sondeo con una varilla metálica para determinar la profundidad de la compactación, encontrando que los suelos presentaban un grado de compactación profunda (mayores a 30 cm) el mismo que se comprueba realizando una calicata, de esta manera se determinó las profundidades de subsolado de 40 y 70 cm.

b) Experimento con subsolador

En cada tipo de suelo se tendrán 2 parcelas experimentales cada una de 50m² (50mx1m), 1 de ellas para cada profundidad y de éstas, se tomaron las muestras y lecturas de instrumentos en 3 repeticiones.

Inmediatamente después, de cada tratamiento se realizó el muestreo del suelo con sus respectivas repeticiones para llevarlas a laboratorio y proceder con las evaluaciones necesarias de: densidad aparente, porosidad, velocidad de infiltración y resistencia a la penetración para cada tipo de suelo usando los cilindros infiltrómetros en cada parcela experimental.

3.5.2. Fase de Laboratorio

a) Determinación de la Humedad

Se ha seguido el siguiente procedimiento:

- Pesar la muestra húmeda
- Pesar un envase para llevar a la estufa
- Colocar la muestra en el envase
- Poner en la Estufa a 105°C durante 24 horas.
- Pesar el envase junto con la muestra seca y tarar el envase para obtener sólo el peso de la muestra seca.
- Se procedió con el siguiente cálculo:

$$\%H = \frac{P_i - P_f}{P_f} \times 100$$

Donde:

%H : Porcentaje de la humedad gravimétrica del suelo

Pi : Peso inicial, es decir, peso de muestra húmeda

Pf : Peso final o peso de muestra seca

b) Determinación de la Densidad Aparente

Para la determinación de la densidad aparente se necesita tener un volumen conocido, así que se usaron los cilindros muestreadores para extraer suelo inalterado, los mismos que se usaron para la determinación de humedad.

- Luego de pesar las muestras secas (al concluir la determinación de humedad), se registra en la tabla de resultados.
- Se calculó el volumen del cilindro muestreador con un vernier.
- Con los datos que se obtendrán se aplica la siguiente fórmula para determinar la Densidad Aparente:

$$Da = \frac{MS}{VT}$$

Donde:

Da: Densidad aparente (g/cm³)

MS: Masa de suelo seco (g)

VT: Volumen total del suelo (cm³)

c) Determinación de la Densidad de Partícula

Herrera A. (2010), menciona que la densidad de partícula se define por el peso (masa) dividido por el volumen unitario de la parte sólida del suelo (partículas minerales del suelo). La densidad de partícula de cualquier suelo es una constante, porque solo se considera a las partículas sólidas sin tomar en cuenta el espacio poroso. Los suelos normales tienen una densidad de partícula en promedio de 2.65g/cc esta será en la medida que se incrementen en el suelo minerales pesados como la hematita, magnetita, limonita y circón y sucede lo contrario en presencia de abundante materia orgánica y minerales de arcillas.

El método usado para su determinación es el método del picnómetro o el de fiola:

- Realizar la numeración y pesado de las fiolas (100 ml.) para anotarlos en el siguiente cuadro (las muestras y las fiolas deben estar completamente secas):
- Pesar 40g de muestra de suelo seco y cernido, y colocar en una fiola.
- Pesar la fiola con muestra de suelo aún sec.
- Echar un poco de agua destilada en cada fiola.
- Mover y mezclar hasta mojar toda la muestra dentro de la fiola.
- Colocar las fiolas sobre una cocinilla y hacer ebullición durante 5-10min, agitando periódicamente para que no rebalsen.
- Dejar enfriar hasta una temperatura no mayor de 30°C
- Finalmente aforar las fiolas con agua destilada, pesarlas y medir la temperatura en cada una. Calcular la densidad real con el cuadro anterior.

d) Determinación de la Porosidad

El cálculo de la porosidad se realizó en tres parámetros: porosidad total, microporosidad y macroporosidad, con las siguientes fórmulas:

Porosidad Total

$$\% PT = \frac{Dp - Da}{Dp} * 100$$

Donde:

% PT: Porcentaje de porosidad total

Dp: Densidad de partícula

Da: Densidad aparente

Microporosidad

$$\%mp = \%H\varepsilon * Da$$

Donde:

% mp: Porcentaje de microporosidad

% Hε: Porcentaje de humedad equivalente

Da: Densidad aparente

Humedad Equivalente:

$$\%H\varepsilon = \frac{PSh - PSs}{PSs} * 100$$

Donde:

%Hε: Porcentaje de humedad equivalente

PSh: Peso de suelo húmedo

PSs: Peso de suelo seco

Macroporosidad

$$\%MP = \%PT - mp$$

Donde:

% MP: Porcentaje de macroporosidad

% PT: Porcentaje de porosidad total

% mp: Porcentaje de microporosidad

e) Determinación de la velocidad de infiltración.

Según Vásquez y Chang-Navarro (1988), la infiltración básica se calculó de la siguiente manera:

- 1) Teniendo los apuntes de la prueba de velocidad de infiltración, se seleccionó los datos correspondientes a “tiempo acumulado (min)” y “lámina infiltrada (cm)”. Para calcular los parámetros de la ecuación de lámina de infiltración acumulada, se utilizó el método analítico mediante los mínimos cuadrados.
- 2) La ecuación de la Función de la Lámina Infiltrada Acumulada es:

$$I_{cum} = A T_o^B$$

- 3) El cálculo de sus parámetros es el siguiente (en base a la técnica de los mínimos cuadrados):

El parámetro B se calculó con la siguiente relación:

$$B = \frac{n(\sum X_i \cdot Y_i) - \sum X_i \cdot \sum Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

Donde: $Y = \log I_{cum}$

$X = \log T_o$

El parámetro A se calculó de la siguiente forma:

$$A_o = \frac{\sum Y_i}{n} - \frac{B \sum X_i}{n}$$

Donde:

$$A = \text{antilog } A_o$$

Luego:

$$A = 10^{A_o}$$

Para conocer el grado de confiabilidad del modelo hallado, se calculó su coeficiente de determinación (R^2), de la siguiente manera:

$$R^2 = \frac{\left[\sum X_i \cdot Y_i - \frac{\sum X_i \sum Y_i}{n} \right]^2}{\left[\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n} \right] \left[\sum Y_i^2 - \frac{(\sum Y_i)^2}{n} \right]}$$

- 4) Al tener definida la ecuación de la función de la lámina infiltrada acumulada (I_{cum}), se procedió con su derivación para obtener la ecuación de la velocidad de infiltración (I):

$$I_{cum} = A T_o^B$$

$$I = a T_o^b$$

Donde:

I = Velocidad de infiltración, expresada en mm/h, cm/h, etc.

T_o = Tiempo de oportunidad (tiempo de contacto del agua con el suelo) expresado en minutos

a = Coeficiente que representa la velocidad de infiltración para $T_o = 1$ min

b = Exponente que varía entre 0 y -1

Para calcular los parámetros de la ecuación de velocidad de infiltración se deriva la ecuación de la Infiltración acumulada:

$$I = \frac{d(I_{cum})}{dt} = \frac{d(AT_o^B)}{dt} = A \cdot (B) \cdot T_o^{B-1}$$

Por lo tanto:

$$a = A \times B \qquad b = B - 1$$

5) Cuando ya se tuvo determinada la ecuación de la velocidad de infiltración instantánea, se procedió a calcular el tiempo de oportunidad en el cual se logra la velocidad de infiltración básica.

Si la ecuación está expresada en minutos, para hallar el Tiempo de oportunidad necesario para que ocurra la velocidad de infiltración básica se calcula de la siguiente forma:

$$T_b = -600 \cdot b$$

6) Se reemplazó el tiempo hallado (T_b) en la ecuación de la Infiltración instantánea, para calcular la infiltración básica.

3.5.3. Observaciones

a) Temperaturas, Humedad y Precipitación pluvial

En la tabla 3 y figura 1, se observa que las temperaturas máxima, mínima y media correspondientes a los meses de enero a julio del 2018; respecto a las temperaturas, en temperatura máxima, se puede observar que la mayor se da en el mes de mayo con 15.51 °C, la menor en el mes de junio con 14.03 °C; en temperatura mínima, la mayor se dio en el mes de Febrero con 4.56 °C y la mínima fue en Junio con -4.14 y en temperatura media, la mayor dio en el mes de enero con 9.19 °C y la mínima de la media se tienen al mes de junio con 4.73 °C.

Tabla 3. Registro de datos meteorológicos, Enero-Julio del 2018.

Meses	Temperaturas (°C)			Humedad (%)	Precipitación pluvial (mm)
	Media	Max.	Min.		
Enero	9.19	15.27	4.20	72.43	4.48
Febrero	9.13	14.46	4.76	78.26	3.80
Marzo	8.64	14.85	3.63	78.17	2.93
Abril	7.06	15.45	-0.97	65.86	1.28
Mayo	5.59	15.51	-3.63	51.81	0.16
Junio	4.73	14.03	-4.14	59.76	0.31
Julio	5.25	14.37	-3.26	57.69	0.64

Fuente: SENAMHI - Oficina de Estadística

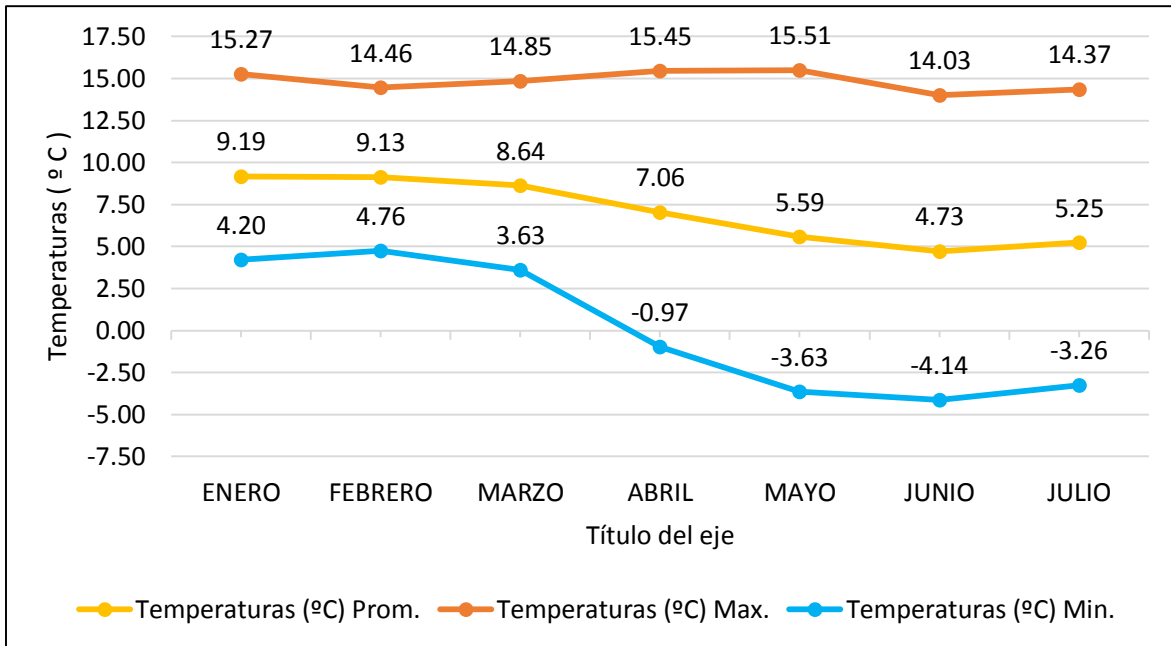


Figura 1. Comportamiento de las temperaturas (Enero-Julio, 2018).

En la tabla 3 y figura 2, se observa que la mayor humedad relativa se da en el mes febrero con 78.26% y la menor humedad relativa en el mes de Mayo con 51.81%. La tendencia de la humedad relativa es variable por cada mes, siendo el rango de 51.81% hasta 78.26%.

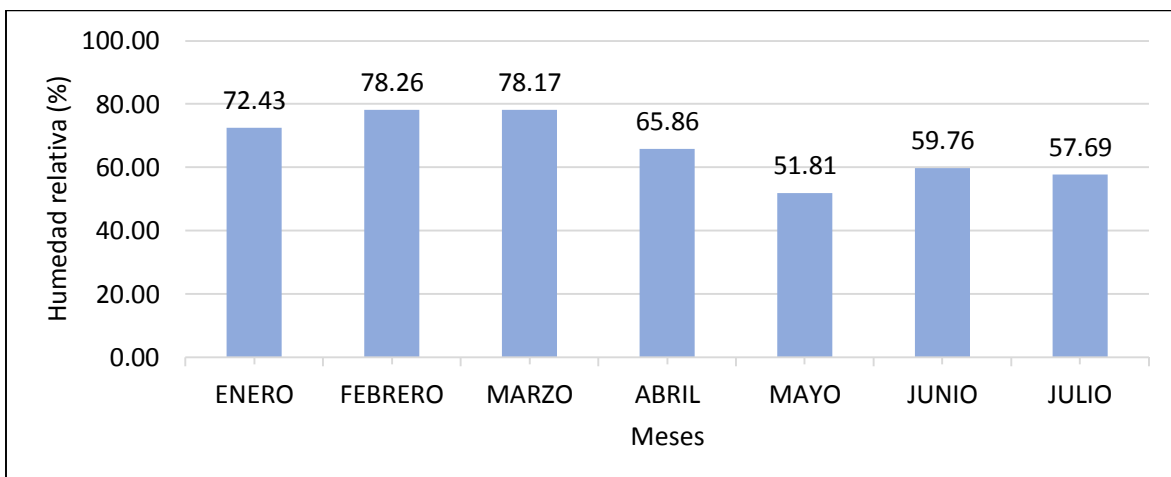


Figura 2. Comportamiento de la Humedad relativa (Enero-Julio, 2018).

En la tabla 3 y figura 2, se observa que la mayor precipitación pluvial se da en el mes enero con 4.48 mm y la menor humedad relativa en el mes de Mayo con

0.16mm. La tendencia es variable por cada mes, siendo el rango de 0.16mm hasta 4.48 mm%.

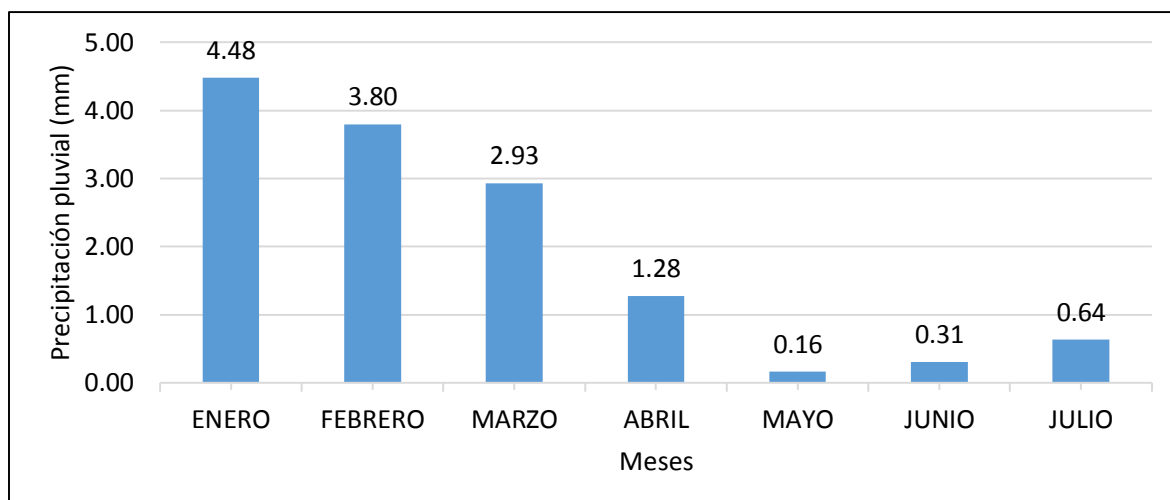


Figura 3. Comportamiento de la Precipitación pluvial (Enero-Julio, 2018).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Velocidad de infiltración en un suelo franco arcilloso y franco arenoso

Balbuena, Botta, Rivero (2009), definen a la compactación en términos generales como el aumento de la densidad aparente del suelo la misma que es causada por diversos factores como: la compresión de las partículas durante los procesos pedogenéticos, la contracción natural en el proceso de humedecimiento-secado, el pisoteo generado por los animales, las labranzas continuas, la acción del agua causada por la implementación de sistemas de riego y las presiones generadas por el tráfico y el peso de los vehículos e implementos agrícolas. Por otra parte, suele hacerse referencia a un efecto de “empaquetamiento” del suelo producido por una fuerza mecánica, que origina una disminución del volumen ocupado por los poros, e incrementa la densidad y la resistencia de la masa del suelo. Cuando esto ocurre, se reducen los poros de gran tamaño, con lo cual se afecta la velocidad de infiltración y el drenaje.

El agua se infiltra con rapidez en suelos secos; esta velocidad se conoce como la velocidad de infiltración inicial, a medida que el agua sustituye al aire que se encuentra en los poros, el agua de la superficie se infiltra a una velocidad menor y finalmente, cuando el suelo se satura de agua, alcanza una velocidad constante, que es la velocidad de infiltración básica. Y que la fluctuación de la velocidad de infiltración básica según la textura del suelo es: Arenoso más de 30 mm/h, Franco Arenoso de 20 – 30 mm/h, Franco de 10 – 20 mm/h, Franco Arcilloso de 5 – 10 mm/h y Arcilloso de 1 – 5 mm/h. (Brouwer, et al., 1988).

En la tabla 4, se observa el ANOVA para velocidad de infiltración en suelo franco arcilloso y franco arenoso, en donde se observa que para factor suelo (S), existe una diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$), indicando que entre los dos suelos existe diferencias en la velocidad de infiltración. Para el factor profundidad de subsolado (P), existe una diferencia estadística altamente significativa ($P \leq 0.01$), lo cual revela que entre las profundidades de suelo hay diferencias en la velocidad de infiltración. En la interacción de S x P, no existe diferencias estadísticas significativas ($P \geq 0.05$), dando a entender que los factores actúan de forma independiente sobre la velocidad de infiltración en los suelos. Por otro lado, el

coeficiente de variación (CV) igual a 11.92% indica que los datos evaluados son confiables (Vásquez, 2013).

Tabla 4. ANOVA para velocidad de infiltración en suelo franco arcilloso y franco arenoso

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fcc	Pr > F
Suelo (S)	1	10.02027222	10.02027222	6.80 *	0.0229
Profundidad (P)	2	61.37241111	30.68620556	20.81**	0.0001
S x P	2	0.20207778	0.10103889	0.07 n.s.	0.9309
Error experimental	12	17.69120000	1.47426667		
Total	17	89.28596111			

CV=11.92% $\bar{X} = 10.18 \text{ mm/h}$

En la tabla 5, se observa que el suelo franco arenoso tuvo mayor velocidad de infiltración con 10.93 mm/h, el cual fue estadísticamente superior al tipo de suelo franco arcilloso con 9.44 mm/h. esto debido básicamente a las partículas de arena en mayor porcentaje que permiten un rápido paso del agua sin retenerlo.

Tabla 5. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para tipo de suelo

Orden de mérito	Suelo	Promedio de velocidad de infiltración (mm/h)	P ≤ 0.05
1	Suelo franco arenoso	10.93±2.34	a
2	Suelo franco arcilloso	9.44±2.10	b

En la tabla 6, se observa que el subsolado a una profundidad de 70 cm tuvo mayor promedio de velocidad de infiltración con 11.55 mm/h, incrementándose en un 52.51% sobre el subsolado a una profundidad de 00 cm que tiene como promedio de velocidad de infiltración de 9.44 mm/h, seguido del subsolado a una profundidad de 40 cm con un promedio de velocidad de infiltración de 11.44 mm/h, el mismo que se incrementa en un 50.92% con respecto al subsolado de una profundidad de 00 cm. Así mismo los promedios de velocidad de infiltración a la profundidad de subsolado de 70 cm y 40 cm son estadísticamente similares y superiores al tratamiento de subsolado a 00 cm, asumiendo que a mayor profundidad se encuentra las capas más duras e impermeables y ocasionando una fisura con la punta de reja del subsolador, se logra obtener una mayor velocidad de infiltración.

El uso constante del arado de disco ocasiona un desplazamiento de las partículas más finas del horizonte A al B concentrándose en una capa dura e impermeable generalmente ubicado entre 30 y 40 cm de profundidad.

Tabla 6. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para profundidad de subsolado

Orden de mérito	Profundidad de subsolado	Promedio de velocidad de infiltración (mm/h)	$P \leq 0.05$
1	70 cm	11.55±1.534	a
2	40 cm	11.44±1.587	a
3	00 cm	7.58±0.840	b

Sanchez-Giron (1996), Manifiesta que un suelo agrícola esta compactado, cuando se ha roto el equilibrio entre las unidades estructurales, la estabilidad de las mismas, los poros, las grietas y las fisuras, lo cual asegura o disminuye un rápido drenaje, una adecuada aireación, y un contenido de humedad apropiado asegura el crecimiento óptimo de los cultivos.

Al no haber diferencia estadística en la interacción S x P, se ha realizado un gráfico (figura 4), con la finalidad de conocer las diferencias matemáticas entre los tratamientos en estudio. En donde se observa que la mayor infiltración se da en el tratamiento conformado por suelo franco arenoso en las profundidades de 70 y 40 cm con 12.32 y 12.30 mm/h respectivamente. Mientras que en el suelo franco arcilloso se da en las profundidades de 70 y 40 cm con 10.78 y 10.57 mm/h respectivamente. Las menores infiltraciones se dan en la profundidad de 00 cm con 8.18 mm/h en suelo franco arenoso y 6.97 mm/h en suelo franco arcilloso, en un suelo de textura fina la poca retención de agua es evidente por la mayor cantidad de arena en su composición.

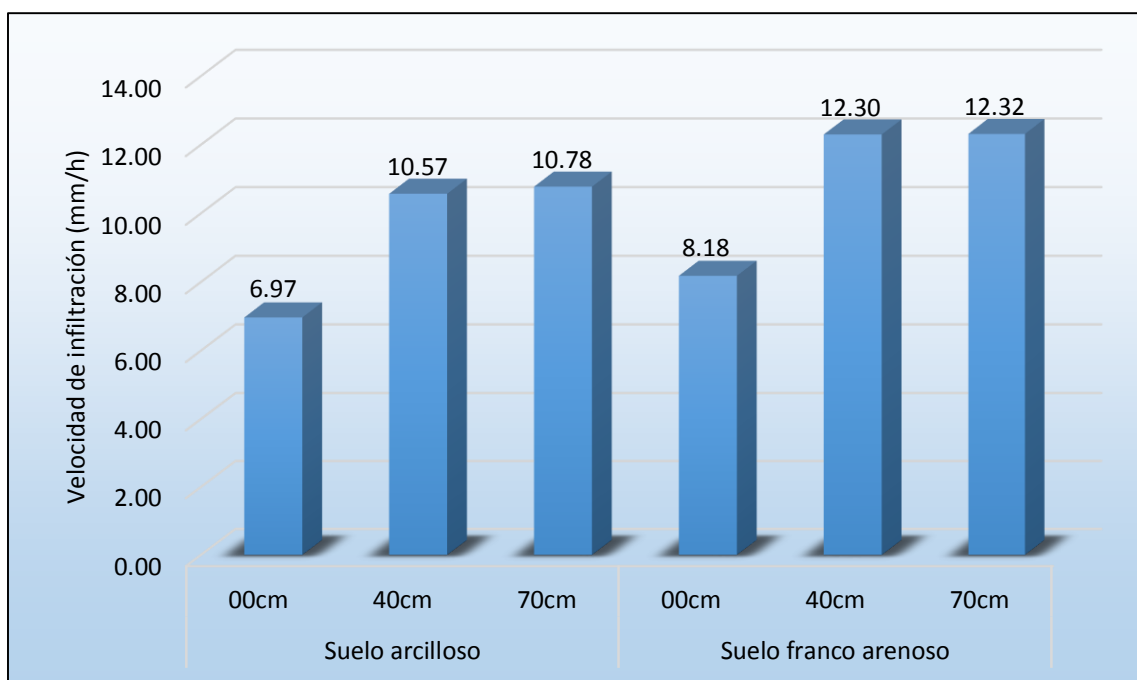


Figura 4. Velocidad de infiltración en dos tipos de suelo a tres profundidades de subsolado.

4.2. Porcentaje de macro y microporosidad antes y después del uso del subsolador.

Porta, Lopez, Poch, (2014), indican que la capacidad de un suelo para almacenar y para transmitir agua son propiedades que inciden en su calidad. El sistema de poros de los horizontes de un suelo constituye un almacén de agua esencial en suelos de medios áridos y semiáridos, asimismo, el suelo como transmisor de agua actúa de filtro ambiental, gracias a su porosidad.

El grado de estructura presente en un suelo dado determina la cantidad y dimensiones de los poros, lo cual afecta la dinámica de las fracciones líquida y gaseosa del suelo. En general se define el espacio poroso como la fracción del volumen del suelo ocupada por los componentes líquido y gaseoso. Generalmente este espacio poroso representa más o menos un 50% del volumen total de un suelo cercano al ideal. Por otro lado la microporosidad depende más de la textura que de la estructura y particularmente del contenido de humus capaz de retener el agua y la macroporosidad depende fundamentalmente de la estructura (Lopez, 2000).

Cisneros (2003), menciona que el mejor balance de retención de agua (microporos) más el adecuado movimiento de aire y agua (macroporos) está en suelos de textura

media como los francos. Así mismo que los valores de la porosidad fluctúan alrededor de los porcentajes siguientes: 30% para las arenas, 50% para las texturas francas y 65% para las arcillas.

Puricelli (1985), describe a la compactación como un aumento del peso volumétrico de la capara arable y dice que las labranzas continuadas elevan la densidad aparente. Así mismo asegura que como consecuencias de la densificación hay una reducción del espacio total de poros, las raíces no pueden captar el oxígeno, ya que este se llega a reducir a menos del 10% de lo que correspondería a un suelo de porosidad normal.

4.2.1. Macroporosidad

En la tabla 7, se observa el ANOVA para datos transformados a de macroporosidad en suelo franco arcilloso y franco arenoso, en donde se observa que para factor suelo (S), existe una diferencia estadística altamente significativa ($P \leq 0.01$), indicando que entre los dos suelos existe diferencias en la macroporosidad. Para el factor profundidad de subsolado (P), existe una diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$), lo cual revela que entre las profundidades de suelo hay diferencias en la macroporosidad. En la interacción de S x P, no existe diferencias estadísticas significativas, dando a entender que los factores actúan de forma independiente sobre macroporosidad en los suelos. Por otro lado, el coeficiente de variación (CV) igual a 13.99% indica que los datos evaluados son confiables (Vásquez, 2013).

Tabla 7. ANOVA para datos transformados de macroporosidad en suelo franco arcilloso y franco arenoso

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fcc	Pr > F
Suelo (S)	1	85.95790139	85.95790139	14.85**	0.0023
Profundidad (P)	2	68.25493078	34.12746539	5.90*	0.0165
S x P	2	15.74533878	7.87266939	1.36	0.2935
Error experimental	12	69.4640973	5.7886748		
Total	17	239.4222683			
CV=13.99%		$\bar{X} = 17.19$			

En la tabla 8, se observa que el suelo franco arenoso tuvo mayor macroporosidad con 11.134%, el cual fue estadísticamente superior al tipo de suelo franco arcilloso con 7.014%,

Tabla 8. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor tipo de suelo

Orden de mérito	Suelo	Macroporosidad (%)	Valores angulares	$P \leq 0.05$
1	Suelo franco arenoso	11.134 \pm 2.752	19.397 \pm 2.443	a
2	Suelo franco arcilloso	7.014 \pm 3.205	15.008 \pm 3.635	b

En la tabla 9, se observa que al subsolar a una profundidad de 70 cm se obtuvo un mayor porcentaje de macroporosidad con 11.158%, incrementándose en un 64.86% con respecto al subsolado a una profundidad de 00 cm cuyo porcentaje de macroporosidad es de 6.768%, seguido del subsolado a una profundidad de 40 cm con un porcentaje de macroporosidad de 9.296%, el mismo que se incrementó en un 37.35% con respecto al subsolado a una profundidad de 00 cm. Así mismo los porcentajes de macroporosidad a la profundidad de subsolado de 70 cm y 40 cm son estadísticamente similares y superiores al tratamiento de subsolado a 00 cm.

El suelo a un nivel de 00 cm., esta con menor macroporosidad debido a la compactación que se origina por la misma fuerza de gravedad, paso de vehículos agrícolas y pisoteo del ganado, lo que ocasiona una disminución considerable de los macroporos, con ese entender se observa que al hacer uso del subsolador agrícola, se mejora las propiedades físicas del suelo, dicho así, se genera un incremento en el porcentaje de macroporosidad, indicando que el uso del subsolador tiene un efecto positivo con respecto a la recuperación de suelos compactados.

Tabla 9. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para profundidad de subsolado

Orden de mérito	Profundidad de subsolado	Macroporosidad (%)	Valores angulares	$P \leq 0.05$
1	70 cm	11.158 \pm 2.630	19.414 \pm 2.369	a
2	40 cm	9.296 \pm 3.607	17.494 \pm 3.544	a b
3	00 cm	6.768 \pm 3.494	14.672 \pm 4.006	b

Al no haber diferencia estadística en la interacción S x P, se ha realizado un gráfico (figura 5), con la finalidad de conocer las diferencias matemáticas entre los

tratamientos en estudio. En donde se observa que la mayor macroporosidad se da en el tratamiento conformado por suelo franco arenoso en las profundidades de 70 y 40 cm con 12.388 y 11.334% respectivamente. Mientras que en el suelo franco arcilloso de igual forma en las profundidades de 70 y 40 cm con 9.928 y 7.258% respectivamente. Las menores macroporosidades se dan en la profundidad de 00 cm con 9.680% en suelo franco arenoso y 3.857% en suelo franco arcilloso a una profundidad de 70cm.

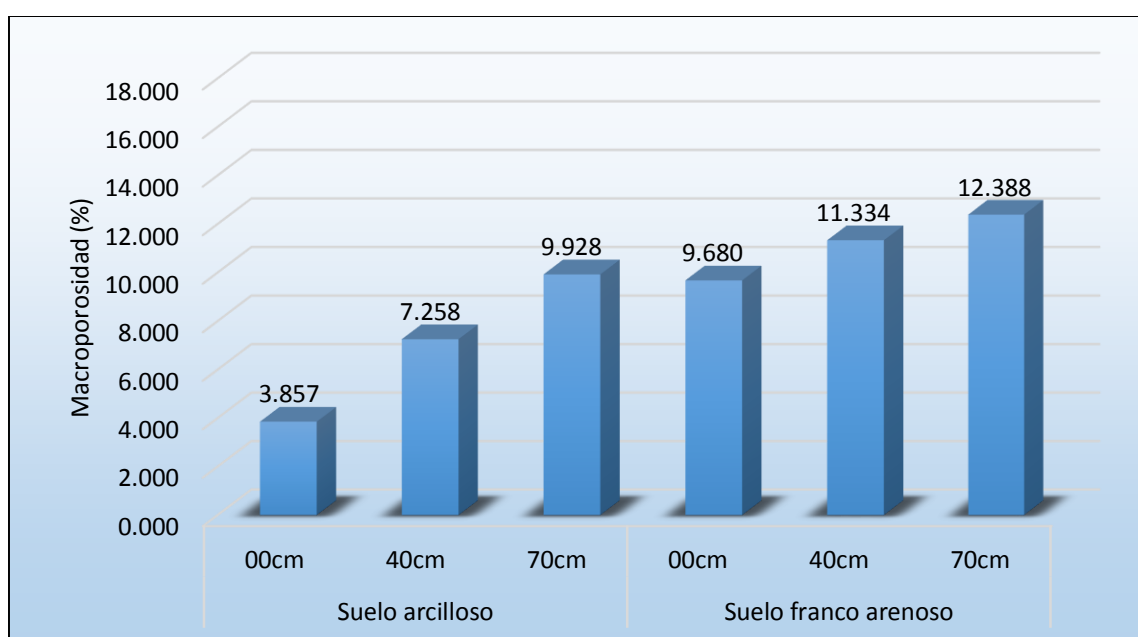


Figura 5. Macroporosidad en dos tipos de suelo a tres profundidades de subsolado.

4.2.2. Microporosidad

En la tabla 10, se observa el ANOVA para datos transformados a de microporosidad en suelo franco arcilloso y franco arenoso, en donde se observa que para factor suelo (S), no existe una diferencia estadística altamente significativa ($P \geq 0.01$), indicando que entre los dos suelos no existe diferencias en la microporosidad. Para el factor profundidad de subsolado (P), tampoco existe una diferencia estadística significativa ($P \geq 0.05$), lo cual revela que entre las profundidades de suelo no hay diferencias en la microporosidad. En la interacción de S x P, no existe diferencias estadísticas significativas, dando a entender que los factores actúan de forma independiente sobre microporosidad en los suelos. Por otro lado, el coeficiente de

variación (CV) igual a 5.28% indica que los datos evaluados son confiables (Vásquez, 2013).

Tabla 10. ANOVA para datos transformados de microporosidad en suelo franco arcilloso y franco arenoso

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fcc	Pr > F
Suelo (S)	1	0.73689800	0.73689800	0.24 n.s.	0.6345
Profundidad (P)	2	6.11426800	3.05713400	0.99 n.s.	0.4011
S x P	2	0.37716400	0.18858200	0.06 n.s.	0.9411
Error experimental	12	37.16643200	3.09720267		
Total	17	44.39476200			
CV=5.28%		$\bar{X} = 33.361$			

En la tabla 11, se observa que el suelo franco arcilloso tuvo mayor microporosidad con 30.599%, el cual fue superior al tipo de suelo franco arenoso con 29.944%.

Tabla 11. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor tipo de suelo

Orden de mérito	Suelo	Microporosidad (%)	Valores angulares	$P \leq 0.05$
1	Suelo franco arcilloso	30.599±2.804	33.564±1.758	a
2	Suelo franco arenoso	29.944±2.438	33.159±1.538	a

En la tabla 12, se observa que la profundidad de 70 cm tuvo mayor microporosidad con 30.583%, seguido de la profundidad de subsolado de 40 cm con 30.531%; mientras que la profundidad de subsolado de 00 cm tuvo 29.701%.

Tabla 12. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para profundidad de subsolado

Orden de mérito	Profundidad de subsolado	Microporosidad (%)	Valores angulares	$P \leq 0.05$
1	70 cm	31.486±2.428	34.120±1.505	a
2	40 cm	30.106±2.499	33.261±1.573	a
3	00 cm	29.223±2.685	33.703±1.708	a

Al no haber diferencia estadística en la interacción S x P, se ha realizado un gráfico (figura 6), con la finalidad de conocer las diferencias matemáticas entre los tratamientos en estudio. En donde se observa que la mayor microporosidad se da

en el tratamiento conformado por suelo franco arcilloso en las profundidades de 70 y 40 cm con 32.142 y 30.233% respectivamente. Mientras que en el suelo franco arenoso se da en las profundidades de 70 y 40 cm con 30.829 y 29.979% respectivamente. Las menores microporosidades se dan en la profundidad de 00 cm con 29.423% en suelo franco arcilloso y 29.023% en suelo franco arenoso a una profundidad de 70cm.

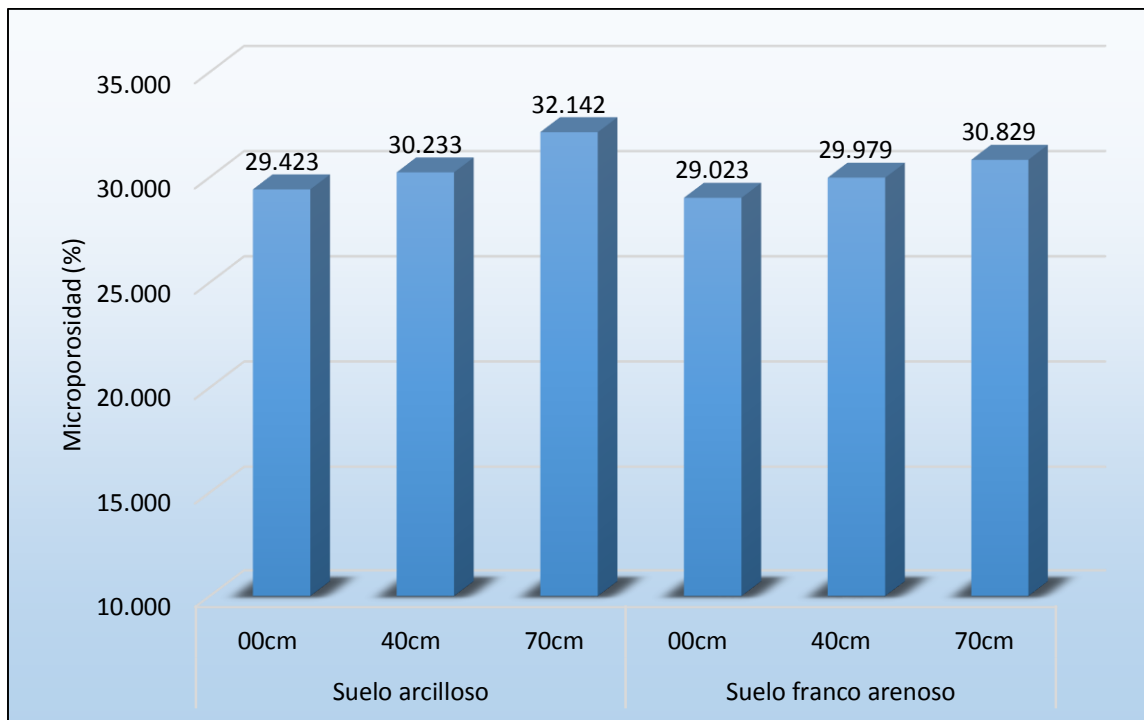


Figura 6. Microporosidad en dos tipos de suelo a tres profundidades de subsolado.

4.3. Efecto del subsolador sobre la compactación del suelo a nivel de capa arable

Según Narro (1994), conviene que la resistencia del suelo a la penetración se mantenga por debajo de 1,000 kPa., para un buen crecimiento vegetal, valores mayores impedirán el crecimiento radical y esto traería aparejado una baja considerable del rendimiento.

En la tabla 13, se observa el ANOVA para compactación en suelo franco arcilloso y franco arenoso, en donde se observa que para factor suelo (S), existe una diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$), indicando que entre los dos suelos existe diferencias en la compactación. Para el factor profundidad de subsolado (P),

existe una diferencia estadística altamente significativa ($P \leq 0.01$), lo cual revela que entre las profundidades de suelo hay diferencias en la compactación. En la interacción de S x P, no existe diferencias estadísticas significativas, dando a entender que los factores actúan de forma independiente sobre la compactación en los suelos. Por otro lado, el coeficiente de variación (CV) igual a 6.57% indica que los datos evaluados son confiables (Vásquez, 2013).

Tabla 13. ANOVA para compactación en suelo franco arcilloso y franco arenoso

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fcc	Pr > F
Suelo (S)	1	114229.094	114229.094	6.87 *	0.0223
Profundidad (P)	2	1260051.638	630025.819	37.90**	<.0001
S x P	2	2241.960	1120.980	0.07 n.s.	0.9351
Error experimental	12	199461.079	16621.757		
Total	17	1575983.771			

CV=6.57% $\bar{X} = 1961.822$

En la tabla 14, se observa que el suelo franco arcilloso tuvo mayor compactación con 2041.484 KPa, el cual fue estadísticamente superior al tipo de suelo franco arenoso con 1882.160 KPa.

Tabla 14. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para factor tipo de suelo sobre la compactación del suelo.

Orden de mérito	Suelo	Compactación (KPa)	$P \leq 0.05$
1	Suelo franco arcilloso	2041.484±313.241	a
2	Suelo franco arenoso	1882.160±290.860	b

En la tabla 15, se observa que al utilizar el penetrómetro para el subsolado a una profundidad de 00 cm se obtuvo una mayor compactación con 2305.822 KPa, seguido del subsolado a una profundidad de 40 cm con 1917.307 KPa; mientras que la profundidad de subsolado de 70 cm tuvo 1662.337 KPa.

El efecto del subsolador se puede apreciar sobre todo a 70 cm de subsolado, el mismo que logra reducir en un 27.90% la resistencia a la penetración expresado en kPa, con respecto al subsolado a 00 cm de profundidad, seguidamente al subsolar

a 40 cm se logró reducir la compactación hasta un 16.85% con respecto a 00 cm de subsolado, y según Swan, et al (1987), menciona que el incremento de la resistencia mecánica hace que las raíces deban ejercer mayor fuerza para penetrar el suelo, a lo que comparamos que cuando sometemos el instrumento medidor a un nivel de 00 cm la resistencia es mucho mayor que cuando se utiliza el subsolador y posterior lectura. Por consiguiente cabe mencionar que el efecto del subsolador con respecto a la resistencia a la penetración del suelo (compactación) fue positivo.

Tabla 15. Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para profundidad de subsolado sobre la compactación del suelo.

Orden de mérito	Profundidad de subsolado	Compactación (KPa)	$P \leq 0.05$
1	00 cm	2305.822±151.026	a
2	40 cm	1917.307±168.887	b
3	70 cm	1662.337±108.879	c

Al no haber diferencia estadística en la interacción S x P, se ha realizado un gráfico (figura 7), con la finalidad de conocer las diferencias matemáticas entre los tratamientos en estudio. En donde se observa que la mayor compactación se da en el tratamiento conformado por suelo franco arcilloso en las profundidades de 00 y 40 cm con 2394.507 y 2003.672 respectivamente. Mientras que en el suelo franco arenoso se da en las profundidades de 70 y 40 cm con 2217.136 y 1830.942 KPa respectivamente. Las menores compactaciones se dan en la profundidad de 00 cm con 1726.273 KPa en suelo franco arcilloso y 1598.401 KPa.

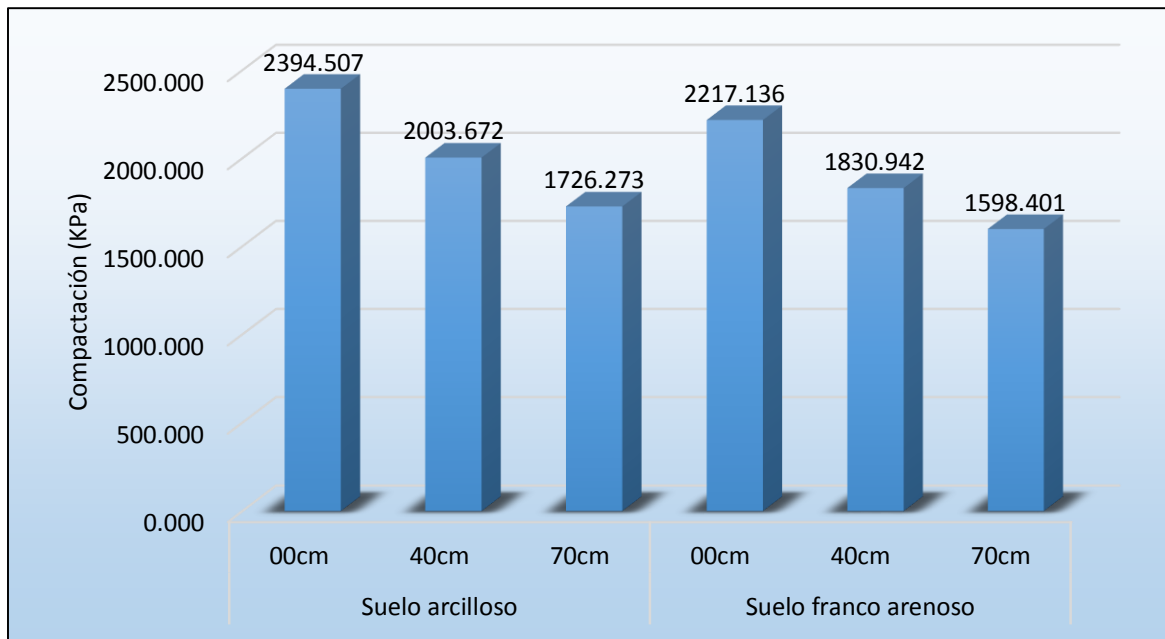


Figura 7. Compactación en dos tipos de suelo a tres profundidades de subsolado.

CONCLUSIONES

La mayor velocidad de infiltración con respecto al suelo Franco Arenoso se dio a una profundidad de subsolado de 70 cm con 12.32 mm/h y la menor a una profundidad de 00 cm con una velocidad de infiltración de 8.18 mm/h. así mismo en el suelo Franco Arcilloso, se da en la profundidad de subsolado de 70 cm con 10.78 mm/h, y la menor se da a 00 cm con 6.97 mm/h. en tal sentido cabe mencionar que el efecto del subsolador con respecto a la velocidad de infiltración en un suelo Franco Arenoso y Franco Arcilloso fue positivo en ambos casos, resaltando su efectividad en el suelo Franco Arenoso.

Los mayores porcentajes de macroporosidad se da a una profundidad de subsolado de 70 cm en el suelo Franco Arenoso con 37.164% y en el suelo Franco Arcilloso con 29.785 %. Por otro lado los menores porcentajes de macroporosidad se dan en la profundidad de 00 cm con 29.040% en suelo Franco Arenoso y 11.570% en suelo Franco Arcilloso. Así mismo el mayor porcentaje de microporosidad se da a una profundidad de subsolado de 70 cm, en el suelo Franco Arcilloso con 32.142% y 29.979% en el suelo franco arenoso. Y los menores porcentajes de microporosidad se dan en la profundidad de 00 cm con 29.423% en suelo franco arcilloso y 29.023% en suelo Franco Arenoso, en tal sentido cabe mencionar que el efecto del subsolador a profundidades de 40 cm y 70 cm con respecto al porcentaje de macroporosidad fue positivo generando un incremento en el porcentaje de macroporos en ambos tipos de suelos, por otro lado no hubo diferencia significativa en el porcentaje de microporosidad con respecto al subsolado a 00 cm, 40 cm y 70 cm, en ambos tipos de suelo.

La mayor compactación se obtuvo en el suelo franco arcilloso en la profundidad de 00 cm con 2394.51 KPa, mientras que en el suelo franco arenoso se da con un valor de 2217.14 KPa. Por otro lado las menores compactaciones se dan en la profundidad de 00 cm con 1726.27 KPa en suelo franco arcilloso y 1598.40 KPa en un suelo franco arenoso. Con ese entender se observa que el subsolador tiene un efecto positivo con respecto a la resistencia a la penetración (Compactación), ya que con el uso del subsolador a profundidades de 40 cm y 70 cm, se logró disminuir la resistencia a la penetración en ambos tipos de suelo

RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso del subsolador para mejorar la velocidad de infiltración tanto para suelos Franco arenosos y arcillosos donde favorece la circulación del agua a una profundidad de 40 cm donde se encuentra la capa más dura.

Se recomienda el uso del subsolador para mejorar el porcentaje de macroporosidad a 40 cm para mejorar las condiciones físicas del suelo y así mismo la productividad de los cultivos.

Se recomienda el uso del subsolador para reducir la resistencia a la penetración y paso de raíces, agua y oxígeno a 40 cm para mejorar la productividad de los cultivos.

Se recomienda utilizar los datos meteorológicos para determinar su influencia en el grado de compactación en un determinado tipo de suelo.

Evaluar, el efecto de las presiones de inflado de las llantas del tractor o tractores, para reducir el área de contacto rueda-suelo, pues la disminución de dichas presiones podría minimizar los efectos de compactación en un mismo suelo que se halle con diferente contenido de humedad.

REFERENCIAS

- Aguilera C., M. y R. Martínez E. (1996). *Relaciones agua suelo planta atmósfera*. 4ª ed. UACH, Chapingo, México. p. 67-80.
- Balbuena, R.; Botta, G.; Rivero, E. (2009), *Herramientas de labranza para la descompactacion del suelo agrícola*. 1ra ed. Editorial Orientación Grafica. Buenos aires. Argentina. p. 2-5
- Bouwer, H. (1988). *Intake rate: Cylinder infiltrometer*. In: Klute, A., Campbell, G.S., Jacson, R.D., Mortland, M.M., Nielsen, D.R. (eds.). *Methods of Soil Analysis. Part I*. ASA and SSSA, Madison, WI, USA, p. 825–843
- Carrasco, J. y Riquelme, J. (2010). *Equipos de labranza para el manejo del suelo. En: Manejo de suelos para el establecimiento de huertos frutales*. Boletín INIA Nº 207. Rengo, Chile. pp 11-46
- Carter, L.M.; Meek, B.D. and Rechel, E.A. (1991). *Zone production system for cotton, soil response*. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. 34:354-360.
- Cisneros, R. (2003). *Apuntes de la materia de Riego y drenaje*. Universidad Autonoma de San Luis de Potosi. Facultad de Ingenieria. p. 23-24
- De la Peña, I. (1977). *El buen uso y manejo del agua de riego*. Boletín técnico no. 8 del Comité Directivo del Distrito de Riego. No. 28-41. Oficina de Riego y Drenaje. Cd. Obregón, Sonora, México.
- Donoso, C. (1992). *Ecología forestal*. Editorial Universitaria, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
- Doran y Parkin (1994). *Conjunto de indicadores físicas, químicas y biológicas propuestos para monitorear los cambios que ocurren en el suelo*. Publicación. Número 35. USA.

- Flowers, M. and Lal, R. (1998). *Axle load and tillage effect on soil physical properties and soybean grain yield on a mollic ochraqualf in northwest Ohio*. Soil & Tillage Research. 48(1998):21-35.
- Filipovic, D.; Husnjak, S.; Kosutic, S. and Gospodaric, Z. (2006). *Effects of tillage systems on compaction and crop yield of Albic Luvisol in Croatia*. J. Terramechanics. 43:177-189.
- Frank, R. (1977). *Costos de administración de maquinaria agrícola*. 1ra ed. Edición Universitaria de Buenos Aires. Buenos Aires.
- Gilardi, J. (1977). *Reparación de motores de tractores agrícolas* 1ra.ed. Tercera reimpresión. Editorial IICA.
- Gimenez, Rafael. (2001). *Física de suelo*. Cátedra de Edafología. Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad Nacional de Tucumán. Argentina.
- Hamza, M.A. and Anderson, W.K. (2005). *Soil compaction in cropping systems a review of the nature, causes and possible solutions*. Soil & Tillage Research. 82(2005):121-145.
- Hillel, D. (1998). *Environmental soil physics*. Academic Press. San Diego.
- Herrera, A. (2010). *Manejo y conservación del Suelo*. Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias. Puno, Perú.
- Ibáñez, M. y Hetz, E. (1988). *Arados Cinceles y Subsoladores*. Departamento de Ingeniería Agrícola. Boletín de Extensión N° 29. Universidad de Concepción. Chillán, Chile. 43 p.
- Jaramillo, G. (1994). *El recurso suelo en Colombia: distribución y evaluación*. 1. Ed. Universidad Nacional de Colombia. Editorial ICNE. Medellin.

- Jaramillo, D. F. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia facultad de Ciencias Medellín.
- Jordán, A. (2006). *Manual de Edafología*. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla. España.
- Laguna, A. (1999). *Maquinaria agrícola, constitución, funcionamiento, regulaciones y cuidados*. 3ra.ed. Mundi-prensa, Madrid, España. p. 22
- Lopez, Y. (2000). Relaciones hídricas en el continuo agua-suelo-planta-atmosfera. DIPAL. Edición. Feriva S.A. Colombia. p. 37
- Márquez, L. (2001). *Maquinaria para la preparación del suelo, la implantación de los cultivos y la fertilización*. Blake y Helsey España S.L. Editores. Madrid. 496 p.
- Murillo, N. (1987). *Tractores y maquinaria agrícola*. 2da.ed.Ed. EUNED. Costa rica.
- Narro F., E. (1994). *Física de suelos con enfoque agrícola*. Trillas, D.F., México. p. 15-72,181.
- Ortiz-Cañavate, J. y J.L. Hernanz. (1989). *Técnica de la mecanización agraria*. 3ra.ed. Mundi-Prensa, Madrid, España. p. 133-154.
- Ortiz-Cañavate, J. (2005). *Requerimientos energéticos de la agricultura, Máquinas y Tractores*. 6ta ed. Ed. Mundi-prensa. España.
- Pinot, R, H. (2000). *Manual de Edafología*. Ed.Computec. Chile
- Poesse, G.J. (1992). *Soil compaction and new traffic systems. In: Possibilities Offered by New Mechanization Systems to Reduce Agricultural Production Costs*. Pellizzi, G.; Bodria, L.; Bosma, A.H.; Cera, M.; Baerdemaeker, J. de.; Jahns, G.; Knight, A.C.; Patterson, D.E.; Poesse, G.J. and Vitlox, O. (eds.). The Netherlands. 79-91 pp.

- Porta, J., Lopez-Acevedo, M., Y Roquero, C. (1999). *Edafología para la agricultura y medio ambiente*. Editorial Mundi- Prensa. Madrid, España.
- Porta, J.; Lopez, M.; Poch, R. (2014). *Edafología, uso y protección de suelos*. 3ra.ed. Ediciones Mundi-Prensa. p. 178-186.
- Puricelli, C. (1985). *Los recursos naturales en el norte de Buenos Aires., Anales jornadas nacionales de manejo y conservación de suelos-Perganimo*. Ed. INTA, Argentina, p. 172
- Ramos, D. (2008). *Mecanización agrícola, maquinas e implementos*. Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno, Perú.
- Rubio, A.M.. (2010). *La densidad aparente en suelos forestales del parque natural Los Alcornocales*. CSIC, Universidad de Sevilla, España.
- Rucks, L.; Garcia, F.; Kaplán, A.; Ponce De León, J.; Hill, M. (2004). *Propiedades físicas del suelo*. Facultad de Agronomía - Universidad de la República. Uruguay.
- Sanchez-Giron V. (1996). *Dinamica y Mecanica de suelos*. Ed.: Agrotecnias, Madrid, España. p. 426.
- Soil Science Society of America. (1996). *Glossary of Soil Science Terms*. Madison, WI, USA.
- Swan, J., J. Moncrieff and W. Vorrhes. (1987). *Soil compaction. Causes, effects, and control*. AG-BU. Minesota extensión service. University of Minnesota. USA.
- Varsa, E. C.; Chong, S. K.; Abolaji, J. O.; Farquhar, D. A. and Olsen, F. J. (1997). *Effect of deep tillage on soil physical characteristic and corn (Zea mays L.) root growth and production*. Soil Tillage Res. 43:219-228.

Vásquez, V. (2013). *Experimentación agrícola. Soluciones con SAS*. 2da ed.
Editores Servicios gráficos de Rodríguez Paredes. Lima, Perú.

Vásquez, V.; Chang-Navarro, L. (1988). *Principios básicos de riego*. 1ra. Ed.
UNALM, CONCYTECM IRRICENT. Lima, Perú

Weise, G. and Bourarach, E. H. (1999). *Tillage Machinery*. In: *CIGR handbook of agricultural engineering*. Plant production engineering. ASAE. St. Joseph.

ANEXOS



- Suelo Franco arcilloso
- Suelo franco arenoso

Figura 8. Imagen satelital del area experimental cip illpa

Tabla 16. Prueba de infiltración en suelo Franco arcilloso a 40 cm de profundidad

HORA	LECTURA (cm)	TIEMPO (min)		LAMINA INFILTRADA (cm)		VEL. DE INFILTRACIÓN (cm/h)	
		Parcial	Acumulado	Parcial	Acumulado	Instantánea	Promedio
7:19:00	19.90						
7:20:00	18.30	1	1	1.6	1.60	96	96.00
7:22:00	16.30	2	3	2.0	3.60	60	72.00
7:24:00	14.70	2	5	1.6	5.20	48	62.40
7:26:00	13.80	2	7	0.9	6.10	27	52.29
7:30:00	12.60	4	11	1.2	7.30	18	39.82
7:34:00	21.60	4	15	1.1	8.40	16.5	33.60
7:38:00	20.70	4	19	0.9	9.30	13.5	29.37
7:42:00	20.00	4	23	0.7	10.00	10.5	26.09
7:52:00	19.00	10	33	1.0	11.00	6	20.00
8:02:00	18.10	10	43	0.9	11.90	5.4	16.60
8:22:00	17.30	20	63	0.8	12.70	2.4	12.10
8:42:00	16.60	20	83	0.7	13.40	2.1	9.69
9:12:00	15.90	30	113	0.7	14.10	1.4	7.49
10:12:00	15.30	60	173	0.6	14.70	0.6	5.10

Función de la lámina infiltrada acumulada

Mínimos Cuadrados

Tiempo Acumulado (min) T_0	Lám. Infil. Acumulada (cm) (I_{cum})	$\log T_0 = X$	$\log I_{cum} = Y$	$X.Y$	X^2	Y^2
1	1.60					
3	3.60	0.477121255	0.556302501	0.265423747	0.227644692	0.309472472
5	5.20	0.698970004	0.716003344	0.50046486	0.488559067	0.512660788
7	6.10	0.84509804	0.785329835	0.663680704	0.714190697	0.61674295
11	7.30	1.041392685	0.86332286	0.899058111	1.084498725	0.745326361
15	8.40	1.176091259	0.924279286	1.087036789	1.38319065	0.854292199
19	9.30	1.278753601	0.968482949	1.238451058	1.635210772	0.937959222
23	10.00	1.361727836	1	1.361727836	1.854302699	1
33	11.00	1.51851394	1.041392685	1.581369309	2.305884586	1.084498725
43	11.90	1.633468456	1.075546961	1.756872034	2.668219195	1.156801266
63	12.70	1.799340549	1.103803721	1.986118794	3.237626413	1.218382654
83	13.40	1.919078092	1.127104798	2.163002126	3.682860725	1.270365226
113	14.10	2.053078443	1.149219113	2.359436987	4.215131095	1.320704569
173	14.70	2.238046103	1.167317335	2.612510012	5.00885036	1.36262976
SUMA		18.04	12.48	18.48	28.51	12.39

$lb = 11.62 \text{ mm/h}$

Tabla 17. Prueba de infiltración en suelo Franco arcilloso a 70 cm de profundidad

HORA	LECTURA (cm)	TIEMPO (min)		LAMINA INFILTRADA (cm)		VEL. DE INFILTRACIÓN (cm/h)	
		Parcial	Acumulado	Parcial	Acumulado	Instantánea	Promedio
7:19:00	21.40						
7:20:00	20.20	1	1	1.2	1.20	72	72.00
7:22:00	19.20	2	3	1.0	2.20	30	44.00
7:26:00	17.80	4	7	1.4	3.60	21	30.86
7:30:00	16.80	4	11	1.0	4.60	15	25.09
7:34:00	15.90	4	15	0.9	5.50	13.5	22.00
7:38:00	15.10	4	19	0.8	6.30	12	19.89
7:48:00	14.10	10	29	1.0	7.30	6	15.10
7:58:00	13.30	10	39	0.8	8.10	4.8	12.46
8:08:00	20.70	10	49	0.8	8.90	4.8	10.90
8:18:00	20.10	10	59	0.6	9.50	3.6	9.66
8:38:00	19.20	20	79	0.9	10.40	2.7	7.90
9:08:00	18.30	30	109	0.9	11.30	1.8	6.22
9:38:00	17.60	30	139	0.7	12.00	1.4	5.18
10:08:00	17.10	30	169	0.5	12.50	1	4.44
11:08:00	16.60	60	229	0.5	13.00	0.5	3.41

Función de la lámina infiltrada acumulada

Mínimos Cuadrados

Tiempo Acumulado (min) T_0	Lám. Infil. Acumulada (cm) (I_{cum})	$\log T_0 = X$	$\log I_{cum} = Y$	$X.Y$	X^2	Y^2
1	1.20					
3	2.20	0.477121255	0.342422681	0.163377139	0.227644692	0.117253292
7	3.60	0.84509804	0.556302501	0.470130153	0.714190697	0.309472472
11	4.60	1.041392685	0.662757832	0.690191158	1.084498725	0.439247943
15	5.50	1.176091259	0.740362689	0.870734088	1.38319065	0.548136912
19	6.30	1.278753601	0.799340549	1.022159606	1.635210772	0.638945314
29	7.30	1.462397998	0.86332286	1.262521622	2.138607904	0.745326361
39	8.10	1.591064607	0.908485019	1.44545836	2.531486584	0.82534503
49	8.90	1.69019608	0.949390007	1.604655268	2.856762789	0.901341385
59	9.50	1.770852012	0.977723605	1.731403813	3.135916847	0.955943448
79	10.40	1.897627091	1.017033339	1.929950017	3.600988578	1.034356813
109	11.30	2.037426498	1.053078443	2.145569925	4.151106735	1.108974208
139	12.00	2.1430148	1.079181246	2.312701382	4.592512434	1.164632162
169	12.50	2.227886705	1.096910013	2.443791234	4.963479169	1.203211577
229	13.00	2.359835482	1.113943352	2.628723048	5.568823504	1.240869792
SUMA		22.00	12.16	20.72	38.58	11.23

$I_b = 12.32$ mm/h

Tabla 18. Prueba de infiltración en suelo Franco arcilloso a 00 cm de profundidad

HORA	LECTURA (cm)	TIEMPO (min)		LAMINA INFILTRADA (cm)		VEL. DE INFILTRACIÓN (cm/h)	
		Parcial	Acumulado	Parcial	Acumulado	Instantánea	Promedio
10:40:00	19.90						
10:41:00	19.05	1	1	0.9	0.85	51.072	51.07
10:43:00	17.98	2	3	1.1	1.92	31.92	38.30
10:45:00	17.13	2	5	0.9	2.77	25.536	33.20
10:47:00	16.65	2	7	0.5	3.25	14.364	27.82
10:51:00	16.02	4	11	0.6	3.88	9.576	21.18
10:55:00	21.60	4	15	1.1	4.98	16.5	19.93
10:59:00	21.12	4	19	0.5	5.46	7.182	17.25
11:03:00	20.75	4	23	0.4	5.83	5.586	15.22
11:13:00	20.22	10	33	0.5	6.37	3.192	11.58
11:23:00	19.74	10	43	0.5	6.85	2.8728	9.55
11:43:00	19.31	20	63	0.4	7.27	1.2768	6.92
12:03:00	18.94	20	83	0.4	7.64	1.1172	5.53
12:33:00	18.57	30	113	0.4	8.02	0.7448	4.26
13:33:00	18.25	60	173	0.3	8.34	0.3192	2.89

Función de la lámina infiltrada acumulada
Mínimos Cuadrados

Tiempo Acumulado (min) T ₀	Lám. Infil. Acumulada (cm) (I _{cum})	log T ₀ = X	log I _{cum} = Y	X.Y	X ²	Y ²
1	0.85					
3	1.92	0.477121255	0.282214133	0.134650361	0.227644692	0.079644817
5	2.77	0.698970004	0.441914976	0.308885313	0.488559067	0.195288846
7	3.25	0.84509804	0.511241467	0.432049162	0.714190697	0.261367838
11	3.88	1.041392685	0.589234492	0.61362449	1.084498725	0.347197287
15	4.98	1.176091259	0.697543177	0.820374433	1.38319065	0.486566484
19	5.46	1.278753601	0.737383499	0.942931805	1.635210772	0.543734425
23	5.83	1.361727836	0.766025974	1.043118892	1.854302699	0.586795793
33	6.37	1.51851394	0.803921208	1.22076556	2.305884586	0.646289308
43	6.85	1.633468456	0.835411519	1.364618364	2.668219195	0.697912406
63	7.27	1.799340549	0.86160609	1.550322776	3.237626413	0.742365055
83	7.64	1.919078092	0.883297952	1.695117748	3.682860725	0.780215272
113	8.02	2.053078443	0.903957709	1.855896085	4.215131095	0.817139539
173	8.34	2.238046103	0.920916025	2.061052521	5.00885036	0.848086325
SUMA		18.04	9.23	14.04	28.51	7.03

lb = 7.48 mm/h

Tabla 19. Prueba de infiltración en suelo Franco arenoso a 40 cm de profundidad

HORA	LECTURA (cm)	TIEMPO (min)		LAMINA INFILTRADA (cm)		VEL. DE INFILTRACIÓN (cm/h)	
		Parcial	Acumulado	Parcial	Acumulado	Instantánea	Promedio
7:30:00	21.30						
7:31:00	20.00	1	1	1.3	1.30	78	78.00
7:32:00	18.78	1	2	1.2	2.52	73.125	75.56
7:34:00	17.08	2	4	1.7	4.23	51.1875	63.38
7:36:00	15.61	2	6	1.5	5.69	43.875	56.88
7:38:00	14.72	2	8	0.9	6.58	26.8125	49.36
7:40:00	22.90	2	10	1.0	7.58	30	45.49
7:45:00	21.76	5	15	1.1	8.72	13.65	34.88
7:50:00	20.87	5	20	0.9	9.61	10.725	28.84
8:00:00	19.65	10	30	1.2	10.83	7.3125	21.66
8:10:00	18.76	10	40	0.9	11.73	5.3625	17.59
8:30:00	17.94	20	60	0.8	12.54	2.4375	12.54
8:50:00	17.29	20	80	0.7	13.19	1.95	9.89
9:20:00	16.56	30	110	0.7	13.92	1.4625	7.59
10:20:00	15.91	60	170	0.6	14.57	0.65	5.14
11:20:00	15.26	60	230	0.7	15.22	0.65	3.97

Función de la lámina infiltrada acumulada

Mínimos Cuadrados

Tiempo Acumulado (min) T_0	Lám. Infil. Acumulada (cm) (I_{cum})	$\log T_0 = X$	$\log I_{cum} = Y$	X.Y	X^2	Y^2
1	1.30					
2	2.52	0.301029996	0.401185063	0.120768738	0.090619058	0.160949455
4	4.23	0.602059991	0.625826713	0.376785226	0.362476233	0.391659075
6	5.69	0.77815125	0.75492141	0.587443039	0.605519368	0.569906335
8	6.58	0.903089987	0.818308389	0.739006112	0.815571525	0.669628619
10	7.58	1	0.879740818	0.879740818	1	0.773943907
15	8.72	1.176091259	0.940454225	1.106059994	1.38319065	0.884454149
20	9.61	1.301029996	0.982836353	1.278699576	1.69267905	0.965967296
30	10.83	1.477121255	1.03467858	1.528345722	2.181887201	1.070559764
40	11.73	1.602059991	1.069112851	1.712782925	2.566596216	1.143002289
60	12.54	1.77815125	1.098210946	1.952785167	3.161821869	1.206067282
80	13.19	1.903089987	1.120162473	2.131769985	3.621751499	1.254763965
110	13.92	2.041392685	1.143600234	2.334537153	4.167284095	1.307821496
170	14.57	2.230448921	1.163422291	2.594953994	4.974902391	1.353551427
230	15.22	2.361727836	1.182378983	2.792457357	5.577758371	1.398020059
SUMA		19.46	13.21	20.14	32.20	13.15

$I_b = 11.90$ mm/h

Tabla 20. Prueba de infiltración en suelo Franco arenoso a 70 cm de profundidad

HORA	LECTURA (cm)	TIEMPO (min)		LAMINA INFILTRADA (cm)		VEL. DE INFILTRACIÓN (cm/min)	
		Parcial	Acumulado	Parcial	Acumulado	Instantánea	Promedio
7:18:00	24.30						
7:19:00	22.10	1	1	2.2	2.20	132	132.00
7:20:00	20.20	1	2	1.9	4.10	114	123.00
7:21:00	18.80	1	3	1.4	5.50	84	110.00
7:23:00	17.00	2	5	1.8	7.30	54	87.60
7:25:00	15.50	2	7	1.5	8.80	45	75.43
7:27:00	14.40	2	9	1.1	9.90	33	66.00
7:32:00	13.20	5	14	1.2	11.10	14.4	47.57
7:37:00	12.30	5	19	0.9	12.00	10.8	37.89
7:42:00	11.50	5	24	0.8	12.80	9.6	32.00
7:52:00	10.30	10	34	1.2	14.00	7.2	24.71
8:02:00	17.70	10	44	1.0	15.00	6	20.45
8:12:00	17.00	10	54	0.7	15.70	4.2	17.44
8:32:00	15.90	20	74	1.1	16.80	3.3	13.62
8:52:00	15.00	20	94	0.9	17.70	2.7	11.30
9:22:00	14.10	30	124	0.9	18.60	1.8	9.00
9:52:00	13.20	30	154	0.9	19.50	1.8	7.60
10:22:00	12.60	30	184	0.6	20.10	1.2	6.55

Función de la lámina infiltrada acumulada

Mínimos Cuadrados

Tiempo Acumulado (min) T ₀	Lám. Infil. Acumulada (cm) (I _{cum})	log T ₀ = X	log I _{cum} = Y	X.Y	X ²	Y ²
1	2.20					
2	4.10	0.301029996	0.612783857	0.184466322	0.090619058	0.375504055
3	5.50	0.477121255	0.740362689	0.353242775	0.227644692	0.548136912
5	7.30	0.698970004	0.86332286	0.603436783	0.488559067	0.745326361
7	8.80	0.84509804	0.944482672	0.798180455	0.714190697	0.892047518
9	9.90	0.954242509	0.995635195	0.950077427	0.910578767	0.991289441
14	11.10	1.146128036	1.045322979	1.198073972	1.313609474	1.09270013
19	12.00	1.278753601	1.079181246	1.380006904	1.635210772	1.164632162
24	12.80	1.380211242	1.10720997	1.528183647	1.904983072	1.225913917
34	14.00	1.531478917	1.146128036	1.755270923	2.345427673	1.313609474
44	15.00	1.643452676	1.176091259	1.932850327	2.7009367	1.38319065
54	15.70	1.73239376	1.195899652	2.071769095	3.001188139	1.430175979
74	16.80	1.86923172	1.225309282	2.290386976	3.494027222	1.501382836
94	17.70	1.973127854	1.247973266	2.462410812	3.893233527	1.557437274
124	18.60	2.093421685	1.269512944	2.657625927	4.382414352	1.611663116
154	19.50	2.187520721	1.290034611	2.821977443	4.785246904	1.664189299
184	20.10	2.264817823	1.303196057	2.951501658	5.129399771	1.698319964
SUMA		22.38	17.24	25.94	37.02	19.20

lb = 13.64 mm/h

Tabla 21. Prueba de infiltración en suelo Franco arenoso a 00 cm de profundidad

HORA	LECTURA (cm)	TIEMPO (min)		LAMINA INFILTRADA (cm)		VEL. DE INFILTRACIÓN (cm/h)	
		Parcial	Acumulado	Parcial	Acumulado	Instantánea	Promedio
11:00:00	24.30						
11:01:00	22.95	1	1	1.3	1.35	80.784	80.78
11:02:00	21.79	1	2	1.2	2.51	69.768	75.28
11:03:00	20.93	1	3	0.9	3.37	51.408	67.32
11:05:00	19.83	2	5	1.1	4.47	33.048	53.61
11:07:00	18.91	2	7	0.9	5.39	27.54	46.16
11:09:00	18.24	2	9	0.7	6.06	20.196	40.39
11:14:00	17.51	5	14	0.7	6.79	8.8128	29.11
11:19:00	16.96	5	19	0.6	7.34	6.6096	23.19
11:24:00	16.47	5	24	0.5	7.83	5.8752	19.58
11:34:00	15.73	10	34	0.7	8.57	4.4064	15.12
11:44:00	17.70	10	44	0.6	9.18	3.672	12.52
11:54:00	17.27	10	54	0.4	9.61	2.5704	10.68
12:14:00	16.60	20	74	0.7	10.28	2.0196	8.34
12:34:00	16.05	20	94	0.6	10.83	1.6524	6.91
13:04:00	15.50	30	124	0.6	11.38	1.1016	5.51
13:34:00	14.95	30	154	0.6	11.93	1.1016	4.65
14:04:00	14.58	30	184	0.4	12.30	0.7344	4.01

Función de la lámina infiltrada acumulada

Mínimos Cuadrados

Tiempo Acumulado (min) T_0	Lám. Infil. Acumulada (cm) (I_{cum})	$\log T_0 = X$	$\log I_{cum} = Y$	X.Y	X^2	Y^2
1	1.35					
2	2.51	0.301029996	0.399535279	0.120272103	0.090619058	0.159628439
3	3.37	0.477121255	0.527114112	0.251497346	0.227644692	0.277849287
5	4.47	0.698970004	0.650074282	0.454382424	0.488559067	0.422596572
7	5.39	0.84509804	0.731234094	0.6179645	0.714190697	0.534703301
9	6.06	0.954242509	0.782386617	0.746586569	0.910578767	0.612128818
14	6.79	1.146128036	0.832074401	0.953663799	1.313609474	0.692347809
19	7.34	1.278753601	0.865932668	1.107314518	1.635210772	0.749839386
24	7.83	1.380211242	0.893961392	1.233855563	1.904983072	0.79916697
34	8.57	1.531478917	0.932879458	1.428685222	2.345427673	0.870264083
44	9.18	1.643452676	0.962842681	1.582386381	2.7009367	0.927066029
54	9.61	1.73239376	0.982651075	1.70233859	3.001188139	0.965603134
74	10.28	1.86923172	1.012060704	1.89177597	3.494027222	1.024266868
94	10.83	1.973127854	1.034724689	2.041644104	3.893233527	1.070655181
124	11.38	2.093421685	1.056264366	2.21120673	4.382414352	1.115694412
154	11.93	2.187520721	1.076786034	2.35549176	4.785246904	1.159468162
184	12.30	2.264817823	1.08994748	2.468532478	5.129399771	1.187985508
SUMA		22.38	13.83	21.17	37.02	12.57

$I_b = 8.35$ mm/h

Tabla 22. Datos de evaluación de velocidad de infiltración (mm/h) en suelos a diferentes profundidades de subsolado.

Rep.	Suelo arcilloso			Suelo franco arenoso		
	40cm	70cm	00cm	40cm	70cm	00cm
1	11.620	12.320	7.480	14.190	13.640	8.350
2	10.570	10.780	6.220	11.900	12.310	7.650
3	9.530	9.240	7.210	10.810	11.000	8.550
Total	31.720	32.340	20.910	36.900	36.950	24.550
Prom.	10.573	10.780	6.970	12.300	12.317	8.183
Prom S	9.441			10.933		
Prom P	11.437		11.548		7.577	

Tabla 23. Datos de evaluación macroporosidad (%) en suelos a diferentes profundidades de subsolado.

Rep.	Suelo arcilloso			Suelo franco arenoso		
	40cm	70cm	00cm	40cm	70cm	00cm
1	10.363	11.915	3.564	15.345	10.093	8.318
2	6.588	10.183	4.848	9.278	15.608	12.093
3	4.822	7.687	3.157	9.378	11.463	8.630
Total	21.773	29.785	11.570	34.001	37.164	29.040
Prom	7.258	9.928	3.857	11.334	12.388	9.680
Prom S	7.014			11.134		
Prom P	9.296		11.158		6.768	

Tabla 24. Datos transformados de macroporosidad a valores angulares

Rep.	Suelo arcilloso			Suelo franco arenoso		
	40cm	70cm	00cm	40cm	70cm	00cm
1	18.7790	20.1931	10.8825	23.0622	18.5236	16.7622
2	14.8726	18.6092	12.7201	17.7340	23.2703	20.3496
3	12.6846	16.0959	10.2351	17.8321	19.7895	17.0838
Total	46.336	54.898	33.838	58.628	61.583	54.196
Prom	15.445	18.299	11.279	19.543	20.528	18.065
Prom S	15.008			19.379		
Prom P	17.494		19.414		14.672	

Tabla 25. Datos de evaluación microporosidad (%) en suelos a diferentes profundidades de subsolado.

Rep.	Suelo arcilloso			Suelo franco arenoso		
	40cm	70cm	00cm	40cm	70cm	00cm
1	26.675	34.225	25.951	31.933	32.850	25.589
2	32.140	29.158	31.280	27.217	27.987	30.831
3	31.884	33.044	31.037	30.786	31.651	30.649
Total	90.699	96.427	88.268	89.936	92.487	87.069
Prom	30.233	32.142	29.423	29.979	30.829	29.023
Prom S	30.599			29.944		
Prom P	30.106		31.486	29.223		

Tabla 26. Datos transformados de microporosidad a valores angulares

Rep.	Suelo arcilloso			Suelo franco arenoso		
	40cm	70cm	00cm	40cm	70cm	00cm
1	31.0965	35.8044	30.6253	34.4088	34.9700	30.3881
2	34.5356	32.6826	34.0064	31.4464	31.9396	33.7283
3	34.3786	35.0882	33.8560	33.7004	34.2350	33.6153
Total	100.011	103.575	98.488	99.556	101.145	97.732
Prom	33.337	34.525	32.829	33.185	33.715	32.577
Prom S	33.564			33.159		
Prom P	33.261		34.120	32.703		

Tabla 27. Datos evaluados de compactación de suelos en suelos a diferentes profundidades de subsolado.

Rep.	Suelo arcilloso			Suelo franco arenoso		
	40cm	70cm	00cm	40cm	70cm	00cm
1	1969.126	1758.241	2438.850	2038.218	1598.401	2217.136
2	2141.857	1598.401	2217.136	1761.850	1534.465	2128.451
3	1900.034	1822.177	2527.535	1692.758	1662.337	2305.822
Total	6011.017	5178.818	7183.521	5492.826	4795.202	6651.409
Prom	2003.672	1726.273	2394.507	1830.942	1598.401	2217.136
Prom S	2041.484			1882.160		
Prom P	1917.307		1662.337	2305.822		



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS



ANÁLISIS FÍSICO DE SUELOS

PROCEDENCIA : CIP ILLPA – UNA PUNO
 INTERESADO : Bach. Remy Quispe Aquino
 MOTIVO : Análisis Físico de suelos (Tesis)
 MUESTREO : Mayo - Junio
 ANÁLISIS : Mayo - Junio
 LABORATORIO : Agua y Suelo FCA – UNA
 FECHA : 06/08/2018

N°	DESCRIPCIÓN	Arena	Limo	Arcilla	TEXTURA	CLASE TEXTURAL
	(muestra)	(%)	(%)	(%)		
1	Suelo 1	30	25	34	Moderadamente Fina	Franco Arcilloso
2	Suelo 2	60	30	10	Moderadamente Gruesa	Franco Arenoso

N°	DESCRIPCIÓN	He	Da	PT	mp	MP
	(muestra)	(%)	(g/cm3)	(%)	(%)	(%)
1	S1P1R1	44.507	1.67	37.038	26.675	10.363
2	S1P1R2	52.186	1.62	38.728	32.14	6.588
3	S1P1R3	53.479	1.68	36.706	31.884	4.822
4	S1P2R1	48.849	1.43	46.14	34.225	11.915
5	S1P2R2	46.870	1.61	39.341	29.158	10.183
6	S1P2R3	51.900	1.57	40.731	33.044	7.687
7	S1POR1	48.473	1.87	29.515	25.951	3.564
8	S1POR2	52.945	1.69	36.128	31.28	4.848
9	S1POR3	54.124	1.74	34.194	31.037	3.157
10	S2P1R1	44.615	1.40	47.278	31.933	15.345
11	S2P1R2	45.803	1.68	36.495	27.217	9.278
12	S2P1R3	48.816	1.59	40.164	30.786	9.378
13	S2P2R1	49.670	1.51	42.943	32.85	10.093
14	S2P2R2	41.833	1.49	43.595	27.987	15.608
15	S2P2R3	47.713	1.51	43.114	31.651	11.463
16	S2POR1	44.818	1.75	33.907	25.589	8.318
17	S2POR2	46.632	1.51	42.924	30.831	12.093
18	S2POR3	49.318	1.61	39.279	30.649	8.63

Donde:

- He : Humedad Equivalente
- Da : Densidad Aparente
- PT : Porosidad Total
- mp : Microporosidad
- MP : Macroporosidad

Figura 9. Certificado de análisis físico de suelos.

Tabla 28. Datos meteorológicos, mes de enero-2018.

**DATOS DEL TIEMPO - ILLPA
ENERO - 2018**

Estación : ILLPA, Tipo Automática - Meteorológica
 Departamento : PUNO Provincia : PUNO Distrito : PAUCARCOLLA
 Latitud : 15° 41' 0" Longitud : 70° 5' 0" Altitud : 3827

Día/Mes/año	Temperatura (°C)			Humedad (%)	Lluvia (mm)
	Prom	Max	Min		
01/01/2018	10.73	17.1	6.7	65.42	0.9
02/01/2018	9.38	16.5	3.6	67.25	0.6
03/01/2018	8.42	15.8	2.2	64.52	0
04/01/2018	9.65	16	5.9	71.54	0.6
05/01/2018	10.95	18.3	2.6	60.13	0
06/01/2018	10.77	18	4.4	58	3.8
07/01/2018	9.07	14.7	5	77.67	12.8
08/01/2018	8.32	13.4	4.5	80.29	8.3
09/01/2018	8.89	14.9	4.3	75.29	0
10/01/2018	9.18	14.5	5.3	73.38	5.5
11/01/2018	8.78	14.6	5.4	77.46	1.6
12/01/2018	6.65	13	3.4	88.5	26.9
13/01/2018	7.62	14.1	0.8	75.42	0.9
14/01/2018	8.67	14.8	2.6	65.13	3.4
15/01/2018	8.51	13.6	5.9	80.67	5.7
16/01/2018	9.66	14.7	5.7	75.17	1.6
17/01/2018	9.85	15.5	4.8	76.25	4.5
18/01/2018	9.18	14.4	6.3	78.5	1.7
19/01/2018	9.42	14.4	6	75.83	1
20/01/2018	8.16	14.7	4.5	82.17	39.5
21/01/2018	8.16	14.3	2.2	78.92	0.8
22/01/2018	9.43	15.7	4.1	74.96	0
23/01/2018	9.05	15.2	4.2	75.5	14.7
24/01/2018	9.28	15.3	5.2	77.08	1.2
25/01/2018	9.03	14.3	4.9	75.83	2.3
26/01/2018	8.27	16.1	2.3	75.58	0.5
27/01/2018	9	16	1.9	62.79	0
28/01/2018	10.11	15.3	3.4	61.58	0.1
29/01/2018	9.74	14.5	5.5	72.5	0
30/01/2018	10.48	16.9	4.2	62.92	0
31/01/2018	10.49	16.8	2.4	59.21	0

* Fuente : SENAMHI - Oficina de Estadística

Tabla 29. *Datos meteorológicos, mes de Febrero-2018.*

**DATOS DEL TIEMPO - ILLPA
FEBRERO- 2018**

Estación : ILLPA, Tipo Automática - Meteorológica
 Departamento : PUNO Provincia : PUNO Distrito : PAUCARCOLLA
 Latitud : 15° 41' 0" Longitud : 70° 5' 0" Altitud : 3827

Día/Mes/año	Temperatura (°C)			Humedad (%)	Lluvia (mm)
	Prom	Max	Min		
01/02/2018	9.47	13.4	6.2	76.63	0
02/02/2018	8.38	11.7	5.7	80.54	0
03/02/2018	9.8	15.5	3	74.04	1.7
04/02/2018	10.01	15.1	6.3	82.08	8.8
05/02/2018	11.45	17	6.8	75	3.9
06/02/2018	10.5	14.9	7.6	77.71	3.7
07/02/2018	10.31	16.8	5.6	76.04	0
08/02/2018	9.38	14.7	5.9	77.71	10.7
09/02/2018	8.25	13.5	5.4	79.83	6.4
10/02/2018	9.07	13.1	6.1	81.63	1.9
11/02/2018	8.13	14.1	3.6	84.33	11.3
12/02/2018	8.86	13.3	5.3	84.04	5.6
13/02/2018	8.91	13.8	5.7	84.63	5.7
14/02/2018	9.63	13.5	6.7	82.63	3.9
15/02/2018	9.91	14.1	6.3	79.79	3.5
16/02/2018	9.18	14.1	5.3	80.96	8.6
17/02/2018	9.29	14.3	5.9	79.29	1.6
18/02/2018	9.68	17.1	2.8	71.29	1.7
19/02/2018	8.4	15.9	1.2	56.83	0
20/02/2018	8.45	16.1	1.1	71.88	0.2
21/02/2018	8.88	15	4.8	76.68	0.5
22/02/2018	6.32	9.4	4.2	91.13	12.6
23/02/2018	8.44	14.2	2.5	77.67	0.3
24/02/2018	8.2	13.6	4	81.46	9.3
25/02/2018	9.19	14.5	4.2	75.29	0.3
26/02/2018	9.12	13.8	4	77.75	0
27/02/2018	9.3	15.4	5.6	76.54	1.7
28/02/2018	9.01	17.1	1.6	77.96	2.4

* Fuente : SENAMHI - Oficina de Estadística

Tabla 30. *Datos meteorológicos, mes de Marzo-2018.*

**DATOS DEL TIEMPO - ILLPA
MARZO - 2018**

Estación : ILLPA, Tipo Automática - Meteorológica
 Departamento : PUNO Provincia : PUNO Distrito : PAUCARCOLLA
 Latitud : 15° 41' 0" Longitud : 70° 5' 0" Altitud : 3827

Día/Mes/año	Temperatura (°C)			Humedad (%)	Lluvia (mm)
	Prom	Max	Min		
01/03/2018	8.9	14.5	3.6	79.5	1.6
02/03/2018	8.83	14.6	4.9	82.04	1.9
03/03/2018	8.92	15.2	3.6	80.33	1
04/03/2018	9.24	15.3	5	79.88	5.2
05/03/2018	8.22	13.4	5.8	86.38	7.5
06/03/2018	8.72	15	3.7	82.71	9.3
07/03/2018	6.87	11.3	4.3	90.75	20.6
08/03/2018	8.81	14.8	6.2	86	2.5
09/03/2018	9.05	15.6	5.4	84.63	4.3
10/03/2018	9.36	14.6	5.5	82.29	0.5
11/03/2018	9.99	16.7	4.3	75.58	0
12/03/2018	9.19	13	6.9	83.25	5.1
13/03/2018	9.92	15.8	6.2	77.29	0
14/03/2018	9.31	14.7	5	77.21	17.4
15/03/2018	9.31	15.2	6	83.42	8.1
16/03/2018	8.48	12.1	6.2	84.33	2.5
17/03/2018	8.98	13.6	6.6	85.38	0.4
18/03/2018	9.32	14.6	5.7	81.08	0
19/03/2018	8	14.8	2.4	82.75	0
20/03/2018	8.77	15	2.7	78.88	0.4
21/03/2018	9.66	14.2	5.9	81.42	0.2
22/03/2018	9.23	16.6	1.5	75.25	0
23/03/2018	9.21	16.4	3.1	72.5	0
24/03/2018	9.34	17	2.3	68.08	0
25/03/2018	7.73	13.5	3.4	82.75	1.9
26/03/2018	8.3	15.2	2	74.33	0
27/03/2018	8.1	16.2	0.9	73.83	0.1
28/03/2018	8.15	15.8	-0.6	64.54	0
29/03/2018	6.74	16	-2.4	62.92	0
30/03/2018	7.3	14.7	-0.7	68.04	0.2
31/03/2018	5.9	14.9	-3	55.79	0

* Fuente : SENAMHI - Oficina de Estadística

Tabla 31. Datos meteorológicos, mes de Abril-2018.

**DATOS DEL TIEMPO - ILLPA
ABRIL - 2018**

Estación : ILLPA, Tipo Automática - Meteorológica
 Departamento : PUNO Provincia : PUNO Distrito : PAUCARCOLLA
 Latitud : 15° 41' 0" Longitud : 70° 5' 0" Altitud : 3827

Dia/Mes/año	Temperatura (°C)			Humedad (%)	Lluvia (mm)
	Prom	Max	Min		
01/04/2018	6.48	16.5	-2.2	49.63	0
02/04/2018	6.67	15.8	-4.1	57.38	0
03/04/2018	7.9	16.6	-1.7	48.67	0
04/04/2018	7.57	17.2	-2.1	46.04	0
05/04/2018	7.12	17.6	-3.6	43.58	0
06/04/2018	6.22	15	-0.9	60.5	0
07/04/2018	6.48	15.3	-1.9	73.88	0.1
08/04/2018	7.47	15.5	0.6	70.75	0
09/04/2018	7.3	14.8	-1.4	72.33	0
10/04/2018	7.17	15	-0.3	68.63	0
11/04/2018	7.54	16.7	-1.1	56.5	0
12/04/2018	7.93	16.9	0.6	61.5	0
13/04/2018	5.75	13.3	-1.8	77.58	0.7
14/04/2018	6.34	14.6	-0.2	70.29	0
15/04/2018	5.75	16.2	-4.3	59.96	0
16/04/2018	7	16.3	-4.7	58	0
17/04/2018	7.75	17.7	-3.2	59.13	0
18/04/2018	7.24	14.8	1.1	68.08	0
19/04/2018	6.32	16.5	-3.3	62.25	0
20/04/2018	6.43	16.6	-2.9	54.08	0
21/04/2018	5.31	15.1	-4.3	60.38	0
22/04/2018	7.68	15.5	-1	66.63	3
23/04/2018	8.28	15.4	4.5	78.67	2.8
24/04/2018	7.11	13.2	0.9	80.29	0.2
25/04/2018	7.87	13.5	4.1	79.79	5.4
26/04/2018	6.98	13.3	0.6	80.13	22
27/04/2018	7.72	15.5	-0.2	75.75	0.1
28/04/2018	7.78	13.4	2	80.54	2.3
29/04/2018	7.51	14.5	2.6	79.42	1.6
30/04/2018	6.99	15.2		75.58	0.1

* Fuente : SENAMHI - Oficina de Estadística

Tabla 32. Datos meteorológicos, mes de Mayo-2018.

**DATOS DEL TIEMPO - ILLPA
MAYO - 2018**

Estación : ILLPA, Tipo Automática - Meteorológica
 Departamento : PUNO Provincia : PUNO Distrito : PAUCARCOLLA
 Latitud : 15° 41' 0" Longitud : 70° 5' 0" Altitud : 3827

Dia/Mes/año	Temperatura (°C)			Humedad (%)	Lluvia (mm)
	Prom	Max	Min		
01/05/2018	6.9	14.5	0.1	75	0
02/05/2018	7.43	16.9	-0.6	69.42	0.1
03/05/2018	7.8	17.1	-1.5	63.29	0
04/05/2018	8.41	16.9	1	51.42	0
05/05/2018	7.09	14.2	1.9	66.17	4.8
06/05/2018	5.71	14	-1.1	79.61	0
07/05/2018	5.68	14	-1	73.5	0
08/05/2018	6.65	14.5	-1.9	72.25	0
09/05/2018	6.96	14.7	-1.1	71.75	0.1
10/05/2018	7.15	15.9	0.5	71.29	0
11/05/2018	6.88	15.9	-3.1	62.13	0
12/05/2018	6.65	15.7	-0.7	68.46	0
13/05/2018	5.49	16.2	-3.3	41.04	0
14/05/2018	4.62	16.3	-6.5	30.83	0
15/05/2018	3.21	14.3	-10.3	41.21	0
16/05/2018	3.98	14.3	-6	44.29	0
17/05/2018	5	16.3	-4.9	44.63	0
18/05/2018	3.9	16.3	-7.5	33.08	0
19/05/2018	3.75	15.3	-7	47.96	0
20/05/2018	4.76	15.4	-5.9	55.38	0.1
21/05/2018	4.46	14.8	-5.4	34.58	0
22/05/2018	5.66	16.2	-5.4	47.25	0
23/05/2018	6.38	16.6	-3.9	38.79	0
24/05/2018	5.63	16	-4.5	45.13	0
25/05/2018	5.64	14.5	-3.6	42.96	0
26/05/2018	5.18	14.8	-3.9	51.67	0
27/05/2018	5.85	14.7	-2.3	53.5	0
28/05/2018	5.95	16.7	-3	41.17	0
29/05/2018	3.87	15.6	-5.2	31.5	0
30/05/2018	3.15	16.1	-9.3	29.67	0
31/05/2018	3.41	16	-7	27.04	0

* Fuente : SENAMHI - Oficina de Estadística

Tabla 33. Datos meteorológicos, mes de Junio-2018.

**DATOS DEL TIEMPO - ILLPA
JUNIO - 2018**

Estación : ILLPA, Tipo Automática - Meteorológica
 Departamento : PUNO Provincia : PUNO Distrito : PAUCARCOLLA
 Latitud : 15° 41' 0" Longitud : 70° 5' 0" Altitud : 3827

Dia/Mes/año	Temperatura (°C)			Humedad (%)	Lluvia (mm)
	Prom	Max	Min		
01/06/2018	3.43	15.8	-9.1	30.75	0
02/06/2018	4.4	15.2	-8.2	42.63	0
03/06/2018	4.15	6.4	1.9	88.67	7.8
04/06/2018	5.31	9.9	1.8	85.75	0.8
05/06/2018	4.74	12.7	-3.5	78.96	0.1
06/06/2018	5.11	14.3	-3.9	67.42	0.1
07/06/2018	5.41	13.4	-3.3	66.75	0
08/06/2018	4.5	13.4	-4.9	64.29	0
09/06/2018	4.02	12.5	-2.4	72.17	0
10/06/2018	4.47	12.4	-1.5	76.79	0.4
11/06/2018	5.16	13.7	-1.3	58.42	0
12/06/2018	4.56	14.7	-5.2	61.33	0
13/06/2018	5.07	14.6	-5	65.17	0
14/06/2018	5.64	14.8	-2.3	58.08	0
15/06/2018	4.93	14.9	-4	61.75	0
16/06/2018	4.9	15	-6	63.88	0
17/06/2018	4.33	14.9	-6	62.38	0
18/06/2018	4.45	13.8	-5.3	63.79	0
19/06/2018	4.68	12.9	-3.2	59.63	0
20/06/2018	4.02	12.6	-5.3	59.79	0
21/06/2018	4.15	13.7	-5.5	58.13	0
22/06/2018	2.69	12.6	-6	58.88	0
23/06/2018	4.57	14.8	-4	49.25	0
24/06/2018	5.05	16.2	-5.8	49.71	0
25/06/2018	5.04	15	-4.9	45.75	0
26/06/2018	5.25	16.6	-4.3	48.63	0
27/06/2018	5.42	15.4	-4.4	51.63	0
28/06/2018	5.71	17.1	-5.2	47.63	0
29/06/2018	5.25	15.3	-3	43.29	0
30/06/2018	5.51	16.2	-4.3	51.54	0

* Fuente : SENAMHI - Oficina de Estadística

Tabla 34. Datos meteorológicos, mes de Julio-2018.

**DATOS DEL TIEMPO - ILLPA
JULIO - 2018**

Estación : ILLPA, Tipo Automática - Meteorológica

Departamento : PUNO Provincia : PUNO Distrito : PAUCARCOLLA

Latitud : 15° 41' 0" Longitud : 70° 5' 0" Altitud : 3827

Día/Mes/año	Temperatura (°C)			Humedad (%)	Lluvia (mm)
	Prom	Max	Min		
01/07/2018	5.86	15.6	-2.3	50.08	0
02/07/2018	4.78	14.7	-3.2	58.46	0
03/07/2018	4.05	15.6	-7.7	62.13	0
04/07/2018	4.18	16	-6.3	53.17	0
05/07/2018	4.68	16.3	-5.6	45.92	0
06/07/2018	5.5	15.7	-4.5	51.25	0
07/07/2018	4.12	15.8	-6	49.63	0
08/07/2018	4	16.5	-7.5	43	0
09/07/2018	5.12	15.4	-7.2	46	0
10/07/2018	5.52	14.1	-5	56.33	0
11/07/2018	6.81	14.7	-0.4	67.46	0.4
12/07/2018	6.39	13.1	1.1	65	0
13/07/2018	6.67	13.9	-0.3	51.83	0
14/07/2018	4.19	13	-4.4	63.33	0
15/07/2018	3.79	13.9	-4.4	63.29	0
16/07/2018	6.22	14.9	-2.8	51.52	0
17/07/2018	10.04	16	1.1	44.88	0.1
18/07/2018	7.07	16	-2.9	52.38	0
19/07/2018	6.45	15.4	-2	59	0
20/07/2018	3.87	9.7	1	81.13	2.4
21/07/2018	1.42	2.9	0.1	98.79	13.6
22/07/2018	3.58	10.2	-0.6	81.79	3.1
23/07/2018	5.03	13.1	-2.3	72.79	0.1
24/07/2018	6.02	15.9	-2.1	61.29	0
25/07/2018	5.1	13.2	-2.4	65.08	0
26/07/2018	5.51	15.3	-3.7	58.5	0
27/07/2018	5.52	15.2	-4.5	50.33	0
28/07/2018	5.55	15.9	-3.9	52.46	0
29/07/2018	5.58	16.5	-3.4	50.42	0
30/07/2018	5.4	16	-4.2	37.63	0
31/07/2018	4.74	15	-4.7	43.38	0

* Fuente : SENAMHI - Oficina de Estadística

PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 10. Maquinaria, materiales y equipos para la ejecución



Figura 11. Determinación de la velocidad de infiltración en suelo franco arcilloso a 00 cm de profundidad



Figura 12. Subsulado a una profundidad de 40 cm en un suelo franco arcilloso



Figura 13. Determinación de la velocidad de infiltración en suelo franco arcilloso a 40 cm de profundidad



Figura 14. Recolección de muestras para determinar D_a , micro y macroporosidad de una suelo franco arcilloso a una profundidad de 40 cm



Figura 15. Determinación compactación de suelo a 40 cm en suelo franco arcilloso



Figura 16. Subsulado a una profundidad de 70 cm en un suelo franco arcilloso



Figura 17. Determinación de la velocidad de infiltración en suelo franco arcilloso a 70 cm de profundidad



Figura 18. Recolección de muestras para determinar D_a , micro y macroporosidad de una suelo franco arcilloso a una profundidad de 70 cm



Figura 19. Determinación compactación de suelo a 70 cm en suelo franco arcilloso



Figura 20. Determinación de la velocidad de infiltración en suelo franco arenoso a 00 cm de profundidad



Figura 21. Subsulado a una profundidad de 40 cm en un suelo franco arenoso



Figura 22. Determinación de la velocidad de infiltración en suelo franco arcilloso a 40 cm de profundidad



Figura 23. Recolección de muestras para determinar D_a , micro y macroporosidad de una suelo franco arenoso a una profundidad de 40 cm



Figura 24. Determinación compactación de suelo a 40 cm en suelo franco arenoso



Figura 25. Subsólado a una profundidad de 70 cm en un suelo franco arenoso