

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**CARACTERIZACIÓN DE LA
INFILTRACIÓN EN 3 SISTEMAS DE USO
DE SUELO DE LA COMUNIDAD
CAMPESINA SANTIAGO DE
CAMPOMA, MICROCUENCA DEL RÍO
SUNCHA, HUAROCHIRÍ, LIMA**

Presentado por:

Fernando Yáñez Gutiérrez

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO FORESTAL**

Lima - Perú
2017

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de Tesis, presentado por el ex-alumno de la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. **FERNANDO YÁÑEZ GUTIÉRREZ**, titulado “**CARACTERIZACIÓN DE LA INFILTRACIÓN EN 3 SISTEMAS DE USO DE SUELO DE LA COMUNIDAD CAMPESINA SANTIAGO DE CARAMPOMA, MICROCUENCA DEL RÍO SUNCHÁ, HUAROCHIRÍ, LIMA** ”.

Oídas las respuestas a las observaciones formuladas, lo declaramos:

.....

Con el calificativo de

En consecuencia queda en condición de ser considerado APTO y recibir el título de INGENIERO FORESTAL.

La Molina, 01 de Junio de 2017

.....
Ing. Ignacio Lombardi Indacochea
Presidente

.....
Dr. Julio Alegre Orihuela
Miembro

.....
Mg. Sc. Carlos Alberto Llerena Pinto
Miembro

.....
Ing. Rosa María Hermoza Espezúa
Asesor

Mg. Sc. Luis Rubén Bazán Tapia
Coasesor

DEDICATORIA

A mi abuela, por su amor y protección

A mi abuelo, por su honradez e integridad

A mi madre, por su indudable apoyo a lo largo de los años

A mi familia, por darme educación y un hogar

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi amiga y profesora Rosa María Hermoza Espezúa, por su completa ayuda a lo largo de toda la investigación, así como a mi coasesor profesor Luis Rubén Bazán Tapia, por sus importantes aportes llegado el momento de la revisión.

Al profesor y decano de la Facultad de Ciencias Forestales Carlos Alberto Llerena Pinto, por los materiales prestados, posibilitar el financiamiento del MINEDU en los análisis de suelos, y sobretodo por su tiempo, buena disposición e importante contribución para que el presente documento sea lo mejor posible. De la misma manera para los profesores Ignacio Rómulo Lombardi Indacochea y Julio Alegre Orihuela.

A Izumi Diana Mori Zerpa por su irremplazable compañía en campo.

A Maria Pia Sembrero & Nataly Valencia Vento, por facilitarme documentación de la zona.

A Christian Isael Florencio Saavedra, por la conexión brindada para con los comuneros.

Al presidente del comité de Ecoturismo de Santiago de Carampoma, Benturo Villaroel por permitirnos realizar la fase campo en el bosque natural relicto de Japaní, así como a Luis Rosario Nolasco, por brindarnos el servicio para poder arribar y salir del bosque.

A mi compañero y amigo de carpetas Andrés Eduardo Campbell Cateriano, por incentivar me a conocer el bosque natural relicto de Japaní y acompañarme en su recorrido.

A Natalia Reátegui Echeverri, por su buen trabajo e incondicional ayuda para acelerar el financiamiento del MINEDU.

A Joao Manuel Rado Huaranga, por su excelente contribución en la parte estadística.

A Sady Javier García Bendezú, por la posibilidad de contar con el laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la facultad de agronomía de la UNALM.

RESUMEN

En este estudio se caracteriza y compara la infiltración, entendida como el paso del agua de la superficie al interior del suelo, en tres formas de uso de la tierra: bosque intervenido, pastizal parcialmente compactado por ganadería y cultivo de papas en andenes agrícolas, dentro del bosque natural relicto de Japaní, perteneciente a la Comunidad Campesina de Santiago de Carampoma, Huarochirí, Lima. Los datos fueron tomados en época seca. Su propósito es mostrar las bondades del bosque; una formación con copas densas, exuberante vellosoidad en los componentes de sus ramas terminales, troncos rugosos, raíces profundas y abundante hojarasca y materia orgánica, para favorecer la infiltración y los procesos subsiguientes del ciclo hidrológico en el suelo. Se utilizó el método del cilindro infiltrómetro individual y se comparó el comportamiento de la infiltración en el bosque intervenido, pastizal parcialmente compactado por ganadería y el cultivo de papas en andenes agrícolas, considerando tres tipos de pendiente fisiográfica (alta, media, baja); y rango altitudinal (alto, medio, bajo). Los resultados mostraron que, los mayores valores de infiltración se dieron en las más altas pendientes fisiográficas, con los máximos en el bosque intervenido, seguido del pastizal parcialmente compactado por ganadería. La pendiente fisiográfica, especialmente sobre el 60%, resultó ser el factor que más influyó en la infiltración. La altitud solo mostró un efecto significativo al actuar junto con el factor “pendiente fisiográfica”. Los análisis de suelo, la mayor cantidad de hojarasca de los suelos forestales y la humedad inicial del suelo, ratificaron que, las mejores condiciones para la infiltración se dieron en el bosque, incluso a pesar que este se encuentre intervenido.

Palabras clave: Infiltración; Polylepis; Biomasa; Hidrología

This study characterizes and compares the infiltration, understood as the passage of surface water into the soil, in three forms of land use: intervened forest, pasture partially compacted by cattle raising and potatoe crops in agricultural platforms, making use of individual cylinder infiltrater or simple ring method, within the relict natural forest of Japaní, in the Peasant Community of Santiago de Carampoma, Huarochirí, Lima. The information was compiled in the month of August of the year 2016 (dry season). Its objective is to show the benefits of the forest, a formation with dense treetops, exuberant hairiness in the components of its terminal branches, rough logs, deep roots and abundant litter and organic matter, to favor the infiltration and secondary processes of the hydrological cycle in the soil. The individual infiltrator cylinder method was used and the behavior of the infiltration in the forest, the pasture and the platforms was compared in three types of physiographic pendant (high, medium, low); and of altitudinal range (high, medium and low, expressed in meters above sea level). The results showed that the highest values of infiltration occurred in the highest physiographic slopes, with the maximum reached in the intervened forest, followed by the soil partially compacted by the cattle ranch. The physiographic slope, especially the one of 60%, proved to be the most influential factor in infiltration. Altitude only showed a significant effect when acting along with the physiographic slope factor. Soil analysis, leaf litter types of the different forest's soils and the initial soil moisture, confirmed that the best conditions for infiltration occur in the forest.

Keywords: Infiltration, Polylepis, biomass, hidrology

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
1. ANTECEDENTES.....	5
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Recursos hídricos en el Perú	7
2.2. Bosques Andinos	8
2.3. Influencia de la vegetación arbórea en relación al agua y el ciclo hidrológico.....	9
2.3.1. Cobertura vegetal.....	11
2.3.2. Materia orgánica y Hojarasca.....	12
2.3.3. Raíces	15
2.3.4. Consumo de agua por el árbol	15
2.4. Influencia de la vegetación en la conservación y destrucción del suelo.....	16
2.5. Influencia del cambio de uso del suelo en relación con el recurso hídrico – alternativas.....	18
2.6. Agua en el suelo	21
2.6.1. Definición de infiltración	23
2.6.2. Conceptos asociados al proceso de infiltración.....	23
2.6.3. Importancia de cuantificar la infiltración	24
2.6.4. Factores que afectan la infiltración.....	24
2.6.5. Influencia de la vegetación en la infiltración	26
2.6.6. Importancia de la conservación de los bosques de altura en relación a la infiltración.....	27
2.6.7. Capacidad de infiltración.....	27
2.6.8. Velocidad o tasa de infiltración	28
2.6.9. Método utilizado para medir la infiltración – Método del anillo simple	28
2.6.10. Definiciones y tipos de escorrentía.....	29
2.6.11. Influencia de la vegetación en la escorrentía	30
2.7. Características físicas y químicas del suelo - parámetros que las definen	31
2.7.1. Características físicas del suelo	31
2.7.2. Características químicas de los suelos	40
2.7.3. Materia orgánica y formación de la estructura del suelo	43
2.8. Probador de humedad inicial disponible del suelo	46
2.8.1. Introducción.....	46
2.8.2. Operación	47
2.8.3. Instalación.....	49
2.8.4. Dónde colocar los bloques	50
III. MATERIALES Y MÉTODOS	51
1. MATERIALES	51
1.1. Área de estudio	51
1.1.1. Ubicación	51
1.1.2. Accesibilidad	53
1.1.3. Clima	54
1.1.4. Ecología.....	55
1.2. Descripción de los 3 sistemas de uso del suelo	58
1.2.1. Descripción del bosque Intervenido	59
1.2.2. Descripción del Pastizal parcialmente compactado por ganadería	59
1.2.3. Descripción del área con cultivo de papas en andenes agrícolas	60
2. METODOLOGÍA PARA EL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	61
2.1. Metodología para las Pruebas de infiltración	61
2.1.1. Metodología en campo	61
2.1.2. Metodología en gabinete.....	67
2.2. Recolección de muestras de suelo de los usos de suelo comparados	71

2.3.	<i>Descipción de los perfiles de suelo.....</i>	<i>73</i>
2.4.	<i>Determinación del estado de descomposición de la hojarasca y calculo de la biomasa seca</i>	<i>76</i>
2.5.	<i>Determinación de la humedad disponible del suelo por el método de bloques de yeso</i>	<i>79</i>
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
1.	PRUEBAS DE INFILTRACIÓN.....	83
1.1.	<i>Resultados según la triple interacción: Uso de suelo//Altitud//Pendiente fisiográfica.....</i>	<i>83</i>
1.2.	<i>Resultados según: uso de suelo</i>	<i>87</i>
1.3.	<i>Resultados según: pendiente fisiográfica.....</i>	<i>88</i>
1.4.	<i>Resultados según Pendiente fisiográfica de CADA Uso de suelo.....</i>	<i>89</i>
1.5.	<i>Resultados según Rango altitudinal por cada tipo de Pendiente fisiográfica.....</i>	<i>90</i>
1.6.	<i>análisis estadístico de los resultados de infiltración - Diseño Factorial 3³ proyectado.....</i>	<i>91</i>
1.6.1.	Proyeccion del diseño.....	92
1.6.2.	Análisis de varianza (anva)	94
1.6.3.	Comparaciones simples para efectos simples (BC & AC)	96
1.6.4.	Comparaciones multiples para efectos simples (BC & AC)	98
1.6.5.	Gráficos de interacción para ac & bc	101
2.	RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELO	103
2.1.	<i>Caracterización general del suelo.....</i>	<i>105</i>
2.1.1.	Análisis de fertilidad del suelo.....	105
2.1.2.	Clasificación textural, clase textural y propiedades físicas según textura	118
2.1.3.	Capacidad de intercambio catiónico y cationes cambiables.....	120
2.2.	<i>Coefficientes hídricos</i>	<i>122</i>
2.2.1.	Capacidad de campo	122
2.2.2.	Punto marchitez (P.M.)	125
3.	EVALUACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO.....	126
3.1.	<i>Observaciones en campo.....</i>	<i>126</i>
3.2.	<i>Resultados en laboratorio.....</i>	<i>127</i>
3.2.1.	Color del suelo	127
3.2.2.	Densidad aparente	128
4.	DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE DESCOMPOSICIÓN DE LA HOJARASCA Y CALCULO DE LA BIOMASA SECA	130
5.	INTERPRETACIÓN DE LA HUMEDAD INICIAL DISPONIBLE DEL SUELO POR EL MÉTODO DE BLOQUES DE YESO	132
5.1.	<i>Tensión de humedad (Bars) y Presión negativa-resistencia (Ohms)</i>	<i>132</i>
5.2.	<i>Porcentaje aproximado de agua utilizada por las plantas y humedad disponible en el suelo</i>	<i>136</i>
V.	CONCLUSIONES.....	141
VI.	RECOMENDACIONES.....	143
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	145
VIII.	ANEXOS.....	154

Índice de tablas

	Página
Tabla 1:	Clasificación USDA de suelos según textura..... 33
Tabla 2:	Comparación de propiedades físicas del suelo según textura..... 35
Tabla 3:	Zonas de vida de Holdridge para el área de estudio..... 55
Tabla 4:	Codificación utilizada para las pruebas de infiltración 63
Tabla 5:	Nomenclatura de los niveles y factores 68
Tabla 6:	Ejemplo de desarrollo de un análisis de varianza..... 69
Tabla 7:	Ejemplo de análisis de varianza para efectos simples..... 69
Tabla 8:	Comparaciones múltiples del efecto AC 71
Tabla 9:	Totalidad de puntos evaluados de infiltración..... 84
Tabla 10:	Promedio de infiltración según pendiente fisiográfica por cada uso de suelo..... 90
Tabla 11:	Infiltración según rango altitudinal por cada tipo de pendiente fisiográfica 90
Tabla 12:	Distribución de grados de libertad para el diseño 3^3 92
Tabla 13:	Efectos resultantes de la proyección del diseño 93
Tabla 14:	ANVA resultante de los factores e interacciones 95
Tabla 15:	Interpretación del nivel de significancia según el Pvalor..... 95
Tabla 16:	Combinaciones posibles de las interacciones BC y AC 97
Tabla 17:	Anva de efectos simples (BC & AC)..... 98
Tabla 18:	Total de alternativas de BC y AC 99
Tabla 19:	Comparación BC significativa..... 100
Tabla 20:	Comparaciones AC significativas..... 100
Tabla 21:	Nomenclatura de factores que intervienen en las gráficas de interacción 101
Tabla 22:	Resultados de las muestras de suelo (parte 1) 103
Tabla 23:	Resultados de las muestras de suelo (parte 2) 104
Tabla 24:	Grado de acidez - alcalinidad del suelo según rango de pH 105
Tabla 25:	Clasificación del suelo según rango de pH..... 106
Tabla 26:	Ordenación del suelo según rango de pH..... 106
Tabla 27:	pH resultante en los tres rangos de altitud de cada uso de suelo 107
Tabla 28:	Escala de salinidad (dS/m) en suelos..... 109
Tabla 29:	C.E. resultante en los tres rango de altitud de cada uso de suelo..... 110

Tabla 30:	Clasificación de la materia orgánica según ocurrencia	111
Tabla 31:	Diagnóstico del suelo según % de carbonatos.....	111
Tabla 32:	Contenido de materia orgánica y carbonatos de calcio para los distintos rangos altitudinales de cada uso de suelo	112
Tabla 33:	Clasificación de fósforo disponible en el suelo (ppm).....	114
Tabla 34:	Clasificación de potasio disponible en el suelo (ppm).....	114
Tabla 35:	Contenido de fósforo y potasio (ppm) disponible en orden descendente.....	115
Tabla 36:	Contenido de Arena-Limo-Arcilla por zona.....	118
Tabla 37:	Textura, clase textural y propiedades físicas según textura del suelo	119
Tabla 38:	C.I.C y cationes cambiabiles	121
Tabla 39:	Relación de la C.I.C. con el contenido de M.O. y pH.....	121
Tabla 40:	Cantidad y % promedio de ocurrencia de cada catión cambiabie	122
Tabla 41:	Capacidad de campo (% V) según textura de suelo	123
Tabla 42:	Capacidad de Campo, contenido de M.O y retención de humedad “según textura del suelo”	124
Tabla 43:	Punto de marchitez (% V) según textura del suelo	125
Tabla 44:	Características visuales dentro de los perfiles de suelo.....	126
Tabla 45:	Color del suelo (Munsell)	127
Tabla 46:	Densidad aparente de las diferentes capas de las muestras de suelo	128
Tabla 47:	Biomasa seca de hojarasca (t/ha) de los tres estadios de descomposición dentro del uso de suelo bosque intervenido.....	130
Tabla 48:	Biomasa seca de hojarasca (t/ha) en sus tres estadios de descomposición, según autor.....	131
Tabla 49:	Resultados de tensión de humedad y presión negativa	132
Tabla 50:	Valores promedio de tensión de humedad y presión negativa de cada uso de suelo	134
Tabla 51:	Valores promedio por zona altitudinal de la tensión de humedad y la presión negativa.....	135
Tabla 52:	humedad disponible en el suelo y agua utilizada por las plantas.....	136
Tabla 53:	Valores promedio por zona altitudinal de la humedad disponible y el % aproximado de agua utilizado por las vegetación	137
Tabla 54:	Porcentaje promedio del agua utilizada y de la humedad disponible por uso de suelo	138

Índice de figuras

	Página
Figura 1: Triángulo textural – Taxonomía de suelos de la USDA	32
Figura 2: Comportamiento de la infiltración según la textura del suelo	35
Figura 3: Sistema de medición de humedad.....	46
Figura 4: Medidor de humedad KS-1	48
Figura 5: Curvas de calibración	49
Figura 6: Ubicación de la superficie seleccionada (Google Earth, 2015)	52
Figura 7: Ruta completa: inicio carretera central – bosque natural relicto Japoní	54
Figura 8: Precipitación total mensual de Carampoma	55
Figura 9: Área seleccionada para el levantamiento de información y su sectorización en 27 bloques	64
Figura 10: Preparación de las bestias de carga para el muestrero en las zonas pastizal parcialmente compactado y cultivo de papas en andenes agrícolas	65
Figura 11: Verificación de la posición correcta de los componentes	66
Figura 12: Patrones de recorrido para extraer submuestras	72
Figura 13: Extracción de la submuestra de suelo	72
Figura 14: Segundo cuarteo de una muestra de suelo	73
Figura 15: Descripción de los 3 perfiles de suelo	74
Figura 16: Capa orgánica en el perfil del bosque intervenido	75
Figura 17: Toma de muestra del perfil	76
Figura 18: Delimitación del área de muestreo.....	77
Figura 19: Fórmula para hallar la biomasa seca de hojarasca	78
Figura 20: Estados de descomposición de la hojarasca	79
Figura 21: Pasos para el cálculo de la biomasa seca de hojarasca.....	79
Figura 22: Pasos para la determinación de la humedad inicial disponible en el suelo	81
Figura 23: Uso de suelo Bosque intervenido, zona Alta (> 4070 m.s.n.m), pendiente fisiográfica Alta (>60°)	86
Figura 24: Pastizal parcialmente compactado por ganadería - Zona Media (3800-3900 m.s.n.m) - pendiente fisiográfica Alta (>60°)	86
Figura 25: Uso de suelo Bosque intervenido, zona Baja (3999-3950), pendiente fisiográfica Alta (>60°)	87

Figura 26:	Gráfica de probabilidad normal de las estimaciones de los efectos resultantes de la proyección del diseño	94
Figura 27:	Gráfico de interacción AC	102
Figura 28:	Gráfico de interacción BC.....	102

Índice de anexos

Página

Anexo 1 Materiales para el levantamiento de información.....	154
Anexo 2 Resultados de las 27 muestras de infiltración.....	157
Anexo 3 Resultados en laboratorio de las muestras de suelo y de perfil de suelo.....	211

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente en el mundo, alrededor del 30 por ciento de habitantes experimenta el fenómeno de estrés hídrico y otro 20 por ciento adolece de serias restricciones de agua, mientras la población mundial sigue en aumento. Aquafondo (2016) enuncia que, tras la ciudad de El Cairo en Egipto, Lima es la segunda ciudad más grande del mundo desarrollada dentro de un desierto, con cerca de 10 millones de habitantes según el último censo del INEI¹(2017), y a diferencia de El Cairo, sin grandes ríos ni reservas de agua.

En el periodo del 2000 al 2015, Lima manifestó un promedio aproximado de 7.7 milímetros de precipitación al año (INEI², 2017). En el 2011, la disponibilidad de agua per cápita en la costa peruana bordeaba los 1000 m³/habitante/año, cifra menor al límite crítico dado por la FAO. Vásquez (2011) estimó que para el año 2050 habrá aproximadamente 42 millones de habitantes solo en el Perú (incremento mayor al 35 por ciento de la población actual), presentándose además el mayor aumento en la región Costa. Este crecimiento poblacional viene de la mano con la expansión económica y juntos generan suficientes motivos para deducir que muy probablemente con el tiempo se presenten graves conflictos sociales y políticos a causa de la acentuada escasez de agua y la disminución del acceso a este importante recurso.

Este problema se agrava debido a que dicho crecimiento urbano-económico, responsable de la sobre-explotación, disminución o incluso agotamiento de los recursos naturales como el suelo y la vegetación, mediante la tala indiscriminada e irracional manejo del recurso bosque en zonas medias y altas de las cuencas hidrográficas y el cambio de uso del suelo por expansión no planificada de la frontera agrícola-ganadera, también está presente en las cuencas hidrográficas de los andes centrales, destacando desde hace milenios la ocurrencia de fenómenos antrópicos como el sobre-pastoreo y la deforestación en las partes altas y medias de las cuencas, zonas en las que se restringen ciertos tipos de bosques a hábitats cada vez más específicos, fragmentándolos y generando así parches ubicados en lugares de difícil acceso y en donde además se generan las lluvias como parte del ciclo hidrológico, incitando

de esta manera las variaciones en los regímenes hidrológicos, pérdida de la fertilidad, salinidad, erosión hídrica y arrastre del suelo.

Reyes (2014) manifiesta que, la consecuencia de todo lo expuesto (en época húmeda) puede generar eventos como deslizamientos, derrumbes o huaycos, ocasionando así la pérdida de numerosas hectáreas de cultivo, destrozando costosas obras de infraestructura y afectar importantes áreas urbanas, con impactos negativos de mayor magnitud en zonas vulnerables (laderas, quebradas, áreas inundables, entre otras), afectando la economía del país. Esto se ve acrecentado por la falta de defensas ribereñas, especialmente en zonas urbanas. Además, existen otros daños como: el arrastre de sedimentos en cuerpos de agua, modificación de propiedades físico-químicas del agua y una inminente y apresurada desertificación.

Sin embargo, parte de la paulatina disminución de dichos problemas se encuentra en la conservación, protección y restauración de mencionados bosques, no solo por lo especializada que se ha vuelto su composición florística y faunística a lo largo de los años, sino que, debido a su ubicación y características, es importante resaltar el papel de dichos bosques en la regulación del régimen hídrico de las cabeceras de los ríos alto andinos (Aucca *et al.*, 2005; Buytaert *et al.*, 2006; citado por Florencio, 2015).

Ecológicamente, el papel de los bosques de queñuales es funcionar como depósitos de agua, almacenando una gran cantidad de humedad proveniente de la lluvia y de las densas nieblas a las que están sometidos (ECOAN, 2007; citado por Gonzales, 2014). Otra función que desempeñan es la de protección del suelo contra el proceso de erosión, rol que viene siendo afectado debido a la presión antrópica. El efecto directo en el suelo se refleja en la pérdida de la capacidad de retención. Si a esto se añade el calentamiento global cuya evidencia real es el retroceso glaciar, será cada vez más creciente la escasez de agua y la generación de conflictos sociales por el agua y la minería (Plan Maestro-PNH, 2011; citado por Gonzales, 2014).

Como indica Gonzales (2014) en su estudio sobre la infiltración en bosques plantados de queñuales; es poco lo que se conoce sobre la relación de bosques andinos y el agua. Cierta porción de la precipitación se almacena en el suelo por lo que se hace importante la forma en la que el agua se encuentra en él, con la finalidad de aprovecharla adecuadamente. Las características de infiltración de un suelo constituyen el elemento básico para poder efectuar un adecuado diseño del sistema de riego y determinar el tiempo de riego apropiado

(Vásquez & Chang-Navarro, 1988). En una cuenca, el funcionamiento hidrológico depende de los cursos de agua subterráneos, por ello es importante medir la infiltración. Hewlett (1982) afirma que, en suelos compactados y cultivados, se presentan niveles bajos de infiltración, mientras que esto no ocurre en suelos forestales. Cuando el suelo forestal es alterado por actividades agropecuarias se presentan problemas en la infiltración.

El bosque de Japaní, según la estrategia nacional establecida en el Plan Director de Áreas Naturales, elaborada por el MINAM en el 2009, se encuentra dentro de zona prioritaria para la conservación en los andes, además de ser considerado por “*Bird Life International*” como área de importancia para aves (Sembrero y Valencia, 2015).

A lo largo de los años, Japaní viene sufriendo la reducción del área boscosa debido a diferentes motivos, entre los cuales resaltan: la tala de árboles sin orden ni reposición para uso doméstico (leña como combustible) dejando la mayor cantidad de estas áreas como pastizales andinos, los cuales posteriormente terminan ocupados por el ganado y su pastoreo, a pesar de las diversas charlas de concientización de distintas entidades, muy probablemente porque los principales ingresos económicos de la zona provienen de la ganadería, con más del 50 por ciento de familias dependientes de esta actividad. Finalmente, una menor cantidad de estas áreas se encuentran en ocupación de agricultura rotatoria en andenes.

En consecuencia, esta gradual reducción acarrea efectos perjudiciales no solo relacionados con la captación y fijación de carbono o la producción de oxígeno, sino también con la pérdida de biodiversidad (destacando la ocurrencia de aves y sus diferentes especímenes endémicos y hasta especialistas) y la degradación, empobrecimiento y posterior erosión de los suelos, ocasionando finalmente una reducción en su capacidad de retención de humedad.

En contraposición, actualmente existen entidades privadas que vienen trabajando para conservar, proteger y restaurar las cuencas de los ríos Chillón, Rímac y Lurín mediante la implementación de líneas de trabajo enfocadas a recuperar y conservar las fuentes de agua, mejorar la calidad del recurso hídrico (tratamiento y reúso de aguas residuales) y la promoción de actividades económicamente sostenibles. Como experiencias exitosas se pueden mencionar las implementadas por USAID junto a Nature Conservancy y Aquafondo, las cuales son: a) la reforestación con *Polylepis* en San Pedro de Laraos (Huarochirí) como medida de contingencia frente a la escasez hídrica provocada por el

cambio climático; b) la recuperación de “Amunas” en San Pedro de Casta (Huarochirí) como una medida de adaptación frente al cambio climático. Otra experiencia destacable es la recuperación de agua en San Mateo (Huarochirí) a través de la instalación de 2.4 km de “Zanjas de infiltración”, implementada gracias a Aquafondo, Backus y Fondam. Finalmente, por un periodo de 5 años (2016-2020) y gracias al consenso e impulso del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) y al apoyo del Ministerio del Ambiente (MINAM), la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) viene gestionando la implementación de los llamados “Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos” (MRSE) respecto al cuidado de las fuentes de agua del país, dentro de los cuales, las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS) cobrarán a los usuarios competentes, cierto porcentaje dentro de sus tarifas mensuales, con el objetivo de acumular un fondo para estos mecanismos de prevención de desastres. SEDAPAL por su parte, viene recaudando alrededor del 5 por ciento de todos sus ingresos para ser invertidos en planes de riesgos de desastres, cuidado de las fuentes de agua y cambio climático.

Debido a todo ello y juzgando el papel del bosque natural relicto de Japaní, de las actividades económicas como la agricultura y la ganadería en la regulación del caudal y del balance hidrológico de la zona media y alta de la microcuenca del río Suncha, así como la influencia que esta conlleva para el distrito de Carampoma (el cual a su vez es atravesado por el río Santa Eulalia; uno de los principales tributarios del río Rímac, abastecedor de agua a Lima y Callao) el siguiente estudio pretende contribuir a caracterizar y comparar el grado de influencia relativa del bosque intervenido de Japaní en la infiltración, en contraste con otros sistemas de uso del suelo (pasturas compactadas por ganadería y cultivo de papas en andenes agrícolas), así como determinar y evaluar el proceso de infiltración en 3 diferentes sistemas de uso del suelo (bosque intervenido, pastizal parcialmente compactado por ganadería y cultivo de papas en andenes agrícolas) mediante el método del cilindro infiltrómetro individual, durante el periodo seco. Finalmente, caracterizar los 3 sistemas de uso del suelo a través de: análisis de muestras de suelo, evaluación de los perfiles del mismo, determinación del estado de descomposición de la hojarasca y la interpretación de la humedad inicial disponible.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. ANTECEDENTES

Ríos *et al* (2006) evaluaron la escorrentía superficial, la capacidad de infiltración, la conductividad hidráulica del suelo y la cobertura vegetal presente en cuatro sistemas de uso del suelo (pasturas nativas sobrepastoreadas sin árboles; pasturas nativas con árboles; pasturas mejoradas con árboles y bosque secundario intervenido) ubicados en la zona de recarga de la subcuenca del río Jabonal (Costa Rica), hallando la mayor capacidad de infiltración en el bosque secundario intervenido, seguido de las pasturas mejoradas con árboles, obteniendo como conclusión que, la escorrentía superficial tiene un comportamiento opuesto a la cobertura arbórea.

Para el mismo año, Ríos *et al* (2006) realizaron una evaluación de la escorrentía superficial e infiltración en cuatro diferentes usos del suelo (pasturas nativas sobre-pastoreadas sin árboles; bancos forrajeros; pasturas mejoradas con árboles y tacotales) en Costa Rica y Nicaragua, obteniendo como resultado que, las pasturas nativas sobrepastoreadas sin árboles fueron las que mayor escorrentía superficial obtuvieron, concluyendo que, la cobertura arbórea contribuye a incrementar la infiltración en el suelo.

Años más tarde, Arcos *et al* (2010) realizaron una investigación en el páramo de Paluguillo, en la región de Papallacta en Pichincha, Ecuador. Aquí evidenciaron y reafirmaron que, en suelos sin vegetación las tasas de infiltración son significativamente menores, además de determinar que el bosque de *Polylepis* fue el sistema de uso de suelo con mayor tasa de infiltración. Entre los distintos usos de suelo comparados se encuentran pajonales, zonas arbustivas, parches de bosques de altura, zonas anteriormente quemadas, cultivos agrícolas e incluso senderos.

Salas (2011) en su tesis realizada en Costa Rica obtuvo que, en el Bosque Ripario, la velocidad de infiltración fue treinta y cuatro veces mayor que en la pastura degradada, trece veces más que en la pastura mejorada y cuatro veces más que en el banco forrajero.

Moll (2011) realizó un estudio comparativo sobre la infiltración entre dos microcuencas (con y sin cobertura) en San Alberto, Oxapampa. La finalidad era comprobar la hipótesis de German, citado por Moll (2011) quien afirma que en un suelo sin vegetación la escorrentía será fundamentalmente superficial, con una infiltración y retardos mínimos, mientras que en un suelo con cubierta vegetal no se presenta mucha escorrentía superficial y la infiltración debería aumentar. Sin embargo, no se cumplió dicha afirmación, probablemente porque realizó la evaluación en época húmeda, obteniendo de esta manera datos muy elevados en la humedad inicial del suelo, así como tampoco pudo determinar la influencia de la materia orgánica en la velocidad de infiltración.

Zuleta (2011) analizó la incidencia que tienen los tipos de suelos (Café; Eucalipto; Heliconias; Pasto; Plátano asociado con Guayaba; potrero con ganadería extensiva y Rodal de Guadua) en los procesos de infiltración y posterior recarga de los acuíferos, determinando que el Bosque de Guadua fue el de mayor rendimiento de infiltración.

Por otro lado, Reyes (2014) estudio la infiltración en cuatro diferentes sistemas de uso de la tierra en el fundo La Génova, Chanchamayo, Junín, con la finalidad de conocer el grado de influencia relativa de la vegetación, demostrando en sus resultados que, el suelo con mayor cantidad de hojarasca (suelo con cobertura arbórea) presentó mayor infiltración a causa de poseer mayor protección del suelo por la abundante cantidad de esta, evitando así la degradación y compactación del suelo por efecto directo de las altas intensidades de lluvia, además de demostrar que, a mayor hojarasca mayor cantidad de materia orgánica en el suelo, la cual a su vez presenta mayor capacidad de retención de agua.

Mientras, Tagle (2014) cuantificó la cantidad de carbono potencialmente aportado por la hojarasca separada en diferentes sistemas de uso de la tierra ubicados en el área de influencia de la carretera Tarapoto-Yurimaguas, con el objetivo de probar que la destrucción de la cobertura boscosa no solo causa la degradación de los suelos, sino también, ocasiona cambios dramáticos que involucran variaciones negativas en el régimen hídrico debido a que los materiales provenientes de la hojarasca (como el humus) retienen temporalmente el agua y la deja infiltrar gradualmente junto con el material orgánico disuelto y en partículas, lo que mejora la estructura del suelo y su capacidad de infiltración.

Finalmente, Gonzales (2014) al realizar su caracterización de la infiltración en bosques plantados con *Polylepis spp* de 2 diferentes edades (11 y 29 años) en el Parque Nacional

Huascarán, demostró que los bosques plantados con *Polylepis spp* presentan alta tasa de infiltración, siendo aún mayor para los de edad superior. También evidenció que, el suelo de los bosques plantados presenta una lámina infiltrada considerablemente mayor respecto al suelo sin cobertura.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. RECURSOS HÍDRICOS EN EL PERÚ

La Cordillera de los Andes, ubicada longitudinalmente, divide al país en tres regiones naturales: la Costa del Pacífico (muy árida, con el 10 por ciento del territorio), la Cordillera Alto Andina (semi-árida y subhúmeda, con el 30 por ciento del territorio) y la Selva Amazónica, la cual representa el 60 por ciento del territorio y está constituida por la parte Alto-Andino-Amazónica (muy húmeda) y la llanura o Selva Baja (húmeda). Desde el punto de vista hidrográfico, considerando la división continental y la dirección de drenaje de los ríos de primer orden, existen tres sistemas de cuenca: el sistema del Océano Pacífico, con 53 cuencas (22 por ciento del territorio); el Atlántico, con la única y vasta Cuenca Amazónica (74 por ciento del territorio); y el lago Titicaca, con 9 cuencas (4 por ciento del territorio). Adaptado de Llerena *et al* (2017).

“Perú es uno de los diez países con las mayores reservas de agua en el mundo, teniendo en cuenta sus potenciales aguas superficiales y subterráneas. Sin embargo y como ya se mencionó en el párrafo anterior, es un país con grandes diferencias hidrológicas. El sistema de cuenca del Atlántico, que representa más del 70 por ciento del territorio peruano, recibe altos niveles anuales de precipitación y abundantes recursos hídricos disponibles (aproximadamente el 98 por ciento de agua disponible en el Perú), pero tiene una baja densidad de población (30 por ciento de la población nacional) y poco desarrollo industrial. Por otro lado, el sistema del océano Pacífico con sus 53 cuencas, concentra menos del 2 por ciento de los recursos hídricos del país, pero alberga alrededor del 65 por ciento de la población nacional, las ciudades más pobladas del país y la mayor concentración de actividad económica, la cual aporta más del 80 por ciento del PBI. El tercer sistema de cuenca (Lago Titicaca) contiene alrededor del 0,5 por ciento de agua disponible y el 5 por ciento de la población. Por ello, a pesar de la aparente abundancia de agua, Perú es uno de los cinco países más vulnerables frente al cambio climático” (ANA *et al* 2015; citado por Llerena *et al*, 2017).

2.2. BOSQUES ANDINOS

“Los bosques naturales y plantados altoandinos (incluyendo los bosques de *Polylepis*) dependen fuertemente de su latitud y elevación, que se correlaciona bastante con las lluvias y la temperatura. Los lugares de la latitud norte del país, están mucho más regados que los centrales o meridionales y, el extenso debate sobre la plantación de árboles y el uso de especies nativas o exóticas en Perú, despiertan principalmente en estas áreas (Hamilton y King 1983, Hamilton *et al* 2008, CIFOR 2012, Gilmour 2014). Los árboles adaptados a elevaciones más altas podrían llegar a más de 4000 msnm, y crecer en áreas dominadas por césped, humedales y turberas”. Extraído de Llerena *et al* (2017).

Las principales amenazas a estos ecosistemas especiales están asociadas a la reducción de los glaciares y a un clima más cálido (Bradley *et al* 2006; citado por Llerena *et al*, 2017).

“La mayor parte de las montañas del centro y sur de los Andes están ubicadas en zonas semiáridas con precipitaciones anuales entre 200 y 700 mm, poseen un régimen de tendencia estacional (estación de lluvias cortas y prolongada estación seca), en donde la población y el crecimiento económico de los últimos años viene ocasionando una mayor dificultad respecto a la obtención de agua para satisfacer otras necesidades. Los nuevos árboles plantados en estas áreas, dependiendo de la especie elegida, el área forestal, su densidad y el sitio de siembra, aumentarán la demanda de agua a volúmenes aún no calculados y podrían crear graves conflictos sociales” (Llerena *et al*, 2017; adaptado de Llerena *et al*, 2011).

Llerena *et al* (2017) declaran que, estos bosques están conformados por reliquias restantes de grandes extensiones de dos especies principalmente: el “Quinual” o “Queñual” (*Polylepis spp.*) y “Colle” (*Buddleia spp.*), así como otras especies más pequeñas, tal es el caso del Chachacomo (*Escalonia resinosa*); Aliso (*Alnus acuminata*); Molle (*Schinus molle*) y Pisonay (*Erythrina edulis*), adaptados y distribuidos en los andes peruanos. A su vez añaden que, estos bosques fueron despejados fuertemente por: la extensión de la frontera agrícola; la obtención de leña y producción del carbón de leña; así como por propósitos mineros desde tiempos precoloniales, quedando solamente cerca de 101 000 hectáreas de estos bosques, entre 3000 y 4500 msnm, y en áreas remotas protegidas por su inaccesibilidad o por ser categorizadas como áreas protegidas.

El “Quinual” es un árbol adaptado al clima muy frío, con una corteza externa de múltiples capas delgadas. Desempeña un papel importante en la protección de las cabeceras de cuencas, arroyos de las partes altas y laderas, encontrándose a su vez dentro de las especies nativas más importantes en los programas de reforestación dentro de la región andina (Llerena *et al*, 2017).

“En la actualidad, un enfoque prometedor de la relación entre el bosque y el agua es el concepto de servicios hidrológicos de los ecosistemas” (Dudley y Stolton 2003, FAO 2004, Llerena 2005, Hamilton *et al* 2008, Quintero 2010, Meier *et al* 2011, Gilmour 2014); extraído de Llerena *et al*, 2017). Esto es similar a los MRSE (Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos), los cuales ya se vienen aplicando en el país desde hace algunos años por algunas instituciones tanto privadas como del estado.

2.3. INFLUENCIA DE LA VEGETACIÓN ARBÓREA EN RELACIÓN AL AGUA Y EL CICLO HIDROLÓGICO

Para Walling (1980; citado por Ríos *et al.*, 2006) la vegetación desempeña el papel de nexo entre el suelo y la atmósfera, ya que fija y/o retiene el agua en sus raíces, así como también la retorna a la atmósfera por medio de la evapotranspiración. Es decir, la cobertura vegetal desempeña un papel importante en la regulación del ciclo hidrológico.

Scherr *et al* (2004; citado por Llerena *et al.*, 2007) destacan las siguientes siete relaciones biofísicas (naturales y/o artificiales) entre los bosques y el agua, teniendo en cuenta que estas varían según el sitio en donde se presentan, mientras que otras se plantean sólo en términos condicionales:

- Los bosques disminuyen el escurrimiento superficial en la cuenca.
- Los bosques pueden reducir la erosión y la sedimentación.
- Los suelos forestales filtran y mejoran la calidad del agua.
- Los bosques reducen el flujo total anual de agua en la cuenca.
- Los bosques pueden aumentar o disminuir la recarga de acuíferos.
- Los bosques talados pueden disminuir la productividad del agua.

- Los bosques pueden influenciar la lluvia a escala regional, pero su efecto directo sobre la lluvia (“vertical”) es localmente limitado.
- Los bosques pueden captar la humedad atmosférica de las neblinas o “lluvia horizontal”, condensarla y, por un goteo continuo, aumentar el agua del suelo.

Además, Llerena *et al* (2007) añaden que, estas relaciones están muy vinculadas a los bosques de protección en cabeceras de cuencas, laderas y riberas. A su vez, declaran que “la presencia de bosques en una cuenca no significa el aumento del caudal sino generalmente (en función al tipo de bosque, su estado y el clima) su disminución, como consecuencia de las demandas de agua de los árboles y su evapotranspiración”.

“El popular concepto del bosque y sus suelos forestales considerados como Esponja Hídrica por su capacidad de retener el agua y soltarla poco a poco, debe combinarse con el de bomba hidráulica, por la cantidad de agua que mueve desde el suelo hacia la atmósfera” (Binns 1979, Bosch y Hewlett 1982, Hamilton y King 1983, Smiet 1987, Brooks *et al* 1997, Calder 2000, Bruijnzeel 2004, DFID-FRP 2005, ETRN 2005706 y FAO 2006; citado por Llerena *et al.*, 2007).

“Sin embargo, la mayor cobertura vegetal de la cuenca con bosques mejorará su capacidad de infiltración y, el agua de lluvia que llegue al suelo incrementará gradualmente el caudal por la vía sub-superficial, produciendo un flujo de agua más limpio y regular” (Dudley y Stolton 2003; citado por Llerena *et al.*, 2007),

En adición, unos años más tarde, Gilmour (2014; citado por Llerena *et al*, 2017) expresa que, actualmente existe un sólido cuerpo de información científica para comprender e interpretar las relaciones entre los bosques y el agua y que además, hay una narrativa popular profundamente arraigada, cuyos elementos generales primarios son los siguientes:

- Los bosques aumentan las precipitaciones (por el contrario, la remoción de los bosques disminuye la precipitación).
- Los bosques aumentan el rendimiento de agua (la remoción de bosques disminuye el rendimiento de agua).
- Los bosques reducen las inundaciones (la retirada de los bosques aumenta las inundaciones).

- Los bosques aumentan los flujos de base (la remoción de bosques disminuye los flujos de base).
- Los bosques regulan los flujos altos y bajos (la remoción de los bosques desregula las corrientes de agua).
- Los bosques reducen la erosión (la remoción de bosques aumenta la erosión).
- Los bosques evitan / mitigan deslizamientos de tierra (la remoción de bosques aumenta los deslizamientos).

Es importante destacar que, el primer punto fue desarrollado para bosques templados. Por ende no necesariamente se cumple en el Perú. Esto puede explicarse por dos razones: la primera se relaciona con los extensos, continuos y densos bosques del Amazonas (6,5 millones de km², aproximadamente el 15 por ciento en Perú) cuyo proceso de evapotranspiración distribuye unos 20 mil millones de toneladas de agua a la atmósfera cada día (Nobre 2014, citado por Llerena *et al*, 2017) y podrían generar más del 50 por ciento de su propia precipitación, la cual se mantiene en la cuenca por las altas montañas andinas. El segundo motivo se debe a que los Bosques Nubosos de Montaña interceptan la precipitación horizontal (neblina) para luego condensarla a través de las copas de los árboles ubicados en las laderas y finalmente, terminar goteando al suelo (Hamilton *et al* 1993, Bruijnzeel *et al* 2010, Llerena *et al* 2010, Catchpole 2012; citados por Llerena *et al*, 2017).

Finalmente, Millennium Ecosystem Assessment (2005; citado por Jones *et al*, 2016) asegura que, los bosques proporcionan múltiples servicios ecosistémicos relacionados con el agua, incluyendo el aprovisionamiento, la regulación de los flujos, el apoyo a la función de los ecosistemas acuáticos, entre otros. Sin embargo, Onaindia *et al* (2013; citado por Jones *et al*, 2016) creen que para poder cuantificar las compensaciones de los servicios ecosistémicos que brinda el bosque y que a su vez estos sean justificables en contraste con la producción maderable, se necesita aún mucho por investigar.

2.3.1. COBERTURA VEGETAL

Bajo condiciones de precipitación, la interceptación de la lluvia por las copas de los árboles reduce la cantidad de agua que cae al suelo (Ibrahim *et al.*, 2001; citado por Ríos *et al.*, 2006). Asimismo, la presencia de árboles afecta la dinámica del agua de varias formas: i) actuando como barrera que reduce la escorrentía; ii) como cobertura, reduciendo el

impacto de las gotas, y iii) como mejoradora del suelo, incrementando la infiltración y la retención de agua (Young, 1997; citado por Ríos *et al.*, 2006).

La cobertura vegetal en la superficie es de vital importancia para la infiltración. Mientras más abundante sea la cobertura vegetal, mayor retención del agua en el suelo se logrará, disminuyendo la escorrentía superficial y por ende, el riesgo de erosión. Leon (citado por Reyes, 2014) afirma la existencia de registros que indican que, coberturas vegetales consistentes y con diferentes estratos (a diferencia de mono-estratificados como los pastizales) favorecen en mayor medida al proceso de infiltración del agua. Mientras que Blas y Mejía (2014) agregan que, la vegetación influye en la entrada y retención de humedad en el suelo, ya que retarda el flujo superficial y produce el mantillo orgánico que protege la superficie del suelo contra la compactación ocasionada por las gotas de lluvia. A su vez, esta materia orgánica tanto en la superficie como en el interior del suelo, proporciona energía a los microorganismos, los cuales son de primera importancia en la agregación del mismo.

Por otro lado, López Cadenas (1988) afirma que, el microclima que crean las masas arbóreas en el estrato de atmósfera que encierra, modifica la radiación y luz solar, las temperaturas del aire y del suelo, la velocidad del viento y la humedad atmosférica, y a su vez tiene una influencia favorable sobre el ciclo hidrológico y hace de esta formación vegetal, el bosque, un elemento de importancia vital en la economía del agua y del suelo.

2.3.2. MATERIA ORGÁNICA Y HOJARASCA

Es importante conocer el flujo de la biomasa entre diferentes compartimientos, tales como hojas y ramas caídas naturalmente, podas, entre otros (Fassbender, 1993; citado por Tagle, 2014). Estos flujos están relacionados con la dinámica y la recirculación de los nutrientes dentro del sistema (Labrador, 1996; Mosquera, 2007; citado por Tagle, 2014)

La materia orgánica del suelo es una compleja y variada mixtura de sustancias orgánicas que presentan un alto contenido de carbono, lo que la hace ser la principal fuente de energía para todos los microorganismos del suelo y sin ella la actividad bioquímica sería nula (Brady & Weil, 2008; citado por Gonzales, 2014). Según Lavalley y Spain (2001; citado por Gonzales, 2014) la calidad de la materia orgánica del suelo depende de sus propiedades químicas, como la forma y la representatividad proporcional de las diferentes clases de tamaños de partículas, así como de su accesibilidad en la matriz del suelo (lo que depende de su

inclusión dentro de los agregados del suelo y de si es que está combinada con minerales para formar complejos órgano-minerales).

La materia orgánica varía según los diferentes sistemas de uso de la tierra. En el caso de suelos con vegetación permanente, la principal fuente de materia orgánica son los restos vegetales de cualquier naturaleza que caen periódicamente, mientras que en sistemas agrícolas, el aporte de materia orgánica es discontinuo y depende del ser humano. Este puede estar constituido por estiércol, residuos de cosecha, paja incorporada, abonos verdes y diversas enmiendas orgánicas que sustituyen a la hojarasca. En este caso, la descomposición es activada por el enterramiento, laboreo y aporte de minerales. Lamentablemente, estos aportes no suceden en épocas coincidentes con la máxima actividad microbiana, a diferencia de los sistemas boscosos, donde la materia orgánica se mantiene aproximadamente constante en el suelo de un año a otro, a pesar de las enormes aportaciones estacionales correspondientes a la caída de las hojas y otras partes de las plantas (Burges, 1971; citado por Tagle, 2014). La materia orgánica del suelo en parte es producida por el agua de lluvia, la hojarasca humedecida y la exudación de las raíces. Las pérdidas se dan por oxidación a la atmósfera, erosión, lixiviación y uso de las plantas (Wadsworth, 2000).

La capa de material orgánico sobre el suelo y el humus condicionan el proceso de infiltración e inhiben la destrucción de los agregados y el desecamiento del suelo. Los suelos secos o con falta de agregación tienen poca capacidad de infiltración y favorecen la escorrentía superficial, lo que a su vez desencadena procesos de erosión. La capa de humus además, retiene temporalmente el agua y la deja infiltrar gradualmente junto con material orgánico disuelto y en partículas, lo que mejora la estructura del suelo y su capacidad de infiltración (Hamilton, 1983). Asimismo, Díaz (2007; citado por Blas y Mejia, 2014) menciona que, la materia orgánica y el humus favorecen la porosidad y la capacidad de retención de agua en los terrenos.

La hojarasca es uno de los componentes vegetales que conforman a la materia orgánica después de sufrir ciertos procesos de descomposición. Según Arévalo *et al* (2003; citado por Tagle, 2014) esta comprende toda la biomasa no viva sobre el suelo, incluyendo hojas, ramas, flores, frutos y semillas en diferentes estados de descomposición. Algunos autores también incluyen a la madera muerta con diámetros menores a 10 cm (Arévalo *et al.*, 2003; Walker, 2007; citado por Tagle, 2014). Además, Wadsworth (2000) agrega que, el espesor que presenta en bosques húmedos puede llegar a ser de hasta 5 cm de profundidad. Por otro

lado, Palma (1998; citado por Gonzales, 2014) define a la hojarasca como una cubierta orgánica que resulta del retorno periódico a través de las caídas de hojas, ramas, frutos, corteza, siendo una de las características propias de la mayor parte de los ecosistemas forestales.

Su nombre se debe a que las hojas representan la mayor fracción, con valores porcentuales promedios de 50 a 60 por ciento, mientras que las ramillas ocupan un 15 a 18 por ciento y las partes reproductivas de 3.5 a 10 por ciento. Estas proporciones varían conforme la edad del sistema se va incrementando pues la proporción de ramas tiende a incrementarse (Moraes, 2001; Mosquera, 2007; citados por Tagle, 2014).

Este conjunto llega a determinar la estabilidad y el funcionamiento del ecosistema pues, aunque las plantas extraigan algunos nutrientes de sus hojas antes de que mueran, la hojarasca constituye la fuente principal de circulación de materia orgánica, energía y nutrientes entre las plantas y el suelo. Por otro lado, su contenido depende del balance entre los procesos de acumulación y descomposición, lo cual es determinado por la especie de planta, su composición química, entre otros (Sánchez, 2009; Gordillo, 2005; citados por Tagle, 2014).

La tasa de descomposición de la hojarasca, no depende solo de los factores ambientales como la temperatura y la precipitación, sino también de las especies forestales (Palma *et al.*, 1998; citado por Tagle, 2014), dentro de las cuales influyen como factores las características morfológicas, estructurales y químicas de las hojas (Moro y Domingo, 1996; citado por Tagle, 2014). La hojarasca constituye la fuente principal de circulación de materia orgánica, energía y nutrientes entre las plantas y el suelo. (Sánchez, 2009; Gordillo, 2005; citado por Tagle, 2014).

En la superficie de los bosques andinos, especialmente en los alto andinos, es común encontrar una capa gruesa de hojarasca y/o de briofitos (principalmente musgos), la cual ha sido poco investigada en su aspecto hidrológico y en el papel que desempeña en la hidrología de estos ecosistemas (Avedaño, 2007; citado por Gonzales, 2014). Sin embargo, se conoce que la hojarasca y los musgos son capaces de almacenar grandes cantidades de agua, que liberan posteriormente durante los períodos secos (Tobón *et al.*, 2008; citado por Gonzales, 2014).

Fassbender (1993, citado por Gonzales, 2014) clasifica a la hojarasca según el estado de descomposición en el que esta se puede encontrar:

- Baja descomposición.- material vegetal recién caída al suelo (hojas ramas con diámetro menor a 10 cm, flores, frutos, semillas) sin descomposición física.
- Media descomposición.- aquellas hojas, flores, frutos o ramas con diámetro menor a 10 cm. que se encuentran en estado necrótico, pero que todavía se pueden reconocer.
- Alta descomposición.- material vegetal reducido a fragmentos tan pequeños que generalmente se logra confundir con el suelo.

2.3.3. RAÍCES

La FAO, citado por Reyes (2014) expresa que, en cualquier tipo de suelo cuanto mayor sea la profundidad de enraizamiento también será mayor la cantidad de agua disponible para el cultivo. Además (León, 2001; citado por Reyes, 2014) declara que, las raíces generan un efecto relacionado con el mejoramiento del proceso de infiltración gracias al crecimiento y desarrollo de estas a través del perfil del suelo, incrementando su porosidad y con ello la infiltración. (Díaz, 2007; citado por Blas y Mejía, 2014) sostiene que, las raíces de las plantas al penetrar en el perfil del suelo hacen canales que permiten el movimiento del agua, su percolación y almacenamiento en profundidades mayores. A su vez, Blas y Mejía (2014) agregan que, las raíces absorben la humedad del suelo proveniente de las lluvias, aumentando así la capacidad de infiltración para próximas precipitaciones, además de mencionar también la utilidad de estas al descomponerse, ya que cuando esto sucede el sistema de tuberías en el suelo que establecieron las raíces permite que el agua pueda penetrar más rápida y fácilmente.

2.3.4. CONSUMO DE AGUA POR EL ÁRBOL

Como tema primordial, si se desea aspirar a gestionar el recurso hídrico, independientemente de la escala, es importante saber que, existen diferentes métodos y técnicas cuantitativas que permiten estimar el consumo del agua por el árbol (técnicas de equilibrio, disipación de calor, lisímetros de pesaje, potómetros, cámaras ventiladas, radioisótopos, isótopos estables, o técnicas térmicas para proporcionar estimaciones cuantitativas del uso del agua de toda la planta) lo cual a su vez, mediante la extrapolación de resultados, posibilita la estimación del balance hidrológico en las cuencas.

En un nivel muy práctico, la medición o cálculo del uso de agua constituye una base para elegir los cultivos que se pueden plantar con éxito en áreas que poseen lluvias poco frecuentes (Dagg 1965; citado por Dunne & Leopold, 1978).

Gyenge *et al* (2011) indican que, existe una relación lineal positiva entre el tamaño del individuo y el consumo de agua, independientemente de la especie arbórea estudiada. Sin embargo, como el consumo de agua depende, entre otros factores, de la disponibilidad de este recurso en el suelo, el grado de competencia entre individuos puede modificar dicha relación.

La demanda y consumo de agua por los árboles varía fuertemente entre zonas ecológicas y depende en gran medida de las características de la especie. Sin embargo, se puede afirmar que los bosques son las coberturas que tienen las tasas más altas de transpiración de todas las coberturas vegetales (Stadtmuller, T. 1994).

Hamilton *et al* (2009) mencionan que, tanto los bosques naturales como los plantados, utilizan más agua que casi todos los otros usos por los que se le suele cambiar, incluidas la agricultura y los pastos.

Wullschleger *et al* (1998) declaran que, entre 1970 y 1998 se realizaron 52 estudios utilizando los métodos antes mencionados, en los que involucraron 67 especies arbóreas. Se encontró que, el consumo de agua por día de dichas especies varió entre 10 (kg/día) y 1180 (kg/día), encontrándose el 90 por ciento de ellas en el rango de entre 10-200 (kg/día) para árboles con una altura aproximada de 21 metros.

Un estudio realizado en plantaciones de *Pinus taeda L.* indica que, el consumo de agua de los árboles dependió de su tamaño, consumiendo un promedio de entre 5 y 60 litros de agua por día para árboles con diámetros de 10 a 40 cm, respectivamente. Los árboles con mejor genética consumieron entre 30-40 por ciento menos agua (Keller *et al*, 2016).

2.4. INFLUENCIA DE LA VEGETACIÓN EN LA CONSERVACIÓN Y DESTRUCCIÓN DEL SUELO

FAO (s.f.) declara que, la influencia de la vegetación en la conservación del suelo se ve reflejada por:

- La disminución de la energía cinética de la gota de lluvia al llegar al suelo, por intercepción.
- La disminución de la velocidad de la lámina de agua que escurre por una ladera, por los obstáculos que interpone la vegetación.
- La retención del suelo que realizan las raíces de la propia vegetación.
- El aumento de la infiltración originado por la mayor porosidad del suelo a causa del incremento de la materia orgánica.

Dune & Leopold (1978) añaden que, una cubierta vegetal espesa intercepta virtualmente toda la energía cinética de la precipitación y es en este punto donde reside el papel crítico y dominante de la vegetación respecto a la reducción de la erosión del suelo. Muchos cultivos dejan el suelo expuesto a impactos de gotas de lluvia. Además declaran que, cuanto más densa es la cobertura vegetal, menor es la tasa de erosión; siendo esta cobertura aquella que domina los efectos de todos los demás (como la energía de la lluvia y el gradiente de ladera) y a su vez, esta es controlada por el clima y el uso de la tierra.

Por otro lado, así como la vegetación contribuye a la conservación del suelo, también ejerce otros papeles en el proceso de destrucción de este, como los que se derivan de su degradación física y biológica. En cuanto al primero, desempeña un importante papel en el mantenimiento y mejora de la estructura del mismo, gracias a la materia orgánica que las cubiertas vegetales aportan, las cuales mejoran la cohesión como la humectación, de tal forma que se consigue una mejor fijación de los elementos minerales del suelo por medio de las materias activas, derivadas de las fermentaciones que dan lugar los procesos de humificación, asegurando además con sus sistemas radicales (remanentes y bien desarrollados) una buena mezcla de las materias orgánicas y minerales del suelo para así favorecer y mejora la estabilidad de la estacadura de este. En relación con la degradación biológica, el mantenimiento de la permeabilidad, penetrabilidad, capacidad de oxidación y de hidratación en los suelos resulta indispensable para la permanencia y desarrollo de los microorganismos que mantienen su fertilidad, transformando las sustancias químicas (nitrógeno, carbono, hierro, azufre) y haciéndolas asimilables por las plantas.

2.5. INFLUENCIA DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO EN RELACIÓN CON EL RECURSO HÍDRICO – ALTERNATIVAS

El agua es uno de los recursos naturales más degradados debido principalmente a la reducción de la cobertura forestal y a los cambios en el uso del suelo que mitigan la capacidad de captación y almacenamiento de agua en los mantos acuíferos (Ríos *et al.*, 2006). En las últimas décadas, el cambio más importante en el uso del suelo del trópico latinoamericano ha sido la conversión de bosques a pastizales (Kaimowitz, 1996; citado por Ríos *et al.*, 2006), mientras que para Jones *et al* (2016) no solo esta, sino además la conversión a agricultura, ocasionando el reemplazo de los bosques nativos del país. Todo ello, según Germer *et al* (2009; citado por Jones *et al*, 2016) aumenta el escurrimiento máximo y la liberación de sedimentos. Reyes & Nelson, 2014; Schirmer, 2013 (citados por Jones *et al* 2016) colaboran al manifestar que, la incertidumbre acerca de cómo los cambios en la cobertura forestal afectan los procesos hidrológicos ha alimentado el conflicto sobre las consecuencias sociales y ambientales de la política forestal en Sudamérica, evidenciándose una urgente necesidad de investigación sobre el manejo forestal sostenible y los servicios de los ecosistemas hídricos.

La destrucción de la cubierta vegetal no solo está causando la degradación de los suelos, también está ocasionando cambios dramáticos que involucran variaciones negativas en el régimen hídrico, pérdida de biodiversidad y modificaciones en las condiciones climáticas, las cuales hacen posible el abastecimiento de materias primas y la subsistencia de muchos peruanos (Meza *et al.*, 2006; citado por Tagle, 2014).

Santhirasegaram (1975; citado por Alegre y Lara, 1991) encontró en Perú un aumento en la compactación del suelo, medida como densidad aparente, cuando el bosque se transformó en pastizales. Las investigaciones sobre las alteraciones de las propiedades químicas del suelo por efecto de los animales en pastoreo (cambio por pastizal) han sido demostradas en numerosas investigaciones (CIAT, 1990; citado por Alegre y Lara., 1991). Por el contrario, los cambios en las propiedades físicas han sido demostrados solo en algunos (pocos) estudios. La alteración de las propiedades físicas del suelo ocasiona una disminución en el espacio poroso y en la infiltración de este, lo cual afecta el crecimiento radicular de las plantas y favorece la escorrentía y el lavado de nutrientes en los suelos (Alegre y Lara, 1991).

Además del cambio de uso natural del suelo por pastizales, también se encuentra la implementación de plantaciones forestales en las cuencas. Llerena *et al.*, (2007) afirman que, cuando naturalmente falta agua en la cuenca, el incorporar las plantaciones forestales no incrementan el caudal de los ríos. A su vez, “si una plantación que consume agua (mucho o poca) se instala en una cuenca con una baja oferta natural del recurso hídrico, irremediablemente este se verá más limitado aún respecto a todas sus demandas, pudiendo alcanzar un umbral crítico que genere conflictos o descontentos si no se toman medidas anticipadas, tales como: disminuir la extensión del área plantada en la cuenca, reducir la densidad de la plantación o, eventualmente, cambiar la especie” (Llerena *et al.*, 2007). Almeida *et al* 2007 (citado por Jones *et al*, 2016) aseguran que, las plantaciones forestales se asocian con un menor caudal en los ríos, especialmente en la estación seca: así como la evapotranspiración de plantaciones de especies introducidas como *Eucalyptus* y *Pinus spp* puede exceder el 90 por ciento de la precipitación, reduciendo el rendimiento hídrico y agotando las aguas subterráneas.

Sin embargo, Lara *et al* (2009; citado por Jones *et al*, 2016) declaran que, existen alternativas que pueden permitir la reducción de la demanda de agua por parte de las plantaciones, como lo son ciertos cambios en el manejo forestal (manejo de especies, densidad de siembra, longitud de rotación y adelgazamiento) pudiendo así mejorar conjuntamente la producción de madera y los servicios ecosistémicos hídricos. Para que esto pueda llevarse a cabo es necesario progresar en investigación sobre hidrología básica y ecohidrología de los bosques nativos, ampliar los estudios sobre la respuesta hidrológica al cambio climático y la variabilidad en los bosques, así como en estudios aplicados sobre los efectos de la gestión de las plantaciones forestales en los procesos hidrológicos.

“En Sudáfrica se inició desde hace varias décadas discusiones y estudios científicos que luego se validaron y plasmaron en normas y regulaciones internas de uso de la tierra que les permiten controlar el impacto de las plantaciones en los caudales de las cuencas” (Nänni 1970, Bosch y Von Gadow 1990, Van der Zeel 1995, Scott y Lech 1996, Dye 1996, Pott 1997, Zwolinski 1997, Scott *et al* 1998, DWAF 2000, Pammeter 2002; citados por Llerena *et al.*, 2007).

Little & Lara (2010) enuncian que, estudios recientes desarrollados para cuencas forestales del centro-sur de Chile, demuestran un aumento de 10 por ciento en plantaciones forestales de rápido crecimiento dentro de pequeñas cuencas (140-1.900 ha) como factor de cambio de

uso de suelo, reduciendo con elolo un 20,4 por ciento los caudales de verano (Lara *et al.*, 2009; citado por Little & Lara, 2010). A su vez, Llerena *et al.*, (2007) agregan textualmente que, “estudios del Dr. Anton Huber del Instituto de Geociencias de la Universidad Austral de Chile en 2003 concluyen que, en comparación con las praderas o matorrales, las plantaciones forestales de *Pinus radiata* establecidas en la zona centro sur de Chile, reducen la disponibilidad de agua debido fundamentalmente a las pérdidas por intercepción del dosel. Como respuesta a esto, disminuye la cantidad de agua percolada que recarga los acuíferos. Es decir, el agua de lluvia no logra llegar a las capas subterráneas de donde se alimentan diversos cursos fluviales” (Ecoocéano, 2006; citado por Llerena *et al.*, 2007).

Es por este incremento del cambio de la cobertura boscosa y el consecuente deterioro de los suelos que se tiene la necesidad de encontrar sistemas de manejo de uso de la tierra que permitan reducir el impacto de las actividades humanas y se pueda fomentar la conservación de los bosques, teniendo en cuenta que la principal vía de entrada de los nutrientes en el suelo es la descomposición de la hojarasca (Sánchez *et al.*, 2009; citado por Tagle, 2014). Por este motivo, Concha (*et al.*, 2007; citado por Tagle, 2014) señala que, los ecosistemas agroforestales (asociación de árboles con otros cultivos, arbustos, herbáceas o pastos) son una buena opción para mantener una cubierta vegetal y a la vez obtener ingresos tanto agropecuarios como forestales.

“Un proyecto cuyo objetivo es conocer y entender cómo acciones de restauración ecológica impactan al servicio ecosistémico *Provisión de Agua*, está siendo implementado en la Reserva Costera Valdiviana (Chile). A partir del año 2006 se monitorea la calidad y cantidad de agua en 12 cuencas de pequeño y mediano tamaño. Algunas de ellas dominadas por plantaciones de *Eucalyptus globulus* serán reconvertidas a bosques nativos a través de ensayos de restauración mediante regeneración natural y artificial para evaluar la respuesta en la provisión de agua. Como referencia, Lara *et al.*, (2009) predicen que por cada 10 por ciento que se logre recuperar la cobertura de bosques nativos será posible incrementar en un 14,1 por ciento los caudales totales de verano”. Extraído de (Little & Lara, 2010).

Algunas acciones antropogénicas, como la construcción de represas, diques o canales para el desvío de los cursos de agua, han sido capaces de regular la oferta de agua para los períodos de escasez y mayor demanda. Sin embargo, existen otras actividades con el mismo objetivo que se centran en aumentar la oferta del servicio ecosistémico “Provisión de Agua” en las cuencas, las cuales hasta ahora no han sido consideradas. Estas acciones incluyen: la

regulación de los usos del suelo presentes en una cuenca y su manejo (Lara *et al.*, 2009), cambios en las prácticas de manejo del suelo (ejemplo: zanjas de infiltración que incrementan el almacenamiento de agua) entre otras. Extraído de (Little & Lara, 2010).

2.6. AGUA EN EL SUELO

El ingreso de agua al suelo dentro del ciclo del agua se da principalmente por la precipitación efectiva (aquella que logra llegar al suelo directa o indirectamente), siendo la que genera mayor interés. Para Prieto, citado por Gonzales (2014) la cantidad de agua que llega al suelo se distribuye en:

- Agua que penetra al suelo.
- Agua de escorrentía o que escurre por sobre la superficie del suelo y llega directamente a los ríos.
- Agua de estancamiento o aquella que permanece en las capas superficiales del suelo.
- Agua que se fija en los tejidos vegetales que cubren la tierra.
- Agua que se evapora directamente desde la superficie de la tierra o indirectamente por mediación de los vegetales (transpiración).

Los suelos en los ecosistemas alto-andinos son generalmente derivados de cenizas volcánicas, con predominancia de andisoles, caracterizados por un alto contenido de materia orgánica. Esto y la presencia de lluvia continua o niebla hacen que los suelos permanezcan húmedos (cerca de la saturación) durante casi todo el año. Si bien Prieto, citado por Gonzales (2014) informa sobre la cantidad de agua que llega al suelo, otros han estudiado cómo se manifiesta y fluye, una vez infiltrada en este. Para Tobón *et al* (2009), Cavalier (1991); citados por Gonzales (2014) los flujos principales son:

- Drenaje vertical o percolación profunda: la excesiva agua en el suelo sale de la zona de raíces y fluye verticalmente hasta encontrar el nivel freático. Este flujo alimenta quebradas y ríos y estabiliza su caudal, aun en períodos de sequía, cuando las reservas del agua del suelo disminuyen drásticamente.
- Drenaje horizontal o subsuperficial a través de la pendiente fisiográfica: en la alta montaña, este proceso está condicionado especialmente por la superficialidad del estrato

rocoso. Esta cantidad de agua sale rápidamente de los ecosistemas, bien sea durante los eventos de precipitación o algunas horas después de estos.

- Absorción de agua por las raíces de la vegetación y su intercambio con la atmósfera a través de la evapotranspiración: en la mayoría de los bosques andinos, la evapotranspiración es inferior a la de otros, debido a la frecuencia de nubes bajas o niebla, la baja radiación, las bajas temperaturas y la alta humedad relativa.

Mientras que para López Cadenas & Mintegui (1986) los tipos de agua en el suelo se pueden dividir en tres: agua de retención, agua capilar y agua gravificada.

- Agua de retención, imbibición o absorbida: aquella que recubre las partículas del suelo, impregnando los microporos y penetrando en sus finas acanaladuras, formando gotas aisladas que se mantienen por las fuerzas de absorción. Esta no puede desplazarse más que en el estado de vapor. Además, está representada esencialmente por dos tipos de agua:

- 1) Agua higroscópica: esta no permanece constante dentro del suelo ya que está en función de la porosidad, humedad, temperatura y presión del aire, pero es sobre todo la porosidad la que rige la cantidad de agua higroscópica.

- 2) Agua peculiar: es una delgada película de espesor variable, del orden de fracción de micra, que rodea las partículas del suelo y su agua higroscópica. Está representada por el agua de adhesión y el agua de cantera de las rocas compactadas, que se desplaza por efecto de las atracciones moleculares de las partículas vecinas.

- Agua capilar o película capilar llena de poros: esta se encuentra retenida por fenómenos capilares causados por la acción de la tensión superficial. Se encarga de transmitir la presión hidrostática. Puede dividirse en dos:

- 1) Agua capilar aislada o suspendida: situada por encima de la hoja acuífera, ocupando periódicamente los huecos que contienen aire y vapor de agua. No se desplaza por acción de la gravedad y debe ser considerada como agua de retención.

- 2) Agua capilar continua o sostenida: localizada en la franja capilar y se encarga de llenar la totalidad de poros o intersticios capilares, estando sometida a la acción de la gravedad.

- Agua gravificada o gravitacional: se encarga de llenar los espacios libres de los poros, intersticios y fisuras del suelo. Es agua libre o agua de percolación. Accionada únicamente por la gravedad. Transmite la presión hidrostática y puede ser extraída por diversas técnicas.

2.6.1. DEFINICIÓN DE INFILTRACIÓN

Alrededor del año 1939, Horton, citado por De Paula (1986) introdujo el concepto de infiltración y lo definió como la tasa máxima con que un suelo dado puede absorber agua, de tal manera que la infiltración presenta una tasa inicial alta que posteriormente va disminuyendo hasta alcanzar un valor menor y constante.

Por su parte, Campos (1984; citado por Reyes, 2014) enuncia que, la infiltración es el flujo de agua a través de la superficie del suelo o más ampliamente, es el proceso por el cual el agua penetra en el suelo a través de su superficie y queda retenida en él o alcanza un manto acuífero, incrementando el volumen de este acumulado con anterioridad.

Junes (1987) la define como la entrada de agua desde la superficie hacia dentro del perfil del suelo, determinando la cantidad de agua que va a escurrir sobre el suelo y la disponible para las plantas y recarga de acuíferos. Aunque la infiltración puede involucrar movimiento de agua en el suelo en dos o tres dimensiones, el flujo dominante se da en la dirección vertical, por lo que frecuentemente se le trata como unidimensional.

Finalmente, Vásquez & Chang-Navarro (1988) aluden a la infiltración como un proceso de entrada vertical (gravitacional) del agua al perfil del suelo o en su defecto, el paso del agua de la superficie al interior del suelo.

2.6.2. CONCEPTOS ASOCIADOS AL PROCESO DE INFILTRACIÓN

En 1957, John Phillip introdujo el término “Sorptivity” y lo definió como “medida de la capacidad de un material para absorber o expulsar agua por efecto de la capilaridad”.

Touma *et al* (2007) declaran que, para cuantificar la cantidad de agua infiltrada en función del tiempo después de aplicar agua a la superficie del suelo, solo se necesitan dos características del suelo: la conductividad saturada del suelo (conductividad hidráulica) y la sortividad. La primera es la tasa máxima de flujo de agua debido únicamente a la gravedad en un suelo completamente saturado y es una propiedad intrínseca del suelo. La segunda

define la capacidad de un suelo para conducir agua por capilaridad, variando con el contenido inicial y final del agua en el suelo.

Para Carter & Steed (1992; citado por Reyes, 2014) la sortividad es la medida de la habilidad que tiene un determinado suelo para absorber agua durante el proceso de humedecimiento. Gil (2002; citado por Reyes, 2014) añade que, cuanto mayor es la sortividad, mayor será el volumen de agua que puede ser absorbida y en forma más rápida ($\text{longitud/tiempo}^{1/2}$). Ogden *et al* (1997; citado por Reyes, 2014) señalan que, se puede considerar a la sortividad de cada suelo como una medición integral de las propiedades hidráulicas del mismo. En términos físicos significa: la entrada de agua en el suelo principalmente por efecto del potencial mátrico o fuerza de atracción propia de las partículas del suelo y sin influencia de la gravedad (Arriaga *et al.*, 1999; citado por Reyes, 2014). Además, Reyes (2014) declara que, los factores principales que influyen en la sortividad son: el tipo de suelo (textura y estructura), contenido de humedad inicial del suelo, contenido de materia orgánica, la cobertura vegetal y costra superficial, el uso del suelo, las características del agua y la intensidad de la tormenta.

2.6.3. IMPORTANCIA DE CUANTIFICAR LA INFILTRACIÓN

Para Junes (1987), es importante conocer el proceso de la infiltración del agua en el suelo si es que a este se le requiere relacionar el tema de irrigación y drenaje, debido a que nos permite evaluar, diseñar y manejar los diferentes sistemas de riego. Por otra parte, la infiltración como un componente del ciclo hidrológico, determina los escurrimientos superficiales y la recarga de los acuíferos; información de importancia para el planeamiento, diseño y construcción de obras dedicadas a controlar y utilizar las aguas superficiales y subterráneas.

Por su parte, Maderey (2005; citado por Reyes, 2014) argumenta que, el agua que infiltra sirve para proveer a casi todas las plantas terrestres y muchos animales, alimentando al agua subterránea y a las mayorías de corrientes en el periodo de estiaje, reduciendo además la erosión del suelo y las posibles inundaciones.

2.6.4. FACTORES QUE AFECTAN LA INFILTRACIÓN

Little & Lara (2010) describen que, las variables que impactan la oferta de provisión de agua en cuencas forestales son: a) las precipitaciones que las abastecen (tipo, cantidad, intensidad, estacionalidad y variabilidad); b) su geomorfología y geología (área de drenaje, pendiente,

tipo y profundidad de suelo) que permiten el almacenamiento y conducción de las precipitaciones hacia las napas freáticas, acuíferos, arroyos, ríos, lagos, etc. y ; c) su cobertura vegetal así como el uso del suelo y su manejo, cambiando las tasas de evapotranspiración (Angelstam *et al.* 2005, Huber *et al.* 2008) y modificando los caudales de flujo base y punta (Calder 1992, Scott y Prinsloo 2008, Lara *et al.* 2009).

Para Hillel (1982) los factores que afectan la infiltración y su variación en el tiempo son básicamente la humedad inicial y la capacidad de succión, así como la textura del suelo y la estructura y uniformidad del perfil del mismo. Por su parte, López Cadenas & Mintegui (1986) atribuyen a los siguientes factores como los responsables de la infiltración: las características de precipitación, el estado de la superficie del suelo, la cubierta vegetal y la facilidad de movimiento del agua en el interior del suelo (relacionado con la permeabilidad y contenido de humedad).

Por otro lado, Junes (1987) describe 5 factores que considera afectan la infiltración:

- Propiedad del suelo: la infiltración es fuertemente dependiente de la difusividad y la conductividad hidráulica a “no saturación” y “saturada” del suelo, las que a su vez dependen de la textura y estructura del mismo. En suelos estratificados, estas propiedades deben ser conocidas para cada uno de los estratos.
- Humedad inicial del suelo: los cambios de humedad inicial tienen los mismos efectos en la infiltración que los cambios en el tamaño de distribución de poros o la estructura del suelo. Una humedad inicial alta implica una tasa de infiltración baja. En otras palabras, una alta humedad reduce la porosidad efectiva y el rango de tamaño de poros disponible para la infiltración del agua. El caso contrario ocurre cuando la humedad es baja.
- Régimen de abastecimiento de agua: la infiltración puede ocurrir bajo inundación o precipitación. Cuando se produce infiltración en condiciones de inundación, las propiedades del suelo y humedad inicial fundamentalmente controlan a este fenómeno. En cambio, cuando la condición es bajo precipitación, la infiltración es gobernada también por esta variable: la precipitación deja de tener influencia sobre la infiltración cuando se inicia el encharcamiento del suelo.
- Sellamiento, encostramiento y compactación del suelo: producidos normalmente en suelos desnudos y debido a las precipitaciones. A consecuencia de estos fenómenos,

Bosh & Onstand (1981) han encontrado reducciones de la conductividad hidráulica a saturación y por consiguiente la infiltración, en órdenes comprendidos entre 3 y 10 veces.

- Movimiento y atrapamiento de aire en el suelo: a menudo se asume que el aire se mueve en el perfil del suelo con resistencia despreciable; esta asunción se justifica por la pequeña viscosidad del aire con relación al agua. De esto se deduce que, el aire escapa por los poros del suelo durante la infiltración. Sin embargo, hay casos en los cuales el aire es atrapado por el agua infiltrada, lo que da origen a una reducción del avance del frente húmedo y por consiguiente, la tasa de infiltración.

Vásquez & Chang-Navarro (1988), afirman que los factores más importantes que afectan a la infiltración son: características físicas del suelo, contenido de materia orgánica y carbonatos, condición de humedad del suelo, temperatura del suelo y agua, grado de uniformidad del suelo y prácticas culturales realizadas.

Aparicio (1992; citado por Zuleta, 2011) considera a la textura del suelo, el contenido de humedad inicial, la cobertura vegetal, el uso del suelo, la pendiente fisiográfica y la compactación del suelo.

Reyes (2009; citado por Zuleta, 2011) menciona que, existen otros factores que actúan de acuerdo a las condiciones específicas del terreno como: el grado de uniformidad que presenta, la acción microbiana, la temperatura del agua y del suelo, la cantidad de aire en el suelo, el lavado del material fino, y la lámina de agua (carga hidráulica sobre el suelo).

Reyes (2014) agrega que, estos factores son básicamente: el tipo de suelo, el contenido inicial de humedad, el contenido de la materia orgánica, la cobertura superficial, el uso de la tierra, entre otros.

Finalmente, Gonzales (2014) cree que los factores que rigen la infiltración son: el tipo de suelo, el contenido inicial de humedad, el contenido de materia orgánica, la cobertura superficial, el uso de la tierra, entre otros.

2.6.5. INFLUENCIA DE LA VEGETACIÓN EN LA INFILTRACIÓN

Para López Cadenas (1990) la profundidad de infiltración en suelos con cobertura arbórea es muy superior que en suelos agrícolas. Esta mayor permeabilidad de los suelos con cobertura arbórea se debe en parte, a la continua incorporación de materia orgánica al suelo como

consecuencia de la caída de hojas, ramillas, etc., lo que contribuye a que su estructura sea más granular (variando con el tipo de bosque y estación del año).

Otros aspectos que evidencian la influencia de la vegetación son: la gran capacidad de absorción de agua por parte de las cubiertas vegetales y húmicas (las cuales cubren los suelos forestales y retrasan el punto de encharcamiento); la mayor porosidad dotada por los sistemas radicales; la materia orgánica incorporada para establecer una mayor permeabilidad y finalmente, un incremento del potencial de absorción del agua por el suelo. Por otra parte, en épocas frías cuando se produce la congelación en los suelos con abundante materia orgánica, esta casi no afecta a la penetración del agua. Además, al descomponerse las raíces de los árboles se crean innumerables canalillos más o menos vacíos o llenos de material sumamente permeable, por donde circulan las aguas con relativa facilidad.

2.6.6. IMPORTANCIA DE LA CONSERVACIÓN DE LOS BOSQUES DE ALTURA EN RELACIÓN A LA INFILTRACIÓN

Los bosques proporcionan una excelente cobertura protectora compuesta por el dosel foliar, arbustos bajos, hierbas y restos superficiales, los que se combinan para proteger la superficie del suelo de la pérdida de porosidad, causada por el impacto directo de las gotas de lluvia. Los residuos también sirven como fuente de alimentos y energía a los organismos del suelo, lo cual favorece la formación de materia orgánica y canales subterráneos de la fauna que conducen a altas tasas de infiltración. (Shaxson & Barber, 2005).

Aquafondo (2016) explica que, los árboles de queñuales (género *Polylepis*) cumplen un rol vital para la regulación del ciclo hidrológico, ayudan a regular el régimen hídrico al filtrar el agua, aumentan los niveles de humedad en el aire, incorporan a mayor profundidad la humedad en el suelo, protegen la capa cultivable de los suelos fértiles gracias a sus raíces profundas, evitan en época húmeda (mediante las copas anchas) el arrastre de los cultivos que puedan estar asociados, controlan la erosión de los suelos y reducen las emisiones de CO₂ en el aire, evitando así la evaporación e incentivando la protección de las cuencas hidrográficas, de las cuales proviene el 75 por ciento del agua dulce del planeta.

2.6.7. CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN

Martínez y Navarro (1996; citado por Gonzales, 2014) mencionan que, la capacidad de infiltración se refiere a la cantidad máxima de agua que puede introducirse en un suelo por unidad de tiempo y en un instante dado. Además, esta depende de la naturaleza del terreno y de su contenido de humedad inicial. Así mismo, Horton (1940; citado por Gonzales,

2014) menciona que, en el caso especial donde la lluvia supera la capacidad de absorción del suelo, la infiltración es máxima, a la cual llama “capacidad de infiltración” del suelo.

Salas (2011) atribuye a la capacidad de infiltración como la tasa a la cual el agua entra en el suelo en un intervalo de tiempo. Esta capacidad de infiltración es considerada indicador clave de la calidad del suelo y se obtiene mediante el cociente entre la cantidad de agua infiltrada (variación de altura en centímetros) y el intervalo de tiempo en el que dicha agua infiltró (Kunts *et al.*, 2003; citado por Salas, 2011).

Para Blas y Mejía (2014) es la capacidad máxima con que un suelo, en una condición dada, puede absorber agua. Además, sólo se llega a esta durante una lluvia si el exceso de precipitación es mayor o igual a cero. Caso contrario, la capacidad de absorción de agua del suelo no es máxima, y por consiguiente, no es igual a la capacidad de infiltración.

2.6.8. VELOCIDAD O TASA DE INFILTRACIÓN

Molina (1975) sostiene que la velocidad o tasa de infiltración es la rapidez con la que el agua se infiltra en el suelo. Esta varía durante el transcurso de una tormenta. Al inicio, la velocidad es alta a causa de la menor humedad del suelo. Este va absorbiendo paulatinamente el agua que va cayendo mientras esta va llenando los intersticios a medida que pasa el tiempo, ocasionando así una moderada disminución en la circulación para que al final la velocidad resulte en un valor constante.

2.6.9. MÉTODO UTILIZADO PARA MEDIR LA INFILTRACIÓN – MÉTODO DEL ANILLO SIMPLE

Es importante aclarar que, existe otro método práctico para medir la infiltración, llamado “método del doble anillo”. Es aplicable cuando se quiere determinar la “tasa de infiltración” de un suelo. Para que esto suceda, el suelo debe llegar al punto de saturación, razón por la cual se emplea un promedio de dos horas por cada ensayo. Debido a que en el presente estudio se desea determinar únicamente la “capacidad de un suelo para conducir agua por efecto de capilaridad, variando con el contenido inicial y final del agua del suelo” o en su defecto, la “capacidad de un cuerpo poroso para conducir agua por efecto de las fuerzas de atracción entre las partículas durante un proceso de humedecimiento y sin intervención de la gravedad”, el método correspondiente es el de anillo simple, interpretado como un humedecimiento progresivo del suelo mediante el aporte de cierto volumen de agua, dado en corto tiempo y que incluso genera cierto grado de compactación.

Moll (2001) explica que, para la aplicación de este método es necesario un cilindro metálico de volumen definido y biselado en un extremo, con el cual inicialmente se puede aislar una sección del suelo.

El método consiste en insertar el anillo individual en el suelo (con ayuda de un objeto para golpear), posteriormente se llena de agua y a continuación se va registrando el descenso de esta cada cinco segundos durante dos minutos. Es un método práctico y de fácil aplicación ya que se pueden realizar un mayor número de mediciones en un rango de tiempo determinado en contraste con otros métodos, con la finalidad de obtener una muestra más grande. Además, este método no toma mucho tiempo, no necesita gran cantidad de agua y es fácil de transportar, factores de vital importancia para el trabajo en campo, sobre todo en zonas de difícil acceso. Una vez realizada la medición, se obtendrán los niveles de agua cada cinco segundos.

Con esto se procederá a realizar una gráfica de dispersión de datos cuya pendiente de la recta resultante en dicha gráfica, será el valor de infiltración. Hasta la fecha no se cuenta con rangos de clasificación de esta. Sin embargo, se tiene como referencia que, valores entre 0.45 y 0.55 (cm/seg^{0.5}) son los óptimos para este parámetro. Alegre (2013; citado por Reyes, 2014).

Lazo (2006) agrega que, al inicio de la realización de una prueba de infiltración, la velocidad de esta es mayor. Además, el tiempo total del conjunto de pruebas está condicionado por el tipo de suelo en donde esta se realiza. Por tal motivo, podemos deducir el porqué de los intervalos o periodos cortos a la hora de realizar la medida de infiltración.

2.6.10. DEFINICIONES Y TIPOS DE ESCORRENTÍA

La escorrentía es la parte de la precipitación que llega a alimentar las corrientes superficiales continuas o intermitentes de una cuenca. Existen distintos tipos de escorrentía dependiendo de su procedencia: escorrentía superficial o directa, escorrentía hipodérmica o subsuperficial y escorrentía subterránea (López Cadenas & Mintegui, 1986; citado por Gonzales, 2014).

- Escorrentía superficial o directa. Es la precipitación que no se infiltra en ningún momento y llega a la red de drenaje moviéndose sobre la superficie del terreno por la

acción de la gravedad. Corresponde a la precipitación que tampoco queda detenida en las depresiones del suelo, y que escapa a los fenómenos de evapotranspiración.

- Escorrentía hipodérmica o subsuperficial. Es el agua de precipitación que, habiéndose infiltrado en el suelo, se mueve subhorizontalmente por los horizontes superiores para reaparecer súbitamente al aire libre como manantial e incorporarse a microsurcos superficiales que la conducirán a la red de drenaje.
- Escorrentía subterránea. Es la precipitación que se infiltra hasta el nivel freático, desde donde circula hasta alcanzar la red de drenaje. La Escorrentía superficial es la más rápida de todas y la Escorrentía subterránea la más lenta.

Por su parte, Molina (1975) define a la escorrentía como la parte del ciclo hidrológico constituida por el agua que fluye sobre la superficie del suelo, formando al final diferentes cursos de agua. Además, agrega que esta proviene fundamentalmente del agua de las precipitaciones que no han vuelto a la atmósfera por evapotranspiración. Sin embargo, a diferencia de López Cadenas & Mintegui (1986), él cree que las aguas provenientes de la lluvia y de la fusión de las nieves, pueden llegar al curso de agua de cuatro formas: escurrimiento o escorrentía superficial, escorrentía sub-superficial, escorrentía subterránea y las precipitaciones que caen directamente sobre la superficie de agua libre.

2.6.11. INFLUENCIA DE LA VEGETACIÓN EN LA ESCORRENTÍA

El papel fundamental que desempeña la vegetación, principalmente los bosques sobre la escorrentía, es el de modificar la forma en que estas aguas acceden a los cursos disminuyendo drásticamente las aportaciones de superficie y aumentando correlativamente las subterráneas. Así, la influencia de la vegetación en la escorrentía se ve reflejada por:

- La mayor capacidad de infiltración de que dotan a los suelos.
- La intercepción de la precipitación que disminuye la intensidad de los aguaceros y distribuye su agua a lo largo del tiempo.
- La mayor rugosidad de la superficie.
- Los mayores obstáculos del contorno que producen una fuerte disminución de la velocidad de desplazamiento de aguas superficiales (la cuarta parte de la velocidad en suelo raso, lo que implica un retraso considerable en el tiempo de concentración en los

cauces, disminuyendo no solo el caudal punta de la descarga, sino también su volumen por la mayor posibilidad de infiltración y evaporación que supone este retraso).

- La transpiración de las plantas que regula la dosis de humedad del suelo manteniendo una capacidad de almacenamiento disponible aun en épocas de gran humedad.

En cuanto a la influencia concreta de los restos vegetales y capas húmicas propias del bosque, López Cadenas (1990) menciona que, a mayor espesor de los restos vegetales, más tiempo tarda la escorrentía superficial. Finalmente, López Cadenas (1990) en una simulación de hidrograma para una cuenca de (100 Km²) con tres hipótesis de vegetación (cultivo de gramíneas, pastizales y bosque adulto), correspondiendo a la descarga experimental de escorrentía directa de una precipitación puntual de (150 mm) en seis horas, obtuvo que la cuenca cubierta con bosque redujo el caudal punta en 59 por ciento y a un 65 por ciento el volumen total desaguado (con respecto a la cuenca dedicada al cultivo).

2.7. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO - PARÁMETROS QUE LAS DEFINEN

2.7.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO

a. Textura

Para Dune & Leopold (1978) la textura del suelo, después de considerar la vegetación sobre este, es uno de los factores determinantes en la capacidad de infiltración de los suelos. El termino textura se usa para representar la composición granulométrica del suelo. Cada termino textural responde a una determinada composición cuantitativa de arena, limo y arcilla. En los términos de textura se prescinde de los contenidos en gravas; se refieren a la fracción del suelo que se estudia en el laboratorio de análisis de suelos y que se conoce como tierra fina. Por ejemplo, un suelo que contiene un 25 por ciento de arena, 25 por ciento de limo y 50 por ciento de arcilla se dice que tiene una textura arcillosa (Dorronsoro, s.f.). Por otro lado, para Crosara (s.f.) la textura del suelo es la proporción de cada elemento en él, representada por el porcentaje de arena, limo y arcilla. Agrega que, para que un suelo sea considerado de buena textura, los elementos que lo constituyen deben posibilitar que la planta manifieste un buen desarrollo radicular y brinde un adecuado nivel de nutrientes. Adicionalmente, Peralta (1995) indica que, la textura del suelo es la proporción de las distintas partículas de arena, limo y arcilla, por debajo de los (02 mm) de diámetro.

Los términos texturales u órdenes taxonómicos de los suelos, son un total de 12, fueron publicados por primera vez en el año 1975 por el Sistema Nacional de Clasificación de los

Suelos de los Estados Unidos (USDA) y son ampliamente reconocidos, sobre todo en países de América Latina y Asia.

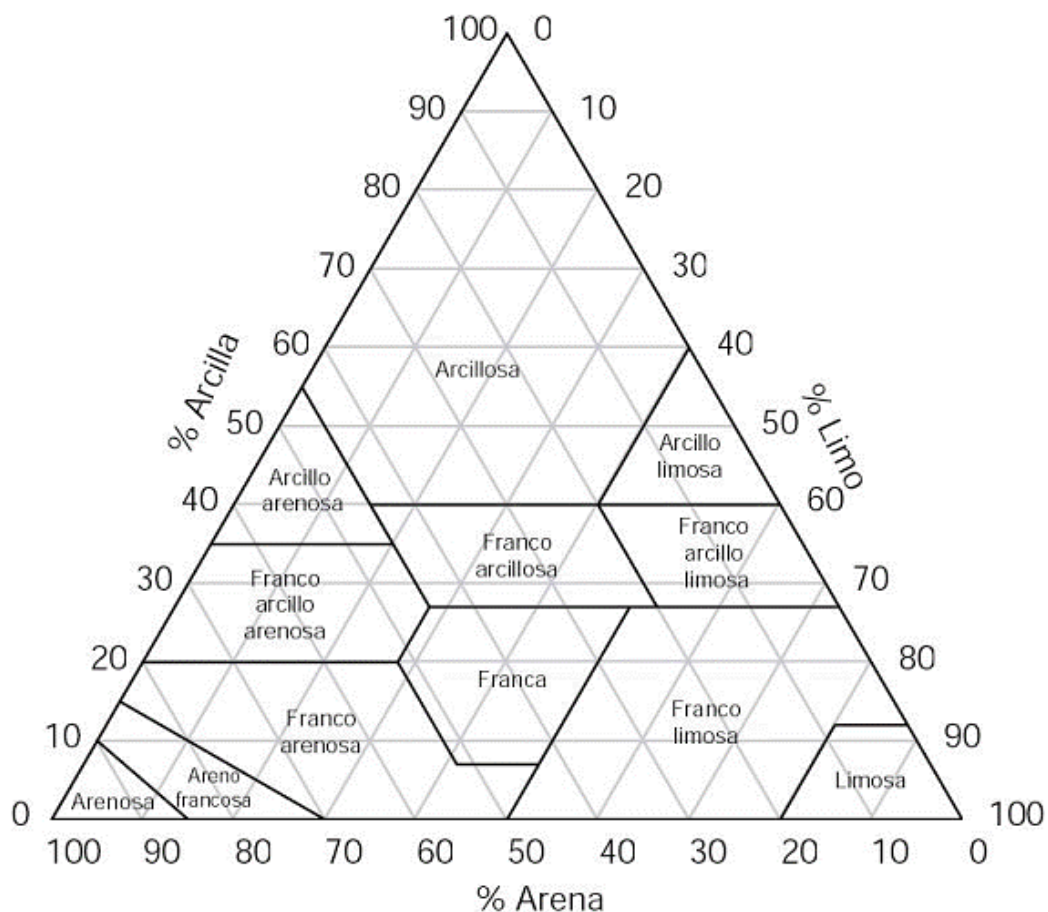


Figura 1: Triángulo textural – Taxonomía de suelos de la USDA

FUENTE: Dorronsoro (s.f.)

A continuación, en la tabla 1 se presenta la clasificación de las 12 clases texturales, según la información recopilada del Sistema Nacional de Clasificación de los Suelos de los Estados Unidos (USDA) publicado por la FAO (S.F)₂:

Tabla 1: Clasificación USDA de suelos según textura

<i>Textura</i>	<i>Arena (%)</i>	<i>Limo (%)</i>	<i>Arcilla (%)</i>	<i>Clase textural</i>	
Textura gruesa	86-100	0-14	0-10	Arenoso	Suelos arenosos
	70-86	0-30	0-15	Arenoso franco	
Textura moderadamente gruesa	50-70	0-50	0-20	Franco arenoso	Suelos francos
Textura media	23-52	28-50	0-27	Franco	
	20-50	74-88	0-27	Franco limoso	
	0-20	88-100	0-12	Limoso	
Textura moderadamente fina	20-45	15-52	27-40	Franco arcilloso	
	45-80	0-28	20-35	Franco arcilloso arenoso	
	0-20	40-73	27-40	Franco arcilloso limoso	
Textura fina	45-65	0-20	35-55	Arcilloso arenoso	Suelos arcillosos
	0-20	40-60	40-60	Arcilloso limoso	
	0-45	0-40	40-100	Arcilloso	

FUENTE: FAO (s.f.)²

Finalmente, Peralta (1995) describe de la siguiente manera la forma en que estas 12 clases texturales pueden ser identificadas en campo:

- Arenosa: La arena es suelta y de granos simples. Los granos individuales pueden sentirse y a veces mirarse, no se adhiere en nada a los dedos y no se puede formar ninguna figura con ellos. Al tacto se siente áspero y sonoro.
- Arenoso Franco: Es un suelo que tiene bastante arena pero tiene la suficiente cantidad de arcilla y limo para hacerlo ligeramente más coherente. Los granos se ven y se sienten. Si se aprieta en seco se forma un agregado que se separa, mientras que cuando se aprieta y se deja un tiempo sin moverlo, se forma un agregado que no se romperá.
- Franco arenoso: La proporción de arcilla y limo aumenta, lo que le da mucha más cohesión que la anterior. Al apretarlo en seco se forma un agregado, pero se rompe al moverlo. Si está húmedo, se forma un agregado, en forma de "lulo" (cilindro) o "Cinta" (plano), pero si se hace pasar entre el pulgar, índice y mayor se rompe al medio en lo largo. Si se logra formar una bolita (esfera), esta se rompe rápidamente.

- Franco: Corresponde a la mejor textura, tiene proporciones adecuadas de arena, limo y arcilla, que le da al suelo una excelente condición para el uso para plantas. Al apretarlo húmedo entre los dedos es posible fabricar, el "lulo", la "cinta" y la "bolita" y tienen mayor duración que las anteriores. Se supone que tiene un excelente nivel de fertilidad y condiciones adecuadas de drenaje.
- Franco limoso: más consistencia y es más suave entre los dedos. Cuando se humedece se puede formar el "lulo", la "cinta" y la "bolita", pero se rompe a la presión suave o restregándolo entre los dedos a la distancia de medio centímetro.
- Limoso: Textura que se da muy ocasionalmente. Es muy suave al tacto y parece que se estuviera tomando la textura al Talco. No se adhiere a los dedos.
- Franco arcillo arenoso v franco arcillo limoso: Estas texturas tienen más consistencia. Se puede fabricar el "lulo", la "cinta" y la esfera, pero se rompen a la presión. La diferencia entre las dos es que la primera es más áspera al tacto y adhiere moderadamente a los dedos, mientras que la segunda es suave y no se adhiere a los dedos.
- Franco arcilloso: Esta textura ya tiene bastante arcilla que la hace bastante coherente. Se pueden hacer todas las figuras pero se rompen a presión moderada. Se adhiere usualmente a los dedos y es muy común en los suelos más desarrollados. Es plástica.
- Arcillo arenoso y arcillo limoso: Estas texturas tienen ya la suficiente cantidad de arcillas para hacerlas coherentes. Se hacen todas las figuras y se moldean muy bien. Son plásticas. La diferencia es que la primera es más áspera y se sienten los gránulos de arena, mientras que la segunda es más suave y se adhiere poco a los dedos.
- Arcillosa: Esta textura es la más fácil de calibrar en el campo pues es plástica, adhesiva y permite efectuar toda clase de figuras entre los dedos. Es como una plastilina.

Los suelos arcillosos son más porosos. Además, ofrecen mayor resistencia al movimiento de agua a través del suelo por tener poros de tamaños reducidos, por otro lado, la aireación es pobre, en cuanto a la adhesividad, en suelos arcillosos es alta, al igual que la retención de humedad (Zuleta, 2011). Dune & Leopold (1978) agregan que, un alto contenido de arcilla disminuye la capacidad de infiltración y promueve la escorrentía.

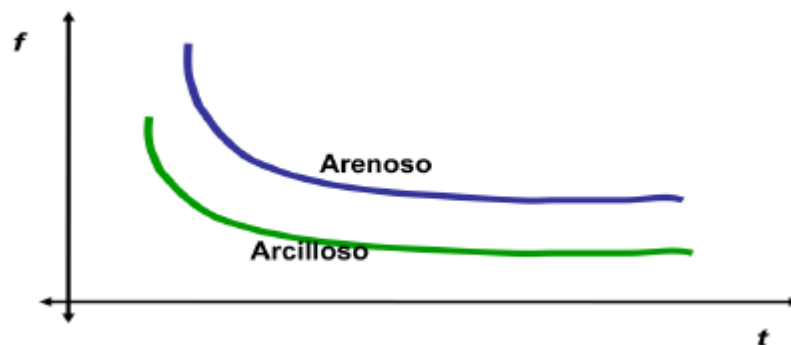


Figura 2: Comportamiento de la infiltración según la textura del suelo

FUENTE: Zuleta (2011)

Tabla 2: Comparación de propiedades físicas del suelo según textura

<i>Textura</i>	<i>Adhesividad</i>	<i>Infiltración</i>	<i>Retención de Humedad</i>	<i>Aireación</i>
Arenoso	No hay	Excelente	Muy baja	Excelente
Arenoso - franco	Muy poco	Buena	Baja	Buena
Franco arenoso	Media	Buena	Regular	Buena
Franco	Ligera	Buena	Regular	Buena
Franco Limoso	Media	Buena	Buena	Buena
Limoso	Poca	Buena	Buena	Buena
Franco arcilloso	Alta	Regular	Regular	Regular
Franco arcillo arenoso	Alta	Regular	Regular	Regular
Franco arcillo limoso	Alta	Pobre	Regular	Regular
Arcillo arenoso	Media	Pobre	Media	Pobre
Arcillo limoso	Alta	Pobre	Alta	Muy pobre
Arcilloso	Muy Alta	Pobre	Muy Alta	Muy pobre

FUENTE: Zuleta (2011; extraído de Reyes, 2009)

b. Coeficientes hídricos

La Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente son los dos valores considerados como constantes de la humedad del suelo de mayor importancia ecológica Donoso (1981).

b.1. Capacidad de campo

Delmhorst (s.f.) define a la capacidad de campo como la máxima cantidad de agua disponible para las plantas o en su defecto como la cantidad de agua retenida por el suelo contra los efectos del drenaje por gravedad.

Donoso (1981) declara que, es la cantidad de agua que puede retener un suelo después que el agua gravitacional ha sido drenada, de tal modo que el contenido de agua es más o menos estable. Este valor es usado como el más cercano a la humedad óptima del suelo que requieren las plantas. También se puede definir como el contenido de humedad de un suelo cuando las fuerzas que mantienen a la humedad en él son iguales a la fuerza de gravedad. Estas condiciones se dan entre 1 y 5 días después que el suelo ha sido mojado profusamente por la lluvia o por el riego. Es decir, cuando el agua ha desocupado los macroporos, que son, en cambio, ocupados por aire, pero los microporos o capilares permanecen llenos de agua, por esta razón la “Capacidad de Campo” también es conocida como “Capacidad Capilar”. A su vez añade que, los factores que influyen en la capacidad de campo son: la textura del suelo, la estructura del mismo, el contenido de materia orgánica y la profundidad del suelo respecto a la napa freática, siendo “baja” la capacidad de campo en suelos de textura gruesa y con mala agregación de materia orgánica. Finalmente, la textura, la estructura y el contenido de materia orgánica de los suelos pueden variar con la profundidad, de modo que puede ser conveniente medir la C.C. en cada horizonte.

La FAO (s.f.)³ explica que, la capacidad de campo es la cantidad relativamente constante de agua que contiene un suelo saturado después de 48 horas de drenaje. Agrega que, el concepto de capacidad de campo se aplica únicamente a suelos bien estructurados donde el drenaje del exceso de agua es relativamente rápido; si el drenaje ocurre en suelos pobremente estructurados, por lo general continuará durante varias semanas y este tipo de suelos de estructura tan pobre raramente tiene una capacidad de campo claramente definida.

Por su lado, Petillo *et al* (s.f.) la definen como el contenido de agua que posee un suelo después que se saturó y drenó libremente por un tiempo de entre 24 a 72 horas. Aclaran que, mientras el suelo sea más pesado, más tiempo demorará en llegar a este punto. Mencionan también que, la diferencia entre un suelo saturado y un suelo a capacidad de campo es que en el primero, todos los poros están ocupados por agua, mientras que en el segundo los macroporos perdieron el agua y los microporos se encuentran llenos de aquella agua retenida contra el efecto de la gravedad. Finalmente, agregan que este es el nivel máximo de

agua utilizable por las plantas y a su vez, representa el máximo nivel de confort hídrico para las mismas.

b.2. Punto de Marchitez permanente

Delmhorst (s.f.) denota al punto de marchitez permanente como el instante en el que toda el agua disponible ha sido utilizada por las plantas en un área determinada.

Para Donoso (1981) este expresa el contenido de agua del suelo cuando las plantas que crecen en él se marchitan en forma permanente, a menos que se agregue agua a este. Es por lo tanto, una condición de humedad que se visualiza por su efecto sobre las plantas. La marchitez se debe al exceso de transpiración sobre la absorción. Se producen dos tipos de marchitez: “Marchitez Temporal”, la cual ocurre cuando hay cantidad adecuada de agua en el suelo pero factores externos como la temperatura, hacen que se tenga un exceso de transpiración respecto a la tasa de absorción por las raíces y, la “Marchitez Permanente”, aquella que se debe a la falta de agua para las plantas en el suelo, además esta se produce cuando aún hay agua en el suelo pero esta se encuentra adherida a las partículas y en los microporos más pequeños, de tal modo que las plantas no pueden utilizarla. Este contenido de humedad del suelo (cuando las plantas no pueden aprovecharlo) se denomina “Coeficiente de Marchitez” o “Humedad Crítica” y varía entre 1 y 15 por ciento, dependiendo esencialmente de la textura del suelo.

La FAO (s.f.)₃ por otro lado, se refiere al contenido de agua de un suelo que ha perdido toda esta a causa del cultivo y, por lo tanto, el agua que permanece en el suelo no está disponible para el mismo. En esas condiciones, el cultivo está permanentemente marchito y no puede revivir cuando se le coloca en un ambiente saturado de agua. Al contacto manual, el suelo se siente casi seco o muy ligeramente húmedo.

Entretanto, Petillo *et al* (s.f.) precisan a este como el contenido de agua que tiene un suelo cuando el cultivo extrajo toda el agua utilizable, quedando cierto contenido de ella en el suelo pero tan fuertemente retenido que no puede ser extraída por el cultivo.

c. Densidad aparente

Dorronsoro (s.f.) aclara que, todo cuerpo poroso tiene dos densidades, siendo estas la densidad real (densidad media de las partículas sólidas del cuerpo) y la densidad aparente (en la que además, se tiene en cuenta el volumen de poros). Por su parte, Petillo *et al* (s.f.) agregan que, esta se entiende como el peso seco de un suelo, dividido entre el

volumen imperturbado del mismo (aquel que mantiene su porosidad). Zavaleta (1992; citado por Gonzales, 2014) la define como la relación entre el peso (gr) del suelo seco (después de estufa) y, el volumen (cm³) que ocupa el suelo cuando se encuentra en el sitio de donde se le extrajo. Además añade que, la densidad aparente varía con el contenido de espacios porosos (si disminuye el espacio poroso, la densidad aumenta).

Por otro lado, Gutiérrez (2010) manifiesta que, esta depende de ciertos factores, tales como: el manejo del suelo, el contenido de materia orgánica, la textura, entre otros. Además aclara que esta, en contraste con la densidad real, es altamente variable a causa de variaciones en la cantidad y calidad del espacio poroso y que los suelos de textura gruesa, poco estructurados y con bajos contenidos de materia orgánica presentan valores de densidad aparente más altos que suelos con textura fina, bien estructurados y con altos contenidos de materia orgánica. Por otro lado, Donoso (1992; citado por Gonzales, 2014) aclara que, 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 posean dificultades para elongarse y penetrar hasta alcanzar el agua y los nutrientes necesarios. De presentarse estas condiciones, el desarrollo y crecimiento de las plantas sería impedido o retardado consistentemente. Finalmente añade que, 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 mismas.

Es importante determinar esta característica no solo porque evidencia qué tan poroso es un suelo sino más bien porque refleja la compactación y facilidad de circulación de agua y aire en él.

d. Color del suelo

El color del suelo es la propiedad física que permite dar una idea del grado de fertilidad que este presenta. A su vez, permite determinar el posible rango de humedad presente en él y, si este se encuentra bien o mal drenado. Antonio (2007; citado por Gonzales, 2014) describe lo siguiente:

- Los suelos oscuros son más fértiles que los claros. La oscuridad suele ser resultado de la presencia de grandes cantidades de humus. Sin embargo y en ocasiones, los suelos oscuros o negros deben su tono a la materia mineral o a humedad excesiva. En estos casos, el color oscuro no es un indicador de fertilidad.

- Los suelos rojos o castaño-rojizos suelen contener una gran proporción de óxidos de hierro (derivados de las rocas primigenias) que no han sido sometidos a humedad excesiva. Por tanto, el color rojo es, en general, un indicio de que el suelo está bien drenado, no posee exceso de humedad y es fértil.
- Los suelos amarillos o amarillentos tienen escasa fertilidad. Deben su color a óxidos de hierro que han reaccionado con agua e indican de este modo un terreno mal drenado. Los suelos grisáceos pueden tener deficiencias de hierro u oxígeno, o un exceso de sales alcalinas, como carbonato de calcio.

Por otro lado, Dorronsoro (s.f.) señala que el color es una propiedad muy utilizada al estudiar los suelos pues es fácilmente observable y a partir de él se pueden deducir rasgos importantes. Agrega que, el color del suelo puede ser homogéneo para un horizonte o presentar manchas. Finaliza señalando que, este se mide por comparación frente a unos colores estándar recogidos en las Tablas Munsell, y que los agentes cromógenos son diversos, presentándose a continuación los colores más comunes:

- Color oscuro o negro. Normalmente debido a la materia orgánica (cuanto más oscuro es el horizonte superficial más contenido en materia orgánica se le supone). Cuando está localizado en nódulos y películas se le atribuye a los compuestos de hierro y, sobre todo, de manganeso.
- Color blancuzco. Debido a los carbonatos o al yeso o sales más solubles. En los horizontes eluviales es consecuencia del lavado de las arenas (constituidas por cuarzo y en menor proporción, por feldespatos).
- Colores pardos amarillentos. Óxidos de hierro hidratados y unidos a la arcilla y a la materia orgánica.
- Colores rojos. Óxidos férricos tipo hematites. Medios cálidos con estaciones de intensa y larga sequía
- Colores abigarrados grises y rojos/pardos. Compuestos ferrosos y férricos. Característicos de los suelos pseudogley con condiciones alternantes de reducción y oxidación.

- Colores grises verdosos/azulados. Compuestos ferrosos, arcillas saturadas con Fe^{++} . Indican intensa hidromorfía, suelos gley.

2.7.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS SUELOS

a. Acidez del suelo – PH

El pH es una medida de la concentración de hidrógeno expresado en términos logarítmicos. Los valores del pH se reducen a medida que la concentración de los iones de hidrógeno incrementa, variando en un rango de (0 a 14). Los valores por debajo de (7.0) son ácidos, valores superiores a (7.0) son alcalinos y/o básicos, mientras que aquellos que rodean el valor de (7.0) son denominados neutrales. Por cada unidad de cambio de pH hay un cambio 10 veces en magnitud en la acidez o alcalinidad. Por ejemplo, un pH de (6.0) es diez veces más ácido que uno de (7.0), mientras que un pH de (5.0) es 100 veces más ácido que el de (7.0). Dicho de otro modo, la acidez de un suelo depende de la concentración de hidrogeniones $[H^+]$ en la solución de las aguas y se caracteriza por el valor del pH, el cual se define como el logaritmo negativo (de base 10) de la concentración de $[H^+]$. Ibáñez (2007).

Dorronsoro (s.f.) asevera que, el pH se encuentra relacionado con la fertilidad de los suelos. Es decir, la asimilación de nutrientes del suelo se da en cierto rango de pH, mientras que en ciertos otros, determinados nutrientes pueden bloquearse, dejando de ser aprovechados por las plantas. Además enuncia que, las mejores condiciones para el desarrollo de las plantas se dan en rangos de pH de (6.0 - 7.5). Burns & Martin (1986; citado por Gonzales, 2014) agregan que, el pH condiciona la abundancia de las lombrices de tierra. Si este presenta un valor inferior a (4.0), la población de lombrices en el suelo será mínima, mientras que a pH de entre (6.0 - 7.0) ocurre lo contrario. Syers & Springett (1984; citado por Gonzales, 2014) relacionan los dos aportes anteriores al manifestar que las lombrices mejoran las propiedades químicas y biológicas del suelo, mediante el acto de ingerir y mezclar con este los desechos provenientes de animales y vegetales, los cuales son incorporados a la materia orgánica del suelo, distribuyéndose a lo largo del perfil.

La FAO (s.f.)₁ agrega que, los excrementos de las lombrices de tierra quedan atrapados en amplios espacios en el extremo de los canales y canalillos dentro del suelo y, consecuentemente, esas áreas manifiestan un alto contenido de nutrientes y materia orgánica, además de un pH más alto que el suelo circundante.

b. Conductividad eléctrica – Salinidad

Según Prieto (2008) la conductividad eléctrica es la forma más utilizada para expresar el contenido total de sales. Para Rebolledo (s.f.) la salinidad de un suelo o agua, se refiere a la cantidad de sales presentes en solución, y puede ser estimada indirectamente mediante la medición de la conductividad eléctrica (C.E.). El valor de (C.E.) es influenciado por la concentración y composición de las sales disueltas. A mayor valor de (C.E.), mayor es la salinidad presente. La salinidad es un fenómeno indeseable ya que afecta el crecimiento de las plantas de varias maneras y por lo mismo, un aumento en la (C.E.) traerá como consecuencia una disminución del rendimiento de estas. Hay que tener en cuenta que, si bien la conductividad cuantifica a las sales, no indica qué sales se encuentran presentes.

Prieto (2008) agrega que, si el suelo tiene una alta concentración de sales en la zona radical, este se verá afectado ya que la concentración de sales reduce principalmente la disponibilidad de agua para las plantas. Esto se logra por la disminución del potencial osmótico de la solución del suelo y por la succión del agua que provoca.

Todos los suelos fértiles contienen por lo menos pequeñas cantidades de sales solubles. La acumulación de sales solubles en el suelo se atribuye principalmente a problemas de drenaje y a la acción de riegos continuados, seguidos de evaporación y sequía. Cuando un suelo tiene un exceso de sales solubles se le denomina suelo salino. El análisis de la (C.E.) en suelos se hace para establecer si las sales que se encuentran en los suelos en cantidades superiores al 0.10 por ciento están formadas principalmente por los cationes: (Na^+), (Ca^{2+}) y (Mg^{2+}), asociados con los aniones (Cl^-), (SO_4^{2-}), (NO_3^-) y (HCO_3^-). En el laboratorio, la (C.E.) se evalúa siempre a (25°C) porque varía con la temperatura. La variación es del orden de un 2.0 por ciento por cada ($^\circ\text{C}$). Santibáñez (s.f.).

c. Contenido de Fósforo (P), Potasio (K) y Carbonato de calcio (CaCO_3) en el suelo

Andrades & Martines (2014) mencionan que, el fósforo favorece el desarrollo de las raíces de las plantas y estimula el crecimiento y desarrollo vigoroso de estas, como funciones del contenido adecuado de fósforo en relación a la fertilidad del suelo. Por otro lado indican que, mantener ciertos niveles de potasio en el suelo permite que las plantas se vean favorecidas en la formación de hidratos de carbono, aumente la resistencia frente a enfermedades e incremente la resistencia frente a heladas y a las sequías. En relación al

carbonato de calcio, aseguran que este es la principal fuente de calcio de los suelos y que estos tienen una acción positiva sobre la estructura y la actividad de los microorganismos.

La presencia de carbonatos tiene una acción positiva sobre la estructura del suelo ya que el calcio es un catión flocculante, y sobre la actividad microbiana, aunque un exceso puede crear problemas de nutrición por antagonismo con otros elementos. De los Ángeles (2007).

d. Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) y cationes cambiables

Pedrahita (2011) enuncia que, el suelo está compuesto por: arena, limo, arcilla y materia orgánica, presentándose las dos últimas con carga neta negativa. Además, la superficie del suelo posee variable disponibilidad de cationes que pueden ser retenidos en la materia orgánica o en la arcilla. Los cationes son: el sodio (Na^+), calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^+), hidrógeno (H^+) y aluminio (Al^{3+}), siendo los primeros cuatro “cationes básicos” y los dos últimos “cationes ácidos”. Se les denomina cambiables porque aquellos que se encuentran retenidos en la arcilla o en partículas de materia orgánica presente, pueden ser sustituidos por otros presentes en la solución del suelo. Es decir, el calcio puede ser sustituido por el magnesio y viceversa.

Para Sela (s.f.) la capacidad de intercambio catiónico se refiere a la cantidad total de cargas positivas que están disponibles sobre la superficie de las partículas en el suelo. Es un indicador del potencial del suelo para retener e intercambiar nutrientes vegetales, mediante la estimación de su capacidad para retener cationes. Las partículas de arcilla del suelo y la materia orgánica tienen una carga negativa sobre su superficie. Los cationes se atraen a estas partículas por fuerzas electrostáticas. La carga neta del suelo es por tanto, cero. Los suelos con alta capacidad de intercambio catiónico suelen tener alto contenido de arcilla y/o materia orgánica. Estos suelos son considerados más fértiles, ya que pueden retener más nutrientes.

Pedrahita (2011) agrega que, hay ciertos factores que afectan la capacidad de intercambio catiónico, como el porcentaje de arcilla en el suelo (directamente proporcional), el contenido de materia orgánica (directamente proporcional), el pH (directamente proporcional), entre otros. A su vez agrega que, una alta (C.I.C) es deseable porque hace menos probable la lixiviación de los nutrientes ya que puede retener mayor cantidad de estos y así la fertilización puede ser aplazada, mantiene mayores cantidades de reservas y puede retener altos niveles de acidez. Usualmente, suelos con alta (C.I.C) son suelos orgánicos o arcillosos

que poseen muchos sitios activos en el complejo y que no dejan perder los nutrientes con el agua de lluvia.

Andrades & Martinez (2014) añaden que, el complejo arcillo-húmico del suelo se encuentra saturado cuando se presenta totalmente ocupado por cationes básicos (Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; K^+ y Na^+) desplazando a su vez al (H^+ y Al^{3+}). Estos autores agregan que, este complejo arcillo-húmico esta formado por pequeñas partículas de arcilla y humus que floculan en el agua del suelo en presencia del calcio. Este desempeña una función importante con respecto a la estructura y fertilidad del suelo, por lo que en cierta medida la cantidad de nutrientes que la planta tenga a su disposición va a depender de la capacidad que tenga el complejo de retenerlos.

La FAO (s.f)₄ declara que, el humus es importante debido a su carga eléctrica negativa, la cual puede retener cationes o nutrientes con una carga positiva y a su vez, incrementa la capacidad de intercambio de cationes (C.I.C). El elemento más importante es el calcio (Ca^{2+}), otros son el magnesio (Mg^{2+}), el potasio (K^+), el sodio (Na^+) y el amonio (NH_4^+). Este fenómeno permite el intercambio entre estos elementos, el hidrógeno (H^+) y otros cationes, y a su vez, previene que los nutrientes sean lavados del perfil del suelo durante las lluvias intensas.

2.7.3. MATERIA ORGÁNICA Y FORMACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL SUELO

a. Materia orgánica

La materia orgánica de los suelos es el producto de la descomposición química de las excreciones de animales y microorganismos, de residuos de plantas o de la degradación de cualquiera de ellos tras su muerte (Brady, 1984; citado por La Universidad de Jaén, s.f.). Otros autores agregan como parte de la materia orgánica a los exudados radicales, aportes orgánicos externos (compost, estiércol), productos xenobióticos e incluso a los mismos organismos edáficos.

En general, la materia orgánica se clasifica en compuestos húmicos y no húmicos. Los organismos del suelo descomponen y/o transforman este tipo de sustancias orgánicas reteniendo una parte como componentes propios (polisacáridos, por ejemplo). El producto de tal transformación es una mezcla compleja de sustancias coloidales y amorfas de color negro o marrón oscuro denominado genéricamente “Humus”. En adición, estos organismos dejan residuos difícilmente atacables, como algunos aceites, grasas, ceras y ligninas

procedentes de las plantas superiores. A este conjunto se le denomina sustancias no húmicas (Brady, 1984; citado por La Universidad de Jaén, s.f.). Los productos de deshecho producidos por los microorganismos contribuyen a la formación de la materia orgánica del suelo. Los materiales orgánicos (residuos de plantas) encima y en la superficie del suelo, pueden proporcionar el amortiguamiento físico contra el impacto de las gotas de lluvia y la insolación directa. FAO (s.f.)₁.

Adicionalmente Tagle (2014) agrega que, la materia orgánica varía según los sistemas de uso de la tierra. Mientras que para los bosques la fuente primaria de materia orgánica se da de manera natural y continua, en terrenos cultivados (agrícolas) el aporte de esta materia proviene de la intervención del ser humano (abonos verdes, enmiendas, estiércol, paja o residuos de enmiendas) y su descomposición se activa por la labranza, enterramiento y aporte de minerales. Además adiciona que, en suelos cultivados, al no darse de manera natural el aporte de materia orgánica, esta normalmente no coincide con la época de máxima actividad microbiana.

Finalmente, Andrades & Martínez (2014) aseguran que, la materia orgánica contribuye a un mejor aprovechamiento del potasio a causa de su retención de agua, con lo que disminuye las pérdidas de potasio, y porque esto evita que el potasio asimilable derive en formas que no sean asimilables.

b. Formación de la estructura del suelo

Una buena estructura del suelo es aquella en la cual las partículas se mantienen juntas en un agregado poroso debido al material orgánico y a los cationes. “Los procesos físicos y geoquímicos por los que los minerales de roca se rompen y se descomponen se conocen colectivamente como meteorización. Ellos producen una capa de arena, limo y arcilla, que cubre el lecho sólido y proporciona el esqueleto inorgánico para el suelo. La descomposición química penetra la roca a lo largo de las juntas y otras cavidades generadas por la percolación del agua. Bloques de roca son aislados y lentamente reducidos a guijarros y, finalmente, a partículas de arena, limo y arcilla. Las partículas de arcilla son singularmente importantes, pues estas son capaces de mantener libremente en sus superficies iones nutrientes de plantas, tales como calcio, potasio y fósforo. El suelo también es capaz de mantener el agua y el aire en sus poros y estos junto con los nutrientes, proporcionan un medio para las plantas y la fauna del suelo que son capaces de almacenar,

descomponer y circular la materia orgánica compuesta de hidrógeno, carbono, nitrógeno y azufre”. Adaptado de (Dune & Leopold, 1978).

Cuando los residuos vegetales son incorporados al suelo, varios compuestos orgánicos se descomponen. La descomposición sucesiva del material muerto y la materia orgánica modificada resulta en la formación de una materia orgánica más compleja llamada humus, la cual a su vez es capaz de contener los nutrientes en una forma que los hace disponibles para el crecimiento de las plantas. El humus afecta las propiedades del suelo y su color se vuelve más oscuro; incrementa la agregación del suelo y la estabilidad de los agregados; aumenta la capacidad de intercambio catiónico y aporta nitrógeno, fósforo y otros nutrientes durante su lenta descomposición. El humus está formado por sustancias húmicas complejas (ácido húmico, huminas y ácidos fúlvicos) que permanecen en el suelo después de la descomposición de los residuos. El humus también cumple una función importante en la estructura del suelo. Sin humus los suelos con altos contenidos de limo o arcilla se compactarían fácilmente al ser labrados. Los polisacáridos son las sustancias que realmente unen las partículas de suelo; la materia orgánica más resistente mantiene unidos los microagregados mientras que los ácidos fúlvicos ligan los macroagregados. Los azúcares, los aminoácidos y los fosfolípidos son las fuentes de nitrógeno, fósforo y azufre para los microorganismos y el crecimiento de las plantas. La actividad de excavación de las lombrices aporta canales para la entrada de aire y el paso del agua, lo cual tiene un importante efecto sobre la difusión del oxígeno en la zona radical y en el drenaje. Las lombrices de tierra que habitan en las raíces crean numerosos canales a lo largo y a lo ancho de la superficie del suelo, incrementando la porosidad general. Los canales largos verticales creados por las lombrices que excavan en profundidad contribuyen a incrementar sensiblemente la infiltración del agua bajo condiciones de intensas lluvias o en condiciones de suelos saturados. Además, las lombrices mejoran la agregación del suelo. FAO (s.f.)¹.

“Un gran número de procesos de formación del suelo interactúan para desarrollar capas distintivas de horizontes, con diferentes características físicas y químicas” (Fitzpatrick, 1971). Los insumos de los minerales por la meteorización y la materia orgánica por caída de las hojas y descomposición del material de desperdicio se equilibran con otros procesos. Algunos de los materiales orgánicos se descomponen y devuelven a la atmósfera. Los nutrientes en solución son reciclados a través de la vegetación o lixiviados en corrientes por

el flujo subsuperficial. Las partículas minerales sólidas y parte del material orgánico se eliminan por erosión de la superficie”. Adaptado de (Dune & Leopold, 1978).

2.8. PROBADOR DE HUMEDAD INICIAL DISPONIBLE DEL SUELO

2.8.1. INTRODUCCION

El Sistema de Medición de Humedad del Suelo “Delmhorst” consta de dos partes: el bloque de yeso (sensores) y el medidor de humedad modelo KS-1. Los bloques están hechos de yeso fundido alrededor de dos electrodos concéntricos. El yeso actúa como un amortiguador contra el efecto que las sales pueden tener sobre la conductividad eléctrica y los electrodos concéntricos limitan el flujo de corriente al interior del bloque, eliminando los efectos de la conductividad del suelo.



Figura 3: Sistema de medición de humedad

FUENTE: Elaboración propia

Cuando un bloque está enterrado en el suelo absorbe o libera la humedad, hasta que su contenido de humedad se aproxima al equilibrio con el contenido de humedad del suelo. Cuando el bloque está conectado al medidor, la corriente fluye entre los electrodos y la

resistencia eléctrica del yeso es medida. Tales lecturas son una indicación de la humedad disponible para las plantas.

Con fines de irrigación, el agua de importancia es aquella cuya cantidad puede ser extraída de la tierra por las raíces de las plantas. Esta es conocida como “reserva de humedad o humedad disponible” y además, es usualmente confundida con el “porcentaje de contenido de humedad”, la cual esta relacionada con el peso del suelo.

Cada suelo tiene una capacidad diferente para retener el agua, dependiendo de su estructura y textura. La máxima cantidad de agua disponible para las plantas (llamada capacidad de campo) es la cantidad retenida por el suelo contra los efectos del drenaje por gravedad.

Cuando se ha utilizado prácticamente toda el agua disponible (es decir cuando toda el agua disponible ha sido utilizada por las plantas) la humedad del suelo ha alcanzado el nivel conocido como el "punto de marchitez permanente". Con la humedad del suelo a este nivel, las plantas se marchitarán y morirán permanentemente. Finalmente, suelos de textura franco arenoso fino y franco arcilloso mantienen una buena cantidad de agua a capacidad de campo, seguido de suelos con textura gruesa como limos arenosos gruesos.

2.8.2. OPERACIÓN

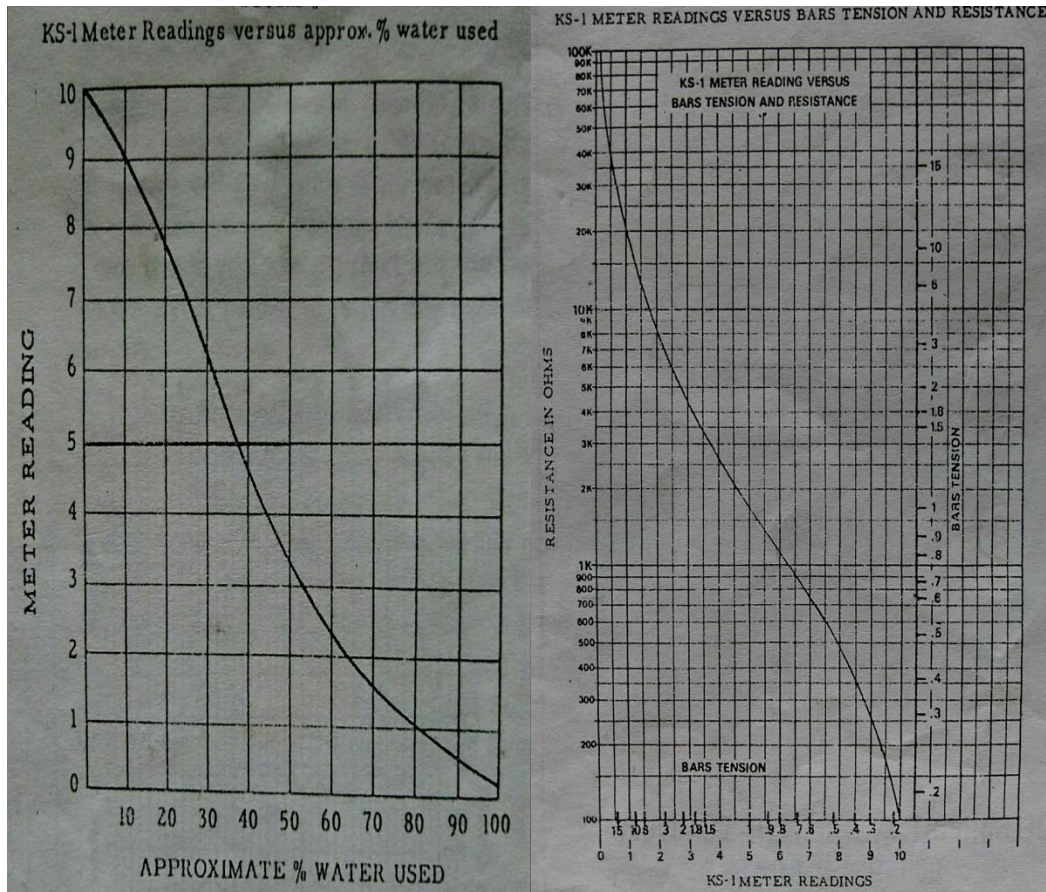
Comprobar el ajuste del medidor y el voltaje de la batería presionando el botón "ajustar". El medidor deberá dar lectura en la marca de "ajustar" (que coincide con "10.0") en la escala del medidor. Si es necesario, encender la "perilla de ajuste" (con la flecha debajo) para corregir el ajuste. El dial del medidor cuenta con una escala arbitraria (del 0.0 – 10.0), dividido en incrementos de 1/4; lecturas bajas indican baja humedad del suelo, altas lecturas indican alta humedad.



Figura 4: Medidor de humedad KS-1

FUENTE: Elaboración propia

Para leer los bloques: se empujan los dos extremos del cable del bloque de yeso e introducen en el medidor de humedad. Se presiona el botón "leer". Se lee las medidas y se comprueban en las curvas de calibración (Figura 5). Una vez en gabinete, los datos de humedad inicial disponible del suelo pueden ser interpretados de dos maneras: como el porcentaje de la reserva potencial total (porcentaje del agua, reserva de humedad o humedad disponible en el suelo) o como la succión necesaria para extraer la humedad proveniente de las partículas del suelo. Esta última también puede ser descifrada de dos formas; como tensión de humedad (Bars) o presión negativa-resistencia (Ohms).



Lectura medida vs. porcentaje aproximado de agua utilizada. b) Lectura medida vs. Tensión de humedad (Bars) y presión negativa-resistencia (Ohms)

Figura 5: Curvas de calibración

FUENTE: Delmhorst (s.f.)

2.8.3. INSTALACIÓN

- Remojar los bloques en agua durante 2 a 3 minutos.
- Cavar un hoyo en el suelo con una barreta o con una sonda de suelo de 7/8" de diámetro.
- La zona activa de la raíz del cultivo determina la profundidad a la que se deben colocar los bloques. Además, el tipo de cultivo, la profundidad del suelo, y el estado de crecimiento también se deben considerar.
- Hacer una pasta de suelo y agua de consistencia cremosa y colocar 1 o 2 cucharadas de la pasta en el agujero.

- Empujar el bloque hasta el fondo del agujero, obligando a la pasta a envolver el bloque. El bloque puede ser empujado mediante el uso de un tubo (de plástico o de aluminio será suficiente) o una barra ranurada.
- Volver a llenar el agujero y apisonar en pequeños incrementos.
- Instalar un solo bloque en cada hoyo y sujetar los cables a una estaca para que puedan mantenerse limpios y ser fácilmente localizables para la lectura. Identificar el alambre de plomo de acuerdo con la profundidad de los bloques. Esto se puede lograr con una etiqueta de color o haciendo un nudo en la parte baja del bloque.
- Nota: se recomienda que los bloques se sumergen en agua durante 1 hora y se dejen secar tan pronto como se recibe. Este ciclo de humedecimiento-secado adicional mejorará su uniformidad. Antes de plantar los bloques, se deben sumergir de nuevo durante 2 o 3 minutos para mejorar el contacto con el suelo.

2.8.4. DÓNDE COLOCAR LOS BLOQUES

- No es posible dar instrucciones precisas que se apliquen a todos los casos. La localización y la profundidad de los bloques depende de la naturaleza de la cosecha, su zona de raíz potencial, tipo de suelo con respecto a la textura, formación de subsuelo y el perfil del campo.
- Se localizan las estaciones en áreas representativas del campo. No se deben de colocar en puntos altos o bajos o cerca a los cambios de pendiente fisiográfica de la irrigación a menos que se desee medir la variabilidad en la penetración del agua causada por tales diferencias. Se selecciona una ubicación donde la población de plantas es representativa del campo.
- Los bloques no deben ser instalados en zonas protegidas por ramas bajas, o en una zona que pueda ser inundada por escorrentía.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

El levantamiento de la información en campo se llevó a cabo en la primera semana del mes de agosto del año 2016, época seca (Mayo – Setiembre) de la microcuenca del río Suncha, distrito de Carampoma.

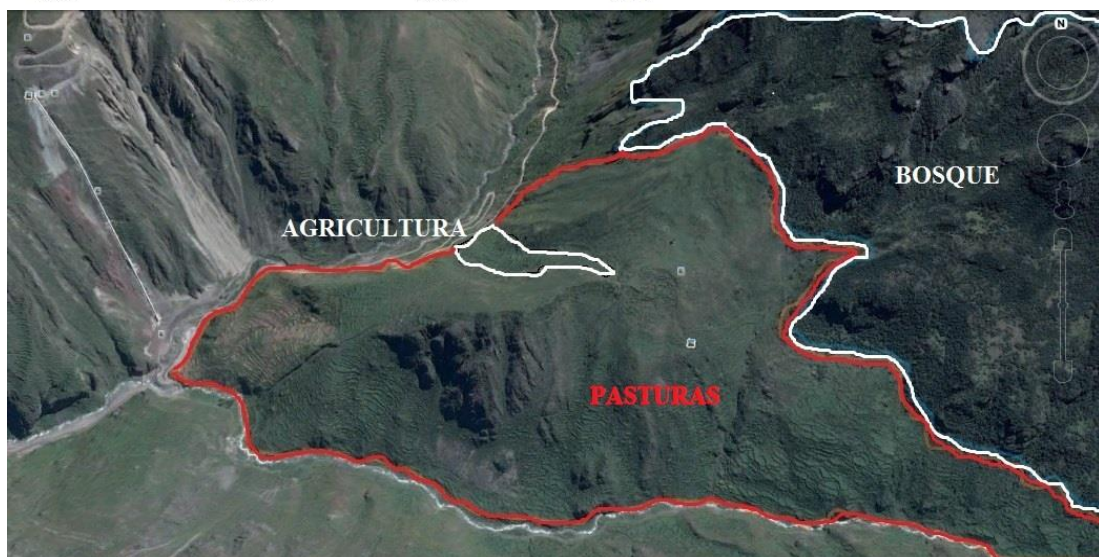
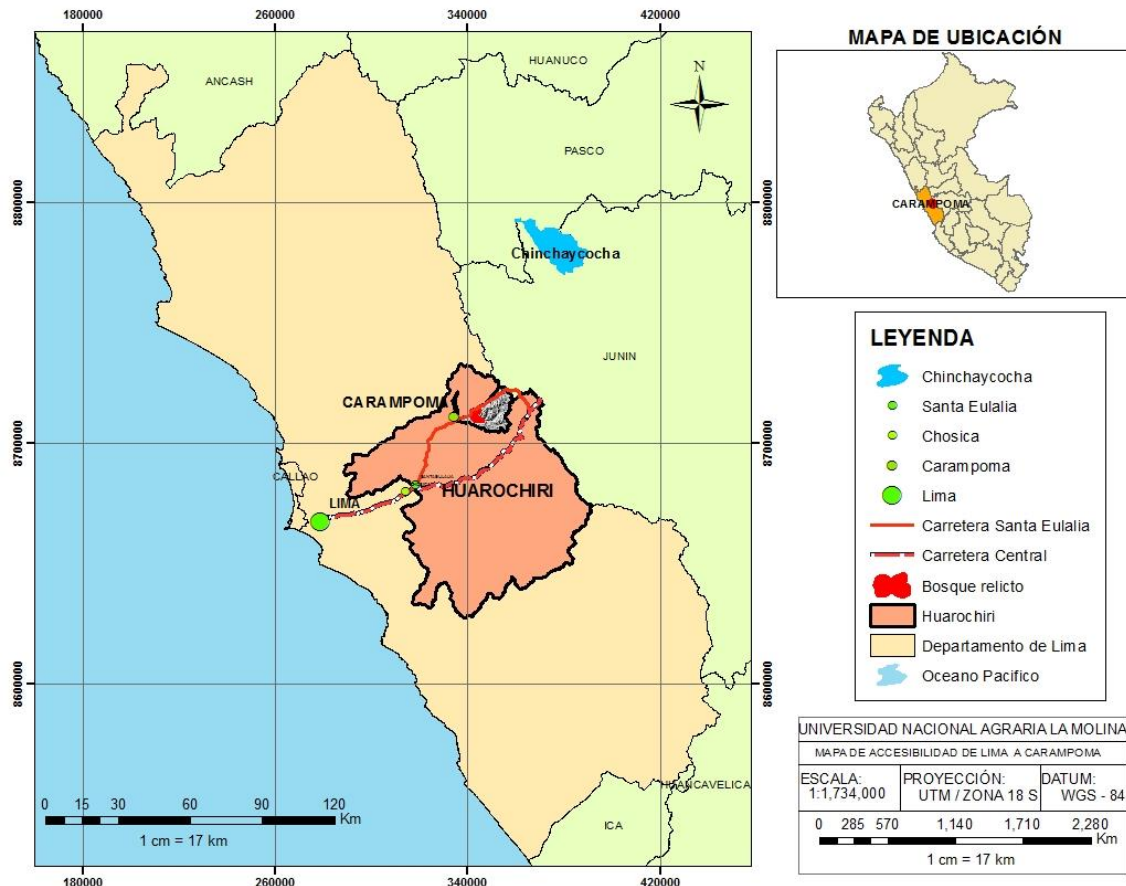
1. MATERIALES

Los materiales utilizados para las pruebas de infiltración, la recolección de muestras de suelo, la evaluación de los perfiles del mismo, la determinación del estado de descomposición de la hojarasca y cálculo de la biomasa así como la instalación de los bloques de yeso, se encuentran en el Anexo 1.

1.1. ÁREA DE ESTUDIO

1.1.1. UBICACIÓN

Para Sembrero & Valencia (2015) el bosque natural relicto de Japaní ocupa un área aproximada de 665 hectáreas y se encuentra ubicado en la parte media de la microcuenca del río Suncha. Esta microcuenca en conjunto con la comunidad campesina Santiago de Carampoma pertenecen al distrito de Carampoma, subcuenca del río Santa Eulalia, Provincia de Huarochirí, Departamento de Lima. Debido a su gran extensión, se decidió abarcar una parte del área total. A partir de ahora, dicha superficie será denominada “Bosque natural relicto de Japaní” y comprenderá las áreas con uso de suelo: Bosque intervenido, Pastizal parcialmente compactado por ganadería y Cultivo de papa en andenes agrícolas.



Mapa de accesibilidad de Lima a Carampoma. b) Mapa de ubicación del área evaluada dentro del bosque relicto de Japaní

Figura 6: Ubicación de la superficie seleccionada (Google Earth, 2015)

FUENTE: Elaboración propia

1.1.2. ACCESIBILIDAD

Dentro de la provincia de Lima se ubica el cruce entre las avenidas Nicolas Ayllón y la Panamericana Norte (altura del puente Santa Anita). Aquí inicia la carretera central, en cuyos primeros kilómetros hacia el lado este del país, bordea el distrito Lurigancho-Chosica hasta bifurcarse en: la misma carretera por el tramo derecho y, la carretera 116 (tramo izquierdo y por el cual continúa el recorrido), pasando por los distritos de Santa Eulalia (centros poblados de San Antonio, Barba Blanca, San Gerónimo de Punan, Bellavista, Huachunya, Vado y Cuspanca), San Pedro de Casta (centro poblado Huinco), Huachupampa (centros poblados Autisha y Vicas) y, finalmente al llegar a la represa “Sheque”, tomar el desvío hacia el lado izquierdo en donde se encuentra el distrito Carampona y subir hacia el centro poblado Santiago de Carampoma. Se debe tener en cuenta que el distrito de Carampoma presenta por un lado al distrito de San Pedro de Laraos y por el otro al distrito de Huanza. El tiempo aproximado desde Lima hasta la Comunidad Campesina Santiago de Carampoma es de 5 horas, con un recorrido aproximado de 89.4 km.

Por otro lado, para llegar al Bosque de Polylepis (bosque natural relicto de Japaní cuya jurisdicción pertenece al centro poblado Santiago de Carampoma) no se dobla por el desvío previamente mencionado, sino que se sigue la carretera LM 116 (pasando al lado la laguna Sheque) hasta llegar a una bifurcación, en la cual a partir de ese momento se tiene 3 opciones para subir ha dicho bosque; tomar el lado izquierdo continuando por la carretera LM 116, subir por el medio (camino con mayor dificultad debido a la constante subida en pendiente) o ir por el lado derecho tomando una trocha cuyo nombre no figura desde una vista satelital pero que se puede reconocer debido a que presenta en su inicio la operatividad de una piscigranja.

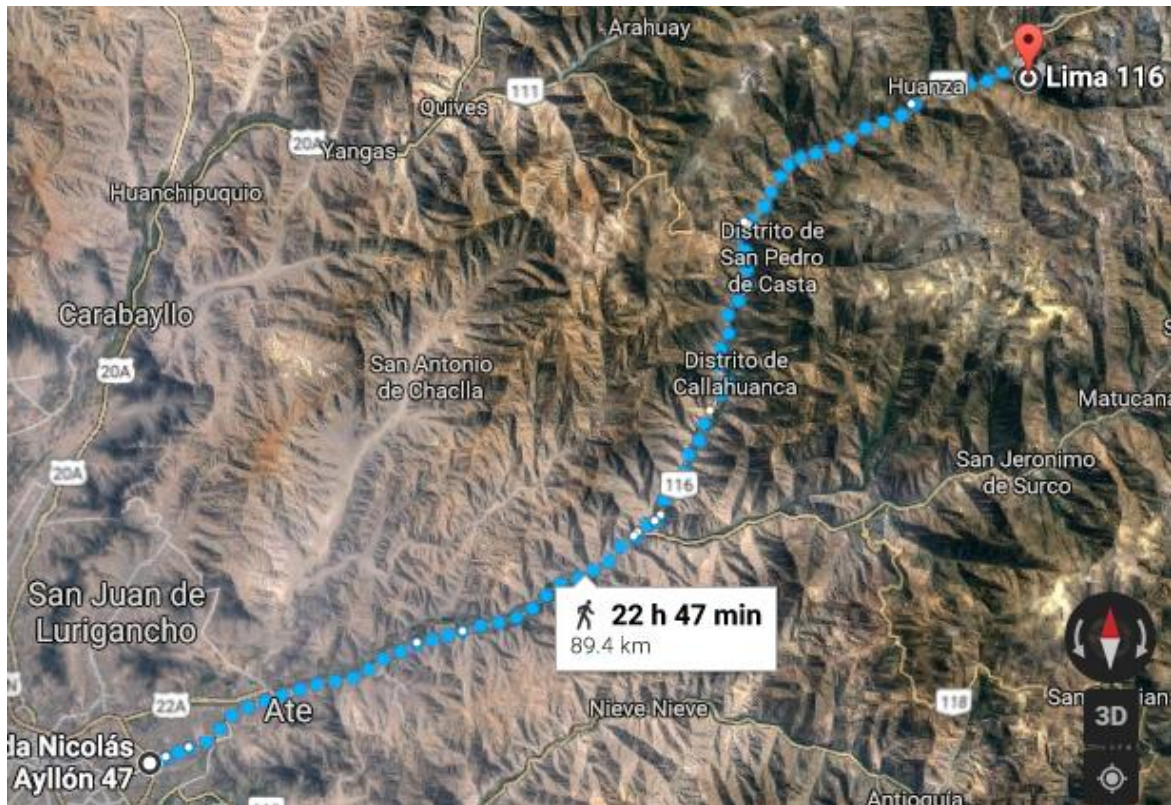


Figura 7: Ruta completa: inicio carretera central – bosque natural relicto Japaní

FUENTE: Google maps (2017)

1.1.3. CLIMA

La Autoridad Nacional del Agua (ANA), en su estudio hidrológico del Rímac (2010) indica que, la temperatura media anual de Carampoma es de (15.3 °C), siendo su máxima media anual (19.8 °C) y su mínima media anual de (10.9 °C). Además, la distribución de la precipitación total mensual a lo largo del año, realizada en base a un promedio multimensual, se muestra a continuación en la Figura 8:

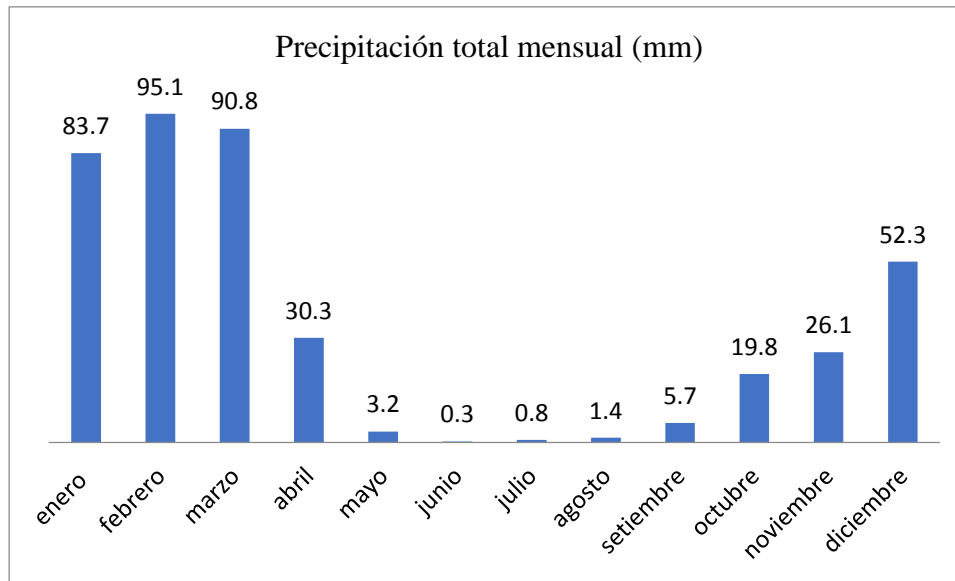


Figura 8: Precipitación total mensual de Carampoma

FUENTE: Estudio hidrológico del Rímac. ANA (2010)

1.1.4. ECOLOGÍA

a. Zonas de vida

Según el estudio hidrológico de la cuenca del río Rímac, realizado por la ANA (2010) se determinó que las zonas de vida de Holdridge que se encuentran en el área de conservación privada de Japaní son: Bosque húmedo montano tropical, Páramo muy húmedo subalpino tropical y Tundra pluvial alpino tropical.

Tabla 3: Zonas de vida de Holdridge para el área de estudio

<i>Zona de vida</i>	<i>Abreviatura</i>	<i>Altitud (m.s.n.m)</i>	<i>Biotemperatura media anual (°C)</i>	<i>Promedio de precipitación al año (mm/año)</i>
Bosque húmedo montano tropical	bh-MT	3000-4000	04 - 12	500-1000
Páramo muy húmedo subalpino tropical	pmh-SaT	4000-4600	03 - 06	500-1000
Tundra pluvial alpino tropical	tp-AT	4600-4800	01-03	400-550

FUENTE: Estudio hidrológico del Rímac. ANA (2010)

b. Flora silvestre

Sembrero & Valencia (2015) realizaron una evaluación ecológica rápida en dicho bosque, en el cual encontraron 28 familias. De ellas, las más abundantes fueron las asteráceas con 18 especies y, de todas ellas, 5 son endémicas: *Gynoxys nítida* y *Mutisia matewsii* de la familia Asteraceae, *Passiflora trifoliata* de la familia Passifloraceae, *Polylepis flavipila* de la familia Rosaceae y *Caiophora cirsiifolia* de la familia Loasacea.

En esta zona se encuentran muestras de varios tipos de ecosistemas característicos de los andes centrales que aún conservan intacta una muestra de la vegetación adaptada a estas condiciones. Entre estos, principalmente se encuentran los queñuales, que poco a poco han sido confinados a lugares con mayor dificultad en el acceso, debido a su continua tala por leña y crianza de ganado. Asimismo, cabe destacar que el bosque natural relicto de Japaní, según la estrategia nacional establecida en el Plan Director de Áreas Naturales, elaborada por el MINAM (2009), se encuentra dentro del ID 77: Alto Valle Santa Eulalia - Milloc, identificada como zona prioritaria para la conservación en los andes centrales. Sembrero & Valencia (2015).

c. Fauna silvestre

Sembrero & Valencia (2015) afirman que desde el año 2011 fueron recopiladas evaluaciones realizadas por estudiantes de Ing. forestal y biología, cuyos resultados evidencian que la zona es de vital importancia a causa de la fauna representativa observada, la cual está comprendida en su mayor parte por aves, registrándose un total de 65 especies, pertenecientes a 24 familias, destacando entre ellas la familia Tyrannidae con un total de 10 especies, seguida por Emberezidae con 8 especies.

d. Fisiografía

De relieve ondulado a semiaccidentado (zona de praderas) y otro de relieve muy accidentado.

e. Hidrología

El distrito de Carampoma se encuentra en la parte alta de la subcuenca del río Santa Eulalia, el cual, junto al río Blanco, son los principales tributarios que abastecen al río Rímac (proveedor de agua potable de la provincia de Lima y Callao, conjuntamente con el río Chillón y Lurín).

En el área se encuentran 7 lagunas: Yayancure, Huamparcocha, Paucarcocha, Siurococha, Rondan, Mancacoto, Shorca. Además de las quebradas: Yanac, Jonqui, Huingo, Hullpo y Suncha que atraviesan el bosque natural relictos de queñuales. Los recursos hídricos del distrito de Carampoma tienen como fuente las lagunas de Quiulacocha y Lacuani, la primera da origen al río Armas que tiene fluido permanente, la segunda da origen al río de Pullpulla, el cual es temporal. En ambos casos el agua se capta a través de canales de regadío. También se cuenta con manantiales ubicados en varios puntos del bosque. El agua es de buena calidad, apta para la agricultura, la ganadería y la piscicultura. Sembrero y Valencia (2015)

f. Suelo

Sembrero & Valencia (2015) mencionan que el área del bosque natural relictos de Japaní pertenece a la clasificación de suelos de la región litosólica, los cuales se encuentran en las vertientes occidentales áridas de los Andes, donde la topografía es muy desfavorable y predominan los suelos pedregosos y rocosos (litosoles). En las partes bajas hay arenosos (regosoles) y áridos con calcio (yermosoles cálcicos). En las partes medias los hay con arcilla y cal (yermosoles lúvicos); con capa oscura y cal (xerosoles), y suelos pardos (kastanozems). En el área por encima de 4,000 msnm se encuentra la región paramosólica o andosólica. Estos son buenos suelos, pero el uso agrícola está limitado por el frío. Predominan los suelos ricos en materia orgánica y ácidos (paramosoles), y existen suelos rocosos (litosoles), calcáreos (redzinas), arcillosos profundos (chernozems), y orgánicos profundos (histosoles).

g. Actividades económicas

g.1. Agricultura y ganadería

Dentro de la microcuenca del río Suncha, existen zonas en donde hay presencia de ganado ovino y equino y, donde se lleva a cabo la siembra de papa, maíz, habas, entre otros. Los principales ingresos económicos están predominados por la ganadería con más del (50 porcentaje) de familias dependientes de esta actividad y en menor porcentaje se encuentra la agricultura. Sembrero & Valencia (2015).

g.2. Turismo

Actualmente y desde hace unos años, el poblado de Santiago de Carampoma viene gestionando el enfoque turístico de la zona, dentro del cual para Sembrero & Valencia (2015) se encuentra en evaluación el mejorar la infraestructura turística de forma integral,

de tal manera que se incluya un centro de interpretación, un albergue, el levantamiento de puentes, entre otros. Por otro lado, en la zona se tiene un circuito turístico que incluye el camino hacia el bosque, el camino a las lagunas, hacia las pinturas rupestres y al complejo arqueológico.

g.3. Extracción de champa

Sembrero & Valencia (2015) mencionan que el principal problema que se da en los ecosistemas de bofedales es la extracción de champa, que luego es vendida en los diversos viveros de Lima, por la gran cantidad de agua que almacenan. Estos bofedales se encuentran más arriba del bosque natural relicto de Japaní. Los extractores ilegales acceden a estos lugares por medio de camiones en donde desplazan la champa que luego es vendida en algunos miles de soles. Si bien la comunidad cuenta con un comité de defensa que se encarga de verificar y realizar observaciones alrededor, es casi imposible evitar la extracción debido a que las realizan de madrugada y por ser relativamente peligroso enfrentarse a estas personas. Como consecuencia extensas áreas de bofedales han sido degradadas alterando de esta forma, la composición florística y de fauna que habitan en estos.

g.4. Mano de obra

Sembrero & Valencia (2015) manifiestan que actualmente, se encuentra creciendo el porcentaje de hombres que trabajan como obreros en construcción debido a la presencia de hidroeléctricas y mineras de la zona.

1.2. DESCRIPCIÓN DE LOS 3 SISTEMAS DE USO DEL SUELO

Es importante precisar que, la disponibilidad hídrica, únicamente de la fracción del área evaluada, no es la misma a lo largo del año, encontrándose para la época seca una notable reducción de los cursos de agua que la atraviesan, al punto en el que solo se visualiza uno de estos cursos, mismo que recorre solo al bosque intervenido y una pequeña parte de los pastizales parcialmente compactados. Sin embargo, gracias a la acción del área boscosa, la cual permite que el agua proveniente de las lluvias se infiltre, percole y se distribuya paulatinamente a lo largo del año, los pobladores no presentan grandes problemas en cuanto a la disponibilidad de agua. De esta manera se puede decir que, el área “Bosque Intervenido” cumple una acción similar a la de un Mecanismo de Retribución por Servicios Ecosistémicos (MRSE) gracias a su regulación hidrológica para la zona.

1.2.1. DESCRIPCIÓN DEL BOSQUE INTERVENIDO

Este relicto boscoso posee aproximadamente 665 hectáreas y se encuentra en la parte baja y media del área de conservación privada en gestión, “Japaní”. Es considerado el bosque natural relicto de queñuales más extenso de la sierra limeña, poblado principalmente por la especie *Polylepis flavipila*. Florísticamente se han encontrado hasta el momento 28 familias, dentro de las cuales *Bomarea sp*, perteneciente a la familia Alstromeriaceae, es de gran importancia por su enfoque ritualístico para la comunidad. Además, cinco de ellas son de interés para la conservación por su endemismo. Por otro lado, el suelo es poco profundo, predominantemente litosólico (rocoso y pedregoso) con características superficiales paramosólicas, debido al gran espesor (colchón) compuesto básicamente por abundante materia orgánica en descomposición, proveniente fundamentalmente de la hojarasca.

Este bosque natural relicto es aprovechado por los pobladores de la zona quienes extraen leña y plantas medicinales. Además, gran parte del área es utilizada como zona de pastoreo y a su vez, se pueden encontrar laderas aisladas destinadas para la agricultura anual rotatoria. Es atravesado por las quebradas: Yanac, Jonqui, Huingo, Hullpo y Suncha. Presenta un clima frío, con bajas temperaturas, veranos lluviosos e inviernos secos, siendo la época de intensas lluvias entre los meses de diciembre y marzo. El relieve es abrupto y heterogéneo, con laderas empinadas y escasas planicies. Adaptado de (Sembrero & Valencia, 2015).

1.2.2. DESCRIPCIÓN DEL PASTIZAL PARCIALMENTE COMPACTADO POR GANADERÍA

Este abarca la gran mayoría del área de investigación. El ganado presente es privado, de cada comunero pues se da a nivel familiar. El propósito de su crianza es la subsistencia gracias a la extracción de leche y obtención de carne, así como por costumbrismo (festividades). La distribución de esta área no solo engloba la mayor parte de la superficie de investigación, sino que también se encuentra repartida por zonas pertenecientes a cada comunero, las cuales son delimitadas por el ambiente, como la fisiografía natural, la ocurrencia de una quebrada o peñas que presentan un solo “pasadizo”, y no por la presencia de potreros.

El tipo de ganado en la zona de interés es vacuno en su totalidad (se aprecia ganado ovino, sin embargo este se encuentra más arriba, en la zona alta, por los bofedales) y su promedio oscila entre los cuatro mil a cinco mil cabezas. Entre los meses de abril a setiembre (época

seca) el ganado se encuentra en la zona del Bosque Natural Relicto de Japaní (sea en el área de bosque intervenido, pastizales parcialmente compactados o en los cultivos de papas en andenes agrícolas) mientras que los meses restantes (lluvias), sube a la parte más alta de la zona (cercana a los bofedales). El tipo de forraje usado para su alimentación es el mismo pastizal natural de la zona y la frecuencia anual de esta actividad es total, el ganado se queda todo el tiempo en la zona moviéndose por las temporadas mencionadas. (Curi, 2016).

1.2.3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA CON CULTIVO DE PAPAS EN ANDENES AGRÍCOLAS

Es la más pequeña de las 3 áreas evaluadas. Se ubica en toda una ladera, entre los 3650-3800 m.sn.m aproximadamente, formando andenes con cultivos agrícolas de tipo rotatorio. Esta, en conjunto con otras 6 áreas cultivadas, se encuentra dispersa a lo largo y ancho del Bosque Natural Relicto de Japaní. Sin embargo, solo la mencionada pertenece al área de levantamiento de información (a manera de representatividad).

En las 7 áreas, el cultivo sembrado es “la papa” y la rotación de esta se da entre las mismas (denominar al cultivo “rotatorio” alude a su rotación dentro de las áreas destinadas únicamente para agricultura y no al proceso en sí de rotar distintos cultivos), permitiendo así descansar la tierra de dichas áreas alrededor de 6 años cada una, facilitando el ciclo de recuperación del suelo gracias a la regeneración de la cobertura vegetal (principal fuente de fertilización de sus cultivos). En menor proporción utilizan el estiércol seco del mismo ganado vacuno como fertilizante natural. No obstante, esta práctica se ha ido perdiendo y la mayoría de comuneros solo deja descansar la tierra. Por otro lado, en los últimos años algunos vienen aplicando ciertos productos para combatir a los “gusanos de la papa” por ser el principal responsable de la pérdida del cultivo. Es importante añadir que, en los periodos de descanso de las áreas con cultivo de papa, estas son utilizadas como zonas de pastoreo.

El riego que se utiliza es de tipo “agricultura en secano”. Es decir, el cultivo no tiene riego y este crece con la misma captación de agua proveniente de las lluvias. Debido a que la época de intensas lluvias se da aproximadamente entre los meses de Diciembre a Marzo, la siembra se realiza entre Octubre y Noviembre y la cosecha entre los meses de Abril y Mayo. La época de barbecho (descanso) se da a fines del mes de Mayo, debido al retiro de las lluvias. A su vez, en la época de lluvias se evacua al ganado para no afectar a los cultivos, el cual retorna a la zona de andenes posteriormente a la época de cosecha.

La agricultura presente es de tipo familiar. La junta directiva de la comunidad Santiago de Carampoma es la encargada de designar las parcelas que cada uno de los comuneros va a cultivar cada año. (Curi, 2016).

2. METODOLOGÍA PARA EL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

La metodología de trabajo se dividió en cinco secciones:

- Metodología en campo y gabinete para el levantamiento y análisis de información de las pruebas de infiltración.
- Metodología para la recolección de muestras de suelo de los usos de suelo comparados.
- Metodología para la descripción de los perfiles de suelo.
- Metodología para la determinación del estado de descomposición de la hojarasca y el cálculo de la biomasa seca.
- Metodología para la determinación de la humedad disponible del suelo por el método de bloques de yeso.

2.1. METODOLOGÍA PARA LAS PRUEBAS DE INFILTRACIÓN

2.1.1. METODOLOGÍA EN CAMPO

El método elegido para las pruebas de infiltración fue el de anillo simple o cilindro infiltrómetro individual. Esta decisión fue tomada en base al grado de dificultad que implicaría el levantamiento de información: para llegar a pie al Bosque Natural Relicto de Japaní desde el poblado propietario del mismo, Santiago de Carampoma, se tarda un aproximado de 5 horas. A su vez, el camino posee una variación constante de pendiente fisiográfica y en el bosque propiamente dicho abunda la pedregosidad. Además, este se encuentra ubicado entre los 3600-4200 msnm aproximadamente, con una extensión mayor a las 650 hectáreas. Sin embargo, el mayor inconveniente se da a causa de la existencia de un único curso de agua para el abastecimiento total y de cada uno de los ensayos, sin posibilidad de trasladar dicha agua a cada punto con la ayuda de un vehículo motorizado.

Se abarcó una parte de las más de 650 hectáreas, procurando que esta a pesar de su menor magnitud, mantenga la representatividad de cada uso de suelo. Posteriormente a dicha menor área se le aplicó el “muestreo aleatorio tipo bloques” generando un total de 27 bloques (distribuidos mediante tres criterios:

- Uso de suelo: 3 grupos de 3 bloques por cada uno de los 3 usos de suelo.
- Rango altitudinal: dentro de cada grupo de 3 bloques, 1 grupo pertenece a la parte alta, 1 a la parte media y 1 a la parte baja.
- Pendiente fisiográfica: dentro de cada grupo de 3 bloques, 1 bloque con pendiente fisiográfica alta o mayor a 60° , otro con pendiente fisiográfica media (entre 30° y 60° grados) y el último con pendiente fisiográfica baja o menor a 30° . No existe una única regla para establecer los rangos de pendiente fisiográfica ya que estos varían de acuerdo a la fisiografía de la zona.

Tabla 4: Codificación utilizada para las pruebas de infiltración

<i>Uso de suelo</i>	<i>Rango altitudinal</i>	<i>N° de Bloque</i>	<i>Código</i>	<i>Pendiente fisiográfica</i>
Bosque intervenido (suelo con hojarasca y cobertura arbórea parcialmente compactado por ganadería)	Parte Alta (> 4070)	1	BA1	Alta
		2	BA2	Media
		3	BA3	Baja
	Parte Media (4070-4000)	4	BM1	Alta
		5	BM2	Media
		6	BM3	Baja
	Parte Baja (3999-3950)	7	BB1	Alta
		8	BB2	Media
		9	BB3	Baja
Pastizal parcialmente compactado por ganadería	Parte Alta ($\bar{x} = 3940$)	10	PA1	Alta
		11	PA2	Media
		12	PA3	Baja
	Parte Media (3900-3780)	13	PM1	Alta
		14	PM2	Media
		15	PM3	Baja
	Parte Baja (3799-3650)	16	PB1	Alta
		17	PB2	Media
		18	PB3	Baja
Cultivo de papas en andenes agrícolas	Parte Alta ($\bar{x} = 3780$)	19	AA1	Alta
		20	AA2	Media
		21	AA3	Baja
	Parte Media (3750-3701)	22	AM1	Alta
		23	AM2	Media
		24	AM3	Baja
	Parte Baja (3700-3650)	25	AB1	Alta
		26	AB2	Media
		27	AB3	Baja

FUENTE: Elaboración propia

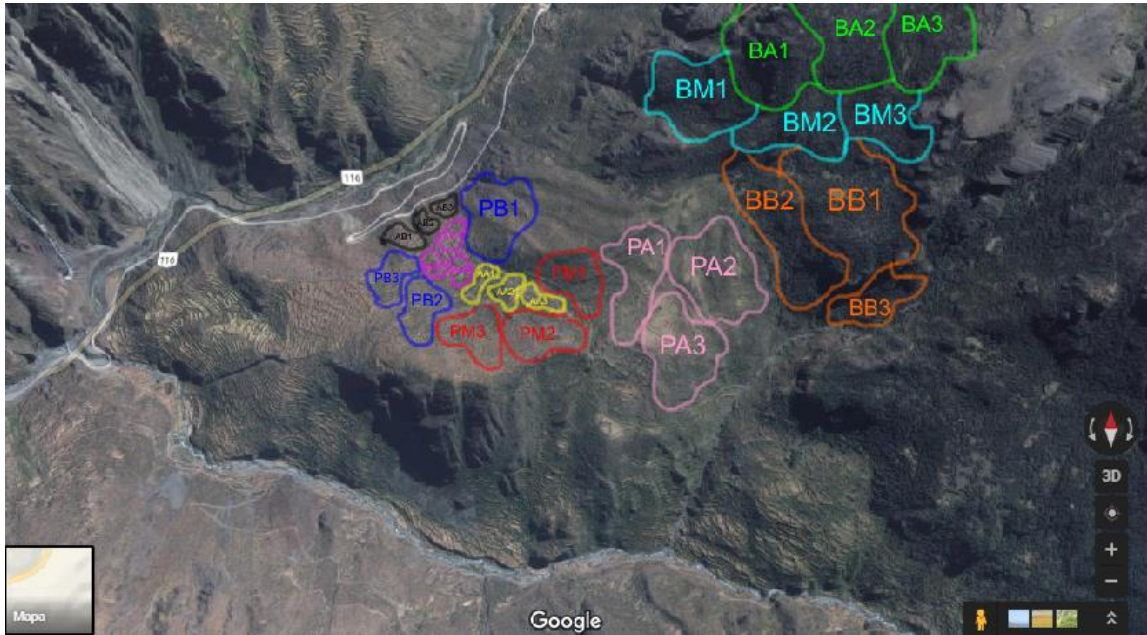


Figura 9: Área seleccionada para el levantamiento de información y su sectorización en 27 bloques

FUENTE: Elaboración propia

Por otro lado, el único curso de agua se encuentra en la zona media del uso de suelo Bosque Intervenido. Además, el mismo uso de suelo presenta rangos altitudinales mayores, seguido del pastizal parcialmente compactado por ganadería y finalmente el cultivo de papas en andenes agrícolas. Por tal motivo, el levantamiento de información se dio de arriba hacia abajo, iniciándose por el bosque intervenido (zona alta, media y baja), continuando con el pastizal parcialmente compactado por ganadería y finalizando con el cultivo de papas en andenes agrícolas (estos dos últimos usos de suelo comparten la mayoría del rango altitudinal pero el cultivo de papas desciende poco más). Cabe resaltar que, para el traslado del agua desde la parte media del bosque intervenido hacia el pastizal parcialmente compactado por ganadería y los cultivos de papas en andenes agrícolas, se arrendo dos burros de carga, cada uno de los cuales transportó un cilindro de 18 litros de capacidad por lado.



Figura 10: Preparación de las bestias de carga para el muestrero en las zonas pastizal parcialmente compactado y cultivo de papas en andenes agrícolas

FUENTE: Elaboración propia

Cada ensayo inició con la búsqueda de un punto que se encontrara alejado de senderos, deyecciones, el curso de agua o excretas de ganado. Posteriormente, se utilizó el clinómetro para detectar el rango adecuado de pendiente fisiográfica, seguido de la georeferenciación respectiva antes de la instalación del anillo simple.

La instalación del anillo inicia con la extracción de partículas que se encuentran dentro del área circular destinada para la penetración de este en el suelo y que pudiesen entorpecer el trabajo (ramillas, hojas secas, piedras de tamaño significativo). Este instrumento posee 26 cm de alto y 12 cm de ancho (no existe una medida estándar para las dimensiones de este). El mismo se introduce a una profundidad promedio de 10 cm mediante golpeteo directo con una roca a un listón resistente de madera colocado sobre el anillo de forma paralela al suelo, con la finalidad de no maltratar dicho anillo gracias al incremento del área de contacto y, que las piedras no se partan al primer golpe contra su estructura metálica, procurando siempre que este, independientemente del grado de pendiente fisiográfica en el que se encontrara, se mantenga en una posición vertical con respecto a la línea imaginaria

con perfecta horizontalidad del suelo. Posteriormente, se adhiere a la pared interna del cilindro una regla graduada con la marca de “cero centímetros” al ras del suelo. Acto seguido, se introduce la bolsa negra de plástico resistente, de tal forma que cubra el mayor espacio dentro del cilindro y que a su vez pueda resistir tanto el borde filudo del cilindro como el volumen de agua que posteriormente se vertería sobre el mismo. Se procede al vertido del agua en el interior. Para poder dar inicio con los dos minutos de duración dentro de cada ensayo se asegura que, la cuidadosa extracción del plástico negro, la primera lectura en el segundo cero y la activación del cronometro para dicho rango de tiempo se den en el mismo instante, contando con la ayuda de otra persona, puesto que uno se encarga de retirar el plástico a la vez que da la primera lectura y el otro inicia el cronometro al mismo tiempo que realiza las anotaciones. Seguidamente y durante el tiempo restante, uno se responsabiliza de dar la lectura cada 5 segundos mientras el otro de anotarla. El objetivo de estos muestreos es determinar y comparar las capacidades de los distintos usos de suelo para poder absorber agua en un proceso de humedecimiento. A su vez, diagnosticar si existe o no diferencia significativa a causa de la pendiente fisiográfica y altitud dentro de cada uso del mismo.



Figura 11: Verificación de la posición correcta de los componentes

FUENTE: Elaboración propia

2.1.2. METODOLOGÍA EN GABINETE

a. Metodología según pendiente de la recta resultante en la gráfica de dispersión (b = infiltración = cm/seg^{0.5})

Con la información recogida en campo, perteneciente a cada ensayo de infiltración, se elaboró en gabinete las siguientes tablas y gráficas de dispersión (Ver Anexo 2). Cada gráfica posee una ecuación de primer grado ($y = bx + a$) cuya pendiente “b” es asignada y/o considerada como el equivalente al valor de la “infiltración” y esta a su vez, sirve únicamente para diagnosticar si la infiltración fue buena o mala. No está demás decir que, aquel valor de la pendiente “b” (valor equivalente a la infiltración de cada punto) es el resultado de la división entre la “lámina de agua infiltrada acumulada - medida en centímetros” (eje Y de la gráfica de dispersión) y la “raíz del tiempo - medida en seg^{0.5}” (eje X de la gráfica de dispersión), por lo tanto “b” solo podrá obtener valores mayores a cero (como mínimo) o menores que la unidad (como máximo).

Es importante mencionar que, para Alegre (2013; citado por Reyes, 2014) los valores entre (0.45 y 0.55 cm/seg^{0.5}) de la “pendiente de la recta resultante en la gráfica de dispersión” son los óptimos para este parámetro.

b. Metodología según la estadística aplicada

Para poder interpretar los datos resultantes de infiltración y que estos posean un sustento científico, es necesario aplicar un diseño estadístico. Para el presente estudio se trabajó con el Ing. Joao Manuel Rado Huaranga, quien pertenece a la plana docente de la facultad de economía y planificación de la UNALM. El diseño estadístico elegido fue el “Diseño Factorial 3^k Proyectado”, cuya secuencia de pasos se detalla a continuación:

b.1. Diseño Factorial 3^k

Es un diseño donde todos los factores en estudio están presentes en 3 niveles. Es decir, la base o nivel siempre será 3 y “k” indica el número de factores. Particularmente en este estudio, coincide que los factores también son tres, siendo el primero el “uso de suelo” con los niveles “bosque intervenido”, “pastizal parcialmente compactado por ganadería” y “cultivo de papas en andenes agrícolas”; mientras que el segundo factor es “la altitud” con los niveles “parte alta”, “parte media” y “parte baja”. Finalmente el último y tercer factor denominado “pendiente fisiográfica” presenta los niveles “pendiente fisiográfica alta”, “pendiente fisiográfica media” y “pendiente fisiográfica baja”.

Se suelen usar letras mayúsculas para denotar a los factores e interacciones de factores (A, B, C..., ABC), mientras que para representar los niveles de cada factor existen muchas notaciones. Las letras mayúsculas utilizadas para representar los factores uso de suelo, altura y pendiente fisiográfica fueron A, B y C respectivamente. Para representar los niveles se utilizaron los números (-1; 0 y 1), siendo el primero para hacer referencia al uso de suelo “cultivo de papas en andenes agrícolas”; “nivel bajo de altitud” y “nivel bajo de pendiente fisiográfica”. El segundo para describir: “uso de suelo pastizal parcialmente compactado por ganadería”; “nivel medio de altitud” y “nivel medio de pendiente fisiográfica” y, finalmente el “1” para representar al “uso de suelo bosque intervenido”, “nivel altitudinal alto” y “nivel alto de pendiente fisiográfica”.

Tabla 5: Nomenclatura de los niveles y factores

<i>Factor (k)</i>		<i>Niveles (3)</i>	
Uso de suelo	A	1	Bosque intervenido
		0	Pastizal parcialmente compactado por ganadería
		-1	Cultivo de papas en andenes agrícolas
Altura	B	1	Alta
		0	Media
		-1	Baja
Pendiente fisiográfica	C	1	Alta
		0	Media
		-1	Baja

FUENTE: Elaboración propia

b.2. Análisis de varianza (ANVA)

En el análisis de varianza, se descompone la variabilidad con la finalidad de encontrar las fuentes que permitan explicarla. Estas fuentes se encuentran asociadas a los denominados: efectos principales y efectos simples.

Los efectos principales son aquellos que provienen de los “factores” (en este caso entiéndase por factores: A, B o C), mientras que los efectos simples son aquellos que provienen de la interacción de estos (AB, AC, BC o ABC).

Tabla 6: Ejemplo de desarrollo de un análisis de varianza

<i>F.V</i>	<i>G.L</i>	<i>S.C</i>	<i>C.M</i>	<i>F.C</i>
A	GI A	SC A	SC A/GI A	CM A/CM error
B	GI B	SC B	SC B/GI B	CM B/CM error
AB	GI AB	SC AB	SC AB/GI AB	CM AB/CM error
Error	GI E	SC Error	SC Error/GL Error	
Total				

FUENTE: Montgomery (1991)

b.3. Aplicación del ANVA en efectos simples

El análisis de varianza inicia diagnosticando los “efectos simples”, es decir evaluando “la interacción de factores”. Si estas interacciones resultan estadísticamente significativa (es decir el p-valor es menor a un nivel de significación especificado, pudiendo ser los niveles de significación: 10, 5, 1 por ciento según se elija), el análisis de varianza se hará únicamente para los “efectos simples”. Por el contrario, si las “interacciones de factores” no resultan significativas, el análisis se desarrollará mediante los “efectos principales”.

Un efecto simple refleja el cambio en la respuesta de una de las combinaciones de factores (Ej: cambio en la combinación AB) producido por el cambio en el nivel de uno de esos factores (Ej: A), manteniendo constante el nivel de otro factor (Ejm: B). En la Tabla 7 se muestra un ejemplo:

Tabla 7: Ejemplo de análisis de varianza para efectos simples

<i>F.V</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>FC</i>
A b1	GI A b1	SC A b1	SC A b1/ gl A b1	CM A b1/CM Error
A b2	GI A b2	SC A b2	SC A b2/ gl A b2	CM A b2/CM Error
A b3	GI A b3	SC A b3	SC A b3/ gl A b1	CM A b3/CM Error
...
Error	GI E	SC Error	SC Error/GL Error	

FUENTE: Montgomery (1991)

En la representación anterior se puede ver separadas las fuentes de variabilidad específicas para comparar niveles de un factor fijando otro.

Por ejemplo: Si tenemos **AbI**: se obtendrán las comparaciones con A1 b1, A2 b1, A3 b1.

La hipótesis sería la siguiente:

$$H_0 : \mu_{11.} = \mu_{21.} = \mu_{31.}$$

H_1 : Al menos un $\mu_{i1.}$ es diferente.

El estadístico de prueba es el F_{cal} que se extrae del ANVA. Para compararlo se hace uso de la distribución asociada F teórica. Si el $F_{cal} > F_{tab}$ entonces se rechaza H_0 .

b.4. Comparaciones múltiples para los efectos simples que posean significancia

Las comparaciones múltiples no son otra cosa que separar a cada interacción de factores que resulte significativa (supongamos que, de todas las interacciones de factores: AB, AC, BC o ABC, únicamente resultó significativa la interacción AC) y desmembrarlas en todas las combinaciones posibles, con el objetivo de diagnosticar si en una o más de esas subposibilidades también se presenta algún grado de significancia estadística. En este caso, se aplicará la prueba de Tukey que permite comparar pares de tratamientos. Esta prueba no requiere que el resultado del ANVA de cada subposibilidad sea significativo, más sí que su diferencia entre ellas lo sea.

Supongamos que la interacción AC (uso de suelo – pendiente fisiográfica) resulto significativa (análisis de varianza de efectos simples). Si mantenemos la ocurrencia de 3 posibles usos de suelo y 3 posibles rangos de pendiente fisiográfica, esta interacción puede arrojar la siguiente cantidad de subposibilidades:

Tabla 8: Comparaciones múltiples del efecto AC

A-C1	A-C2	A-C3
A1 C1	A1 C2	A1 C3
A2 C1	A2 C2	A2 C3
A3 C1	A3 C2	A3 C3
C-A1	C-A2	C-A3
C1 A1	C1 A2	C1 A3
C2 A1	C2 A2	C2 A3
C3 A1	C3 A2	C3 A3

FUENTE: Elaboración propia

2.2. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO DE LOS USOS DE SUELO COMPARADOS

Se siguió en parte las recomendaciones establecidas por Buduba (2004), quien además manifiesta que no existe una metodología única para la toma de muestras pues esta se encuentra condicionada por el suelo en estudio, el tamaño del área a evaluar, su acceso, etc.

En primera instancia, se dibujó un croquis para cada una de las tres diferentes áreas de uso del suelo, con la finalidad de identificar sectores que presenten condiciones de paisaje (pendiente fisiográfica, exposición o drenaje) que puedan definir áreas con características distintivas (representativas), evitando áreas con posible influencia de caminos, deyecciones, construcciones, sendas o cuevas. Posteriormente, se eligió el patrón de recorrido dentro de cada diferente uso del suelo. En el caso de las áreas bosque intervenido y pastizal parcialmente compactado por ganadería, el patrón elegido fue el de *Zig-Zag* debido a sus grandes extensiones y poca uniformidad, mientras que para el área de suelo con cultivo de papas en andenes agrícolas, se seleccionó el de tipo cuadrícula.

Acto seguido, se definió el número de muestras, siendo estas un total de nueve (3 por cada uso de suelo, teniendo en cuenta que una corresponda a la parte alta, otra a la parte media y la última a la parte más baja altitudinalmente). Cabe resaltar que, cada una de las muestras fue formada por un conjunto de submuestras, considerando que para Buduba (2004) los

suelos cultivados son más heterogéneos que los vírgenes. Por tal motivo, el número de submuestras para los dos primeros usos de suelo en mención fueron inferiores a las del uso de suelo con cultivo de papas en andenes y agricultura.

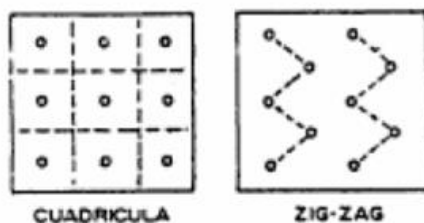


Figura 12: Patrones de recorrido para extraer submuestras

FUENTE: Buduba (2004)

En cada punto, se procedió a eliminar la cobertura vegetal u hojarasca y, con una pala limpia (libre de óxido y/o agroquímicos) se realizó un corte en el suelo en forma de V, arrojándose las primeras paladas hasta alcanzar la profundidad deseada (treinta centímetros en este estudio). Una vez aquí, se extrajo una porción de unos tres centímetros de espesor (tanto en el sentido lateral como en el horizontal de la submuestra) descartando los bordes mediante el uso de un cuchillo, para luego introducir dicha submuestra en una bolsa grande y resistente.

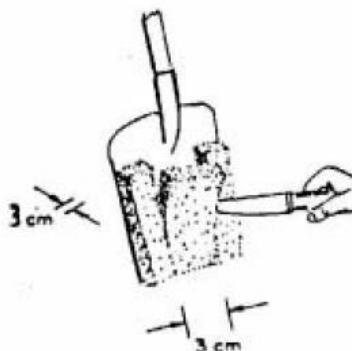


Figura 13: Extracción de la submuestra de suelo

FUENTE: Buduba (2004)

Una vez obtenida la última submuestra, su conjunto (muestra) se colocó sobre un plástico limpio, se mezcló, se dividió en cuatro partes iguales y de estas, se guardó una de ellas para volver a repetir el cuarteo hasta llegar a (1Kg) por cada muestra. Finalmente, cada muestra se guardó dentro de una bolsa ziploc, la cual pasó a ser etiquetada, codificada, sellada con cintillo y embalada con papel film y Tape para evitar cualquier tipo de corte al momento de guardarlas y trasladarlas.

El objetivo de la recolección de muestras de suelo fue definir ciertas propiedades edáficas por medio de la caracterización general de cada una de ellas, además de la determinación de los coeficientes hídricos: capacidad de campo y punto de marchitez permanente, llevados a cabo en el laboratorio de análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes concerniente al departamento de suelos de la Facultad de Agronomía de la UNALM.

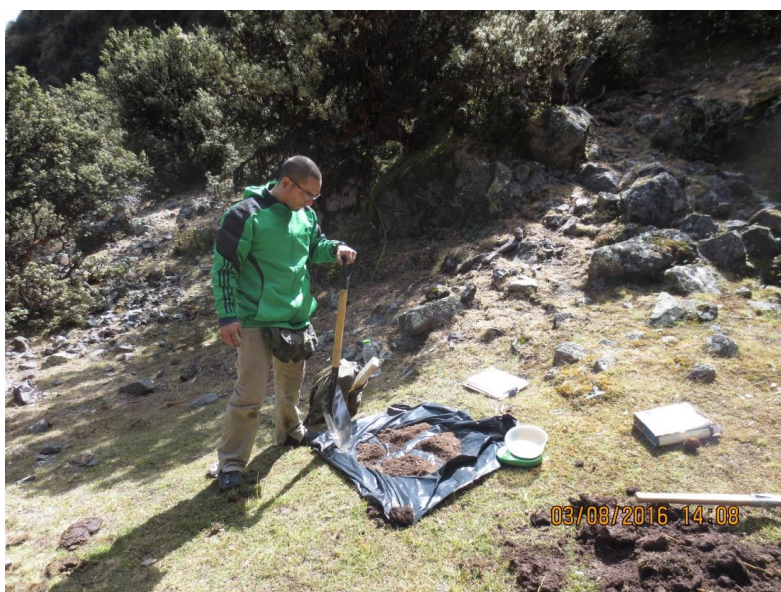


Figura 14: Segundo cuarteo de una muestra de suelo

FUENTE: Elaboración propia

2.3. DESCRIPCIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO

Para la descripción de los perfiles de suelo se siguió la metodología de Gonzales (2014) quien señala que, en primera instancia, se debe realizar una calicata por cada

diferente uso del suelo. Gonzales (2014) añade que, estas deben alcanzar un volumen de (0.40 m) de ancho por (0.40 m) de largo y (0.50 m) de profundidad.



Calicatas. a) Pastizal parcialmente compactado por ganadería. b) Bosque intervenido. c) Cultivo de papas en andenes agrícolas.

Figura 15: Descripción de los 3 perfiles de suelo

FUENTE: Elaboración propia

El objetivo en campo fue identificar la estructura y profundidad de los diferentes horizontes dentro de cada perfil, diferenciando las muestras por la presencia o ausencia de la capa de materia orgánica, la coloración *in situ* de los horizontes, presencia o ausencia de porosidad, grado de dureza, presencia o ausencia de proyecciones de raíces secundarias y presencia o ausencia de macrofauna (lombrices, gusanos). Por otro lado, el objetivo del análisis de los horizontes en laboratorio fue determinar ciertas características edáficas, como la densidad aparente y el color del suelo (sistema de Munsell).



Figura 16: Capa orgánica en el perfil del bosque intervenido

FUENTE: Elaboración propia

Una vez hecha la calicata, la toma de muestras se efectuó introduciendo un cilindro metálico pequeño de volumen definido, el cual fue insertado mediante golpes con una roca (en este caso también se usó un listón de madera entre la roca y el cilindro pequeño para no deformarlo o romper la roca). Además, con una pala-pico pequeña se extrajo mayor cantidad de muestra que la que cabía en el cilindro pequeño para asegurar que, una vez en laboratorio, las pruebas de densidad aparente puedan ser realizadas con éxito. Finalmente, de la misma manera que con las muestras de suelo, estas fueron ingresadas en bolsas ziploc para luego ser etiquetadas, codificadas, selladas con cintillos y embaladas con papel film y tape.



Figura 17: Toma de muestra del perfil

FUENTE: Elaboración propia

2.4. DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE DESCOMPOSICIÓN DE LA HOJARASCA Y CALCULO DE LA BIOMASA SECA

La hojarasca, conjuntamente con otros materiales de descarte de las plantas, es transformada por los organismos del suelo, los cuales contribuyen a la formación de materia orgánica (humus) al momento de producir sus desechos. A su vez, el exceso de nutrientes en el suelo (azufre, fósforo y nitrógeno) es liberado de tal manera que las mismas plantas pueden disponer de ellos. La importancia de la hojarasca en relación con el presente estudio radica en que esta forma una especie de colchón por encima del suelo que contribuye a contrarrestar el impacto de las gotas de lluvia sobre el mismo. La FAO (s.f.)₁ en su publicación “Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible: Materia orgánica y actividad biológica” recalca que, la conservación de los residuos sobre la superficie del suelo no solo proporciona abundantes alimentos para la biota sino que también la protege de la insolación directa, lo cual, a su vez, regula la temperatura del suelo. Las altas temperaturas afectan de manera adversa el crecimiento y desarrollo tanto de la población de organismos del suelo como el crecimiento de las raíces, aspectos íntimamente relacionados con la infiltración.

Se determinó el estado de descomposición del mantillo u hojarasca cuya recolección se llevó a cabo exclusivamente en un punto representativo del uso de suelo “bosque intervenido”. Para ello se utilizó una cuadrícula fabricada con listones de madera de (0.50) m de lado, dentro de la cual se clasifico la hojarasca en tres etapas o estados de descomposición (de menor a mayor descomposición).



Figura 18: Delimitación del área de muestreo

FUENTE: Elaboración propia

Fassbender (1993; citado por Gonzales, 2014) atribuye la siguiente nomenclatura para dichas etapas:

- Baja descomposición.- material vegetal recién caída al suelo (hojas ramas con diámetro menor a 10 cm, flores, frutos, semillas) sin descomposición física.
- Media descomposición.- aquellas hojas, flores, frutos o ramas con diámetro menor a 10 cm. que se encuentran en estado necrótico, pero que todavía se pueden reconocer.

- Alta descomposición.- material vegetal reducido a fragmentos tan pequeños que generalmente se logra confundir con el suelo.

Posteriormente cada etapa de descomposición fue almacenada en una bolsa ziploc, etiquetada, codificada, sellada con cintillo y embalada con papel film y tape. Dichas muestras fueron trasladadas al laboratorio de propiedades físico-mecánicas de la madera, perteneciente a la Facultad de Ciencias Forestales de la UNALM.

Una vez en el laboratorio, las muestras fueron pesadas en fresco con una balanza digital. Luego, se introdujeron en la estufa eléctrica hasta que estas alcanzaron el peso seco constante. Cabe resaltar que para conseguirlo transcurrió un aproximado de 48 horas. Finalmente se obtuvo la biomasa seca de hojarasca empleando la siguiente fórmula (es importante recordar que en el presente trabajo se utilizó un área de 0.50 m² y no 0.25 m²) como sugiere la fórmula:

$$Bhs \left(\frac{t}{ha} \right) = \frac{sms}{smh} \times ms \times 10$$

Donde:

Bhs = Biomasa seca de hojarasca (t/ha).

smh = Masa de submuestra de hojarasca húmeda (Kg).

sms = Masa de submuestra de hojarasca seca (Kg).

ms = Masa de hojarasca colectada en la parcela de recorte (Kg/0,25 m²).

10 = Factor de conversión.

Figura 19: Fórmula para hallar la biomasa seca de hojarasca

FUENTE: Gonzalez (2014)



a) Alta descomposición. b) Media. c) Baja

Figura 20: Estados de descomposición de la hojarasca

FUENTE: Elaboración propia



a) Tarado, pesaje. b) introducción de las muestras a la estufa eléctrica

Figura 21: Pasos para el cálculo de la biomasa seca de hojarasca

FUENTE: Elaboración propia

2.5. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DISPONIBLE DEL SUELO POR EL MÉTODO DE BLOQUES DE YESO

Uno de los factores principales que afecta la infiltración en el suelo es la humedad inicial del mismo (Hillel, 1982). Una humedad inicial alta implica una tasa de infiltración baja. En otras palabras, una alta humedad reduce la porosidad efectiva y el rango de tamaño de poros disponible para la infiltración del agua. El caso contrario ocurre cuando la humedad baja (Junes, 1987).

Se registraron las mediciones de la humedad inicial disponible en los tres diferentes usos de suelo. Para su ejecución, se empleo el sistema de medición de humedad del suelo Delmhorst, al que se le puede dividir en dos partes; el medidor de humedad modelo KS-D1 y el bloque de yeso (este ultimo constituido por yeso fundido alrededor de dos electrodos concéntricos, presentando por un extremo un cable con bifurcación en la parte final del mismo para su unión con el medidor de humedad). Por disponibilidad de material, se distribuyó cinco bloques de yeso por cada uso de suelo (uno en zona alta, dos en zona media y dos en baja para los tres casos) los cuales fueron instalados veinticuatro horas antes de realizar sus respectivos registros. Además, dicha instalación así como la toma de registros, se llevaron a cabo en rangos de hora donde la intensidad de la radiación solar fue baja o en su defecto, hubo ocurrencia de neblina.

El proceso inicio con la búsqueda y georeferenciación de cada estación, procurando que estas sean representativas de cada uso de suelo. La instalación propiamente dicha se ejecuto siguiendo lo establecido por Delmhorst (s.f.) en su manual de uso e instalación del sistema de medición de humedad del suelo. El procedimiento comienza con el remojo en agua del bloque de yeso en un rango de dos a tres minutos. Acto seguido se formó un hoyo en el suelo empleando una estaca de madera de (20 cm) de largo y (2 cm) de diámetro, la cual fue introducida mediante el uso de un martillo al mismo agujero. Con la tierra extraída se formo una pasta de suelo y agua (consistencia cremosa) y se vertió dos cucharadas de la misma al interior. Con la intención de no taponar el agujero a la hora de introducir el bloque de yeso, este se metió a través del tubo hueco de PVC obligando a la pasta a envolver el bloque. Ulteriormente se volvió a llenar el agujero con la tierra sobrante y se apisona en pequeños incrementos. Finalmente la porción del cable que quedo en el exterior (porción que termina en una bifurcación) se sujeto a la estructura más próxima (rama de arbusto, piedra) y se le amarró un trozo de cinta de agua para que sea fácilmente localizable.



a) Introducción de la estaca en el suelo mediante el uso del martillo. b) Introducción del bloque de yeso en el tubo de PVC.

Figura 22: Pasos para la determinación de la humedad inicial disponible en el suelo

FUENTE: Elaboración propia

Pasadas las veinticuatro horas respectivas, se conectó el bloque de yeso al medidor por medio del cable bifurcado, permitiendo así que la corriente fluyera entre los electrodos y la resistencia eléctrica del yeso fuese medida. Tales lecturas son una indicación de la humedad disponible para las plantas, también denominada reserva de humedad.

Una vez en gabinete, los datos de humedad inicial disponible del suelo fueron interpretados con la ayuda de las dos figuras del manual perteneciente a Delmhorst (s.f.), los cuales se encuentran en la Figura 5. En la primera figura se deduce la succión necesaria para extraer la humedad proveniente de las partículas del suelo, para la cual se relaciona la lectura medida en campo con la tensión de humedad (Bars) o la lectura medida en campo con la presión negativa-resistencia (OHMS), mientras que en la segunda se relaciona a la lectura medida en campo con el porcentaje aproximado de agua en el suelo (también llamado porcentaje de la reserva potencial total, reserva de humedad o humedad disponible en el suelo) o en su defecto la lectura medida en campo con el porcentaje de agua ya usado por las plantas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. PRUEBAS DE INFILTRACIÓN

La totalidad de los datos recogidos dentro del periodo seco (agosto), ordenados en sus respectivas tablas y expresados en sus gráficas, se encuentran en el Anexo 2. Como ya se detalló en la “metodología de gabinete - inciso a”;

la pendiente de la recta resultante en cada gráfica de dispersión (“b”) es equivalente al valor de “infiltración”, evaluado durante los dos primeros minutos del ensayo. Debido a esto, “b” solo podrá obtener valores mayores a cero (como mínimo) o menores que la unidad (como máximo) y sus resultados se expresarán en “cm/seg^{0.5}”.

Es pertinente enunciar previamente que, no se evidenció una relación, sea directa o inversamente proporcional, en la variación de los valores de infiltración respecto a la variación en “altitud” o con la variación en la combinación “altitud - uso de suelo”. Todas las demás posibles combinaciones de relaciones entre la infiltración y las variables en intervención (uso de suelo, rango altitudinal y pendiente fisiográfica) se muestran a continuación:

1.1. RESULTADOS SEGÚN LA TRIPLE INTERACCIÓN: USO DE SUELO//ALTITUD//PENDIENTE FISIOGRAFICA

En la Tabla 9 se detalla los resultados de infiltración (cm/seg^{0.5}) de los 27 puntos evaluados, según la relación entre esta y los 3 factores en intervención (uso de suelo, altitud y pendiente)

Tabla 9: Totalidad de puntos evaluados de infiltración

<i>Uso de suelo//Altitud//Pendiente fisiográfica</i>	Código	Infiltración (cm/seg^{0.5}) (0-1)
Parte alta del bosque intervenido con pendiente fisiográfica alta	BA1	0.66
Parte alta del bosque intervenido con pendiente fisiográfica media	BA2	0.25
Parte alta del bosque intervenido con pendiente fisiográfica baja	BA3	0.17
Parte media del bosque intervenido con pendiente fisiográfica alta	BM1	0.39
Parte media del bosque intervenido con pendiente fisiográfica media	BM2	0.22
Parte media del bosque intervenido con pendiente fisiográfica baja	BM3	0.13
Parte baja del bosque intervenido con pendiente fisiográfica alta	BB1	0.48
Parte baja del bosque intervenido con pendiente fisiográfica media	BB2	0.35
Parte baja del bosque intervenido con pendiente fisiográfica baja	BB3	0.29
Parte alta del pastizal parcialmente compactado por ganadería con pendiente fisiográfica alta	PA1	0.43
Parte alta del pastizal parcialmente compactado por ganadería con pendiente fisiográfica media	PA2	0.40
Parte alta del pastizal parcialmente compactado por ganadería con pendiente fisiográfica baja	PA3	0.22
Parte media del pastizal parcialmente compactado por ganadería con pendiente fisiográfica alta	PM1	0.50
Parte media del pastizal parcialmente compactado por ganadería con pendiente fisiográfica media	PM2	0.39
Parte media del pastizal parcialmente compactado por ganadería con pendiente fisiográfica baja	PM3	0.26
Parte baja del pastizal parcialmente compactado por ganadería con pendiente fisiográfica alta	PB1	0.38
Parte baja del pastizal parcialmente compactado por ganadería con pendiente fisiográfica media	PB2	0.37
Parte baja del pastizal parcialmente compactado por ganadería con pendiente fisiográfica baja	PB3	0.37
Parte alta del cultivo de papas en andenes agrícolas con pendiente fisiográfica alta	AA1	0.31
Parte alta del cultivo de papas en andenes agrícolas con pendiente fisiográfica media	AA2	0.23
Parte alta del cultivo de papas en andenes agrícolas con pendiente fisiográfica baja	AA3	0.17
Parte media del cultivo de papas en andenes agrícolas con pendiente fisiográfica alta	AM1	0.23
Parte media del cultivo de papas en andenes agrícolas con pendiente fisiográfica media	AM2	0.22
Parte media del cultivo de papas en andenes agrícolas con pendiente fisiográfica baja	AM3	0.40
Parte Baja del cultivo de papas en andenes agrícolas con pendiente fisiográfica alta	AB1	0.22
Parte baja del cultivo de papas en andenes agrícolas con pendiente fisiográfica media	AB2	0.38
Parte baja del cultivo de papas en andenes agrícolas con pendiente fisiográfica baja	AB3	0.36

- Tomando como referencia el rango de valores óptimos establecido por Alegre en el 2013 (0.45-0.55 cm/seg^{0.5}), únicamente los resultados provenientes de los puntos: “Parte alta del bosque intervenido con pendiente fisiográfica alta”; “Parte media del pastizal parcialmente compactado por ganadería con pendiente fisiográfica alta” y “Parte baja del bosque intervenido con pendiente fisiográfica alta” serían considerados como poseedores de una óptima infiltración, siendo (0.66 cm/seg^{0.5}) (0.50 cm/seg^{0.5}) y (0.48 cm/seg^{0.5}) los respectivos valores de esta.
- Si bien los 3 resultados con valores óptimos de infiltración provienen de dos diferentes usos de suelo (Bosque intervenido y Pastizal parcialmente compactado por ganadería) y de dos rangos altitudinales distintos (parte alta y media), todos comparten el mismo rango de pendiente fisiográfica, la cual es de tipo alta (>60°).
- No se presentó ningún valor óptimo de infiltración en ningún punto muestreado del uso de suelo “Cultivo de papas en andenes agrícolas”.

Reyes (2014) utilizó el método del cilindro infiltrómetro individual para determinar la infiltración en diferentes sistemas de uso del suelo ubicados en el IRD Fundo la Génova (Chanchamayo, Junín, Selva Central), obteniendo una infiltración promedio de (0.42 cm/seg^{0.5}) para la plantación de *Tectona grandis* de 28 años de edad con altitud aproximada de (850 m.s.n.m) y 27° de pendiente fisiográfica ; (0.49 cm/seg^{0.5}) para los cítricos con altitud aproximada de (850 m.s.n.m) y 8° de pendiente fisiográfica ; (0.39 cm/seg^{0.5}) para la plantación agroforestal con 6 años de abandono (*Coffea arábica* e *Inga edulis*), altitud aproximada de (900 m.s.n.m) y 6° de pendiente fisiográfica. Si bien es difícil poder realizar una comparación con estos resultados (a causa de la falta de especificación de la época del año en que se levantó la información, así como diferencias considerables en zonas de vida, fisiografía, hidrología, suelos y sobretodo por la falta de semejanza entre los sistemas de uso de suelo comparados) es uno de los pocos registros en el que se relaciona y compara la infiltración de diferentes sistemas de uso del suelo mediante la misma metodología en campo (uso del cilindro infiltrómetro individual).

A continuación se detallan las gráficas de dispersión de los 3 puntos evaluados que obtuvieron valores óptimos de infiltración, en orden descendente:

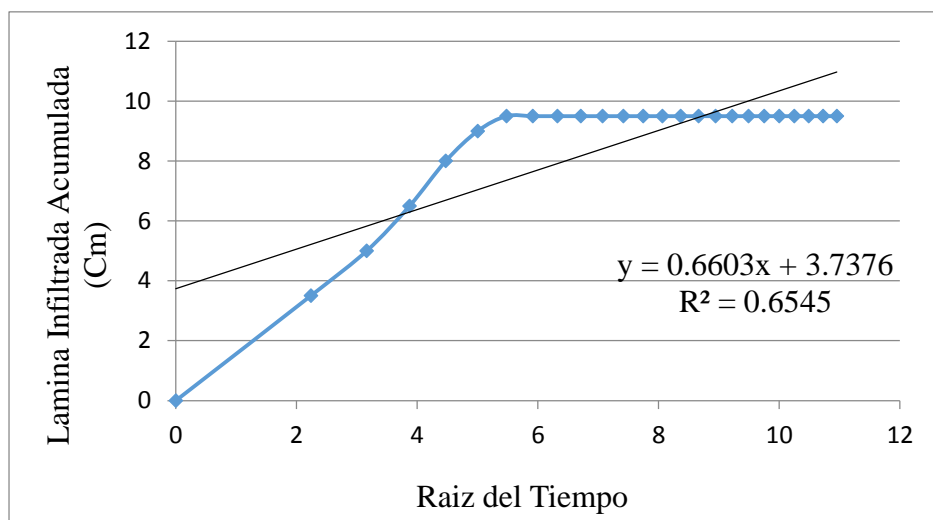


Figura 23: Uso de suelo Bosque intervenido, zona Alta (> 4070 m.s.n.m), pendiente fisiográfica Alta (>60°)

El mayor valor de “infiltración o pendiente de la recta resultante en la gráfica de dispersión” ($b = 0.66 \text{ cm/seg}^{0.5}$) se dio en la parte alta del uso de suelo Bosque intervenido (>4070 m.s.n.m), con una pendiente fisiográfica mayor a 60 grados.

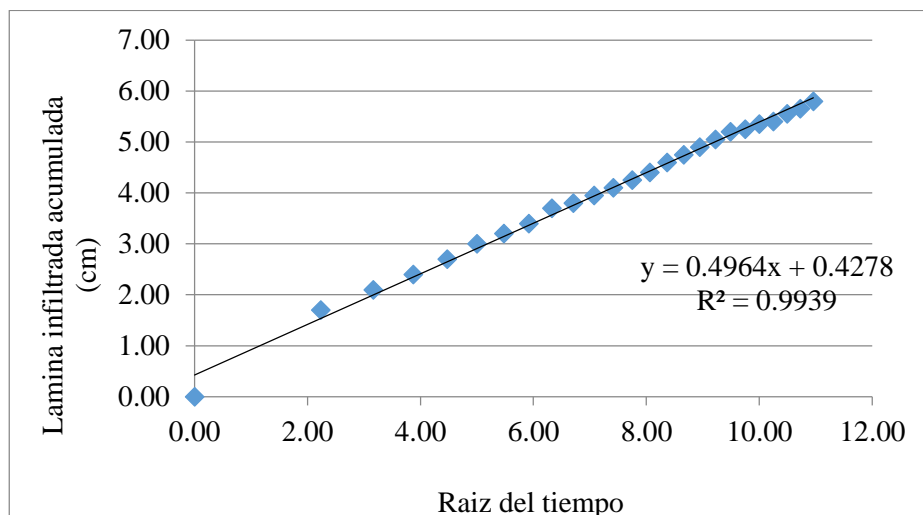


Figura 24: Pastizal parcialmente compactado por ganadería - Zona Media (3800-3900 m.s.n.m) - pendiente fisiográfica Alta (>60°)

($0.50 \text{ cm/seg}^{0.5}$) fue el segundo mayor valor de “infiltración o pendiente de la recta resultante en la gráfica de dispersión”, dado en el uso de suelo “Pastizal parcialmente compactado por ganadería”, en la zona media del mismo (3800-3900 m.s.n.m) y con una pendiente fisiográfica de tipo alta (mayor a 60°). Este valor pertenece al valor intermedio de los valores óptimos sugeridos por Alegre ($0.45\text{-}0.55 \text{ cm/seg}^{0.5}$).

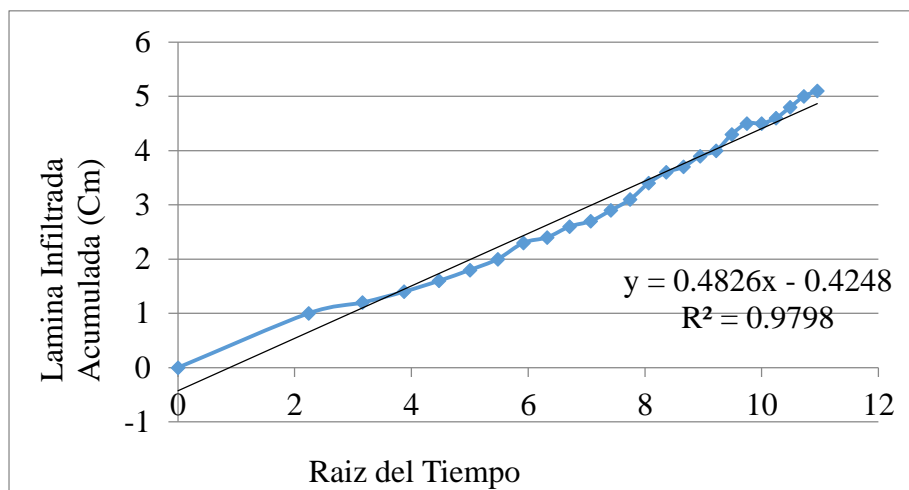


Figura 25: Uso de suelo Bosque intervenido, zona Baja (3999-3950), pendiente fisiográfica Alta ($>60^\circ$)

De la misma manera, el uso de suelo “Bosque intervenido en su zona media con alta pendiente fisiográfica”, obtuvo el tercer y último valor más alto de infiltración, siendo este de ($0.48 \text{ cm/seg}^{0.5}$).

1.2. RESULTADOS SEGÚN: USO DE SUELO

- Al total de puntos evaluados (27) se le dividió en 3 grupos de 9 (división por uso de suelo: Bosque intervenido; Pastizal parcialmente compactado por ganadería y Cultivo de papas en andenes agrícolas) y, en cada uno de estos se calculó el promedio de infiltración. Como resultado se obtuvo que: el pastizal parcialmente compactado por ganadería obtuvo el mayor promedio con ($0.37 \text{ cm/seg}^{0.5}$) de infiltración, seguido por el bosque intervenido con ($0.33 \text{ cm/seg}^{0.5}$) y finalmente los cultivos de papas en andenes agrícolas con ($0.28 \text{ cm/seg}^{0.5}$).

Blas y Mejia (2014) declaran que, la materia orgánica en el suelo es la responsable de brindar energía a los microorganismos, los cuales son los primeros responsables de la agregación del mismo. A su vez, si se presenta mayor cantidad de materia orgánica en determinado suelo, posteriormente se generará una mayor producción de ácidos fúlvicos y húmicos, los cuales al igual que los microorganismos, se encargan de estabilizar la estructura del suelo. Es así que, a los microorganismos y a los mayores contenidos de materia orgánica se les considera “inhibidores de la destrucción de los agregados”. Estos agregados al no destruirse, mantienen una adecuada estructura dentro del suelo, que desencadena en una mayor capacidad de infiltración. Finalmente Díaz (2007; citado por Blas y Mejia, 2014) añade que, la materia orgánica favorece la producción de porosidad y en consecuencia, la capacidad de infiltración.

En síntesis, a mayor cantidad de materia orgánica, mayor cantidad de infiltración en el suelo, sea por ser fuente de alimento para los microorganismos en constante movimiento, por la producción de ácidos fúlvicos-húmicos o por generar vacíos al descomponerse.

- Los resultados son coherentes con la teoría expuesta ya que el uso “pastizal parcialmente compactado por ganadería” (infiltración de 0.37 cm/seg^{0.5}) evidenció un promedio de materia orgánica de 6.2 por ciento, mientras que el “bosque intervenido” (infiltración de 0.33 cm/seg^{0.5}) presentó 6.0 por ciento y, finalmente el uso de suelo “cultivo de papas en andenes agrícolas” (infiltración de 0.28 cm/seg^{0.5}). obtuvo en promedio 4.2 por ciento de materia orgánica.

Como se menciona también en el resultado (2.1.1.c), el mayor contenido de materia orgánica presente en el pastizal (en contraste con los otros usos de suelo) pudo deberse por dos razones: las características propias de las pasturas de la zona, cuyos ciclos vegetativos cortos permiten la acumulación de considerables cantidades de materia orgánica en los primeros centímetros del suelo, proveniente de la abundante cantidad de raicillas que estos presentan. En segunda instancia, a la mayor ocurrencia y cantidad de excrementos de ganado distribuidos a lo largo de toda el área, los cuales son una de las fuentes principales de materia orgánica en suelos intervenidos.

1.3. RESULTADOS SEGÚN: PENDIENTE FISIOGRÁFICA

- Al total de puntos evaluados (27) se le dividió en 3 grupos de 9 (división por tipo de pendiente fisiográfica: alta, media y baja) y en cada uno de estos se determinó el

promedio de infiltración, obteniéndose valores de infiltración de (0.40 cm/seg^{0.5}) para los puntos evaluados con pendiente fisiográfica tipo “alta”; (0.31 cm/seg^{0.5}) para el promedio de puntos con pendiente fisiográfica tipo “media” y, finalmente (0.26 cm/seg^{0.5}) para el promedio de puntos que se encuentran dentro de la clasificación pendiente fisiográfica “Baja”.

Si bien ninguno de los 3 promedios se encuentra dentro de la clasificación de valores óptimos de infiltración propuesta por Alegre (0.45 – 0.55 cm/seg^{0.5}), sí se encuentra una relación (de tipo directamente proporcional) entre la pendiente fisiográfica y la infiltración. En otras palabras, a mayor pendiente fisiográfica se presentó mayor infiltración.

Por otro lado, este resultando se ve fuertemente influenciado por datos recogidos en el uso de suelo “cultivo de papas en andenes agrícolas”, cuya clasificación de “pendiente” no fue similar a la utilizada en los otros dos usos de suelo a causa de que los cultivos no se siembran en pendientes muy altas o pronunciadas. Por tal motivo, si evaluamos los resultados según “pendiente fisiográfica”, tomando en cuenta únicamente los datos provenientes de los usos de suelo “bosque intervenido” y “pastizal parcialmente compactado por ganadería”, se obtiene que:

- la infiltración resultante sería de: (0.47 cm/seg^{0.5}) para el promedio de puntos con “alta pendiente fisiográfica”, mientras que para el promedio de puntos con “pendiente fisiográfica media” la infiltración tomaría el valor de (0.33 cm/seg^{0.5}) y finalmente, el promedio de infiltración proveniente de los puntos que presentaron “baja pendiente fisiográfica” resultaría ser (0.24 cm/seg^{0.5}). De esta manera, el promedio de los valores con “alta pendiente fisiográfica” (0.47 cm/seg^{0.5}) sí ingresa dentro del rango denominado “óptimo”.

1.4. RESULTADOS SEGÚN PENDIENTE FISIOGRÁFICA DE CADA USO DE SUELO

De los 27 resultados de infiltración en total, se reordenaron y promediaron según similitud del tipo de pendiente fisiográfica en relación al uso de suelo, lo cual se resume en la Tabla 10:

Tabla 10: Promedio de infiltración según pendiente fisiográfica por cada uso de suelo

<i>Prom. Inf. (cm/seg^{0.5}) (Pendiente fis./Uso)</i>	<i>Bosque intervenido</i>	<i>Pastizal parcialmente compactado por ganadería</i>	<i>Cultivo de papas en andenes agrícolas</i>
Pendiente Alta	0.44	0.51	0.25
Pendiente Media	0.38	0.27	0.28
Pendiente Baja	0.28	0.20	0.31

- Para los usos de suelo “bosque intervenido” y “pastizal parcialmente compactado por ganadería”, los valores promedio de infiltración incrementan a medida que la pendiente se hace más pronunciada. Esta relación directa no se manifiesta en el cultivo de papas en andenes agrícolas muy probablemente porque la diferenciación entre rangos de pendiente para dicho cultivo no fue significativa, por la propia naturalidad de la instalación del cultivo.

1.5. RESULTADOS SEGÚN RANGO ALTITUDINAL POR CADA TIPO DE PENDIENTE FISIAGRÁFICA

Los 27 resultados de infiltración, agrupados y promediados por similitud de “rango altitudinal” (es decir, manteniendo esta variable de manera estática) y “tipo de pendiente fisiográfica”, se muestran a continuación en la Tabla 11:

Tabla 11: Infiltración según rango altitudinal por cada tipo de pendiente fisiográfica

<i>Prom. Inf. (cm/seg^{0.5}) (Altitud//Pendiente fisiográfica)</i>	<i>Pendiente fisiográfica Alta</i>	<i>Pendiente fisiográfica Media</i>	<i>Pendiente fisiográfica Baja</i>
Parte Alta	0.47	0.29	0.19
Parte Media	0.36	0.36	0.34
Parte Baja	0.37	0.28	0.26

- La Tabla 11 evidencia que, los resultados de infiltración poseen una relación cien por ciento directa al asociar el rango altitudinal y pendiente fisiográfica. Es decir, a medida

que la pendiente fisiográfica es mayor (dentro de cada rango altitudinal) el valor de la infiltración también se hace mayor.

- Esta relación entre “la altitud” y el “tipo de pendiente fisiográfica”, es la única (entre todas las combinaciones posibles de los 3 parámetros evaluados) en la que, el parámetro “altitud” permite generar una relación (en este caso, directamente proporcional) con los resultados de la infiltración, gracias a que actúa en compañía e influencia de la “pendiente fisiográfica”. Sin embargo, no se encontró relación alguna a mayor o menor altitud dentro de cada rango de pendiente.

1.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS DE INFILTRACIÓN - DISEÑO FACTORIAL 3³ PROYECTADO

Si bien los resultados pudieron ser representados en los pasos anteriores, para que estos posean un sustento científico es pertinente aplicar un diseño estadístico. De esta manera se disminuye la probabilidad al error al momento de buscar una causa para los resultados obtenidos. Además, la aplicación de un diseño estadístico, busca determinar qué factor (A: Uso de suelo; B: Altitud y C: Pendiente fisiográfica) o qué combinación de estos (AB; AC; BC; ABC) presentó mayor grado de influencia (generó más efectos – mayor respuesta significativa) en los resultados de infiltración, como también permite detectar cuales factores (o combinación de ellos) no generaron efectos significativos en los resultados obtenidos.

El diseño factorial 3³ es una aplicación del diseño 3^k en donde se tiene la existencia de tres factores en estudio (A: Uso de suelo; B: Altitud y C: Pendiente fisiográfica) y cada factor posee tres niveles (Bosque intervenido, Pastizal parcialmente compactado por ganadería y Cultivo de papas en andenes, como niveles del factor A; Parte alta, media y baja como niveles del factor B; Pendiente alta, media y baja como niveles del factor C).

Estadísticamente, a cada uno de los 3 factores le corresponde 2 grados de libertad. En el caso de las interacciones de factores AB (Uso de suelo con Altitud), AC (Uso de suelo con Pendiente fisiográfica) y BC (Altitud con Pendiente fisiográfica) le corresponden 4 grados de libertad, mientras que a la interacción ABC (Uso de suelo – Altitud – Pendiente fisiográfica), 8 grados de libertad. Finalmente, si suponemos que se desarrollaron “n” réplicas en total, los grados de libertad que le corresponden al error son 3³(n-1) grados de libertad.

En el presente estudio únicamente se desarrolló un ensayo-prueba de infiltración por cada uno de los 27 puntos levantados (en términos estadísticos, no hubo réplicas o repeticiones).

Tabla 12: Distribución de grados de libertad para el diseño 3^3

<i>Factores e interacciones</i>	<i>Grados de libertad</i>
A	2
B	2
C	2
AB	4
AC	4
BC	4
ABC	8
Error	$3^3(n-1)$
Total	26

Uno de los riesgos estadísticos que se corre al realizar levantamientos de información sin réplicas en los puntos evaluados de un estudio experimental, es que la respuesta será sumamente variable y en efecto, las conclusiones pueden resultar engañosas. En otras palabras, sin réplicas no es posible hallar una estimación para el error estadístico. Sin embargo, una forma de desarrollar un análisis para esta condición es suponer que algunas interacciones de factores de orden superior son insignificantes, tomándose la decisión estadística de combinar sus cuadrados medios para así conformar el cuadrado medio del error en el análisis de varianza a desarrollarse.

1.6.1. PROYECCION DEL DISEÑO

La proyección de un diseño (en este caso para el diseño factorial 3^k) es de utilidad para levantamientos de información en los cuales no se generaron repeticiones de ensayos en cada punto evaluado ya que cuando esto sucede, los grados de libertad que le corresponde al “error estadístico” resultan ser cero [$G.L.Error = 3^3(n-1)$; con “ $n = 1$ ”, siendo “ n ” el número de réplicas o repeticiones en un mismo punto].

Debido a que el “error estadístico” no puede ser nulo (toda investigación posee un margen de error) la proyección del diseño permite realizar un ajuste estadístico al proporcionarle al “error estadístico” los “grados de libertad” del factor que manifiesta un “efecto

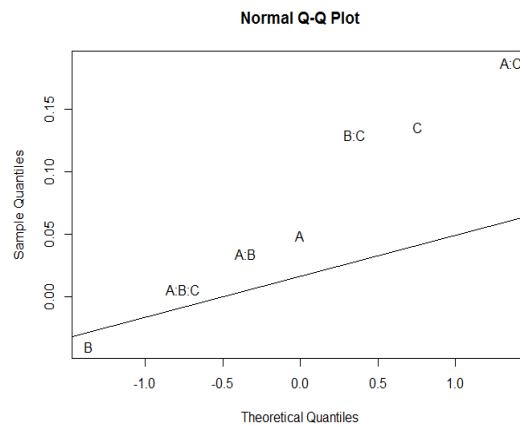
insignificante” sobre el parámetro evaluado (en este caso, los grados de libertad del factor ABC). De esta manera el error estadístico ya posee grados de libertad y así la estadística puede desarrollarse.

Tabla 13: Efectos resultantes de la proyección del diseño

FACTORES	EFFECTOS DE LOS FACTORES	Grados de libertad
A	0.049	2
B	-0.039	2
C	0.135	2
A:B	0.035	4
A:C	0.187	4
B:C	0.129	4
A:B:C	0.006	8

La estadística arrojó a los efectos de la interacción de factores “AC” (Uso de suelo – Pendiente fisiográfica) como los de mayor valor (significancia), seguido del factor “C” (Pendiente fisiográfica); la interacción “BC” (Altitud – Pendiente fisiográfica) y finalmente el factor “A” (Uso de suelo). Estos resultados pueden ser apreciados no solo de manera tabular, sino también de forma gráfica, la cual se denomina “gráfica de probabilidad normal de las estimaciones de los efectos resultantes de la proyección del diseño”, mostrada a continuación en la Figura 26:

Figura 26: Gráfica de probabilidad normal de las estimaciones de los efectos resultantes de la proyección del diseño



Los efectos que son insignificantes siguen una distribución normal con media cero y varianza conocida y, tenderán a colocarse cerca a la línea recta en esta gráfica, mientras que los efectos significativos tendrán medias diferentes de cero y no se localizarán próximos a la línea recta.

1.6.2. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANVA)

El objetivo del ANVA es determinar el nivel de significancia estadística presente en los factores (A, B, C) e interacción de factores (AB, AC, BC, ABC) en relación a la infiltración.

En la Tabla 14 se detallan los resultados del análisis de varianza de cada factor (A, B, C) y combinación de factores (BC, AC, AB y ABC), en cuyos casos el “P.VALOR” determina si hay o no significación estadística y este a su vez, indica a qué nivel de significancia pertenecen, sea al 10, 5 o incluso al 1 por ciento. Además, el coeficiente de variabilidad resultante fue de 20.33 por ciento, encontrándose dentro del límite permitido para este tipo de investigaciones. (C.V < 30 por ciento).

Tabla 14: ANVA resultante de los factores e interacciones

<i>F.V</i>	<i>G.L</i>	<i>S.C</i>	<i>C.M</i>	<i>F.cal</i>	<i>P.valor</i>	<i>Significación estadística</i>
A	2	0.036	0.018	4.115	5.90%	.
B	2	0.013	0.007	1.532	27.33%	ns
C	2	0.084	0.042	9.707	0.73%	**
BC	4	0.117	0.029	6.716	1.13%	*
AC	4	0.055	0.014	3.179	7.69%	.
AB	4	0.028	0.007	1.632	25.72%	ns
Error	8	0.035	0.004			
Normalidad de errores				0.421		
Homogeneidad de varianzas				0.151		
Coeficiente de variabilidad (%)				20.33		

Tabla 15: Interpretación del nivel de significancia según el Pvalor

<i>Símbolo</i>	<i>Interpretación</i>
ns	No significativo
.	Sig. al 10% de probabilidad
*	Sig. al 5% de probabilidad
**	Sig. al 1% de probabilidad

a. Significación estadística

De las Tablas 14 y 15 se deduce que existe significación estadística para los factores (A) y (C), así como en las interacciones de factores (BC) y (AC).

b. Nivel de significancia

- A un nivel de significación de 10 por ciento de error se afirma que, el efecto proveniente del factor “Uso de suelo (A)” y el efecto combinado de los factores “Uso de suelo - Pendiente fisiográfica (AC)” son significativos (poco probables que provengan del azar) sobre la infiltración. En términos “no” estadísticos se puede interpretar como: “existe menos del 10 por ciento de probabilidades de equivocarse al decir que el factor “Uso de suelo (A)” o el efecto combinado de los factores “Uso de suelo - Pendiente fisiográfica (AC)”, hayan influenciado a los resultados de infiltración.

- A un nivel de significación de 5 por ciento de error se puede aseverar que; el efecto combinado que genera la “Altitud – Pendiente fisiográfica (BC)” es significativo sobre la infiltración.
- A un nivel de significación del 1 por ciento de error se puede asegurar que el efecto de la “Pendiente fisiográfica (C)” es significativo sobre la infiltración.

c. Decisión entre ANVA para efectos principales (A, B, C) o ANVA para efectos simples (AB, AC, BC, ABC)

Si uno o más factores de entre todos los presentes (A, B, C) hubiese(n) resultado ser estadísticamente significativo(s) y además, ninguna de entre las posibles interacciones de estos (AB, BC, AC, ABC) fuese así, el siguiente paso del análisis se denominaría “Análisis de varianza para efectos PRINCIPALES”.

Por el contrario, si al menos una “interacción de factores” (de entre todas las presentes: AB, BC, AC o ABC) hubiese resultado significativa (sin importar que al menos un “factor”: A, B o C también resulte así), el paso siguiente sería denominado “Análisis de varianza para efectos SIMPLES”. Además, en este último tipo de análisis, solo se trabajaría con las “interacciones de factores” que resulten con significancia estadística y no con todas las posibles “interacciones”. A su vez, al desarrollar un análisis de varianza para efectos simples los “factores” (A, B, y C) ya se encuentran incluidos.

A causa de que las “interacciones de factores” BC (Altitud – Pendiente fisiográfica) y AC (Uso de suelo – Pendiente fisiográfica) resultaron ser significativas al 10 por ciento de error, se procede a realizar el denominado “Análisis de varianza para efectos SIMPLES”, únicamente para estas dos interacciones.

1.6.3. COMPARACIONES SIMPLES PARA EFECTOS SIMPLES (BC & AC)

Lo que se pretende con este análisis es evaluar la ocurrencia de posibles diferencias estadísticamente significativas generadas en las “interacciones de factores” que resultaron previamente significativas, siempre y cuando en cada una de estas interacciones se mantenga a uno de los factores “de manera fija” (Ejm : mantener al factor “C”-“pendiente fisiográfica”, sin especificar si este es una pendiente alta, media o baja) mientras que al otro factor de la interacción sí se le separe en todas sus posibilidades.

Debido a que previamente se determinó que, las interacciones de factores “BC” (Altitud – Pendiente fisiográfica) y “AC” (Uso de suelo – Pendiente fisiográfica) fueron las significantes, se trabajará solo con las combinaciones posibles arrojadas por estos (anclando uno y segregando el otro). En la Tabla 16 se presenta la nueva simbología y significado:

Tabla 16: Combinaciones posibles de las interacciones BC y AC

BC	AC
B C1	A C1
B C2	A C2
B C3	A C3
C B1	C A1
C B2	C A2
C B3	C A3

Donde:

Símbolo	Significado
A	Uso de suelo
A1	Cultivo de papas en andenes agrícolas
A2	Pastizal parcialmente compactado por ganadería
A3	Bosque intervenido
B	Altitud
B1	Altura baja
B2	Altura media
B3	Altura alta
C	Pendiente fisiográfica
C1	Pendiente fisiográfica baja
C2	Pendiente fisiográfica media
C3	Pendiente fisiográfica alta

Posteriormente, en la Tabla 17 se detallan los resultados del análisis de varianza para “efectos simples” a un nivel de significación del 5 por ciento, proveniente únicamente de las interacciones de factores AC (uso de suelo - pendiente fisiográfica) y BC (altitud - pendiente fisiográfica):

Tabla 17: Anava de efectos simples (BC & AC)

	<i>F.V</i>	<i>G.L</i>	<i>S.C</i>	<i>C.M</i>	<i>F.c</i>	<i>F.tab</i>	<i>Significación estadística</i>
BC	B C1	4	0.035	0.009	2.020	3.840	ns
	B C2	4	0.013	0.003	0.761	3.840	ns
	B C3	4	0.020	0.005	1.167	3.840	ns
	C B1	4	0.001	0.000	0.060	3.840	ns
	C B2	4	0.020	0.005	1.172	3.840	ns
	C B3	4	0.118	0.030	6.804	3.840	*
	Error	8	0.035	0.004			
	<i>F.V</i>	<i>G.L</i>	<i>S.C</i>	<i>C.M</i>	<i>F.c</i>	<i>F.tab</i>	<i>Símbolo</i>
AC	A C1	4	0.021	0.005	1.191	3.840	ns
	A C2	4	0.024	0.006	1.371	3.840	ns
	A C3	4	0.108	0.027	6.215	3.840	*
	C A1	4	0.006	0.001	0.327	3.840	ns
	C A2	4	0.037	0.009	2.134	3.840	ns
	C A3	4	0.159	0.040	9.114	3.840	*
	Error	8	0.035	0.004			

De la Tabla 17 se desprende que, a un nivel de significación del 5 por ciento se puede afirmar que:

- Para una “altura alta” (B3), el efecto en al menos un tipo de “pendiente fisiográfica” (C) difiere de los demás.
- Para una “pendiente fisiográfica alta” (C3) el efecto en al menos un “uso de suelo” (A) difiere de los demás.
- Para un uso de suelo “bosque intervenido” (A3), el efecto en al menos un tipo de “pendiente fisiográfica” (C) difiere de los demás.
- Para el resto de efectos simples, las pruebas resultaron no significativas (altamente probables de que provengan del azar).

1.6.4. COMPARACIONES MULTIPLES PARA EFECTOS SIMPLES (BC & AC)

Al igual que las comparaciones simples, este análisis pretende evaluar las posibles diferencias significativas generadas en las “interacciones de factores” que resultaron previamente significativas. Sin embargo, este análisis se desarrollará siempre y cuando en cada una de las “interacciones de factores” (casos BC y AC) ningún factor se mantenga fijo

para así, expandir todas las posibles combinaciones y determinar en cual de ellas se encuentran diferencias significativas.

Por lo tanto, las interacciones de factores BC (Altitud – Pendiente fisiográfica) y AC (Uso de suelo – Pendiente fisiográfica) pueden generar todas las siguientes alternativas, expresadas en la Tabla 18 (se mantiene la codificación descrita en la Tabla 16):

Tabla 18: Total de alternativas de BC y AC

BC	B C 1	B 1 C 1	AC	A C 1	A 1 C 1
		B 2 C 1			A 2 C 1
		B 3 C 1			A 3 C 1
	B C 2	B 1 C 2		A C 2	A 1 C 2
		B 2 C 2			A 2 C 2
		B 3 C 2			A 3 C 2
	B C 3	B 1 C 3		A C 3	A 1 C 3
		B 2 C 3			A 2 C 3
		B 3 C 3			A 3 C 3
	C B 1	C 1 B 1		C A 1	C 1 A 1
		C 2 B 1			C 2 A 1
		C 3 B 1			C 3 A 1
	C B 2	C 1 B 2		C A 2	C 1 A 2
		C 2 B 2			C 2 A 2
		C 3 B 2			C 3 A 2
C B 3	C 1 B 3	C A 3	C 1 A 3		
	C 2 B 3		C 2 A 3		
	C 3 B 3		C 3 A 3		

De todas ellas, únicamente dentro de las combinaciones “C B3”; “C A2” y “C A3” se presentaron diferencias significativas, lo cual se muestra a continuación en las Tablas 19 y 20:

Tabla 19: Comparación BC significativa

C b3		
Nivel C	Promedio	Sig
C1 B3	0.1870	x
C2 B3	0.2945	x
C3 B3	0.4655	y

- Para una altura alta (B3), existen diferencias significativas al 5 por ciento entre una pendiente fisiográfica baja (C1) y una pendiente fisiográfica alta (C3), así como entre una pendiente fisiográfica media (C2) y una pendiente fisiográfica alta (C3) en la respuesta promedio.
- La pendiente fisiográfica alta (C3) en conjunto con la altura alta (B3) fueron los que obtuvieron mayor respuesta (mejor valor de infiltración).

Tabla 20: Comparaciones AC significativas

C A2			C A3		
Nivel C	Promedio	Sig	Nivel C	Promedio	Sig
C1 A2	0.2817	x	C1 A3	0.1976	X
C2 A2	0.3845	xy	C2 A3	0.2756	X
C3 A2	0.4362	y	C3 A3	0.5100	Y

En el caso (C A2):

- Para el uso de suelo “Pastizal parcialmente compactado por ganadería” (A2), existen diferencias significativas al 5 por ciento entre una pendiente fisiográfica baja (C1) y una pendiente fisiográfica alta (C3) en la respuesta promedio.
- No hay diferencia significativa entre una pendiente fisiográfica baja (C1) y media (C2), como tampoco entre una pendiente fisiográfica media (C2) y una pendiente fisiográfica alta (C3) para el uso de suelo “Pastizal parcialmente compactado por ganadería” (A2).

- La pendiente fisiográfica alta (C3) fue la que obtuvo mayor respuesta, en combinación con un uso de suelo “Pastizal parcialmente compactado por ganadería” (A2).

En el caso (C A3):

- Para un uso de suelo “Bosque intervenido” (A3), existe diferencia significativa al 5 por ciento entre una pendiente fisiográfica baja (C1) y una pendiente fisiográfica alta (C3), así como entre una pendiente fisiográfica media (C2) y una pendiente fisiográfica alta (C3) en la respuesta promedio.
- En el uso de suelo bosque intervenido (A3), la pendiente fisiográfica alta (C3) fue la que obtuvo mayor respuesta (mejor valor de infiltración).

Entre los casos (C A2) y (C A3):

- Al comparar el “pastizal parcialmente compactado por ganadería con pendiente fisiográfica alta” (A2 C3) en contraste con el “bosque intervenido con pendiente fisiográfica alta” (A3 C3), este último presentó mayor respuesta.

1.6.5. GRÁFICOS DE INTERACCIÓN PARA AC & BC

Al igual que en las comparaciones múltiples para los efectos simples (AC & BC), los gráficos de interacción tienen por objetivo permitir comprender y visualizar qué combinaciones específicas (dentro de cada grupo de factores) fueron las que presentaron mejor respuesta de la variable evaluada (infiltración). Para poder comprender estas gráficas se plasma la simbología utilizada en la Tabla 21:

Tabla 21: Nomenclatura de factores que intervienen en las gráficas de interacción

Simbología	A (Uso de suelo)	B (Altitud)	C (Pendiente fisiográfica)
-1	Cultivo de papas en andenes (A -1)	Baja (B -1)	Baja (C -1)
0	Pastizal (A 0)	Media (B 0)	Media (C 0)
1	Bosque intervenido (A 1)	Alta (B 1)	Alta (C 1)

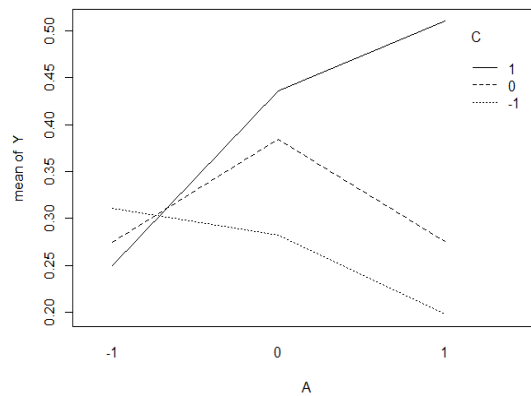


Figura 27: Gráfico de interacción AC

- En el gráfico de interacción AC (Uso de suelo – Pendiente fisiográfica) se puede observar que se obtiene una mayor respuesta con una pendiente fisiográfica alta (C 1) en un suelo de tipo “Bosque intervenido” (A 1), seguida de una pendiente fisiográfica alta (C 1) en un suelo de tipo “Pastizal parcialmente compactado por ganadería” (A 0).

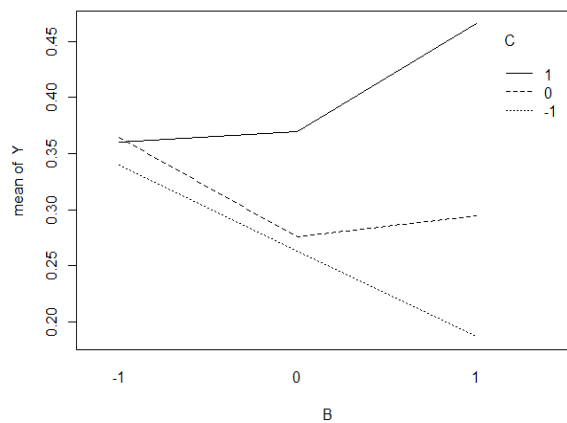


Figura 28: Gráfico de interacción BC

- En el gráfico de interacción BC (Altitud – Pendiente fisiográfica) se puede observar que, se obtiene una mayor respuesta con una “Pendiente fisiográfica alta” (C 1) y una “Altura

alta” (B 1), seguida de una “Pendiente fisiográfica alta” (C 1) con una “Altura media” (B 0).

2. RECOLECCIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELO

A continuación se muestran dos tablas resumen con todos los resultados obtenidos de las muestras de suelo, los cuales serán interpretados después de estas. La Tabla 22 muestra la capacidad de campo (Volumen en porcentaje); el punto de marchitez permanente (Volumen en porcentaje); las propiedades físicas según la textura del suelo; la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) y los contenidos de cationes cambiabes, mientras que la Tabla 23 detalla el potencial de hidrógeno (pH); la conductividad eléctrica (C.E.); el contenido de materia orgánica (porcentaje de M.O.); la cantidad de carbonatos de calcio; el contenido de fósforo y potasio disponibles; los contenidos de arena, limo y arcilla; la textura y la clase textural de cada muestra.

Tabla 22: Resultados de las muestras de suelo (parte 1)

Uso de suelo	Cód	C.C (%V)	P.M (%V)	Propiedades físicas según textura			C.I.C	Cationes cambiabes (meq/100g)				
				Adhesiv.	Infiltración	Aireación		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	(AL) ³⁺ + (H) ⁺
BOSQUE. I.	BA	25.7	14.6	Muy poco	Buena	Buena	17.1	11.9	1.0	0.4	0.2	0.0
	BM	28.9	16.6	Muy poco	Buena	Buena	21.8	13.9	1.0	0.5	0.1	0.0
	BB	27.6	15.9	Muy poco	Buena	Buena	19.1	12.5	1.0	0.5	0.2	0.0
PASTIZAL	PA	35.0	20.4	Media	Buena	Buena	22.1	6.0	1.0	1.6	0.1	0.4
	PM	30.6	17.6	Media	Buena	Buena	20.3	11.8	1.8	2.7	0.1	0.0
	PB	27.7	15.8	Media	Buena	Buena	17.3	9.9	1.5	1.7	0.1	0.0
CULTIVO	AA	26.0	14.8	Alta	Regular	Regular	18.6	12.1	1.8	0.8	0.1	0.1
	AM	27.1	15.5	Alta	Regular	Regular	18.2	13.7	1.7	1.5	0.1	0.0
	AB	25.6	14.5	Media	Buena	Buena	18.1	12.2	2.1	2.3	0.1	0.0

Tabla 23: Resultados de las muestras de suelo (parte 2)

Uso de suelo	Código	Fertilidad – características del suelo						Análisis mecánico			Textura	Clase textural	
		pH	C.E. (dS/m)	%M.O	CaCO ₃	P (ppm)	K (ppm)	Arena	Limo	Arcilla			
BOSQUE. I.	BA	6.1	0.1	3.6	0.0	4.8	452.0	73.0	20.0	7.0	Gruesa	Arenoso Franco	S. Arenoso
	BM	6.2	0.1	6.6	0.0	9.4	536.0	73.0	22.0	5.0	Gruesa	Arenoso Franco	S. Arenoso
	BB	5.5	0.1	7.8	0.0	13.0	1302.0	72.0	22.0	6.0	Gruesa	Arenoso Franco	S. Arenoso
PASTIZAL	PA	5.4	0.1	7.5	0.0	33.7	224.0	63.0	30.0	7.0	Moderadamente Gruesa	Franco Arenoso	S. Franco
	PM	6.3	0.3	6.5	0.0	58.4	738.0	59.0	28.0	13.0	Moderadamente Gruesa	Franco Arenoso	S. Franco
	PB	6.1	0.2	4.6	0.0	29.6	359.0	53.0	28.0	19.0	Moderadamente Gruesa	Franco Arenoso	S. Franco
CULTIVO	AA	5.4	0.2	3.6	0.0	9.0	132.0	53.0	24.0	23.0	Moderadamente Fina	Franco Arcilloso Arenoso	S. Franco
	AM	6.1	0.4	4.1	0.0	23.6	125.0	53.0	26.0	21.0	Moderadamente Fina	Franco Arcilloso Arenoso	S. Franco
	AB	6.0	0.3	4.8	0.0	34.8	119.0	59.0	24.0	17.0	Moderadamente Gruesa	Franco Arenoso	S. Franco

2.1. CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL SUELO

2.1.1. ANÁLISIS DE FERTILIDAD DEL SUELO

Se entiende por análisis de fertilidad del suelo aquel que toma en consideración los resultados e interpretaciones relacionadas con: el potencial de hidrógeno (pH); la conductividad eléctrica (C.E.); el porcentaje de materia orgánica; el contenido de carbonato de calcio (CaCO₃) y la cantidad, en partes por millón, de fósforo (P) y potasio (K).

Los siguientes resultados fueron obtenidos en el laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la facultad de agronomía de la UNALM.

a. Potencial de hidrógeno (pH)

Este parámetro fue medido en laboratorio utilizando un potenciómetro y manteniendo una relación (1:1) de agua y suelo. Se encarga de medir el grado de acidez o alcalinidad presente en un suelo, variando en un rango de cero a catorce (siendo ácido por debajo de siete y alcalino por encima de este). Además, su medición es importante porque nos da una idea de la fertilidad que posee el suelo, ya que su variación en este modifica el grado de solubilidad de los minerales y estos a su vez, solo pueden ser aprovechados por las plantas si se encuentran disueltos en el agua.

Ibáñez (2007) detalla una clasificación de la acidez-alcalinidad del suelo, según el rango de pH obtenido, la cual se observa a continuación:

Tabla 24: Grado de acidez - alcalinidad del suelo según rango de pH

Grado de acidez - alcalinidad	pH
Muy ácido	< 5.5
Ácido	< 6.5
Neutro	< 7.5
Básico o ligeramente alcalino	< 8.5
Muy alcalino	> 8.6

FUENTE: Ibáñez (2007)

Por otro lado, Marín (2003; citado por De los Ángeles, 2007) propone la siguiente clasificación:

Tabla 25: Clasificación del suelo según rango de pH

<i>pH</i>	<i>Clasificación</i>
03-04	Muy ácidos
04-05	Fuertemente ácidos
05-06	Moderadamente ácidos
06-07	Ligeramente ácidos
07-08	Ligeramente alcalinos
08-09	Moderadamente alcalinos
09-10	Fuertemente alcalinos
10-11	Muy alcalinos

FUENTE: Marín (2003; citado por De los Ángeles, 2007)

De la misma manera, el laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la facultad de agronomía de la UNALM, utiliza la siguiente clasificación:

Tabla 26: Ordenación del suelo según rango de pH

<i>Clasificación del suelo</i>	<i>pH</i>
Fuertemente ácido	< 5.5
Moderadamente ácido	5.6 - 6.0
Ligeramente ácido	6.1 - 6.5
Neutro	6.6 - 7.0
Ligeramente alcalino	7.1 - 7.8
Moderadamente alcalino	7.9 - 8.4
Fuertemente alcalino	> 8.5

FUENTE: Laboratorio de análisis de suelos de la UNALM

A continuación se precisan los resultados de pH obtenidos en el laboratorio:

Tabla 27: pH resultante en los tres rangos de altitud de cada uso de suelo

<i>Procedencia de la muestra</i>	<i>Código</i>	<i>pH (1:1)</i>
Pastizal parcialmente compactado por ganadería - parte Media	PM	6.26
Bosque intervenido - parte Media	BM	6.16
Pastizal parcialmente compactado por ganadería - parte Baja	PB	6.13
Cultivo de papas en andenes agrícolas - parte Media	AM	6.13
Bosque intervenido - parte Alta	BA	6.08
Cultivo de papas en andenes agrícolas - parte Baja	AB	6.03
Bosque intervenido - parte Baja	BB	5.51
Pastizal parcialmente compactado por ganadería - parte Alta	PA	5.41
Cultivo de papas en andenes agrícolas - parte Alta	AA	5.41

- Los resultados precedentes fueron clasificados de mayor a menor valor de pH, siendo la “parte media del pastizal parcialmente compactado por ganadería” la zona con el mayor valor (pH de 6.26), mientras que la “parte alta del pastizal parcialmente compactado por ganadería y del cultivo de papas en andenes agrícolas”, aquellos con el menor resultado (pH de 5.41).
- El valor de pH en los tres usos de suelo en general, varió entre (5.41–6.26), siendo el promedio de pH del pastizal parcialmente compactado por ganadería, bosque intervenido y cultivo de papas en andenes agrícolas de (5.93); (5.92) y (5.86), respectivamente.
- Es importante mencionar que, los 3 valores resultantes de menor pH (más salino) pertenecen a las 3 zonas con mayor presencia de ganado vacuno.

Según la Tabla 27 y relacionando lo expuesto por Ibáñez (2007), se puede decir que, el valor de pH de la parte media del pastizal parcialmente compactado por ganadería (pH de 6.26) refleja una acidez casi diez veces mayor a las resultantes de la parte alta del pastizal parcialmente compactado por ganadería y cultivo de papas en andenes agrícolas (pH de 5.41) a causa de poseer una diferencia de acidez cercana a la unidad (por cada unidad de cambio en pH hay un cambio diez veces en magnitud en la acidez o alcalinidad, según corresponda).

Relacionando los resultados con la clasificación propuesta por Ibáñez (2007), podemos decir que, los siete valores más altos pertenecen a la clasificación “ácidos”, mientras que los dos

valores restantes (parte alta del pastizal parcialmente compactado por ganadería y cultivo de papas en andenes agrícolas) ingresan como “muy ácidos”. Por otro lado, si estos resultados se relacionan con la propuesta de Marín (2003; citado por De los Ángeles, 2007) los seis valores más altos acceden a la clasificación “ligeramente ácidos” mientras que los tres valores restantes se denominan como “moderadamente ácidos”. Finalmente, si se considera la clasificación del suelo según el valor de pH utilizado por el laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la facultad de agronomía de la UNALM, los valores de acidez entre 6.10 - 6.50 (4 valores más altos) pertenece a suelos “ligeramente ácidos” (valores registrados en la parte media y baja del pastizal parcialmente compactados por ganadería así como en la parte media del bosque intervenido y cultivo de papas en andenes agrícolas), mientras que suelos “moderadamente ácidos” son aquellos con valores de pH de entre 5.60 - 6.09 (encontrándose la parte alta del bosque intervenido y baja de los cultivo de papas en andenes agrícolas). Finalmente, suelos “fuertemente ácidos” son aquellos que poseen un pH menor a 5.59 (como es el caso de la parte baja del bosque intervenido y las partes altas del pastizal parcialmente compactado por ganadería y de la zona con cultivo de papas en andenes agrícolas).

El resultado demuestra que, según lo expresado por Dorronsoro (s.f.), en seis de las nueve zonas evaluadas (exceptuando la parte baja del bosque intervenido y las partes altas del pastizal parcialmente compactado por ganadería y cultivo de papas en andenes agrícolas) se presentan las mejores condiciones para la asimilación de nutrientes y desarrollo de las plantas (por poseer un pH entre 6.0 y 7.5). Además, por lo expuesto por Bruns & Martin (1986; citado por Gonzales, 2014), en las mismas seis zonas se dan las deseables condiciones de abundancia y presencia de lombrices de tierra dentro del suelo, ya que esta condición sobresale en un rango de pH de (6.0-7.0). Ibáñez (2007) agrega que, si el pH de un suelo es fuertemente ácido, este puede ser corregido mediante el uso de enmiendas como la cal, lo cual se podría aplicar a la parte alta de los cultivo de papas en andenes agrícolas. Además manifiesta que, la condición de acidez de un suelo se da con mayor frecuencia en regiones con alta pluviometría, tal como ocurre en el bosque natural relicto de Japaní.

Finalmente, Gonzales (2014) en áreas boscosas plantadas con *Polylepis* de 11 y 29 años de edad del Parque Nacional Huascarán (Áncash), encontró un rango de pH de entre (4.45 - 4.58), por lo que se puede decir que estas áreas no se encuentran en un rango de pH ideal para que la vegetación pueda asimilar los nutrientes del suelo, y en consecuencia presentar

un óptimo desarrollo, sumado al hecho de que dicho rango tampoco es el deseado para una abundante presencia de lombrices por pertenecer a la categoría de suelo fuertemente ácido.

b. Conductividad eléctrica (C.E.)

El contenido de sales de un suelo puede ser estimado indirectamente mediante la medición de la conductividad eléctrica (a mayor valor de conductividad, mayor será el contenido de sales en el suelo). La salinidad es un fenómeno indeseable ya que su concentración disminuye la disponibilidad de agua para la vegetación.

Ibáñez (2008), Santibáñez (s.f.) exponen sus respectivos criterios de escala de salinidad en el suelo, de los cuales se extrajo la información deseada para detallar la Tabla 28:

Tabla 28: Escala de salinidad (dS/m) en suelos

<i>Escala de salinidad</i>	<i>C.E. (1:1) dS/m</i>	<i>Efecto</i>
No salino	0--2	Casi nulo (despreciable en su mayoría)
Ligeramente salino	2 --4	Se restringen rendimientos de cultivos sensible
Moderadamente salino	4--8	Disminuyen los rendimientos de la mayoría de los cultivos
Fuertemente salino	8--16	Solo pueden prosperar los cultivos tolerantes
Muy fuertemente salino	> 16	Solo se desarrollan cultivos muy tolerantes

FUENTE: Ibáñez (2008), Santibáñez (s.f.)

A continuación se especifican los resultados de la conductividad eléctrica (dS/m) obtenidos en laboratorio para las nueve muestras de suelo, ordenados de menor a mayor conductividad:

Tabla 29: C.E. resultante en los tres rango de altitud de cada uso de suelo

<i>Procedencia de la muestra</i>	<i>Código</i>	<i>C.E. (1:1) dS/m</i>
Bosque intervenido - parte Media	BM	0.08
Bosque intervenido - parte Baja	BB	0.09
Pastizal parcialmente compactado por ganadería - parte Alta	PA	0.10
Bosque intervenido - parte Alta	BA	0.12
Pastizal parcialmente compactado por ganadería - parte Baja	PB	0.15
Cultivo de papas en andenes agrícolas - parte Alta	AA	0.20
Pastizal parcialmente compactado por ganadería - parte Media	PM	0.31
Cultivo de papas en andenes agrícolas - parte Baja	AB	0.34
Cultivo de papas en andenes agrícolas - parte Media	AM	0.35

- Los menores valores de conductividad eléctrica se dieron en las muestras de suelo pertenecientes a la parte media y baja del bosque intervenido. Por el contrario, los mayores valores de este parámetro se llevaron a cabo en la parte alta de la zona de cultivo de papas en andenes agrícolas y la parte media del pastizal parcialmente compactado por ganadería. Además, ningún valor sobrepasa siquiera la mitad de la unidad.
- El valor promedio de conductividad eléctrica para el bosque resultó ser (0.09 dS/m); de los pastizales (0.19 dS/m) y (0.29 dS/m) para los cultivos de papas.

Siguiendo lo expuesto por Ibáñez (2008) y Santibáñez (s.f.), todas las muestras de suelo presentaron una escala “no salina” (C.E. de entre 0-2 dS/m) con lo cual se puede manifestar que, los posibles efectos perjudiciales por su contenido de sales son despreciables o casi nulos. Además, siguiendo lo sentado por Santibáñez (s.f.), se puede decir que, en ningún uso de suelo del bosque natural relicto de Japaní existen problemas de drenaje causados por exceso de salinidad en el suelo. Es decir, el suelo es de muy buena calidad debido a su ínfima salinidad.

Gonzales (2014) en las áreas plantadas con *Polylepis* del Parque Nacional Huascarán (Áncash) encontró valores de conductividad eléctrica de entre (0.08 - 0.11), valores bajos, comparables solo con los resultantes de la parte baja y media del bosque natural relicto de Japaní, así como la parte alta del pastizal parcialmente compactado por ganadería. Además,

dichos resultados demuestran que ese suelo ingresa en la clasificación de “no salino”, con efectos despreciables en el suelo.

c. Contenido de carbonato de calcio (CaCO₃) y materia orgánica (M.O.)

De los Ángeles (2007) indica que, los resultados de pH y carbonatos se encuentran relacionados, de forma tal que si un suelo es ácido, no debería presentar carbonatos.

Para la interpretación de los contenidos de materia orgánica se utilizó como herramienta de clasificación, la tabla interpretativa desarrollada por el laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la facultad de agronomía de la UNALM, la cual se expone a continuación en la Tabla 30:

Tabla 30: Clasificación de la materia orgánica según ocurrencia

Clasificación	Contenido M.O. (%)
Bajo	< 2.0
Medio	2.0 - 4.0
Alto	> 4.0

FUENTE: Laboratorio de análisis de suelos de la UNALM

A su vez, para el análisis de los contenidos de carbonato de calcio (CaCO₃) se empleó la clasificación dada por García (2003; citado por De los Ángeles, 2007), la cual se presenta en la Tabla 31:

Tabla 31: Diagnóstico del suelo según % de carbonatos

Contenido de Carbonatos (%)	Diagnóstico
0-5	Muy Bajo
5.1-10	Bajo
10.1-20	Normal
20.1-40	Alto
> 40	Muy Alto

FUENTE: García (2003; citado por De los Ángeles, 2007)

Se determinó el contenido de materia orgánica por el método de Walkley y Black, dado mediante la oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio (porcentaje de M.O. = porcentaje de Carbono x 1.724). Para la obtención de los contenidos de carbonato de calcio (calcáreo total) se empleó el método gaso-volumétrico utilizando un calcímetro. Dichos resultados se observan a continuación:

Tabla 32: Contenido de materia orgánica y carbonatos de calcio para los distintos rangos altitudinales de cada uso de suelo

<i>Procedencia de la muestra</i>	<i>Código</i>	<i>M.O. %</i>	<i>CaCO₃</i>
Bosque intervenido - parte Baja	BB	7.80	0.00
Pastizal parcialmente compactado por ganadería - parte Alta	PA	7.46	0.00
Bosque intervenido - parte Media	BM	6.61	0.00
Pastizal parcialmente compactado por ganadería - parte Media	PM	6.52	0.00
Cultivo de papas en andenes agrícolas - parte Baja	AB	4.83	0.00
Pastizal parcialmente compactado por ganadería - parte Baja	PB	4.55	0.00
Cultivo de papas en andenes agrícolas - parte Media	AM	4.14	0.00
Cultivo de papas en andenes agrícolas - parte Alta	AA	3.64	0.00
Bosque intervenido - parte Alta	BA	3.56	0.00

- En siete de los nueve rangos altitudinales de los usos de suelo evaluados, el porcentaje de materia orgánica fue “alto”, mientras que en los dos restantes (parte alta del cultivo de papas en andenes agrícolas y del bosque intervenido) este resultó ser “medio”.
- No se presentó ninguna muestra con bajo contenido de materia orgánica. Además, solo en la parte media y baja de la zona bosque intervenido, así como de la parte alta y media del pastizal parcialmente compactado por ganadería, el contenido de materia orgánica fue superior al 6.0 por ciento.
- En general, los pastizales fueron aquellos que presentaron los mayores contenidos de materia orgánica con un promedio de 6.18 por ciento entre sus tres rangos altitudinales, seguidos por el uso de suelo bosque intervenido con 5.99 por ciento y finalmente la zona de cultivo de papas en andenes agrícolas con 4.20 por ciento.

- Por otro lado, el contenido resultante de carbonato de calcio para cada uno de los nueve casos resultó cero.

Este mayor contenido de materia orgánica en el pastizal parcialmente compactado por ganadería respecto al bosque intervenido puede deberse a que en dicho uso de suelo hubo mayor ocurrencia y cantidad de excrementos de ganado distribuidos a lo largo de todo el área (los cuales son una de las fuentes principales de materia orgánica en suelos intervenidos), además de las características propias de las pasturas de la zona, cuyo ciclo vegetativo corto permite la acumulación de considerables cantidades de materia orgánica en los primeros centímetros del suelo, proveniente de la abundante cantidad de raicillas que estos presentan.

Gonzales (2014) encontró un contenido de materia orgánica de entre 5.56 y 7.80 por ciento en suelos plantados con *Polylepis* en el Parque Nacional Huascarán (Áncash), rango compartido con los cuatro valores más altos de los resultados del presente documento.

Los resultados son coherentes con la teoría ya que al pertenecer todas las muestras a suelos medianamente ácidos o altamente ácidos, no debieron presentar contenido de carbonatos, tal como resultó.

d. Fósforo (P) y potasio (K) disponible en el suelo

Contenidos adecuados de estos elementos son beneficiosos para las plantas. El fósforo favorece el desarrollo de las raíces y estimula el crecimiento y desarrollo de la vegetación en general, mientras que el potasio permite que las mismas formen hidratos de carbono, incrementen la resistencia frente a enfermedades, heladas y sequías.

Se determinaron los contenidos de estos elementos procedentes de las muestras respectivas, en partes por millón. Para el cálculo del fósforo disponible se utilizó el método de Olsen modificado (extracción con $\text{NaHCO}_3 = 0.5\text{M}$, a un pH de 8.50), mientras que para obtener los contenidos de potasio disponible se empleó la extracción de este con acetato de amonio a un pH de 7.0.

Para la interpretación de los resultados tanto de fósforo como de potasio disponible, se utilizó de forma comparativa dos fuentes; la propuesta de Urbano Terrón (1995; citado por De los Ángeles, 2007) y la clasificación establecida por el laboratorio de análisis de suelos,

plantas, aguas y fertilizantes de la facultad de agronomía de la UNALM, las cuales se muestran a continuación en en las Tablas 33 y 34:

Tabla 33: Clasificación de fósforo disponible en el suelo (ppm)

Clasificación	Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la facultad de agronomía de la UNALM	Urbano Terrón (1995; citado por De los Ángeles, 2007)
Bajo (suelo pobre)	< 7.0	< 5.0
Medio	7.0 - 14.0	5.0 - 10.0
Alto (suelo rico)	> 14.0	> 10.0

**Elaborado a partir de la clasificación establecida por el laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la facultad de agronomía de la UNALM, y la propuesta de Urbano Terrón (1995; citado por De los Ángeles, 2007)*

Tabla 34: Clasificación de potasio disponible en el suelo (ppm)

Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la facultad de agronomía de la UNALM		Urbano Terrón (1995; citado por De los Ángeles, 2007)	
Clasificación		Clasificación	
Bajo	< 100	Muy pobre	< 50
Medio	100 - 240	Pobre	50 - 100
Alto	> 240	Medio	100 - 150
-	-	Rico	> 150

**Elaborado a partir de la clasificación establecida por el laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la facultad de agronomía de la UNALM, y la propuesta de Urbano Terrón (1995; citado por De los Ángeles, 2007)*

Además, los resultados obtenidos en los diferentes usos de suelo del bosque natural relicto de Japaní, tanto de contenido de fósforo y potasio, se muestran a continuación, ordenados (cada uno de los dos elementos) de mayor a menor contenido:

Tabla 35: Contenido de fósforo y potasio (ppm) disponible en orden descendente

<i>Procedencia de la muestra</i>	<i>Código</i>	<i>P (ppm)</i>	<i>Procedencia de la muestra</i>	<i>Código</i>	<i>K (ppm)</i>
Pastizal parcialmente compactado por ganadería - parte Media	PM	58.4	Bosque intervenido - parte Baja	BB	1302
Cultivo de papas en andenes agrícolas - parte Baja	AB	34.8	Pastizal parcialmente compactado por ganadería - parte Media	PM	738
Pastizal parcialmente compactado por ganadería - parte Alta	PA	33.7	Bosque intervenido - parte Media	BM	536
Pastizal parcialmente compactado por ganadería - parte Baja	PB	29.6	Bosque intervenido - parte Alta	BA	452
Cultivo de papas en andenes agrícolas - parte Media	AM	23.6	Pastizal parcialmente compactado por ganadería - parte Baja	PB	359
Bosque intervenido - parte Baja	BB	13	Pastizal parcialmente compactado por ganadería - parte Alta	PA	224
Bosque intervenido - parte Media	BM	9.4	Cultivo de papas en andenes agrícolas - parte Alta	AA	132
Cultivo de papas en andenes agrícolas - parte Alta	AA	9	Cultivo de papas en andenes agrícolas - parte Media	AM	125
Bosque intervenido - parte Alta	BA	4.8	Cultivo de papas en andenes agrícolas - parte Baja	AB	119

- De acuerdo a la clasificación establecida por el laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la facultad de agronomía de la UNALM, se detectó “bajo” contenido de fósforo disponible en la zona alta del uso de suelo bosque intervenido, mientras que en la zona baja y media del mismo, así como en la zona alta del cultivo de papas en andenes agrícolas, el contenido de este fue “medio”. Finalmente, en las restantes cinco procedencias (las tres zonas altitudinales del pastizal parcialmente compactado por ganadería y la zona altitudinal baja y media del cultivo de papas en andenes agrícolas) dicho contenido fue “alto”.

- Por su parte, Urbano Terrón (1995; citado por De los Ángeles, 2007) declara que, a la zona baja del bosque intervenido le pertenece la clasificación de “alto” contenido, por lo demás la clasificación se mantiene.
- A su vez, se aprecia que dentro de los tres usos de suelo, a medida que se disminuye en altitud, el contenido de fósforo aumenta.
- Además, el promedio de fósforo disponible en los usos de suelo bosque intervenido, pastizal parcialmente compactado por ganadería y cultivo de papas en andenes agrícolas fue de (9.10 ppm), (40.60 ppm) y (22.50 ppm) respectivamente. Es decir, el fósforo disponible del uso de suelo bosque intervenido representa menos del 25 por ciento de la ocurrencia en el pastizal parcialmente compactado por ganadería y menos del 40 por ciento de la zona de la ladera con cultivo de papas en andenes agrícolas.

El hecho de que el contenido de fósforo aumente al disminuir en altitud puede deberse a que la presencia de ganado (estiércol como fuente de fósforo) incrementa al descender la zona.

Los mayores resultados de fósforo disponible en el cultivo de papas en andenes agrícolas pudieron deberse a que los pobladores de la zona probablemente utilizaron abonos verdes o enmiendas en fechas cercanas al levantamiento de información (ya que estas son las principales fuentes de materia orgánica en este tipo de uso de suelo). Por otro lado, el uso de suelo pastizal parcialmente compactado por ganadería ocupó el segundo lugar, muy probablemente a causa de las características propias de estas (ciclos vegetativos cortos -> rápida acumulación de materia orgánica proveniente de la descomposición de las abundantes raicillas). Además, la zona del pastizal parcialmente compactado por ganadería fue la que mayor cantidad de estiércol incluyó repartido a lo largo y ancho de su extensión (incluso la diferencia de la presencia de estiércol entre el pastizal parcialmente compactado por ganadería y el bosque intervenido fue significativa).

Gonzales (2014) en plantaciones de *Polylepis* (dos de 11 años y una de 29) encontró contenidos de fósforo disponible de 3.70 ppm (nivel bajo); 2.90 ppm (nivel bajo) y 2.90 ppm (nivel bajo) respectivamente, mientras que en el uso de suelo bosque intervenido de

Japaní, las cantidades fueron de 4.0 ppm (nivel bajo); 9.0 ppm (nivel medio) y 13.0 ppm (nivel medio-alto).

Respecto al contenido de potasio disponible para ambas fuentes bibliográficas, el contenido de este elemento en todas las diferentes zonas altitudinales dentro de los tres usos de suelo, clasificó entre “medio” y “alto”, con la única diferencia que, para Urbano Terrón (1995; citado por De los Ángeles, 2007) las tres zonas del uso de suelo cultivo de papas en andenes agrícolas poseen un contenido “medio” de potasio disponible (correspondiéndole contenidos “altos” a las tres zonas del pastizal parcialmente compactado por ganadería y al bosque intervenido) mientras que para el laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la facultad de agronomía de la UNALM, a estas tres se le suma la zona alta del pastizal parcialmente compactado por ganadería.

- El promedio de potasio disponible en los usos de suelo bosque intervenido, pastizal parcialmente compactado por ganadería y cultivo de papas en andenes agrícolas fue de (763 ppm), (440 ppm) y (125 ppm), respectivamente.
- Es decir, el potasio disponible en el uso de suelo cultivo de papas en andenes agrícolas representa poco más del 16 por ciento y del 28 por ciento de la ocurrencia en los usos de suelo bosque intervenido y pastizal parcialmente compactado por ganadería, respectivamente.
- Además, debido a que el uso de suelo bosque intervenido en general se encuentra a mayor altitud que la zona del pastizal parcialmente compactado por ganadería y esta a su vez, a mayor altitud que la zona de cultivo de papas en andenes agrícolas, en términos generales, el potasio también disminuyó conforme se redujo en altitud. Mientras, si esto se evalúa con más detalle, tomando solo el uso de suelo bosque intervenido, el potasio incrementa a medida que se disminuye en altura. Por el contrario, evaluando solo la zona de cultivo de papas en andenes agrícolas, este elemento aumenta a medida que se incrementa en altitud.

El hecho de que el potasio en la zona boscosa aumente conforme disminuye en altitud y que en la zona de cultivo de papas en andenes agrícolas incrementa conforme aumenta en altura puede tener relación con el hecho de que la parte baja del bosque intervenido y la parte alta de la ladera con cultivo de papas en andenes agrícolas se encuentran colindantes con la zona del pastizal parcialmente compactado por ganadería, zona con gran cantidad de fuentes de

materia orgánica en descomposición (estiércol y paja). Por otro lado, comprendiendo lo enunciado por Andrades & Martínez (2014) la vegetación del uso de suelo bosque intervenido se ve favorecida en la formación de hidratos de carbono, incremento de resistencia frente a plagas, enfermedades, heladas y sequías, todo esto por presentar contenidos altos de este elemento.

Finalmente, Gonzales (2014) encontró en plantaciones de Polylepis (dos de 11 años y una de 29) contenidos de potasio disponible de 118 ppm (nivel medio); 108 ppm (nivel medio) y 72 ppm (nivel bajo) respectivamente, mientras que en el uso de suelo bosque natural relicto de Japaní las cantidades fueron de 452 ppm (nivel alto); 536 ppm (nivel alto) y 1302 ppm (nivel alto).

2.1.2. CLASIFICACIÓN TEXTURAL, CLASE TEXTURAL Y PROPIEDADES FÍSICAS SEGÚN TEXTURA

Para Crosara (s.f.) la textura de suelo es la proporción de cada elemento en él, representada por el porcentaje de arena, limo y arcilla. Se determinó el contenido de arena, limo y arcilla de cada muestra mediante el método del hidrómetro, cuyos resultados en laboratorio se muestran a continuación:

Tabla 36: Contenido de Arena-Limo-Arcilla por zona

<i>Análisis mecánico</i>					
<i>Uso de suelo</i>	<i>Zona</i>	<i>Código</i>	<i>Arena</i>	<i>Limo</i>	<i>Arcilla</i>
Bosque intervenido	Alta	BA	73	20	7
	Media	BM	73	22	5
	Baja	BB	72	22	6
Pastizal parcialmente compactado por ganadería	Alta	PA	63	30	7
	Media	PM	59	28	13
	Baja	PB	53	28	19
Cultivo de papas en andenes agrícolas	Alta	AA	53	24	23
	Media	AM	53	26	21
	Baja	AB	59	24	17

Para la interpretación en gabinete de los resultados de textura, clase textural y propiedades físicas según textura, se utilizó la Tabla 1 y 2. Dicha interpretación se muestra en la Tabla 37:

Tabla 37: Textura, clase textural y propiedades físicas según textura del suelo

Uso de suelo	Zona (m.s.n.m)	Código	Textura	Clase textural		Propiedades físicas según textura		
						Adhesividad	Infiltración	Aireación
Bosque intervenido	Alta	BA	Gruesa	Arenoso Franco	S. Arenoso	Muy poco	Buena	Buena
	Media	BM	Gruesa	Arenoso Franco	S. Arenoso	Muy poco	Buena	Buena
	Baja	BB	Gruesa	Arenoso Franco	S. Arenoso	Muy poco	Buena	Buena
Pastizal parcialmente compactado por ganadería	Alta	PA	Moderadamente Gruesa	Franco Arenoso	S. Franco	Media	Buena	Buena
	Media	PM	Moderadamente Gruesa	Franco Arenoso	S. Franco	Media	Buena	Buena
	Baja	PB	Moderadamente Gruesa	Franco Arenoso	S. Franco	Media	Buena	Buena
Cultivo de papas en andenes agrícolas	Alta	AA	Moderadamente Fina	Franco Arcilloso Arenoso	S. Franco	Alta	Regular	Regular
	Media	AM	Moderadamente Fina	Franco Arcilloso Arenoso	S. Franco	Alta	Regular	Regular
	Baja	AB	Moderadamente Gruesa	Franco Arenoso	S. Franco	Media	Buena	Buena

- Para el uso de suelo bosque intervenido no hubo variación de resultados según altitud (parte alta, media o baja), obteniéndose una textura gruesa y una clase textural de tipo arenoso franco (suelo arenoso). Por tal motivo dicho suelo posee muy poca adhesividad, buena infiltración y buena aireación.
- En el caso del uso de suelo pastizal parcialmente compactado por ganadería, tampoco hubo variación según altitud, resultando una textura moderadamente gruesa y una clase textural de tipo franco arenoso (suelo franco). Como consecuencia, dicho uso de suelo tiene adhesividad intermedia, buena infiltración y buena aireación.
- Finalmente, para el uso de suelo cultivo de papas en andenes agrícolas, sí se presentó cierta variación de resultados según altitud, obteniéndose una textura moderadamente

fina, una clase textural de tipo franco arcilloso arenoso (suelo franco) y como consecuencia una adhesividad de tipo alta, regular infiltración y regular aireación, todo esto para las zonas alta y media, mientras que para la zona baja, los resultados fueron similares al uso de suelo pastizal parcialmente compactado por ganadería.

Estos resultados fueron los esperados. En el caso del uso de suelo bosque intervenido, al ser arenoso y de textura gruesa nos indica que posee poros de gran tamaño. Sumado a la característica de poca adhesividad a los materiales, se puede decir que este ofreció poca resistencia al movimiento del agua a través de él, y con ello buena infiltración y aireación. Por su lado, el pastizal parcialmente compactado por ganadería al ser suelos francos (con mayor pronunciamiento de arena pero de menor tamaño) y poseer una característica intermedia de adhesividad, puede que su infiltración no sea óptima. Finalmente, en la zona alta y media de la ladera con cultivo de papas en andenes agrícolas, a pesar de ser suelos francos, poseen un contenido considerable de arcilla (más poroso pero de tamaños reducidos), lo cual según Zuleta (2011) le otorga mayor resistencia al movimiento del agua a través del mismo, sumado a su regular aireación y alta adhesividad, su regular infiltración se convierte en la menos deseada de toda el área evaluada. Finalmente, Gonzales (2014) en plantaciones de *Polylepis* del Parque Nacional Huascarán (Áncash) encontró que los suelos eran franco arenoso (como los suelos del pastizal parcialmente compactado por ganadería de Japaní) y franco (intermedio entre el pastizal parcialmente compactado por ganadería y el bosque intervenido de Japaní).

2.1.3. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO Y CATIONES CAMBIABLES

Para su determinación se siguió el método de saturación con acetato de amonio con pH neutro, cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 38: C.I.C y cationes cambiabiles

Uso de suelo	Zona	Código	C.I.C	Cationes cambiabiles (meq/100g)				
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	(AL) ³⁺ + (H) ⁺
Bosque intervenido	Alta	BA	17.12	11.90	0.97	0.40	0.16	0.00
	Media	BM	21.76	13.90	1.03	0.48	0.13	0.00
	Baja	BB	19.05	12.50	0.99	0.45	0.15	0.00
Pastizal parcialmente compactado por ganadería	Alta	PA	22.08	6.01	0.95	1.59	0.13	0.40
	Media	PM	20.32	11.80	1.83	2.73	0.13	0.00
	Baja	PB	17.28	9.89	1.47	1.68	0.12	0.00
Cultivo de papas en andenes agrícolas	Alta	AA	18.56	12.10	1.82	0.76	0.14	0.10
	Media	AM	18.24	13.70	1.68	1.49	0.14	0.00
	Baja	AB	18.08	12.20	2.07	2.26	0.14	0.00

- Los promedios de (C.I.C) del pastizal parcialmente compactado por ganadería, bosque intervenido y cultivo de papas en andenes agrícolas fueron (19.89); (19.31) y (18.29) respectivamente.

Este resultado es coherente con lo expuesto por Piedrahita (2011) quien manifiesta que, a mayor contenido de materia orgánica y de pH, la capacidad de intercambio catiónico es mayor, lo cual se resume en la Tabla 39:

Tabla 39: Relación de la C.I.C. con el contenido de M.O. y pH

Uso de suelo	Valores promedio		
	C.I.C	%M.O	pH
Pastizal parcialmente compactado por ganadería	19.89	6.18	5.93
Bosque intervenido	19.31	5.99	5.92
Cultivo de papas en andenes agrícolas	18.29	4.2	5.86

Piedrahita (2011) añade que, valores iguales o mayores a 10 pertenecen a suelos con alta (C.I.C) y estos suelen ser suelos orgánicos (altos contenidos de materia orgánica) o arcillosos, mientras que valores menores a 10 pero mayores a cinco pertenecen a suelos de contenido intermedio y finalmente, valores inferiores a cinco provienen de suelos con baja capacidad de intercambio catiónico (suele darse en suelos arenosos). En todos los casos, los

valores de (C.I.C) resultante fueron mayores a 10, con lo cual los clasifica como suelos con alta (C.I.C).

Respecto a las cantidades de cada catión cambiante, se detalla a continuación los promedios de estos, tomando como fuente la suma de sus respectivas cantidades en el total de los puntos evaluados:

Tabla 40: Cantidad y % promedio de ocurrencia de cada catión cambiante

<i>Cationes</i>	<i>Cantidad promedio (meq/100g)</i>	<i>% promedio</i>
(Ca) ²⁺	11.6	79.8
(Mg) ²⁺	1.42	9.8
(K) ⁺	1.32	9.1
(Na) ⁺	0.14	1.0
(Al) ³⁺ + (H) ⁺	0.06	0.3

- El catión más abundante fue el calcio, seguido del magnesio, potasio, sodio y finalmente los ácidos, lo cual es adecuado ya que el calcio es el que permite la floculación.

Este resultado también es coherente con lo expuesto por Piedrahita (2011) quien asegura que, el orden de abundancia en la superficie del suelo de estos cationes se da de la siguiente manera: calcio, magnesio y potasio.

Por su parte, Gonzales (2014) en bosques plantados con *Polylepis* en el Parque Nacional Huascarán (Áncash) encontró un valor promedio de (C.I.C) de (22.80). En contraste con el valor promedio del uso de suelo bosque intervenido de Japaní (19.31), ambos resultados ingresan en la categoría de alta capacidad de intercambio catiónico en la superficie del suelo.

2.2. COEFICIENTES HÍDRICOS

2.2.1. CAPACIDAD DE CAMPO

Delmhorst (s.f.) define a la capacidad de campo como la máxima cantidad de agua disponible para las plantas o en su defecto, la cantidad de agua retenida por el suelo contra

los efectos del drenaje por gravedad. A continuación se detallan los resultados obtenidos en laboratorio:

Tabla 41: Capacidad de campo (%V) según textura de suelo

<i>Uso de suelo</i>	<i>Zona</i>	<i>Código</i>	<i>Textura</i>	<i>C.C. de las muestras (%V)</i>
Bosque intervenido	Alta	BA	Arenoso Franco	25.67
	Media	BM	Arenoso Franco	28.88
	Baja	BB	Arenoso Franco	27.60
Pastizal parcialmente compactados por ganadería	Alta	PA	Franco Arenoso	35.01
	Media	PM	Franco Arenoso	30.59
	Baja	PB	Franco Arenoso	27.71
Cultivo de papas en andenes agrícolas	Alta	AA	Franco Arcilloso Arenoso	26.03
	Media	AM	Franco Arcilloso Arenoso	27.14
	Baja	AB	Franco Arenoso	25.61

- El promedio de la capacidad de campo por uso de suelo fue de 31.10 por ciento para el pastizal parcialmente compactado por ganadería, 27.38 por ciento para el bosque intervenido y 26.26 por ciento para el cultivo de papas en andenes agrícolas, encontrándose los valores más altos en la zona alta 35.01 por ciento y media 30.59 por ciento del pastizal parcialmente compactado por ganadería, mientras que el valor más bajo se dio en la zona baja del cultivo de papas en andenes agrícolas 25.61 por ciento, a pesar de presentar la misma textura de suelo.

Este resultado se pudo ver influenciado por lo enunciado por la FAO (s.f.)₂ quien manifiesta que la capacidad de campo está directamente relacionada con el contenido de materia orgánica (a mayor contenido de materia orgánica mayor será la capacidad de campo), siendo los contenidos de esta: 7.46 porciento para la zona alta del pastizal parcialmente compactado por ganadería; 6.52 porciento para la zona media de las mismas y 4.83 porciento para la zona baja de la ladera con cultivo de papas en andenes agrícolas.

La FAO (s.f.)₂ añade que, la textura de suelo influye directamente en la capacidad de campo, contenido de materia orgánica y retención de humedad. A su vez Saxton & Rawls (2006) expresan los valores más usuales de capacidad de campo (volumen en porcentaje) según ciertas texturas de suelo. A causa de ello, se elaboró la Tabla 42 en la cual se repartió los resultados de capacidad de campo, contenido de materia orgánica y retención de humedad según la textura de suelo de los usos de suelo evaluados:

Tabla 42: Capacidad de Campo, contenido de M.O y retención de humedad “según textura del suelo”

<i>Uso de suelo (01)</i>	<i>Textura de suelo (02)</i>	<i>Valores usuales C.C. (%V) según textura de suelo. Saxton y Rawls (2006) (03)</i>	<i>Promedio de C.C. (%V) de las muestras (04)</i>	<i>%promedio de M.O (05)</i>	<i>Retención de humedad según textura de suelo. Zuleta (2011, citado por Reyes, 2014) (06)</i>
Bosque intervenido	Arenoso Franco	12	27.38	5.99	Baja
Pastizal y parte baja del cultivo	Franco Arenoso	18	29.7	5.84	Regular
Cultivo de papas - parte Alta y Media	Franco Arcillo Arenoso	36	26.6	3.89	Regular

- De la columna (03) a la (06) la relación entre ellas debiera ser directamente proporcional. Sin embargo, los resultados de la columna (04) se ven alterados muy probablemente a causa de los resultados de la columna (05). Es decir, que el promedio

de (C.C.) de las muestras con textura “arenoso franco” haya sido mayor al promedio de (C.C.) de las muestras de textura “franco arcilloso arenoso” puede deberse al mayor contenido de materia orgánica de la primera (5.99 porciento) y al menor contenido de materia orgánica de la segunda (3.89 porciento).

2.2.2. PUNTO MARCHITEZ (P.M.)

García *et al* (2016) la definen como aquel momento en el que toda el agua disponible para las plantas ha sido utilizada por ellas. Los resultados se muestran en la Tabla 43:

Tabla 43: Punto de marchitez (%V) según textura del suelo

<i>Uso de suelo</i>	<i>Zona</i>	<i>Código</i>	<i>Textura</i>	<i>P.M. de las muestras (%V)</i>
Bosque intervenido	Alta	BA	Arenoso Franco	14.55
	Media	BM	Arenoso Franco	16.56
	Baja	BB	Arenoso Franco	15.90
Pastizal parcialmente compactado por ganadería	Alta	PA	Franco Arenoso	20.41
	Media	PM	Franco Arenoso	17.64
	Baja	PB	Franco Arenoso	15.83
Cultivo de papas en andenes agrícolas	Alta	AA	Franco Arcilloso Arenoso	14.77
	Media	AM	Franco Arcilloso Arenoso	15.47
	Baja	AB	Franco Arenoso	14.50

- El mayor valor del (P.M.) se dio en la parte alta del pastizal parcialmente compactado por ganadería y el menor en la parte baja de la ladera con cultivo de papas en andenes agrícola. El promedio del (P.M.) según uso de suelo fue 17.96 porciento para el pastizal parcialmente compactado por ganadería, 15.67 porciento para el bosque intervenido y 14.91 porciento para la ladera con cultivo de papas en andenes agrícolas. Por otro lado, el promedio del (P.M.) según la textura de suelo fue de 17.10 porciento para el “franco arenoso”, 15.6 porciento para el “arenoso franco” y 15.12 porciento para “franco arcilloso arenoso”.

3. EVALUACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO

3.1. OBSERVACIONES EN CAMPO

El siguiente gráfico detalla aquellas características que diferencian a los estratos dentro de cada perfil de suelo, obtenidas mediante la descripción visual en campo. Estas se basaron en la recopilación de información acerca de: la medida de la profundidad de cada estrato; la ausencia o presencia evidente de capa orgánica sobre el suelo; textura aparente al tacto; presencia de raicillas y raíces; presencia de poros; pedregosidad evidente; observaciones sobre cambios de coloración al momento y, cualquier información extra que pueda contribuir a caracterizar las capas.

Tabla 44: Características visuales dentro de los perfiles de suelo

<i>Uso de suelo</i>	<i>Estrato 1</i>	<i>Estrato 2</i>
Bosque intervenido	Capa de materia orgánica de 7 cm de profundidad. Textura media	6 cm de profundidad. Baja proporción de pedregosidad e intermedia presencia de raicillas. Textura media
Pastizal parcialmente compactado por ganadería	4 cm de profundidad. Ausencia de capa orgánica marcada sobre el suelo. Presencia intermedia de raicillas	16 cm de profundidad. Alta presencia de raicillas. Presencia de poros. Textura muy fina
Cultivo de papas en andenes agrícolas	3 cm de profundidad. Ausencia evidente de capa orgánica sobre el suelo. Constituida por fragmentos aglomerados de suelo. Textura muy gruesa	24 cm de profundidad. Presencia de raicillas del cultivo (papa). Alta proporción de poros. Textura gruesa
<i>Uso de suelo</i>	<i>Estrato 3</i>	<i>Estrato 4</i>
Bosque intervenido	13 cm de profundidad. Pedregosidad intermedia y alta presencia de raicillas. Presencia de raíces de 1 cm de diámetro. Textura fina	Desde los 28 cm de profundidad en adelante. Alta proporción de pedregosidad y baja presencia de raicillas. Presencia de raíces de 2 cm de diámetro. Textura fina
Pastizal parcialmente compactado por ganadería	Desde los 21 cm de profundidad en adelante. Presencia baja de raicillas. Presencia de manchas blanquecinas	
Cultivo de papas en andenes agrícolas	Desde los 28 cm en adelante. Alta pedregosidad.	

Entiéndase por estrato 1 todo aquel material que se encuentra adyacente a la superficie mientras que estrato 4, a la zona más profunda dentro de la calicata. Es importante agregar que, a diferencia del pastizal parcialmente compactado por ganadería y la zona de ladera con cultivo de papas en andenes agrícolas, el perfil del suelo del bosque intervenido poseía abundante pedregosidad evidente y presencia de raíces y raicillas a lo largo de toda su verticalidad. Sin embargo, no se observó ninguna lombriz u otra especie (macrofauna) en ninguno de los usos de suelo comparados.

3.2. RESULTADOS EN LABORATORIO

3.2.1. COLOR DEL SUELO

La determinación del color del suelo se realizó empleando las cartillas de color del suelo Munsell con muestra seca, cuyos resultados se muestran en la Tabla 45:

Tabla 45: Color del suelo (Munsell)

Capas/uso de suelo	Color (Munsell)	Nombre del color	Tonalidad
Estrato 1 - Bosque intervenido	10 YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	Muy oscuro
Estrato 2 - Bosque intervenido	10 YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	
Estrato 3 - Bosque intervenido	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	
Estrato 4 - Bosque intervenido	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	
Estrato 1 - Pastizal parcialmente compactado por ganadería	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	Oscuro
Estrato 2 - Pastizal parcialmente compactado por ganadería	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro	
Estrato 3 - Pastizal parcialmente compactado por ganadería	10 YR 5/2	Pardo grisáceo	
Estrato 1 - Cultivo de papas en andenes agrícolas	10 YR 5/2	Pardo grisáceo	Grisáceo
Estrato 2 - Cultivo de papas en andenes agrícolas	10 YR 5/2	Pardo grisáceo	
Estrato 3 - Cultivo de papas en andenes agrícolas	10 YR 5/2	Pardo grisáceo	

- Las primeras dos capas de la calicata perteneciente al uso de suelo “bosque intervenido” resultaron de color “pardo grisáceo muy oscuro”, mientras que la capa tres y cuatro del mismo uso, conjuntamente con las dos primeras capas del uso de suelo “pastizal parcialmente compactado por ganadería”, se mostraron de color “pardo grisáceo oscuro”. Finalmente, la tercera capa del uso de suelo pastizal parcialmente compactado por ganadería en compañía de las tres capas del uso de suelo cultivo de papas en andenes agrícolas, obtuvieron el color “pardo grisáceo”. En general, los colores variaron del pardo grisáceo muy oscuro al pardo grisáceo.

Gonzales (2014) en plantaciones de *Polylepis* en el Parque Nacional Huascarán (Ancash) encontró colores grisáceos (gris; gris oliva; gris oscuro y gris muy oscuro) así como colores

parduzcos como el pardo oliva claro y pardo grisáceo oscuro, siendo este último el mismo color de suelo que aquellos detectados en los suelos del uso de suelo bosque intervenido y uso de suelo pastizal parcialmente compactado por ganadería dentro de Japón.

Para Craul (s.f.) es más común encontrar las coloraciones oscuras o parduzcas en las zonas superficiales del suelo. Además agrega que, esto puede ser causado por un mayor contenido de materia orgánica muy descompuesta, cuyo color se intensifica al incrementar la humificación. Finaliza al declarar que, el efecto que tiene la materia orgánica sobre la coloración de los suelos es más marcado en los arenosos. De esta manera, un suelo con contenidos de 10 por ciento en materia orgánica en dicho tipo de suelo puede ocasionar una tonalidad muy oscura.

3.2.2. DENSIDAD APARENTE

La densidad aparente es la resultante de la división entre el peso seco de la muestra de suelo y el volumen de dicha muestra, como si esta aún estuviera en el suelo (es decir, se toma en cuenta el volumen de poros que esta presenta). A continuación se muestra los resultados de densidad aparente obtenidos en laboratorio:

Tabla 46: Densidad aparente de las diferentes capas de las muestras de suelo

<i>Capas por Uso de suelo</i>	<i>D. A. g/cm³</i>
Estrato 1 - Bosque intervenido	0.30
Estrato 2 - Bosque intervenido	0.67
Estrato 3 - Bosque intervenido	0.79
Estrato 4 - Bosque intervenido	0.76
Estrato 1 - Pastizal parcialmente compactado por ganadería	0.28
Estrato 2 - Pastizal parcialmente compactado por ganadería	0.76
Estrato 3 - Pastizal parcialmente compactado por ganadería	0.83
Estrato 1 - Cultivo de papas en andenes agrícolas	0.68
Estrato 2 - Cultivo de papas en andenes agrícolas	0.70
Estrato 3 - Cultivo de papas en andenes agrícolas	0.96

- En la Tabla 46 se aprecia que, el menor valor se registró en el estrato más externo del uso de suelo pastizal parcialmente compactado por ganadería (capa 1) cuyo valor fue de (0.28g/cm³), seguido del estrato más externo del uso de suelo bosque intervenido con un valor de (0.30g/cm³). Por el contrario, el valor más alto se dio en el estrato más

profundo del uso de suelo cultivo de papas en andenes agrícolas cuyo valor ascendió a (0.96g/cm^3). Es decir, más del triple del valor más bajo. Por otro lado, el valor promedio de densidad aparente del uso de suelo bosque intervenido fue de (0.63g/cm^3), mientras que el promedio del uso de suelo pastizal parcialmente compactado por ganadería de (0.62g/cm^3) y finalmente, el uso de suelo cultivo de papas en andenes agrícolas con (0.78g/cm^3).

Gonzales (2010) en plantaciones de *Polylepis* en el Parque Nacional Huascarán (Áncash) obtuvo un promedio de (0.69g/cm^3) de densidad aparente para el uso de suelo bosque, valor intermedio entre el rango de promedios de los tres usos de suelo en Japaní (0.62g/cm^3 – 0.78g/cm^3).

Gutiérrez (2010) indica que, suelos con contenidos mayores de materia orgánica por lo general presentan menor densidad aparente. Rubio (2010) agrega que, los suelos bien estructurados y con altos contenidos de materia orgánica presentan valores más bajos de densidad aparente que los suelos poco estructurados y con bajos contenidos de materia orgánica. Esto es consecuente con lo ocurrido ya que el uso de suelo pastizal parcialmente compactado por ganadería obtuvo el mayor contenido de materia orgánica, con un promedio de 6.18 por ciento y una densidad aparente promedio de (0.62g/cm^3) mientras que el uso de suelo bosque intervenido presentó 5.90 por ciento de contenido de materia orgánica y (0.63g/cm^3) de densidad aparente; finalmente el uso de suelo cultivo de papas en andenes agrícolas con 4.2 por ciento de materia orgánica y (0.78g/cm^3) de densidad aparente.

Clark (s.f.) afirma que, la densidad aparente del suelo varían entre ($1,25$ - $1,69$ g/cm^3) para suelos minerales puros mientras que para suelos con alto contenido de materia orgánica y arcilla pueden tener densidades aparentes muy por debajo de ($1,0$ g/cm^3), tal como se dio en todas las capas de los tres diferentes usos de suelo.

4. DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE DESCOMPOSICIÓN DE LA HOJARASCA Y CALCULO DE LA BIOMASA SECA

Tal como se enunció en la metodología, se determinó el estado de descomposición del mantillo u hojarasca, siguiendo lo establecido por Fassbender (1993; citado por Gonzales, 2014).

Por otro lado, para el cálculo de la biomasa seca de hojarasca del uso de suelo “bosque intervenido”, se utilizó la fórmula sugerida por Gonzales (2014), cuyo resultado es expresado a continuación en la Tabla 47:

Tabla 47: Biomasa seca de hojarasca (t/ha) de los tres estadios de descomposición dentro del uso de suelo bosque intervenido

<i>Estado de descomposición</i>	<i>Masa de hojarasca seca (Kg)</i>	<i>Masa de hojarasca húmeda (Kg)</i>	<i>Masa de hojarasca colectada (Kg)</i>	<i>biomasa seca de hojarasca (t/ha)</i>
Alta	0.048	0.061	0.062	9.831
Media	0.037	0.045	0.046	7.533
Baja	0.05	0.061	0.071	11.706

- En el uso de suelo “bosque intervenido”, la mayor parte de la biomasa seca de hojarasca se encontraba en “Baja” descomposición, “Alta” y finalmente el estado de “Media” descomposición.

Tagle (2014) evaluó un bosque secundario de casi 30 años en Tarapoto, San Martín, para la época seca. Este presentaba especies pioneras, heliófitas durables y algunas esciófitas, además de una cantidad de biomasa seca de hojarasca equivalente a; (7.89 t/ha) para la de alta, (3.64 t/ha) para la de media y (0.30 t/ha) para la de baja descomposición.

Gonzales (2014) en bosques plantados con *Polylepis* de diferentes edades (con y sin manejo) del Parque Nacional Huascarán (Ancash) encontró que en época húmeda, los contenidos de biomasa seca de hojarasca de alta, media y baja descomposición tuvieron los valores promedios de (6.156 t/ha); (4.803 t/ha) y (2.802 t/ha) respectivamente.

A continuación en la Tabla 48 se compara la biomasa seca de hojarasca (t/ha) en sus tres estadios de descomposición, del uso de suelo bosque intervenido de Japaní en contraste con los dos autores anteriormente mencionados:

Tabla 48: Biomasa seca de hojarasca (t/ha) en sus tres estadios de descomposición, según autor

<i>Autor</i>	<i>Área</i>	<i>Biomasa seca de hojarasca (t/ha)</i>		
		<i>Alta</i>	<i>Media</i>	<i>Baja</i>
Tagle (Tarapoto)	Bosque 2° (30 años)	7.89	3.64	0.3
Gonzales (P.N.H)	Plantaciones Polylepis (varias edades)	6.16	4.8	2.8
Yáñez (Japaní)	Bosque natural Polylepis (edad indeterminada)	9.83	7.53	11.71

Estos resultados muestran coherencia con lo enunciado por Gonzales (2014) quien declara que, cuantos más años tenga un área boscosa, mayor será la acumulación de mantillo sobre la superficie del suelo. Si bien, la edad del bosque natural relicto de Japaní no ha sido determinada hasta el momento, definitivamente antecede a los bosques plantados con Polylepis del Parque Nacional Huascarán (11 y 29 años) o el área de bosque secundario de casi 30 años en Tarapoto.

5. INTERPRETACIÓN DE LA HUMEDAD INICIAL DISPONIBLE DEL SUELO POR EL MÉTODO DE BLOQUES DE YESO

5.1. TENSIÓN DE HUMEDAD (BARS) Y PRESIÓN NEGATIVA-RESISTENCIA (OHMS)

Tabla 49: Resultados de tensión de humedad y presión negativa

<i>Uso del suelo</i>	<i>Zona (m.s.n.m)</i>	<i>Lectura medidor (0-10)</i>	<i>Tensión de humedad (Bars)</i>	<i>Presión negativa - resistencia (Ohms)</i>	<i>Altitud (msnm) GPS</i>
Bosque intervenido	Alta	3.500	1.50	3.40k	4067
	Media ₁	3.375	1.65	3.70K	4014
	Media ₂	3.375	1.65	3.70K	4004
	Baja ₁	3.250	1.80	3.75K	3976
	Baja ₂	2.950	1.90	4.30K	3980
Pastizal parcialmente compactado por ganadería	Alta	3.375	1.65	3.70K	3935
	Media ₁	3.375	1.65	3.70K	3833
	Media ₂	1.500	6.00	13.00K	3827
	Baja ₁	0.500	15.00	35.00K	3703
	Baja ₂	0.750	12.75	27.00K	3695
Cultivo de papas en andenes agrícolas	Alta	1.000	10.50	20.00K	3774
	Media ₁	1.000	10.50	20.00k	3751
	Media ₂	1.250	10.00	15.75K	3728
	Baja ₁	0.750	12.75	27.00K	3700
	Baja ₂	-	-	-	3700

La succión necesaria para extraer la humedad proveniente de las partículas del suelo puede ser interpretada de dos maneras: como tensión de humedad o como presión negativa - resistencia, calculadas en Bars y Ohms respectivamente.

- Dentro del uso de suelo bosque intervenido, a medida que se disminuyó en altitud, la tensión de humedad o presión negativa que necesita aplicar la vegetación para poder extraer la humedad proveniente de las partículas del suelo, fue en aumento. Esta tendencia también se manifestó en los otros dos usos de suelo.

Esto se debe muy probablemente porque a medida que la altitud incrementa en los distintos usos del suelo, la capacidad de campo (agua almacenada) es mayor, por lo cual la

vegetación requeriría realizar menor presión negativa para poder aprovechar dicha humedad proveniente del suelo.

Por otro lado, no se puede realizar una comparación precisa entre los diferentes usos de suelo, utilizando como herramienta los rangos altitudinales “teóricos” (es decir, comparar resultados entre partes altas, entre medias y entre bajas, pre-establecidas en gabinete para el presente estudio) a causa de que estos usos de suelo no presentan los mismos rangos altitudinales “reales” (in situ, detectados mediante el uso del GPS). Por el contrario, lo que ocurrió en campo fue que todos los puntos de levantamiento de información pertenecientes al rango altitudinal denominado “parte alta del bosque intervenido”, fueron superiores en altitud “real” a todos los puntos de levantamiento de información del rango altitudinal “parte alta del pastizal parcialmente compactado por ganadería”. A su vez, todos los puntos de levantamiento de información de las zonas destinadas como “alta y media del pastizal parcialmente compactado por ganadería” se encontraron a mayor altitud “real” que las ubicaciones destinadas como “alta y media de la ladera con cultivo de papas en andenes agrícolas”. Es decir, en la mayoría de los casos (exceptuando la zona baja del pastizal parcialmente compactado por ganadería en relación con la zona baja de la ladera con cultivo de papas en andenes agrícolas) los rangos altitudinales “teóricos” no son compartidos en la práctica, a causa de la naturaleza de la distribución geográfica de dichos usos de suelo.

Gonzales (2014) midió la tensión de humedad (Bars) en bosques plantados con *Polylepis*, en el Parque Nacional Huascarán. Estos los repartió en: bosque con manejo (edades de 29 y 11 años) y sin manejo (edad de 11 años). Para estas tres áreas, sus valores de tensión de humedad variaron entre (8.8-10 Bars), mientras que en el bosque natural relicto de Japaní los resultados de este parámetro medido exclusivamente dentro del área bosque intervenido, variaron entre (1.5-1.9 Bars). A pesar de presentar similar rango altitudinal, semejante vegetación predominante, mismo método utilizado y un promedio de porcentaje de materia orgánica ligeramente mayor, la tensión de humedad medida en el Parque Nacional Huascarán fue significativamente mayor. Esto se debe seguramente porque la humedad disponible del suelo de Japaní presentó valores contrastantemente mayores con respecto a la humedad presentada en los bosques plantados del Parque Nacional Huascarán.

Adicionalmente se obtuvo el valor promedio por uso de suelo, de la tensión de humedad y la presión negativa, presentados en la Tabla 50:

Tabla 50: Valores promedio de tensión de humedad y presión negativa de cada uso de suelo

<i>Uso de suelo</i>	<i>Tensión de humedad promedio (BARS)</i>	<i>Presión negativa - resistencia promedio (OHMS)</i>
Bosque intervenido	1.7	3.77
Pastizal parcialmente compactado por ganadería	7.41	16.48
Cultivo de papas en andenes agrícolas	10.94	20.69

- El bosque intervenido presentó, en promedio, la menor tensión de humedad y/o presión negativa con valores de (1.70 Bars) y (3.77 Ohms) respectivamente, mientras que el pastizal parcialmente compactado por ganadería ocupó el segundo lugar con (7.41 Bars) y (16.48 Ohms) y, finalmente la ladera con cultivo de papas en andenes agrícolas con (10.94 Bars) de tensión de humedad y (20.69 Ohms) de presión negativa. Es importante aclarar que los valores de tensión de humedad del pastizal parcialmente compactado por ganadería y de la ladera con cultivo de papas en andenes agrícolas son mayores que la tensión de humedad del bosque intervenido en más de cuatro y seis veces respectivamente, mientras que los valores promedio de presión negativa o resistencia del pastizal parcialmente compactado por ganadería y de la ladera con cultivo de papas en andenes agrícola son mayores que la presión negativa o resistencia promedio del bosque intervenido en más de cuatro y cinco veces, respectivamente. Este resultado evidencia que, en promedio, la vegetación perteneciente al uso de suelo bosque intervenido requiere menor fuerza de succión para extraer la humedad del suelo.

El hecho de que la vegetación presente en el uso de suelo bosque intervenido (en promedio) requiera menor fuerza para extraer la humedad del suelo, muy probablemente se deba a la mayor humedad disponible en promedio, hallada en campo (ver Tabla 49 y 50). Además, este uso de suelo, en la mayoría de los puntos evaluados, se encuentra a mayor altitud.

Finalmente, el orden ascendente de los valores de presión negativa o tensión de humedad resultantes por cada rango altitudinal de cada uso de suelo se detalla en la Tabla 51:

Tabla 51: Valores promedio por zona altitudinal de la tensión de humedad y la presión negativa

<i>Uso de suelo</i>	<i>Código</i>	<i>Tensión de humedad (BARS)</i>	<i>Presión negativa - resistencia (OHMS)</i>
Bosque intervenido - parte Alta	BA	1.50	3.40
Bosque intervenido - parte Media	BM	1.65	3.70
Pastizal parcialmente compactado por ganadería - parte Alta	PA	1.65	3.70
Bosque intervenido - parte Baja	BB	1.85	4.00
Pastizal parcialmente compactado por ganadería - parte Media	PM	3.83	8.40
Cultivo de papas en andenes agrícolas - parte Media	AM	10.25	17.90
Cultivo de papas en andenes agrícolas - parte Alta	AA	10.50	20.00
Cultivo de papas en andenes agrícolas - parte Baja	AB	12.75	27.00
Pastizal parcialmente compactado por ganadería - parte Baja	PB	13.88	31.00

- La Tabla 51 delata que, la tensión de humedad o presión negativa que deben de generar las raíces de la vegetación de cada zona de muestreo (a manera de succión necesaria para extraer la humedad proveniente de las partículas del mismo) es menor en la zona alta del bosque intervenido (BA), seguido por la zona media (BM), zona alta del pastizal parcialmente compactado por ganadería (PA), zona baja del bosque intervenido (BB), zona media del pastizal parcialmente compactado por ganadería (PM), zona media del cultivo de papas en andenes agrícolas (AM), zona alta del cultivo de papas en andenes agrícolas (AA), zona baja del cultivo de papas en andenes agrícolas (AB) y finalmente la zona baja del pastizal parcialmente compactado por ganadería (PB).

5.2. PORCENTAJE APROXIMADO DE AGUA UTILIZADA POR LAS PLANTAS Y HUMEDAD DISPONIBLE EN EL SUELO

Tabla 52: humedad disponible en el suelo y agua utilizada por las plantas

<i>Uso del suelo</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Lectura del medidor</i>	<i>% aprox. de H2O usada</i>	<i>humedad disponible en el suelo</i>	<i>Altitud (msnm)</i>
Bosque intervenido	Alto	3.500	47.00%	53.00%	4067
	Medio ₁	3.375	50.00%	50.00%	4014
	Medio ₂	3.375	50.00%	50.00%	4004
	Bajo ₁	3.250	52.00%	48.00%	3976
	Bajo ₂	2.950	54.00%	46.00%	3980
Pastizal parcialmente compactado por ganadería	Alta	3.375	50.00%	50.00%	3935
	Media ₁	3.375	50.00%	50.00%	3833
	Media ₂	1.500	72.00%	28.00%	3827
	Baja ₁	0.750	85.00%	15.00%	3703
	Baja ₂	0.500	90.00%	10.00%	3695
Cultivo de papas en andenes agrícolas	Alta	1.000	80.00%	20.00%	3774
	Media ₁	1.250	75.00%	25.00%	3751
	Media ₂	1.000	80.00%	20.00%	3728
	Baja ₁	0.750	85.00%	15.00%	3700
	Baja ₂	-	-	-	3700

Se obtuvo la humedad disponible del suelo (también llamada porcentaje de la reserva potencial total, porcentaje del agua o reserva de humedad) o en su defecto, el porcentaje de agua utilizada por la vegetación, de cada punto levantado en campo, gracias al uso de las curvas de calibración enunciadas en Delmhorst (s.f.).

- Las zonas que presentaron mayor cantidad de agua disponible en el suelo fueron: la parte alta del bosque intervenido (53 por ciento de reserva de humedad), la parte media del mismo y las partes altas y media del pastizal parcialmente compactado por ganadería (todos estos con el 50 por ciento de la reserva potencial total). De la misma manera, las zonas que manifestaron mayor porcentaje de agua utilizada fueron las zonas bajas del pastizal parcialmente compactado por ganadería y la ladera con cultivo de papas en andenes agrícolas con valores de entre 85 y 90 por ciento.

- Adicionalmente, los valores promedios de humedad disponible en el suelo fueron: para el bosque intervenido de 49.4 por ciento, seguido del pastizal parcialmente compactado por ganadería con 30.6 por ciento y finalmente la ladera con cultivo de papas en andenes agrícolas con 20 por ciento.

Estos resultados promedios de humedad disponible del suelo por cada diferente uso (49.4 por ciento para el bosque; 30.6 por ciento para los pastizales y 20 por ciento para el cultivo) son coherentes con los de “conductividad eléctrica” (0.09 para el bosque intervenido; 0.19 para los pastizales y .0.29 para los cultivos de papa) expuestos en el apartado (2.1.1.b), ya que a medida que los valores de conductividad incrementan, existe menor disponibilidad de agua en el suelo.

Adicionalmente, se redujo la Tabla 52, promediando los valores con la misma zona altitudinal presente en cada uso de suelo, además de ordenarse de mayores a menores valores de humedad disponible en el suelo, lo cual se puede apreciar en la Tabla 53:

Tabla 53: Valores promedio por zona altitudinal de la humedad disponible y el % aproximado de agua utilizado por las vegetación

<i>Uso de suelo</i>	<i>Siglas</i>	<i>%aprox. De H2O utilizada</i>	<i>humedad disponible en el suelo</i>
Bosque intervenido – parte Alta	BA	47%	53%
Bosque intervenido - parte Media	BM	50%	50%
Pastizal parcialmente compactado por ganadería - parte Alta	PA	50%	50%
Bosque intervenido - parte Baja	BB	53%	47%
Pastizal parcialmente compactado por ganadería - parte Media	PM	61%	39%
Cultivo de papas en andenes agrícolas - parte Media	AM	77.5%	22.5%
Cultivo de papas en andenes agrícolas - parte Alta	AA	80%	20%
Pastizal parcialmente compactado por ganadería - parte Baja	PB	87.5%	12.5%
Cultivo de papas en andenes agrícolas - parte Baja	AB	90%	10%

- De esta manera el mayor porcentaje de humedad disponible se dio en la parte alta del bosque intervenido con un 53 por ciento, seguido por la parte media del mismo y alta del pastizal parcialmente compactado por ganadería, ambas con 50 por ciento. En contraste con lo anunciado, los menores valores se dieron en la zona baja tanto de la ladera con cultivo de papas en andenes agrícolas como del pastizal parcialmente compactado por ganadería con 10 y 12.5 por ciento, respectivamente.

Mientras que la humedad disponible en el suelo del bosque intervenido en Japaní varía entre 47 y 53 por ciento, Gonzales (2014) halló una variación de dicha humedad de entre 13.50 y 17.7 por ciento en áreas de bosque plantado con *Polylepis* de 11 y 29 años (con manejo) y de 11 años (sin manejo) en el Parque Nacional Huascarán. Por otro lado, Reyes (2014) encontró la humedad disponible del suelo de un bosque plantado con Teca *Tectona grandis* y de un cultivo agrícola (cítricos), ambos en el fundo La Génova (Junín), siendo sus valores de 12.25 y 11.68 por ciento respectivamente, valores comparables únicamente con la parte baja del pastizal parcialmente compactado por ganadería y la ladera con cultivo de papas en andenes agrícola de Japaní.

Finalmente, se determinó el valor promedio por uso de suelo, del porcentaje aproximado de agua utilizada por las plantas y/o la humedad disponible que presentó cada suelo, los cuales se encuentran detallados en la Tabla 54:

Tabla 54: Porcentaje promedio del agua utilizada y de la humedad disponible por uso de suelo

<i>Uso del suelo</i>	<i>Promedio de agua utilizada (%)</i>	<i>Promedio de humedad disponible en el suelo (%)</i>
Bosque intervenido	50.6	49.4
Pastizal parcialmente compactado por ganadería	69.4	30.6
Cultivo de papas en andenes agrícolas	80	20

- Se encontró que el mayor promedio de humedad disponible en el suelo se dio en el bosque intervenido con casi 50 por ciento, seguido del pastizal parcialmente compactado

por ganadería con poco más de 30 por ciento y finalmente la ladera con cultivo de papas en andenes agrícolas con el 20 por ciento.

Moll (2010) quien utilizó el mismo instrumento para medir la humedad inicial en dos quebradas boscosas en San Alberto (Oxapampa), encontró que estas poseían 56.60 y 45.70 por ciento de humedad inicial, siendo 51.15 por ciento el valor promedio. Este valor promedio se asemeja significativamente al promedio de humedad disponible en el suelo boscoso intervenido de Japaní (49.40 por ciento).

Finalmente, la FAO (s.f.)⁵ declara que, la humedad es mayor en el uso de suelo bosque porque la lluvia se infiltra lentamente a causa de la materia orgánica acumulada. A su vez, la vegetación proporciona sombra al suelo, disminuyendo así la pérdida de humedad. Agrega que, los suelos con vegetación boscosa generan una especie de cortina rompe-vientos que atenúa la fuerza del viento y con esto se protege de la desecación, inclusive puede deberse a la orientación de la ladera, ya que los vientos húmedos pueden chocar contra esta (donde se encuentran el cultivo de papas en andenes agrícolas y el pastizal parcialmente compactado por ganadería), elevando y enfriando la humedad hasta condensarse y generar lluvia en la ladera frontal (es decir, en la zona boscosa). Hamilton (1983) añade que, la capa de material orgánico sobre el suelo y el humus condicionan el proceso de infiltración e inhiben la destrucción de los agregados y el desecamiento del suelo. Los suelos secos o con falta de agregación tienen poca capacidad de infiltración y favorecen la escorrentía superficial. Además, la capa de humus, retiene temporalmente el agua y la deja infiltrar gradualmente junto con material orgánico disuelto y en partículas, lo que mejora la estructura del suelo.

V. CONCLUSIONES

- 1) Los usos de suelo “Bosque intervenido” y “Pastizal Parcialmente Compactado por Ganadería” fueron los únicos con valores óptimos de infiltración, siendo estos; (0.66 cm/seg^{0.5}) y (0.48 cm/seg^{0.5}) para los puntos muestreados dentro de la parte “alta” y “baja” del “bosque intervenido con pendiente fisiográfica alta”; así como (0.50 cm/seg^{0.5}) para el correspondiente a la parte “media” del “pastizal parcialmente compactado por ganadería con pendiente fisiográfica alta”. Además, no se presentó ningún valor óptimo de infiltración en ningún punto muestreado del uso de suelo “Cultivo de papas en andenes agrícolas”, siendo el mayor valor (0.40 cm/seg^{0.5}) para la parte media con pendiente fisiográfica baja de dicho uso .
- 2) El uso de suelo “Pastizal Parcialmente Compactado por Ganadería” posee mayor cantidad de infiltración promedio (0.37 cm/seg^{0.5}) en contraste con el “Bosque intervenido” (0.33 cm/seg^{0.5}) y los “Cultivos de papas en andenes agrícolas” (0.28 cm/seg^{0.5}) a causa de su menor humedad inicial disponible en el suelo al momento de las pruebas (30,6 por ciento frente a 49,4 por ciento del bosque) y por su mayor cantidad de materia orgánica (6.2 por ciento frente a 5.9 por ciento del bosque y 4.2 por ciento del cultivo) originada por la abundante presencia de excretas de ganado y por las características propias de las pasturas de la zona, cuyo ciclos vegetativos cortos permite la acumulación de considerables cantidades de materia orgánica en los primeros centímetros del suelo, proveniente de la abundante cantidad de raicillas que este uso presenta.
- 3) De acuerdo a los resultados estadísticos, la Pendiente Fisiográfica, especialmente sobre los 60°, resultó ser el factor que más influye en la infiltración, lo cual se refleja en los promedios de infiltración por tipo de pendiente fisiográfica: (0.47 cm/seg^{0.5}) para los puntos con alta pendiente; (0.33 cm/seg^{0.5}) para los puntos con pendiente intermedia y (0.27 cm/seg^{0.5}) para el promedio de aquellos puntos con pendiente fisiográfica baja.

- 4) De acuerdo a la estadística aplicada, la “Altitud” solo mostró un efecto significativo sobre los resultados de infiltración al actuar en conjunto con el factor “Pendiente Fisiográfica”.
- 5) Los mayores valores de infiltración en altas pendientes causados por su mayor capacidad de enraizamiento; los análisis de suelo (alto contenido de materia orgánica de acelerada descomposición causante de una mayor frecuencia de espacios porosos, suelo “arenoso” de textura “gruesa” con “poca adhesividad”, conductividad eléctrica del 50 por ciento respecto a las pasturas y 25 por ciento frente a los cultivos); los análisis de perfil de suelo (raíces profundas, baja densidad aparente, mayor cantidad de macrofauna) y, el mayor contenido de hojarasca en su suelo forestal dado por sus copas densas, ratificaron que, las características propias del uso de suelo bosque en Japaní permiten las mejores condiciones para el proceso de infiltración, incluso a pesar que este uso de suelo se encuentra intervenido y parcialmente compactado por el ganado.
- 6) El uso de suelo cultivo de papas en andenes agrícolas manifiesta una pérdida considerable de propiedades idóneas (e incluso aceptables) para el proceso de infiltración, reflejado en su a) menor valor promedio de pH (5.86); b) menor porcentaje promedio de materia orgánica (4.2 por ciento); c) menor valor promedio de capacidad de intercambio catiónico (18.29); mayor valor promedio de conductividad eléctrica (0.29 dS/m); textura moderadamente fina de tipo franco arcillo arenosa; alta adhesividad (resistencia al movimiento del agua a travez del suelo); regular aireación, menor valor promedio de capacidad de campo (26.26 por ciento) y mayor valor de densidad aparente (0.78g/cm³).
- 7) Se hace pertinente asegurar que, confiando en la correcta toma de datos de humedad inicial en campo y, apelando a lo enunciado por Llerena *et al* (2017), el uso de suelo “bosque intervenido”, dentro del área de Japaní, desempeña un papel importante en la protección de la cabecera de cuenca, de los arroyos y laderas de la zona, caracterizándose por almacenar agua en el subsuelo, incluyendo la época seca, permitiendo su distribución a lo largo del año gracias a la paulatina infiltración, percolación y demás procesos subsiguientes que las características intrínsecas del mismo permite.

VI. RECOMENDACIONES

- Se sugiere realizar otros estudios en la zona que puedan complementar la información generada en este documento, como: a) evaluar la infiltración en los distintos usos de suelo para la época húmeda o transicional; b) generar datos de infiltración en las zonas pertenecientes al bosque natural relicto de Japaní que no fueron tomadas en cuenta por su gran extensión; c) aplicar el método del doble anillo infiltrómetro; d) utilizar metodologías que permitan generar calicatas más profundas para poder evaluar la profundidad de enraizamiento (en lo posible mediante métodos no destructivos); e) realizar estudios dendrocronológicos en Japaní con el objetivo de determinar la edad aproximada para poder hacer comparaciones en temas de biomasa o f) determinar contenidos de cianobacterias en la superficie de los usos de suelo, ya sea por su producción de materia orgánica o por su unión con musgos y líquenes (inhibidores de formación de costras minerales y cementación de las partículas del suelo, disminuyendo la escorrentía e incrementando la infiltración).
- Si bien los usos de suelo Bosque Intervenido y Pastizal Parcialmente Compactado por Ganadería contribuyen de forma importante al proceso de infiltración, se recomienda estudiar las características dendrológicas de *Polylepis flavipila* (vaina estipular, peciolos, raquis, unión de foliolos, envés y haz de foliolos, receptáculo floral, anteras, interior y exterior de flores; todas estas con abundantes vellosidades) en relación con la captación de neblinas y provisión de agua, ya que aparentemente influyen drásticamente en el paulatino proceso de infiltración dentro de dicho uso de suelo a lo largo del año (mayor retención), permitiendo así mantener el flujo base en épocas de estiaje, en contraste con los pastos, cuya infiltración puede ser alta y comparable con el bosque, más no su retención y distribución gradual.
- Desde esta experiencia, para otros estudios de infiltración, se aconseja determinar en definitiva, el contenido de materia orgánica del suelo, así como su textura, capacidad de campo, densidad aparente, humedad inicial y la dinámica de las raíces y raicillas de la vegetación a evaluar, debido a su importancia en relación a los resultados de infiltración al momento de contrastar diferentes usos de suelo.
- Se aconseja utilizar equipos más precisos para determinar la humedad inicial del suelo (tensiómetro, sonda de neutrones, sondas TDR, sondas C, instrumentos FDR,) o en su

defecto, si se desea mantener el método de bloques de yeso, tener en cuenta que habría que introducirse uno de estos por cada una de las diferentes capas dentro del perfil de suelo evaluado, de lo contrario los resultados tenderán más al error.

- Se recomienda la implementación de un modelo de pastoreo rotativo (adaptable a las circunstancias), en el que se instalen cercos para el manejo sostenible del ganado, con el objetivo de promover la conservación de la parte baja del bosque intervenido, la cual es una de las áreas con valores de pH fuera de los ideales, dificultando la solubilidad de los minerales por las plantas y reduciendo la presencia de lombrices de tierra en el interior del suelo, características que contribuyen a una mejor infiltración.
- Como medida de contención frente al cambio climático y, ya que Santiago de Carampoma y otros distritos de Huarochirí padecen sus consecuencias reflejadas en: la escasez hídrica (traducida en sequías) ; las temporadas secas más largas (seguidas de lluvias más intensas terminando en pérdida de suelo y deslizamientos) ; conflictos con alto impacto en pobladores (disminución de sus actividades agrícolas y ganaderas), se sugiere imitar los esfuerzos realizados por entidades como: Aquafondo, Backus, FONDAM, Nature Conservancy, USAID, SUNASS y SEDAPAL, quienes en un trabajo conjunto vienen implementando proyectos de conservación, protección y restauración en distintos distritos de Huarochirí, en Lima departamental y en el país en general.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegre, JC; Lara, PD. 1991. Pasturas tropicales: Efecto de los animales en pastoreo sobre las propiedades físicas de suelos de la región tropical húmeda de Perú 13(1):18-23.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua, PE). 2010. Evaluación de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Rímac: Estudio Hidrológico y Ubicación de la Red de Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del Río Rímac (en línea). Lima, ALA. Consultado 5 Dic. 2016. Disponible en http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/1_estudio_hidrologico_cuenca_rimac_-_volumen_i_-_texto_-_final_2010_0.pdf
- Andrades, M; Martinez, ME. 2014. Fertilidad del suelo y parámetros que la definen: Material didáctico. Agricultura y alimentación (en línea). Logroño. Consultado 20 nov. 2016. Disponible en <file:///C:/Users/USER/Downloads/Dialnet-FertilidadDelSueloYParametrosQueLaDefinen-267902.pdf>
- Aquafondo, PE. 2016. Inversión En Agua Para Lima (en línea). Lima, PE. Consultado 15 ene. 2017. Disponible en <http://aquafondo.org.pe/>
- Arcos, ME. 2010. Influencia en la cobertura vegetal en la capacidad de infiltración de agua en suelos de páramo. Tesis Lic. Com. Amb. Quito, EC, Universidad de San Francisco de Quito. 23 p.
- Blas, E; Mejía, AR. 2014. Cobertura vegetal y capacidad de infiltración de agua en el suelo. Tesis Ing. Amb. Ancash, PE, UNASAM. 177 p.
- Buduba, C. 2004. Muestreo de suelos. Criterios básicos (en línea). Chubut, AR. Consultado 17 dic. 2015. Disponible en http://ciefap.org.ar/documentos/fichas/FTA10N1Muestreo_de_suelos.pdf
- Clark, L. s.f. Valores de densidad aparentes de suelos según tipos. (en línea). Trad. A Smith. Consultado 20 nov. 2016. Disponible en http://www.ehowenespanol.com/valores-densidad-aparentes-suelos-segun-tipo-hechos_184107/

- Craul, PJ. s.f. URBAN SOILS. (en línea). Syracuse, New York., US. Consultado 10 nov. 2016. Disponible en <https://www.ces.ncsu.edu/fletcher/programs/nursery/metria/metria05/m57.pdf>
- Crosara, A. s.f. Práctico 3: Textura Del Suelo (en línea). UY. Consultado 31 oct. 2016. Disponible en <http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Practico%203.pdf>
- Curi, M. 2016. Descripción de la zona con pastizales parcialmente compactados por ganadería y cultivo de papas en andenes agrícolas (entrevista). Lima, PE, Municipalidad de Santiago de Carampoma.
- Delmhorst Instrument Co. s.f. Operating instructions – Model KS-I: Soil moisture tester. US.
- De los Ángeles, PJ. 2007. Diseño de parque municipal en Santa Cruz de los Céspedes: Estudio edafológico (en línea). Ciudad Real, ES. Consultado 20 nov. 2016. Disponible en https://www.uclm.es/area/ing_rural/Proyectos/PedroJoseDeLosAngeles/02d_EstudioEdafologico.pdf
- Donoso, C. 1981. Ecología Forestal El bosque y su Medioambiente. Chile. UNIVERSITARIA. 369 p.
- Dorronsoro, C. s.f. Introducción a la edafología: PROPIEDADES DEL SUELO Propiedades físicas (en línea). Consultado 25 nov. 2016. Disponible en <http://www.edafologia.net/introeda/tema04/text.htm#anchor618597>
- Dunne, T; Leopold, LB. 1978. Water in environmental planning. Ed. WH Freeman. 2 ed. Estados Unidos. 818 p.
- FAO₁ (Food and Agriculture Organization for the United Nations, IT). 1996. Ecología y enseñanza rural: Tema 3 El Clima (en línea). Consultado 10 nov. 2016. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/006/W1309S/w1309s05.htm>

- FAO₂ (Food and Agriculture Organization for the United Nations, IT). s.f. Conservación de los recursos naturales para una agricultura sostenible: Fertilidad del suelo (en línea). 19 p. Consultado 15 nov. 2016. Disponible en http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/sf/soil_fertility.pdf
- FAO₃ (Food and Agriculture Organization for the United Nations, IT). s.f. Conservación de los recursos naturales para una agricultura sostenible: Materia orgánica y actividad biológica (en línea). 28 p. Consultado 25 nov. 2016. Disponible en http://www.fao.org/ag/Ca/Training_Materials/CD27-
- FAO₄ (Food and Agriculture Organization for the United Nations, IT). s.f. Conservación de los recursos naturales para una agricultura sostenible: Manejo de la humedad del suelo (en línea). 34 p. Consultado 10 nov. 2016. Disponible en http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/sm/soil_moisture.pdf
- Florencio, CI. 2015. Diversidad y composición de la flora leñosa del bosque relicto de queñuales de Japaní en la comunidad campesina Santiago de Carampoma, Huarochirí, Lima. Tesis Ing. Ftal. Lima, PE. UNALM.
- García, M; Puppo, L; Hayashi, R; Morales, P. s/f. Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo (en línea). Montevideo, UY. Grupo de Desarrollo del Riego. Consultado 28 nov. 2016. Disponible en <http://www.grupodesarrolloriego.uy/pdf/2-seminario-2012/Metodologia-para-determinar-los-parametros-hidricos-de-un-suelo-a-campo.pdf>
- González, GJ. 2014. Caracterización de la infiltración en bosques plantados con *Polylepis* spp., de 11 y 29 años, Parque Nacional Huascarán, quebrada Quilcayhuanca, Huaraz, Áncash. Tesis Ing. Ftal. Lima, PE. UNALM. 136 p.
- Gyenge, J; Fernández, M; Licata, J; Weigandt, M; Bond, B; Schilichter, T. 2011. Uso del agua y productividad de los bosques nativos e implantados en el NO de la Patagonia: aproximaciones desde la ecohidrología y la ecofisiología (en línea). Córdoba, AR. SciELO. Consultado 09 oct. 2016. Disponible en http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667-782X2011000300004

- Hamilton, L; Dudley, N; Greminger, G; Hassan, N; Lamb, D; Stolton, S; Tognetti, S. 2009. Los bosques y el agua: Estudio temático elaborado en el ámbito de la Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005 (en línea). Roma, IT. Consultado 22 abr. 2016. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i0410s.pdf>
- Hamilton, LS; King, PN. 1983. Tropical Forested Watersheds: Hydrologic and Soils Response To Mayor Uses or Conversions (en línea). Colorado, US. Westview Press. Consultado 2 ene. 2016. Disponible en http://coweeta.uga.edu/publications/pubs_martha_new_01282003/Batch_1_@300dpi/PDF/1026.pdf
- Hewlett, JD. 1982. Principles of Forest Hydrology (en línea). Georgia, US. Athens. Consultado 30 jun. 2016. Disponible en https://www.usask.ca/watershed/pdf/Aberdeen_evening_reading/Hewlett.pdf
- Hillel, D. 1982. Introduction to soil physics (en línea). London, UK. ACADEMIC. Consultado 22 oct. 2016. Disponible en <https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=cfLJCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Hillel,+D.+1982.+Introduction+to+soil+physics.+Massachusetts,+US.+Academic+Press&ots=IRcpa5cEAh&sig=WPF2Np9A4FpKwx1i9rgrdLgZ11E#v=onepage&q&f=false>
- Ibáñez, JJ. 2007. pH del suelo (en línea). Madrid, ES. Consultado 30 nov. 2016. Disponible en <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/04/02/62776>
- Ibáñez, JJ. 2008. Tipos de suelos salinos (en línea). Madrid, ES. Consultado 30 nov. 2016. Disponible en <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/01/04/81822>
- INEI₁ (Instituto Nacional de Estadística e Informática, PE). 2017. LIMA TENDRÍA 9 MILLONES 111 MIL HABITANTES (en línea). Lima, PE. Consultado 21 ene. 2017. Disponible en <http://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-n012-2017-inei-2.pdf>
- INEI₂ (Instituto Nacional de Estadística e Informática, PE). s.f. Precipitación total anual, según departamento, 2001-2015 (en línea). Lima, PE. Consultado 20 ene. 2017. Disponible en <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/climate/>

- Jones, J; Almeida, A; Cisneros, F; Iroumé, A; Jobbágy, E; Lara, A; De Paula, W; Little, C; Llerena, C; Silveira, L; Villegas, JC. 2016. Hydrological Processes: Forest and Water in South América. p. 1-9.
- Junes, DA. 1987. Predicción de la sortividad e infiltración del agua en el suelo. Tesis Ing. Ftal. Lima, PE. UNALM. 85 p.
- Keller, A; Bulfe, N & Gyenge, J. 2016. Consumo de agua en plantaciones de *Pinus tadea* L. en la zona noroeste de la provincia de Misiones (en línea). Misiones, AR. INTA. Consultado 25 oct. 2016. Disponible en http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_-_informe_72_-_consumo_de_agua_en_pino_taeda_0.pdf
- Lazo, C. 2006. Tecnología para el riego. p. 65-69.
- Little, C; Lara, A. 2010. Restauración ecológica para aumentar la provisión de agua como un servicio ecosistémico en cuencas forestales del centro-sur de Chile. *Bosque* 31(3): 178-175.
- Llerena, CA; Hermoza, RM; Llerena, LM. 2007. Plantaciones forestales, agua y gestión de cuencas. *Debate Agrario* 42: 79-110.
- Llerena C.A., Hermoza R.M., Yalle S.R., Flores F. y Salinas N. 2017. Forest Management and Water in Peru. En: *Forest Management and the impact on water resources: a review of 13 countries*. Edits.: P.A. García-Chevesich, D.G. Neary, D.F. Scott, R.G. Benyon y T. Reyna. UNESCO, International Hydrological Program, IHP VIII/Technical document N° 37, Latin America and the Caribbean, capítulo 9: 128-148.
- López Cadenas, F. 1988. Corrección de torrentes y estabilización de cauces (en línea). Roma, IT. FAO. Consultado 12 dic. 2015. Disponible en https://books.google.com.pe/books?id=LYSz9cvPvXwC&pg=PA178&lpg=PA178&dq=el+microclima+que+crean+las+masas+arb%C3%B3reas+en+el+estrato+de+atmosfera&source=bl&ots=hNc_ZyOoEZ&sig=7aHO35qAiW1Jbrw3sGg6J4T1gqc&hl=es-419&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=el%20microclima%20que%20crean%20las%20masas%20arb%C3%B3reas%20en%20el%20estrato%20de%20atmosfera&f=false

- López Cadenas, F. 1990. El papel del bosque en la conservación del agua y el suelo. *Ecología* (1): 141-155.
- López Cadenas, F; Mintegui, A. 1986. *Hidrología de superficie*. Ed. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid, ES. ETSI Montes. v. 1, 224 p.
- Molina, GM. 1975. *Hidrología*. PubliDRAT. 2 ed. Lima, PE. UNALM. 195 p.
- Moll, ME. 2010. Estudio de la infiltración en las dos microcuencas de investigación del proyecto AARAM-PERÚ (Wara y Killa) en San Alberto, Oxapampa. Tesis Mg. Sc. Lima, PE. UNALM.
- Montgomery, D. 1991. *Diseño y análisis de experimentos* (en línea). Ed. Latinoamericano. Consultado 29 nov. 2016. Disponible en <http://www.casadellibro.com/libro-disenio-y-analisis-de-experimentos/9789687270609/45864>
- Paula, W de. 1986. *Principios de hidrología forestal para o manejo de bacías hidrográficas*. Piracicaba, BR. ESALQ. 242 p.
- Peralta, M. 1995. *Guía N°2 de Edafología* (en línea). Chile. Consultado 11 feb. 2016. Disponible en <http://www.sap.uchile.cl/descargas/suelos/029Textura.pdf>
- Piedrahita, O. 2011. *Capacidad de intercambio catiónico* (en línea). Consultado 26 nov. 2016. Disponible en http://www.nuprec.com/Nuprec_Sp_archivos/CAFE/CAFETO_archivos/Literatura%20Cafe/Capacidad%20de%20Intercambio%20Cati%C3%B3nico.pdf
- Prieto, D. 2008. *Riego con aguas salinas y aguas de drenaje, control de impacto de salinidad* (en línea). La Antigua, AR. 41 p. Consultado 20 nov. 2016. Disponible en <http://studylib.es/doc/5351984/riego-con-aguas-salinas-y-aguas-de-drenaje--control-de-im...>
- Rebolledo, S. s.f. *Conductividad eléctrica y salinidad* (en línea). Chile. RedAgrícola. Consultado 25 nov. 2016. Disponible en <http://www.redagricola.com/reportajes/empresas/conductividad-electrica-y-salinidad>
- Reyes, RJ. 2014. *Influencia de cuatro sistemas del uso de tierras (teca, cítricos y café bajo sombra manejado y en abandono), en la sortividad en el IRD Selva Fundo la Génova, Chanchamayo, Junín*. Tesis Ing. Ftal. Lima, PE. UNALM. 75 p.

- Ríos, N; Cárdenas, A; Andrade HJ; Ibrahim, M; Jiménez, F; Sancho, F; Ramírez, E; Reyes, B; Woo, A. 2006. Escorrentía superficial e infiltración en sistemas ganaderos convencionales y silvopastoriles en el trópico subhúmedo de Nicaragua y Costa Rica (en línea). Costa Rica. CATIE. Consultado 0 dic. 2015. Disponible en http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7739/Escorrent%C3%ADa_superficial.pdf?sequence=2
- Ríos, N; Jiménez, F; Ibrahim, M; Sancho, F. 2006. Parámetros hidrológicos y de cobertura vegetal en sistemas de producción ganadera en la zona de recarga de la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica (en línea). Costa Rica. CATIE. Consultado 30 dic. 2015. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A3161E/A3161E.PDF>
- Rubio, AM. 2010. La densidad aparente en suelos forestales del parque natural Los Arconocales (en línea). Sevilla, ES. CSIC. Consultado 20 nov. 2016. Disponible en <http://digital.csic.es/bitstream/10261/57951/1/La%20densidad%20aparente%20en%20suelos%20forestales%20.pdf>
- Salas, C. 2011. Comportamiento hidrológico y erosivo en usos de suelo prioritarios de la campiña lechera en Santa Cruz, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mg. Sc. Turrialba, CR, CATIE. Consultado 15 dic. 2015. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A6617E/A6617E.PDF>
- Santibañez, C. s.f. Determinación del pH y la conductividad eléctrica del suelo (en línea). Chile. Consultado 29 nov. 2016. Disponible en http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/medio_mod1.pdf
- Saxton, KE; Rawls, WJ. 2006. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions (en línea). Wshington, US. SSSAJ. Consultado 28 nov. 2016. Disponible en <https://www.decagon.com/en/support/how-do-i-determine-field-capacity/>
- Sela, G. s.f. La capacidad de intercambio catiónico (en línea). SMART. Consultado 15 nov. 2016. Disponible en <http://www.smart-fertilizer.com/es/articles/Cation-Exchange-Capacity>
- Sembrero, MP; Valencia, N. 2015. Expediente técnico – Área de conservación privada “Japaní”, Carampoma, Huarochirí. Lima, PE. 45 p.

- Shaxson, F; Barber, R. 2005. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal: El significado de la porosidad del suelo (en línea). Roma, IT. FAO. Consultado 29 nov. 2016. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/008/y4690s/y4690s02.htm>
- Stadtmuller, T. 1994. Impacto hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales: medidas para mitigarlo (en línea). Turrialba, CR. CATIE. Consultado 23 nov. 2016. Disponible en http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/2350/Impacto_hidrologico_del_manejo_forestal.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Tagle, MX. 2014. Aporte de carbono de la hojarasca en dieciséis sistemas de uso de tierra en el área de influencia de la carretera Tarapoto-Yurimaguas. Tesis Ing. Ftal. Lima, PE. UNALM. 138 p.
- Touma, J; Voltz, M; Alberger, J. 2007. Determining soil saturated hydraulic conductivity and sorptivity from single ring infiltration tests (58): 229-238.
- UJAEN (Universidad de Jaén, ES). s.f. Propiedades de los suelos (en línea). España. Consultado 20 nov. 2016. Disponible en http://www.ujaen.es/huesped/pidoceps/telav/fundespec/materia_organica.htm
- USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, US). 2014. Claves para la Taxonomía de Suelos. (en línea). 12 ed. Montecillo, Texcoco., MX. Consultado 25 nov. 2016. Disponible en https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf
- Vásquez, A. 2011. Sistema de captación del agua de lluvia en laderas semiáridas de la sierra y su impacto en el proceso de desertificación y cambio climático. Tesis Ph.D. 140 p.
- Vásquez, VA; Chang-Navarro, LL. 1988. El riego: Principios básicos. 163 p.
- Wadsworth, FH. 2000. Producción Forestal para América Tropical. Estados Unidos, USDA. 603 p.
- Wullschleger, SD; Meinzer, FC; Vertessy, RA. 1998. A review of whole-plant water use studies in trees. *Tree Physiology* (18):499-512.

Zuleta, DS. 2011. Estrategia de gestión ambiental del suelo, para una zona piloto dentro del área de influencia de recarga del acuífero de Pereira en el corregimiento de tribunas (en línea). Pereira, CO. Consultado 18 dic. 2015. Disponible en <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/2366/1/62816832Z94.pdf>

VIII. ANEXOS

ANEXO 1

MATERIALES PARA EL LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

Toma de muestras de infiltración
Agua
2 Baldes auxiliares de 4L de capacidad (plástico)
Bolsas negras de plástico resistente
2 Burros de carga
Cámara fotográfica
Cilindro infiltrómetro individual (metálico)
4 Cilindros de 18L de capacidad (plástico)
Clinómetro
Cronómetro
2 Cuerdas
GPS con pilas 2AA
Libreta de campo y útiles de escritorio
Listón grueso de madera
2 Pares de guantes
Regla graduada metálica
Rocas (golpeteo)
Rollo de maskingtape
Tabla de madera (soporte para la libreta)

Muestras de suelo
Balanza digital
Bolsas negras de plástico resistente
Bolsas Ziploc de 1Kg de capacidad o más
2 Cajas de cartón (almacenaje de muestras)
Cámara fotográfica con pilas 2AA
Cinta métrica
Cuchillo
Etiquetas
GPS con pilas 2AA
Libreta de campo y útiles de escritorio
Pala
Papel film
1 Par de guantes
Pico
Tabla de madera (soporte para la libreta)
Tape

Evaluación de los perfiles de suelo
Bolsas ziploc
Cámara fotográfica con pilas 2AA
Cilindro metálico pequeño
Cinta métrica
Etiquetas
GPS con pilas 2AA
Libreta de campo y útiles de escritorio
Listón grueso de madera
Pala
Pala-pico pequeña
Papel film
1 Par de guantes
Pico
Roca
Cintillos
Tabla de madera (soporte para la libreta)
Tape

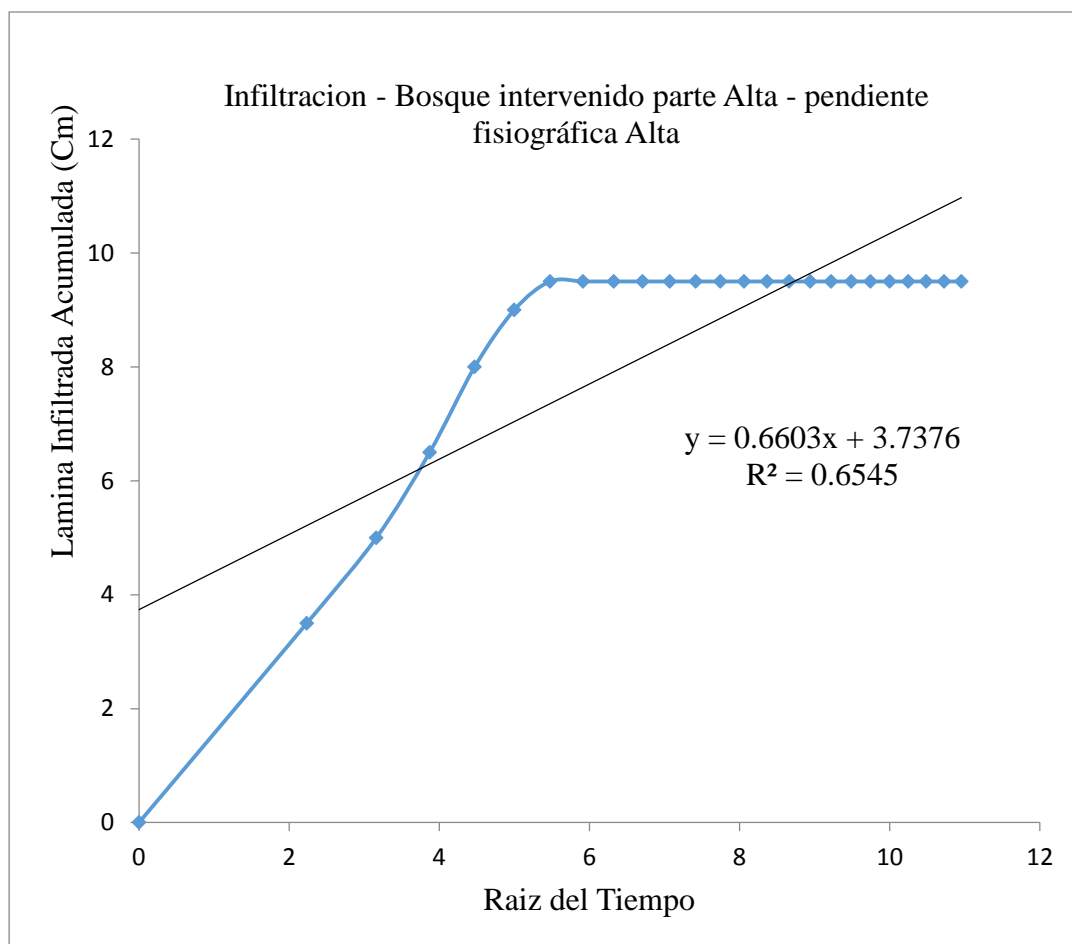
Estado de descomposición de la hojarasca
Balanza digital *
Bolsas ziploc
Cámara fotográfica con pilas 2AA
Estufa *
Etiquetas
GPS con pilas 2AA
Libreta de campo y útiles de escritorio
4 Listones de madera de 0.5 metros de lado
Papel Film
Cintillos
Tabla de madera (soporte para la libreta)
Tape

Método de bloques de yeso
Agua
Balde pequeño
15 Bloques de yeso
Cámara fotográfica con pilas 2AA
Clinómetro
Cuchara de metal
Estaca de madera
GPS con pilas 2AA
Libreta de campo y útiles de escritorio
Martillo
Medidor de humedad modelo KS-D1 con Pila Cuadrada 8v
Tabla de madera (soporte para la libreta)
Tubo de PVC

ANEXO 2

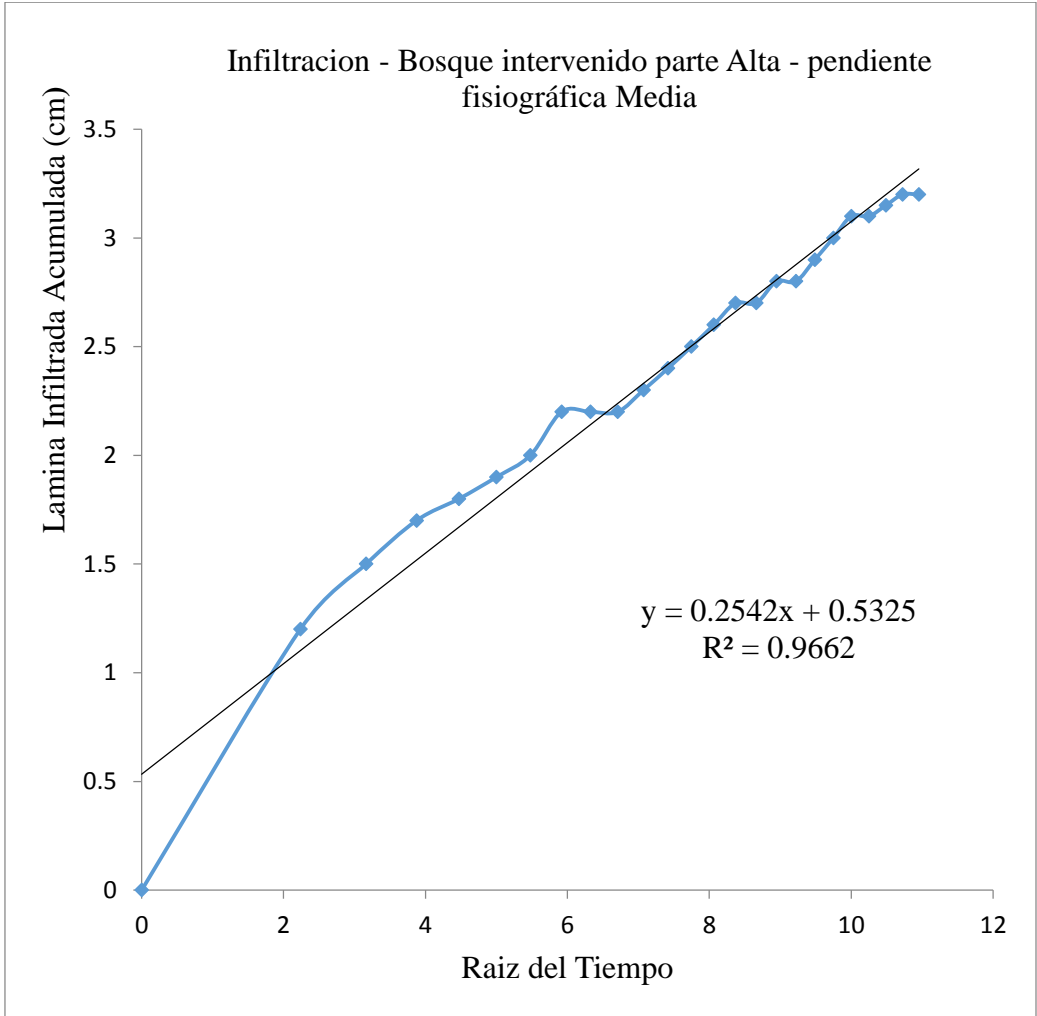
RESULTADOS DE LAS 27 MUESTRAS DE INFILTRACIÓN

BOSQUE INTERVENIDO - PARTE ALTA					
Tipo de pendiente fisográfica	Tiempo (s)	Raíz del tiempo (eje x)	Lectura en regla (Cm)	Lamina Infiltrada	
				Parcial	Acumulada (eje Y)
ALTA	0	0.00	10.00	0.00	0.00
	5	2.24	6.50	3.50	3.50
	10	3.16	5.00	1.50	5.00
	15	3.87	3.50	1.50	6.50
	20	4.47	2.00	1.50	8.00
	25	5.00	1.00	1.00	9.00
	30	5.48	0.50	0.50	9.50
	35				
	40				
	45				
	50				
	55				
	60				
	65				
	70				
	75				
	80				
	85				
	90				
	95				
	100				
	105				
	110				
	115				
	120				



BOSQUE INTERVENIDO – PARTE ALTA					
Tipo de pendiente fisográfica	Tiempo (s)	Raíz del tiempo (eje x)	Lectura en regla (Cm)	Lamina Infiltrada	
				Parcial	Acumulada (eje Y)
MEDIA	0	0.00	5.00	0.00	0.00
	5	2.24	3.80	1.20	1.20
	10	3.16	3.50	0.30	1.50
	15	3.87	3.30	0.20	1.70
	20	4.47	3.20	0.10	1.80
	25	5.00	3.10	0.10	1.90
	30	5.48	3.00	0.10	2.00
	35	5.92	2.80	0.20	2.20
	40	6.32	2.80	0.00	2.20
	45	6.71	2.80	0.00	2.20
	50	7.07	2.70	0.10	2.30
	55	7.42	2.60	0.10	2.40
	60	7.75	2.50	0.10	2.50
	65	8.06	2.40	0.10	2.60
	70	8.37	2.30	0.10	2.70
	75	8.66	2.30	0.00	2.70
	80	8.94	2.20	0.10	2.80
	85	9.22	2.20	0.00	2.80
	90	9.49	2.10	0.10	2.90
	95	9.75	2.00	0.10	3.00
	100	10.00	1.90	0.10	3.10
105	10.25	1.90	0.00	3.10	
110	10.49	1.85	0.05	3.15	
115	10.72	1.80	0.05	3.20	
120	10.95	1.80	0.00	3.20	

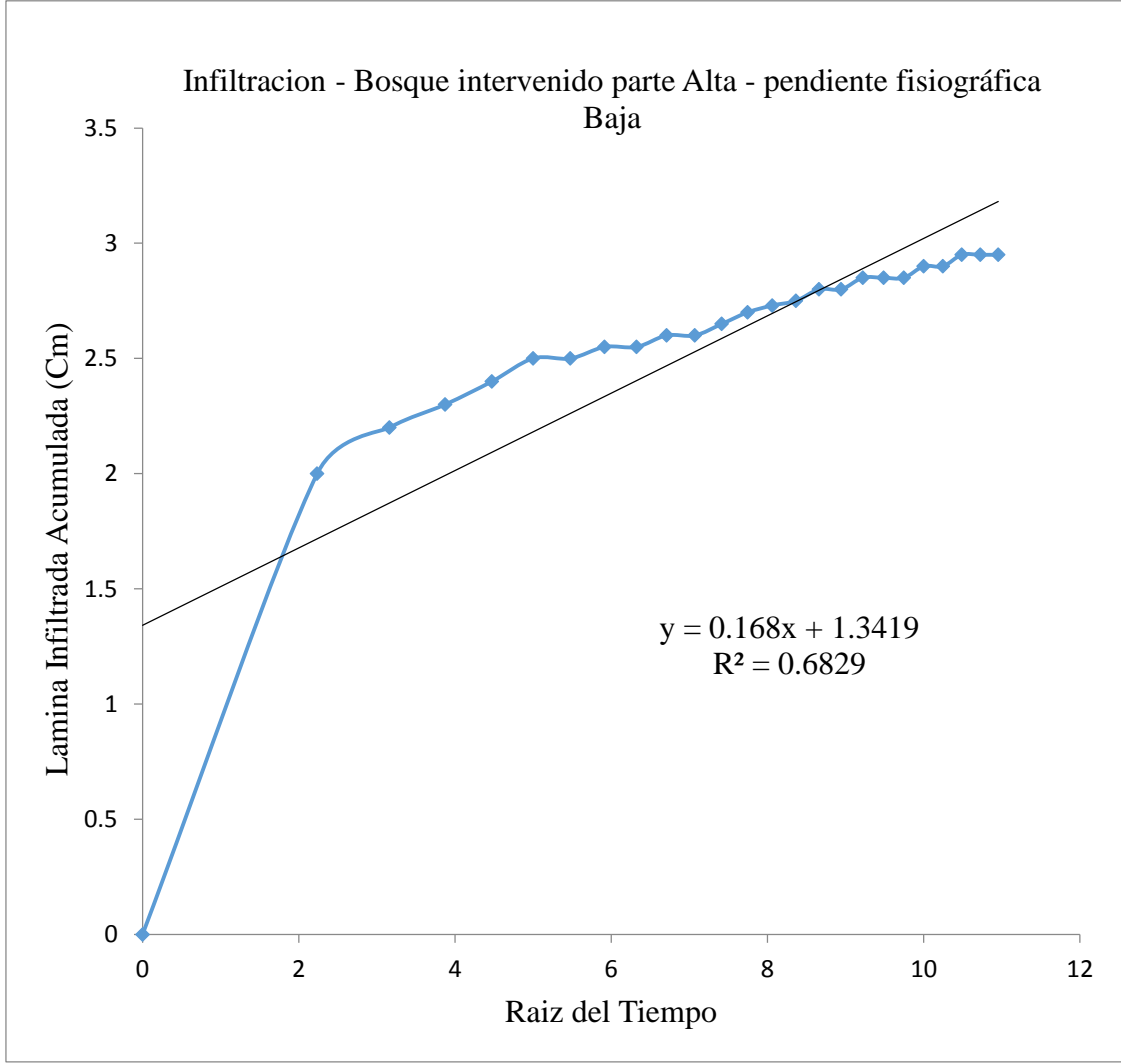
Infiltracion - Bosque intervenido parte Alta - pendiente fisiográfica Media



BOSQUE INTERVENIDO – PARTE ALTA

Tipo de pendiente fisiográfica	Tiempo (s)	Raíz del tiempo (eje x)	Lectura en regla (Cm)	Lamina Infiltrada	
				Parcial	Acumulada (eje Y)
BAJA	0	0.00	6.00	0.00	0.00
	5	2.24	4.00	2.00	2.00
	10	3.16	3.80	0.20	2.20
	15	3.87	3.70	0.10	2.30
	20	4.47	3.60	0.10	2.40
	25	5.00	3.50	0.10	2.50
	30	5.48	3.50	0.00	2.50
	35	5.92	3.45	0.05	2.55
	40	6.32	3.45	0.00	2.55
	45	6.71	3.40	0.05	2.60
	50	7.07	3.40	0.00	2.60
	55	7.42	3.35	0.05	2.65
	60	7.75	3.30	0.05	2.70
	65	8.06	3.27	0.03	2.73
	70	8.37	3.25	0.02	2.75
	75	8.66	3.20	0.05	2.80
	80	8.94	3.20	0.00	2.80
	85	9.22	3.15	0.05	2.85
	90	9.49	3.15	0.00	2.85
	95	9.75	3.15	0.00	2.85
100	10.00	3.10	0.05	2.90	
105	10.25	3.10	0.00	2.90	
110	10.49	3.05	0.05	2.95	
115	10.72	3.05	0.00	2.95	
120	10.95	3.05	0.00	2.95	

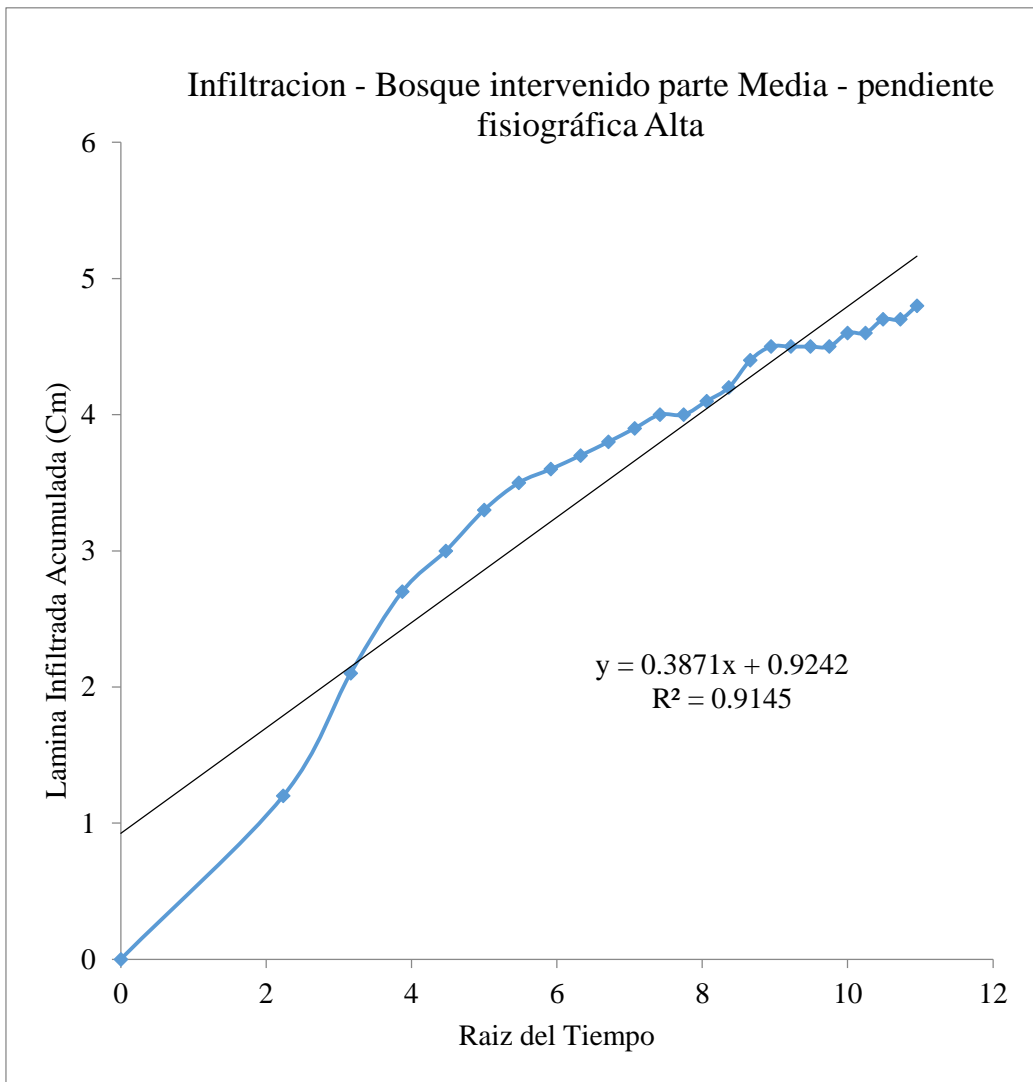
Infiltracion - Bosque intervenido parte Alta - pendiente fisiográfica Baja



BOSQUE INTERVENIDO – PARTE MEDIA

Tipo de pendiente fisiográfica	Tiempo (s)	Raíz del tiempo (eje x)	Lectura en regla (Cm)	Lamina Infiltrada	
				Parcial	Acumulada (eje Y)
ALTA	0	0.00	8.50	0.00	0.00
	5	2.24	7.30	1.20	1.20
	10	3.16	6.40	0.90	2.10
	15	3.87	5.80	0.60	2.70
	20	4.47	5.50	0.30	3.00
	25	5.00	5.20	0.30	3.30
	30	5.48	5.00	0.20	3.50
	35	5.92	4.90	0.10	3.60
	40	6.32	4.80	0.10	3.70
	45	6.71	4.70	0.10	3.80
	50	7.07	4.60	0.10	3.90
	55	7.42	4.50	0.10	4.00
	60	7.75	4.50	0.00	4.00
	65	8.06	4.40	0.10	4.10
	70	8.37	4.30	0.10	4.20
	75	8.66	4.10	0.20	4.40
	80	8.94	4.00	0.10	4.50
	85	9.22	4.00	0.00	4.50
	90	9.49	4.00	0.00	4.50
	95	9.75	4.00	0.00	4.50
100	10.00	3.90	0.10	4.60	
105	10.25	3.90	0.00	4.60	
110	10.49	3.80	0.10	4.70	
115	10.72	3.80	0.00	4.70	
120	10.95	3.70	0.10	4.80	

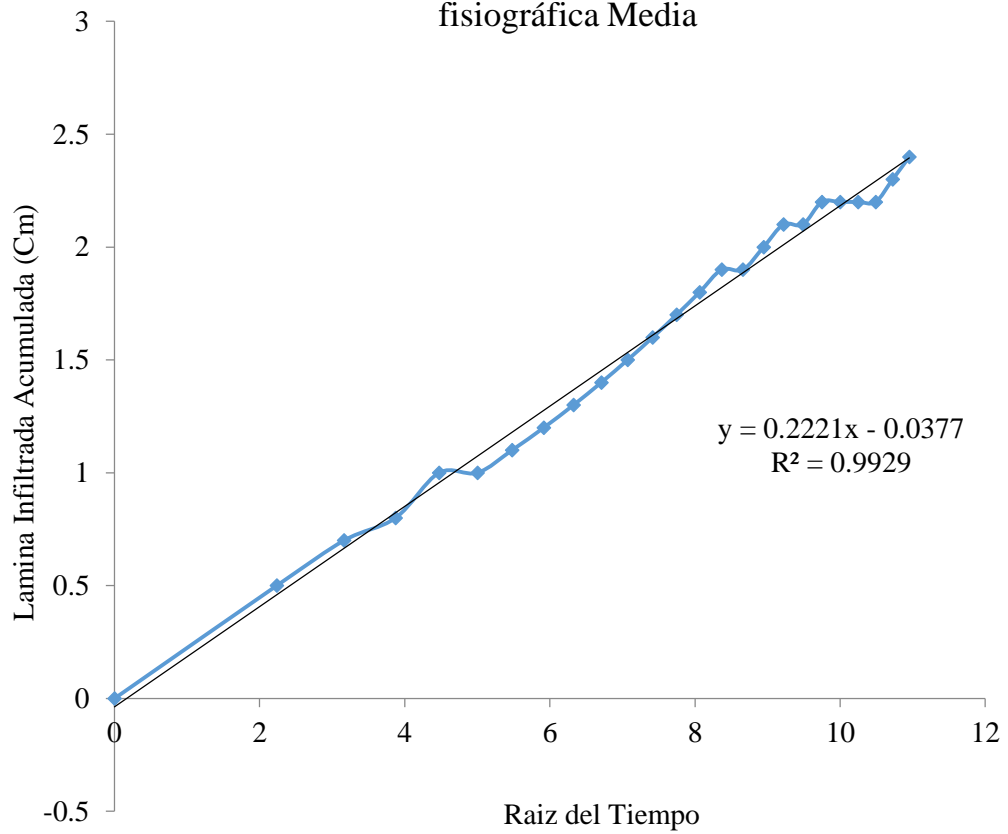
Infiltracion - Bosque intervenido parte Media - pendiente fisiográfica Alta



BOSQUE INTERVENIDO – PARTE MEDIA

Tipo de pendiente fisiográfica	Tiempo (s)	Raíz del tiempo (eje x)	Lectura en regla (Cm)	Lamina Infiltrada	
				Parcial	Acumulada (eje Y)
MEDIA	0	0.00	7.50	0.00	0.00
	5	2.24	7.00	0.50	0.50
	10	3.16	6.80	0.20	0.70
	15	3.87	6.70	0.10	0.80
	20	4.47	6.50	0.20	1.00
	25	5.00	6.50	0.00	1.00
	30	5.48	6.40	0.10	1.10
	35	5.92	6.30	0.10	1.20
	40	6.32	6.20	0.10	1.30
	45	6.71	6.10	0.10	1.40
	50	7.07	6.00	0.10	1.50
	55	7.42	5.90	0.10	1.60
	60	7.75	5.80	0.10	1.70
	65	8.06	5.70	0.10	1.80
	70	8.37	5.60	0.10	1.90
	75	8.66	5.60	0.00	1.90
	80	8.94	5.50	0.10	2.00
	85	9.22	5.40	0.10	2.10
	90	9.49	5.40	0.00	2.10
	95	9.75	5.30	0.10	2.20
100	10.00	5.30	0.00	2.20	
105	10.25	5.30	0.00	2.20	
110	10.49	5.30	0.00	2.20	
115	10.72	5.20	0.10	2.30	
120	10.95	5.10	0.10	2.40	

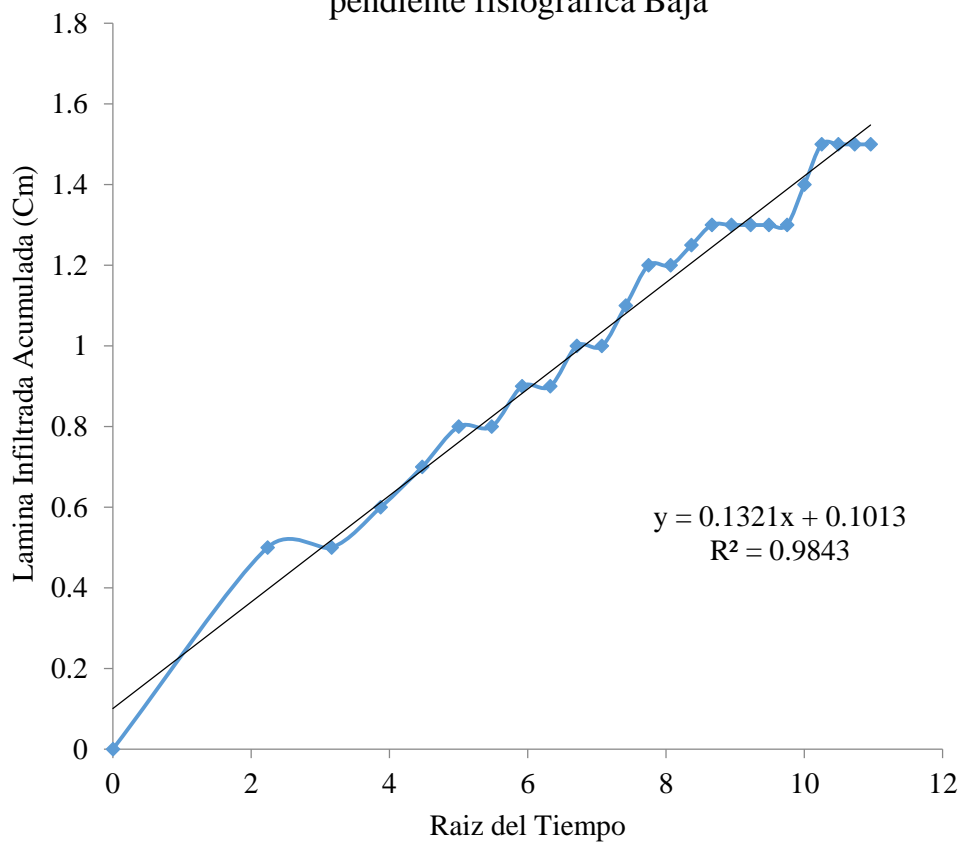
Infiltracion - Bosque intervenido parte Media - pendiente fisiográfica Media



BOSQUE INTERVENIDO - PARTE MEDIA

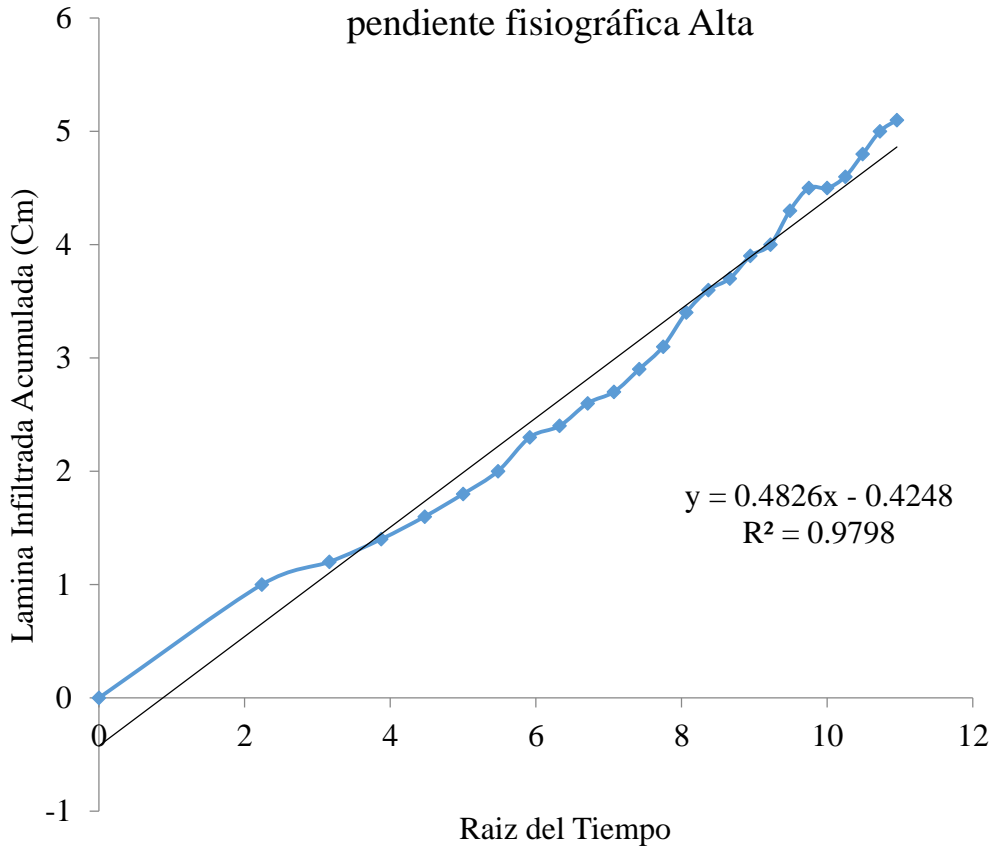
Tipo de pendiente fisiográfica	Tiempo (s)	Raíz del tiempo (eje x)	Lectura en regla (Cm)	Lamina Infiltrada	
				Parcial	Acumulada (eje Y)
BAJA	0	0.00	8.50	0.00	0.00
	5	2.24	8.00	0.50	0.50
	10	3.16	8.00	0.00	0.50
	15	3.87	7.90	0.10	0.60
	20	4.47	7.80	0.10	0.70
	25	5.00	7.70	0.10	0.80
	30	5.48	7.70	0.00	0.80
	35	5.92	7.60	0.10	0.90
	40	6.32	7.60	0.00	0.90
	45	6.71	7.50	0.10	1.00
	50	7.07	7.50	0.00	1.00
	55	7.42	7.40	0.10	1.10
	60	7.75	7.30	0.10	1.20
	65	8.06	7.30	0.00	1.20
	70	8.37	7.25	0.05	1.25
	75	8.66	7.20	0.05	1.30
	80	8.94	7.20	0.00	1.30
	85	9.22	7.20	0.00	1.30
	90	9.49	7.20	0.00	1.30
	95	9.75	7.20	0.00	1.30
100	10.00	7.10	0.10	1.40	
105	10.25	7.00	0.10	1.50	
110	10.49	7.00	0.00	1.50	
115	10.72	7.00	0.00	1.50	
120	10.95	7.00	0.00	1.50	

Infiltracion - Bosque intervenido parte Media - pendiente fisiográfica Baja



BOSQUE INTERVENIDO – PARTE BAJA					
Tipo de pendiente fisiográfica	Tiempo (s)	Raíz del tiempo (eje x)	Lectura en regla (Cm)	Lamina Infiltrada	
				Parcial	Acumulada (eje Y)
ALTA	0	0.00	7.00	0.00	0.00
	5	2.24	6.00	1.00	1.00
	10	3.16	5.80	0.20	1.20
	15	3.87	5.60	0.20	1.40
	20	4.47	5.40	0.20	1.60
	25	5.00	5.20	0.20	1.80
	30	5.48	5.00	0.20	2.00
	35	5.92	4.70	0.30	2.30
	40	6.32	4.60	0.10	2.40
	45	6.71	4.40	0.20	2.60
	50	7.07	4.30	0.10	2.70
	55	7.42	4.10	0.20	2.90
	60	7.75	3.90	0.20	3.10
	65	8.06	3.60	0.30	3.40
	70	8.37	3.40	0.20	3.60
	75	8.66	3.30	0.10	3.70
	80	8.94	3.10	0.20	3.90
	85	9.22	3.00	0.10	4.00
	90	9.49	2.70	0.30	4.30
	95	9.75	2.50	0.20	4.50
100	10.00	2.50	0.00	4.50	
105	10.25	2.40	0.10	4.60	
110	10.49	2.20	0.20	4.80	
115	10.72	2.00	0.20	5.00	
120	10.95	1.90	0.10	5.10	

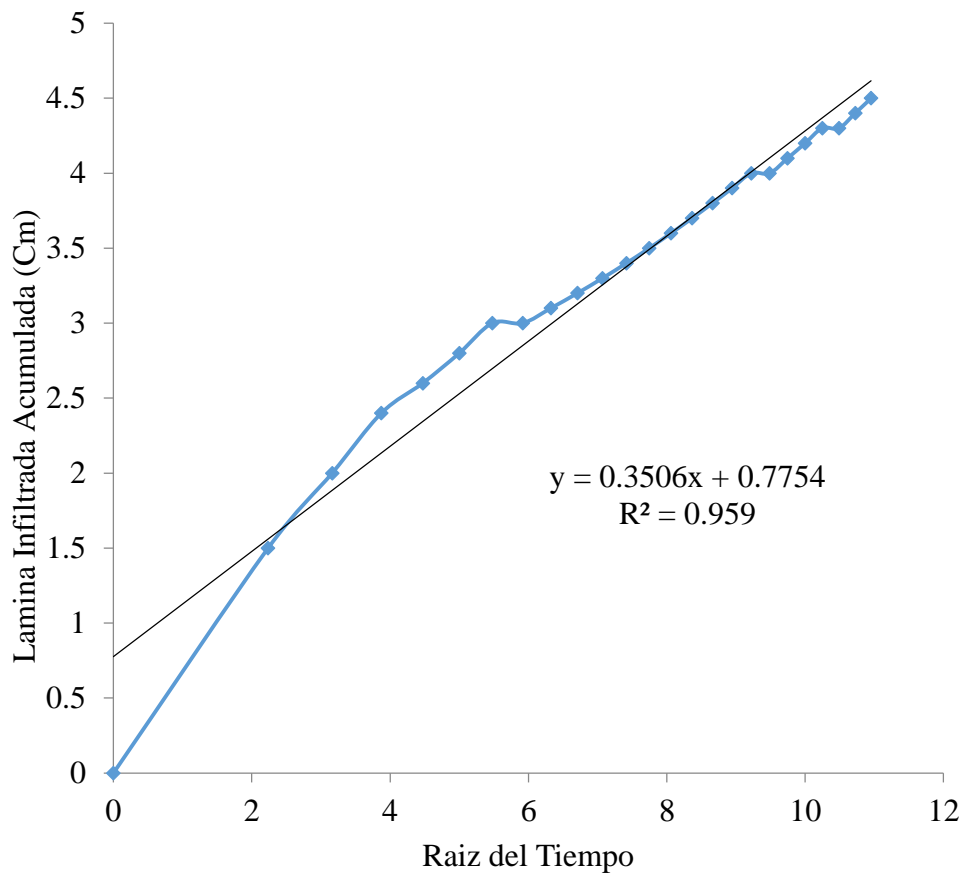
Infiltracion - Bosque intervenido parte Baja -
pendiente fisiográfica Alta



BOSQUE INTERVENIDO – PARTE BAJA

Tipo de pendiente fisiográfica	Tiempo (s)	Raíz del tiempo (eje x)	Lectura en regla (Cm)	Lamina Infiltrada	
				Parcial	Acumulada (eje Y)
MEDIA	0	0.00	8.00	0.00	0.00
	5	2.24	6.50	1.50	1.50
	10	3.16	6.00	0.50	2.00
	15	3.87	5.60	0.40	2.40
	20	4.47	5.40	0.20	2.60
	25	5.00	5.20	0.20	2.80
	30	5.48	5.00	0.20	3.00
	35	5.92	5.00	0.00	3.00
	40	6.32	4.90	0.10	3.10
	45	6.71	4.80	0.10	3.20
	50	7.07	4.70	0.10	3.30
	55	7.42	4.60	0.10	3.40
	60	7.75	4.50	0.10	3.50
	65	8.06	4.40	0.10	3.60
	70	8.37	4.30	0.10	3.70
	75	8.66	4.20	0.10	3.80
	80	8.94	4.10	0.10	3.90
	85	9.22	4.00	0.10	4.00
	90	9.49	4.00	0.00	4.00
	95	9.75	3.90	0.10	4.10
	100	10.00	3.80	0.10	4.20
105	10.25	3.70	0.10	4.30	
110	10.49	3.70	0.00	4.30	
115	10.72	3.60	0.10	4.40	
120	10.95	3.50	0.10	4.50	

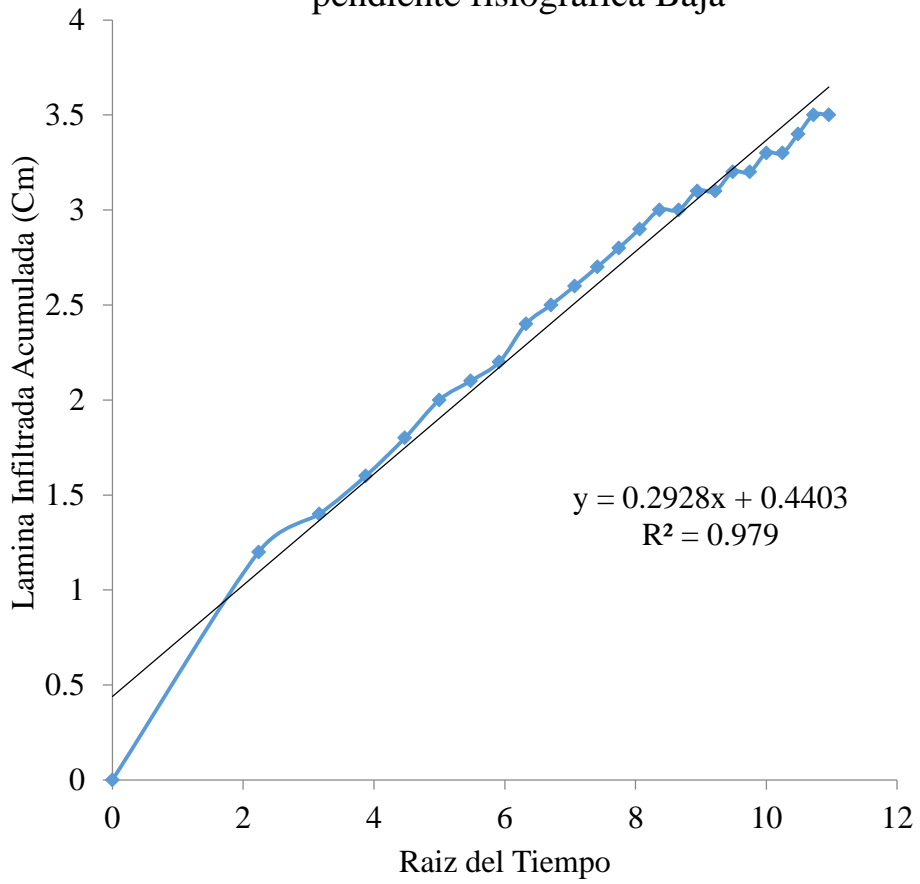
Infiltracion - Bosque intervenido parte baja - pendiente fisiográfica Media



BOSQUE INTERVENIDO – PARTE BAJA

Tipo de pendiente fisiográfica	Tiempo (s)	Raíz del tiempo (eje x)	Lectura en regla (Cm)	Lamina Infiltrada	
				Parcial	Acumulada (eje Y)
BAJA	0	0.00	7.00	0.00	0.00
	5	2.24	5.80	1.20	1.20
	10	3.16	5.60	0.20	1.40
	15	3.87	5.40	0.20	1.60
	20	4.47	5.20	0.20	1.80
	25	5.00	5.00	0.20	2.00
	30	5.48	4.90	0.10	2.10
	35	5.92	4.80	0.10	2.20
	40	6.32	4.60	0.20	2.40
	45	6.71	4.50	0.10	2.50
	50	7.07	4.40	0.10	2.60
	55	7.42	4.30	0.10	2.70
	60	7.75	4.20	0.10	2.80
	65	8.06	4.10	0.10	2.90
	70	8.37	4.00	0.10	3.00
	75	8.66	4.00	0.00	3.00
	80	8.94	3.90	0.10	3.10
	85	9.22	3.90	0.00	3.10
	90	9.49	3.80	0.10	3.20
	95	9.75	3.80	0.00	3.20
	100	10.00	3.70	0.10	3.30
105	10.25	3.70	0.00	3.30	
110	10.49	3.60	0.10	3.40	
115	10.72	3.50	0.10	3.50	
120	10.95	3.50	0.00	3.50	

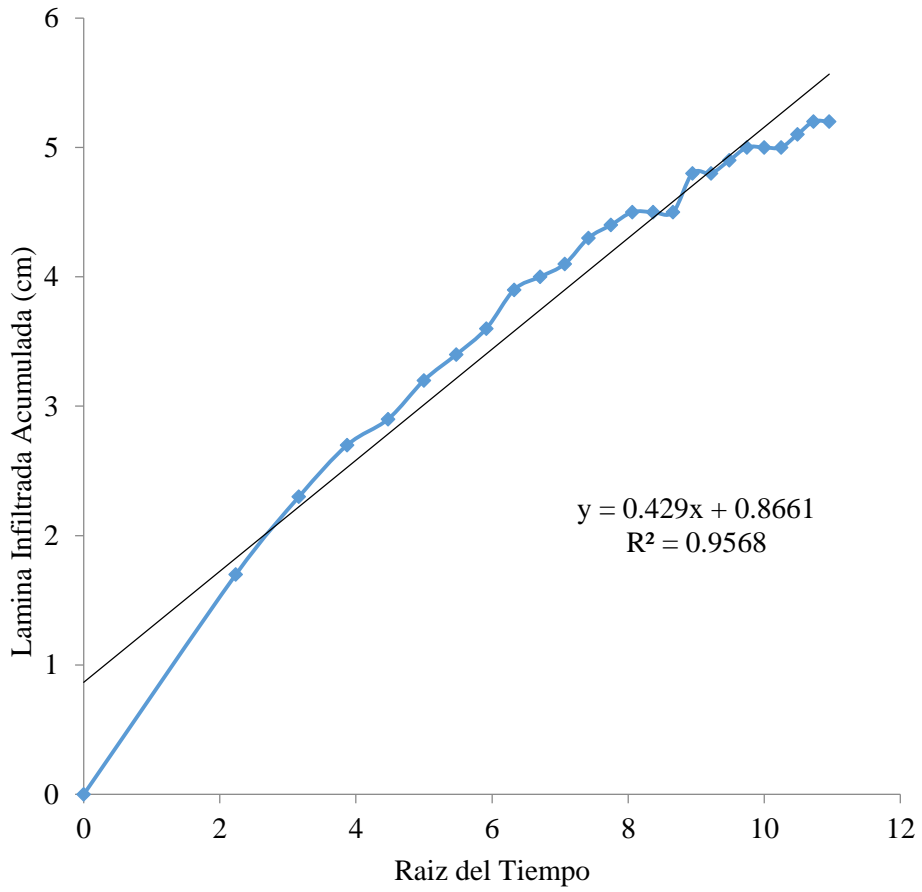
Infiltracion - Bosque intervenido parte Baja - pendiente fisiográfica Baja



PASTIZAL PARCIALMENTE COMPACTADO POR GANADERÍA
 – PARTE ALTA

Tipo de pendiente fisiográfica	Tiempo (s)	Raíz del tiempo (eje x)	Lectura en regla (Cm)	Lamina Infiltrada	
				Parcial	Acumulada (eje Y)
ALTA	0	0.00	9.00	0.00	0.00
	5	2.24	7.30	1.70	1.70
	10	3.16	6.70	0.60	2.30
	15	3.87	6.30	0.40	2.70
	20	4.47	6.10	0.20	2.90
	25	5.00	5.80	0.30	3.20
	30	5.48	5.60	0.20	3.40
	35	5.92	5.40	0.20	3.60
	40	6.32	5.10	0.30	3.90
	45	6.71	5.00	0.10	4.00
	50	7.07	4.90	0.10	4.10
	55	7.42	4.70	0.20	4.30
	60	7.75	4.60	0.10	4.40
	65	8.06	4.50	0.10	4.50
	70	8.37	4.50	0.00	4.50
	75	8.66	4.50	0.00	4.50
	80	8.94	4.20	0.30	4.80
	85	9.22	4.20	0.00	4.80
	90	9.49	4.10	0.10	4.90
	95	9.75	4.00	0.10	5.00
100	10.00	4.00	0.00	5.00	
105	10.25	4.00	0.00	5.00	
110	10.49	3.90	0.10	5.10	
115	10.72	3.80	0.10	5.20	
120	10.95	3.80	0.00	5.20	

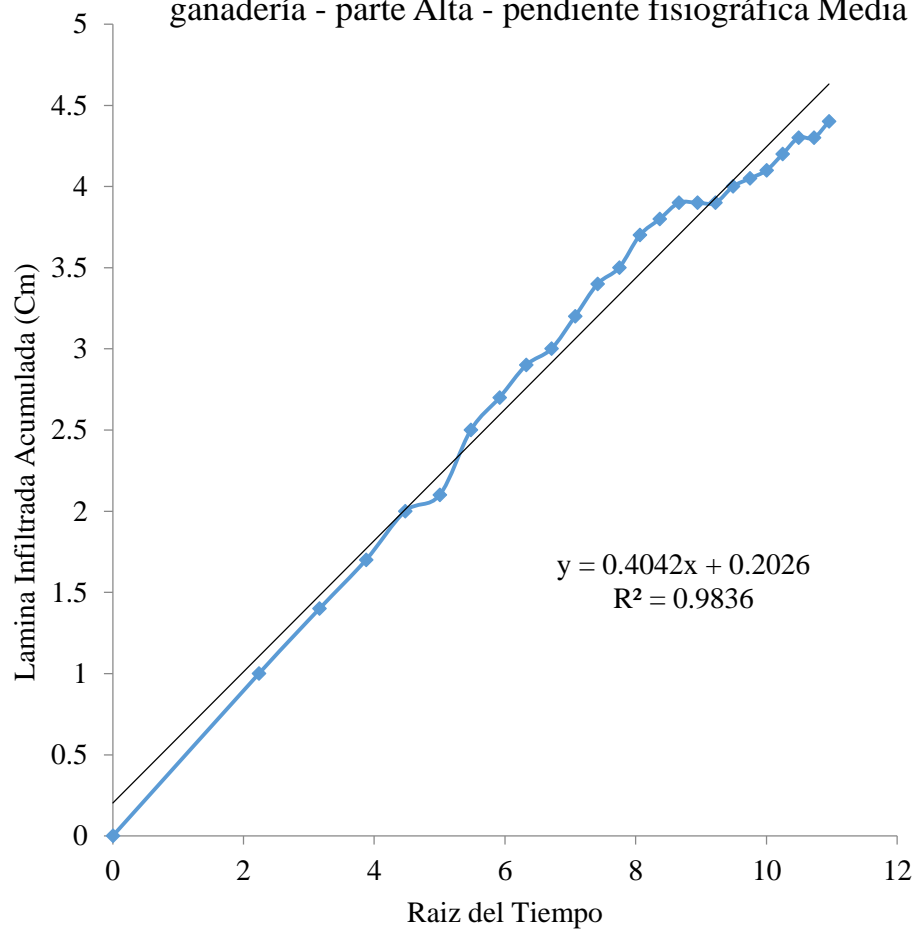
Infiltracion - Pastizal parcialmente compactado por ganadería - parte Alta - pendiente fisiográfica Alta



PASTIZAL PARCIALMENTE COMPACTADO POR GANADERÍA
 – PARTE ALTA

Tipo de pendiente fisiográfica	Tiempo (s)	Raíz del tiempo (eje x)	Lectura en regla (Cm)	Lamina Infiltrada	
				Parcial	Acumulada (eje Y)
MEDIA	0	0.00	10.00	0.00	0.00
	5	2.24	9.00	1.00	1.00
	10	3.16	8.60	0.40	1.40
	15	3.87	8.30	0.30	1.70
	20	4.47	8.00	0.30	2.00
	25	5.00	7.90	0.10	2.10
	30	5.48	7.50	0.40	2.50
	35	5.92	7.30	0.20	2.70
	40	6.32	7.10	0.20	2.90
	45	6.71	7.00	0.10	3.00
	50	7.07	6.80	0.20	3.20
	55	7.42	6.60	0.20	3.40
	60	7.75	6.50	0.10	3.50
	65	8.06	6.30	0.20	3.70
	70	8.37	6.20	0.10	3.80
	75	8.66	6.10	0.10	3.90
	80	8.94	6.10	0.00	3.90
	85	9.22	6.10	0.00	3.90
	90	9.49	6.00	0.10	4.00
	95	9.75	5.95	0.05	4.05
100	10.00	5.90	0.05	4.10	
105	10.25	5.80	0.10	4.20	
110	10.49	5.70	0.10	4.30	
115	10.72	5.70	0.00	4.30	
120	10.95	5.60	0.10	4.40	

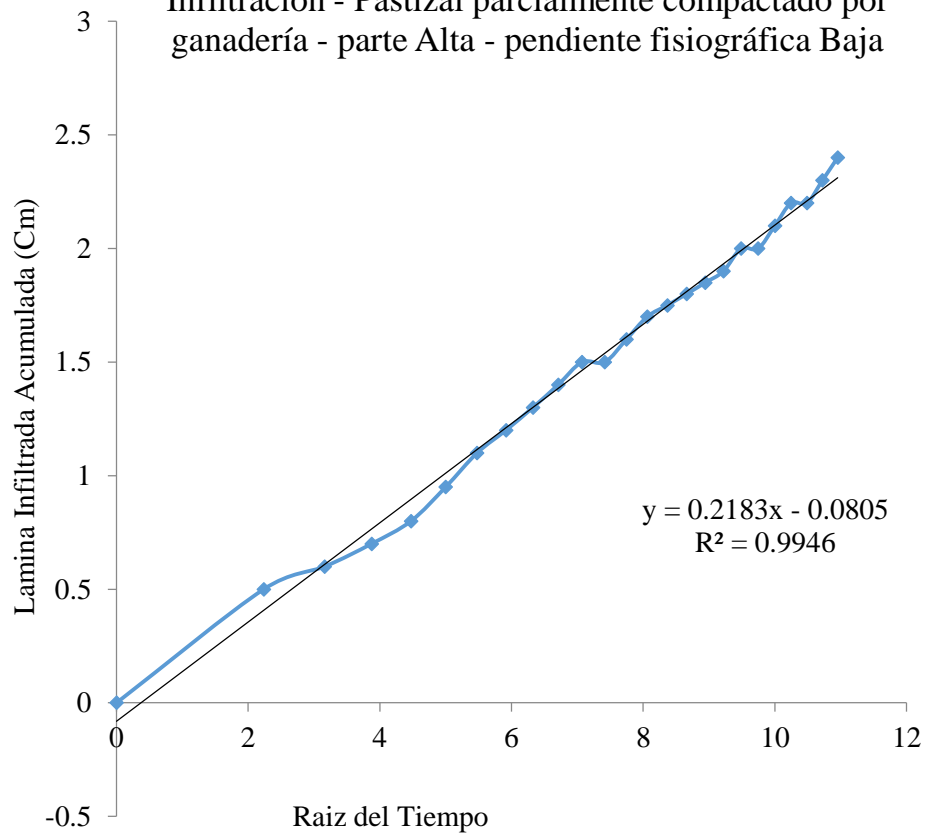
Infiltracion - Pastizal parcialmente compactado por ganadería - parte Alta - pendiente fisiográfica Media



PASTIZAL PARCIALMENTE COMPACTADO POR GANADERÍA
 – PARTE ALTA

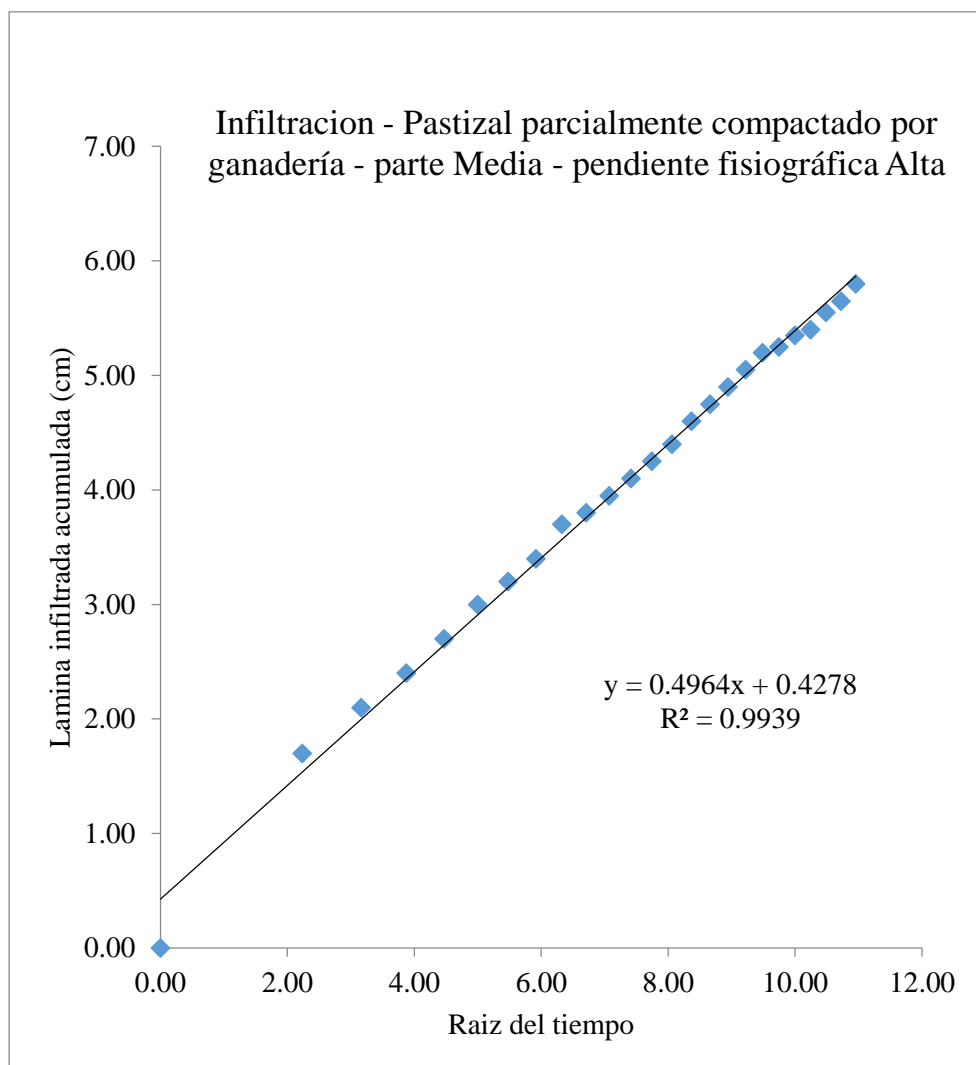
Tipo de pendiente fisiográfica	Tiempo (s)	Raíz del tiempo (eje x)	Lectura en regla (Cm)	Lamina Infiltrada	
				Parcial	Acumulada (eje Y)
BAJA	0	0.00	12.00	0.00	0.00
	5	2.24	11.50	0.50	0.50
	10	3.16	11.40	0.10	0.60
	15	3.87	11.30	0.10	0.70
	20	4.47	11.20	0.10	0.80
	25	5.00	11.05	0.15	0.95
	30	5.48	10.90	0.15	1.10
	35	5.92	10.80	0.10	1.20
	40	6.32	10.70	0.10	1.30
	45	6.71	10.60	0.10	1.40
	50	7.07	10.50	0.10	1.50
	55	7.42	10.50	0.00	1.50
	60	7.75	10.40	0.10	1.60
	65	8.06	10.30	0.10	1.70
	70	8.37	10.25	0.05	1.75
	75	8.66	10.20	0.05	1.80
	80	8.94	10.15	0.05	1.85
	85	9.22	10.10	0.05	1.90
	90	9.49	10.00	0.10	2.00
	95	9.75	10.00	0.00	2.00
	100	10.00	9.90	0.10	2.10
105	10.25	9.80	0.10	2.20	
110	10.49	9.80	0.00	2.20	
115	10.72	9.70	0.10	2.30	
120	10.95	9.60	0.10	2.40	

Infiltracion - Pastizal parcialmente compactado por ganadería - parte Alta - pendiente fisiográfica Baja



PASTIZAL PARCIALMENTE COMPACTADO POR GANADERÍA –
PARTE MEDIA

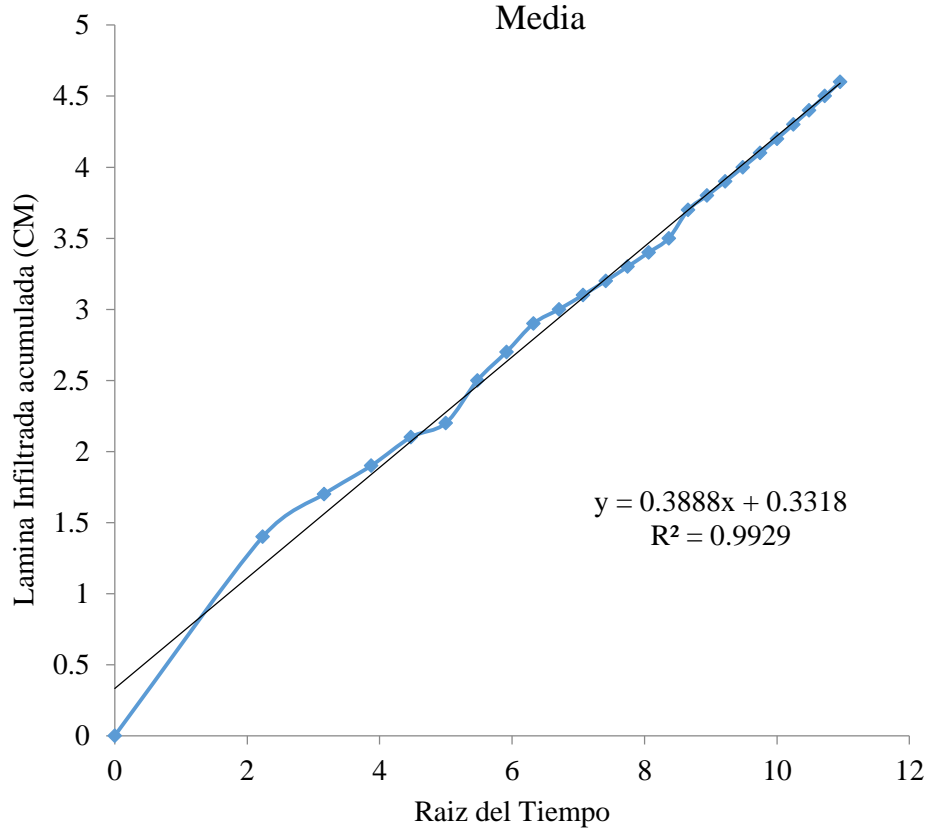
Tipo de pendiente fisiográfica	Tiempo (s)	Raíz del tiempo (eje x)	Lectura en regla (Cm)	Lamina Infiltrada	
				Parcial	Acumulada (eje Y)
ALTA	0	0.00	10.70	0.00	0.00
	5	2.24	9.00	1.70	1.70
	10	3.16	8.60	0.40	2.10
	15	3.87	8.30	0.30	2.40
	20	4.47	8.00	0.30	2.70
	25	5.00	7.70	0.30	3.00
	30	5.48	7.50	0.20	3.20
	35	5.92	7.30	0.20	3.40
	40	6.32	7.00	0.30	3.70
	45	6.71	6.90	0.10	3.80
	50	7.07	6.75	0.15	3.95
	55	7.42	6.60	0.15	4.10
	60	7.75	6.45	0.15	4.25
	65	8.06	6.30	0.15	4.40
	70	8.37	6.10	0.20	4.60
	75	8.66	5.95	0.15	4.75
	80	8.94	5.80	0.15	4.90
	85	9.22	5.65	0.15	5.05
	90	9.49	5.50	0.15	5.20
	95	9.75	5.45	0.05	5.25
	100	10.00	5.35	0.10	5.35
105	10.25	5.30	0.05	5.40	
110	10.49	5.15	0.15	5.55	
115	10.72	5.05	0.10	5.65	
120	10.95	4.90	0.15	5.80	



PASTIZAL PARCIALMENTE COMPACTADO POR GANADERÍA –
PARTE MEDIA

Tipo de pendiente fisiográfica	Tiempo (s)	Raíz del tiempo (eje x)	Lectura en regla (Cm)	Lamina Infiltrada	
				Parcial	Acumulada (eje Y)
MEDIA	0	0.00	8.70	0.00	0.00
	5	2.24	7.30	1.40	1.40
	10	3.16	7.00	0.30	1.70
	15	3.87	6.80	0.20	1.90
	20	4.47	6.60	0.20	2.10
	25	5.00	6.50	0.10	2.20
	30	5.48	6.20	0.30	2.50
	35	5.92	6.00	0.20	2.70
	40	6.32	5.80	0.20	2.90
	45	6.71	5.70	0.10	3.00
	50	7.07	5.60	0.10	3.10
	55	7.42	5.50	0.10	3.20
	60	7.75	5.40	0.10	3.30
	65	8.06	5.30	0.10	3.40
	70	8.37	5.20	0.10	3.50
	75	8.66	5.00	0.20	3.70
	80	8.94	4.90	0.10	3.80
	85	9.22	4.80	0.10	3.90
	90	9.49	4.70	0.10	4.00
	95	9.75	4.60	0.10	4.10
100	10.00	4.50	0.10	4.20	
105	10.25	4.40	0.10	4.30	
110	10.49	4.30	0.10	4.40	
115	10.72	4.20	0.10	4.50	
120	10.95	4.10	0.10	4.60	

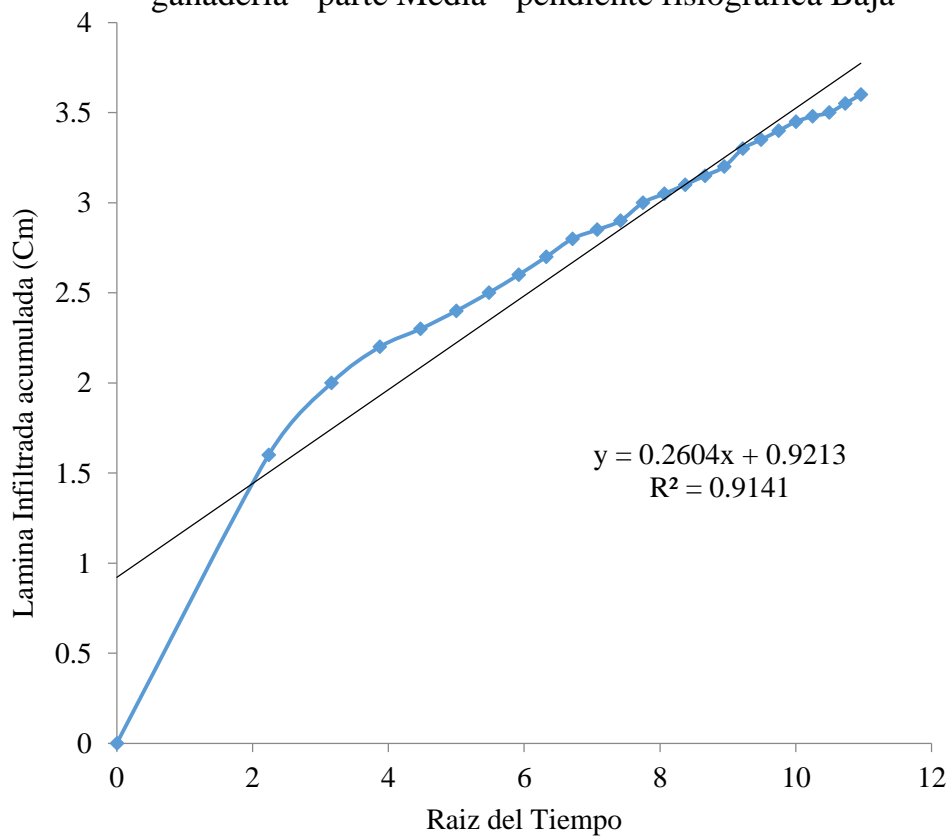
Infiltración - Pastizal parcialmente compactado por ganadería - parte Media - pendiente fisiográfica Media



PASTIZAL PARCIALMENTE COMPACTADO POR GANADERÍA –
PARTE MEDIA

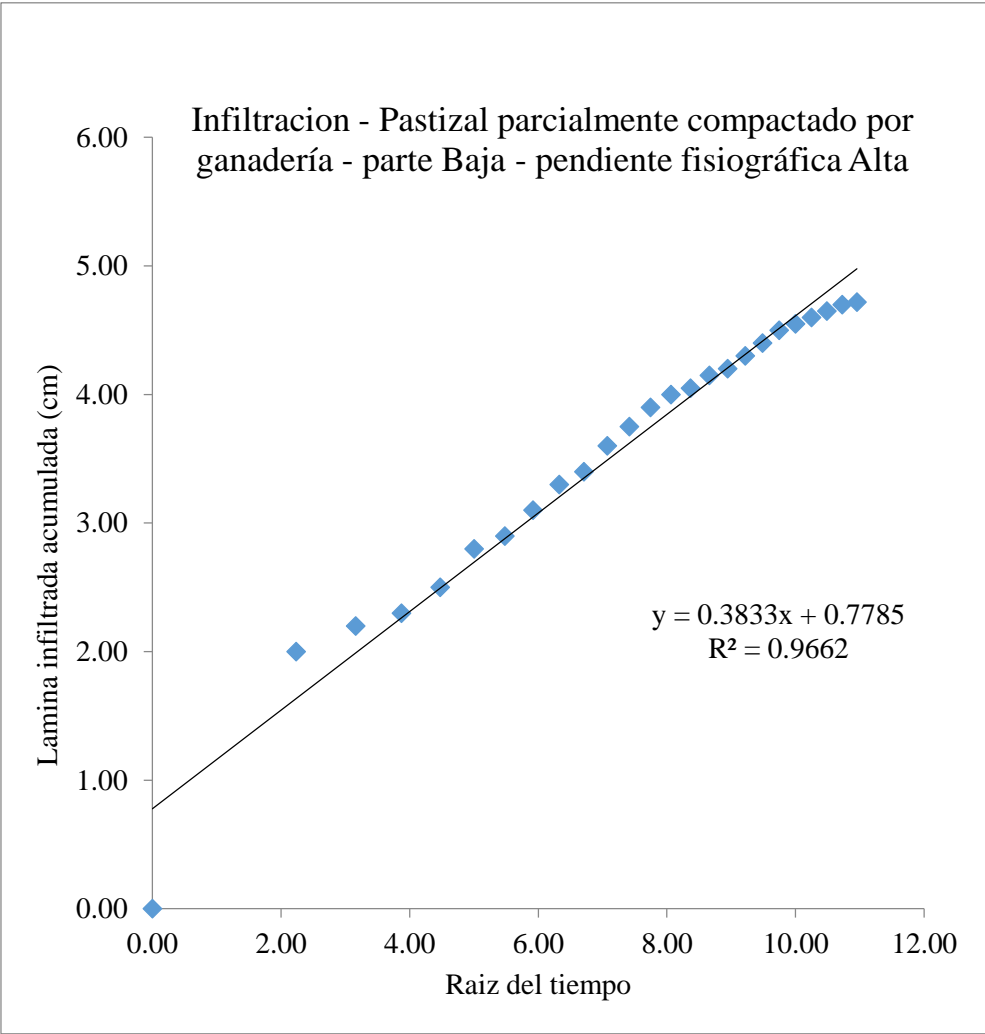
Tipo de pendiente fisiográfica	Tiempo (s)	Raíz del tiempo (eje x)	Lectura en regla (Cm)	Lamina Infiltrada	
				Parcial	Acumulada (eje Y)
BAJA	0	0.00	9.80	0.00	0.00
	5	2.24	8.20	1.60	1.60
	10	3.16	7.80	0.40	2.00
	15	3.87	7.60	0.20	2.20
	20	4.47	7.50	0.10	2.30
	25	5.00	7.40	0.10	2.40
	30	5.48	7.30	0.10	2.50
	35	5.92	7.20	0.10	2.60
	40	6.32	7.10	0.10	2.70
	45	6.71	7.00	0.10	2.80
	50	7.07	6.95	0.05	2.85
	55	7.42	6.90	0.05	2.90
	60	7.75	6.80	0.10	3.00
	65	8.06	6.75	0.05	3.05
	70	8.37	6.70	0.05	3.10
	75	8.66	6.65	0.05	3.15
	80	8.94	6.60	0.05	3.20
	85	9.22	6.50	0.10	3.30
	90	9.49	6.45	0.05	3.35
	95	9.75	6.40	0.05	3.40
	100	10.00	6.35	0.05	3.45
105	10.25	6.32	0.03	3.48	
110	10.49	6.30	0.02	3.50	
115	10.72	6.25	0.05	3.55	
120	10.95	6.20	0.05	3.60	

Infiltracion - Pastizal parcialmente compactado por ganadería - parte Media - pendiente fisiográfica Baja



PASTIZAL PARCIALMENTE COMPACTADO POR GANADERÍA –
PARTE BAJA

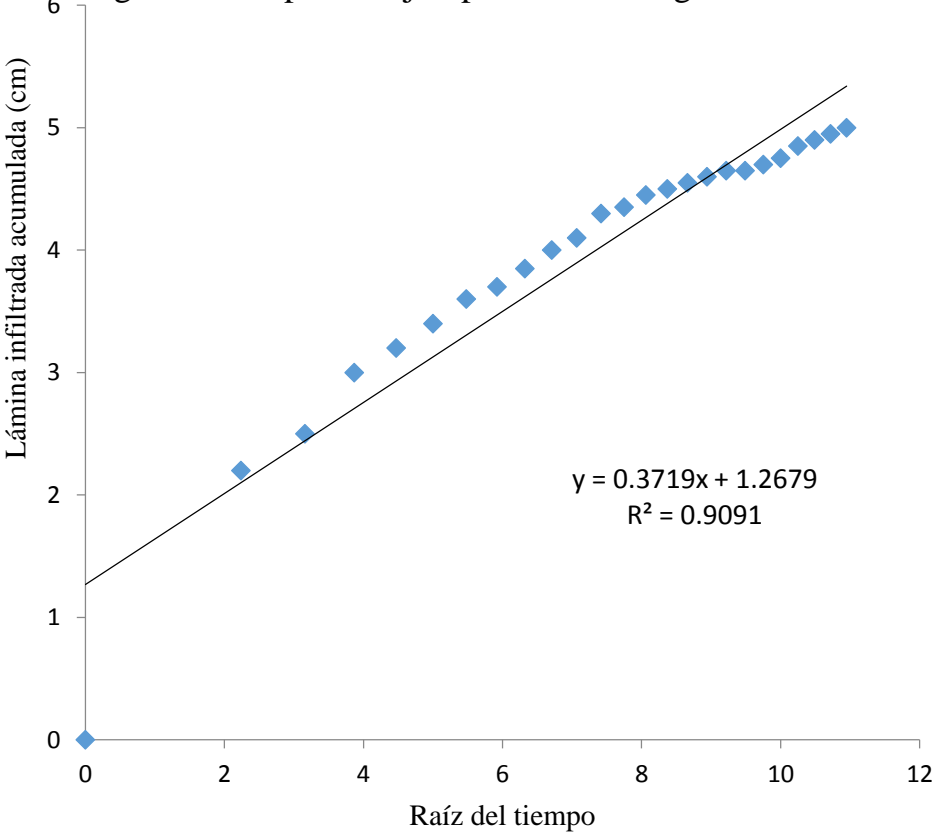
Tipo de pendiente fisiográfica	Tiempo (s)	Raíz del tiempo (eje x)	Lectura en regla (Cm)	Lamina Infiltrada	
				Parcial	Acumulada (eje Y)
ALTA	0	0.00	7.00	0.00	0.00
	5	2.24	5.00	2.00	2.00
	10	3.16	4.80	0.20	2.20
	15	3.87	4.70	0.10	2.30
	20	4.47	4.50	0.20	2.50
	25	5.00	4.20	0.30	2.80
	30	5.48	4.10	0.10	2.90
	35	5.92	3.90	0.20	3.10
	40	6.32	3.70	0.20	3.30
	45	6.71	3.60	0.10	3.40
	50	7.07	3.40	0.20	3.60
	55	7.42	3.25	0.15	3.75
	60	7.75	3.10	0.15	3.90
	65	8.06	3.00	0.10	4.00
	70	8.37	2.95	0.05	4.05
	75	8.66	2.85	0.10	4.15
	80	8.94	2.80	0.05	4.20
	85	9.22	2.70	0.10	4.30
	90	9.49	2.60	0.10	4.40
	95	9.75	2.50	0.10	4.50
	100	10.00	2.45	0.05	4.55
105	10.25	2.40	0.05	4.60	
110	10.49	2.35	0.05	4.65	
115	10.72	2.30	0.05	4.70	
120	10.95	2.28	0.02	4.72	



PASTIZAL PARCIALMENTE COMPACTADO POR GANADERÍA –
PARTE BAJA

Tipo de pendiente fisiográfica	Tiempo (s)	Raíz del tiempo (eje x)	Lectura en regla (Cm)	Lamina Infiltrada	
				Parcial	Acumulada (eje Y)
MEDIA	0	0.00	11.00	0.00	0.00
	5	2.24	8.80	2.20	2.20
	10	3.16	8.50	0.30	2.50
	15	3.87	8.00	0.50	3.00
	20	4.47	7.80	0.20	3.20
	25	5.00	7.60	0.20	3.40
	30	5.48	7.40	0.20	3.60
	35	5.92	7.30	0.10	3.70
	40	6.32	7.15	0.15	3.85
	45	6.71	7.00	0.15	4.00
	50	7.07	6.90	0.10	4.10
	55	7.42	6.70	0.20	4.30
	60	7.75	6.65	0.05	4.35
	65	8.06	6.55	0.10	4.45
	70	8.37	6.50	0.05	4.50
	75	8.66	6.45	0.05	4.55
	80	8.94	6.40	0.05	4.60
	85	9.22	6.35	0.05	4.65
	90	9.49	6.35	0.00	4.65
	95	9.75	6.30	0.05	4.70
	100	10.00	6.25	0.05	4.75
	105	10.25	6.15	0.10	4.85
	110	10.49	6.10	0.05	4.90
	115	10.72	6.05	0.05	4.95
120	10.95	6.00	0.05	5.00	

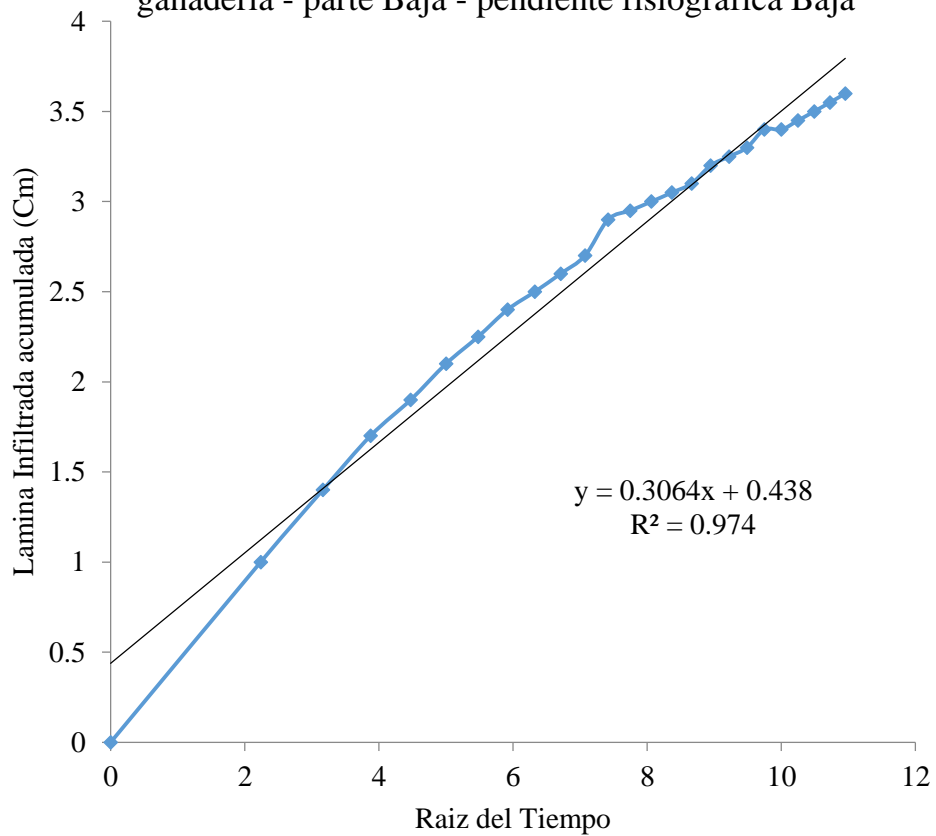
Infiltración - Pastizal parcialmente compactado por ganadería - parte Baja - pendiente fisiográfica Media



PASTIZAL PARCIALMENTE COMPACTADO POR GANADERÍA –
PARTE BAJA

Tipo de pendiente fisiográfica	Tiempo (s)	Raíz del tiempo (eje x)	Lectura en regla (Cm)	Lamina Infiltrada	
				Parcial	Acumulada (eje Y)
BAJA	0	0.00	8.70	0.00	0.00
	5	2.24	7.70	1.00	1.00
	10	3.16	7.30	0.40	1.40
	15	3.87	7.00	0.30	1.70
	20	4.47	6.80	0.20	1.90
	25	5.00	6.60	0.20	2.10
	30	5.48	6.45	0.15	2.25
	35	5.92	6.30	0.15	2.40
	40	6.32	6.20	0.10	2.50
	45	6.71	6.10	0.10	2.60
	50	7.07	6.00	0.10	2.70
	55	7.42	5.80	0.20	2.90
	60	7.75	5.75	0.05	2.95
	65	8.06	5.70	0.05	3.00
	70	8.37	5.65	0.05	3.05
	75	8.66	5.60	0.05	3.10
	80	8.94	5.50	0.10	3.20
	85	9.22	5.45	0.05	3.25
	90	9.49	5.40	0.05	3.30
	95	9.75	5.30	0.10	3.40
	100	10.00	5.30	0.00	3.40
	105	10.25	5.25	0.05	3.45
	110	10.49	5.20	0.05	3.50
	115	10.72	5.15	0.05	3.55
120	10.95	5.10	0.05	3.60	

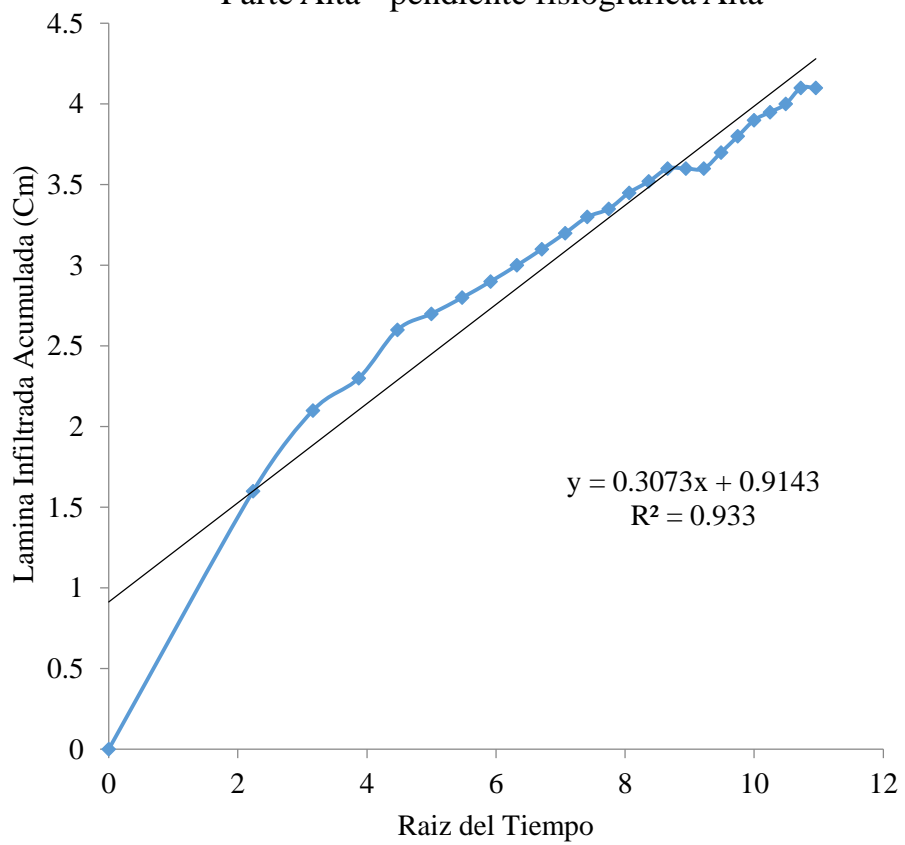
Infiltracion - Pastizal parcialmente compactado por ganadería - parte Baja - pendiente fisiográfica Baja



CULTIVO DE PAPAS EN ANDENES AGRÍCOLAS – PARTE ALTA

Tipo de pendiente fisiográfica	Tiempo (s)	Raíz del tiempo (eje x)	Lectura en regla (Cm)	Lamina Infiltrada	
				Parcial	Acumulada (eje Y)
ALTA	0	0.00	8.60	0.00	0.00
	5	2.24	7.00	1.60	1.60
	10	3.16	6.50	0.50	2.10
	15	3.87	6.30	0.20	2.30
	20	4.47	6.00	0.30	2.60
	25	5.00	5.90	0.10	2.70
	30	5.48	5.80	0.10	2.80
	35	5.92	5.70	0.10	2.90
	40	6.32	5.60	0.10	3.00
	45	6.71	5.50	0.10	3.10
	50	7.07	5.40	0.10	3.20
	55	7.42	5.30	0.10	3.30
	60	7.75	5.25	0.05	3.35
	65	8.06	5.15	0.10	3.45
	70	8.37	5.08	0.07	3.52
	75	8.66	5.00	0.08	3.60
	80	8.94	5.00	0.00	3.60
	85	9.22	5.00	0.00	3.60
	90	9.49	4.90	0.10	3.70
	95	9.75	4.80	0.10	3.80
	100	10.00	4.70	0.10	3.90
105	10.25	4.65	0.05	3.95	
110	10.49	4.60	0.05	4.00	
115	10.72	4.50	0.10	4.10	
120	10.95	4.50	0.00	4.10	

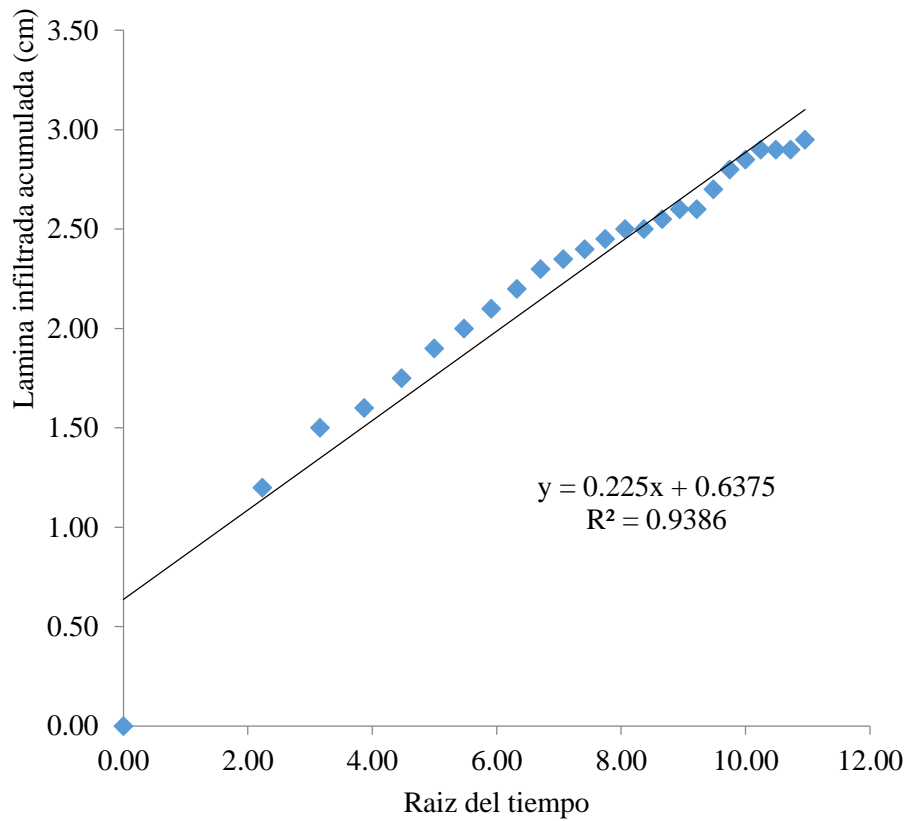
Infiltracion - Cultivo de papas en andenes agrícolas -
Parte Alta - pendiente fisiográfica Alta



CULTIVO DE PAPAS EN ANDENES AGRÍCOLAS – PARTE ALTA

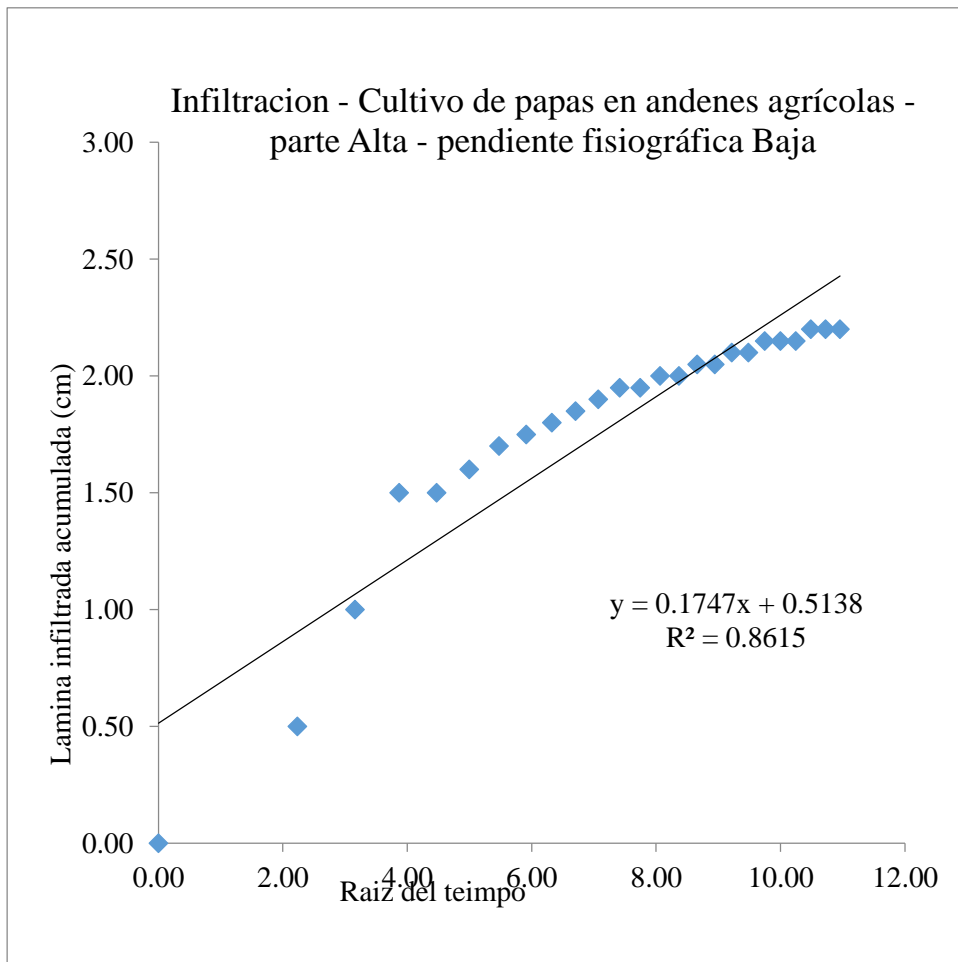
Tipo de pendiente fisiográfica	Tiempo (s)	Raíz del tiempo (eje x)	Lectura en regla (Cm)	Lamina Infiltrada	
				Parcial	Acumulada (eje Y)
MEDIA	0	0.00	8.00	0.00	0.00
	5	2.24	6.80	1.20	1.20
	10	3.16	6.50	0.30	1.50
	15	3.87	6.40	0.10	1.60
	20	4.47	6.25	0.15	1.75
	25	5.00	6.10	0.15	1.90
	30	5.48	6.00	0.10	2.00
	35	5.92	5.90	0.10	2.10
	40	6.32	5.80	0.10	2.20
	45	6.71	5.70	0.10	2.30
	50	7.07	5.65	0.05	2.35
	55	7.42	5.60	0.05	2.40
	60	7.75	5.55	0.05	2.45
	65	8.06	5.50	0.05	2.50
	70	8.37	5.50	0.00	2.50
	75	8.66	5.45	0.05	2.55
	80	8.94	5.40	0.05	2.60
	85	9.22	5.40	0.00	2.60
	90	9.49	5.30	0.10	2.70
	95	9.75	5.20	0.10	2.80
	100	10.00	5.15	0.05	2.85
105	10.25	5.10	0.05	2.90	
110	10.49	5.10	0.00	2.90	
115	10.72	5.10	0.00	2.90	
120	10.95	5.05	0.05	2.95	

Infiltracion - Cultivo de papas en andenes agrícolas -
parte Alta - pendiente Media



CULTIVO DE PAPAS EN ANDENES AGRÍCOLAS – PARTE ALTA

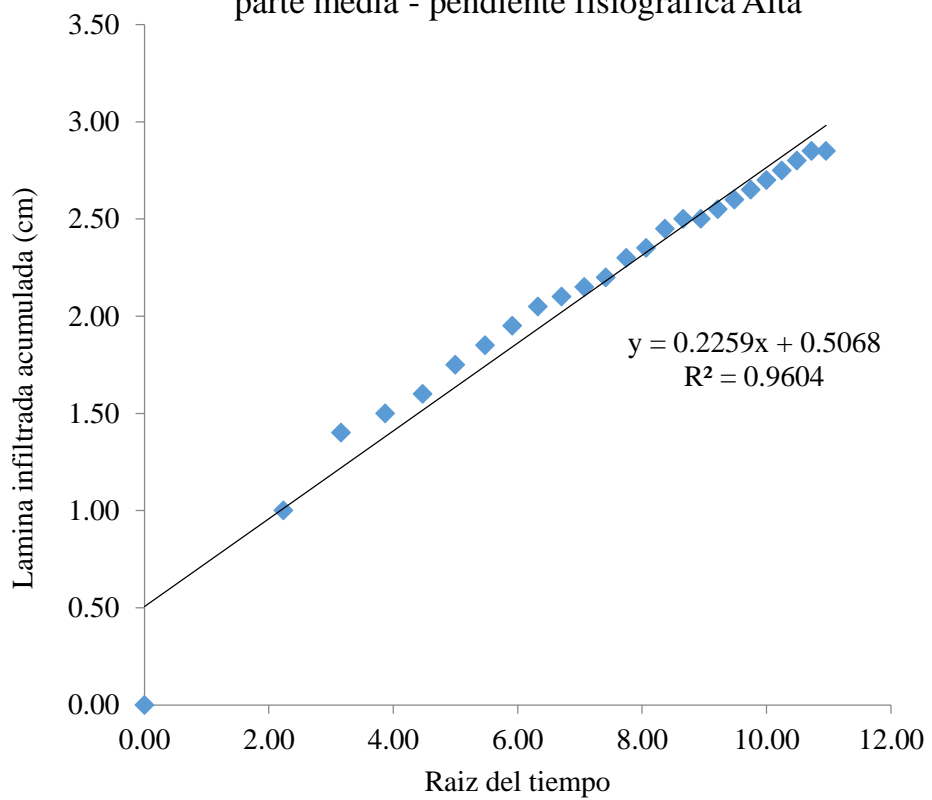
Tipo de pendiente fisiográfica	Tiempo (s)	Raíz del tiempo (eje x)	Lectura en regla (Cm)	Lamina Infiltrada	
				Parcial	Acumulada (eje Y)
BAJA	0	0.00	9.00	0.00	0.00
	5	2.24	8.50	0.50	0.50
	10	3.16	8.00	0.50	1.00
	15	3.87	7.50	0.50	1.50
	20	4.47	7.50	0.00	1.50
	25	5.00	7.40	0.10	1.60
	30	5.48	7.30	0.10	1.70
	35	5.92	7.25	0.05	1.75
	40	6.32	7.20	0.05	1.80
	45	6.71	7.15	0.05	1.85
	50	7.07	7.10	0.05	1.90
	55	7.42	7.05	0.05	1.95
	60	7.75	7.05	0.00	1.95
	65	8.06	7.00	0.05	2.00
	70	8.37	7.00	0.00	2.00
	75	8.66	6.95	0.05	2.05
	80	8.94	6.95	0.00	2.05
	85	9.22	6.90	0.05	2.10
	90	9.49	6.90	0.00	2.10
	95	9.75	6.85	0.05	2.15
100	10.00	6.85	0.00	2.15	
105	10.25	6.85	0.00	2.15	
110	10.49	6.80	0.05	2.20	
115	10.72	6.80	0.00	2.20	
120	10.95	6.80	0.00	2.20	



CULTIVO DE PAPAS EN ANDENES AGRÍCOLAS – PARTE MEDIA

Tipo de pendiente fisiográfica	Tiempo (s)	Raíz del tiempo (eje x)	Lectura en regla (Cm)	Lamina Infiltrada	
				Parcial	Acumulada (eje Y)
ALTA	0	0.00	10.00	0.00	0.00
	5	2.24	9.00	1.00	1.00
	10	3.16	8.60	0.40	1.40
	15	3.87	8.50	0.10	1.50
	20	4.47	8.40	0.10	1.60
	25	5.00	8.25	0.15	1.75
	30	5.48	8.15	0.10	1.85
	35	5.92	8.05	0.10	1.95
	40	6.32	7.95	0.10	2.05
	45	6.71	7.90	0.05	2.10
	50	7.07	7.85	0.05	2.15
	55	7.42	7.80	0.05	2.20
	60	7.75	7.70	0.10	2.30
	65	8.06	7.65	0.05	2.35
	70	8.37	7.55	0.10	2.45
	75	8.66	7.50	0.05	2.50
	80	8.94	7.50	0.00	2.50
	85	9.22	7.45	0.05	2.55
	90	9.49	7.40	0.05	2.60
	95	9.75	7.35	0.05	2.65
	100	10.00	7.30	0.05	2.70
105	10.25	7.25	0.05	2.75	
110	10.49	7.20	0.05	2.80	
115	10.72	7.15	0.05	2.85	
120	10.95	7.15	0.00	2.85	

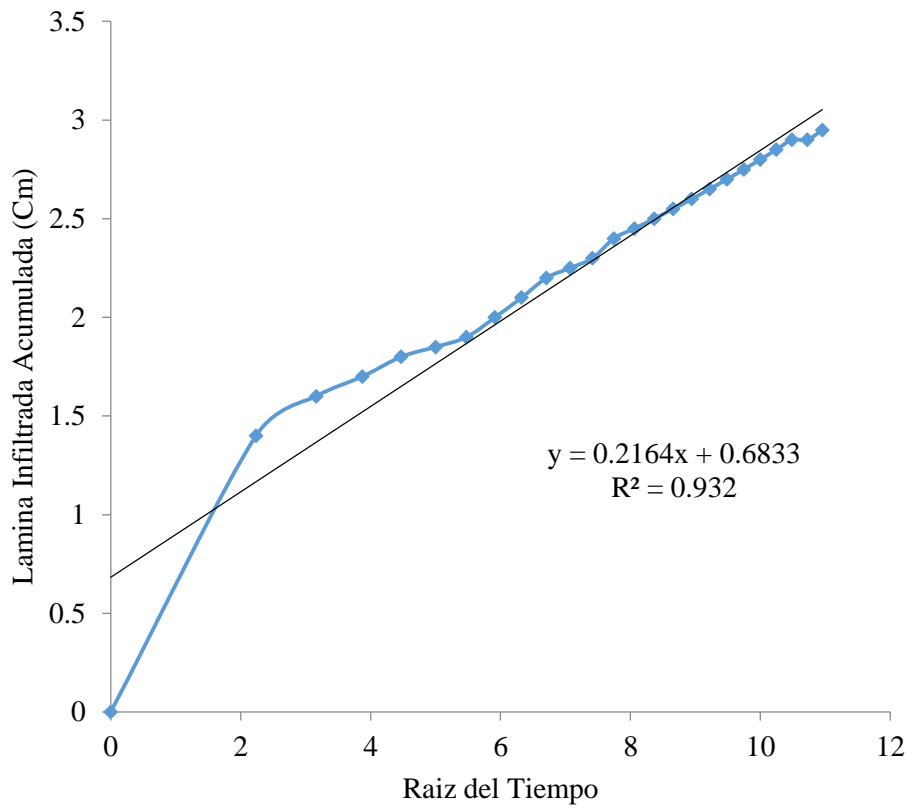
Infiltracion - Cultivo de papas en andenes agrícolas -
parte media - pendiente fisiográfica Alta



CULTIVO DE PAPAS EN ANDENES AGRÍCOLAS – PARTE MEDIA

Tipo de pendiente fisiográfica	Tiempo (s)	Raíz del tiempo (eje x)	Lectura en regla (Cm)	Lamina Infiltrada	
				Parcial	Acumulada (eje Y)
MEDIA	0	0.00	10.00	0.00	0.00
	5	2.24	8.60	1.40	1.40
	10	3.16	8.40	0.20	1.60
	15	3.87	8.30	0.10	1.70
	20	4.47	8.20	0.10	1.80
	25	5.00	8.15	0.05	1.85
	30	5.48	8.10	0.05	1.90
	35	5.92	8.00	0.10	2.00
	40	6.32	7.90	0.10	2.10
	45	6.71	7.80	0.10	2.20
	50	7.07	7.75	0.05	2.25
	55	7.42	7.70	0.05	2.30
	60	7.75	7.60	0.10	2.40
	65	8.06	7.55	0.05	2.45
	70	8.37	7.50	0.05	2.50
	75	8.66	7.45	0.05	2.55
	80	8.94	7.40	0.05	2.60
	85	9.22	7.35	0.05	2.65
	90	9.49	7.30	0.05	2.70
	95	9.75	7.25	0.05	2.75
	100	10.00	7.20	0.05	2.80
105	10.25	7.15	0.05	2.85	
110	10.49	7.10	0.05	2.90	
115	10.72	7.10	0.00	2.90	
120	10.95	7.05	0.05	2.95	

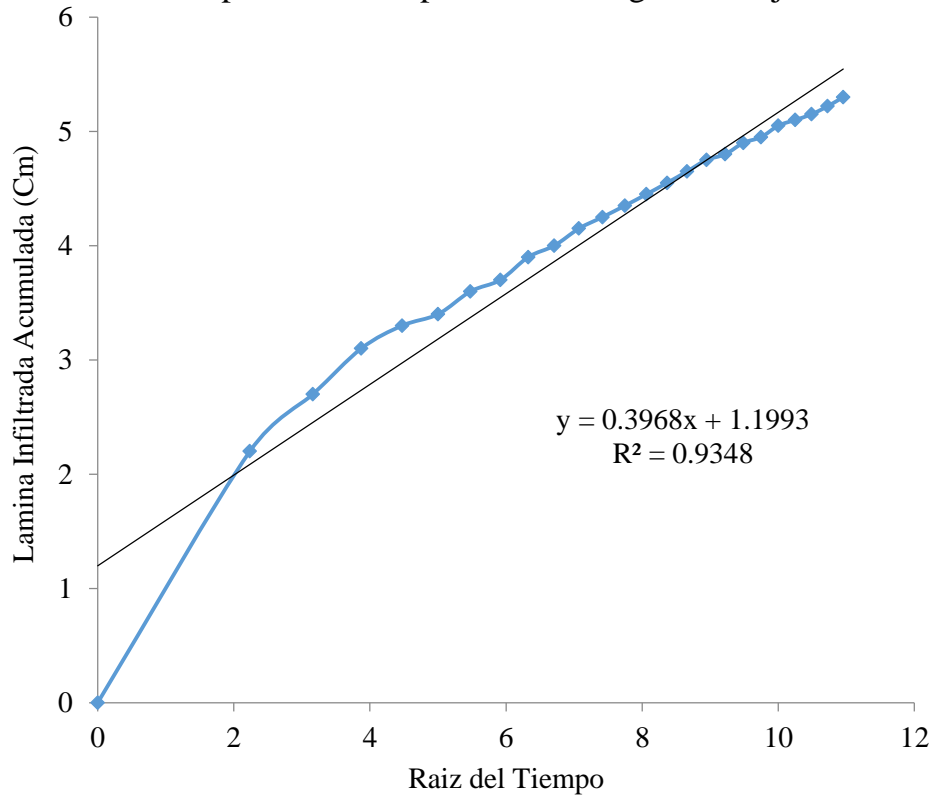
Infiltracion - Cultivo de papas en andenes agrícolas -
parte media - pendiente fisiográfica Media



CULTIVO DE PAPAS EN ANDENES AGRÍCOLAS – PARTE MEDIA

Tipo de pendiente fisiográfica	Tiempo (s)	Raíz del tiempo (eje x)	Lectura en regla (Cm)	Lamina Infiltrada	
				Parcial	Acumulada (eje Y)
BAJA	0	0.00	8.70	0.00	0.00
	5	2.24	6.50	2.20	2.20
	10	3.16	6.00	0.50	2.70
	15	3.87	5.60	0.40	3.10
	20	4.47	5.40	0.20	3.30
	25	5.00	5.30	0.10	3.40
	30	5.48	5.10	0.20	3.60
	35	5.92	5.00	0.10	3.70
	40	6.32	4.80	0.20	3.90
	45	6.71	4.70	0.10	4.00
	50	7.07	4.55	0.15	4.15
	55	7.42	4.45	0.10	4.25
	60	7.75	4.35	0.10	4.35
	65	8.06	4.25	0.10	4.45
	70	8.37	4.15	0.10	4.55
	75	8.66	4.05	0.10	4.65
	80	8.94	3.95	0.10	4.75
	85	9.22	3.90	0.05	4.80
	90	9.49	3.80	0.10	4.90
	95	9.75	3.75	0.05	4.95
	100	10.00	3.65	0.10	5.05
105	10.25	3.60	0.05	5.10	
110	10.49	3.55	0.05	5.15	
115	10.72	3.48	0.07	5.22	
120	10.95	3.40	0.08	5.30	

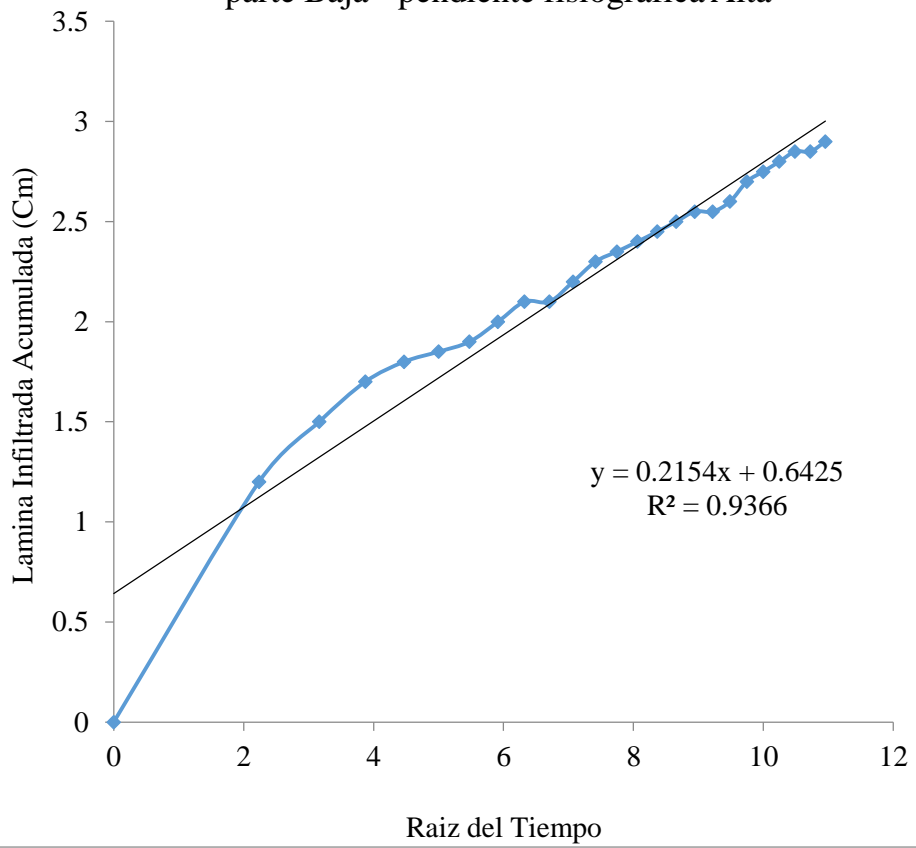
Infiltracion - Cultivo de papas en andenes agrícolas -
parte Media - pendiente fisiográfica Baja



CULTIVO DE PAPAS EN ANDENES AGRÍCOLAS – PARTE BAJA

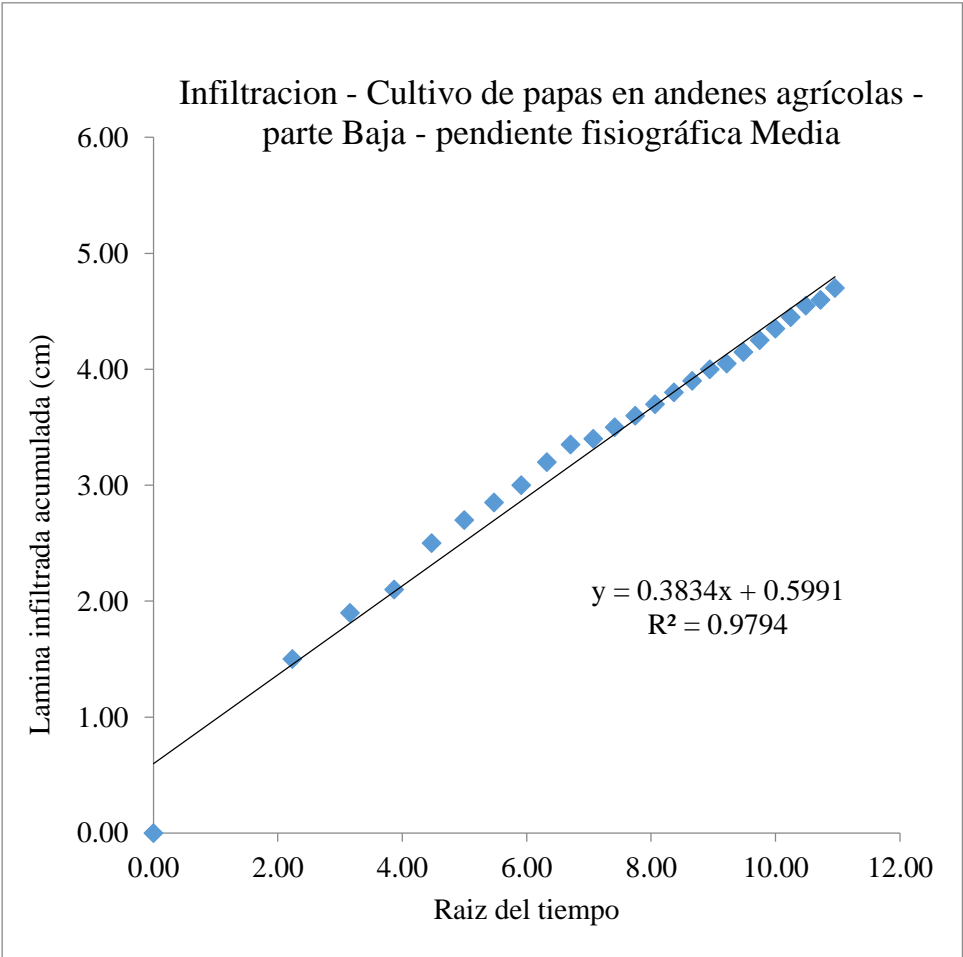
Tipo de pendiente fisiográfica	Tiempo (s)	Raíz del tiempo (eje x)	Lectura en regla (Cm)	Lamina Infiltrada	
				Parcial	Acumulada (eje Y)
ALTA	0	0.00	10.00	0.00	0.00
	5	2.24	8.80	1.20	1.20
	10	3.16	8.50	0.30	1.50
	15	3.87	8.30	0.20	1.70
	20	4.47	8.20	0.10	1.80
	25	5.00	8.15	0.05	1.85
	30	5.48	8.10	0.05	1.90
	35	5.92	8.00	0.10	2.00
	40	6.32	7.90	0.10	2.10
	45	6.71	7.90	0.00	2.10
	50	7.07	7.80	0.10	2.20
	55	7.42	7.70	0.10	2.30
	60	7.75	7.65	0.05	2.35
	65	8.06	7.60	0.05	2.40
	70	8.37	7.55	0.05	2.45
	75	8.66	7.50	0.05	2.50
	80	8.94	7.45	0.05	2.55
	85	9.22	7.45	0.00	2.55
	90	9.49	7.40	0.05	2.60
	95	9.75	7.30	0.10	2.70
	100	10.00	7.25	0.05	2.75
105	10.25	7.20	0.05	2.80	
110	10.49	7.15	0.05	2.85	
115	10.72	7.15	0.00	2.85	
120	10.95	7.10	0.05	2.90	

Infiltracion - Cultivo de papas en andenes agrícolas -
parte Baja - pendiente fisiográfica Alta



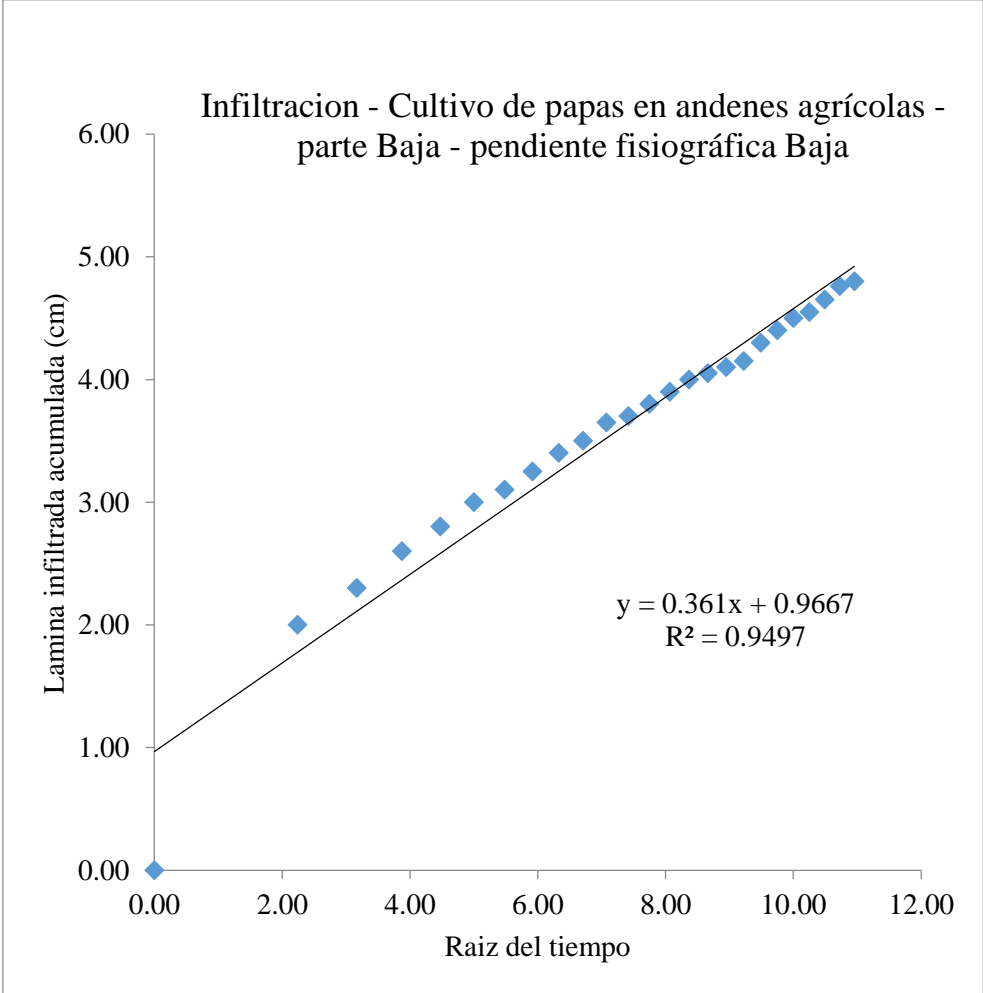
CULTIVO DE PAPAS EN ANDENES AGRICOLAS – PARTE BAJA

Tipo de pendiente fisiográfica	Tiempo (s)	Raíz del tiempo (eje x)	Lectura en regla (Cm)	Lamina Infiltrada	
				Parcial	Acumulada (eje Y)
MEDIA	0	0.00	8.00	0.00	0.00
	5	2.24	6.50	1.50	1.50
	10	3.16	6.10	0.40	1.90
	15	3.87	5.90	0.20	2.10
	20	4.47	5.50	0.40	2.50
	25	5.00	5.30	0.20	2.70
	30	5.48	5.15	0.15	2.85
	35	5.92	5.00	0.15	3.00
	40	6.32	4.80	0.20	3.20
	45	6.71	4.65	0.15	3.35
	50	7.07	4.60	0.05	3.40
	55	7.42	4.50	0.10	3.50
	60	7.75	4.40	0.10	3.60
	65	8.06	4.30	0.10	3.70
	70	8.37	4.20	0.10	3.80
	75	8.66	4.10	0.10	3.90
	80	8.94	4.00	0.10	4.00
	85	9.22	3.95	0.05	4.05
	90	9.49	3.85	0.10	4.15
	95	9.75	3.75	0.10	4.25
	100	10.00	3.65	0.10	4.35
105	10.25	3.55	0.10	4.45	
110	10.49	3.45	0.10	4.55	
115	10.72	3.40	0.05	4.60	
120	10.95	3.30	0.10	4.70	



CULTIVO DE PAPAS EN ANDENES AGRÍCOLAS – PARTE BAJA

Tipo de pendiente fisiográfica	Tiempo (s)	Raíz del tiempo (eje x)	Lectura en regla (Cm)	Lamina Infiltrada	
				Parcial	Acumulada (eje Y)
BAJA	0	0.00	8.50	0.00	0.00
	5	2.24	6.50	2.00	2.00
	10	3.16	6.20	0.30	2.30
	15	3.87	5.90	0.30	2.60
	20	4.47	5.70	0.20	2.80
	25	5.00	5.50	0.20	3.00
	30	5.48	5.40	0.10	3.10
	35	5.92	5.25	0.15	3.25
	40	6.32	5.10	0.15	3.40
	45	6.71	5.00	0.10	3.50
	50	7.07	4.85	0.15	3.65
	55	7.42	4.80	0.05	3.70
	60	7.75	4.70	0.10	3.80
	65	8.06	4.60	0.10	3.90
	70	8.37	4.50	0.10	4.00
	75	8.66	4.45	0.05	4.05
	80	8.94	4.40	0.05	4.10
	85	9.22	4.35	0.05	4.15
	90	9.49	4.20	0.15	4.30
	95	9.75	4.10	0.10	4.40
	100	10.00	4.00	0.10	4.50
105	10.25	3.95	0.05	4.55	
110	10.49	3.85	0.10	4.65	
115	10.72	3.75	0.10	4.76	
120	10.95	3.70	0.05	4.80	



ANEXO 3

RESULTADOS EN LABORATORIO DE LAS MUESTRAS DE SUELO Y DE PERFIL DE SUELO



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



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : FERNANDO YAÑEZ GUTIERREZ
 Departamento : LIMA
 Distrito :
 Referencia : H.R. 55631-13-C-16

Provincia : HUARACHIRI
 Predio : BOSQUE DE JAPANI
 Fecha : 14/09/16

Lab	Numero de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E (1:1) ds/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Bases	Suma de Bases	%. Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
11594	MS-BA	6.08	0.12	0.00	3.56	4.8	119	73	20	7	Fr.A.	17.12	11.90	0.97	0.40	0.16	0.00	13.42	13.42	78
11596	MS-BM	6.16	0.08	0.00	6.61	9.4	132	73	22	5	Fr.A.	21.76	13.90	1.03	0.48	0.13	0.00	15.55	15.55	71
11596	MS-PA	5.41	0.10	0.00	7.46	33.7	452	63	30	7	Fr.A.	22.08	6.01	0.95	1.59	0.13	0.40	9.08	8.68	39
11597	MS-PM	6.26	0.31	0.00	6.52	58.4	1302	59	28	13	Fr.A.	20.32	11.80	1.83	2.73	0.13	0.00	16.49	16.49	81
11598	MS-PB	6.13	0.15	0.00	4.55	29.6	536	53	28	19	Fr.A.	17.28	9.89	1.47	1.68	0.12	0.00	13.16	13.16	76

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

Lab.	Numero de Muestra Claves	C.C. %	P.M. %
11594	MS-BA	25.67	14.55
11596	MS-BM	28.88	16.56
11596	MS-PA	35.01	20.41
11597	MS-PM	30.59	17.64
11598	MS-PB	27.71	15.83



D. Sady García Benguezú
 Jefe del Laboratorio

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



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



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : FERNANDO YAÑEZ GUTIERREZ

Departamento : LIMA

Distrito :

Referencia : H.R. 55631-131C-16

Provincia : HUAROCCHI

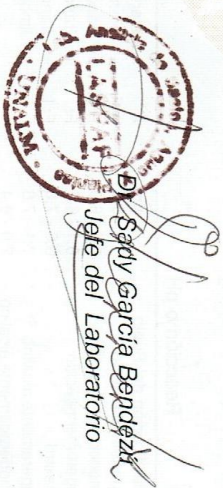
Predio : BOSQUE DE JAPANÍ

Fecha : 14/09/16

Numero de Muestra	Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limó %	Arcilla %			Ca ²⁺ Mg ²⁺ meq/100g	K ⁺ Na ⁺ Al ³⁺ +H ⁺						
11599	MS-AA	5.41	0.20	0.00	3.64	9.0	224	53	24	23	Fr.Ar.A	18.56	12.10	1.82	0.76	0.14	0.10	14.92	14.82	80
11600	MS-AM	6.13	0.35	0.00	4.14	23.6	359	53	26	21	Fr.Ar.A	18.24	13.70	1.68	1.49	0.14	0.00	17.01	17.01	93
11601	MS-AB	6.03	0.34	0.00	4.83	34.8	738	59	24	17	Fr.A	18.08	12.20	2.07	2.26	0.14	0.00	16.56	16.56	92

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

Numero de Muestra	Claves	C.C. %	P.M. %
11599	MS-AA	26.03	14.77
11600	MS-AM	27.14	15.47
11601	MS-AB	25.61	14.50


Sandy García Benítez
Jefe del Laboratorio



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



SOLICITANTE : FERNANDO YAÑEZ GUTIERREZ
PROCEDENCIA : LIMA/ HUAROCHIRI/ BOSQUE DE JAPANI
REFERENCIA : H.R. 55632
FECHA : 14/09/2016

Número de Muestra		Color	Nombre del Color
Lab	Campo		
3387	Cali-B1	10 YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro
3388	Cali-B2	10 YR 3/2	Pardo grisáceo muy oscuro
3389	Cali-B3	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro
3390	Cali-B4	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro
3391	Cali-P0	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro
3392	Cali-P1	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro
3393	Cali-P2	10 YR 5/2	Pardo grisáceo
3394	Cali-A1	10 YR 5/2	Pardo grisáceo
3395	Cali-A2	10 YR 5/2	Pardo grisáceo
3396	Cali-A3	10 YR 5/2	Pardo grisáceo

Nota: La determinación se realizó empleando las cartillas de color del suelo Munsell con muestra seca.

Número de Muestra		D.A. g/cm ³
Lab	Campo	
3387	Cali-B1	0.3
3388	Cali-B2	0.67
3389	Cali-B3	0.79
3390	Cali-B4	0.76
3391	Cali-P0	0.28
3392	Cali-P1	0.76
3393	Cali-P2	0.83
3394	Cali-A1	0.68
3395	Cali-A2	0.70
3396	Cali-A3	0.96


Dr. Sady García Bendezi
Jefe del Laboratorio