



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“INFILTRACIÓN, ESCORRENTÍA Y EROSIÓN  
DE SUELOS; EMPLEANDO UN SIMULADOR DE  
LLUVIA EN LA QUEBRADA SHAULLO,  
CAJAMARCA, 2022”

Tesis para optar al título profesional de:

**Ingeniería Civil**

**Autores:**

Thalia Veronica Heredia Flores

Yeni Elizabeth Tancure Malca

**Asesor:**

Mg. Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán

<https://orcid.org/0000-0001-7619-7995>

Cajamarca - Perú

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1 Presidente(a)	Kely Elizabeth Núñez Vásquez	42679441
	Nombre y Apellidos	DNI

Jurado 2	Jane Elizabeth Álvarez Llanos	26704582
	Nombre y Apellidos	DNI

Jurado 3	Tulio Edgar Guillen Sheen	26676774
	Nombre y Apellidos	DNI

## INFORME SIMILITUD

### Informe de similitud

---

#### INFORME DE ORIGINALIDAD

---



#### ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

---

< 1%

★ [slideplayer.es](#)

Fuente de Internet

---

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado

## **DEDICATORIA**

En primer lugar, a Dios; quien día a día nos ha brindado la fortaleza necesaria para lograr alcanzar cada una de nuestras metas.

A nuestros padres por su infinito amor, comprensión y apoyo durante toda nuestra formación profesional. A ellos que inculcaron en nosotras con su ejemplo, principios y valores; motivándonos a ser mejores personas día a día.

A nuestros docentes, cuyas enseñanzas impartidas son base fundamental de cada una de nuestras decisiones y acciones en nuestro ejercicio profesional.

A nuestros compañeros, con quienes compartimos muchos momentos, acompañándonos y motivándonos hasta culminar con éxito nuestra educación profesional.

Con afecto: las autoras

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a cada una de las personas involucradas en el desarrollo del presente trabajo de investigación: nuestros padres, asesor, y amigos.

Por su apoyo, consejo y motivación.

## Tabla de contenido

<b>JURADO EVALUADOR .....</b>	<b>2</b>
<b>INFORME SIMILITUD .....</b>	<b>3</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>4</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>TABLA DE CONTENIDO .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>9</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>12</b>
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	12
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	29
1.3. OBJETIVOS .....	30
1.4. HIPÓTESIS.....	30
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA .....</b>	<b>31</b>
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS.....</b>	<b>60</b>
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>88</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>101</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1</b>	<b>PREFIJOS Y SUFIJOS PARA DENOMINACIÓN DE TIPOS DE SUELO.....</b>	<b>26</b>
<b>TABLA 2</b>	<b>TIPOS DE SUELOS, CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE CLASIFICACIÓN SEGÚN SUCS .....</b>	<b>28</b>
<b>TABLA 3</b>	<b>TIPOS DE SUELOS, CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE CLASIFICACIÓN SEGÚN AASHTO .....</b>	<b>29</b>
<b>TABLA 4</b>	<b>DIMENSIONES E INDICADORES DE LAS VARIABLES EN INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>36</b>
<b>TABLA 5</b>	<b>MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....</b>	<b>37</b>
<b>TABLA 6</b>	<b>COORDENADAS UTM DE LOS PUNTOS PARA MUESTREO .....</b>	<b>38</b>
<b>TABLA 7</b>	<b>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS .....</b>	<b>41</b>
<b>TABLA 8</b>	<b>MATERIALES Y HERRAMIENTAS AUXILIARES PARA ENSAYOS DE CAMPO.....</b>	<b>41</b>
<b>TABLA 9</b>	<b>EQUIPOS PARA ENSAYOS EN PROTOTIPO .....</b>	<b>43</b>
<b>TABLA 10</b>	<b>PIEZAS QUE COMPONEN EL SIMULADOR .....</b>	<b>47</b>
<b>TABLA 11</b>	<b>INTENSIDAD DE LA PRECIPITACIÓN PROYECTADA A LA HORA EN MM/H.....</b>	<b>63</b>
<b>TABLA 12</b>	<b>DESARROLLO DE LA PRECIPITACIÓN, ESCORRENTÍA E INFILTRACIÓN: ENSAYO 01 .....</b>	<b>65</b>
<b>TABLA 13</b>	<b>INTENSIDADES MÁXIMAS ACUMULADAS: PRECIPITACIÓN, ESCORRENTÍA E INFILTRACIÓN - ENSAYO 01 .....</b>	<b>66</b>
<b>TABLA 14</b>	<b>DESARROLLO DE LA PRECIPITACIÓN, ESCORRENTÍA E INFILTRACIÓN: ENSAYO 02 .....</b>	<b>68</b>
<b>TABLA 15</b>	<b>INTENSIDADES MÁXIMAS ACUMULADAS: PRECIPITACIÓN, ESCORRENTÍA E INFILTRACIÓN- ENSAYO 02.....</b>	<b>69</b>
<b>TABLA 16</b>	<b>DESARROLLO DE LA PRECIPITACIÓN, ESCORRENTÍA E INFILTRACIÓN: ENSAYO 03 .....</b>	<b>70</b>
<b>TABLA 17</b>	<b>INTENSIDADES MÁXIMAS ACUMULADAS: PRECIPITACIÓN, ESCORRENTÍA E INFILTRACIÓN- ENSAYO 03.....</b>	<b>71</b>
<b>TABLA 18</b>	<b>DESARROLLO DE LA PRECIPITACIÓN, ESCORRENTÍA E INFILTRACIÓN: ENSAYO 04 .....</b>	<b>73</b>
<b>TABLA 19</b>	<b>INTENSIDADES MÁXIMAS ACUMULADAS: PRECIPITACIÓN, ESCORRENTÍA E INFILTRACIÓN- ENSAYO 04.....</b>	<b>74</b>
<b>TABLA 20</b>	<b>DESARROLLO DE LA PRECIPITACIÓN, ESCORRENTÍA E INFILTRACIÓN: ENSAYO 05 .....</b>	<b>75</b>
<b>TABLA 21</b>	<b>INTENSIDADES MÁXIMAS ACUMULADAS: PRECIPITACIÓN, ESCORRENTÍA E INFILTRACIÓN- ENSAYO 05.....</b>	<b>76</b>
<b>TABLA 22</b>	<b>DESARROLLO DE LA PRECIPITACIÓN, ESCORRENTÍA E INFILTRACIÓN: ENSAYO 06 .....</b>	<b>78</b>
<b>TABLA 23</b>	<b>INTENSIDADES MÁXIMAS ACUMULADAS: PRECIPITACIÓN, ESCORRENTÍA E INFILTRACIÓN- ENSAYO 06.....</b>	<b>79</b>
<b>TABLA 24</b>	<b>DESARROLLO DE LA PRECIPITACIÓN, ESCORRENTÍA E INFILTRACIÓN: ENSAYO 07 .....</b>	<b>80</b>
<b>TABLA 25</b>	<b>INTENSIDADES MÁXIMAS ACUMULADAS: PRECIPITACIÓN, ESCORRENTÍA E INFILTRACIÓN- ENSAYO 07.....</b>	<b>81</b>
<b>TABLA 26</b>	<b>CLASIFICACIÓN SUCS: MUESTRAS M-1, M-2, M-3, M-4, M-5, M-6 Y M-7 .....</b>	<b>83</b>
<b>TABLA 27</b>	<b>CLASIFICACIÓN AASHTO: MUESTRAS M-1, M-2, M-3, M-4, M-5, M-6 Y M-7.....</b>	<b>83</b>
<b>TABLA 28</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DE LAS PARCELAS DE EROSIÓN: PARCELA 01, PARCELA 02, PARCELA 03, PARCELA 04, PARCELA 05, PARCELA 06, Y PARCELA 07 .....</b>	<b>84</b>
<b>TABLA 29</b>	<b>COSTOS PARA FABRICACIÓN DEL SIMULADOR DE LLUVIA SRS-22 .....</b>	<b>86</b>
<b>TABLA 30</b>	<b>COSTOS DE INSTRUMENTOS PARA ENSAYOS EN CAMPO (MONTAJE Y REALIZACIÓN DE ENSAYOS).....</b>	<b>86</b>

<b>TABLA 31</b> <i>COSTOS DE EQUIPAMIENTO Y PROTECCIÓN PARA TRABAJO EN LABORATORIO (REALIZACIÓN DE ENSAYOS)</i> .....	86
<b>TABLA 32</b> <i>COSTOS DE TRANSPORTE Y ALIMENTACIÓN PARA DESARROLLAR LA INVESTIGACIÓN (TRABAJO DE CAMPO, LABORATORIO Y GABINETE)</i> .....	87
<b>TABLA 33</b> <i>COSTOS PARA EQUIPAMIENTO DE TRABAJO DE GABINETE (PROCESAMIENTO DE DATOS Y REDACCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN)</i> .....	87



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1</b> CURVAS DE INFILTRACIÓN, SEGÚN TEXTURA DEL SUELO.....	23
<b>FIGURA 2</b> DISTRIBUCIÓN DE LAS PARCELAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO Y APLICACIÓN DE UN SIMULADOR DE LLUVIA ARTIFICIAL, PARA ESTUDIOS DE EROSIÓN EN EL SUELO.....	25
<b>FIGURA 3</b> COMPORTAMIENTO DE LA INFILTRACIÓN Y ESCORRENTÍA EN EL TIEMPO.....	25
<b>FIGURA 4</b> CARTA DE CASAGRANDE .....	27
<b>FIGURA 5</b> FIN, ALCANCE Y ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	32
<b>FIGURA 6</b> UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL LUGAR PARA INVESTIGACIÓN .....	39
<b>FIGURA 7</b> PUNTOS DE ESTUDIO PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN: QUEBRADA SHAULLO.....	40
<b>FIGURA 8</b> DIAGRAMA DE OPERACIONES DEL PROCESO DOP- PARA TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....	45
<b>FIGURA 9</b> ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA SIMULADOR DE LLUVIA Y ESTRUCTURA METÁLICA PARA DELIMITACIÓN DE PARCELAS.....	49
<b>FIGURA 10</b> DISEÑO DEL SIMULADOR DE LLUVIA DEL TIPO PULVERIZADOR SRS-22.....	50
<b>FIGURA 11</b> ARMADO E INSTALACIÓN DEL SIMULADOR DE LLUVIA: PASO 01 .....	51
<b>FIGURA 12</b> ARMADO E INSTALACIÓN DEL SIMULADOR DE LLUVIA: PASO 02 .....	51
<b>FIGURA 13</b> ARMADO E INSTALACIÓN DEL SIMULADOR DE LLUVIA: PASO 03 .....	52
<b>FIGURA 14</b> ARMADO E INSTALACIÓN DEL SIMULADOR DE LLUVIA: PASO 04 .....	52
<b>FIGURA 15</b> ARMADO E INSTALACIÓN DEL SIMULADOR DE LLUVIA: PASO 05 .....	53
<b>FIGURA 16</b> ARMADO E INSTALACIÓN DEL SIMULADOR DE LLUVIA: PASO 06 .....	53
<b>FIGURA 17</b> ARMADO E INSTALACIÓN DEL SIMULADOR DE LLUVIA: PASO 07 .....	54
<b>FIGURA 18</b> ARMADO E INSTALACIÓN DEL SIMULADOR DE LLUVIA: PASO 08 .....	54
<b>FIGURA 19</b> ARMADO E INSTALACIÓN DEL SIMULADOR DE LLUVIA: PASO 09 .....	55
<b>FIGURA 20</b> <i>PROCEDIMIENTO PARA CALIBRACIÓN, A TRAVÉS DE UN ESQUEMA PARA EL CONTROL DE LA PLUVIOSIDAD</i> .....	56
<b>FIGURA 21</b> <i>PROCEDIMIENTO PARA IMPLEMENTACIÓN DE GUÍA Y PROTOCOLO DE CAMPO: PRECIPITACIÓN, INFILTRACIÓN Y ESCORRENTÍA.</i> .....	57
<b>FIGURA 22</b> <i>PROCEDIMIENTO PARA IMPLEMENTACIÓN DE GUÍA Y PROTOCOLO DE CAMPO: EROSIÓN HÍDRICA SUPERFICIAL.</i> .....	58
<b>FIGURA 23</b> SIMULADOR MONTADO: COMPONENTES.....	61
<b>FIGURA 24</b> <i>CARACTERÍSTICAS DE ASPERSIÓN DEL SIMULADOR: SRS-22</i> .....	62
<b>FIGURA 25</b> <i>ESQUEMA DE PLUVIOSIDAD: SIMULADOR DE LLUVIA DEL TIPO PULVERIZADOR SRS-22.</i> .....	64
<b>FIGURA 26</b> PRECIPITACIÓN, INFILTRACIÓN Y ESCORRENTÍA: PARCELA 01.....	66
<b>FIGURA 27</b> PRECIPITACIÓN ACUMULADA, INFILTRACIÓN ACUMULADA Y ESCORRENTÍA ACUMULADA: PARCELA 01 .....	67
<b>FIGURA 28</b> PRECIPITACIÓN, INFILTRACIÓN Y ESCORRENTÍA: PARCELA 02.....	68
<b>FIGURA 29</b> PRECIPITACIÓN ACUMULADA, INFILTRACIÓN ACUMULADA Y ESCORRENTÍA ACUMULADA: PARCELA 02 .....	69
<b>FIGURA 30</b> PRECIPITACIÓN, INFILTRACIÓN Y ESCORRENTÍA : PARCELA 03.....	71

<b>FIGURA 31</b> PRECIPITACIÓN ACUMULADA, INFILTRACIÓN ACUMULADA Y ESCORRENTÍA ACUMULADA:	
PARCELA 03 .....	72
<b>FIGURA 32</b> PRECIPITACIÓN, INFILTRACIÓN Y ESCORRENTÍA : PARCELA 04.....	73
<b>FIGURA 33</b> PRECIPITACIÓN ACUMULADA, INFILTRACIÓN ACUMULADA Y ESCORRENTÍA ACUMULADA:	
PARCELA 04 .....	74
<b>FIGURA 34</b> PRECIPITACIÓN, INFILTRACIÓN Y ESCORRENTÍA: PARCELA 05.....	76
<b>FIGURA 35</b> PRECIPITACIÓN ACUMULADA, INFILTRACIÓN ACUMULADA Y ESCORRENTÍA ACUMULADA:	
PARCELA 05 .....	77
<b>FIGURA 36</b> PRECIPITACIÓN, INFILTRACIÓN Y ESCORRENTÍA : PARCELA 06.....	78
<b>FIGURA 37</b> PRECIPITACIÓN ACUMULADA, INFILTRACIÓN ACUMULADA Y ESCORRENTÍA ACUMULADA:	
PARCELA 06 .....	79
<b>FIGURA 38</b> PRECIPITACIÓN, INFILTRACIÓN Y ESCORRENTÍA : PARCELA 07.....	81
<b>FIGURA 39</b> PRECIPITACIÓN ACUMULADA, INFILTRACIÓN ACUMULADA Y ESCORRENTÍA ACUMULADA:	
PARCELA 07 .....	82
<b>FIGURA 40</b> PARCELAS DE EROSIÓN: PARCELA 01, PARCELA 02, PARCELA 03, PARCELA 04, PARCELA 05, PARCELA 06, Y PARCELA 07 .....	84
<b>FIGURA 41</b> MÉTODO DE LOS CLAVOS DE EROSIÓN: PARCELA 01, PARCELA 02, PARCELA 03, PARCELA 04, PARCELA 05, PARCELA 06, Y PARCELA 07 .....	85

## RESUMEN

- En la actualidad, uno de los métodos más prácticos para el estudio de la infiltración, escorrentía y erosión hídrica superficial de los suelos, es el uso de los simuladores de lluvia, lo cual permite prescindir de la lluvia natural y contar con datos de forma rápida y controlada sobre las múltiples características físicas del suelo. La investigación tiene como objetivo principal: Determinar la influencia en la infiltración, escorrentía y erosión de suelos, al emplear un simulador de lluvia en la microcuenca de la quebrada Shaullo, Cajamarca. La estructura metodológica es del tipo experimental, parte del diseño y construcción del simulador. Se optó por un simulador de lluvia del tipo pulverizador y se realizó un ensayo piloto, para determinar el esquema de pluviosidad del simulador, el área efectiva para las parcelas en estudio y los parámetros de simulación a reproducir en campo. Los resultados más importantes indicaron que se logró simular con éxito en suelos granulares arenosos, precipitaciones de intensidades promedio de 31.230 mm/h, con intensidades de infiltración y escorrentía de 16.921 mm/h y 14.309 mm<sup>7</sup>h, respectivamente; sobre la erosión hídrica superficial, esta se pudo determinar a través del método de los clavos de erosión. Finalmente se concluye que el modelo de simulador de lluvia SRS-22, diseñado para la investigación, permite de manera óptima y controlada la reproducción del fenómeno de precipitaciones influyendo de manera eficiente en la determinación de la infiltración, escorrentía y erosión hídrica superficial.

**PALABRAS CLAVES:** Simulador de lluvia, precipitaciones, infiltración en suelos, escorrentía superficial y erosión hídrica superficial.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

En la actualidad el cambio climático producido por las actividades de producción, extracción, industrialización entre otras desarrolladas por el ser humano, ha alterado el ciclo natural de los ecosistemas. Esto ha originado catástrofes ambientales como incendios forestales, sequías, inundaciones, deslizamientos, avalanchas entre otros, dañando en muchas ocasiones de forma irreversible la corteza terrestre y sus estratos, siendo el punto de partida inicial el contacto entre los fenómenos naturales y el suelo. Por años, muchos investigadores han tratado de estudiar como los agentes climáticos: temperatura del aire, presión atmosférica, viento, lluvia, y otros; repercuten de forma directa en los suelos de múltiples ecosistemas, a través del estudio de los efectos producidos como la erosión, desertificación, sedimentación entre otros; empleando estudios directos en diferentes lugares por largos periodos de tiempo, logrando en muchas ocasiones no concluirse las investigaciones o verse interrumpidas por la agresividad del entorno en estudio y las pocas condiciones de control en las investigaciones.

Y es que uno de los más importantes agentes climáticos que se ha visto alterado es la lluvia, cuyas precipitaciones han variado de simples lloviznas a grandes tormentas en muchos lugares del mundo; esto como una consecuencia del cambio climático. De forma directa algo tan simple como el contacto producido entre la lluvia y el suelo de las superficies, inicialmente en pequeñas áreas, ha ocasionado a gran escala catástrofes ambientales, siendo una de las más importantes la erosión irreversible del suelo.

La lluvia al precipitarse y entrar en contacto con la superficie del suelo genera ciertos volúmenes que logran ingresar en el suelo (infiltración) y cuando el volumen de la precipitación ha logrado iniciar un encharcamiento empieza a discurrir por la superficie (escorrentía) lo cual dependiendo de la intensidad de la lluvia logra arrastrar pequeños sedimentos del suelo junto con algunos elementos de la superficie; haciendo de este pequeño ciclo el causal de uno de los fenómenos más importantes en el suelo: la erosión.

Como se indicó en la problemática inicial las catástrofes ambientales sucedidas a causa del cambio climático han repercutido de forma directa en la superficie de

múltiples ecosistemas. En Perú, este último año se ha podido visualizar la magnitud del impacto que han generado las intensas precipitaciones en el territorio de la costa y sierra peruana, produciendo múltiples deslizamientos, inundaciones, huaicos y dejando al paso un suelo irreversiblemente dañado y erosionado.

Pero este no es una problemática reciente, debido a que la erosión es uno de los principales problemas ambientales en el mundo, afecta a una superficie de millones de hectáreas, llegando a representar el 50% de la superficie de países como Chile, y otros a nivel mundial.

De acuerdo con Sangüesa (2009), una de las grandes dificultades existentes al momento de estudiar la erosión hídrica es la necesidad de contar con una lluvia natural, ya que es muy difícil predecir con certeza, dónde y cuándo lloverá, así como tampoco se puede saber si el evento tendrá la intensidad y duración necesaria para producir erosión.

Ante ello, desde hace varias décadas múltiples investigadores han planteado formas para el estudio de la afectación del suelo a causa de agentes climáticos como la lluvia, siendo la principal limitante la poca certeza ante la venida de una precipitación, así como el largo periodo de tiempo que conllevaban los estudios. Es por ello por lo que se propuso la creación de un instrumento que pueda simular el fenómeno de la lluvia, capaz de reproducir las intensidades de las precipitaciones y facilitar el estudio de su efecto en el suelo, dentro de un ambiente controlado y reduciendo el tiempo en las investigaciones; proponiendo diseños de simuladores ya sean del tipo goteador o pulverizador. Los simuladores han facilitado el estudio de la infiltración y escorrentía que se produce en cada precipitación, analizando de forma directa la erosión hídrica superficial del suelo.

El empleo de simuladores de lluvia es uno de los métodos más prácticos para el estudio de la infiltración, escorrentía y erosión de suelos. Debido a que el empleo de los simuladores de lluvia permite prescindir de la lluvia natural y contar con datos de forma rápida y controlada durante el estudio de múltiples características físicas del suelo. El estudio de fenómenos como la erosión, representa la búsqueda a los problemas del suelo que enfrentan los sectores de agricultura y agronomía.

Cerda (1999), indica que de entre todos los aparatos empleados por los geomorfólogos destacan los simuladores de lluvia, los cuales se han utilizado con distintos objetivos desde los años 30; cuya utilidad ha revertido en la diversificación en

dimensiones, tipos de formadores de gotas, estructuras, características de la lluvia, etc. tanto en aquellos simuladores desarrollados a partir de goteadores como los del tipo pulverizador.

Al respecto Aguilar y Monge (2008), afirman que con el simulador de lluvia es posible cuantificar la escorrentía, infiltración y pérdida de suelo generados por una regadera de lluvia ajustable a la intensidad sobre un área de prueba definida. La duración, intensidad y energía cinética de la lluvia pueden ser modificadas con el simulador, dando alta sensibilidad de los resultados de la prueba para diferentes propiedades del suelo. Una de las ventajas de este equipo, además de ser portátil, es la posibilidad que tiene de estudiar un evento en el momento que se necesite y bajo diferentes condiciones que pueden ser modificadas en el campo según se requiera. El equipo brindará elementos de juicio a los tomadores de decisión como técnicos, científicos o gobiernos locales en la definición no sólo de los planes reguladores sino también en la propuesta de buenas prácticas de manejo para la conservación de suelos y agua.

Cada investigador, debe buscar establecer las condiciones experimentales más idóneas y acordes a la realidad geográfica y climática del lugar. En especial sobre la intensidad de las precipitaciones, dependiendo del tipo de zona donde se desarrolle el estudio: costa, sierra, selva u otro. Para ello es indispensable simular de forma precisa las características físicas de la lluvia.

Meyer (1965) y Bubenzer (1979), citado por Benito et al. (2001), describen que las principales características de la lluvia son las siguientes: 1) distribución del tamaño de las gotas de lluvia similar a la de la lluvia natural, 2) intensidad de lluvia correspondiente a las condiciones naturales, 3) intensidad de lluvia correspondiente, 4) energía cinética similar a la de la lluvia natural y, 5) lluvia uniforme y distribución aleatoria de las gotas.

Es muy importante establecer los criterios de montaje y control de las precipitaciones simuladas, debido al efecto directo que genera la lluvia en el suelo, procurando que el fenómeno a producir sea lo más fidedigno a las precipitaciones naturales y sus efectos de erosión, escorrentía e infiltración.

El emplear un simulador de lluvia, permite el estudio de múltiples fenómenos físicos producidos en las precipitaciones entre ellos el más importante: la erosión del

suelo, el cual conlleva a la disminución de las actividades agrícolas, degrada los ecosistemas, aumenta los riesgos hidrogeológicos, deslizamiento de tierras, inundaciones, pérdida del suelo y otros.

Aguilar y Monge (2008), describen que la lluvia es uno de los principales agentes erosivos del suelo que tiene implicaciones ambientales, sociales y económicas, las cuales en la medida de las posibilidades impactan los estudios de costo-beneficio para la elaboración de proyectos de factibilidad que funcionen de forma local bajo el concepto de sostenibilidad en el manejo de cuencas.

Sanguesa (2009), indica como una ventaja el uso de un simulador de lluvia por aspersión o del tipo pulverizador, debido a las grandes dificultades que da la necesidad de contar con una lluvia natural, ya que es difícil predecir con certeza, dónde y cuándo lloverá, así como tampoco se puede saber si el evento tendrá la intensidad y duración necesaria para producir erosión, siendo este el punto de partida para la selección y construcción del simulador.

Luengas y De La Rosa (2015), construyeron un simulador de lluvia pulverizador basándose en un sistema de fuente de energía, sistema de bombeo, red de distribución, válvulas, aspersores, fuente de abastecimiento de agua, sistema de retroalimentación y una estructura de soporte del simulador; el cual ha sido tomado como guía y adaptado para la presente investigación coincidiendo los sistemas propuestos por los autores con los empleados en el diseño y construcción del simulador.

Martínez et al. (2001) citados por Sanguesa (2009), emplearon parcelas de 4 m<sup>2</sup> para producir intensidades de precipitación de 33 mm/h hasta 60 mm/h; y Sheridan et al. (2007) empleó una parcela de 1.5 x 2 m, para estudiar intensidades de precipitación de 100 mm/h; sirviendo estas opciones como guía para construir el simulador de lluvia: SRS-22.

Luengas y De La Rosa (2015), realizaron un montaje del simulador y una grilla de vasos receptores (pluviómetros), para la determinación de la variación de la lluvia realizando lecturas de volumen de lluvia durante 3 minutos para cada uno de sus 49 pluviómetros empleados, registrando presiones de ingreso de 2.5 PSI, 4 PSI, 6 PSI, 8 PSI, 10 PSI y 12 PSI; para intensidades de 0 mm/h hasta 120 mm/h.

Sanguesa (2009), indica que uno de los métodos de medición directa de la erosión hídrica superficial es la metodología de los clavos de erosión. Este autor, estudio 9 parcelas en suelos franco arcillo arenosos, con pendientes de 11 % hasta los 39%, agrupando sus resultados de cada 3 muestras en una; obteniendo valores de erosión hídrica superficial de 13, 24 y 16 (ton/hectárea), respectivamente; y con sedimentos arrastrados de 6.9, 2.8 y 3.2.

Por otro lado, Jiménez (2021), empleó un simulador de lluvia en la ciudad de Chongoyape para producir una precipitación de 65 mm/h, en suelos arenosos obteniendo valores de erosión hídrica superficial de 0.84 hasta 9.50 (tonelada/hectárea).

Cerda (1999), indica que con los simuladores de lluvia se reduce el tiempo de experimentación y con ello el coste de la investigación, además de que se tiene el máximo control sobre el momento de la medición, estado previo de la parcela, características de la precipitación a simular, respuesta del suelo, entre otros.

Luengas y De La Rosa (2015), establecieron que el costo que engloba los materiales para la elaboración de un simulador de lluvia es de \$ 517.623, considerando un cambio de S/. 3.70, serían S/. 1915.21; sin contar el costo de mano de obra y los materiales a implementar en campo

Una anotación importante respecto a los simuladores de lluvia se da en base al estudio de Ochoa y Macas (2018), quienes diseñaron y construyeron un simulador de lluvia para el laboratorio de alta tensión de la UPS- Cuenca, lo cual muestra un contraste muy alto sobre lo que llegarían a ser los simuladores de lluvia debido a que el simulador que construyeron se empleó para pruebas eléctricas.

El estudio sobre los simuladores de lluvia ha sido y es estudiado en múltiples lugares del mundo. Entre los principales antecedentes relacionados a este tema de investigación destacan a nivel internacional, los descritos a continuación.

Murillo (1990), realizó un trabajo de investigación en la Universidad Nacional Agraria de Managua, Nicaragua; titulado “Erodabilidad de cuatro series de suelos determinada por el mini- simulador de lluvia y el nomograma de Wischmeier”. El propósito del estudio fue obtener información acerca de la Erodabilidad del suelo, así como distinguir un método confiable y sencillo para la determinación de ésta. Se seleccionaron cuatro series de suelos (San Ignacio, Nejapa, Esquipulas y Zambrano),



ubicados en la cuenca Sur del lago de Managua, en base a una recopilación de información existente (topografía, reconocimiento y caracterización del terreno), se procedió a obtener las pérdidas del suelo, escurrimiento superficial, concentración de sedimentos y el índice de Erodabilidad de cada serie de suelos, por medio de un Mini-simulador de lluvia desarrollado por Kamphorst (1987). El factor de Erodabilidad (K) se obtuvo a través de cuatro propiedades del suelo (textura, materia orgánica, estructura y permeabilidad), cuyos valores son introducidos en el Nomograma de Wischmeier (1971). Una vez obtenidos los índices de Erodabilidad (I.K.) y Factor de Erodabilidad (K), se determinó que las cuatro series muestran diferentes grados de susceptibilidad a la erosión. Además, las pérdidas de suelo, escurrimiento superficial, concentración de sedimentos, el índice de erodabilidad y el factor de erodabilidad son influenciados por la materia orgánica. Así también se comprobó que al comparar el índice y el factor de erodabilidad, tiene una influencia directa sobre las pérdidas de suelo, escurrimiento superficial, índice de erodabilidad y factor de erodabilidad.

Cerda (1999), desarrolló un artículo de investigación en la Universitat de Valencia- España, denominado “Simuladores de lluvia y su aplicación a la Geomorfología”; con la finalidad de repasar la historia y la evolución de los simuladores de lluvia; revisando las ventajas y los inconvenientes de la lluvia simulada, apuntándose los principales usos de la misma: medición de las tasas de erosión del suelo, escorrentía, infiltración, etc. El autor indica que en España la expansión de los simuladores de lluvia se inició con retraso respecto a otros países, aunque en la última década han sido utilizados por la mayoría de los grupos de investigación dedicados a la erosión del suelo. Finalmente, la investigación, muestra una detallada y exhaustiva revisión de todos los modelos de simuladores de lluvia diseñados, incluyendo entre ellos las modificaciones realizadas por distintos autores sobre los diseños iniciales.

Macas y Ochoa (2018), propusieron como tema de investigación en la Universidad Politécnica Salesiana- Cuenca, Ecuador, el “Diseño y construcción de un simulador de lluvia para el laboratorio de alta tensión de la UPS- Cuenca”. El propósito de la investigación fue diseñar un simulador de lluvia para el laboratorio de alta tensión de la Universidad Politécnica Salesiana sede cuenca UPS. El laboratorio contó con un área de trabajo de 2 x 4 m, con un generador clase Marx para pruebas en AC y DC con un voltaje RMS de 100 kV; por las características que posee el laboratorio se construye un simulador de lluvia tipo aspersión basándose en las normas IEEE std 4-2013 y ANSI

60.1-2015, al existir normalmente efectos naturales en los aisladores que están expuestos a la intemperie y a altas tensiones, fue necesario realizar diferentes ensayos como: descargas parciales, descargas de impulso tipo rayo (BIL) y frecuencia industrial a un aislador tipo pin 56-1, estas pruebas se realizan para determinar el comportamiento y efectos que se generan al estar sometidos en ambientes secos y húmedos. Finalmente, los resultados obtenidos en las pruebas del simulador validaron la aplicación de la cámara construida en el laboratorio, por lo tanto, es factible someter los diferentes materiales a ensayos en ambientes húmedos en media tensión.

Peña y Rodríguez (2021), elaboraron un trabajo de investigación en la Universidad Piloto de Colombia, titulado “Modelo Físico del equipo de Simulador de Lluvia para medir en el laboratorio la erosión hídrica por escorrentía superficial en el suelo”. Para ello los autores indican que el estudio de los problemas en el suelo ocasionados por la erosión, se le atribuye en gran medida a los profesionales en agricultura y agronomía, de hecho, han realizados investigaciones para cuantificar los daños en los terrenos construyendo simuladores de lluvia para ser utilizados en campo. La investigación propuso construir un simulador de lluvia para representar en el laboratorio de una forma más sencilla una precipitación y que esa lluvia caiga sobre un suelo ya preparado, generando condiciones reales para que se pueda cuantificar la erosión por escorrentía superficial de la lluvia, para llevar a cabo tal propósito, el equipo que se va a construir cuenta con un reservorio de agua que va comunicado con una manguera a un tanque de acrílico transparente con un volumen de 5 litros aproximadamente este recipiente permite regular la velocidad de caída del agua al suelo, aplicando el principio de la botella de Mariotte, para generar las gotas de lluvia se cuenta con una placa de acrílico la cual se le realizaron 100 orificios de 2mm cada uno y ajustando la altura de caída de estas gotas de agua por medio de unos apoyos graduables, es un equipo que permite realizar muchos ensayos en el laboratorio porque es posible cambiar el suelo de ensayo y porque la prueba se puede realizar en un minuto.

En el país, se han realizado algunas publicaciones sobre el uso de los simuladores de lluvia, mayoritariamente en regiones de costa y sierra. Los investigadores a nivel nacional, que han logrado realizar estos estudios se han enfocado mayoritariamente en la reproducción de simuladores de lluvia para laboratorios de hidrología y modelos de simuladores de lluvia adaptables en campo, esto con el fin de

determinación de las tasas de infiltración, escorrentía y erosión del suelo. Los estudios han sido aplicados a áreas de ingeniería como la agronomía, geomorfología, agricultura y otras.

Cáceres (2008), desarrollo su trabajo de pregrado en la Universidad Nacional de Ingeniería, titulado “Diseño y construcción de un modelo de simulación de lluvias para investigación de pérdidas de suelos”. La problemática existente se da debido a que el Laboratorio Nacional de Hidráulica de la Universidad Nacional de Ingeniería necesitaba de un simulador de lluvias preciso y confiable que sea usado con fines de investigación de erosión de suelos y simulación de eventos hidrológicos. El simulador de este proyecto está diseñado para ser operado en una forma sencilla y es capaz de representar un evento hidrológico de 85 mm/h de intensidad, sobre una parcela de inclinación variable de 16 m<sup>2</sup> de área proyectada. El modelo fue diseñado en base a los principios del simulador Norton, que hace uso de boquillas presurizadas que funcionan bajo una presión y caudal determinados. La boquilla usada es la 3/4 HH-71WSQ, de la compañía Spraying Systems, la cual emite una lluvia uniforme sobre la parcela rectangular con gotas cuyo tamaño promedio va de 2.5 a 4.0 mm. Las parcelas de prueba están contenidas en un almacén de acero, estructura que cuenta con un pivote posibilitando el uso de varias pendientes. Los medidores del flujo controlan el aporte de agua del tanque de abastecimiento, asegurando que se genere la intensidad deseada. Como parte de la investigación se simularon tormentas semejantes a las de las regiones de la selva alta, la costa norte y ciertas zonas de la sierra. La influencia de la pendiente y la cobertura vegetal en el caudal pico es discutida, así como la influencia de la pendiente y la vegetación en las tasas de erosión. Las pruebas nos revelaron la efectividad del uso de la especie vegetal empleada en la investigación, así como los efectos del pasto, la pendiente y el tiempo de exposición sobre los hidrogramas de salida de las parcelas de ensayo.

Lobato (2015), planteo como tema de investigación en la Universidad Nacional de Cajamarca, el estudio de la “Escorrentía de una cuenca mediante la aplicación de un simulador de lluvia, caso: Río Chanta, La Encañada- Cajamarca, 2015”. El trabajo de investigación tenía como objetivo principal desarrollar una metodología dirigida a la determinación de la escorrentía superficial promedio mediante el apoyo de un simulador de lluvia portátil, en la cuenca del Río Chanta, ubicada en el distrito de la Encañada-Cajamarca, en el año 2015. Para tener un resultado relativamente aceptable, se tuvo en

cuenta las principales características de la cuenca, siendo entre otras: la pendiente del terreno, el tipo de suelo y la cobertura vegetal. Cada una de estas características fue definida en estratos de valor, las mismas que se entre relacionaron, lográndose con ello los puntos relevantes de muestreo. Previa calibración del equipo simulador de lluvia portátil, se aplicó dicha simulación en los puntos seleccionados, obteniéndose valores de la escorrentía en forma muestra, luego de la evaluación respectiva se logró resultados que muestran que, en la cuenca del Río Chanta, para el año 2015 se tiene una escorrentía superficial representativa baja con respecto al volumen de precipitación. A través del presente estudio se aclara la manera de aplicar la metodología expuesta. Así mismo, se esbozan algunas líneas de trabajo que quedan abiertas y que deberán abordarse en un futuro próximo.

Jiménez (2021), realizó un trabajo de investigación en la Universidad Señor de Sipán denominado “Estudio de la erosión y pérdida de suelos empleando un simulador de lluvias en la ciudad de Chongoyape- Chiclayo”, cuyo objetivo fue estudiar la erosión y pérdida de suelos, empleando un simulador de lluvias, en la ciudad de Chongoyape-Chiclayo. La metodología empleada partió de la selección de tres puntos específicos, los cuales abarcaron una superficie de 1.00 m por 3.00 m, donde se montó de manera sencilla el simulador de lluvia, este simulador fue capaz de representar un evento de hasta 65 mm/h de intensidad, la cual hace uso de boquillas aspersores que funcionan bajo una presión y un caudal determinado; las boquillas pulverizadoras o de chorro emitieron una lluvia sobre el área de estudio con gotas cuyos tamaños promedios fueron desde los 2.5 mm a 4.00 mm. El montaje de la investigación buscó simular la intensidad de mayor precipitación registradas en el fenómeno del niño del año 1998, trabajando con pendientes variables desde el 3%, 10% y 25%, con un tipo de suelo CH, ML, CL; y con cobertura vegetal del terreno natural y sin cobertura, así como la atribución de la pendiente y la flora en las tasas de erosión. Destacando finalmente la importancia de la vegetación en el terreno, así como el manejo de pendientes y el tiempo de duración de la lluvia en los sucesos hidrológicos.

Algunas definiciones conceptuales, sobre el tema se describen a continuación

### **Simulador de lluvia:**

Algunos autores presentan las siguientes definiciones:

Cerda (1999), indica que de entre todos los aparatos empleados por los geomorfólogos destacan los simuladores de lluvia, los cuales se han utilizado con distintos objetivos desde los años 30; cuya utilidad ha revertido en la diversificación en dimensiones, tipos de formadores de gotas, estructuras, características de la lluvia, etc. tanto en aquellos simuladores desarrollados a partir de goteadores como los del tipo pulverizador.

Benito et al. (2001), señalan que los simuladores de lluvia son instrumentos de investigación diseñados para aplicar agua de forma similar a los episodios tormentosos naturales. Son útiles para obtener datos de erosión, infiltración, escorrentía superficial y transporte de sedimentos. No obstante, las características de la lluvia natural han de ser simuladas de forma adecuada, los datos de escorrentía/erosión obtenidos han de ser analizados cuidadosamente y se debe efectuar una buena interpretación de los resultados para obtener una información fiable en las condiciones para las que ha sido aplicada la lluvia simulada.

### **Tipos de simuladores de lluvia:**

Ploey (1983), citado por Cerda (1999), indica que hay dos grandes grupos de simuladores de lluvia. En uno las gotas de lluvia se precipitan de forma natural o a muy baja presión (goteadores), mientras que en los otros las gotas se generan a partir del paso de agua a presión por las boquillas (pulverizadores). Estas diferencias suponen características distintas de las gotas de lluvia y además determinan las características del aparato que en el primero de los casos hace que sea muy difícil su uso en el campo.

Benito et al. (2001), describen que existe una amplia bibliografía acerca de los distintos simuladores de lluvia que han sido utilizados en los últimos años por distintos investigadores y los diferentes tipos son seleccionados en función de la disponibilidad, costes de construcción y del objetivo experimental, no existiendo hasta la fecha una total estandarización en los diseños o metodología que se emplea, aunque se pueden diferenciar claramente dos grandes grupos. 1. Aquellos que utilizan el método de goteo para la producción de lluvia, donde la velocidad inicial de las gotas es cero. 2. Aquellos que utilizan el mecanismo de boquillas pulverizadoras, donde el agua sale a una determinada velocidad por estar sometida a una presión inicial determinada.

### **Ventajas e inconvenientes de los simuladores de lluvia:**

Meyer (1985), citado por Cerda (1999) detalla que la utilización de lluvia está circunscrita a la ventaja que supone el prescindir de la lluvia natural; cuatro son las razones para esto: la lluvia simulada es más rápida de producir, más eficiente, más controlada y adaptable que la lluvia natural.

Cerda (1999), señala que los simuladores de lluvia permiten tener acceso a una base de datos de gran calidad en un tiempo relativamente corto.

A la vez, el autor indica que pese a ser una técnica muy alabada, también tiene sus inconvenientes. Se acusa a los simuladores de lluvia de ser poco representativos por ocupar un área muy reducida y no reproducir la lluvia natural con exactitud, además de tener en algunos casos costes elevados en diseño y mantenimiento. El tamaño de la parcela es realmente una desventaja en diseño y mantenimiento. El tamaño de la parcela es realmente una desventaja si se estudian los procesos a escala de cuenca, pero tanto si se usan a escala de micro- cuencas, de laderas o parte de éstas, de campos de cultivo, como si se usan a escalas menores a la métrica, la técnica es totalmente factible, y diríamos incluso imprescindibles en lo relativo a superficies de tamaño reducido.

### **Infiltración del suelo:**

La infiltración es el proceso por el cual el agua en la superficie de la tierra entra en el suelo. La tasa de infiltración, en la ciencia del suelo, es una medida de la tasa a la cual el suelo es capaz de absorber la precipitación o la irrigación. Se mide en pulgadas por hora o milímetros por hora. Las disminuciones de tasa hacen que el suelo se sature. Si la tasa de precipitación excede la tasa de infiltración, se producirá escorrentía a menos que haya alguna barrera física. Está relacionada con la conductividad hidráulica saturada del suelo cercano a la superficie. La tasa de infiltración puede medirse usando un infiltrómetro. (Pérez, 2010)

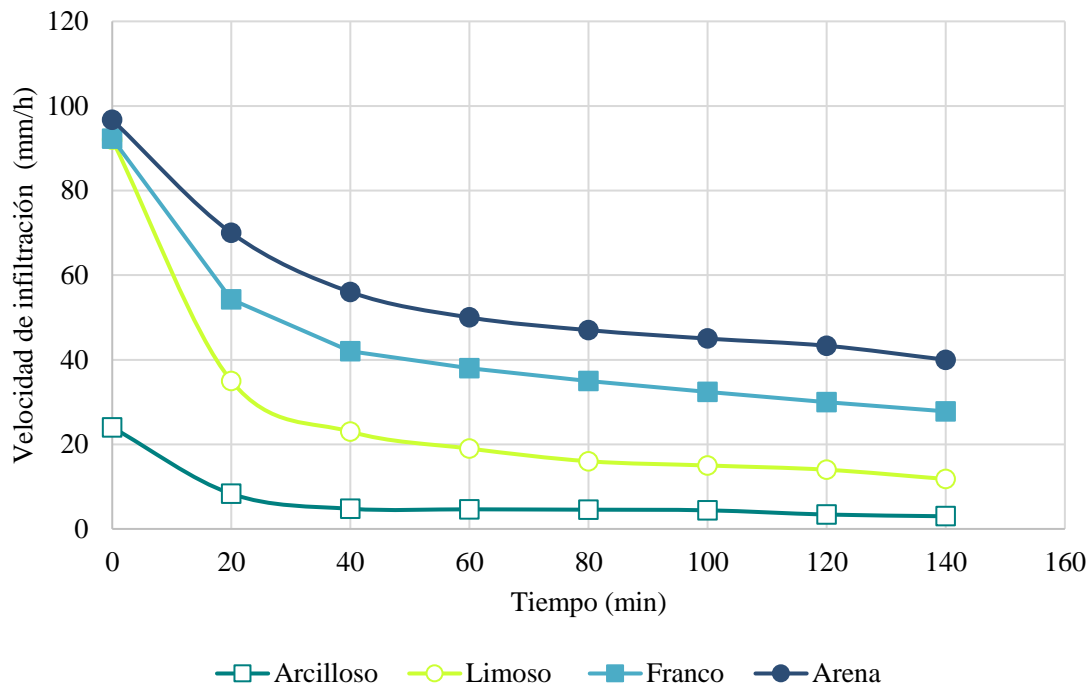
La infiltración de agua en el suelo es muy importante, porque de ahí se componen las fases del suelo, ya se líquida, sólida y gaseosa, teniendo en cuenta que el agua compone la fase líquida del suelo y sin esta el suelo estaría muerto, solo roca y aire que son los componentes de la fase sólida y gas. El agua en el suelo es vida en el suelo como en el resto de los componentes del ecosistema, en el suelo existe gran cantidad de organismos que necesitan el agua para hacer sus funciones vitales, ayuda a la descomposición de la materia entre otras funciones necesarias para que se complete el ciclo del flujo de energía. (Delgado Dallatorre & Úbeda Rivera, 2018)

Los suelos con una mayor proporción de arena presentan una velocidad de infiltración mayor. Por el contrario, los suelos con alto contenido de arcilla tienen una velocidad de infiltración baja. En suelos con pendiente, el agua en vez de infiltrar tiende a escurrir sobre la superficie, mientras que, en terrenos planos, pero que han soportado un intenso pisoteo de ganado o movimiento de maquinaria, es posible que la compactación impida una adecuada infiltración y se produzca una acumulación del agua sobre la superficie. (Homero Barría, 2021)

En un mismo predio, se podría encontrar variabilidad en la velocidad de infiltración, según el potrero que se requiera evaluar. El comportamiento del agua en el suelo es variable, sin embargo, si medimos un punto específico de suelo, la velocidad de infiltración en general disminuye con el tiempo, inicialmente más rápido, decreciendo hasta alcanzar un nivel mínimo estable conocido como infiltración básica ver Figura 1. (Homero Barría, 2021)

**Figura 1**

*Curvas de infiltración, según textura del suelo*



**Nota:** Reproducido de *Infiltración Generalidades*, por Reynoso, 2014. El gráfico 1, describe la velocidad de infiltración de los diferentes tipos de suelo: arcilloso, limoso,

franco, y arena; en función del tiempo en minutos. La velocidad de infiltración es representada a través de las unidades (mm/h).

### **Escorrentía superficial:**

La escorrentía superficial puede generarse por precipitación o por fundición de nieve o glaciares. La fundición de nieve y glaciares se da sólo en áreas lo bastante frías como para que se formen permanentemente. La escorrentía de nieve suele alcanzar su punto máximo en primavera, y los glaciares se derriten en verano, lo que produce máximos de flujo pronunciados en los ríos afectados por ellos. El factor determinante de la tasa de fundición de nieve o glaciares es la temperatura del aire y la duración de la luz solar. En las regiones de alta montaña, las corrientes se elevan durante los días soleados y disminuyen en los nublados debido a la razón anterior. (Pérez, 2010)

En áreas donde no hay nieve, la escorrentía proviene de la precipitación. Sin embargo, no toda la precipitación produce escorrentía, porque el almacenaje en los suelos puede absorber los chaparrones ligeros. En los suelos muy antiguos de Australia y África del Sur, las raíces proteoides, con sus redes muy densas de pelos, pueden absorber tanta agua de lluvia como para evitar la escorrentía, aunque caigan cantidades sustanciales de lluvia. En estas regiones, incluso en suelos de arcilla agrietados relativamente menos estériles, son necesarias cantidades altas de precipitación, y un bajo potencial de evaporación, para generar cualquier escorrentía superficial, lo que conduce a adaptaciones especializadas a corrientes muy variables (por lo general, efímeras). (Pérez, 2010)

### **Erosión del suelo:**

Peña y Rodríguez (2021), indican que la erosión es un proceso natural que se presenta en los suelos y es ocasionado por varios factores como son: el viento y las lluvias; las precipitaciones son las que más influyen en este problema de desgaste de los terrenos, generando deslizamiento en los taludes y por ende afectando proyectos de construcción en la ingeniería civil.

MINAGRI (2014), la erosión es el desprendimiento y arrastre (lavado) del suelo de un lugar a otro causado por la lluvia, el viento, o por malas prácticas que realiza el hombre en su chacra. Por estas pérdidas disminuye poco o poco la profundidad del suelo y hace que pierda su fertilidad. Esta pérdida del suelo es para siempre.



**Figura 2**

*Distribución de las parcelas en el área de estudio y aplicación de un simulador de lluvia artificial, para estudios de erosión en el suelo.*



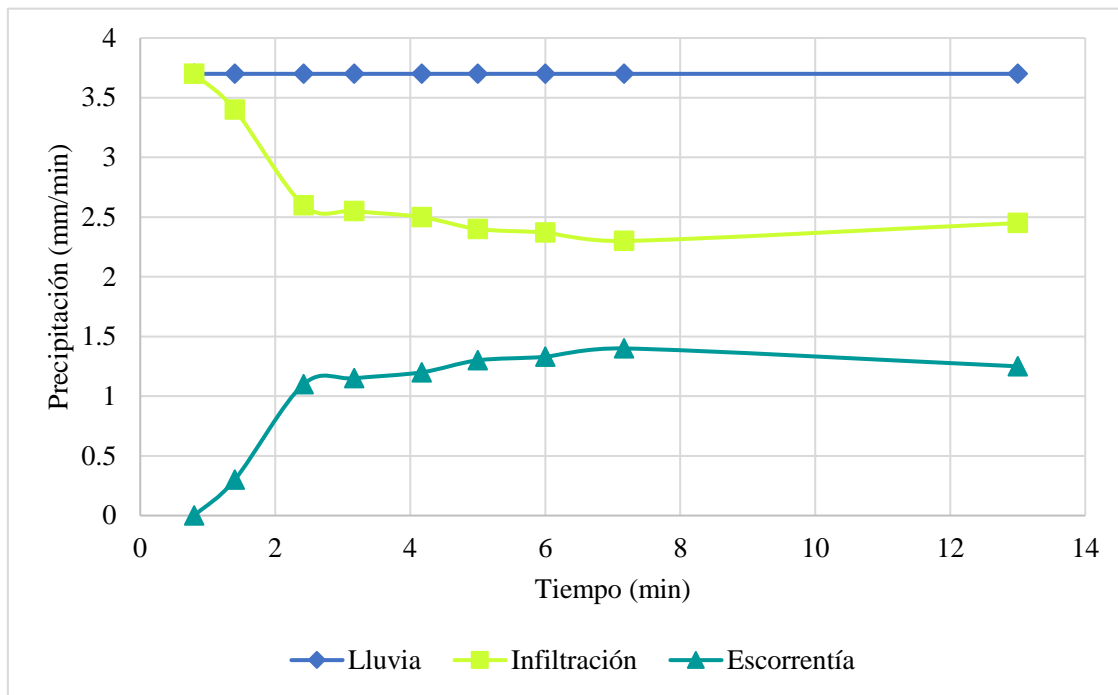
**Nota:** Reproducido de *Erosión del suelo: Efecto de la cobertura de residuos*, por Roca, 2005. En el gráfico se observa el montaje del simulador de lluvia por pulverización, así como la delimitación de parcelas a ser ensayadas.

**Comportamiento de la infiltración y escorrentía en el tiempo**

Aguilar y Monge (2008), desarrollaron un estudio que contó con las siguientes condiciones: pendiente del terreno de 52,5%, el suelo tenía una cobertura vegetal de un 5% aproximadamente (era casi suelo descubierto), el tiempo de simulación fue de 13 minutos y se calibró el simulador con una posición del tubo aireador que proporcionaba una lluvia del tubo aireador que proporcionaba una lluvia de 3,7 mm/min aproximadamente. Los datos obtenidos se observan en la figura 4, donde se muestra el comportamiento de la infiltración y escorrentía en el tiempo. El comportamiento de la escorrentía que se obtiene es el agua junto al sedimento que se desprende de la lluvia simulada.

**Figura 3**

*Comportamiento de la infiltración y escorrentía en el tiempo*



**Nota:** Por medio de esta prueba, se obtuvo una pérdida de suelo erosionado de 14,4 gramos. Resultando que se tiene después de haber llevado la muestra a secar en un horno por un tiempo de 24 horas a una temperatura de 105° C. Como se puede observar en la figura 9, la escorrentía inicia a los 0,8 minutos (48 segundos), tiempo en el cuál la cantidad de lluvia caída era de 2,96 mm. La infiltración comienza a descender en tiempo mientras que la escorrentía es cada vez mayor hasta que llegó a estabilizarse como a los 7 minutos de prueba.

### **Clasificación de suelos**

Se realiza mediante ensayos de granulometría y ensayos de límites de Atemberg y con los datos mediante tablas de clasificación se determina la clase de suelo.

### **Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)**

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos deriva de un sistema desarrollado por Arthur Casagrande para identificar y agrupar suelos en forma rápida en obras militares durante la guerra.

#### **Tabla 1**

*Prefijos y sufijos para denominación de tipos de suelo*

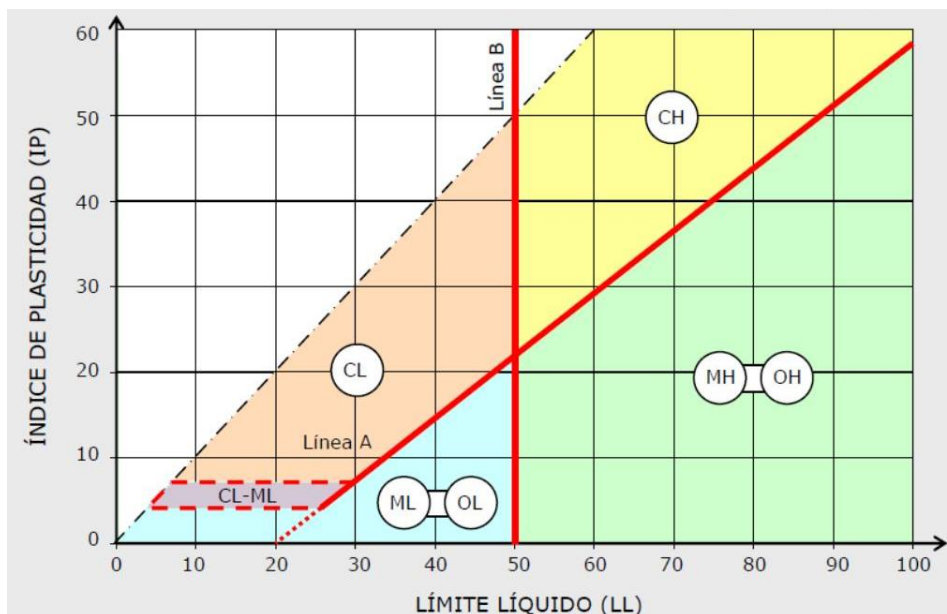
TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
GRAVA	<b>G</b>	Bien Graduado	<b>W</b>
ARENA	<b>S</b>	Pobrementemente graduado	<b>P</b>
LIMO	<b>M</b>	Limoso	<b>M</b>
ARCILLA	<b>C</b>	Arcilloso	<b>C</b>
ORGÁNICO	<b>0</b>	Baja Plasticidad	<b>L</b>
		Alta Plasticidad	<b>H</b>

**Límite líquido:** Se determina cerrando una ranura practicada en una muestra de suelo en un dispositivo llamado copa de Casagrande golpeándola 25 veces mediante una manivela. El contenido de agua que se determina se registrará como límite líquido. NTP 339.129 (ASTM D4318)

**Índice plástico:** Se determina presionando y enrollando una pequeña porción de suelo plástico hasta obtener un diámetro de 3mm. El contenido de agua que se encuentra será el índice plástico. NTP 339.129 (ASTM D4318)

**Figura 4**

*Carta de casagrande*



**Nota:**

La línea A: Separa las arcillas "C" (encima) y limos "M" (debajo)

La Línea B: Separa suelos de baja plasticidad "L" (izquierda) y suelos de alta plasticidad "H" (derecha)

**Tabla 2**

*Tipos de suelos, características y condiciones de clasificación según SUCS*

DIVISIONES PRINCIPALES		Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS	IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO	
<b>SUELOS DE GRANO GRUESO</b> Más de la mitad del material retenido en el tamiz número 200	<b>GRAVAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm)	<b>Gravas limpias</b> (sin o con pocos finos)	<b>GW</b> Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	<p>Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue:                      &lt;5%-&gt;GW,GP,SW,SP.                      &gt;12%-&gt;GM,GC,SM,SC. 5 al 12%-&gt;casos límite que requieren usar doble símbolo.</p> <p>Cu=<math>D_{60}/D_{10}&gt;4</math>                      Cc=<math>(D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}</math> entre 1 y 3</p> <p>No cumplen con las especificaciones de granulometría para GW.</p> <p>Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP&lt;4.                      Encima de línea A con IP entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo.</p> <p>Límites de Atterberg sobre la línea A con IP&gt;7.</p> <p>Cu=<math>D_{60}/D_{10}&gt;6</math>                      Cc=<math>(D_{30})^2/D_{10} \times D_{60}</math> entre 1 y 3</p> <p>Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.</p> <p>Límites de Atterberg debajo de la línea A o IP&lt;4.                      Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios que precisan de símbolo doble.</p>	
		<b>Gravas mal graduadas</b> , mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	<b>GP</b>		
		<b>Gravas con finos</b> (apreciable cantidad de finos)	Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.		<b>GM</b>
			Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.		<b>GC</b>
	<b>ARENAS</b> Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm)	<b>Arenas limpias</b> (pocos o sin finos)	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		<b>SW</b>
			Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.		<b>SP</b>
		<b>Arenas con finos</b> (apreciable cantidad de finos)	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.		<b>SM</b>
			Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.		<b>SC</b>
	<b>SUELOS DE GRANO FINO</b> Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200	<b>Limos y arcillas:</b> Límite líquido menor de 50	<b>ML</b> Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosa, o limos arcillosos con ligera plasticidad.		
			<b>CL</b> Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.		
<b>OL</b> Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.					
<b>Limos y arcillas:</b> Límite líquido mayor de 50		<b>MH</b> Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.			
		<b>CH</b> Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.			
		<b>OH</b> Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.			
<b>Suelos muy orgánicos</b>		<b>PT</b> Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.			

## Clasificación de suelos: La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras y Transportes (AASHTO)

El departamento de caminos Públicos de USA introdujo en 1929 uno de los primeros sistemas de clasificación para evaluar los suelos sobre los cuales se construían las carreteras. En 1945 fue modificado, desde ese momento se le conoce como sistema AASHTO. Describe un procedimiento para clasificar suelos en siete grupos, basados en la granulometría, límite líquido e índice de plasticidad.

**Tabla 3**

*Tipos de suelos, características y condiciones de clasificación según AASHTO*

DIVISIÓN GENERAL		Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)						Materiales Limo- arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)					
GRUPO		A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Subgrupo		A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b> (% que pasas por cada tamiz)													
Serie ASTM	#10	≤50											
	#40	≤30	≤50	≥51									
	#200	≤15	≤25	≤10	≤35	≤35	≤35	≤35	≥36	≥36	≥36	≥36	≥36
<b>ESTADO DE CONSISTENCIA</b> (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)													
	Límite Líquido			NP <sup>(1)</sup>	≤40	≥41	≤40	≥41	≤40	≥41	≤40	>41 (IP<LL-30)	>41 (IP>LL-30)
	índice de plasticidad	≤6			≤10	≤10	≥11	≥11	≤10	≤10	≥11	≥11	≥11
<b>ÍNDICE DE GRUPO</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>≤4</b>		<b>≤8</b>	<b>≤12</b>	<b>≤20</b>	<b>≤20</b>			
<b>TIPOLOGÍA</b>		Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
<b>CALIDAD</b>		<b>EXCELENTE A BUENA</b>					<b>ACEPTABLE A MALA</b>						

**Nota:** (1): No plástico

### 1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye en la infiltración, escorrentía y erosión de suelos el empleo de un simulador de lluvia en la microcuenca de la quebrada Shaullo, Cajamarca, 2022?

### **1.3. Objetivos**

#### **Objetivo general**

Determinar la influencia en la infiltración, escorrentía y erosión de suelos, al emplear un simulador de lluvia en la microcuenca de la quebrada Shaullo, Cajamarca.

#### **Objetivos específicos**

- Seleccionar y construir un modelo de simulador de lluvia, atendiendo criterios de control de la pluviosidad.
- Cuantificar la infiltración y escorrentía en suelos empleando un simulador de lluvia, en la microcuenca de la quebrada Shaullo.
- Estimar la erosión en suelos empleando un simulador de lluvia, en la microcuenca de la quebrada Shaullo.
- Presentar los costos de fabricación y empleo del simulador de lluvia propuesto en la investigación.

### **1.4. Hipótesis**

El empleo de un simulador de lluvia en la microcuenca de la quebrada Shaullo influye en la infiltración, escorrentía y erosión de suelos de forma eficiente.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

### Diseño metodológico

**Experimental:** Arias et al. (2022), indican que el diseño experimental es un proceso cuya principal característica es verificar cuantitativamente la causalidad de una variable sobre otra, ello implica la manipulación o el control de la variable independiente, para ello se necesita un plan de acción que pueden establecer por etapas, como un programa de intervención o de forma nivelada estableciendo parámetros de rangos. En los diseños experimentales la variable independiente representa el tratamiento, factor, condiciones o intervención que el investigador manipula y/o controla para probar los efectos sobre la variable dependiente.

La investigación cuenta con un diseño experimental, debido a que parte de la construcción y manipulación de un simulador de lluvia (variable independiente), con la finalidad de estudiar los fenómenos producidos en la infiltración, escorrentía y erosión del suelo (variables dependientes).

A la vez, se realizará un montaje experimental en la quebrada Shaullo, donde se seleccionarán lugares muestrales para la realización de los ensayos de infiltración, escorrentía y erosión del suelo.

También se realizarán estudios en el laboratorio de suelos de la Universidad Privada del Norte, esto con el fin de clasificar los suelos estudiados y volúmenes de erosión en suelos.

Las características acordes al fin, enfoque y alcance de la investigación se describen a continuación, partiendo de las definiciones de múltiples autores.

**Figura 5**

*Fin, alcance y enfoque de la investigación*

<p><b>Fin de la investigación</b></p>	<p><b>“Aplicada o tecnológica”:</b> Según Arias (2020), este tipo de investigación se abastece por el tipo básico o puro, ya que mediante la teoría se encarga de resolver problemas prácticos, se basa en los hallazgos, descubrimientos y soluciones que se planteó en el objetivo del estudio, normalmente este tipo de investigación se utiliza en la medicina o ingenierías. Los alcances que se pueden plantear aquí son explicativos.</p>
<p><b>Alcance de la investigación</b></p>	<p><b>“Explicativo”:</b> Arias (2020), indica que este alcance tiene la característica de establecer causa – efecto entre sus variables, son más profundas y estructuradas a diferente de los alcances previos, existen las variables independientes (causas) y las variables dependientes (efectos), las hipótesis se pueden plantear de forma que se establezca causalidad. Aquí se puede utilizar la variable independiente de dos formas: De forma que se puede observar y medir, y de forma que se pueda manipular, cuando se manipula o controla la variable independiente esta no se mide; se establece la operacionalización de variables con las variables independiente y</p>
<p><b>Enfoque de la investigación</b></p>	<p><b>“Cuantitativa”:</b> Sobre ello Arias et al. (2022), indica que la investigación cuantitativa permite medir variables o fenómenos a través de valores numéricos y un procesamiento estadístico descriptivo y/o inferencial. La investigación cuantitativa se deriva del empirismo y la observación directa para poder obtener los datos; en ocasiones estos datos son recogidos a través de instrumentos como el cuestionario o la ficha de observación y otras ocasiones, mediante una ficha de análisis documental.</p>

Respecto a lo descrito anteriormente, se debe especificar que:

La investigación tiene un fin *aplicativo o tecnológico*; debido a que el estudio se enfocará en presentar los hallazgos sobre la evaluación y determinación de las tasas de



infiltración, escorrentía, y erosión del suelo. Partiendo de la selección, diseño y construcción de un simulador de lluvia, el cual permitirá hacer el montaje experimental.

La investigación tiene un *alcance explicativo*; debido al estudio de implicancia entre las variables: simulador de lluvia (variable independiente) e infiltración, escorrentía y erosión del suelo (variables dependientes). Tratando de establecer la causa- efecto entre las variables en estudio. Logrando así observar directamente los fenómenos en estudio, y la medición de los mismos.

La investigación tiene un *enfoque cuantitativo*; debido a que es posible realizar la medición de las variables dependientes (infiltración, escorrentía y erosión del suelo), derivado del empirismo propio de los ensayos propuestos y la observación directa en campo, estos datos cuantitativos serán recopilados en los instrumentos diseñados para la investigación.

El **tiempo o periodo del estudio**: abarca los meses de julio hasta setiembre del año 2022, tiempo en el que se realizará el montaje experimental, recolección y análisis de datos.

### 3.1. Variables

#### **Variable independiente:**

**VI:** Simulador de lluvia

Este será un simulador del tipo pulverizador, el cual será diseñado y construido a partir de los modelos de simuladores de lluvia existentes y desarrollados en los últimos años.

**Variables dependientes:** (1) infiltración del suelo, (2) escorrentía del suelo y (3) erosión del suelo.

## Operacionalización de variables

La operacionalización de variables está compuesta por variables, dimensiones, indicadores y escala o valorización (variable compleja). El punto de partida para entender una variable es establecer que la operacionalización de las variables es un proceso de lo general a lo específico que nos permite entender la variable de estudio, es ordenado, ya que se empieza por la variable, luego siguen las dimensiones y luego los indicadores; es entendible porque muestra la relación entre estos tres aspectos y al final, el fenómeno del estudio debe ser medido. (Arias Gonzales, 2020)

### **Definición conceptual de variables**

Enfocado a conceptualizar cada una de las variables de la investigación, estableciendo sus conceptos o definiciones.

***Simulador de lluvia:*** Cerda (1999), indica que de entre todos los aparatos empleados por los geomorfólogos destacan los simuladores de lluvia, los cuales se han utilizado con distintos objetivos desde los años 30; cuya utilidad ha revertido en la diversificación en dimensiones, tipos de formadores de gotas, estructuras, características de la lluvia, etc. tanto en aquellos simuladores desarrollados a partir de goteadores, así como los del tipo pulverizador.

***Infiltración del suelo:*** Pérez (2010), la infiltración es el proceso por el cual el agua en la superficie de la tierra entra en el suelo. Está relacionada con la conductividad hidráulica saturada del suelo cercano a la superficie.

***Escorrentía del suelo:*** Pérez (2010), la escorrentía superficial describe el flujo del agua, lluvia, nieve, u otras fuentes, sobre la tierra, y es un componente principal del ciclo del agua. A la escorrentía que ocurre en la superficie antes de alcanzar un canal se le llama fuente no puntual. Si una fuente no puntual contiene contaminantes artificiales, se le

llama polución de fuente no puntual. Al área de tierra que produce el drenaje de la escorrentía a un punto común se la conoce como línea divisoria de aguas. Cuando la escorrentía fluye a lo largo de la tierra, puede recoger contaminantes del suelo, como petróleo, pesticidas (en especial herbicidas e insecticidas), o fertilizantes.

***Erosión Hídrica Superficial del suelo:*** MINAGRI (2014), la erosión hídrica es el desprendimiento y arrastre (lavado) del suelo de un lugar a otro causado por la lluvia, el viento, o por malas prácticas que realiza el hombre en su chacra. Por estas pérdidas disminuye poco o poco la profundidad del suelo y hace que pierda su fertilidad. Esta pérdida del suelo es para siempre.

### **Definición operacional de variables**

Orientado a establecer los procesos para la manipulación, observación y manejo de las variables a través de sus dimensiones, ítems e indicadores.

***Simulador de lluvia:*** Para proponer el tipo de simulador de lluvia apropiado para la presente investigación, es indispensable evaluar el tipo de simulador (goteador o pulverizador), el tiempo de construcción y el costo de este; a través de la técnica de observación directa e instrumentos como fichas técnicas, planos y cotizaciones; cuyos valores serán procesados en los softwares AutoCAD y S10.

***Infiltración del suelo:*** Respecto a la infiltración del suelo, es necesario elaborar las curvas de infiltración de cada precipitación simulada determinando la intensidad de infiltración alcanzada; a través de la técnica de observación directa en campo e instrumentos como protocolos de ensayo; cuyos valores serán procesados en el software Microsoft Excel.

***Escorrentía del suelo:*** Respecto a la escorrentía del suelo, es necesario elaborar las curvas de escorrentía de cada precipitación simulada determinando el volumen de

escorrentía alcanzado; a través de la técnica de observación directa en campo e instrumentos como protocolos de ensayo; cuyos valores serán procesados en el software Microsoft Excel.

**Erosión del suelo:** Respecto a la erosión del suelo, es necesario determinar la erosión hídrica superficial generada durante cada precipitación simulada; a través de la técnica de observación directa en campo e instrumentos como protocolos de ensayo; cuyos valores serán procesados en el software Microsoft Excel.

### Dimensiones e indicadores de las variables

**Tabla 4**

*Dimensiones e indicadores de las variables en investigación*

VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADOR
<b>Independiente:</b> Simulador de lluvia	Tipo de simulador de lluvia	Características de diseño, estructura y funcionamiento.
	Construcción del simulador	Horas
	Presupuesto	Soles (S/.)
<b>Dependiente (1):</b> Infiltración del suelo	Intensidad de Infiltración	mm/h
<b>Dependiente (2):</b> Escorrentía del suelo	Volumen de Escorrentía	mm/h
<b>Dependiente (3):</b> Erosión del suelo	Erosión hídrica superficial	gramos y (ton/hectárea)

**Gramos:** Pesado después de sacar al horno

### Matriz de consistencia de la investigación:

Ver anexo 01.

Tabla 5

Matriz de operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	TÉCNICAS	INSTRUMENTO
<b>Independiente:</b> Simulador de lluvia	<p><b>Cerda (1999)</b>, indica que de entre todos los aparatos empleados por los geomorfólogos destacan los simuladores de lluvia, los cuales se han utilizado con distintos objetivos desde los años 30; cuya utilidad ha revertido en la diversificación en dimensiones, tipos de formadores de gotas, estructuras, características de la lluvia, etc. tanto en aquellos simuladores desarrollados a partir de goteadores así como los del tipo pulverizador.</p>	<p>Para proponer el tipo de simulador de lluvia apropiado para la presente investigación, es indispensable evaluar el tipo de simulador (goteador o <b>pulverizador</b>), el tiempo de construcción y el costo de este; a través de la técnica de observación directa e instrumentos como fichas técnicas, planos y cotizaciones; cuyos valores serán procesados en los softwares AutoCAD y S10.</p>	Tipo de simulador de lluvia	Características de diseño, estructura y funcionamiento.		Diseño
			Construcción del simulador	Horas	<b>Observación directa</b>	Planos
			Presupuesto	Soles (S/.)		Cotizaciones
<b>Dependiente (1):</b> Infiltración del suelo	<p><b>Pérez (2010)</b>, la infiltración es el proceso por el cual el agua en la superficie de la tierra entra en el suelo. Está relacionada con la conductividad hidráulica saturada del suelo cercano a la superficie.</p>	<p>Respecto a la infiltración del suelo, es necesario elaborar las <b>curvas de infiltración de cada precipitación simulada</b> determinando la intensidad de infiltración alcanzada, a través de la técnica de observación directa en campo e instrumentos como protocolos de ensayo; cuyos valores serán procesados en el software Microsoft Excel.</p>	Intensidad de infiltración	mm/h	<b>Observación directa</b>	<b>Protocolo de campo:</b> Precipitación, infiltración y escorrentía
<b>Dependiente (2):</b> Escorrentía del suelo	<p><b>Pérez (2010)</b>, La escorrentía superficial describe el flujo del agua, lluvia, nieve, u otras fuentes, sobre la tierra, y es un componente principal del ciclo del agua. A la escorrentía que ocurre en la superficie antes de alcanzar un canal se le llama fuente no puntual. Si una fuente no puntual contiene contaminantes artificiales, se le llama polución de fuente no puntual. Al área de tierra que produce el drenaje de la escorrentía a un punto común se la conoce como línea divisoria de aguas. Cuando la escorrentía fluye a lo largo de la tierra, puede recoger contaminantes del suelo, como petróleo, pesticidas (en especial herbicidas e insecticidas), o fertilizantes.</p>	<p>Respecto a la escorrentía del suelo, es necesario elaborar las <b>curvas de escorrentía de cada precipitación simulada</b> determinando el volumen de escorrentía alcanzado; a través de la técnica de observación directa en campo e instrumentos como protocolos de ensayo; cuyos valores serán procesados en el software Microsoft Excel.</p>	Volumen de escorrentía	mm/h	<b>Observación directa</b>	<b>Protocolo de campo:</b> Precipitación, infiltración y escorrentía
<b>Dependiente (3):</b> Erosión del suelo	<p><b>MINAGRI (2014)</b>, la erosión es el desprendimiento y arrastre (lavado) del suelo de un lugar a otro causado por la lluvia, el viento, o por malas prácticas que realiza el hombre en su chacra. Por estas pérdidas disminuye poco o poco la profundidad del suelo y hace que pierda su fertilidad. Esta pérdida del suelo es para siempre.</p>	<p>Respecto a la erosión del suelo, es necesario determinar la <b>erosión hídrica superficial generada durante cada precipitación simulada</b>; a través de la técnica de observación directa en campo e instrumentos como protocolos de ensayo; cuyos valores serán procesados en el software Microsoft Excel.</p>	Erosión Hídrica Superficial	g y (ton/hectárea)	<b>Observación directa</b>	<b>Protocolo de campo:</b> Evaluación cuantitativa de la erosión hídrica superficial-clavos de erosión

**Población:**

Integrada por toda la superficie de la quebrada Shaullo, la cual cuenta con un área aproximada de 113 hectáreas.

**Muestra:**

La propuesta muestral parte de un muestreo intencional, debido al acceso inhóspito a la quebrada de Shaullo, considerando apropiado siete (07) puntos de muestreo para el desarrollo de los ensayos en campo; en función de la capacidad para trasladarse de un punto a otro con todos los instrumentos, materiales y equipo de investigación.

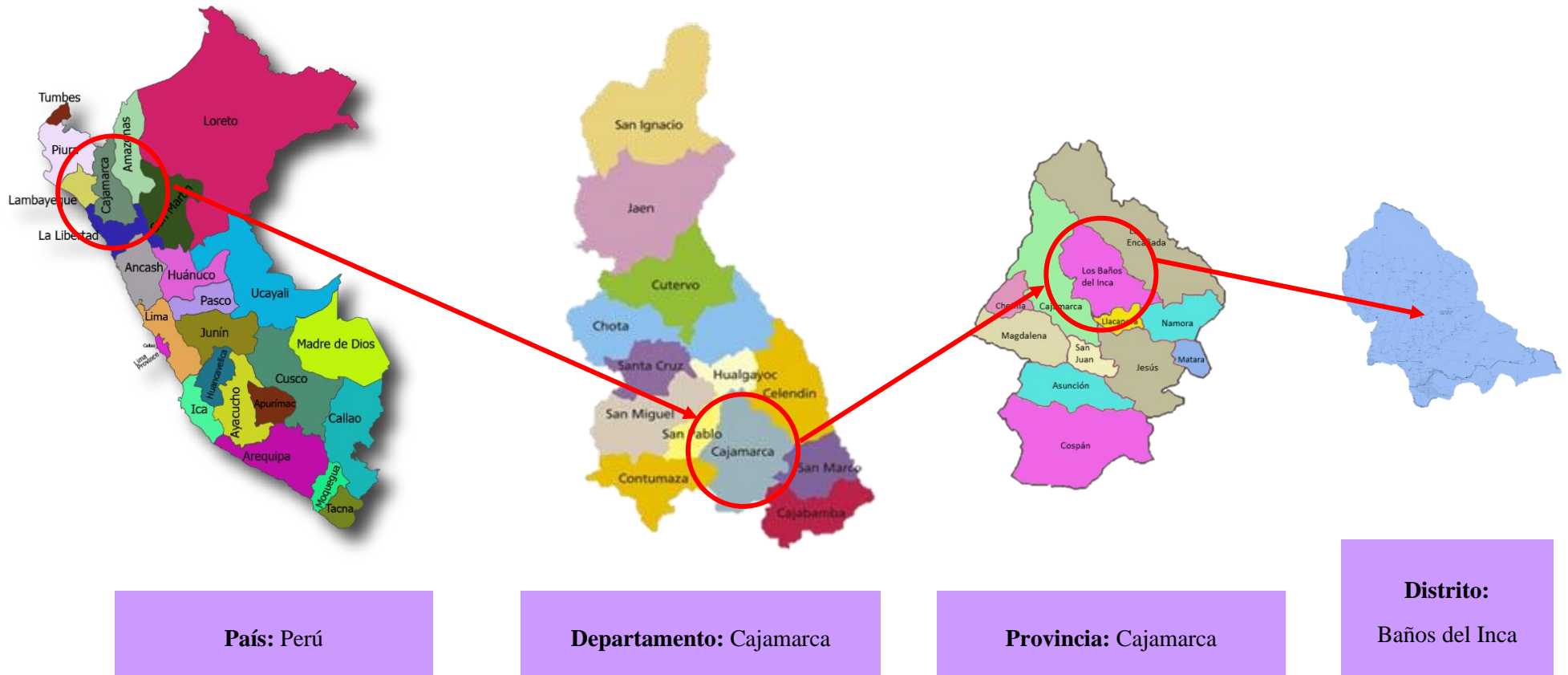
Se ha optado por seleccionar los puntos para ensayos en base al acceso que facilitó el ingreso de movilidad con todo el equipo para el montaje, y en función a las pendientes del lugar optando por las laderas de la cuenca debido a que las zonas montañosas cuentan con pendientes que dificultan el montaje del simulador. A continuación, se muestran las coordenadas UTM, de cada uno de los puntos seleccionados para la realización de los ensayos.

**Tabla 6***Coordenadas UTM de los puntos para muestreo*

<b>Punto</b>	<b>Este</b>	<b>Norte</b>
1	785274.00	9206427.00
2	785362.00	9206253.00
3	785171.00	9205851.00
4	785617.00	9206487.00
5	785669.00	9206306.00
6	785637.00	9205958.00
7	785449.00	9205840.00

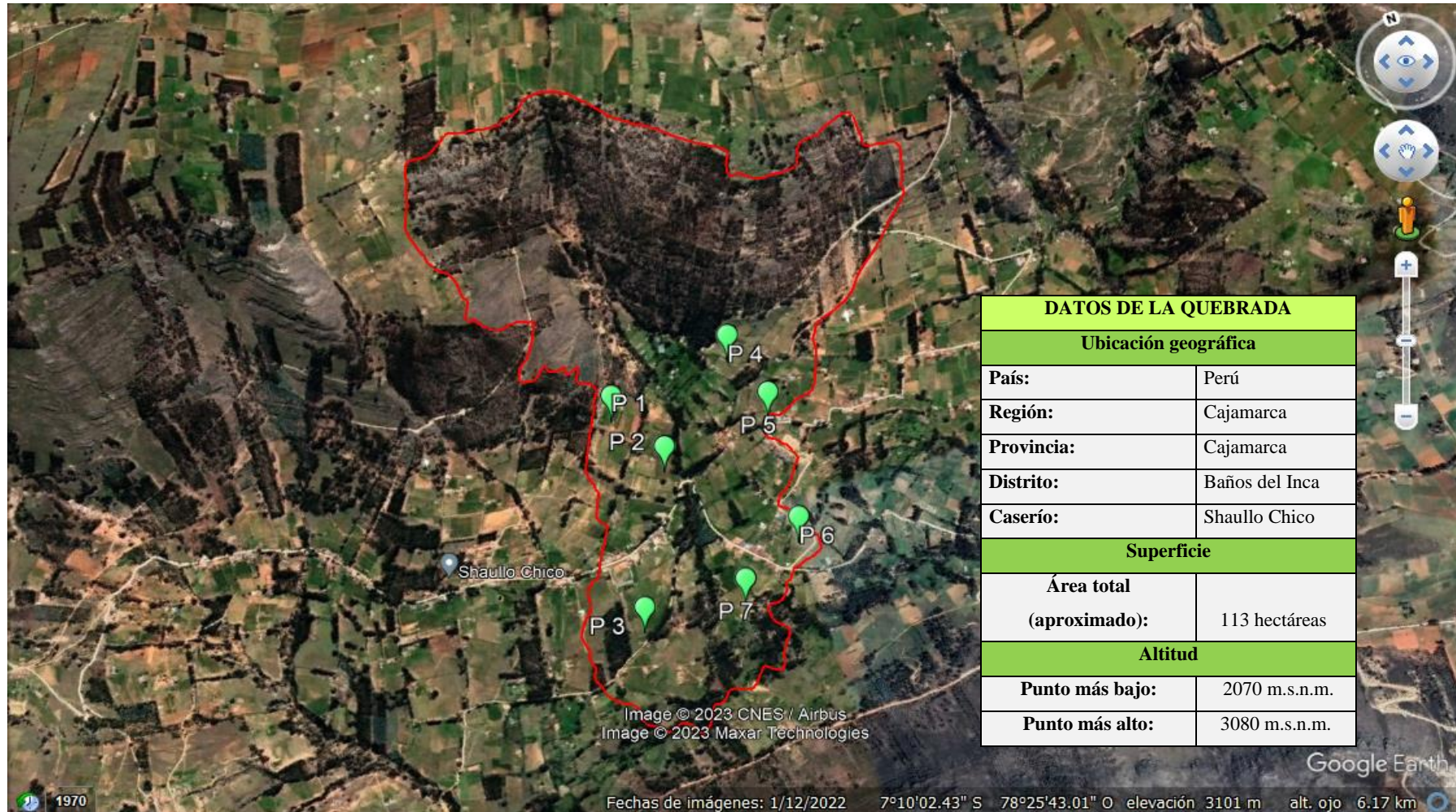
**Figura 6**

*Ubicación geográfica del lugar para investigación*



**Figura 7**

*Puntos de estudio para el desarrollo de la investigación: Quebrada Shaullo*





## Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

### Técnicas de recolección de datos:

La técnica de recolección de datos está basada principalmente en la observación directa y la fotografía. Debido a que se recopilará los datos durante el desarrollo de los ensayos los cuales serán documentados y fotografiados en todo momento.

Para ello los instrumentos para la recolección de datos estarán constituidos por: fichas técnicas de diseño, planos, proformas, y protocolos para los múltiples ensayos.

**Tabla 7**

*Técnicas e instrumentos para la recolección de datos*

VARIABLES	TÉCNICAS	INSTRUMENTO
<b>Independiente:</b> Simulador de lluvia	Observación directa/ Fotografía	Ficha técnica de diseño  Planos  Cotizaciones
<b>Dependiente (1):</b> Infiltración del suelo	Observación directa/ Fotografía	<b>Protocolo de campo</b>
<b>Dependiente (2):</b> Escorrentía del suelo	Observación directa/ Fotografía	<b>Protocolo de campo</b>
<b>Dependiente (3):</b> Erosión del suelo	Observación directa/ Fotografía	<b>Protocolo de campo</b>

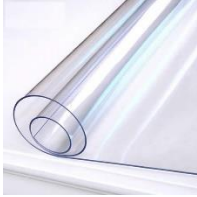






### Técnica para el análisis de datos:

La técnica para el análisis de datos será el *procesamiento de datos*. El cual se enfocará en el desglosamiento de los valores obtenidos en campo y laboratorio, a través de instrumentos como guías para la construcción de gráficos porcentuales, barras y similares.

## Materiales, herramientas y equipos para la investigación

**Tabla 8**

*Materiales y herramientas auxiliares para ensayos de campo*

N°	Materiales y herramientas para ensayos de campo	Referencia
1	Papel film o película	
2	Vaso de precipitado	
3	Tablero para campo	
4	Libreta de campo	
5	Tijeras	
6	Regla metálica	
7	Wincha	
8	Cúter	
9	Martillo	
10	Alicate	

11 Alambre de amarre



12 Sogas



13 Cubetas o baldes



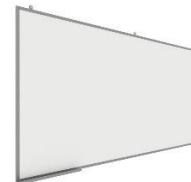
14 Palanas



15 Sacos



16 Pizarra acrílica



### Tabla 9

*Equipos para ensayos en prototipo*

N°	Equipos para ensayos en prototipo	Referencia
----	-----------------------------------	------------

- 1 Simulador de lluvia



- 2 Cronómetro



- 3 Cámara fotográfica



---

## **Procedimientos:**

### **a. Procedimiento Global de la investigación**

1. Elección, diseño y construcción del **simulador de lluvia**.
2. Ensayo para calibración, empleando de un esquema para el control de la pluviosidad

**Primero:** Control del volumen de lluvia a precipitar- Medición directa del agua consumida.

**Segundo:** área o distribución de la precipitación para delimitar el área de nuestra parcela- Vasos receptores de precipitación (pluviómetros).

3. **Identificación del lugar** para realización del estudio (quebrada Shaullo).
4. Selección y registro de coordenadas UTM, de cada uno los **puntos** para realización de ensayos.

5. **Montaje en campo**, para realización de ensayos experimentales, determinando inicialmente el volumen de escorrentía.
6. **Recolección de datos** en campo.
7. **Recolección de muestras** de suelos:
  - Para la **clasificación del suelo** a través de las metodologías: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y de La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras y Transportes (AASHTO).
  - Para la determinación de la **densidad natural del suelo** a través del método volumétrico.
8. **Trabajo de gabinete:**
  - Elaboración de curvas de infiltración y escorrentía en base a las precipitaciones simuladas.
  - Determinación de la erosión hídrica superficial durante cada precipitación simulada.
9. **Trabajo de laboratorio:** Clasificación de suelos, determinación de la densidad natural y volumen de suelo erosionado.

### **Figura 8**

*Diagrama de Operaciones del Proceso DOP- Para trabajo de investigación*

**Diagrama de Operaciones del Proceso DOP- Para trabajo de investigación**

1. Elección, diseño y construcción del simulador de lluvia.



2. 2. Ensayo para calibración, empleando de un esquema para el control de la pluviosidad



3. Identificación del lugar para realización del estudio (microcuenca de la quebrada Shaullo)

4. Selección y registro de coordenadas UTM, de cada uno los puntos para realización de ensayos.

Coordenadas UTM de los puntos para muestreo			
Punto	Este	Norte	Cota
1	785300.78	9206409.49	2840
2	785362.99	9206253.46	2816
3	785665.55	9206506.02	2877
4	785490.21	9206562.78	2857
5	785588.96	9206350.62	2841
6	785546.34	9206096.46	2821
7	785459.61	9205922.62	2795
8	785300.07	9205818.15	2780
9	785261.82	9205982.81	2801
10	785096.92	9205943.19	2814



6. Recolección de datos en campo



7. Recolección de muestras de suelos



8. Trabajo de gabinete: Elaboración de las curva sde infiltración y escorrentía de cada precipitación simulada, cuantificación de la erosión hídrica superficial

5. Montaje en campo, para realización de ensayos experimentales, determinando inicialmente el volumen de escorrentía



9. Trabajo de laboratorio: Clasificación de suelos

Procesamiento de datos, discusión, conclusiones y presentación

Actividad	Símbolo	Descripción
Operación	●	Indica las principales fases del proceso, método o procedimiento.
Inspección	■	Indica que se verifica la calidad y/o cantidad de algo.
Transporte	➔	Indica desplazamiento o movimiento de empleados, material y equipo de un lugar a otro.
Espera	◐	Indica demora en el desarrollo de los hechos

Proceso de recolección de datos

Proceso de análisis de datos

**b. Procedimiento para diseño y construcción del simulador de lluvia**

**1. Selección de piezas que componen el simulador.**

El simulador de lluvia por pulverización está compuesto por las siguientes piezas:

**Tabla 10**

*Piezas que componen el simulador*

N°	Piezas que componen el simulador	Imagen
1	Adaptador 1" mixto	
2	Adaptador 1/2" mixto	
3	Unión universal con rosca 1"	
4	Unión universal con rosca 1/2"	
5	Tapón 1/2"	
6	Tee 1/2" roscado y simple	

7 Válvula Bola PVC con rosca 1/2"



8 Válvula compuerta 1/2"



9 Válvula esférica 1"



10 Reducción 1" a 1/2"



11 Codo 90° 1/2" roscado



12 Boquilla de aspersión



13 Manómetro



14 Bomba 1/2" HP





15 Tubo ½" simple PVC



16 Tubo 1" roscado PVC



17 Tacho para agua



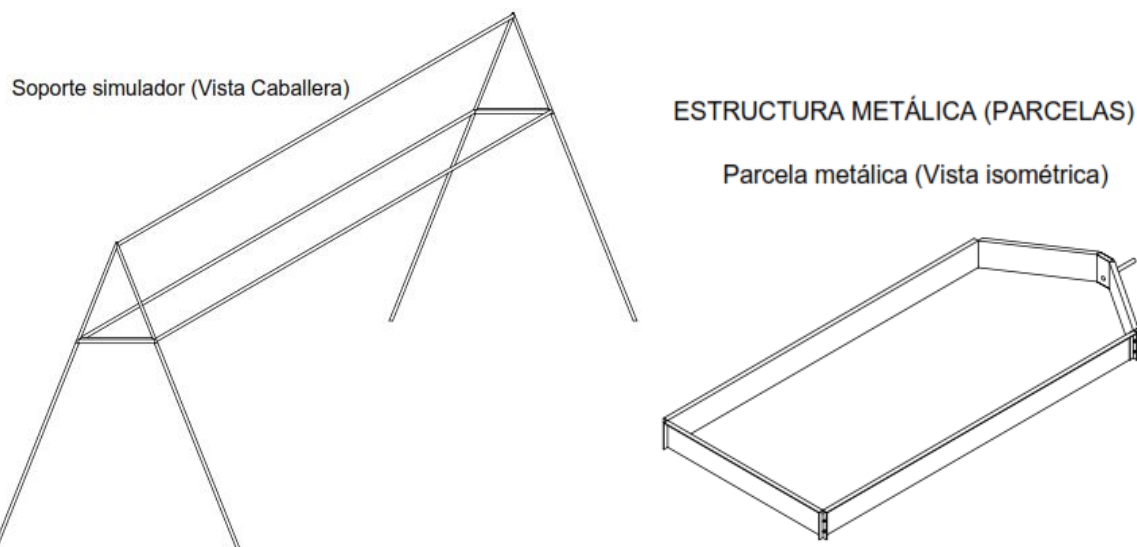
18 Generador eléctrico



## 2. Diseño del simulador de lluvia del tipo pulverizador.

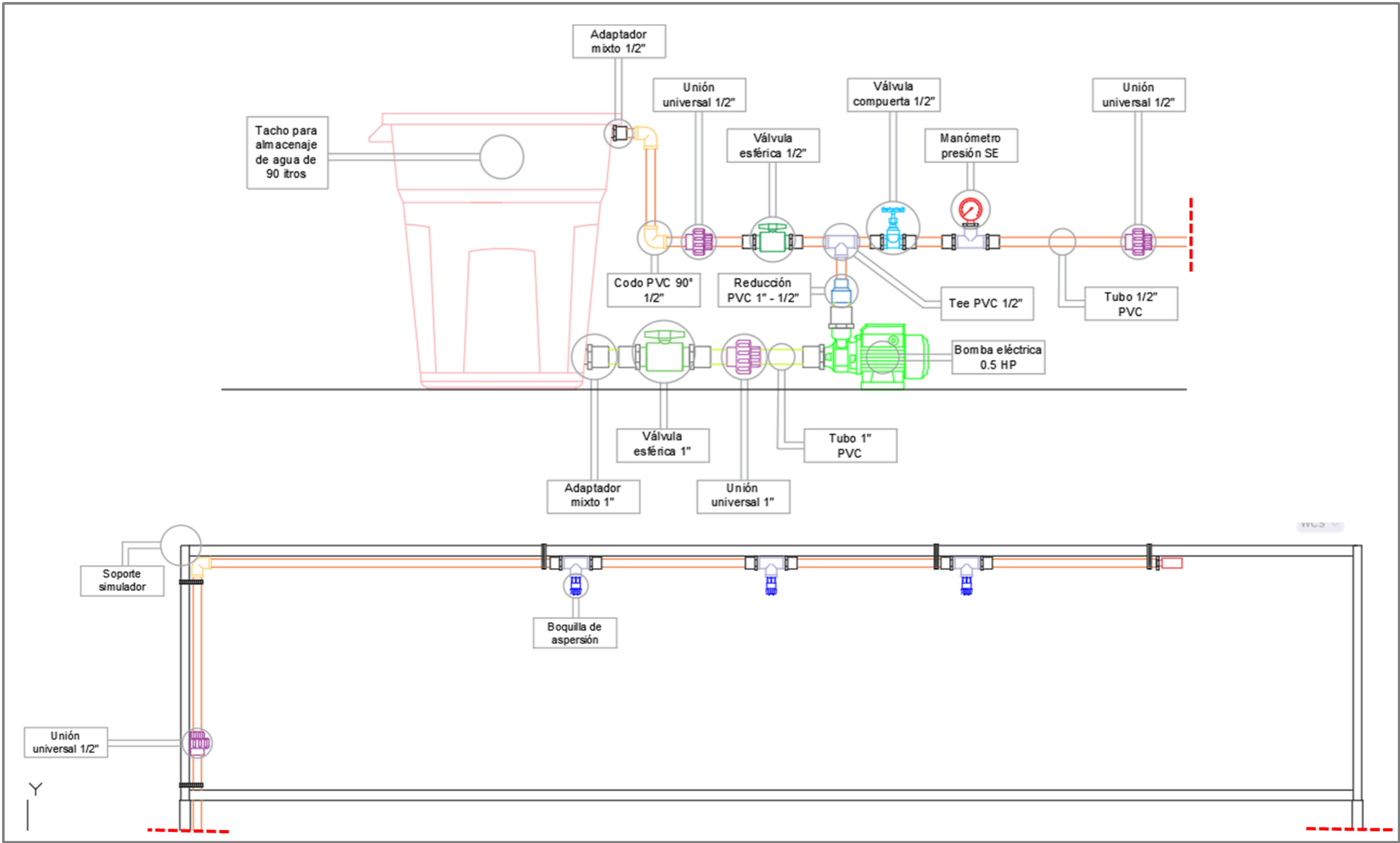
**Figura 9**

*Estructura de soporte para simulador de lluvia y estructura metálica para delimitación de parcelas*



**Figura 10**

*Diseño del simulador de lluvia del tipo pulverizador SRS-22*



**c. Procedimiento para armado e instalación del simulador de lluvia**

**Figura 11**

*Armado e instalación del simulador de lluvia: Paso 01*

**PASO: 01**

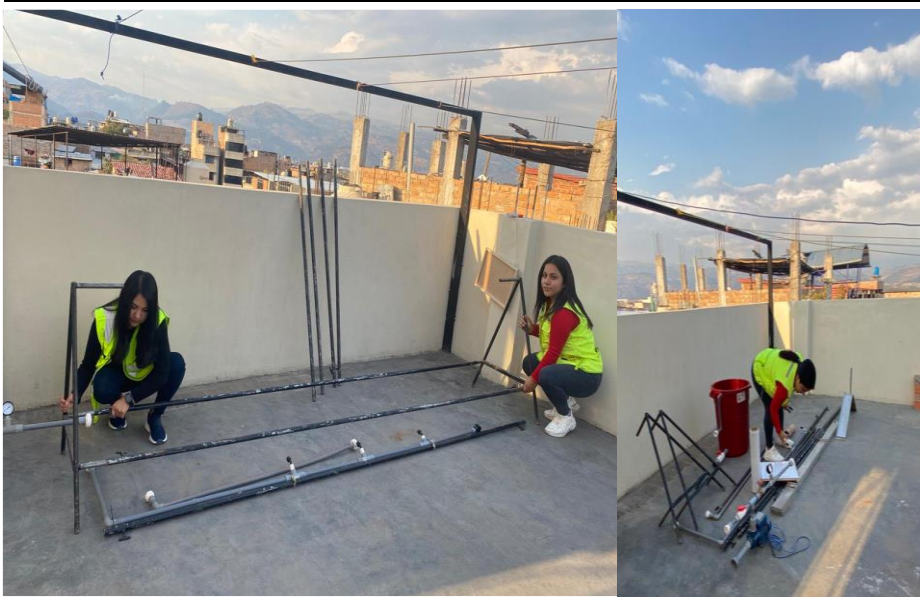


Materiales, equipos y piezas que componen el simulador de lluvia: los cuales facilitan su portabilidad y armado en campo.

**Figura 12**

*Armado e instalación del simulador de lluvia: Paso 02*

**PASO: 02**



Unión de piezas tipo A, unidas a templadores (1, 2 y 3)

**Figura 13**

*Armado e instalación del simulador de lluvia: Paso 03*

**PASO: 03**



Colocación de parantes para elevar boquillas pulverizadoras

**Figura 14**

*Armado e instalación del simulador de lluvia: Paso 04*

**PASO: 04**



Fijación de la tubería de distribución al soporte metálico del simulador de lluvia

**Figura 15**

*Armado e instalación del simulador de lluvia: Paso 05*

**PASO: 05**



Unión del sistema de bombeo y presión, a través de uniones universales; con la tubería de distribución

**Figura 16**

*Armado e instalación del simulador de lluvia: Paso 06*

**PASO: 06**



Unión del tacho alimentador de agua a todo el sistema del simulador de lluvia

**Figura 17**

*Armado e instalación del simulador de lluvia: Paso 07*

**PASO: 07**



Armado de estructura para delimitación de parcelas: con el empleo de pernos y una llave.

**Figura 18**

*Armado e instalación del simulador de lluvia: Paso 08*

**PASO: 08**



Recubrimiento del simulador de lluvia con papel film, para contar con ensayos controlados.

## Figura 19

*Armado e instalación del simulador de lluvia: Paso 09*

### PASO: 09



Vista general del simulador de lluvia armado.

#### d. Procedimiento para ensayo piloto e implementación de guías y protocolos de campo.

##### - Procedimiento para ensayo de calibración.

Ensayo para calibración, empleando de un esquema para el control de la pluviosidad.

(Ver figura 11)

##### - Procedimiento para implementación de guías y protocolos de campo.

Precipitación, infiltración y escorrentía. (Ver figura 12)

Erosión hídrica superficial. (Ver figura 13)

**Figura 20**  
Procedimiento para calibración, a través de un esquema para el control de la pluviosidad

**CALIBRACIÓN A TRAVÉS DE UN ESQUEMA DE CONTROL DE LA PLUVIOSIDAD**

**RESUMEN**

La presente guía describe de forma general el procedimiento para la calibración del simulador de lluvia del tipo pulverizador a través del empleo de una grilla de vasos receptores para la elaboración de un esquema de control de la pluviosidad.

**GENERALIDADES**

A través de la determinación de la variación espacial de la intensidad de las precipitaciones simuladas, se construye una malla o grilla con 84 vasos receptores para la elaboración de un esquema de control de la pluviosidad.

**2. Equipo**

Generador eléctrico o una fuente de energía  
 Simulador de lluvia y estructura de soporte  
 Grilla con vasos receptores (pluviómetros) ubicados en toda el área de la estructura del simulador.  
 Pipetas o jeringas para succión  
 Cronómetro  
 Pizarra acrílica  
 Libreta de campo y rotulador

**3. Metodología**

- a. Instalación de simulador de lluvia.
- b. Construcción de malla o grilla de vasos receptores (pluviómetros), ubicados en 7 filas y 8 columnas (84 en total) distribuidos cada uno con distancias de 25 cm.
- c. Encendemos el simulador e iniciamos con la precipitación, en base a los parámetros de presión de salida e ingreso de (8 PSI y 5 PSI) respectivamente con el fin de simular una intensidad de 31 mm/h.
- c. Realizamos la lectura de la lluvia precipitada durante 5 minutos para cada uno de los 84 vasos receptores (pluviómetros).
- d. Finalmente elaboras los esquemas de control de la pluviosidad.

**4. Fórmulas**

**Cálculo de la precipitación, despreciando la evapotranspiración:**

$$\text{Precipitación captada en el pluviometro } \left(\frac{mm}{h}\right) = \text{Volumen recepcionado } \left(\frac{mm}{h}\right)$$

**Nota:**  
Se conoce que un litro por metro cuadrado (1 l/m<sup>2</sup>), equivale a un milímetro por hora de lluvia precipitada (1 mm/h)

Hora de inicio de ensayo:		(a.m) (p.m)
Número de ensayo:		
Largo de área a estudiar:		(m)
Ancho de área a estudiar:		(m)
Pendiente de parcela:	0.00	(%)

**DATOS RECOLECTADOS DE CAMPO**

Denominación de vasos receptores (pluviómetros)											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84

Volumen de vasos receptores (pluviómetros) [ml]											

**Fin de ensayo:**  (°,")

**Nota:** El volumen recogido es el volumen recepcionado de la precipitación

<b>ENSAYO:</b>	<b>CALIBRACIÓN- ESQUEMA DE CONTROL DE LA PLUVIOSIDAD</b>
<b>ADAPTADO DE:</b>	
Luengas y De La Rosa (2015); "Diseño y construcción de un simulador de lluvia para estudios hidrológicos".	
Sangüesa (2009), "Uso de simulador de lluvia para la estimación de erosión hídrica y parámetros hidrológicos"	

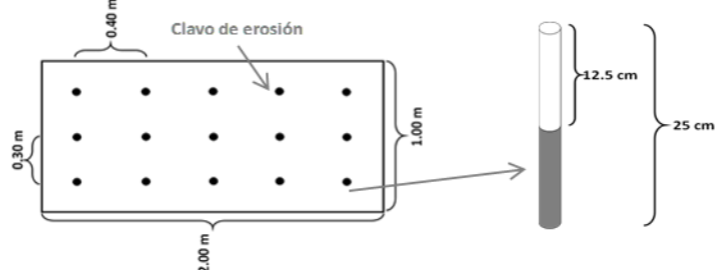
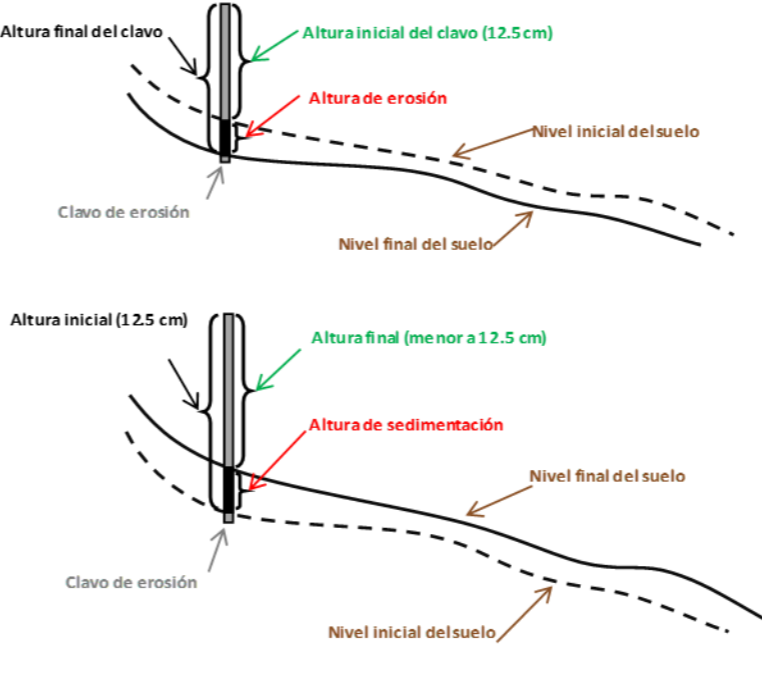


**Figura 21**

*Procedimiento para implementación de guía y protocolo de campo: Precipitación, infiltración y escorrentía.*

<b>DETERMINACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN, INFILTRACIÓN Y ESCORRENTÍA</b>											
<p><b>RESUMEN</b></p> <p>La presente guía describe de forma general el procedimiento para la realización de ensayos con el simulador de lluvia. Basado en lo descrito en investigaciones con modelos similares.</p> <p><b>GENERALIDADES</b></p> <p>La simulación de lluvia es uno de los métodos más empleados tanto en campo como en laboratorio para determinar la escorrentía e infiltración de los suelos, puesto que permite realizar medidas con independencia de la metodología evitando tener que esperar a que se produzcan las precipitaciones de forma natural, ahorra por lo tanto gran cantidad de tiempo. Pero para que las medidas sean fiables, debe obtenerse en consideración los siguientes aspectos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. La lluvia simulada debe reproducir en la mayor medida posible las características de la lluvia real: en tamaño de gota, velocidad de caída e intensidad. El mecanismo generador de la lluvia debe ser de tipo boquilla de riego o de tipo goteador.</li> <li>2. Los parámetros deben ser idénticos, si lo deseamos simulación tras simulación, de esta forma la variación de los resultados no podrá ser imputable a la lluvia, sino a la variación de otros factores diferentes, como puede ser el tipo de suelo, la pendiente del terreno o la cobertura vegetal.</li> </ol> <p><b>1. Material</b></p> <p>Parcela de terreno</p> <p><b>2. Equipo</b></p> <p>Generador eléctrico Simulador de lluvia y estructura de soporte Estructura para delimitación de parcela Vaso de precipitado y cubetas Cronómetro Pizarra acrílica Libreta de campo y rotulador</p> <p><b>3. Metodología</b></p> <p><b>a. Instalación de simulador de lluvia y delimitación de parcela:</b> permitiendo controlar durante la experiencia, la cantidad de lluvia precipitada.</p>	<p><b>b. Encendemos el generador y ponemos en marcha el simulador:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* A partir de este momento se debe estar atento al inicio del encharcamiento que se producirá mas o menos pronto en función de la humedad previa del suelo también dependerá de la textura y de la intensidad de la precipitación pluvial, la cobertura del terreno y el tipo de manejo.</li> <li>* Anotamos el momento de encharcamiento en el suelo el cual se reconoce fácilmente por el aspecto brillante del suelo, el cual debemos anotando el momento exacto de su aparición.</li> <li>* La cantidad de agua irá acumulándose entonces sobre la superficie del suelo, llegando un momento en el que empezará a discurrir en dirección de la pendiente, hasta alcanzar el punto de salida de la parcela.</li> <li>* Deberemos anotar también el instante del inicio de la escorrentía superficial, empezando a recoger el agua en el recipiente dispuesto en el fondo, seguidamente iremos controlando la evolución de la escorrentía, anotando los volúmenes de agua recogida, en función de tiempos de intervalo regulares.</li> <li>* Una vez comprobado, que la tasa de escorrentía permanece constante, cerraremos la llave de paso del agua, anotando este momento y el instante en el que cesa por completo la circulación del agua superficial.</li> <li>* Por último, se debe anotar la cantidad de agua recogida en cada uno de los pluviómetros, lo que nos servirá para determinar la intensidad y la uniformidad de la precipitación.</li> </ul> <p><b>4. Fórmulas</b></p> <p><b>Cálculo de la precipitación, despreciando la evapotranspiración:</b></p> $\text{Precipitación} \left( \frac{mm}{h} \right) = \text{Infiltración} \left( \frac{mm}{h} \right) + \text{Escorrentía} \left( \frac{mm}{h} \right)$ $\text{Precipitación: } P_m (mm) = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{n}$										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; background-color: #ffff00; text-align: center;"><b>ENSAYO:</b></td> <td style="text-align: center;"><b>EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE LA EROSIÓN HÍDRICA SUPERFICIAL - CLAVOS DE EROSIÓN</b></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="background-color: #ffff00;"><b>ADAPTADO DE:</b></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Universidad Politécnica de Valencia (UPV, 2016); "Cómo utilizar un simulador de lluvia"</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Luengas y De La Rosa (2015); "Diseño y construcción de un simulador de lluvia para estudios hidrológicos".</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Estación Experimental de Zonas Áridas EEZA (2018); "Simuladores de lluvia y su uso con tecno suelos"</td> </tr> </table>		<b>ENSAYO:</b>	<b>EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE LA EROSIÓN HÍDRICA SUPERFICIAL - CLAVOS DE EROSIÓN</b>	<b>ADAPTADO DE:</b>		Universidad Politécnica de Valencia (UPV, 2016); "Cómo utilizar un simulador de lluvia"		Luengas y De La Rosa (2015); "Diseño y construcción de un simulador de lluvia para estudios hidrológicos".		Estación Experimental de Zonas Áridas EEZA (2018); "Simuladores de lluvia y su uso con tecno suelos"	
<b>ENSAYO:</b>	<b>EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE LA EROSIÓN HÍDRICA SUPERFICIAL - CLAVOS DE EROSIÓN</b>										
<b>ADAPTADO DE:</b>											
Universidad Politécnica de Valencia (UPV, 2016); "Cómo utilizar un simulador de lluvia"											
Luengas y De La Rosa (2015); "Diseño y construcción de un simulador de lluvia para estudios hidrológicos".											
Estación Experimental de Zonas Áridas EEZA (2018); "Simuladores de lluvia y su uso con tecno suelos"											

**Figura 22**  
*Procedimiento para implementación de guía y protocolo de campo: Erosión hídrica superficial.*

<p align="center"><b>DETERMINACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA SUPERFICIAL - METODOLOGÍA DE LOS CLAVOS DE EROSIÓN</b></p> <p><b>RESUMEN</b> La presente guía describe de forma general el procedimiento para la realización de ensayos en las parcelas de erosión. Basado en lo descrito en investigaciones con ensayos similares.</p> <p><b>GENERALIDADES</b> La metodología de los clavos de erosión es un método experimental sencillo, directo, de gran precisión y principalmente de bajo costo, en los cuales la estimación de pérdida del suelo se realiza totalmente en terreno.</p> <p><b>1. Materiales</b> Clavos de erosión marcados y/o pintados, con el fin de indicar el nivel inicial del suelo (h=25cm). Regla metálica</p> <p><b>2. Metodología</b></p> <p><b>2.1. Trabajo de campo:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Identificación de los lugares para ubicación de parcelas.</li> <li>* Definición de características de la parcela: dimensiones, pendiente, cobertura.</li> <li>* Extracción de muestras de suelo para cálculo de la densidad aparente del suelo.</li> <li>* Medición de los clavos de erosión al término de la simulación, lo ideal es usar tiempos prolongados para la medición: días, semanas e incluso hasta seis meses; esto con el fin de analizar la erosión o sedimentación de cada clavo.</li> </ul> <p><b>2.2. Trabajo de Gabinete</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Procesamiento y análisis de la información (análisis estadístico), para la determinación cuantitativa de la erosión hídrica superficial.</li> </ul> <p><b>2.3. Trabajo de laboratorio:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Determinación de la densidad aparente del suelo, de todas las muestras extraídas.</li> </ul> <p><b>3. Características en la investigación</b></p> <p><b>3.1. Características de la parcela:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Para la presente investigación las dimensiones de las parcelas son de 2 m de largo y 1 m de ancho (figura 1), los clavos se distribuyen a distancias de 30 cm en el ancho de la parcela y 40cm en el largo de la parcela.</li> <li>* Cada parcela se instala de forma aleatoria, en el lugar identificado previamente.</li> </ul> <p><b>3.2. Características de la toma de mediciones</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Se toman medidas al costado de cada clavo, obteniendo una medida de suelo perdido o sedimentado según el caso (figura 2).</li> <li>* Cada clavo se identifica, a través de un sistema de coordenadas, que permite observar la conducta del suelo en cada punto de control a través del tiempo.</li> </ul>	<p><b>Figura 1: Parcela de erosión</b></p>  <p><b>Figura 2: Medición en los clavos de erosión</b></p> 	<p><b>ENSAYO:</b> EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE LA EROSIÓN HÍDRICA SUPERFICIAL - CLAVOS DE EROSIÓN</p> <p><b>ADAPTADO DE:</b></p> <p>Cuitiño (1999), "Evaluación cuantitativa de la erosión hídrica superficial en suelos desnudos de la precordillera andina y valle central de la VII Región".</p> <p>Flores et. al (2005), "Elementos de ingeniería hidrológica para el mejoramiento de la productividad silvícola".</p> <p>Universidad Politécnica de Valencia (UPV, 2016); "Cómo utilizar un simulador de lluvia"</p> <p>Sangüesa (2009), "Uso de simulador de lluvia para la estimación de erosión hídrica y parámetros hidrológicos"</p>
<p><b>4. Procesamiento de datos:</b></p> <p>Para cuantificar el suelo erosionado o sedimentado en toneladas/hectárea, se procede a calcular el promedio de las mediciones realizadas en los clavos de erosión en milímetros (mm), este resultado se multiplica por la densidad aparente (ton/m<sup>3</sup>) y por 10.</p> <p>Siendo la siguiente fórmula:</p> $X \left( \frac{\text{ton}}{\text{ha}} \right) = Y \times D_a \times 10$ <p><b>Donde:</b>  X: Suelo erosionado o sedimentado (ton/ha)  Y: Altura media de suelo erosionado o sedimentado (mm)  Da: Densidad aparente del suelo (ton/ha)</p> <p>Por otra parte, la erosión neta se calcula a través de la diferencia entre la erosión media del suelo y la sedimentación media.</p> <p>Siendo la siguiente fórmula:</p> $E_{\text{neto}} = E - S$ <p><b>Donde:</b>  E<sub>neto</sub>: Erosión neta media (ton/ha)  E: Erosión normal media (ton/ha)  S: Sedimentación media (ton/ha)</p>		

**Aspectos éticos:** Esta investigación se enfoca en: respetar los derechos de autor de cada uno de los autores referenciados en la presente investigación empleando apropiadamente las normas APA Séptima edición; la investigación busca cuantificar la infiltración, escorrentía y erosión hídrica superficial del suelo a través de la simulación de lluvia con el fin de mostrar las múltiples ventajas dentro del área de la hidrología, agronomía e ingeniería en general; indagando sobre este tema y estableciendo un enfoque moderno en la metodología en campo.

**Justificación:** Debido a la alteración de los agentes climáticos a causa de la contaminación ambiental, y el efecto de estos en los múltiples ecosistemas, la investigación toma como punto central el efecto de la erosión en los suelos a causa de las lluvias, las cuales al tener un comportamiento de infiltración y escorrentía variante en las superficies ayudan desde una pequeña a gran escala a la generación de la erosión hídrica superficial; en este sentido se plantea como un importante tema de investigación el uso de los simuladores de lluvia para el análisis de estos efectos, bajo diferentes premisas. Primero: el simulador de lluvia del tipo pulverizador presenta las características más idóneas para el desarrollo del estudio en campo a través de múltiples ensayos de precipitación. Segundo: al emplear un simulador de lluvia se puede cuantificar la intensidad de infiltración y el volumen de escorrentía de cada precipitación simulada. Tercero: es factible determinar la afectación existente en los suelos erosionados a través del estudio de la erosión hídrica superficial generada durante la precipitación. Finalmente: es necesario complementar los estudios hidrológicos (infiltración, escorrentía y erosión hídrica superficial) con la clasificación de los suelos de los lugares de muestreo a través de ensayos de granulometría, para establecer una relación entre el tipo de suelo y el fenómeno en estudio.

### **CAPÍTULO III: RESULTADOS**

#### **SELECCIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULADOR DE LLUVIA, ATENDIENDO CRITERIOS DE CONTROL DE LA PLUVIOSIDAD**

Para el desarrollo de la presente investigación, se ha seleccionado de los modelos de simuladores empleados en otras investigaciones, el modelo del tipo pulverizador.

Los simuladores de tipo pulverizador tienen una similitud directa con el efecto de la lluvia en los suelos. Logrando así una simulación objetiva del efecto de la precipitación, la escorrentía e infiltración, para con ello determinar la erosión hídrica superficial.

El modelo diseñado y construido ha sido denominado: “Simulador de Lluvia-SRS 22”, este se caracteriza por poseer una altura de caída para precipitaciones de 2.00 metros, una estructura metálica portable y de fácil instalación.

El área de cobertura del **Simulador de Lluvia- SRS 22** oscila los 4.80 m<sup>2</sup>, con lados de 1.60 m y 3.00 m.

A través de una calibración y un esquema del control de la pluviosidad, se determinó que el área adecuada para las parcelas en estudio es de 2.00m<sup>2</sup>.

#### **Piezas y equipos:**

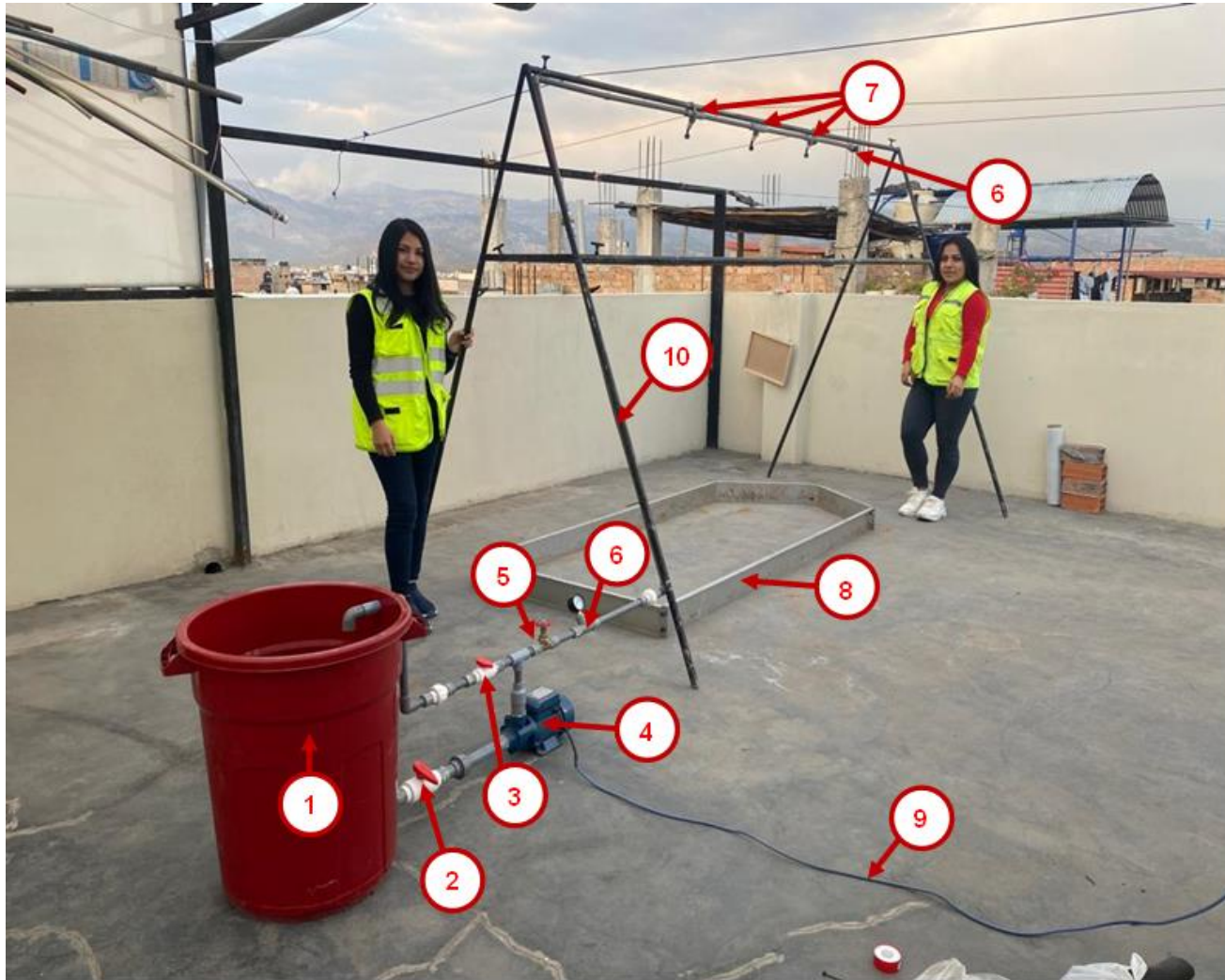
Las piezas y equipos que componen el Simulador de Lluvia SRS-22, se indican en la figura 14, que se presenta a continuación

#### **Sistemas que lo componen:**

Los sistemas que componen al simulador son: tubería PVC (sistema de distribución hídrica), tanque de plástico (sistema de almacenamiento hídrico), aspersores (sistema de aspersión), generador eléctrico (sistema de abastecimiento de energía), bomba (sistema de bombeo), y manómetros (sistema de control de presiones).

**Figura 23**

*Simulador montado: componentes*



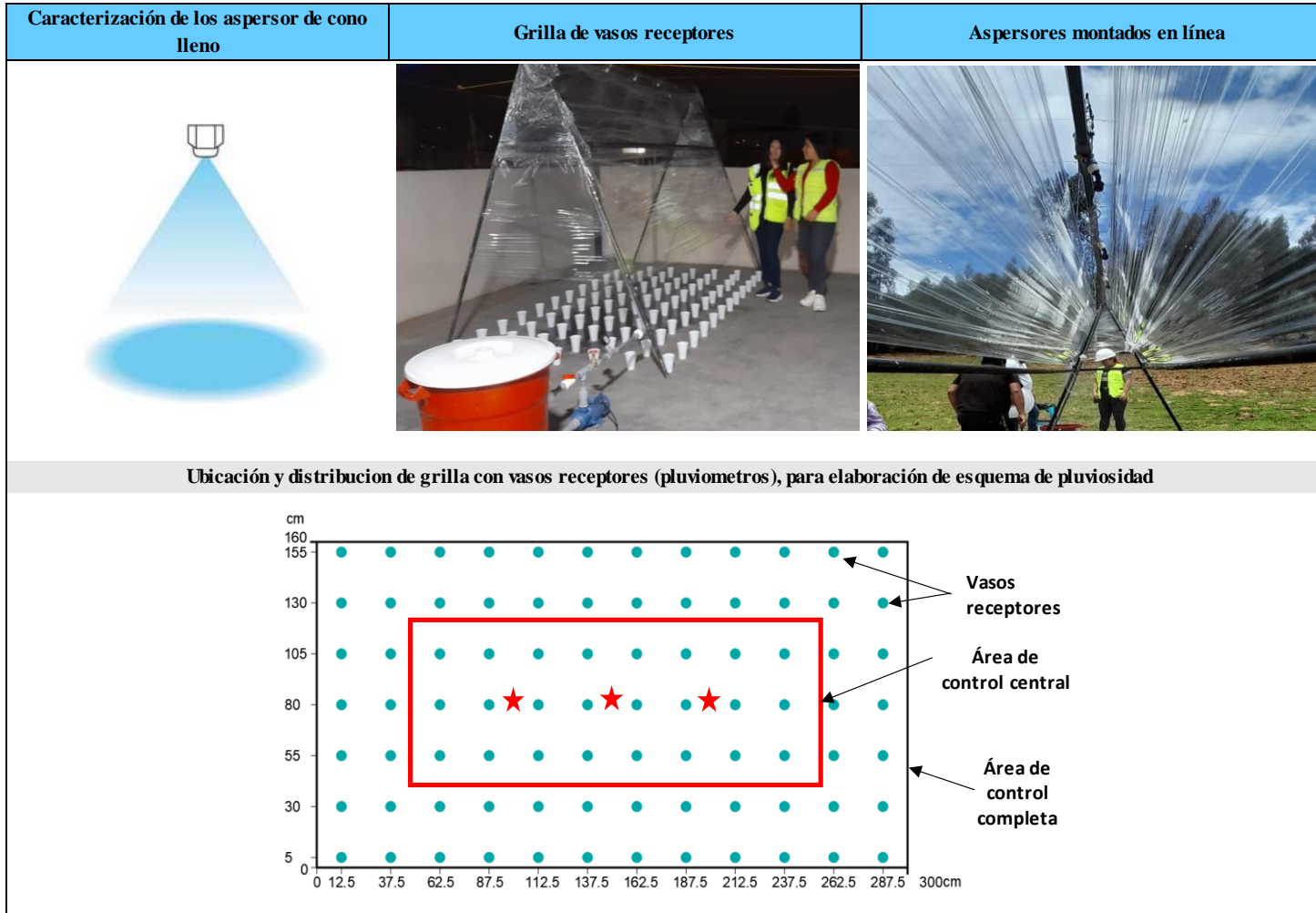
**MODELO DEL SIMULADOR  
DE LLUVIA SRS-22**

1. Tacho para almacenaje de agua de 90 litros
2. Válvula de bola de 1"
3. Válvula de bola de ½"
4. Bomba eléctrica 0.5 HP
5. Válvula compuerta de ½"
6. Manómetros
7. Boquillas de aspersión
8. Estructura metálica para delimitación de parcelas
9. Alimentador para energía eléctrica
10. Estructura metálica de soporte para el simulador.

**a. Características de aspersión del simulador:**

**Figura 24**

*Características de aspersión del simulador: SRS-22*



A través de la determinación de la variación espacial de la intensidad de las precipitaciones simuladas, se construyó una malla o grilla con 84 vasos receptores para la elaboración de un esquema de control de la pluviosidad.

Este proceso se ha determinado como el adecuado para la calibración del simulador de lluvia del tipo pulverizador, en función a las presiones de entrada y salida del mismo y la intensidad de precipitación, generada en una hora. Y a través del empleo de una grilla de vasos receptores para la elaboración de un esquema de control de la pluviosidad, se conoce la variación espacial de la intensidad de la precipitación simulada, en un ensayo de 5 minutos.

**Tabla 11**

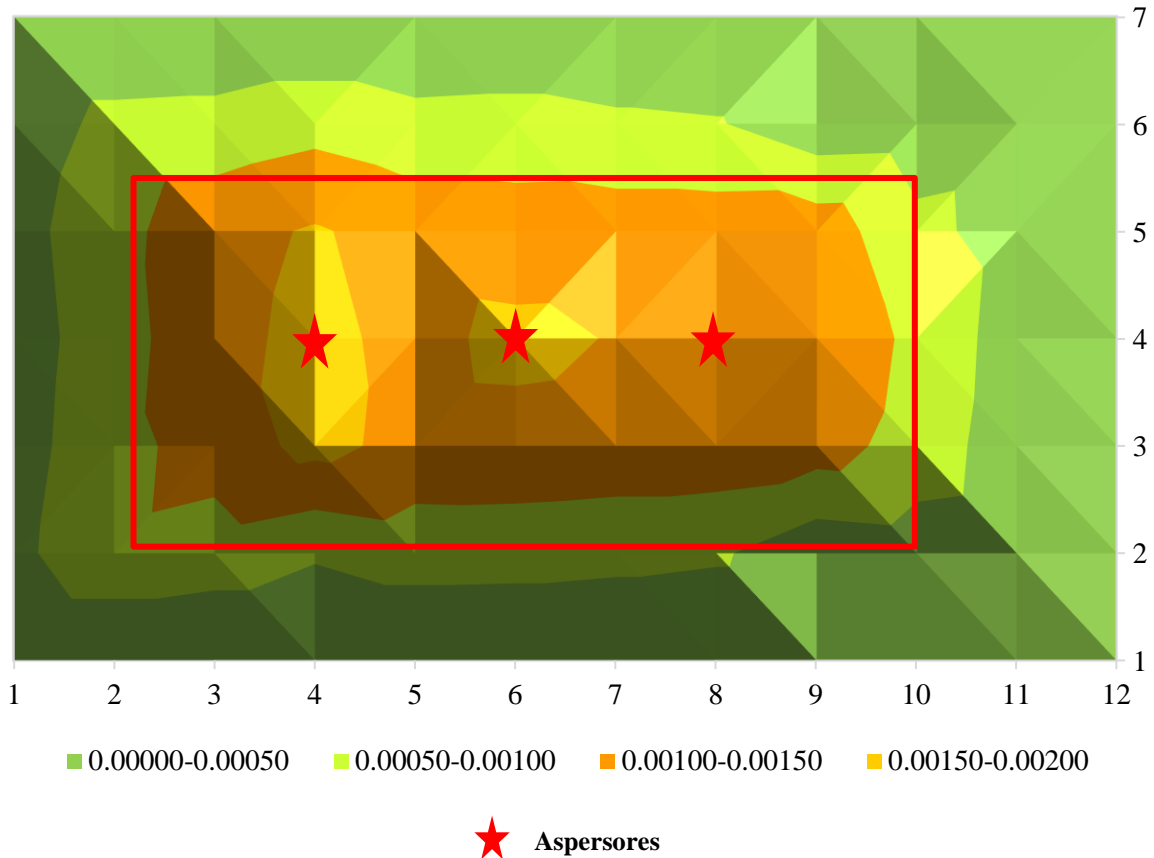
*Intensidad de la precipitación proyectada a la hora en mm/h.*

Intensidad de precipitaciones a la hora (mm/h)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
2	0.00038	0.00087	0.00076	0.00056	0.00071	0.00069	0.00064	0.00057	0.00016	0.00024	0.00017	0.00000
3	0.00030	0.00083	0.00122	0.00165	0.00134	0.00135	0.00132	0.00132	0.00123	0.00078	0.00023	0.00000
4	0.00026	0.00078	0.00137	0.00161	0.00137	0.00161	0.00148	0.00142	0.00146	0.00087	0.00026	0.00000
5	0.00031	0.00083	0.00134	0.00155	0.00130	0.00125	0.00127	0.00127	0.00128	0.00063	0.00031	0.00000
6	0.00021	0.00064	0.00068	0.00083	0.00066	0.00069	0.00059	0.00054	0.00017	0.00021	0.00030	0.00000
7	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

La tabla muestra los volúmenes de precipitación recopilada en los 5 minutos del ensayo, con los valores proyectados a mm/h, para la elaboración del esquema de pluviosidad.

**Figura 25**

*Esquema de pluviosidad: Simulador de Lluvia del Tipo Pulverizador SRS-22.*



El presente gráfico muestra la superficie generada para la determinación de la variación espacial de la intensidad de las precipitaciones simuladas, en base a la malla o grilla con 84 vasos receptores para la elaboración de un esquema de control de la pluviosidad. Considerándose adecuado para el estudio el uso de un área de 1.00 m x 2.00m para producir una precipitación de 31mm/h. El ensayo se ha realizado durante 5 min, con presiones de ingreso de 8 PSI y presión de salida de 5 PSI constantes, logrando graficarse la información en intervalos de: 0.00000 - 0.00050 (mm/h), 0.00050 - 0.00100 (mm/h), 0.00100- 0.00150 (mm/h) y 0.00150- 0.00200 (mm/h).



## CUANTIFICACIÓN DE LA INFILTRACIÓN Y ESCORRENTÍA EN SUELOS EMPLEANDO UN SIMULADOR DE LLUVIA, EN LA QUEBRADA SHAULLO

Para determinar la intensidad de la precipitación, intensidad de la infiltración y el volumen de escorrentía se logró simular precipitaciones en 7 diferentes lugares de la quebrada Shaullo. Los datos recopilados, fueron recopilados en función a la guía y protocolos de campo diseñados.

Los valores obtenidos fueron los mililitros precipitados (volumen de precipitación) y los mililitros recogidos (volumen de escorrentía).

Los valores recopilados se generalizaron en las unidades de milímetros por hora (mm/h), tanto la precipitación, como la infiltración y escorrentía.

Presentándose a continuación los resultados de los ensayos: ensayo 01, ensayo 02, ensayo 03, ensayo 04, ensayo 05, ensayo 06 y ensayo 07.

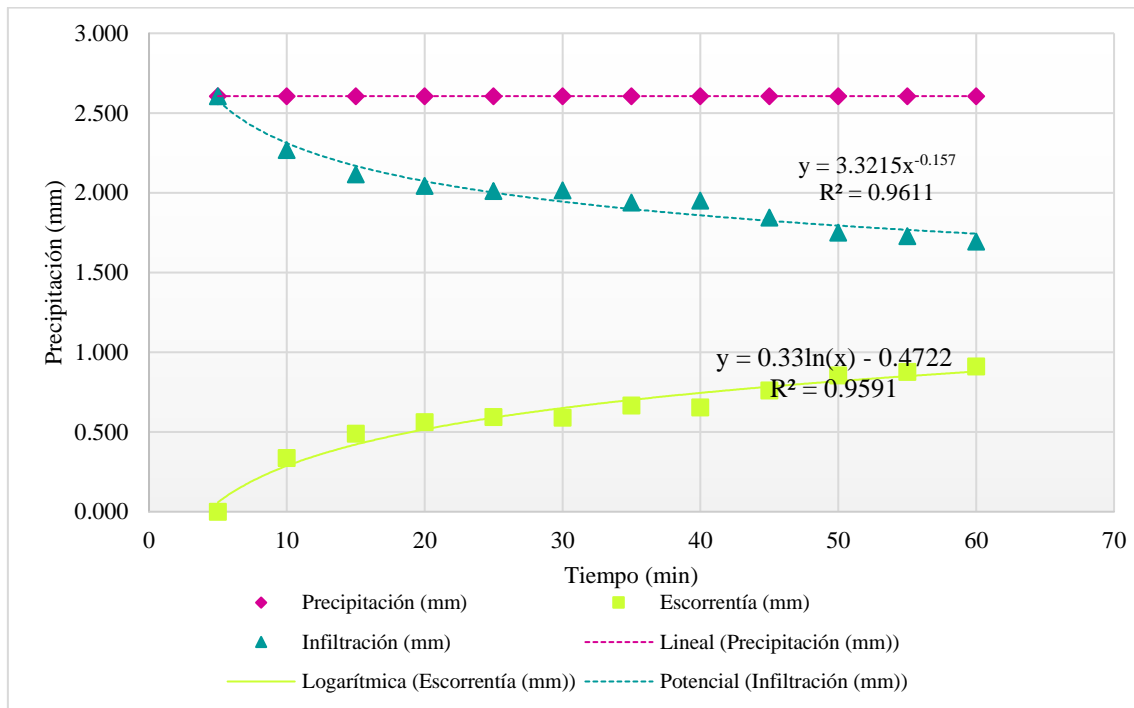
**Tabla 12**

*Desarrollo de la precipitación, escorrentía e infiltración: Ensayo 01*

<b>Tiempo</b>	<b>Lluvia (ml)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>	<b>Escorrentía (mm)</b>	<b>Infiltración (mm)</b>
5	5211.667	2.606	0.000	2.606
10	5211.667	2.606	0.338	2.268
15	5211.667	2.606	0.490	2.116
20	5211.667	2.606	0.563	2.043
25	5211.667	2.606	0.595	2.011
30	5211.667	2.606	0.591	2.015
35	5211.667	2.606	0.668	1.938
40	5211.667	2.606	0.655	1.951
45	5211.667	2.606	0.760	1.846
50	5211.667	2.606	0.855	1.751
55	5211.667	2.606	0.877	1.729
60	5211.667	2.606	0.912	1.694
<b>Volumen:</b>	<b>62540.000</b>			
<b>Intensidad (mm/h):</b>		<b>31.270 (mm/h)</b>	<b>7.302 (mm/h)</b>	<b>23.969 (mm/h)</b>
<b>Intensidad (mm/min):</b>		<b>0.521 (mm/min)</b>	-	-

**Figura 26**

*Precipitación, infiltración y escorrentía: Parcela 01*



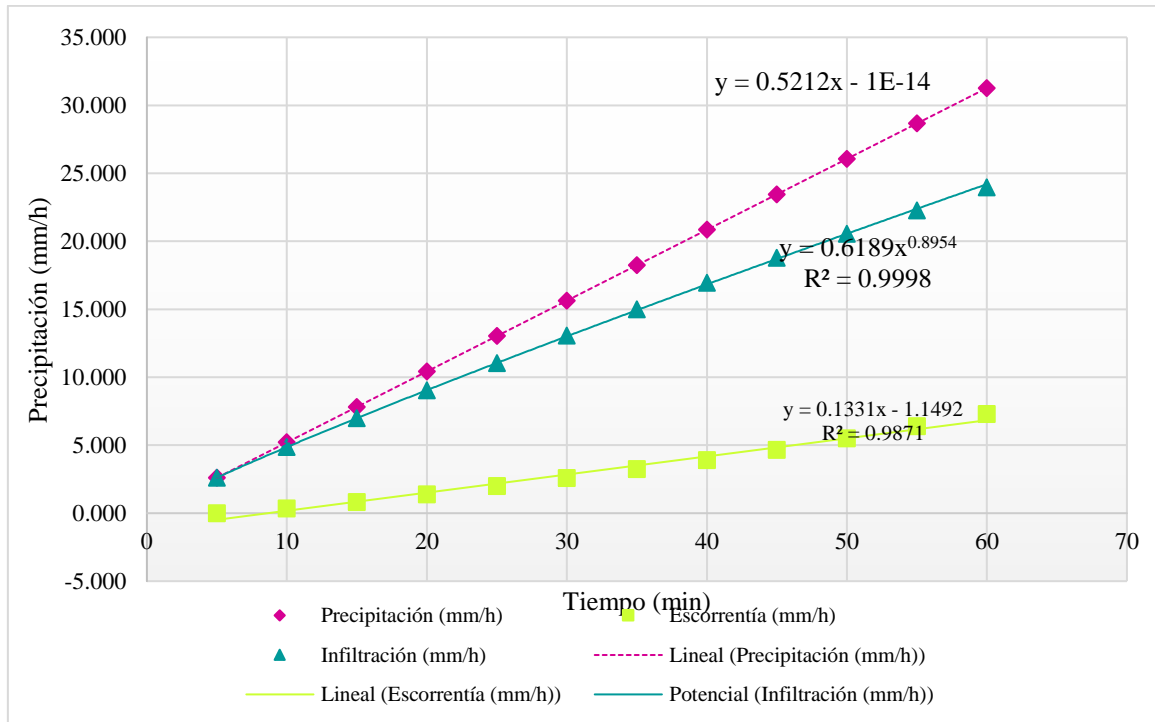
**Tabla 13**

*Intensidades máximas acumuladas: precipitación, escorrentía e infiltración - Ensayo 01*

Tiempo acumulado (min)	Precipitación (mm/h)	Escorrentía (mm/h)	Infiltración (mm/h)
5	2.606	0.000	2.606
10	5.212	0.338	4.874
15	7.818	0.828	6.990
20	10.423	1.390	9.033
25	13.029	1.985	11.044
30	15.635	2.576	13.059
35	18.241	3.244	14.997
40	20.847	3.899	16.948
45	23.453	4.659	18.794
50	26.058	5.514	20.545
55	28.664	6.390	22.274
60	31.270	7.302	23.969
<b>TOTAL</b>	<b>31.270</b>	<b>7.302</b>	<b>23.969</b>

**Figura 27**

*Precipitación acumulada, infiltración acumulada y escorrentía acumulada: Parcela 01*



Se conoce que un litro por metro cuadrado (1 l/m<sup>2</sup>), equivale a un milímetro por hora de lluvia precipitada (1 mm/h); en función a ello se determinó emplear un volumen para el ensayo de 62.54 litros, en un área de parcela de 2.00 m<sup>2</sup>; obteniéndose así una intensidad constante de precipitación de 31.270 mm/h, siendo la intensidad promedio de la precipitación 0.521 mm/min. El tiempo seleccionado para el ensayo fue de una hora. Durante los primeros 25 minutos se logran los mayores volúmenes de infiltración y durante los 35 minutos restantes se estabilizó; el desarrollo de este comportamiento se aprecia en las figuras 26 y 27. El ensayo logra alcanzar las intensidades máximas de infiltración y volumen de escorrentía de 23.969 mm/h y 7.302 mm/h, respectivamente al finalizar el ensayo en la parcela 01.

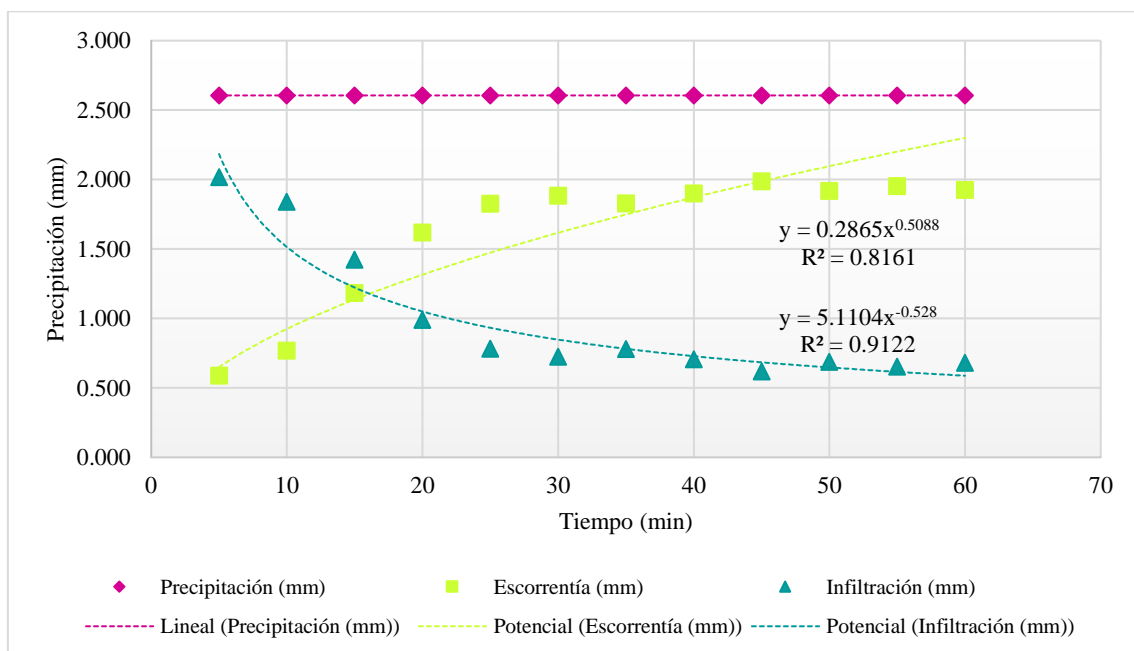
**Tabla 14**

*Desarrollo de la precipitación, escorrentía e infiltración: Ensayo 02*

Tiempo	Lluvia (ml)	Precipitación (mm)	Escorrentía (mm)	Infiltración (mm)
5	5211.667	2.606	0.589	2.017
10	5211.667	2.606	0.767	1.839
15	5211.667	2.606	1.183	1.423
20	5211.667	2.606	1.618	0.988
25	5211.667	2.606	1.825	0.781
30	5211.667	2.606	1.883	0.723
35	5211.667	2.606	1.828	0.778
40	5211.667	2.606	1.900	0.706
45	5211.667	2.606	1.988	0.618
50	5211.667	2.606	1.918	0.688
55	5211.667	2.606	1.953	0.653
60	5211.667	2.606	1.925	0.681
<b>Volumen:</b>	<b>62540.000</b>			
<b>Intensidad (mm/h):</b>		<b>31.270 (mm/h)</b>	<b>19.374 (mm/h)</b>	<b>11.897 (mm/h)</b>
<b>Intensidad (mm/min):</b>		<b>0.521 (mm/min)</b>	-	-

**Figura 28**

*Precipitación, infiltración y escorrentía: Parcela 02*



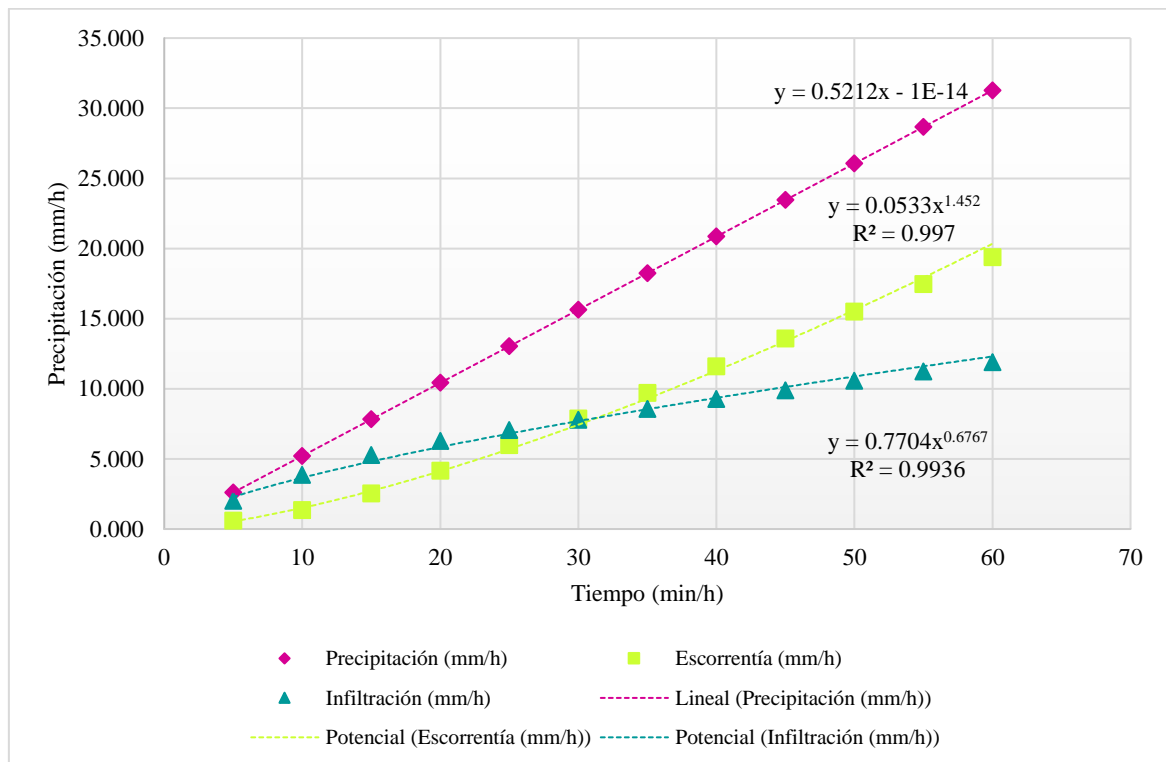
**Tabla 15**

**Intensidades máximas acumuladas: precipitación, escorrentía e infiltración- Ensayo 02**

Tiempo acumulado (min)	Precipitación (mm/h)	Escorrentía (mm/h)	Infiltración (mm/h)
5	2.606	0.589	2.017
10	5.212	1.356	3.856
15	7.818	2.539	5.279
20	10.423	4.156	6.267
25	13.029	5.981	7.048
30	15.635	7.864	7.772
35	18.241	9.691	8.550
40	20.847	11.591	9.256
45	23.453	13.579	9.874
50	26.058	15.496	10.562
55	28.664	17.449	11.216
60	31.270	19.374	11.897
<b>FINAL</b>	<b>31.270</b>	<b>19.374</b>	<b>11.897</b>

**Figura 29**

**Precipitación acumulada, infiltración acumulada y escorrentía acumulada: Parcela 02**



Se conoce que un litro por metro cuadrado (1 l/m<sup>2</sup>), equivale a un milímetro por hora de lluvia precipitada (1 mm/h); en función a ello se determinó emplear un volumen para el ensayo de 62.54 litros, en un área de parcela de 2.00 m<sup>2</sup>; obteniéndose así una intensidad constante de precipitación de 31.270 mm/h, siendo la intensidad promedio de la precipitación 0.521 mm/min. El tiempo seleccionado para el ensayo fue de una hora. Durante los primeros 30 minutos se logran los mayores volúmenes de infiltración y durante los 30 minutos restantes se estabilizó; el desarrollo de este comportamiento se aprecia en las figuras 28 y 29. El ensayo logra alcanzar intensidad máxima de infiltración y volumen de escorrentía de 11.897 mm/h y 19.374 mm/h, respectivamente al finalizar el ensayo en la parcela 02.

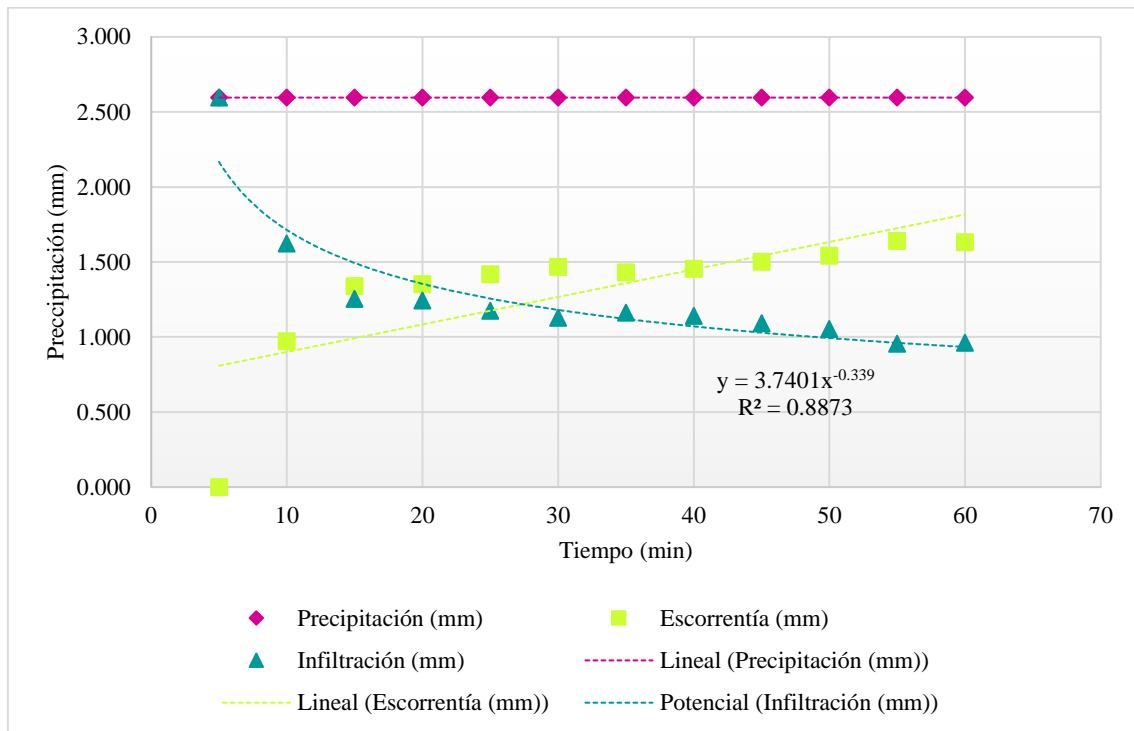
**Tabla 16**

*Desarrollo de la precipitación, escorrentía e infiltración: Ensayo 03*

Tiempo	Lluvia (ml)	Precipitación (mm)	Escorrentía (mm)	Infiltración (mm)
5	5191.667	2.596	0.000	2.596
10	5191.667	2.596	0.973	1.623
15	5191.667	2.596	1.340	1.256
20	5191.667	2.596	1.353	1.243
25	5191.667	2.596	1.420	1.176
30	5191.667	2.596	1.468	1.128
35	5191.667	2.596	1.433	1.163
40	5191.667	2.596	1.455	1.141
45	5191.667	2.596	1.503	1.093
50	5191.667	2.596	1.543	1.053
55	5191.667	2.596	1.640	0.956
60	5191.667	2.596	1.633	0.963
<b>Volumen:</b>	<b>62300.000</b>			
<b>Intensidad (mm/h):</b>		<b>31.150 (mm/h)</b>	<b>15.758 (mm/h)</b>	<b>15.393 (mm/h)</b>
<b>Intensidad (mm/min):</b>		<b>0.519 (mm/min)</b>	-	-

**Figura 30**

*Precipitación, infiltración y escorrentía : Parcela 03*



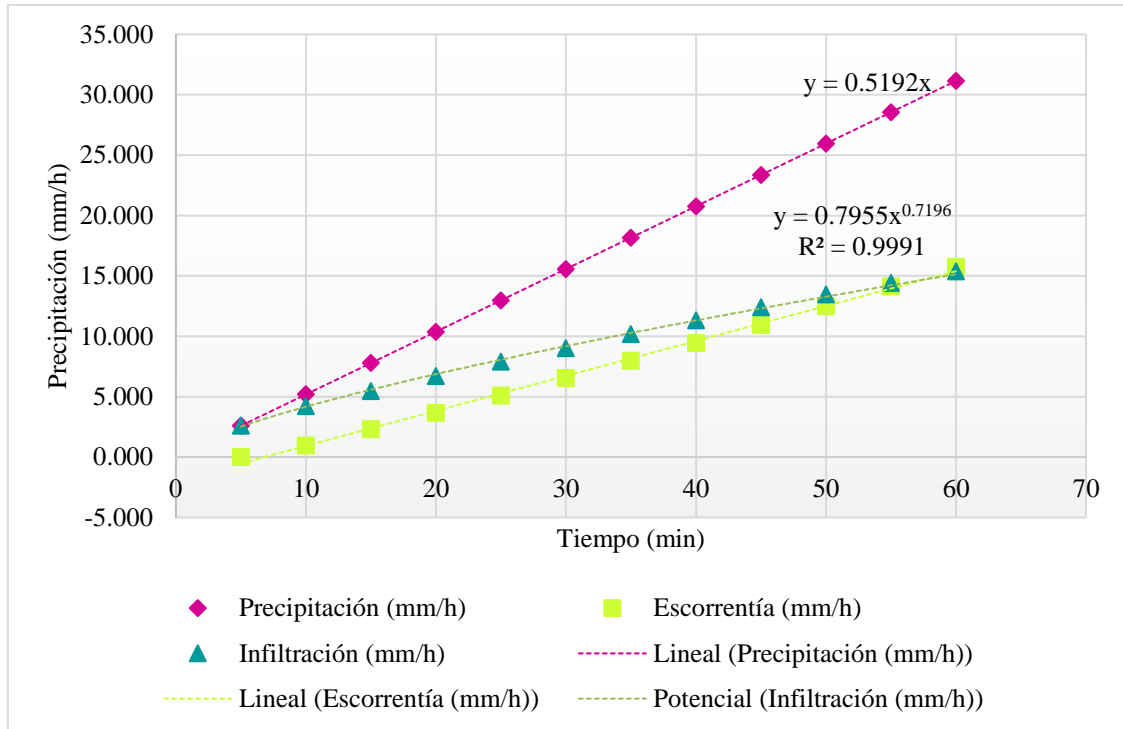
**Tabla 17**

*Intensidades máximas acumuladas: precipitación, escorrentía e infiltración- Ensayo 03*

Tiempo acumulado (min)	Precipitación (mm/h)	Escorrentía (mm/h)	Infiltración (mm/h)
5	2.596	0.000	2.596
10	5.192	0.973	4.219
15	7.788	2.313	5.475
20	10.383	3.665	6.718
25	12.979	5.085	7.894
30	15.575	6.553	9.023
35	18.171	7.985	10.186
40	20.767	9.440	11.327
45	23.363	10.943	12.420
50	25.958	12.485	13.473
55	28.554	14.125	14.429
60	31.150	15.758	15.393
<b>FINAL</b>	<b>31.150</b>	<b>15.758</b>	<b>15.393</b>

**Figura 31**

*Precipitación acumulada, infiltración acumulada y escorrentía acumulada: Parcela 03*



Se conoce que un litro por metro cuadrado ( $1 \text{ l/m}^2$ ), equivale a un milímetro por hora de lluvia precipitada ( $1 \text{ mm/h}$ ); en función a ello se determinó emplear un volumen para el ensayo de 62.30 litros, en un área de parcela de  $2.00 \text{ m}^2$ ; obteniéndose así una intensidad constante de precipitación de  $31.150 \text{ mm/h}$ , siendo la intensidad promedio de la precipitación  $0.519 \text{ mm/min}$ . El tiempo seleccionado para el ensayo fue de una hora. Durante los primeros 20 minutos se logran los mayores volúmenes de infiltración y durante los 40 minutos restantes se estabilizó; el desarrollo de este comportamiento se aprecia en las figuras 30 y 31. El ensayo logra alcanzar intensidad máxima de infiltración y volumen de escorrentía de  $15.393 \text{ mm/h}$  y  $15.758 \text{ mm/h}$ , respectivamente al finalizar el ensayo en la parcela 03.



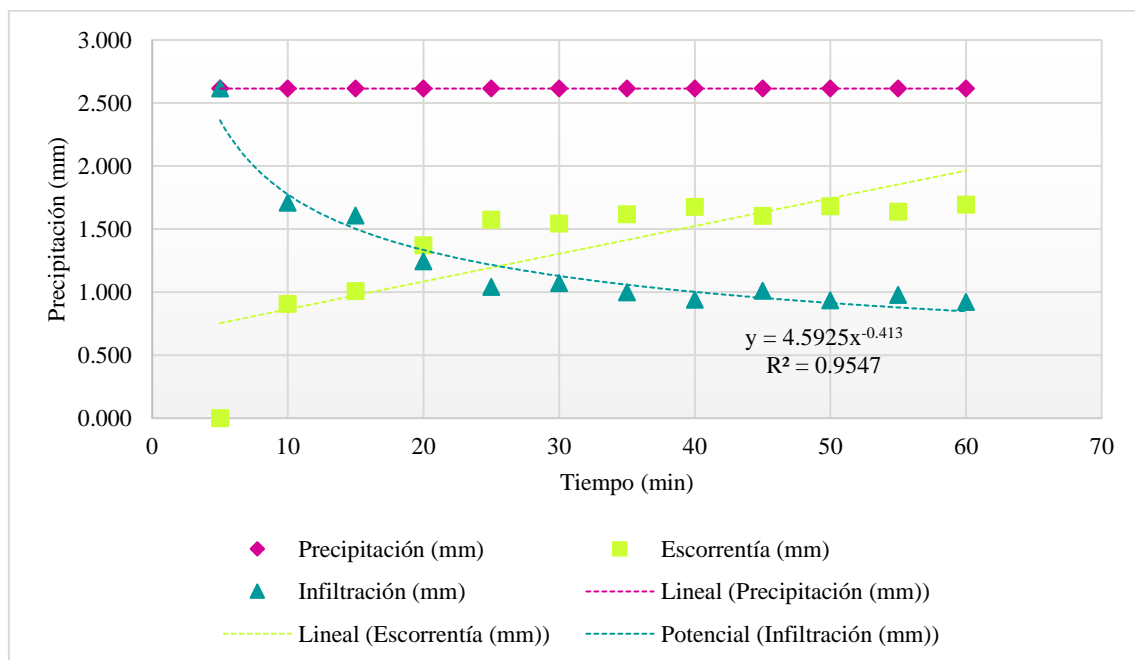
**Tabla 18**

*Desarrollo de la precipitación, escorrentía e infiltración: Ensayo 04*

Tiempo	Lluvia (ml)	Precipitación (mm)	Escorrentía (mm)	Infiltración (mm)
5	5229.167	2.615	0.000	2.615
10	5229.167	2.615	0.905	1.710
15	5229.167	2.615	1.008	1.607
20	5229.167	2.615	1.370	1.245
25	5229.167	2.615	1.575	1.040
30	5229.167	2.615	1.543	1.072
35	5229.167	2.615	1.618	0.997
40	5229.167	2.615	1.675	0.940
45	5229.167	2.615	1.605	1.010
50	5229.167	2.615	1.680	0.935
55	5229.167	2.615	1.638	0.977
60	5229.167	2.615	1.693	0.922
<b>Volumen:</b>	<b>62750.000</b>			
<b>Intensidad (mm/h):</b>		<b>31.375 (mm/h)</b>	<b>16.308 (mm/h)</b>	<b>15.068 (mm/h)</b>
<b>Intensidad (mm/min):</b>		<b>0.523 (mm/min)</b>	-	-

**Figura 32**

*Precipitación, infiltración y escorrentía : Parcela 04*



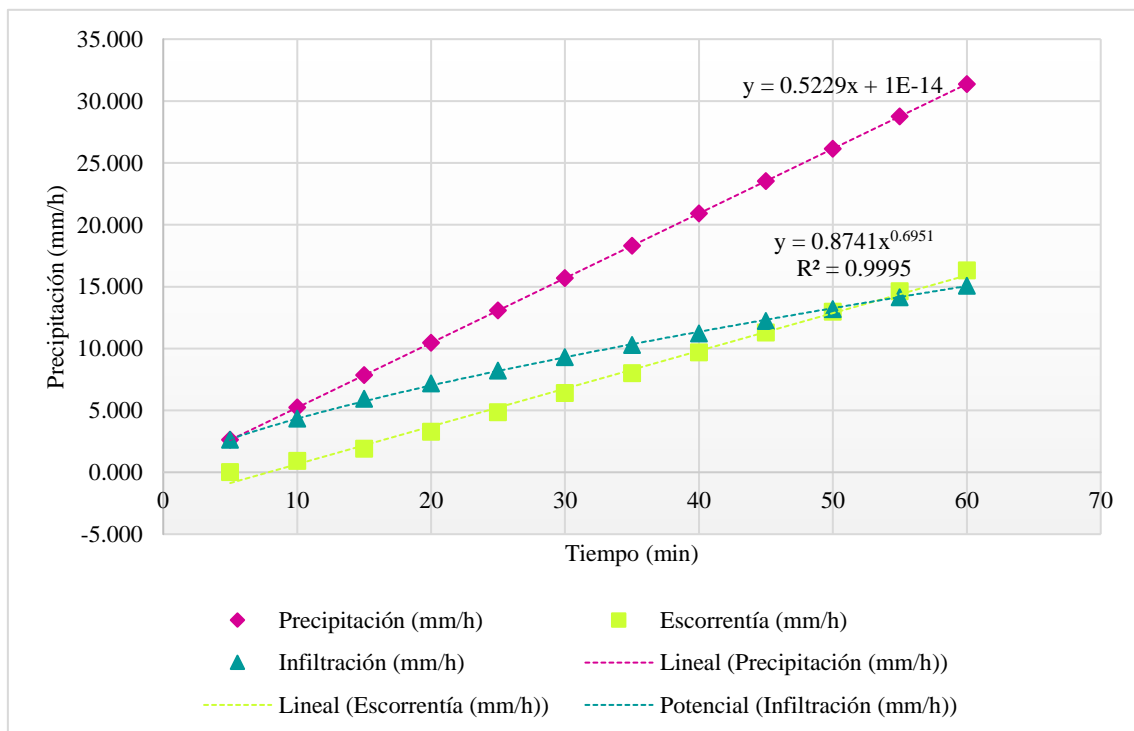
**Tabla 19**

*Intensidades máximas acumuladas: precipitación, escorrentía e infiltración- Ensayo 04*

Tiempo acumulado (min)	Precipitación (mm/h)	Escorrentía (mm/h)	Infiltración (mm/h)
5	2.615	0.000	2.615
10	5.229	0.905	4.324
15	7.844	1.913	5.931
20	10.458	3.283	7.176
25	13.073	4.858	8.215
30	15.688	6.400	9.288
35	18.302	8.018	10.285
40	20.917	9.693	11.224
45	23.531	11.298	12.234
50	26.146	12.978	13.168
55	28.760	14.615	14.145
60	31.375	16.308	15.068
<b>FINAL</b>	<b>31.375</b>	<b>16.308</b>	<b>15.068</b>

**Figura 33**

*Precipitación acumulada, infiltración acumulada y escorrentía acumulada: Parcela 04*



Se conoce que un litro por metro cuadrado ( $1 \text{ l/m}^2$ ), equivale a un milímetro por hora de lluvia precipitada ( $1 \text{ mm/h}$ ); en función a ello se determinó emplear un volumen para el ensayo de 62.75 litros, en un área de parcela de  $2.00 \text{ m}^2$ ; obteniéndose así una intensidad constante de precipitación de  $31.375 \text{ mm/h}$ , siendo la intensidad promedio de la precipitación  $0.523 \text{ mm/min}$ . El tiempo seleccionado para el ensayo fue de una hora. Durante los primeros 25 minutos se logran los mayores volúmenes de infiltración y durante los 35 minutos restantes se estabilizó; el desarrollo de este comportamiento se aprecia en las figuras 32 y 33. El ensayo logra alcanzar intensidad máxima de infiltración y volumen de escorrentía de  $15.068 \text{ mm/h}$  y  $16.308 \text{ mm/h}$ , respectivamente al finalizar el ensayo en la parcela 04.

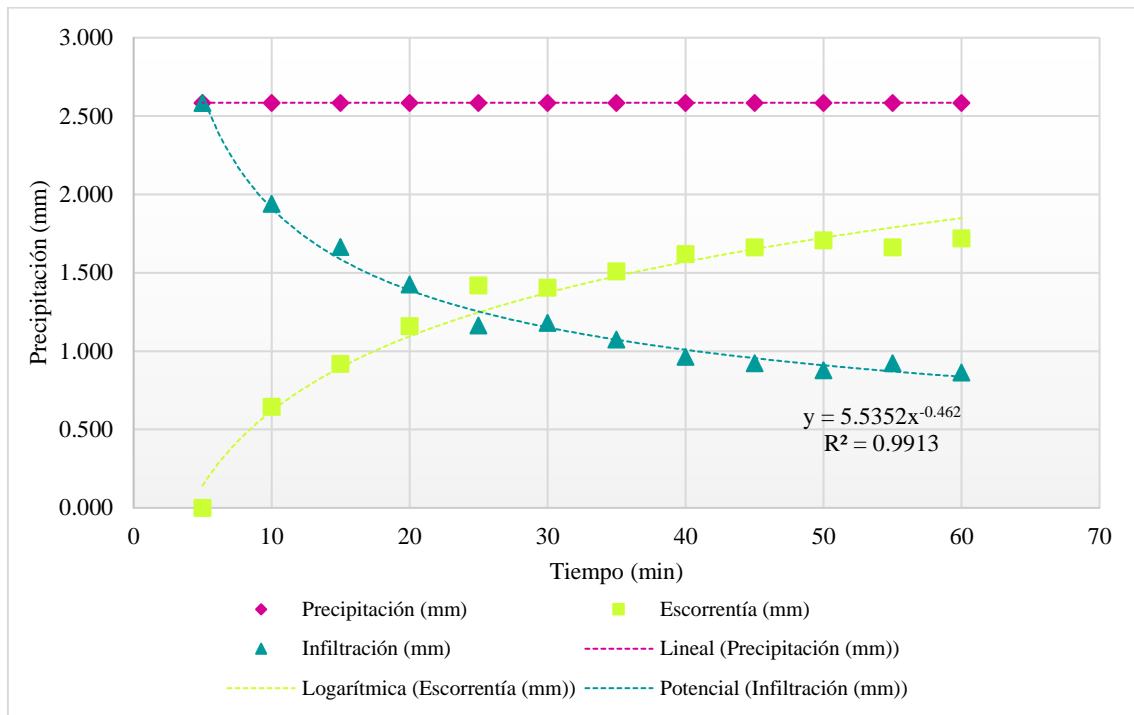
**Tabla 20**

*Desarrollo de la precipitación, escorrentía e infiltración: Ensayo 05*

Tiempo	Lluvia (ml)	Precipitación (mm)	Escorrentía (mm)	Infiltración (mm)
5	5170.000	2.585	0.000	2.585
10	5170.000	2.585	0.645	1.940
15	5170.000	2.585	0.920	1.665
20	5170.000	2.585	1.160	1.425
25	5170.000	2.585	1.420	1.165
30	5170.000	2.585	1.405	1.180
35	5170.000	2.585	1.510	1.075
40	5170.000	2.585	1.620	0.965
45	5170.000	2.585	1.663	0.923
50	5170.000	2.585	1.708	0.878
55	5170.000	2.585	1.663	0.923
60	5170.000	2.585	1.720	0.865
<b>Volumen:</b>	<b>62040.000</b>			
<b>Intensidad (mm/h):</b>		<b>31.020 (mm/h)</b>	<b>15.433 (mm/h)</b>	<b>15.588 (mm/h)</b>
<b>Intensidad (mm/min):</b>		<b>0.517 (mm/min)</b>	-	-

**Figura 34**

*Precipitación, infiltración y escorrentía: Parcela 05*



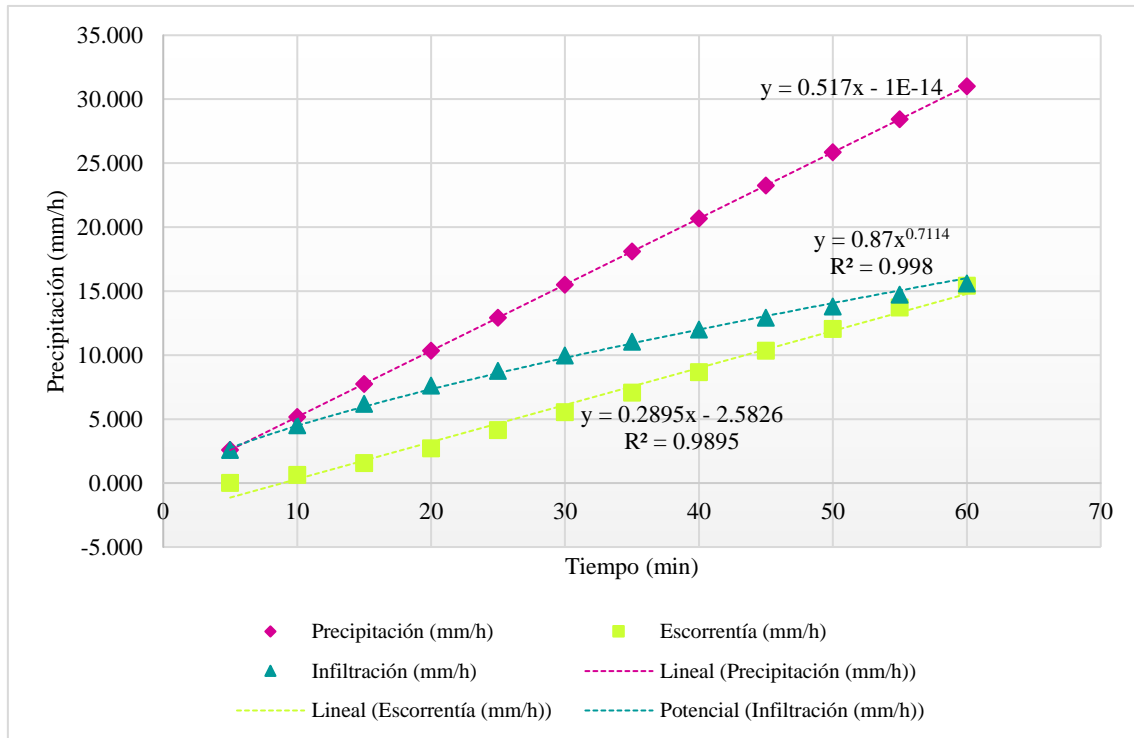
**Tabla 21**

*Intensidades máximas acumuladas: precipitación, escorrentía e infiltración- Ensayo 05*

Tiempo acumulado (min)	Precipitación (mm/h)	Escorrentía (mm/h)	Infiltración (mm/h)
5	2.585	0.000	2.585
10	5.170	0.645	4.525
15	7.755	1.565	6.190
20	10.340	2.725	7.615
25	12.925	4.145	8.780
30	15.510	5.550	9.960
35	18.095	7.060	11.035
40	20.680	8.680	12.000
45	23.265	10.343	12.923
50	25.850	12.050	13.800
55	28.435	13.713	14.723
60	31.020	15.433	15.588
<b>FINAL</b>	<b>31.020</b>	<b>15.433</b>	<b>15.588</b>

**Figura 35**

*Precipitación acumulada, infiltración acumulada y escorrentía acumulada: Parcela 05*



Se conoce que un litro por metro cuadrado ( $1 \text{ l/m}^2$ ), equivale a un milímetro por hora de lluvia precipitada ( $1 \text{ mm/h}$ ); en función a ello se determinó emplear un volumen para el ensayo de 62.04 litros, en un área de parcela de  $2.00 \text{ m}^2$ ; obteniéndose así una intensidad constante de precipitación de  $31.020 \text{ mm/h}$ , siendo la intensidad promedio de la precipitación  $0.517 \text{ mm/min}$ . El tiempo seleccionado para el ensayo fue de una hora. Durante los primeros 25 minutos se logran los mayores volúmenes de infiltración y durante los 35 minutos restantes se estabilizó; el desarrollo de este comportamiento se aprecia en las figuras 34 y 35. El ensayo logra alcanzar intensidad máxima de infiltración y volumen de escorrentía de  $15.588 \text{ mm/h}$  y  $15.433 \text{ mm/h}$ , respectivamente al finalizar el ensayo en la parcela 05.

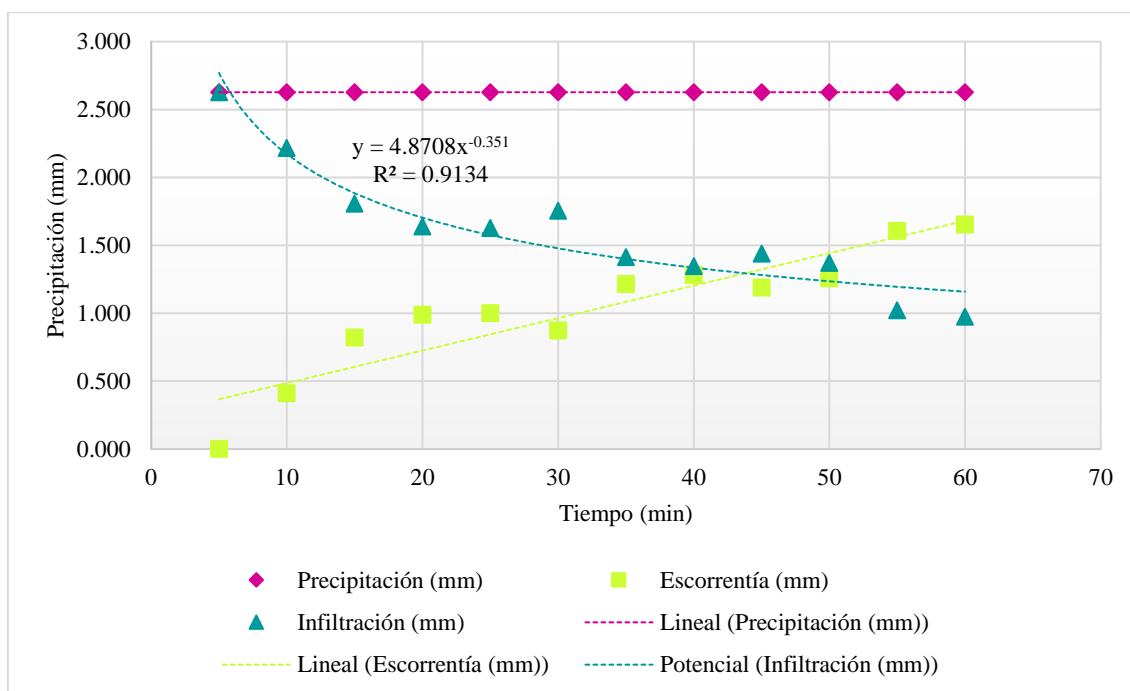
**Tabla 22**

*Desarrollo de la precipitación, escorrentía e infiltración: Ensayo 06*

Tiempo	Lluvia (ml)	Precipitación (mm)	Escorrentía (mm)	Infiltración (mm)
5	5254.167	2.627	0.000	2.627
10	5254.167	2.627	0.410	2.217
15	5254.167	2.627	0.820	1.807
20	5254.167	2.627	0.988	1.640
25	5254.167	2.627	1.000	1.627
30	5254.167	2.627	0.873	1.755
35	5254.167	2.627	1.215	1.412
40	5254.167	2.627	1.280	1.347
45	5254.167	2.627	1.188	1.440
50	5254.167	2.627	1.258	1.370
55	5254.167	2.627	1.605	1.022
60	5254.167	2.627	1.653	0.975
<b>Volumen:</b>	<b>63050.000</b>			
<b>Intensidad (mm/h):</b>		<b>31.525 (mm/h)</b>	<b>12.288 (mm/h)</b>	<b>19.238 (mm/h)</b>
<b>Intensidad (mm/min):</b>		<b>0.525 (mm/min)</b>	-	-

**Figura 36**

*Precipitación, infiltración y escorrentía : Parcela 06*



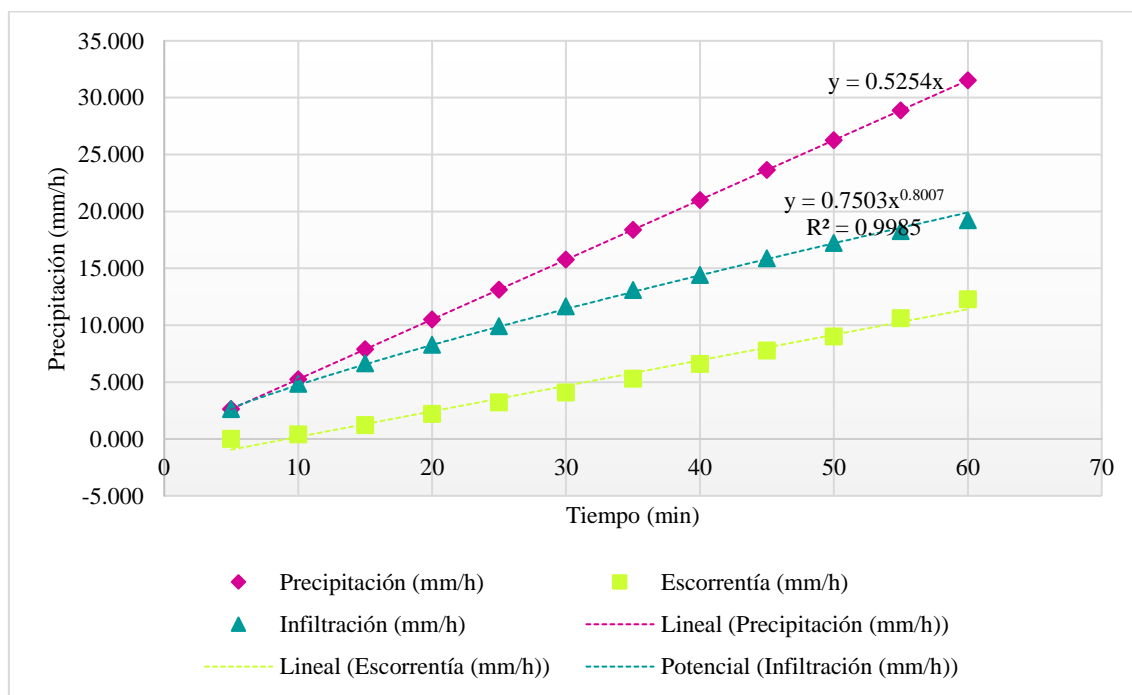
**Tabla 23**

*Intensidades máximas acumuladas: precipitación, escorrentía e infiltración- Ensayo 06*

Tiempo acumulado (min)	Precipitación (mm/h)	Escorrentía (mm/h)	Infiltración (mm/h)
5	2.627	0.000	2.627
10	5.254	0.410	4.844
15	7.881	1.230	6.651
20	10.508	2.218	8.291
25	13.135	3.218	9.918
30	15.763	4.090	11.673
35	18.390	5.305	13.085
40	21.017	6.585	14.432
45	23.644	7.773	15.871
50	26.271	9.030	17.241
55	28.898	10.635	18.263
60	31.525	12.288	19.238
<b>FINAL</b>	<b>31.525</b>	<b>12.288</b>	<b>19.238</b>

**Figura 37**

*Precipitación acumulada, infiltración acumulada y escorrentía acumulada: Parcela 06*



Se conoce que un litro por metro cuadrado ( $1 \text{ l/m}^2$ ), equivale a un milímetro por hora de lluvia precipitada ( $1 \text{ mm/h}$ ); en función a ello se determinó emplear un volumen para el ensayo de 63.05 litros, en un área de parcela de  $2.00 \text{ m}^2$ ; obteniéndose así una intensidad constante de precipitación de  $31.525 \text{ mm/h}$ , siendo la intensidad promedio de la precipitación  $0.525 \text{ mm/min}$ . El tiempo seleccionado para el ensayo fue de una hora. Durante los primeros 35 minutos se logran los mayores volúmenes de infiltración y durante los 25 minutos restantes se estabilizó; el desarrollo de este comportamiento se aprecia en las figuras 36 y 37. El ensayo logra alcanzar intensidad máxima de infiltración y volumen de escorrentía de  $19.238 \text{ mm/h}$  y  $12.288 \text{ mm/h}$ , respectivamente al finalizar el ensayo en la parcela 06.

**Tabla 24**

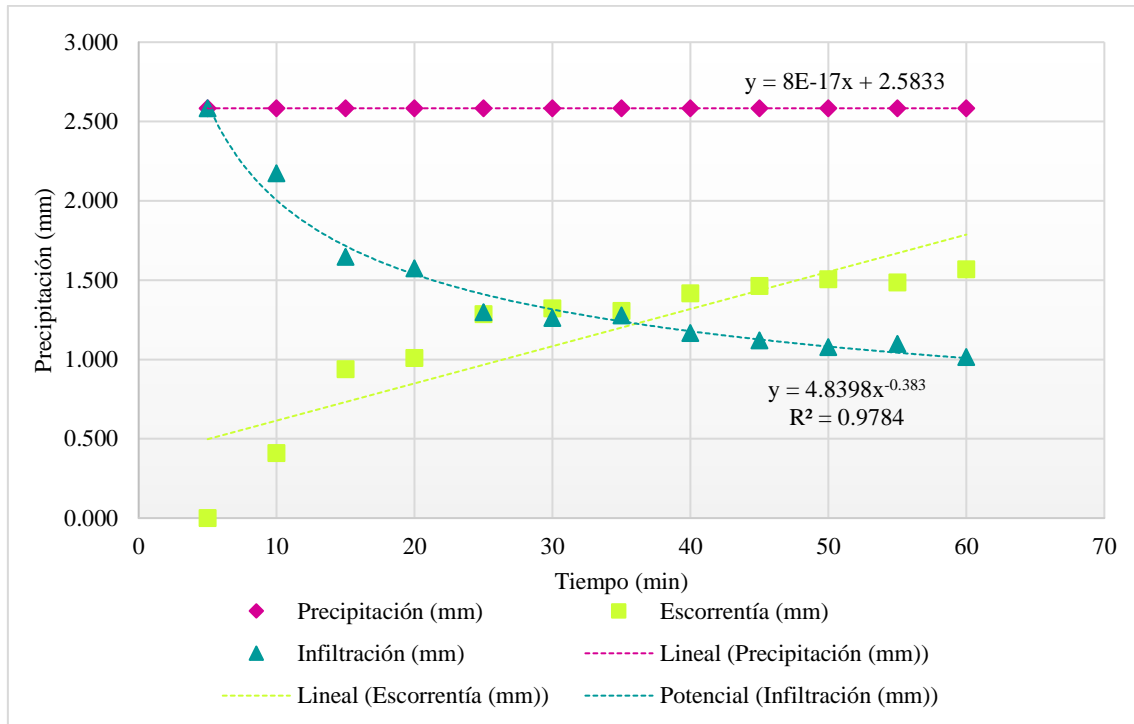
*Desarrollo de la precipitación, escorrentía e infiltración: Ensayo 07*

Tiempo	Lluvia (ml)	Precipitación (mm)	Escorrentía (mm)	Infiltración (mm)
5	5166.667	2.583	0.000	2.583
10	5166.667	2.583	0.410	2.173
15	5166.667	2.583	0.938	1.646
20	5166.667	2.583	1.010	1.573
25	5166.667	2.583	1.285	1.298
30	5166.667	2.583	1.323	1.261
35	5166.667	2.583	1.305	1.278
40	5166.667	2.583	1.416	1.167
45	5166.667	2.583	1.463	1.121
50	5166.667	2.583	1.505	1.078
55	5166.667	2.583	1.485	1.098
60	5166.667	2.583	1.568	1.016
<b>Volumen:</b>	<b>62000.000</b>			
<b>Intensidad (mm/h):</b>		<b>31.000 (mm/h)</b>	<b>13.706 (mm/h)</b>	<b>17.294 (mm/h)</b>
<b>Intensidad (mm/min):</b>		<b>0.517 (mm/min)</b>		



**Figura 38**

*Precipitación, infiltración y escorrentía : Parcela 07*



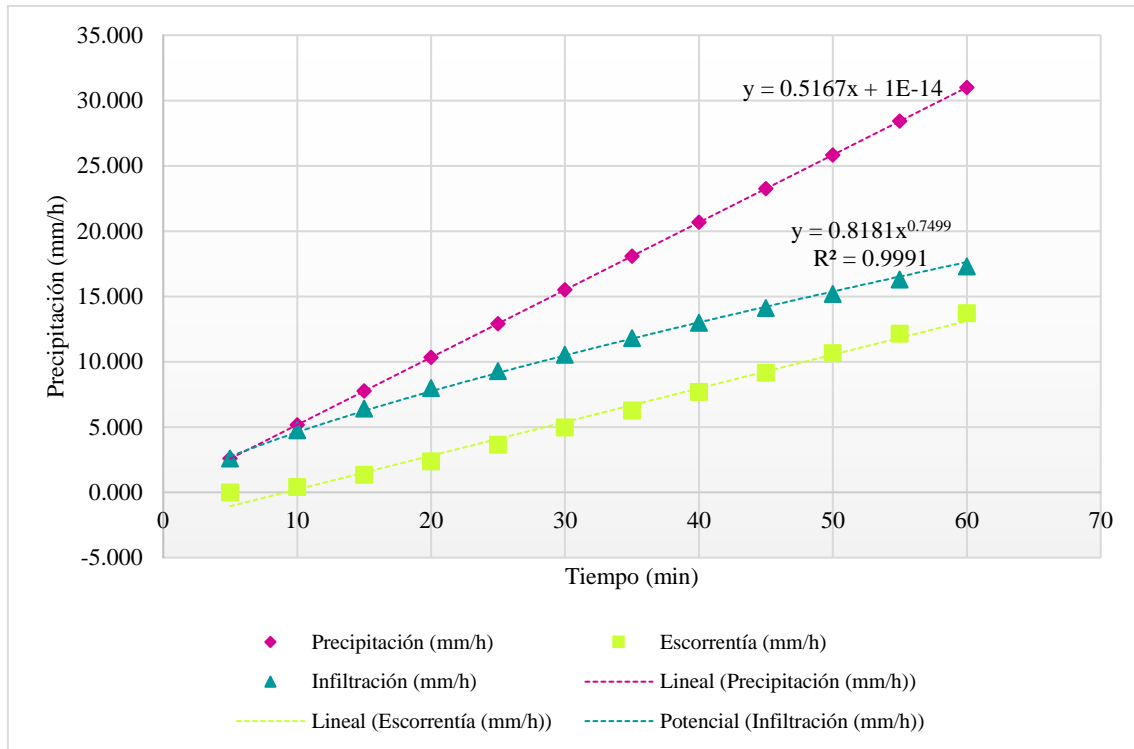
**Tabla 25**

*Intensidades máximas acumuladas: precipitación, escorrentía e infiltración- Ensayo 07*

Tiempo acumulado (min)	Precipitación (mm/h)	Escorrentía (mm/h)	Infiltración (mm/h)
5	2.583	0.000	2.583
10	5.167	0.410	4.757
15	7.750	1.348	6.403
20	10.333	2.358	7.976
25	12.917	3.643	9.274
30	15.500	4.965	10.535
35	18.083	6.270	11.813
40	20.667	7.686	12.981
45	23.250	9.149	14.102
50	25.833	10.654	15.180
55	28.417	12.139	16.278
60	31.000	13.706	17.294
<b>FINAL</b>	<b>31.000</b>	<b>13.706</b>	<b>17.294</b>

**Figura 39**

*Precipitación acumulada, infiltración acumulada y escorrentía acumulada: Parcela 07*



Se conoce que un litro por metro cuadrado ( $1 \text{ l/m}^2$ ), equivale a un milímetro por hora de lluvia precipitada ( $1 \text{ mm/h}$ ); en función a ello se determinó emplear un volumen para el ensayo de 62 litros, en un área de parcela de  $2.00 \text{ m}^2$ ; obteniéndose así una intensidad constante de precipitación de  $31 \text{ mm/h}$ , siendo la intensidad promedio de la precipitación  $0.517 \text{ mm/min}$ . El tiempo seleccionado para el ensayo fue de una hora. Durante los primeros 35 minutos se logran los mayores volúmenes de infiltración y durante los 25 minutos restantes se estabilizó; el desarrollo de este comportamiento se aprecia en las figuras 38 y 39. El ensayo logra alcanzar intensidad máxima de infiltración y volumen de escorrentía de  $17.294 \text{ mm/h}$  y  $13.706 \text{ mm/h}$ , respectivamente al finalizar el ensayo en la parcela 07.

## ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA SUPERFICIAL EMPLEANDO UN SIMULADOR DE LLUVIA, EN LA QUEBRADA SHAULLO

### Clasificación del tipo de suelo

**Clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de suelos):** Realizado los ensayos de límites de Atterberg y análisis granulométrico por lavado se procedió a clasificar mediante el Sistema Unificado De clasificación De Suelos, obteniéndose lo siguiente:

**Tabla 26**

*Clasificación SUCS: Muestras M-1, M-2, M-3, M-4, M-5, M-6 y M-7*

MUESTRA	CLASIFICACIÓN SUCS		
M-1	SP		
M-2	SP		
M-3	SP	ARENA POBREMENTE GRADUADA	Suelo de partículas gruesas.
M-4	SP		Arenas mal graduadas.
M-5	SP		Arenas con grava, pocos finos o sin finos.
M-6	SP		
M-7	SP		

**Clasificación AASHTO (American Association Of State Highway and Transportation Officials):** Realizado los ensayos de límites de Atterberg y análisis granulométrico por lavado se procedió a clasificar mediante el Sistema AASHTO, obteniéndose lo siguiente:

**Tabla 27 Clasificación AASHTO: Muestras M-1, M-2, M-3, M-4, M-5, M-6 y M-7**

MUESTRA	CLASIFICACIÓN AASHTO	AASHTO	MATERIAL	COMO SUBGRADO
M-1	A-2-4 (0)			
M-2	A-2-4 (0)			
M-3	A-2-4 (0)	Grava y arena limosa o arcillosa	GRANULAR	Excelente a bueno
M-4	A-2-4 (0)			
M-5	A-2-4 (0)			
M-6	A-2-4 (0)			
M-7	A-2-4 (0)			

**Parcelas de erosión**

Se establecieron 7 sitios con diferentes pendientes

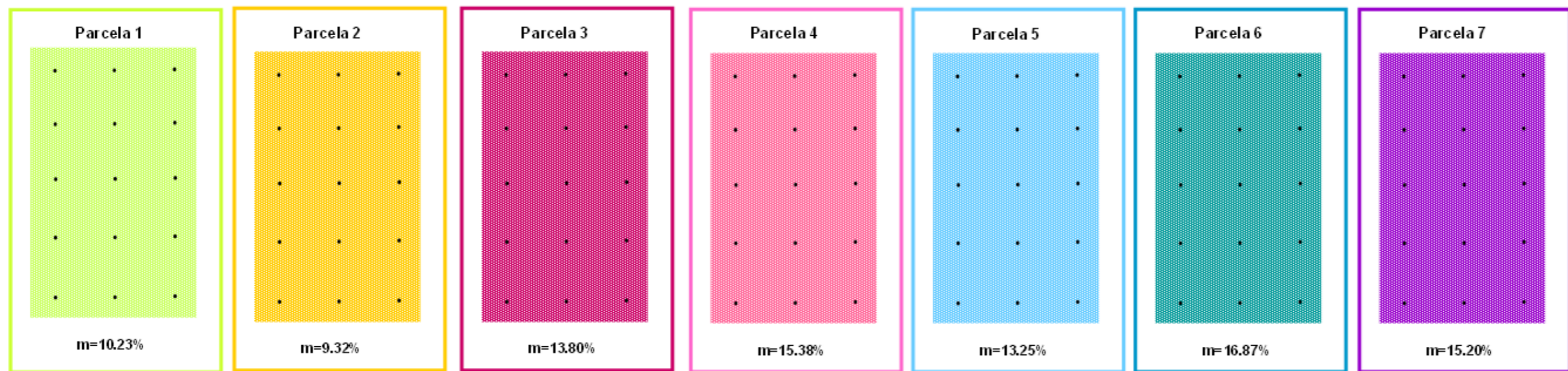
**Tabla 28**

*Características de las parcelas de erosión: parcela 01, parcela 02, parcela 03, parcela 04, parcela 05, parcela 06, y parcela 07*

SITIO		1	2	3	4	5	6	7
Parcelas		01	02	03	04	05	06	07
Área (m2)		2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Pendiente media (%)		10.23	9.32	13.80	15.38	13.25	16.87	15.20
Coordenadas	Este	785274	785362	785171	785617	785669	785637	785449
	Norte	9206427	9206253	9205851	9206487	9206306	9205958	9205840
		SP	SP	SP	SP	SP	SP	SP
Tipo de suelo	SUCS	Arena Pobremente Graduada	Arena Pobremente Graduada	Arena Pobremente Graduada	Arena Pobremente Graduada	Arena Pobremente Graduada	Arena Pobremente Graduada	Arena Pobremente Graduada
	ASSHTO	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)	A-2-4 (0)
		Grava y arena limosa o arcillosa	Grava y arena limosa o arcillosa	Grava y arena limosa o arcillosa	Grava y arena limosa o arcillosa	Grava y arena limosa o arcillosa	Grava y arena limosa o arcillosa	Grava y arena limosa o arcillosa
Textura		Suelo Granular	Suelo Granular	Suelo Granular	Suelo Granular	Suelo Granular	Suelo Granular	Suelo Granular
Contenido de humedad (%)		7.72	5.32	8.31	11.23	9.8	10.2	7.92
Densidad Aparente (gr/cm3)- Densidad Natural		1.92	2.01	1.79	1.61	1.76	1.93	1.98

**Figura 40**

*Parcelas de erosión: parcela 01, parcela 02, parcela 03, parcela 04, parcela 05, parcela 06, y parcela 07*



## Método de los clavos de erosión

**Figura 41**

*Método de los clavos de erosión: parcela 01, parcela 02, parcela 03, parcela 04, parcela 05, parcela 06, y parcela 07*

PARCELAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EROSIÓN HIDRICA SUPERFICIAL							
	Parcela: 01	Parcela: 02	Parcela: 03	Parcela: 04	Parcela: 05	Parcela: 06	Parcela: 07
<b>X: Suelo erosionado o sedimentado (ton/ha)</b>							
$X_{\left(\frac{ton}{ha}\right)} = Y \times D_a \times 10$	5 4 0	6 4 0	0 4 4	5 2 0	0 2 0	2 1 0	1 0 3
	0 0 9	5 0 2	2 6 0	0 3 0	0 2 1	0 3 1	0 2 0
	0 7 0	2 2 0	0 2 0	2 4 0	4 1 3	3 2 1	0 4 1
	0 0 7	0 0 3	0 0 4	2 0 5	0 0 2	1 2 0	0 2 0
$E_{neta} = E - S$	2 2 2	0 0 0	3 0 0	0 0 0	0 2 0	0 0 1	1 0 0
CARACTERÍSTICAS DE LAS PARCELAS							
<b>Y: Altura media de suelo erosionado o sedimentado (mm)</b> [Promedio de las mediciones en los clavos de erosión]	2.533	1.6	1.667	1.533	1.133	1.133	0.933
<b>Da: Densidad aparente del suelo (ton/m3)</b>	1.92	2.01	1.79	1.61	1.76	1.93	1.98
<b>X: Suelo erosionado o sedimentado (ton/ha)</b>	48.63	32.16	29.84	24.68	19.94	21.87	18.47
<b>E: Erosión normal media (ton/ha)</b>	48.63	32.16	29.84	24.68	19.94	21.87	18.47
<b>S: Sedimentación media (ton/ha)</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>E neta: Erosión neta media (ton/ha)</b>	<b>48.63</b>	<b>32.16</b>	<b>29.84</b>	<b>24.68</b>	<b>19.94</b>	<b>21.87</b>	<b>18.47</b>
<b>Pendiente (%):</b>	10.23	9.32	13.8	15.38	13.25	16.87	15.2
<b>Escorrentia generada (litros):</b>	14.603	38.747	31.515	32.615	30.865	24.575	27.412
<b>Valores carga de sedimento transportado por la escorrentia generada (gramos):</b>	1.5	1.8	2	3.1	4	3.5	2.3

## PRESENTACIÓN DE COSTOS DE FABRICACIÓN Y EMPLEO DEL SIMULADOR DE LLUVIA PROPUESTO EN LA INVESTIGACIÓN

**Tabla 29**

*Costos para fabricación del simulador de lluvia SRS-22*

Descripción	Unidades	Cantidad	Costo Unitario	Costo Parcial
Fabricación de simulador de lluvia del tipo pulverizador SRS-22.	und	1	S/2,500.00	S/2,500.00

**Tabla 30**

*Costos de instrumentos para ensayos en campo (montaje y realización de ensayos)*

Descripción	Unidades	Cantidad	Costo Unitario	Costo Parcial
<b>Instrumentos para ensayos en campo</b>				
Kit para ensayos en campo: densidad natural, granulometría y erosión	und	1	S/250.00	S/250.00
GPS topográfico	und	1	S/100.00	S/100.00
Cronómetro	und	1	S/35.00	S/35.00
Cámara fotográfica	und	1	S/270.00	S/270.00
<b>TOTAL</b>				<b>S/655.00</b>

**Tabla 31**

*Costos de equipamiento y protección para trabajo en laboratorio (realización de ensayos)*

Descripción	Unidades	Cantidad	Costo Unitario	Costo Parcial
Guías y protocolos	glb	1	S/70.00	S/70.00
Transporte de material al laboratorio	glb	1	S/10.00	S/10.00
Zapatos de seguridad	und	2	S/150.00	S/300.00
Cascos de seguridad	und	2	S/25.00	S/50.00
Chalecos de seguridad	und	2	S/45.00	S/90.00
<b>TOTAL</b>				<b>S/520.00</b>

**Tabla 32**

*Costos de transporte y alimentación para desarrollar la investigación (trabajo de campo, laboratorio y gabinete)*

Descripción	Unidades	Cantidad		Costo Unitario	Costo Parcial
<b>Costos para salida a campo y montaje de ensayos (Para 4 personas y 2 días)</b>					
Alquiler de camioneta (Cajamarca- Shaullo)	viaje/ día	2		S/120.00	S/240.00
Almuerzos	und	4	2	S/10.00	S/80.00
Persona para cargar equipo y cavar calicatas	día	2	2	S/70.00	S/280.00
<b>Costos de alimentación en los días de trabajo en laboratorio (Para 2 personas y 4 días)</b>					
Almuerzos	und	2	4	S/10.00	S/80.00
<b>TOTAL</b>					<b>S/680.00</b>

**Tabla 33**

*Costos para equipamiento de trabajo de gabinete (procesamiento de datos y redacción de la investigación)*

Descripción	Unidades	Cantidad		Costo Unitario	Costo Parcial
Laptop	und	1		S/3,500.00	S/3,500.00

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Una vez obtenidos los resultados de campo y tras ser procesados en gabinete se establece la discusión de estos contrastándolos con investigaciones similares. La investigación parte del diseño, construcción y empleo de un simulador de lluvia dentro de la quebrada Shaullo para determinar la conductividad hidráulica del suelo a través de la elaboración de las curvas de infiltración y escorrentía de cada precipitación; cuantificando a la vez la erosión hídrica superficial.

**Respecto al primer objetivo en estudio:** selección y construcción de un modelo de simulador de lluvia, atendiendo criterios de control de la pluviosidad; se ha optado por escoger entre los modelos para trabajo de campo empleados por los geomorfólogos tales como del tipo goteadores y pulverizadores. De estos modelos se seleccionó el simulador de lluvia del tipo pulverizador, debido a la similitud con el efecto que genera la lluvia en el suelo, logrando así que las simulaciones del fenómeno de la lluvia sean lo más fidedignas a las precipitaciones naturales y sus efectos de escorrentía, infiltración y erosión.

Sanguesa (2009), indica como una ventaja el uso de un simulador de lluvia por aspersión o del tipo pulverizador, debido a las grandes dificultades que da la necesidad de contar con una lluvia natural, ya que es difícil predecir con certeza, dónde y cuándo lloverá, así como tampoco se puede saber si el evento tendrá la intensidad y duración necesaria para producir erosión, siendo este el punto de partida para la selección y construcción del simulador.

Luengas y De La Rosa (2015), construyeron un simulador de lluvia pulverizador basándose en un sistema de fuente de energía, sistema de bombeo, red de distribución, válvulas, aspersores, fuente de abastecimiento de agua, sistema de retroalimentación y



una estructura de soporte del simulador; el cual ha sido tomado como guía y adaptado para la presente investigación coincidiendo los sistemas propuestos por los autores con los empleados en el diseño y construcción del simulador.

Las características técnicas del simulador de la presente investigación, destacan por la estructura portable y desmontable en tubería metálica (estructura de soporte), tubería PVC (sistema de distribución hídrica), tanque de plástico (sistema de almacenamiento hídrico), aspersores (sistema de aspersion), generador eléctrico (sistema de abastecimiento de energía), bomba (sistema de bombeo), y manómetros (sistema de control de presiones); todo ello originando un sistema global seguro, óptimo y adecuado para la simulación de precipitaciones. En función al sistema diseñado, su fácil portabilidad y montaje, se ha optado por denominar al simulador de lluvia del tipo pulverizador: simulador de lluvia- SRS-22, de las siglas (Sprayer Rain Simulator).

El simulador de lluvia SRS-22, se caracteriza por poseer una altura de caída para precipitaciones de 2.00 m, el área de cobertura máxima oscila los 4.80 m<sup>2</sup> (1.6 m x 3m) y para la delimitación de parcelas se cuenta con una estructura que abarca el área de 1.00 m x 2.00 m, esta estructura cuenta con una punta tipo embudo la cual facilita la toma de medidas del volumen de escorrentía.

La calibración del simulador de lluvia pulverizador SRS-22, depende en gran medida del control constante de la presión de ingreso y salida registrado en cada simulación y los ángulos de control en la válvula compuerta; esto debido a que el éxito en este control permitirá una mejor reproducción del fenómeno de la lluvia y en caso de variaciones en los resultados, estos podrán ser imputados a factores externos.

En este primer punto, el cual abarca la selección y construcción del modelo para el simulador de lluvia, resulta indispensable enfocarse en los criterios de montaje.

Cuando se realiza el montaje y calibración de los simuladores de lluvia en un laboratorio o un ambiente controlado, generalmente se cuenta con un piso o base nivelado y sin la presencia de agentes externos como el viento, además de contar con una fuente continua de energía que alimenta al simulador. Sin embargo, cuando se está en campo esta situación es completamente diferente debido a las diferentes pendientes del relieve del suelo, las corrientes de viento, y otros agentes externos.

En base a ello los criterios de montaje para el uso correcto del simulador de lluvia SRS-22, son: 1) seguir el proceso de ensamblaje de las piezas para la estructura de soporte metálico, en base a la secuencia detallada en la metodología; 2) para la unión de las tuberías, piezas y accesorios de los sistemas (sistema de almacenamiento hídrico, sistema de bombeo, sistema de control de presiones y sistema de distribución hídrica) que constituyen al simulador de lluvia, se debe nivelar el suelo a través de corte y/o relleno del suelo donde se nivelará la estructura global del simulador, esto con el fin de lograr una superficie completamente nivelada para la unión correcta de cada pieza a través de las uniones universales en PVC, permitiendo el cuidado y óptimo funcionamiento del simulador de lluvia; 3) para la delimitación de la parcelas en estudio, se unen los extremos de la estructura metálica que las delimita, es importante que el suelo donde se simulará las precipitaciones no sea adulterado con el fin de obtener datos objetivos; 4) se debe forrar el simulador de lluvia SRS-22 con papel film o plásticos tipo mica, esto con el fin de tener un ambiente más controlado; 5) se debe abastecer de agua al tanque, calibrar la válvula compuerta e iniciar con el ensayo: simulación de precipitaciones; 6) se debe realizar las lecturas de presión de entrada y salida registradas en el ensayo, recogiendo y registrando cada cierto tiempo los volúmenes de escorrentía y sedimentos arrastrados; 7) finalmente transcurrido el tiempo programado para la simulación y encontrándose estable el volumen de escorrentía se

concluye con el ensayo, extrayendo muestras del suelo (ensayo de granulometría) y la parcela (ensayos de densidad aparente).

Martínez et al. (2001) citados por Sanguesa (2009), emplearon parcelas de 4 m<sup>2</sup> para producir intensidades de precipitación de 33 mm/h hasta 60 mm/h; y Sheridan et al. (2007) empleó una parcela de 1.5 x 2 m, para estudiar intensidades de precipitación de 100 mm/h; sirviendo estas opciones como guía para construir el simulador de lluvia: SRS-22. Y es que el primer punto de análisis para este control preliminar es la elección del tipo de boquilla de aspersion y la cantidad de aspersores. En la actualidad, el mercado de productos ofrece una amplia gama de boquillas para aspersores, tales como: abanico plano espejo o deflectora, cono hueco, abanico plano en banda, cono lleno, entre otros; siendo el modelo de cono lleno el ideal para la simulación de lluvia.

Luengas y De La Rosa (2015), realizaron un montaje del simulador y una grilla de vasos receptores (pluviómetros), para la determinación de la variación de la lluvia realizando lecturas de volumen de lluvia durante 3 minutos para cada uno de sus 49 pluviómetros empleados, registrando presiones de ingreso de 2.5 PSI, 4 PSI, 6 PSI, 8 PSI, 10 PSI y 12 PSI; para intensidades de 0 mm/h hasta 120 mm/h.

En función a lo indicado por los autores, una vez seleccionada la intensidad de las precipitaciones a simular, se usó una malla o grilla de vasos receptores compuesta por un total de 84 vasos, distribuidos uniformemente en ambos sentidos a 25 cm, elaborándose así un esquema de pluviosidad con el cual se analiza la variación en la intensidad de las precipitaciones simulados.

Y es que efectivamente un punto de análisis en este control preliminar del simulador es obtener el esquema de control de la pluviosidad como tal. Para ello se ha elaborado un gráfico con la distribución espacial de la pluviosidad de los 3 aspersores

montados en línea; a partir de una intensidad de precipitación de 31 mm/h, obtenidos con un volumen de 62,500 litros con una presión de ingreso de 8PSI y una presión de salida de 5PSI, para un área total de 4.80 m<sup>2</sup>, con un área efectiva para la investigación de 2.00 m<sup>2</sup>; cuyos valores se reprodujeron y simularon en campo para el estudio en 7 parcelas, que fueron seleccionadas aleatoriamente.

Se puede concluir que el simulador de lluvia SRS-22, es el más adecuado para simular las precipitaciones en la quebrada Shaullo Chico, debido a su portabilidad y fácil montaje independientemente del relieve topográfico del lugar, sin embargo, no se tuvo acceso a las zonas de mayor pendiente en las montañas del lugar.

**Respecto al segundo objetivo:** cuantificación de la infiltración y escorrentía en suelos empleando un simulador de lluvia, en la quebrada Shaullo; se ha logrado simular en 7 puntos de la quebrada. Para ello primero se realizó un muestreo aleatorio y reconocimiento de los lugares para el estudio a través de la selección de parcelas representativas.

Para cuantificar la infiltración y erosión como tal, se optó por elaborar y analizar las curvas de la infiltración y escorrentía, generados en cada precipitación simulada, obteniendo las intensidades de infiltración y escorrentía de cada precipitación, y se ha observado que durante los primeros 15 a 30 minutos el volumen de escorrentía recogido es bajo, alcanzando en este tiempo la intensidad de infiltración sus valores más altos, ya a partir de los minutos restantes se logra estabilizar el volumen de la escorrentía hasta el término del ensayo; este comportamiento se debe a que los volúmenes iniciales de precipitación tardan en generar el encharcamiento del suelo y dar así el inicio de la escorrentía; los suelos secos suelen tardar en generar la escorrentía a diferencia de los suelos ligeramente saturados los cuales inician en unos 5 a 7 minutos

con la escorrentía, siendo este último caso el observado en cada ensayo de simulación. Dentro de los siete (07) ensayos realizados los valores de escorrentía empezaron a ser constantes a partir de los 15 a 25 min de iniciado el ensayo, sin embargo, por un tema de control los ensayos se han concluido a la hora de iniciado.

La intensidad de la precipitación más alta ensayada fue de 31.525 mm/h, es decir 0.525 mm/h (por intervalos de 5 min), cuya intensidad de infiltración máxima alcanzada fue de 19.238 mm/h y el volumen de escorrentía máxima fue de 12.288 mm/h; observándose este fenómeno en la parcela N° 06.

**Respecto al tercer objetivo en estudio:** para estimar la erosión hídrica superficial en suelos empleando un simulador de lluvia, en la quebrada Shaullo, se ha empleado la metodología de los clavos de erosión. Es importante indicar que muchos estudios de erosión están enfocados a casos particulares, en los cuales se han medido o estimado las pérdidas del suelo, la escorrentía superficial, y excepcionalmente la merma de nutrientes ocurridas en determinadas situaciones.

En el Perú, la erosión de suelos representa una gran problemática especialmente en las zonas deforestadas, sobrepobladas, con sobrepastoreo, zonas en proceso de explotación y otros; y a la par de ello no existen estudios metodológicos cuantitativos en comparación a otros países.

Sanguesa (2009), indica que uno de los métodos de medición directa de la erosión hídrica superficial es la metodología de los clavos de erosión.

Este autor, estudio 9 parcelas en suelos franco arcillo arenosos, con pendientes de 11 % hasta los 39%, agrupando sus resultados de cada 3 muestras en una; obteniendo valores de erosión hídrica superficial de 13, 24 y 16 (ton/hectárea), respectivamente; y con sedimentos arrastrados de 6.9, 2.8 y 3.2.

En la presente investigación las parcelas analizadas fueron un total de 7 con un área de 1.00 m de ancho y 2.00 m de largo (2.00 m<sup>2</sup>); los clavos para el estudio de la erosión poseían una medida de 25 cm de largo y se distanciaron a 30 cm de largo y ancho (15 por parcela), siendo un número óptimo de clavos. Para medir la erosión hídrica superficial se ha calculado el promedio de las mediciones realizadas en cada clavo relacionándola con la densidad aparente del suelo de la parcela. Siendo el método empleado bastante adecuado y representativo para cuantificar la erosión hídrica generada en cada parcela. Los valores obtenidos han oscilado desde los 18.47 ton/ha y 48.63 ton/ha, dentro de los ensayos de la quebrada.

Por otro lado, Jiménez (2021), empleó un simulador de lluvia en la ciudad de Chongoyape para producir una precipitación de 65 mm/h, en suelos arenosos obteniendo valores de erosión hídrica superficial de 0.84 hasta 9.50 (tonelada/hectárea).

Finalmente, respecto al último objetivo: presentar los costos que implican la fabricación, uso del simulador de lluvia propuesto en la investigación, se describe lo siguiente: (1) los gastos fijos son: costos para fabricación del simulador de lluvia SRS-22 de S/2,500.00, costos de equipamiento para trabajo en campo de S/655.00, y costos de equipamiento y protección para trabajo en laboratorio de S/520.00; los costos variables son: Costos de transporte y alimentación para desarrollar la investigación (trabajo de campo, laboratorio y gabinete) de S/680.00 y costos para trabajo de gabinete (procesamiento de datos y redacción de la investigación) de S/3,500.00. Siendo el costo total de la investigación de S/7,855.00 nuevos soles.

Cerda (1999), indica que con los simuladores de lluvia se reduce el tiempo de experimentación y con ello el coste de la investigación, además de que se tiene el máximo control sobre el momento de la medición, estado previo de la parcela,

características de la precipitación a simular, respuesta del suelo, entre otros; en base a esta ventaja económica se puede decir que el costo inicial no se compararía con las ventajas de tiempo que brinda el usar un simulador de lluvia.

Luengas y De La Rosa (2015), establecieron que el costo que engloba los materiales para la elaboración de un simulador de lluvia es de \$ 517.623, considerando un cambio de S/. 3.70, serían S/. 1915.21; sin contar el costo de mano de obra y los materiales a implementar en campo; variando con lo presentado en nuestra investigación probablemente debido a la diferencia de años entre las investigaciones y la estructura de soporte propuesta en la presente investigación; debido a que el costo del simulador de lluvia SRS-22 de S/2,500.00, contrastando fuertemente con el obtenido por los investigadores.

Una anotación importante respecto a los simuladores de lluvia se da en base al estudio de Ochoa y Macas (2018), quienes diseñaron y construyeron un simulador de lluvia para el laboratorio de alta tensión de la UPS- Cuenca, lo cual muestra un contraste muy alto sobre lo que llegarían a ser los simuladores de lluvia debido a que el simulador que construyeron se empleó para pruebas eléctricas.

En la presente investigación se puede indicar respecto a las *implicancias* de la investigación, lo siguiente: (1) se ha generado un nuevo conocimiento respecto al empleo de los simuladores y su importancia en el estudio de la conductividad hidráulica (precipitación, escorrentía e infiltración) y la erosión hídrica superficial, en los suelos de la ciudad de Cajamarca; (2) la investigación describe de forma integral el proceso para un adecuado estudio empleando simuladores de lluvia del tipo pulverizador, permitiendo que la investigación pueda ser replicada, mejorada o adaptada a futuro en otros estudios; y (3) la investigación redacta de forma estandarizada, en base a

investigaciones y normativas el proceso metodológico empleado para la realización de cada ensayo y actividad que involucra el estudio.

Sobre las *limitaciones* que han existido en la investigación:

1. Una limitación importante dentro de la investigación ha sido el periodo de la investigación ya que el estudio ha sido realizado dentro del último trimestre del año, planteando la postura de que los valores obtenidos en campo podrían variar en función a la época en la que se realizan los estudios.
2. El simulador propuesto, debido a la naturaleza lineal de su montaje y la necesidad de nivelación entre el tanque y la tubería de distribución, permite abarcar estudios en zonas de topografía llana a media, siendo imposible su instalación en zonas de pendiente pronunciada ya que variaría la distribución de la precipitación sobre las parcelas en estudio.

Respecto a la hipótesis de la investigación, “El empleo de un simulador de lluvia en la microcuenca de la quebrada Shaullo influye en la infiltración, escorrentía y erosión de suelos de forma eficiente”. Esta ha sido corroborada en su totalidad debido a que reproduce en la mayor medida posible la intensidad de una precipitación real facilitando el estudio de la infiltración, escorrentía y erosión, coincidiendo a la vez los resultados obtenidos con los valores de otras investigaciones.

**Finalmente, respecto a la investigación desarrollada se ha logrado establecer las siguientes conclusiones:**

- El modelo de simulador de lluvia SRS-22, diseñado para la investigación, permite de manera óptima y controlada la reproducción del fenómeno de precipitaciones influyendo de manera eficiente en la determinación de la infiltración, escorrentía y erosión hídrica superficial.



- El modelo seleccionado, construido y definido como simulador de lluvia SRS-22, se ha diseñado atendiendo criterios de control de la pluviosidad permitiendo una simulación de precipitaciones semejantes a las producidas por las lluvias; además la portabilidad y fácil montaje en los diferentes relieves del suelo, ha permitido un óptimo desempeño del simulador SRS-22, adecuándose a las condiciones topográficas de la quebrada Shaullo, facilitando la realización de los ensayos.
- La cuantificación de la infiltración y escorrentía en los suelos de la quebrada Shaullo, se ha logrado a través del empleo del simulador de lluvia, y a través de la elaboración de las curvas de infiltración y escorrentía de cada precipitación simulada, las precipitaciones simuladas tuvieron una intensidad de precipitación promedio de 31.230 mm/h, las intensidades promedio de infiltración y volúmenes de escorrentía fueron de 16.921 mm/h y 14.309 mm/h respectivamente; acerca de los siete ensayos realizados se obtuvo que la intensidad de la infiltración durante los 15 a 35 min iniciales de ensayos tuvo valores altos y a partir de este tiempo se estabilizó junto al volumen de escorrentía, este patrón se atribuyó al tipo de suelo clasificado como SP (SUCS) y A-2-4 (0) (AASHTO), suelos arenosos y gravosos, propios de la quebrada Shaullo.
- La estimación de la erosión hídrica superficial en suelos de la quebrada Shaullo, se ha logrado a través del empleo del simulador de lluvia y el uso del método de los clavos de erosión dentro de cada parcela; obteniéndose como valor más alto el de 48.63 ton/ha.
- Los costos que implica la fabricación y uso del simulador de lluvia propuesto en el estudio se componen de varios montos variables siendo el costo más importante el de la fabricación del simulador de lluvia SRS-22 siendo este de S/2,500.00 nuevos soles.

## REFERENCIAS

- Aguilar Pereira, J. F., & Monge Jeremías, R. (2008). *Manual de operación del simulador de lluvia para la cuantificación de la infiltración, escorrentía y erosión de suelos*. INTA: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria- Costa Rica, Departamento de Servicios Técnicos, INTA, San José. Obtenido de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/N20-9438.pdf>
- Arias Gonzales. (2020). *Proyecto de Tesis. Guía para la elaboración*. (Primera edición digital ed.). Arequipa, Perú: Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2020-05577. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/350072280>
- Arias Gonzáles, J. L., Holgado Tisoc, J., Tafur Pittman, T. L., & Vasquez Pauca, M. J. (2022). *Metodología de la investigación: El método ARIAS para realizar un proyecto de tesis* (Primera edición digital ed.). (W. Sucari, J. Quilca, & P. Aza, Edits.) Puno, Perú: Depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2022-03929. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/361375510>
- Benito Rueda, E., De Blas Varela, E., Eufemia Varela, M., & Santiago Blanco, J. L. (2001). Descripción y puesta a punto de un simulador de lluvia de campo para estudios de escorrentía superficial y erosión del suelo. *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe: Revista de xeoloxía galega e do hercínico peninsular*, 26, 211-220. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=110754>
- Cáceres Izquierdo, R. (2008). Diseño y construcción de un modelo de simulación de lluvias para investigación de pérdidas de suelos. [Trabajo de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/2940>
- Cerda, A. (1999). *Simuladores de lluvia y su aplicación a la Geomorfología*. Universitat de Valencia, Departamento de geografía, Valencia. Recuperado el 12 de Mayo de 2022, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=81510>
- Cuitino Martinez, H. C., Pizarro Tapía, R., & González Colville, P. (1999). Evaluación cuantitativa de la erosión hídrica superficial en suelos desnudos de la Precordillera Andina y Valle Central de la VII Región. *D Space*. Obtenido de <http://dspace.usalca.cl/handle/1950/3245>
- Delgado Dallatorre, Y., & Úbeda Rivera, J. S. (2018). La infiltración del agua en los suelos y componentes artificiales. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*,

4(7), 889-894. Recuperado el 7 de Junio de 2022, de <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/394/3941754001/index.html>

Estación Experimental de Zonas Áridas, E. (2018). Simuladores de lluvia y su uso con tecnosuelos. Obtenido de

[https://www.youtube.com/watch?v=zVaO1QFgko8&ab\\_channel=Estaci%C3%B3nExperimentaldeZonas%C3%81ridas.EEZA-CSIC](https://www.youtube.com/watch?v=zVaO1QFgko8&ab_channel=Estaci%C3%B3nExperimentaldeZonas%C3%81ridas.EEZA-CSIC)

Flores Villanelo, J. M., & Pizarro Tapia, M. (2005). Elementos de ingeniería hidrológica para el mejoramiento de la productividad silvícola. *Universidad de Talca*. Obtenido de <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/7809>

Homero Barría, U. (2021). *Medición de la velocidad de infiltración para riego en praderas*. Instituto de investigaciones agropecuarias . INIA Remehue. Obtenido de <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/67529/NR42517.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Jiménez Colala, D. (2021). Estudio de la erosión y pérdida de suelos empleando un simulador de lluvias en la ciudad de Chongoyape- Chiclayo. [*Trabajo de pregrado, Universidad Señor de Sipán*]. Repositorio Universidad Señor de Sipán. Obtenido de <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/8304?show=full>

Lobato Vargas, R. R. (2015). Escorrentía de una cuenca mediante la aplicación de un simulador de lluvia, caso: Río Chanta, La Encañada- Cajamarca, 2015. [*Trabajo de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca*]. Repositorio Universidad Nacional de Cajamarca. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/508>

Luengas Machado, D. J., & De La Rosa Parra, S. F. (2015). Diseño y construcción de un simulador de lluvia para estudios hidrológicos. [*Trabajo de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas*]. Repositorio Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11349/4715>

Macas Sandoval, J. R., & Ochoa Cabrera, J. D. (2018). Diseño y construcción de un simulador de lluvia para el laboratorio de alta tensión de la UPS- Cuenca. [*Trabajo de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana*]. Repositorio Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15598>

MINAGRI, M. d. (2014). *Cartillas para la conservación del suelo: La erosión del suelo*. Lima: Gráfica Bracamonte .

Murillo Malespin, G. U. (1990). La erodabilidad de cuatro series de suelos determinada por el mini-simulador de lluvia y el nomograma de Wischmeier. [*Trabajo de pregrado,*

*Universidad Nacional Agraria*]. Repositorio Universidad Nacional Agraria. Obtenido de <https://repositorio.una.edu.ni/1591/>

Peña Castañeda, E. C., & Rodríguez Muñoz, N. A. (2021). Modelo Físico del equipo de Simulador de Lluvia para medir en el laboratorio la erosión hídrica por escorrentía superficial en el suelo. [*Trabajo de pregrado, Universidad Piloto de Colombia*]. Repositorio Universidad Piloto de Colombia. Obtenido de <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/9958>

Pérez, G. (2010). *Ciclo hidrológico (o del agua)*. Obtenido de Ciclo Hidrológico .com: <https://www.ciclohidrologico.com/>

Sanguesa Pool, C. (2009). *Uso de simulador de lluvia para estimación de la erosión hídrica y parámetros meteorológicos*. Obtenido de DOC PLAYER: <https://docplayer.es/52620763-Uso-de-simulador-de-lluvia-para-la-estimacion-de-erosion-hidrica-y-parametros-hidrologicos.html>

UPV, u. P. (2016). Cómo utilizar un simulador de lluvia. Obtenido de [https://www.youtube.com/watch?v=5IZtWYLcAC0&ab\\_channel=UniversitatPolit%C3%A8cnicaUPV](https://www.youtube.com/watch?v=5IZtWYLcAC0&ab_channel=UniversitatPolit%C3%A8cnicaUPV)

## ANEXOS

**ANEXO N° 1.** Matriz de consistencia de la investigación

**ANEXO N° 2.** Panel fotográfico

- Ensayo 01, ensayo 02, ensayo 03, ensayo 04, ensayo 05, ensayo 06 y ensayo 07
- Ensayos de laboratorio: Granulometría por tamizado en seco
- Ensayos de límites de Atterberg
- Ensayos de densidad natural- método volumétrico

**ANEXO N° 3.** Guía y protocolo de campo

- Calibración
- Precipitación y escorrentía
- Erosión Hídrica Superficial

**ANEXO N° 4.** Protocolos de laboratorio

- Contenido de humedad
- Granulometría por tamizado en lavado
- Límite Líquido, Límite Plástico e índice de Plasticidad
- Densidad Natural de campo

**ANEXO N° 5.** Valores recopilados en campo y laboratorios:


- **Precipitación y escorrentía:** Ensayo 01, Ensayo 02, Ensayo 03, Ensayo 04, Ensayo 05, Ensayo 06 y Ensayo 07.
- **Determinación del contenido de humedad:** Muestra M-1, Muestra M-2, Muestra M-3, Muestra M-4, Muestra M-5, Muestra M-6 y Muestra M-7
- **Determinación del Límite Líquido, Límite Plástico e índice de Plasticidad:** Muestra M-1, Muestra M-2, Muestra M-3, Muestra M-4, Muestra M-5, Muestra M-6 y Muestra M-7
- **Granulometría por tamizado en lavado:** Muestra M-1, Muestra M-2, Muestra M-3, Muestra M-4, Muestra M-5, Muestra M-6 y Muestra M-7
- **Determinación de Densidad de campo- Método Volumétrico:** Muestras M-1, M-2, M-3, M-4, M-5, M-6 y M-7.
- **Clasificación de suelo por SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelo):** Muestras M-1, M-2, M-3, M-4, M-5, M-6 y M-7.
- **Clasificación de suelo por AASHTO (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes):** Muestras M-1, M-2, M-3, M-4, M-5, M-6 y M-7.






**ANEXO N° 6.** Plano del simulador de lluvia

Matriz de consistencia de la investigación

OBJETIVOS	PROBLEMAS	HIPOTÉISIS	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	TÉCNICAS	INSTRUMENTO	METODOLOGÍA	
OBJETIVO GENERAL	PROBLEMA GENERAL	HIPOTÉISIS GENERAL									
<p>Cuantificar la infiltración, escorrentía y erosión hídrica superficial en suelos, empleando un simulador de lluvia en la quebrada Shaullo, Cajamarca.</p>	<p>¿En qué medida favorece a la cuantificación de la infiltración, escorrentía y erosión hídrica superficial en suelos, el empleo de un simulador de lluvia en la quebrada Shaullo; Cajamarca-2022?</p>	<p>El empleo de un simulador de lluvia favorece de forma eficiente a la cuantificación de la infiltración, escorrentía y erosión hídrica superficial en suelos, durante cada precipitación simulada.</p>	<p><b>Independiente:</b> Simulador de lluvia</p>	<p><b>Cerda (1999)</b>, indica que de entre todos los aparatos empleados por los geomorfólogos destacan los simuladores de lluvia, los cuales se han utilizado con distintos objetivos desde los años 30; cuya utilidad ha revertido en la diversificación en dimensiones, tipos de formadores de gotas, estructuras, características de la lluvia, etc. tanto en aquellos simuladores desarrollados a partir de goteadores como los del tipo pulverizador.</p>	<p>Para proponer el tipo de simulador de lluvia apropiado para la presente investigación, es indispensable evaluar el tipo de simulador (goteador o pulverizador), el tiempo de construcción y el costo del mismo; a través de la técnica de observación directa e instrumentos como fichas técnicas, planos y cotizaciones; cuyos valores serán procesados en los softwares AutoCAD y S10.</p>	<p>Tipo de simulador de lluvia</p>	<p>Características de diseño, estructura y funcionamiento.</p>	<p>Observación directa</p>	<p>Ficha técnica de diseño</p>	<p><b>*Tipo de investigación:</b></p>	
			<p><b>Dependiente (1):</b> Infiltración del suelo</p>	<p><b>Pérez (2010)</b>, la infiltración es el proceso por el cual el agua en la superficie de la tierra entra en el suelo. Está relacionada con la conductividad hidráulica saturada del suelo cercano a la superficie.</p>	<p>Respecto a la infiltración del suelo, es necesario elaborar las curvas de infiltración de cada precipitación simulada determinando la conductividad hidráulica del suelo; a través de la técnica de observación directa en campo e instrumentos como protocolos de ensayo; cuyos valores serán procesados en el software Microsoft Excel.</p>	<p>Intensidad de infiltración</p>	<p>mm/h</p>		<p>Observación directa</p>	<p>Planos</p>	<p>* El fin es "aplicada o tecnológica"</p>
			<p><b>Dependiente (2):</b> Escorrentía del suelo</p>	<p><b>Pérez (2010)</b>, La escorrentía superficial describe el flujo del agua, lluvia, nieve, u otras fuentes, sobre la tierra, y es un componente principal del ciclo del agua. A la escorrentía que ocurre en la superficie antes de alcanzar un canal se le llama fuente no puntual. Si una fuente no puntual contiene contaminantes artificiales, se le llama contaminación de fuente no puntual. Al área de tierra que produce el drenaje de la escorrentía a un punto común se la conoce como línea divisoria de aguas. Cuando la escorrentía fluye a lo largo de la tierra, puede recoger contaminantes del suelo, como petróleo, pesticidas (en especial herbicidas e insecticidas), o fertilizantes.</p>	<p>Respecto a la escorrentía del suelo, es necesario elaborar las curvas de escorrentía de cada precipitación simulada determinando la conductividad hidráulica del suelo; a través de la técnica de observación directa en campo e instrumentos como protocolos de ensayo; cuyos valores serán procesados en el software Microsoft Excel.</p>	<p>Volumen de escorrentía</p>	<p>mm/h</p>			<p>Observación directa</p>	<p>Proforma</p>
<p><b>Dependiente (3):</b> Erosión Hídrica Superficial del suelo</p>	<p><b>MINAGRI (2014)</b>, la erosión hídrica es el desprendimiento y arrastre (lavado) del suelo de un lugar a otro causado por la lluvia, el viento, o por malas prácticas que realiza el hombre en su chacra. Por estas pérdidas disminuye poco o poco la profundidad del suelo y hace que pierda su fertilidad. Esta pérdida del suelo es para siempre.</p>	<p>Respecto a la erosión del suelo, es necesario determinar la erosión hídrica superficial generada durante cada precipitación simulada; a través de la técnica de observación directa en campo e instrumentos como protocolos de ensayo; cuyos valores serán procesados en el software Microsoft Excel.</p>	<p>Erosión Hídrica Superficial</p>	<p>g (tn/hectarea)</p>	<p>Observación directa</p>	<p>Protocolo de campo</p>	<p>* El enfoque: "cuantitativo"</p>				
							<p><b>Protocolo de campo: Precipitación, infiltración y escorrentía</b></p>	<p>* El diseño de la investigación será "experimental"</p>			
							<p><b>Protocolo de campo: Precipitación, infiltración y escorrentía</b></p>	<p>* <b>Población:</b> Microcuenca de la quebrada Shaullo</p>			
									<p><b>Protocolo de campo: Evaluación cuantitativa de la erosión hídrica superficial- clavos de erosión</b></p>	<p>* <b>Muestra:</b> 7 puntos de muestreo para desarrollo de ensayos en campo.</p>	

**Paneles fotográficos**

PANEL FOTOGRÁFICO: <b>ENSAYO 01</b>		
Imagen: 01	Imagen: 02	
		
<p><b>Descripción:</b> Vista general de la realización del <b>ensayo de precipitación N°01</b>, el cual fue realizado en una de las laderas de la microcuenca Shaullo.</p>	<p><b>Descripción:</b> Se observa la recolección del <b>volúmen de escorrentía</b> generado en la <b>parcela</b></p>	
Imagen: 03	Imagen: 04	Imagen: 05
		
<p><b>Descripción:</b> Se observa la toma de datos de la <b>erosión a través del método de los clavos</b> distribuidos en una grilla, dentro de la <b>parcela</b></p>	<p><b>Descripción:</b> Se observa la recolección de la <b>muestra M-1</b> para la determinación de la <b>Densidad Natural, a través del método</b></p>	<p><b>Descripción:</b> Se aprecia el <b>área</b> donde se realizó el <b>ensayo de precipitación N°01</b>.</p>

PANEL FOTOGRÁFICO: <b>ENSAYO 02</b>		
<b>Imagen: 06</b>	<b>Imagen: 07</b>	
		
<b>Descripción:</b> Vista general de la realización del <b>ensayo de precipitación N°02</b> , el cual fue realizado en una de las laderas de la microcuenca Shaullo.	<b>Descripción:</b> Se observa la recolección del <b>volumen de escorrentía</b> generado en la <b>parcela</b>	
<b>Imagen: 08</b>	<b>Imagen: 09</b>	<b>Imagen: 10</b>
		
<b>Descripción:</b> Se observa la toma de datos de la <b>erosión a través del método de los clavos</b> distribuidos en una grilla, dentro de la <b>parcela</b>	<b>Descripción:</b> Se observa la recolección de la <b>muestra M-2</b> para la determinación de la <b>Densidad Natural, a través del método</b>	<b>Descripción:</b> Se aprecia el <b>área</b> donde se realizó el <b>ensayo de precipitación N°02</b> .



**PANEL FOTOGRÁFICO: ENSAYO 03**

Imagen: 11		Imagen: 12			
					
<p><b>Descripción:</b> Vista general de la realización del <b>ensayo de precipitación N°03</b>, el cual fue realizado en una de las laderas de la microcuenca Shaullo.</p>		<p><b>Descripción:</b> Se observa la recolección del <b>volúmen de escorrentía</b> generado en la <b>parcela</b></p>			
Imagen: 13		Imagen: 14		Imagen: 15	
					
<p><b>Descripción:</b> Se observa la toma de datos de la <b>erosión a través del método de los clavos</b> distribuidos en una <b>grilla</b>, dentro de la <b>parcela</b></p>		<p><b>Descripción:</b> Se observa la recolección de la <b>muestra M-3</b> para la determinación de la <b>Densidad Natural, a través del método</b></p>		<p><b>Descripción:</b> Se aprecia el <b>área</b> donde se realizó el <b>ensayo de precipitación N°03</b>.</p>	

**PANEL FOTOGRÁFICO: ENSAYO 04**

**Imagen: 16**



**Descripción:** Vista general de la realización del ensayo de precipitación N°04, el cual fue realizado en una de las laderas de la microcuenca Shaullo.

**Imagen: 17**



**Descripción:** Se observa la recolección del volúmen de escorrentía generado en la parcela

**Imagen: 18**



**Descripción:** Se observa la toma de datos de la erosión a través del método de los clavos distribuidos en una grilla, dentro de la parcela

**Imagen: 19**



**Descripción:** Se observa la recolección de la muestra M-4 para la determinación de la Densidad Natural, a través del método

**Imagen: 20**



**Descripción:** Se aprecia el área donde se realizó el ensayo de precipitación N°04.

<b>PANEL FOTOGRAFICO: ENSAYO 05</b>		
<b>Imagen: 21</b>	<b>Imagen: 22</b>	
		
<b>Descripción:</b> Vista general de la realización del ensayo de precipitación N°05, el cual fue realizado en una de las laderas de la microcuenca Shaullo.	<b>Descripción:</b> Se observa la recolección del volumen de escorrentía generado en la parcela	
<b>Imagen: 23</b>	<b>Imagen: 24</b>	<b>Imagen: 25</b>
		
<b>Descripción:</b> Se observa la toma de datos de la erosión a través del método de los clavos distribuidos en una grilla, dentro de la parcela	<b>Descripción:</b> Se observa la recolección de la muestra M-5 para la determinación de la Densidad Natural, a través del método	<b>Descripción:</b> Se aprecia el área donde se realizó el ensayo de precipitación N°05.

**PANEL FOTOGRÁFICO: ENSAYO 06**

**Imagen: 26**



**Descripción:** Vista general de la realización del ensayo de precipitación N°06, el cual fue realizado en una de las laderas de la microcuenca Shaullo.

**Imagen: 27**



**Descripción:** Se observa la recolección del volumen de escorrentía generado en la parcela

**Imagen: 28**



**Descripción:** Se observa la toma de datos de la erosión a través del método de los clavos distribuidos en una grilla, dentro de la parcela

**Imagen: 29**



**Descripción:** Se observa la recolección de la muestra M-6 para la determinación de la Densidad Natural, a través del método

**Imagen: 30**



**Descripción:** Se aprecia el área donde se realizó el ensayo de precipitación N°06.

<b>PANEL FOTOGRÁFICO: ENSAYO 07</b>		
<b>Imagen: 31</b>	<b>Imagen: 32</b>	
		
<b>Descripción:</b> Vista general de la realización del <b>ensayo de precipitación N°07</b> , el cual fue realizado en una de las laderas de la microcuenca Shaullo.	<b>Descripción:</b> Se observa la recolección del <b>volumen de escorrentía</b> generado en la <b>parcela</b>	
<b>Imagen: 33</b>	<b>Imagen: 34</b>	<b>Imagen: 35</b>
		
<b>Descripción:</b> Se observa la toma de datos de la <b>erosión a través del método de los clavos</b> distribuidos en una grilla, dentro de la <b>parcela</b>	<b>Descripción:</b> Se observa la muestra recolectada <b>muestra M-7</b> para la determinación de la <b>Densidad Natural, a través del método</b>	<b>Descripción:</b> Se aprecia el <b>área</b> donde se realizó el <b>ensayo de precipitación N°07</b> .

**PANEL FOTOGRÁFICO: ENSAYOS DE LABORATORIO GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO EN SECO**

**Imagen: 36**



**Descripción:** Se observa la preparación del suelo de las muestras: M-1, M-2, M-3, M-4, M-5, M-6 y M-7; para la realización de los ensayos de granulometría por tamizado en seco.

**Imagen: 37**



**Descripción:** Se aprecia el lavado de suelos para ensayos.

**Imagen: 38**



**Descripción:** Se observa el juego de mallas empleado para la realización de los ensayos granulométricos.

**Imagen: 39**



**Descripción:** Se observa el proceso de tamizaje de las diferentes muestras en estudio.

**Imagen: 40**



**Descripción:** Se aprecia el secado del suelo para realización de los ensayos.

**PANEL FOTOGRÁFICO: ENSAYOS DE LÍMITES DE ATTERBERG**

Imagen: 41	Imagen: 42
	
<p><b>Descripción:</b> Vista general de los instrumentos para los ensayos de los <b>límites de Atterberg</b>, para la determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad.</p>	<p><b>Descripción:</b> Se observa la realización del ensayo para el cálculo del <b>límite líquido</b>.</p>
Imagen: 43	Imagen: 44
	
<p><b>Descripción:</b> Se observa la realización del ensayo para el cálculo del <b>límite plástico</b>.</p>	<p><b>Descripción:</b> Se aprecia la extracción de las taras ingresadas para su pesaje y determinar sus contenidos de humedad.</p>

**PANEL FOTOGRÁFICO: ENSAYOS DE DENSIDAD NATURAL- MÉTODO VOLUMÉTRICO**

**Imagen: 45**



**Descripción:** Se observa las muestras recolectadas en los cilindros para la determinación de la densidad natural, a través del método volumétrico.

**Imagen: 46**



**Descripción:** Se observa el pesaje de las muestras: **M-1, M-2 y M-3.**

**Imagen: 47**



**Descripción:** Se observa el área de balanza y otros equipos del laboratorio de suelos de la universidad.

**Imagen: 48**




**Descripción:** Se observa el pesaje de las muestras: **M-4, M-5, M-6 y M-7.**



## Formato de campo

	<b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>	
	<b>GUIA DE ENSAYOS EN CAMPO</b>	
	<b>ENSAYO:</b>	<b>CALIBRACIÓN A TRAVÉS DE UN ESQUEMA DE CONTROL DE LA PLUVIOSIDAD</b>
<b>UPN</b>	<b>TESIS:</b>	
<b>ADAPTADO DE:</b>		
Luengas y De La Rosa (2015); "Diseño y construcción de un simulador de lluvia para estudios hidrológicos". Sangüesa (2009), "Uso de simulador de lluvia para la estimación de erosión hídrica y parámetros hidrológicos"		
<b>CALIBRACIÓN A TRAVÉS DE UN ESQUEMA DE CONTROL DE LA PLUVIOSIDAD</b>		
<b>RESUMEN</b>		
La presente guía describe de forma general el procedimiento para la calibración del simulador de lluvia del tipo pulverizador a través del empleo de una grilla de vasos receptores para la elaboración de un esquema de control de la pluviosidad.		
<b>GENERALIDADES</b>		
A través de la determinación de la variación espacial de la intensidad de las precipitaciones simuladas, se construyó una malla o grilla con 84 vasos receptores para la elaboración de un esquema de control de la pluviosidad.		
<b>1. Materiales y equipo</b>		
Generador eléctrico o una fuente de energía Simulador de lluvia y estructura de soporte Grilla con vasos receptores (pluviómetros) ubicados en toda el área de la estructura del simulador. Pipetas o jeringas para succión Cronómetro Pizarra acrílica Libreta de campo y rotulador		
<b>2. Metodología</b>		
a. Instalación de simulador de lluvia. b. Construcción de malla o grilla de vasos receptores (pluviómetros), ubicados en 7 filas y 8 columnas (84 en total) distribuidos cada uno con distancias de 25 cm. c. Encendemos el simulador e iniciamos con la precipitación, en base a los parámetros de presión de salida e ingreso de (8 PSI y 5 PSI) respectivamente con el fin de simular una intensidad de 31 mm/h. c. Realizamos la lectura de la lluvia precipitada durante 5 minutos para cada uno de los 84 vasos receptores (pluviómetros). d. Finalmente elaboras los esquemas de control de la pluviosidad.		
<b>3. Fórmula</b>		
$\text{Precipitación captada en el pluviometro } \left( \frac{mm}{h} \right) = \text{Volumen recepcionado } \left( \frac{mm}{h} \right)$		
<b>Nota:</b>		
Se conoce que un litro por metro cuadrado (1 l/m <sup>2</sup> ), equivale a un milímetro por hora de lluvia precipitada (1 mm/h)		


UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA											
PROTOCOLO DE CAMPO											
ENSAYO:		CALIBRACIÓN A TRAVÉS DE UN ESQUEMA DE CONTROL DE LA PLUVIOSIDAD									
TESIS:											
<b>ADAPTADO DE:</b>											
Luengas y De La Rosa (2015); "Diseño y construcción de un simulador de lluvia para estudios hidrológicos".											
Sangüesa (2009), "Uso de simulador de lluvia para la estimación de erosión hídrica y parámetros hidrológicos"											
MUESTRA:						UBICACIÓN:					
FECHA DE ENSAYO:						REVISADO POR:					
Hora de inicio de ensayo:		(a.m) (p.m)									
Número de ensayo:											
Largo de área a estudiar:		(m)									
Ancho de área a estudiar:		(m)									
Pendiente de parcela:		0,00 (%)									
DATOS RECOLECTADOS DE CAMPO											
Denominación de vasos receptores (pluviómetros)											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
Volumen de vasos receptores (pluviómetros) [ml]											
Fin de ensayo:		(,"")									
<b>Nota:</b> El volumen recogido es el volumen recepcionado de la precipitación											
<b>OBSERVACIONES:</b>											
RESPONSABLE DEL ENSAYO (1)				RESPONSABLE DEL ENSAYO (2)				ASESOR			
NOMBRE:				NOMBRE:				NOMBRE:			
FECHA:				FECHA:				FECHA:			

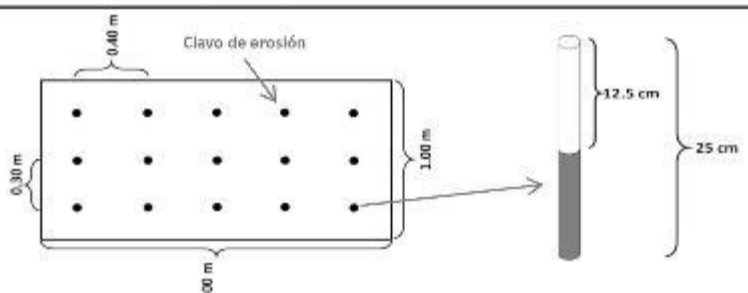
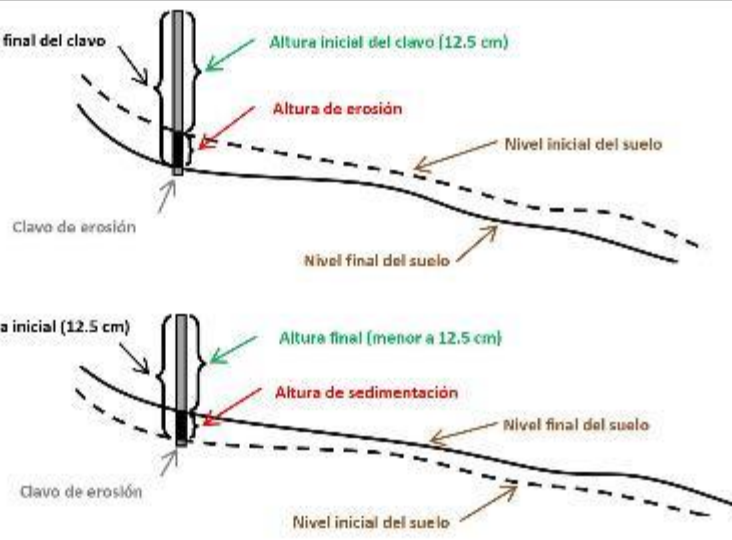
	<b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>	
	<b>GUIA DE ENSAYOS EN CAMPO</b>	
	<b>ENSAYO:</b>	<b>PRECIPITACIÓN, INFILTRACIÓN Y ESCORRENTÍA</b>
<b>TESIS:</b>		
<b>ADAPTADO DE:</b>		
Universidad Politécnica de Valencia (UPV, 2016); "Cómo utilizar un simulador de lluvia" Luengas y De La Rosa (2015); "Diseño y construcción de un simulador de lluvia para estudios hidrológicos". Estación Experimental de Zonas Áridas EEZA (2018); "Simuladores de lluvia y su uso con tecnosuelos"		
<b>DETERMINACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN, INFILTRACIÓN Y ESCORRENTÍA</b>		
<b>RESUMEN</b>		
La presente guía describe de forma general el procedimiento para la realización de ensayos con el simulador de lluvia. Basado en lo descrito en investigaciones con modelos similares.		
<b>GENERALIDADES</b>		
La simulación de lluvia es uno de los métodos más empleados tanto en campo como en laboratorio para determinar la escorrentía e infiltración de los suelos, puesto que permite realizar medidas con independencia de la metodología evitando tener que esperar a que se produzcan las precipitaciones de forma natural, ahorra por lo tanto gran cantidad de tiempo. Pero para que las medidas sean fiables, debe obtenerse en consideración los siguientes aspectos:		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La lluvia simulada debe reproducir en la mayor medida posible las características de la lluvia real: en tamaño de gota, velocidad de caída e intensidad. El mecanismo generador de la lluvia debe ser de tipo boquilla de riego o de tipo goteador.</li> <li>2. Los parámetros deben ser idénticos, si lo deseamos simulación tras simulación, de esta forma la variación de los resultados no podrá ser imputable a la lluvia, sino a la variación de otros factores diferentes, como puede ser el tipo de suelo, la pendiente del terreno o la cobertura vegetal.</li> </ol>		
<b>1. Material</b>		
Parcela de terreno		
<b>2. Equipo</b>		
Generador eléctrico		
Simulador de lluvia y estructura de soporte		
Estructura para delimitación de parcela		
Vaso de precipitado y cubetas		
Cronómetro		
Pizarra acrílica		
Libreta de campo y rotulador		
<b>3. Metodología</b>		
<b>a. Instalación de simulador de lluvia y delimitación de parcela:</b> permitiendo controlar durante la experiencia, la cantidad de lluvia precipitada.		

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA		
GUIA DE ENSAYOS EN CAMPO		
ENSAYO:	PRECIPITACIÓN, INFILTRACIÓN Y ESCORRENTÍA	
TESIS:		
<b>ADAPTADO DE:</b>		
Universidad Politécnica de Valencia (UPV, 2016); "Cómo utilizar un simulador de lluvia" Luengas y De La Rosa (2015); "Diseño y construcción de un simulador de lluvia para estudios hidrológicos". Estación Experimental de Zonas Áridas EEZA (2018); "Simuladores de lluvia y su uso con tecnosuelos"		
<p><b>b. Encendemos el generador y ponemos en marcha el simulador:</b></p> <p>* A partir de este momento se debe estar atento al inicio del encharcamiento que se producirá mas o menos pronto en función de la humedad previa del suelo también dependerá de la textura y de la intensidad de la precipitación pluvial, la cobertura del terreno y el tipo de manejo.</p> <p>* Anotamos el momento de encharcamiento en el suelo el cual se reconoce fácilmente por el aspecto brillante del suelo, el cual debemos anotando el momento exacto de su aparición.</p> <p>* La cantidad de agua irá acumulándose entonces sobre la superficie del suelo, llegando un momento en el que empezará a discurrir en dirección de la pendiente, hasta alcanzar el punto de salida de la parcela.</p> <p>* Deberemos anotar también el instante del inicio de la escorrentía superficial, empezando a recoger el agua en el recipiente dispuesto en el fondo, seguidamente iremos controlando la evolución de la escorrentía, anotando los volúmenes de agua recogida, en función de tiempos de intervalo regulares.</p> <p>* Una vez comprobado, que la tasa de escorrentía permanece constante, cerraremos la llave de paso del agua, anotando este momento y el instante en el que cesa por completo la circulación del agua superficial.</p> <p>* Por último, se debe anotar la cantidad de agua recogida en cada uno de los pluviómetros, lo que nos servirá para determinar la intensidad y la uniformidad de la precipitación.</p>		
<p><b>4. Fórmulas</b></p> <p><b>Cálculo de la precipitación, despreciando la evapotranspiración:</b></p> $\text{Precipitación} \left( \frac{mm}{h} \right) = \text{Infiltración} \left( \frac{mm}{h} \right) + \text{Escorrentía} \left( \frac{mm}{h} \right)$ <p style="text-align: center;"><b>Precipitación:</b></p> $Pm (mm) = \sum_{i=1}^n \frac{Pi}{n}$		

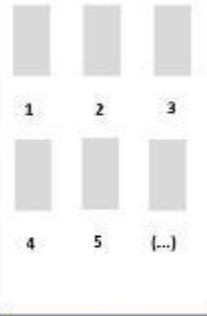
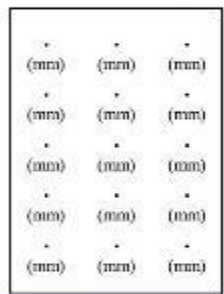
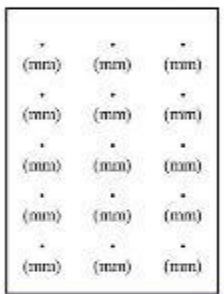
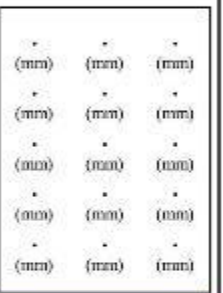
UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA							
PROTOCOLO DE CAMPO							
ENSAYO:		PRECIPITACIÓN, INFILTRACIÓN Y ESCORRENTÍA					
TESIS:							
ADAPTADO DE:							
Universidad Politécnica de Valencia (UPV, 2016); "Cómo utilizar un simulador de lluvia" Luengas y De La Rosa (2015); "Diseño y construcción de un simulador de lluvia para estudios hidrológicos". Estación Experimental de Zonas Áridas EEZA (2018); "Simuladores de lluvia y su uso con tecnosuelos"							
MUESTRA:				UBICACIÓN:			
FECHA DE ENSAYO:				REVISADO POR:			
Hora de inicio:		(a.m) (p.m)					
Número de parcela:							
Largo de parcela:		(m)					
Ancho de parcela:		(m)					
Pendiente de parcela:		(%)					
Volumen de precipitación:		(ml)					
Inicio de encharcamiento:		(":",")					
Inicio de escorrentía:		(":",")					
DATOS RECOLECTADOS DE CAMPO							
N° Depósitos	Tiempo inicial	Tiempo final	Tiempo (seg)	Presión Inicial (PSI)	Presión Final (PSI)	Volumen (ml)	Escorrentía (mm/h)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
TOTAL							
Fin de escorrentía:		(":",")					
Prof. Frente húmedo:		(cm)					
<p style="text-align: center;"><b>Cálculo de la infiltración, despreciando la evapotranspiración:</b></p> $\text{Infiltración} \left( \frac{mm}{h} \right) = \text{Precipitación} \left( \frac{mm}{h} \right) - \text{Escorrentía} \left( \frac{mm}{h} \right)$ <p style="text-align: center;"><b>Precipitación:</b></p> $Pm (mm) = \sum_{i=1}^n \frac{Pi}{n}$							
OBSERVACIONES:							
RESPONSABLE DEL ENSAYO (1)		RESPONSABLE DEL ENSAYO (2)			ASESOR		
NOMBRE:		NOMBRE:			NOMBRE:		
FECHA:		FECHA:			FECHA:		

Estudio de Infiltración, escorrentía y erosión de suelos, empleando un simulador de lluvia en la microcuenca de la quebrada Shaullo, Cajamarca,2022”


 <b>UPN</b>	<b>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>	
	<b>GUIA DE ENSAYOS EN CAMPO</b>	
	<b>ENSAYO:</b>	<b>EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE LA EROSIÓN HÍDRICA SUPERFICIAL - CLAVOS DE EROSIÓN</b>
<b>TESIS:</b>		
<b>ADAPTADO DE:</b>		
<p>Cuitiño (1999), "Evaluación cuantitativa de la erosión hídrica superficial en suelos desnudos de la precordillera andina y valle central de la VII Región".</p> <p>Flores et. al (2005), "Elementos de ingeniería hidrológica para el mejoramiento de la productividad silvícola".</p> <p>Sangüesa (2009), "Uso de simulador de lluvia para la estimación de erosión hídrica y parámetros hidrológicos"</p> <p>Universidad Politécnica de Valencia (UPV, 2016); "Cómo utilizar un simulador de lluvia"</p>		
<b>DETERMINACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA SUPERFICIAL - METODOLOGÍA DE LOS CLAVOS DE EROSIÓN</b>		
<b>RESUMEN</b>		
<p>La presente guía describe de forma general el procedimiento para la realización de ensayos en las parcelas de erosión. Basado en lo descrito en investigaciones con ensayos similares.</p>		
<b>GENERALIDADES</b>		
<p>La metodología de los clavos de erosión es un método experimental sencillo, directo, de gran precisión y principalmente de bajo costo, en los cuales la estimación de pérdida del suelo se realiza totalmente en terreno.</p>		
<b>1. Materiales</b>		
<p>Clavos de erosión marcados y/o pintados, con el fin de indicar el nivel inicial del suelo (h=25cm). Regla metálica</p>		
<b>2. Metodología</b>		
<b>2.1. Trabajo de campo:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Identificación de los lugares para ubicación de parcelas.</li> <li>* Definición de características de la parcela: dimensiones, pendiente, cobertura.</li> <li>* Extracción de muestras de suelo para cálculo de la densidad aparente del suelo.</li> <li>* Medición de los clavos de erosión al término de la simulación, lo ideal es usar tiempos prolongados para la medición: días, semanas e incluso hasta seis meses; esto con el fin de analizar la erosión o sedimentación de cada clavo.</li> </ul>		
<b>2.2. Trabajo de Gabinete</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Procesamiento y análisis de la información (análisis estadístico), para la determinación cuantitativa de la erosión hídrica superficial.</li> </ul>		
<b>2.3. Trabajo de laboratorio:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Determinación de la densidad aparente del suelo, de todas las muestras extraídas.</li> </ul>		
<b>3. Características en la investigación</b>		
<b>3.1. Características de la parcela:</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Para la presente investigación las dimensiones de las parcelas son de 2 m de largo y 1 m de ancho (figura 1), los clavos se distribuyen a distancias de 30 cm en el ancho de la parcela y 40cm en el largo de la parcela.</li> <li>* Cada parcela se instala de forma aleatoria, en el lugar identificado previamente.</li> </ul>		
<b>3.2. Características de la toma de mediciones</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Se toman medidas al costado de cada clavo, obteniendo una medida de suelo perdido o sedimentado según el caso (figura 2).</li> <li>* Cada clavo se identifica, a través de un sistema de coordenadas, que permite observar la conducta del suelo en cada punto de control a través del tiempo.</li> </ul>		

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA	
GUIA DE ENSAYOS EN CAMPO	
ENSAYO:	EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE LA EROSIÓN HÍDRICA SUPERFICIAL - CLAVOS DE EROSIÓN
TESIS:	
<b>ADAPTADO DE:</b>	
Cuitiño (1999), "Evaluación cuantitativa de la erosión hídrica superficial en suelos desnudos de la precordillera andina y valle central de la VII Región". Flores et. al (2005), "Elementos de ingeniería hidrológica para el mejoramiento de la productividad silvícola". Sangüesa (2009), "Uso de simulador de lluvia para la estimación de erosión hídrica y parámetros hidrológicos" Universidad Politécnica de Valencia (UPV, 2016); "Cómo utilizar un simulador de lluvia"	
<b>Figura 1:</b> Parcela de erosión	
<b>Figura 2:</b> Medición en los clavos de erosión	
<b>4. Procesamiento de datos:</b>	
<p>Para cuantificar el suelo erosionado o sedimentado en tonelada/hectárea, se procede a calcular el promedio de las mediciones realizadas en los clavos de erosión en milímetros (mm), este resultado se multiplica por la densidad aparente (ton/m<sup>3</sup>) y por 10.</p>	
Siendo la siguiente fórmula:	<b>Donde:</b>
$X_{\left(\frac{ton}{ha}\right)} = Y \times D_a \times 10$	<b>X:</b> Suelo erosionado o sedimentado (ton/ha) <b>Y:</b> Altura media de suelo erosionado o sedimentado (mm) <b>Da:</b> Densidad aparente del suelo (ton/ha)
<p>Por otra parte, la erosión neta se calcula a través de la diferencia entre la erosión media del suelo y la sedimentación media, expresada en toneladas x hectárea.</p>	
Siendo la siguiente fórmula:	<b>Donde:</b>
$E_{neta} = E - S$	<b>E neta :</b> Erosión neta media (ton/ha) <b>E:</b> Erosión normal media (ton/ha) <b>S:</b> Sedimentación media (ton/ha)



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO DE CAMPO			
ENSAYO:		PRECIPITACIÓN, INFILTRACIÓN Y ESCORRENTÍA	
TESIS:			
<b>ADAPTADO DE:</b>			
Cuitiño (1999), "Evaluación cuantitativa de la erosión hídrica superficial en suelos desnudos de la precordillera andina y valle central de la VII Región".			
Flores et. al (2005), "Elementos de ingeniería hidrológica para el mejoramiento de la productividad silvícola".			
Sangüesa (2009), "Uso de simulador de lluvia para la estimación de erosión hídrica y parámetros hidrológicos"			
Universidad Politécnica de Valencia (UPV, 2016); "Cómo utilizar un simulador de lluvia"			
<b>UBICACIÓN:</b>			
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>		<b>REVISADO POR:</b>	
<b>PARCELAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA SUPERFICIAL</b>			
<b>Parcelas: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, (...)</b> 	<b>N° de parcela:</b> <b>Ancho:</b> (m) <b>Largo :</b> (m) <b>Pendiente :</b> (%)	<b>N° de parcela:</b> <b>Ancho:</b> (m) <b>Largo :</b> (m) <b>Pendiente :</b> (%)	<b>N° de parcela:</b> <b>Ancho:</b> (m) <b>Largo :</b> (m) <b>Pendiente :</b> (%)
			
<b>CARACTERÍSTICAS DE LAS PARCELAS</b>			
<b>Y:</b> Altura media de suelo erosionado o sedimentado (mm) [Promedio de las mediciones en los clavos de erosión]			
<b>D<sub>a</sub>:</b> Densidad aparente del suelo (ton/ha)			
<b>X:</b> Suelo erosionado o sedimentado (ton/ha)			
<b>E:</b> Erosión normal media (ton/ha)			
<b>S:</b> Sedimentación media (ton/ha)			
<b>E neta:</b> Erosión neta media (ton/ha)			
<b>Escorrentía generada (litros):</b>			
<b>Valores carga de sedimento transportado por la escorrentía generada (gr):</b>			
<b>OBSERVACIONES:</b>			
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO (1)</b>	<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO (2)</b>	<b>ASESOR</b>	
<b>NOMBRE:</b>	<b>NOMBRE:</b>	<b>NOMBRE:</b>	
<b>FECHA:</b>	<b>FECHA:</b>	<b>FECHA:</b>	

**Protocolo de laboratorio: Contenido de Humedad.**

 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>					
	<b>PROTOCOLO</b>					
	<b>ENSAYO:</b>	CONTENIDO DE HUMEDAD			<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO:</b>	
	<b>NORMA:</b>	MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127			CH-LS-UPNC: .....	
<b>PROYECTO:</b>						
<b>CANTERA:</b>		<b>MUESTRA:</b>		<b>TIPO DE MATERIAL:</b>		
<b>UBICACIÓN:</b>				<b>COLOR DE MATERIAL:</b>		
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>				<b>RESPONSABLE:</b>		
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>				<b>REVISADO POR:</b>		

Temperatura de Secado

110 °C

Método

Horno 110 ± 5 °C

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>												
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	Identificación del recipiente o Tara	-										
B	Peso del Recipiente	gr										
C	Recipiente + Material Natural	gr										
D	Recipiente + Material Seco	gr										
E	Peso del material húmedo <b>(W<sub>mh</sub>) = C - B</b>	gr										
F	Peso del material Seco <b>(W<sub>s</sub>) = D - B</b>	gr										
<b>W%</b>	Porcentaje de humedad <b>(E - F / F) * 100</b>	%										
<b>G</b>	Promedio Porcentaje Humedad	%										

$$(W\%) = \frac{W_{mh} - W_s}{W_s} * 100$$

Nota: Materia hace mención tanto al suelo como a los agregados tanto grueso como fino.

<b>OBSERVACIONES:</b>		
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>	<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>	<b>ASESOR</b>
NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:
FECHA:	FECHA:	FECHA:

**Protocolo de laboratorio: Límites de Plasticidad.**

 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	<b>LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>						
	<b>PROTOCOLO</b>						
	<b>ENSAYO:</b>	LÍMITES DE PLASTICIDAD			<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO:</b>		
	<b>NORMA:</b>	NTP E339.130 / MTC E111 / ASTM D4318			LP-LS-UPNC: .....		
<b>PROYECTO:</b>							
<b>CALICATA:</b>		<b>ESTRATO:</b>		<b>TIPO DE MATERIAL:</b>			
<b>UBICACIÓN:</b>				<b>COLOR DE MATERIAL:</b>			
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>				<b>RESPONSABLE:</b>			
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>				<b>REVISADO POR:</b>			

<i>DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)</i>							
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4	5
A	Identificación de Recipiente	N°					
B	Suelo Húmedo + Recipiente	gr					
C	Suelo Seco + Recipiente	gr					
D	Peso de Recipiente	gr					
E	Peso del Agua (B - C)	gr					
F	Peso Suelo Seco (C - D)	gr					
G	Número de Golpes	N					
H	Contenido de Humedad (E/F)*100	%					

<i>DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP)</i>							
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	4	5
A	Identificación de Recipiente	N°					
B	Suelo Húmedo + Tara	gr					
C	Suelo Seco + Tara	gr					
D	Peso de Tara	gr					
E	Peso del Agua (B - C)	gr					
F	Peso Suelo Seco (C - D)	gr					
G	Contenido de Humedad (E/F)*100	%					
H	Promedio Límite Plástico						



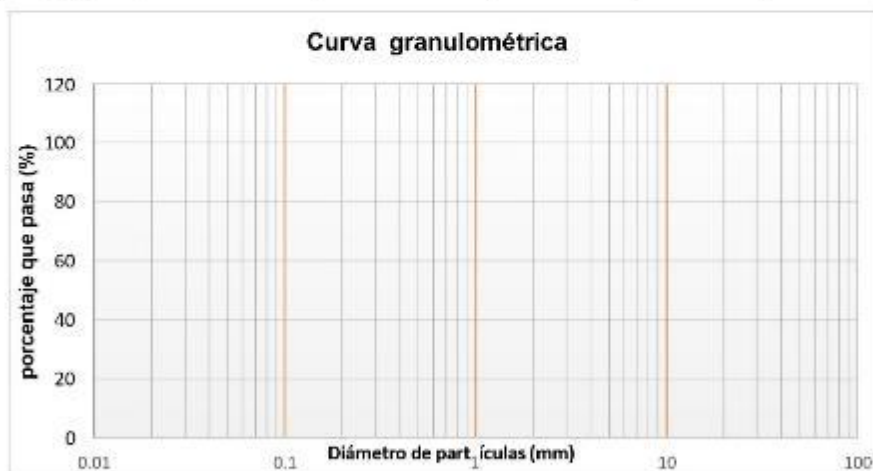
<b>OBSERVACIONES:</b>		
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>	<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>	<b>DOCENTE</b>
<b>NOMBRE:</b>	<b>NOMBRE:</b>	<b>NOMBRE:</b>
<b>FECHA:</b>	<b>FECHA:</b>	<b>FECHA:</b>

**Protocolo de laboratorio: Análisis granulométrico mediante tamizado por lavado.**

<b>LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>					
<b>PROTOCOLO</b>					
<b>ENSAYO:</b>		ANÁLISIS GRANULOMETRIA MEDIANTE TAMIZADO POR LAVADO		<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO:</b>	
<b>NORMA:</b>		ASTM D421		AGTL-LS-UPNC: .....	
<b>PROYECTO:</b>					
<b>CALICATA:</b>		<b>ESTRATO:</b>		<b>TIPO DE MATERIAL:</b>	
<b>UBICACIÓN:</b>				<b>COLOR DE MATERIAL:</b>	
<b>FECHA DE MUESTREO:</b>				<b>RESPONSABLE:</b>	
<b>FECHA DE ENSAYO:</b>				<b>REVISADO POR:</b>	

Peso de muestra seca; Ws  gr

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MEDIANTE TAMIZADO POR LAVADO</b>					
Tamiz	Abertura	Peso Retenido (gr)	% RP	%RA	% que pasa
Nº 4	4,76				
Nº10	2				
Nº20	0,84				
Nº30	0,59				
Nº40	0,42				
Nº60	0,25				
Nº100	0,15				
Nº200	0,074				
Perdida	Lavado				
Total					



<b>OBSERVACIONES:</b>		
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>	<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>	<b>DOCENTE</b>
<b>NOMBRE:</b>	<b>NOMBRE:</b>	<b>NOMBRE:</b>
<b>FECHA</b>	<b>FECHA:</b>	<b>FECHA:</b>

**Protocolo de laboratorio: Densidad de campo- Método Volumétrico.**

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA																																																																	
PROTOCOLO																																																																	
<b>ENSAYO:</b>	DENSIDAD DE CAMPO – MÉTODO VOLUMÉTRICO			<b>CÓDIGO DEL DOCUMENTO:</b>																																																													
<b>NORMA:</b>	BS 1377 - 1990			DCMV-LS-UPNC: .....																																																													
<b>PROYECTO:</b>																																																																	
CALICATA:		ESTRATO:		TIPO DE MATERIAL:																																																													
UBICACIÓN:				COLOR DE MATERIAL:																																																													
FECHA DE MUESTREO:				RESPONSABLE:																																																													
FECHA DE ENSAYO:				REVISADO POR:																																																													
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: left;"> <p><u>Temperatura de Secado</u></p> <p>60 °C / 110 °C /Ambiente</p> </div> <div style="text-align: left;"> <p><u>Método</u></p> <p>Horno 110 ± 5 °C</p> </div> </div>																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">DENSIDAD NATURAL – METODO VOLUMÉTRICO</th> </tr> <tr> <th>ID</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>UND</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>Peso Cilindro</td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Peso Cilindro + Muestra</td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Altura Cilindro</td> <td>cm</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>Diámetro del Cilindro</td> <td>cm</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>Volumen del Cilindro; <b>V<sub>mh</sub></b></td> <td>cm<sup>3</sup></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>Peso de la Muestra; <b>W<sub>mh</sub> = B - A</b></td> <td>gr</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>Densidad de campo; <b>G= F/E</b></td> <td>gr/cm<sup>3</sup></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>Promedio Densidad de Campo</td> <td>gr/cm<sup>3</sup></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						DENSIDAD NATURAL – METODO VOLUMÉTRICO						ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	A	Peso Cilindro	gr				B	Peso Cilindro + Muestra	gr				C	Altura Cilindro	cm				D	Diámetro del Cilindro	cm				E	Volumen del Cilindro; <b>V<sub>mh</sub></b>	cm <sup>3</sup>				F	Peso de la Muestra; <b>W<sub>mh</sub> = B - A</b>	gr				G	Densidad de campo; <b>G= F/E</b>	gr/cm <sup>3</sup>				H	Promedio Densidad de Campo	gr/cm <sup>3</sup>			
DENSIDAD NATURAL – METODO VOLUMÉTRICO																																																																	
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3																																																												
A	Peso Cilindro	gr																																																															
B	Peso Cilindro + Muestra	gr																																																															
C	Altura Cilindro	cm																																																															
D	Diámetro del Cilindro	cm																																																															
E	Volumen del Cilindro; <b>V<sub>mh</sub></b>	cm <sup>3</sup>																																																															
F	Peso de la Muestra; <b>W<sub>mh</sub> = B - A</b>	gr																																																															
G	Densidad de campo; <b>G= F/E</b>	gr/cm <sup>3</sup>																																																															
H	Promedio Densidad de Campo	gr/cm <sup>3</sup>																																																															
$G = \frac{W_{mh} (F)}{V_{mh} (E)}$																																																																	
<b>OBSERVACIONES:</b>  																																																																	
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>		<b>COORDINADOR DE LABORATORIO</b>		<b>DOCENTE</b>																																																													
NOMBRE:		NOMBRE:		NOMBRE:																																																													
FECHA:		FECHA:		FECHA:																																																													

**Valores recopilados en campo: Precipitación y escorrentía- Ensayo 01**

Fecha de ensayo:	22/10/2022
Hora de inicio:	11:30:00 a. m.
Número de parcela:	[01]
Largo de parcela:	2.00 m
Ancho de parcela:	1.00 m
Pendiente de parcela:	10.23%
Volumen para ensayo:	62540.00 ml
Inicio de encharcamiento:	6'58"
Inicio de escorrentía:	11'02"

DATOS RECOLECTADOS DE CAMPO							
N° Depósitos	Tiempo inicial	Tiempo final	Tiempo (seg)	Presión Inicial (PSI)	Presión Final (PSI)	Volumen (ml)	Escorrentía (mm/h)
1	11:30:00 a. m.	11:35:00 a. m.	299.00	8	5	0.00	0.000
2	11:35:00 a. m.	11:40:00 a. m.	299.00	8	5	675.00	0.338
3	11:40:00 a. m.	11:45:00 a. m.	299.00	8	5	980.00	0.490
4	11:45:00 a. m.	11:50:00 a. m.	299.00	8	5	1125.00	0.563
5	11:50:00 a. m.	11:55:00 a. m.	299.00	8	5	1190.00	0.595
6	11:55:00 a. m.	12:00:00 p. m.	299.00	8	5	1182.00	0.591
7	12:00:00 p. m.	12:05:00 p. m.	299.00	8	5	1335.00	0.668
8	12:05:00 p. m.	12:10:00 p. m.	299.00	8	5	1310.00	0.655
9	12:10:00 p. m.	12:15:00 p. m.	299.00	8	5	1520.00	0.760
10	12:15:00 p. m.	12:20:00 p. m.	299.00	8	5	1710.00	0.855
11	12:20:00 p. m.	12:25:00 p. m.	299.00	8	5	1753.00	0.877
12	12:25:00 p. m.	12:30:00 p. m.	299.00	8	5	1823.00	0.912
<b>TOTAL</b>						<b>14603.00</b>	

Fin de escorrentía:	1°00'00"
Prof. Frente húmedo:	7 cm

**Valores recopilados en campo: Precipitación y escorrentía- Ensayo 02**

<b>Fecha de ensayo:</b>	<b>22/10/2022</b>
<b>Hora de inicio:</b>	01:37:00: p. m.
<b>Número de parcela:</b>	[02]
<b>Largo de parcela:</b>	2.00 m
<b>Ancho de parcela:</b>	1.00 m
<b>Pendiente de parcela:</b>	9.32%
<b>Volumen para ensayo:</b>	62540.00 ml
<b>Inicio de encharcamiento:</b>	2'01"
<b>Inicio de escorrentía:</b>	4'00"

<b>DATOS RECOLECTADOS DE CAMPO</b>							
<b>Nº Depósitos</b>	<b>Tiempo inicial</b>	<b>Tiempo final</b>	<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Presión Inicial (PSI)</b>	<b>Presión Final (PSI)</b>	<b>Volumen (ml)</b>	<b>Escorrentía (mm/h)</b>
1	01:37:00: p. m.	01:42:00: p. m.	299.00	8	5	1178.00	0.589
2	01:42:00: p. m.	01:47:00: p. m.	299.00	8	5	1534.00	0.767
3	01:47:00: p. m.	01:52:00: p. m.	299.00	8	5	2365.00	1.183
4	01:52:00: p. m.	01:57:00: p. m.	299.00	8	5	3235.00	1.618
5	01:57:00: p. m.	02:02:00: p. m.	299.00	8	5	3650.00	1.825
6	02:02:00: p. m.	02:07:00: p. m.	299.00	8	5	3765.00	1.883
7	02:07:00: p. m.	02:12:00: p. m.	299.00	8	5	3655.00	1.828
8	02:12:00: p. m.	02:17:00: p. m.	299.00	8	5	3800.00	1.900
9	02:17:00: p. m.	02:22:00: p. m.	299.00	8	5	3975.00	1.988
10	02:22:00: p. m.	02:27:00: p. m.	299.00	8	5	3835.00	1.918
11	02:27:00: p. m.	02:32:00: p. m.	299.00	8	5	3905.00	1.953
12	02:32:00: p. m.	02:37:00: p. m.	299.00	8	5	3850.00	1.925
<b>TOTAL</b>						<b>38747.00</b>	

<b>Fin de escorrentía:</b>	1°00'00"
<b>Prof. Frente húmedo:</b>	5 cm

**Valores recopilados en campo: Precipitación y escorrentía- Ensayo 03**

<b>Fecha de ensayo:</b>	<b>22/10/2022</b>
<b>Hora de inicio:</b>	05:03:00: p. m.
<b>Número de parcela:</b>	[03]
<b>Largo de parcela:</b>	2.00 m
<b>Ancho de parcela:</b>	1.00 m
<b>Pendiente de parcela:</b>	13.80%
<b>Volumen para ensayo:</b>	62300.00 ml
<b>Inicio de encharcamiento:</b>	3'50"
<b>Inicio de escorrentía:</b>	6'20"

DATOS RECOLECTADOS DE CAMPO							
Nº Depósitos	Tiempo inicial	Tiempo final	Tiempo (seg)	Presión Inicial (PSI)	Presión Final (PSI)	Volumen (ml)	Escorrentía (mm/h)
1	05:03:00: p. m.	05:08:00: a. m.	299.00	8	5	0.00	0.000
2	05:08:00: a. m.	05:13:00: a. m.	299.00	8	5	1945.00	0.973
3	05:13:00: a. m.	05:18:00: a. m.	299.00	8	5	2680.00	1.340
4	05:18:00: a. m.	05:23:00: a. m.	299.00	8	5	2705.00	1.353
5	05:23:00: a. m.	05:28:00: a. m.	299.00	8	5	2840.00	1.420
6	05:28:00: a. m.	05:33:00: a. m.	299.00	8	5	2935.00	1.468
7	05:33:00: a. m.	05:38:00: a. m.	299.00	8	5	2865.00	1.433
8	05:38:00: a. m.	05:43:00: a. m.	299.00	8	5	2910.00	1.455
9	05:43:00: a. m.	05:48:00: a. m.	299.00	8	5	3005.00	1.503
10	05:48:00: a. m.	05:53:00: a. m.	299.00	8	5	3085.00	1.543
11	05:53:00: a. m.	05:58:00: a. m.	299.00	8	5	3280.00	1.640
12	05:58:00: a. m.	06:03:00: a. m.	299.00	8	5	3265.00	1.633
<b>TOTAL</b>						<b>31515.00</b>	

<b>Fin de escorrentía:</b>	1°00'00"
<b>Prof. Frente húmedo:</b>	5 cm



**Valores recopilados en campo: Precipitación y escorrentía- Ensayo 04**

<b>Fecha de ensayo:</b>	<b>23/10/2022</b>
<b>Hora de inicio:</b>	09:10:00: a. m.
<b>Número de parcela:</b>	[04]
<b>Largo de parcela:</b>	2.00 m
<b>Ancho de parcela:</b>	1.00 m
<b>Pendiente de parcela:</b>	15.38%
<b>Volumen para ensayo:</b>	62750.00 ml
<b>Inicio de encharcamiento:</b>	4'15"
<b>Inicio de escorrentía:</b>	7'05"

<b>DATOS RECOLECTADOS DE CAMPO</b>							
<b>N° Depósitos</b>	<b>Tiempo inicial</b>	<b>Tiempo final</b>	<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Presión Inicial (PSI)</b>	<b>Presión Final (PSI)</b>	<b>Volumen (ml)</b>	<b>Escorrentía (mm/h)</b>
1	09:10:00: a. m.	09:15:00: a. m.	299.00	8	5	0.00	0.000
2	09:15:00: a. m.	09:20:00: a. m.	299.00	8	5	1810.00	0.905
3	09:20:00: a. m.	09:25:00: a. m.	299.00	8	5	2015.00	1.008
4	09:25:00: a. m.	09:30:00: a. m.	299.00	8	5	2740.00	1.370
5	09:30:00: a. m.	09:35:00: a. m.	299.00	8	5	3150.00	1.575
6	09:35:00: a. m.	09:40:00: a. m.	299.00	8	5	3085.00	1.543
7	09:40:00: a. m.	09:45:00: a. m.	299.00	8	5	3235.00	1.618
8	09:45:00: a. m.	09:50:00: a. m.	299.00	8	5	3350.00	1.675
9	09:50:00: a. m.	09:55:00: a. m.	299.00	8	5	3210.00	1.605
10	09:55:00: a. m.	10:00:00: a. m.	299.00	8	5	3360.00	1.680
11	10:00:00: a. m.	10:05:00: a. m.	299.00	8	5	3275.00	1.638
12	10:05:00: a. m.	10:10:00: a. m.	299.00	8	5	3385.00	1.693
<b>TOTAL</b>						<b>32615.00</b>	

<b>Fin de escorrentía:</b>	1°00'00"
<b>Prof. Frente húmedo:</b>	5 cm

**Valores recopilados en campo: Precipitación y escorrentía- Ensayo 05**

<b>Fecha de ensayo:</b>	<b>23/10/2022</b>
<b>Hora de inicio:</b>	11:08:00: a. m.
<b>Número de parcela:</b>	[05]
<b>Largo de parcela:</b>	2.00 m
<b>Ancho de parcela:</b>	1.00 m
<b>Pendiente de parcela:</b>	13.25%
<b>Volumen para ensayo:</b>	62040.00 ml
<b>Inicio de encharcamiento:</b>	4'05"
<b>Inicio de escorrentía:</b>	8'08"

<b>DATOS RECOLECTADOS DE CAMPO</b>							
<b>N° Depósitos</b>	<b>Tiempo inicial</b>	<b>Tiempo final</b>	<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Presión Inicial (PSI)</b>	<b>Presión Final (PSI)</b>	<b>Volumen (ml)</b>	<b>Escorrentía (mm/h)</b>
1	11:08:00: a. m.	11:13:00: a. m.	299.00	8	5	0.00	0.000
2	11:13:00: a. m.	11:18:00: a. m.	299.00	8	5	1290.00	0.645
3	11:18:00: a. m.	11:23:00: a. m.	299.00	8	5	1840.00	0.920
4	11:23:00: a. m.	11:28:00: a. m.	299.00	8	5	2320.00	1.160
5	11:28:00: a. m.	11:33:00: a. m.	299.00	8	5	2840.00	1.420
6	11:33:00: a. m.	11:38:00: a. m.	299.00	8	5	2810.00	1.405
7	11:38:00: a. m.	11:43:00: a. m.	299.00	8	5	3020.00	1.510
8	11:43:00: a. m.	11:48:00: a. m.	299.00	8	5	3240.00	1.620
9	11:48:00: a. m.	11:53:00: a. m.	299.00	8	5	3325.00	1.663
10	11:53:00: a. m.	11:58:00: a. m.	299.00	8	5	3415.00	1.708
11	11:58:00: a. m.	12:03:00: p. m.	299.00	8	5	3325.00	1.663
12	12:03:00: p. m.	12:08:00: p. m.	299.00	8	5	3440.00	1.720
<b>TOTAL</b>						<b>30865.00</b>	

<b>Fin de escorrentía:</b>	1°00'00"
<b>Prof. Frente húmedo:</b>	5cm

**Valores recopilados en campo: Precipitación y escorrentía- Ensayo 06**

<b>Fecha de ensayo:</b>	<b>23/10/2022</b>
<b>Hora de inicio:</b>	02:00:00 p. m.
<b>Número de parcela:</b>	[06]
<b>Largo de parcela:</b>	2.00 m
<b>Ancho de parcela:</b>	1.00 m
<b>Pendiente de parcela:</b>	16.87%
<b>Volumen para ensayo:</b>	63050.00 ml
<b>Inicio de encharcamiento:</b>	3'25"
<b>Inicio de escorrentía:</b>	6'18"

<b>DATOS RECOLECTADOS DE CAMPO</b>							
<b>Nº Depósitos</b>	<b>Tiempo inicial</b>	<b>Tiempo final</b>	<b>Tiempo (seg)</b>	<b>Presión Inicial (PSI)</b>	<b>Presión Final (PSI)</b>	<b>Volumen (ml)</b>	<b>Escorrentía (mm/h)</b>
1	02:00:00 p. m.	02:05:00 p. m.	299.00	8	5	0.00	0.000
2	02:05:00 p. m.	02:10:00 p. m.	299.00	8	5	820.00	0.410
3	02:10:00 p. m.	02:15:00 p. m.	299.00	8	5	1640.00	0.820
4	02:15:00 p. m.	02:20:00 p. m.	299.00	8	5	1975.00	0.988
5	02:20:00 p. m.	02:25:00 p. m.	299.00	8	5	2000.00	1.000
6	02:25:00 p. m.	02:30:00 p. m.	299.00	8	5	1745.00	0.873
7	02:30:00 p. m.	02:35:00 p. m.	299.00	8	5	2430.00	1.215
8	02:35:00 p. m.	02:40:00 p. m.	299.00	8	5	2560.00	1.280
9	02:40:00 p. m.	02:45:00 p. m.	299.00	8	5	2375.00	1.188
10	02:45:00 p. m.	02:50:00 p. m.	299.00	8	5	2515.00	1.258
11	02:50:00 p. m.	02:55:00 p. m.	299.00	8	5	3210.00	1.605
12	02:55:00 p. m.	03:00:00 p. m.	299.00	8	5	3305.00	1.653
<b>TOTAL</b>						<b>24575.00</b>	

<b>Fin de escorrentía:</b>	1°00'00"
<b>Prof. Frente húmedo:</b>	5 cm

**Valores recopilados en campo: Precipitación y escorrentía- Ensayo 07**

<b>Fecha de ensayo:</b>	<b>23/10/2022</b>
<b>Hora de inicio:</b>	04:15:00: p. m.
<b>Número de parcela:</b>	[07]
<b>Largo de parcela:</b>	2.00 m
<b>Ancho de parcela:</b>	1.00 m
<b>Pendiente de parcela:</b>	15.20%
<b>Volumen para ensayo:</b>	62000.00 ml
<b>Inicio de encharcamiento:</b>	3'00"
<b>Inicio de escorrentía:</b>	6'00"

DATOS RECOLECTADOS DE CAMPO							
Nº Depósitos	Tiempo inicial	Tiempo final	Tiempo (seg)	Presión Inicial (PSI)	Presión Final (PSI)	Volumen (ml)	Escorrentía (mm/h)
1	04:15:00: p. m.	04:20:00: a. m.	299.00	8	5	0.00	0.000
2	04:20:00: a. m.	04:25:00: a. m.	299.00	8	5	820.00	0.410
3	04:25:00: a. m.	04:30:00: a. m.	299.00	8	5	1875.00	0.938
4	04:30:00: a. m.	04:35:00: a. m.	299.00	8	5	2020.00	1.010
5	04:35:00: a. m.	04:40:00: a. m.	299.00	8	5	2570.00	1.285
6	04:40:00: a. m.	04:45:00: a. m.	299.00	8	5	2645.00	1.323
7	04:45:00: a. m.	04:50:00: a. m.	299.00	8	5	2610.00	1.305
8	04:50:00: a. m.	04:55:00: a. m.	299.00	8	5	2832.00	1.416
9	04:55:00: a. m.	05:00:00: a. m.	299.00	8	5	2925.00	1.463
10	05:00:00: a. m.	05:05:00: a. m.	299.00	8	5	3010.00	1.505
11	05:05:00: a. m.	05:10:00: a. m.	299.00	8	5	2970.00	1.485
12	05:10:00: a. m.	05:15:00: a. m.	299.00	8	5	3135.00	1.568
<b>TOTAL</b>						<b>27412.00</b>	

<b>Fin de escorrentía:</b>	1°00'00"
<b>Prof. Frente húmedo:</b>	5 cm

**Determinación del contenido de humedad: Muestra M-1**

ID	DESCRIPCIÓN	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara	T1	T2	T3
B	Wt (g): Peso del recipiente	27.80	27.68	28.22
C	Wmh + Wt (g): Material Natural + Recipiente	193.80	145.17	159.35
D	Wms + Wt (g): Material Seco + Recipiente	181.61	137.17	149.71
E	Ww (g): Peso del material húmedo Ww=E-C-B	166.00	117.49	131.13
F	Ws (g): Peso del material Seco Ws=F-D-B	153.81	109.49	121.49
W%	W%: Porcentaje de humedad W%=[(E-F) /F]x100	7.93	7.31	7.93
G	Wprom%: Promedio Porcentaje Humedad	7.72		

**Determinación del contenido de humedad: Muestra M-2**

ID	DESCRIPCIÓN	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara	T4	T5	T7
B	Wt (g): Peso del recipiente	26.54	27.55	27.52
C	Wmh + Wt (g): Material Natural + Recipiente	160.18	154.15	133.14
D	Wms + Wt (g): Material Seco + Recipiente	153.42	147.75	127.82
E	Ww (g): Peso del material húmedo Ww=E-C-B	133.64	126.60	105.62
F	Ws (g): Peso del material Seco Ws=F-D-B	126.88	120.20	100.30
W%	W%: Porcentaje de humedad W%=[(E-F) /F]x100	5.33	5.32	5.30
G	Wprom%: Promedio Porcentaje Humedad	5.32		

**Determinación del contenido de humedad: Muestra M-3**

ID	DESCRIPCIÓN	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara	<b>T11</b>	<b>T6</b>	<b>T15</b>
B	<b>Wt (g):</b> Peso del recipiente	27.26	27.78	26.97
C	<b>Wmh + Wt (g):</b> Material Natural + Recipiente	188.60	188.50	180.70
D	<b>Wms + Wt (g):</b> Material Seco + Recipiente	176.50	175.90	168.90
E	<b>Ww (g):</b> Peso del material húmedo <b>Ww=E-C-B</b>	161.34	160.72	153.73
F	<b>Ws (g):</b> Peso del material Seco <b>Ws=F-D-B</b>	149.24	148.12	141.93
W%	<b>W%:</b> Porcentaje de humedad <b>W%=[(E-F)/F]x100</b>	8.11	8.51	8.31
G	<b>Wprom%:</b> Promedio Porcentaje Humedad	<b>8.31</b>		

**Determinación del contenido de humedad: Muestra M-4**

ID	DESCRIPCIÓN	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara	<b>T12</b>	<b>T13</b>	<b>T14</b>
B	<b>Wt (g):</b> Peso del recipiente	26.75	27.82	25.82
C	<b>Wmh + Wt (g):</b> Material Natural + Recipiente	99.66	93.82	103.41
D	<b>Wms + Wt (g):</b> Material Seco + Recipiente	92.19	86.94	95.95
E	<b>Ww (g):</b> Peso del material húmedo <b>Ww=E-C-B</b>	72.91	66.00	77.59
F	<b>Ws (g):</b> Peso del material Seco <b>Ws=F-D-B</b>	65.44	59.12	70.13
W%	<b>W%:</b> Porcentaje de humedad <b>W%=[(E-F) /F]x100</b>	11.42	11.64	10.64
G	<b>Wprom%:</b> Promedio Porcentaje Humedad	<b>11.23</b>		

**Determinación del contenido de humedad: Muestra M-5**

ID	DESCRIPCIÓN	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara	<b>T8</b>	<b>T9</b>	<b>T10</b>
B	Wt (g): Peso del recipiente	27.22	28.69	27.16
C	Wmh + Wt (g): Material Natural + Recipiente	148.90	141.24	125.55
D	Wms + Wt (g): Material Seco + Recipiente	138.02	131.21	116.77
E	Ww (g): Peso del material húmedo Ww=E-C-B	121.68	112.55	98.39
F	Ws (g): Peso del material Seco Ws=F-D-B	110.80	102.52	89.61
W%	W%: Porcentaje de humedad W%=[(E-F) /F]x100	9.82	9.78	9.80
G	Wprom%: Promedio Porcentaje Humedad	<b>9.80</b>		

**Determinación del contenido de humedad: Muestra M-6**

ID	DESCRIPCIÓN	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara	<b>T16</b>	<b>T17</b>	<b>T18</b>
B	Wt (g): Peso del recipiente	27.52	26.45	26.88
C	Wmh + Wt (g): Material Natural + Recipiente	170.30	160.30	159.35
D	Wms + Wt (g): Material Seco + Recipiente	157.30	147.60	147.21
E	Ww (g): Peso del material húmedo Ww=E-C-B	142.78	133.85	132.47
F	Ws (g): Peso del material Seco Ws=F-D-B	129.78	121.15	120.33
W%	W%: Porcentaje de humedad W%=[(E-F)/F]x100	10.02	10.48	10.09
G	Wprom%: Promedio Porcentaje Humedad	<b>10.20</b>		

**Determinación del contenido de humedad: Muestra M-7**

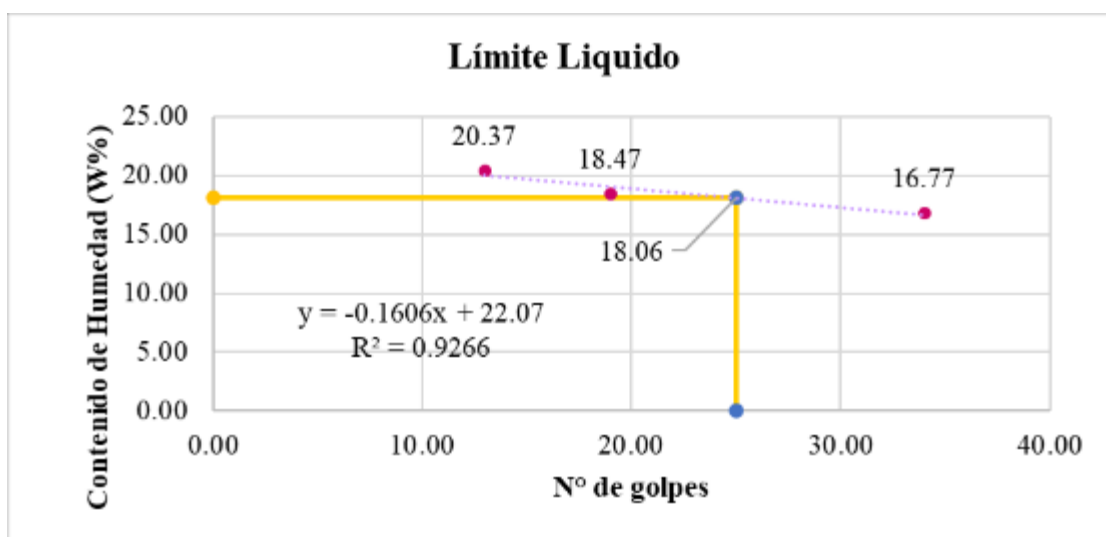
ID	DESCRIPCIÓN	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara	T20	T21	T22
B	Wt (g): Peso del recipiente	28.58	28.66	28.51
C	Wmh + Wt (g): Material Natural + Recipiente	163.20	168.40	155.70
D	Wms + Wt (g): Material Seco + Recipiente	152.90	158.20	146.70
E	Ww (g): Peso del material húmedo Ww=E-C-B	134.62	139.74	127.19
F	Ws (g): Peso del material Seco Ws=F-D-B	124.32	129.54	118.19
W%	W%: Porcentaje de humedad W%=[(E-F)/F]x100	8.29	7.87	7.61
G	Wprom%: Promedio Porcentaje Humedad	7.92		



**Determinación del Límite Líquido: Muestra M-1**

ID	DESCRIPCIÓN	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara	T8	T9	T10
B	Wt (g): Peso del recipiente	27.22	28.69	27.16
C	Wmh + Wt (g): Material Natural + Recipiente	48.88	41.39	40.69
D	Wms + Wt (g): Material Seco + Recipiente	45.77	39.41	38.40
E	Ww (g): Peso del material húmedo Ww=E-C-B	21.66	12.70	13.53
F	Ws (g): Peso del material Seco Ws=F-D-B	18.55	10.72	11.24
H	Wagua (g): Peso del agua Wagua=H=E-F	3.11	1.98	2.29
#	Nº de golpes	34.00	19.00	13.00
W%	W%: Porcentaje de humedad W%=[(E-F) /F]x100	16.77	18.47	20.37

**Figura para determinación de Límite Líquido: Muestra M-1**



Para calcular el límite líquido, empleamos la gráfica con el valor del contenido de humedad a los 25 golpes.

**-Límite líquido: 18.06 %**

**Determinación del Límite Plástico: Muestra M-1**

DESCRIPCIÓN	1	2
Identificación del recipiente o Tara	<b>T11</b>	<b>T12</b>
<b>Wt (g):</b> Peso del recipiente	27.26	26.75
<b>Wmh + Wt (g):</b> Material Natural + Recipiente	37.72	34.64
<b>Wms + Wt (g):</b> Material Seco + Recipiente	36.69	33.57
<b>Ww (g):</b> Peso del material húmedo	10.46	7.89
<b>Ws (g):</b> Peso del material Seco	9.43	6.82
<b>W%:</b> Porcentaje de humedad	10.92	15.69
<b>Límite plástico (%):</b> promedio del (%) de contenido de humedad	<b>13.31</b>	

**Determinación del Índice de Plasticidad: Muestra M-1**

Para calcular el Índice de Plasticidad (**IP**), se determina la diferencia del Límite Líquido (**LL**) y el Límite Plástico (**LP**):

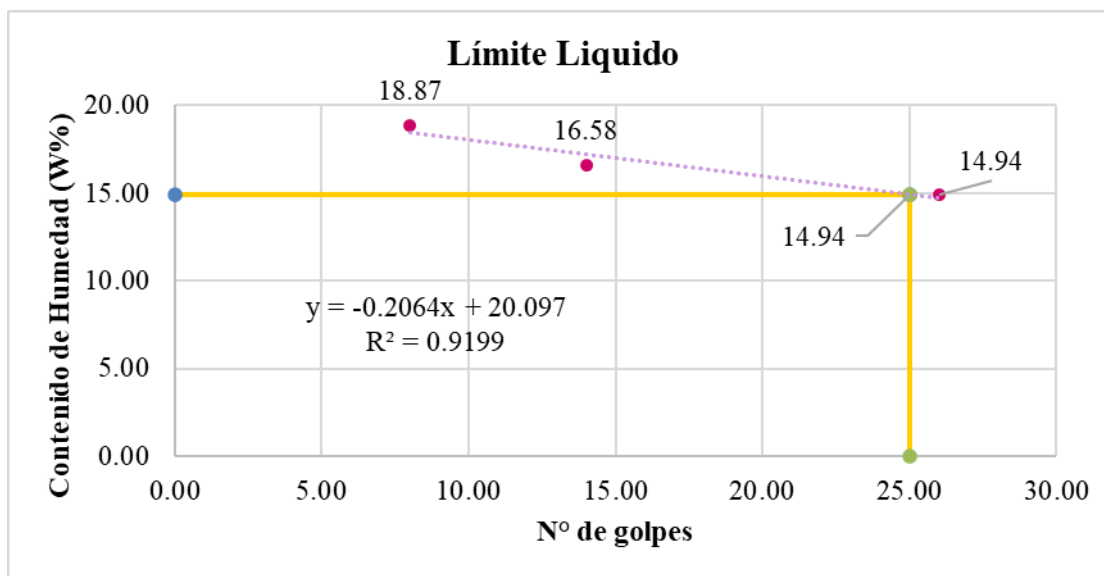
$$IP = LL - LP$$

<b>Límite Líquido (LL)</b>	18.06
<b>Límite Plástico (LP)</b>	13.31
<b>Índice de Plasticidad (IP)</b>	<b>4.75</b>

**Determinación del Límite Líquido: Muestra M-2**

ID	DESCRIPCIÓN	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara	T1	T2	T3
B	Wt (g): Peso del recipiente	27.80	27.68	28.22
C	Wmh + Wt (g): Material Natural + Recipiente	43.80	40.28	40.95
D	Wms + Wt (g): Material Seco + Recipiente	41.72	38.28	39.14
E	Ww (g): Peso del material húmedo Ww=E-C-B	16.00	12.60	12.73
F	Ws (g): Peso del material Seco Ws=F-D-B	13.92	10.60	10.92
H	Wagua (g): Peso del agua Wagua=H-E-F	2.08	2.00	1.81
#	Nº de golpes	26.00	8.00	14.00
W%	W%: Porcentaje de humedad W%=[(E-F) /F]x100	14.94	18.87	16.58

**Figura para determinación de Límite Líquido: Muestra M-2**



Para calcular el límite líquido, empleamos la gráfica con el valor del contenido de humedad a los 25 golpes.

**-Límite líquido: 14.94 %**

**Determinación del Límite Plástico: Muestra M-2**

DESCRIPCIÓN	1	2
Identificación del recipiente o Tara	<b>T4</b>	<b>T5</b>
<b>Wt (g):</b> Peso del recipiente	26.54	27.55
<b>Wmh + Wt (g):</b> Material Natural + Recipiente	32.12	38.33
<b>Wms + Wt (g):</b> Material Seco + Recipiente	31.49	36.88
<b>Ww (g):</b> Peso del material húmedo	5.58	10.78
<b>Ws (g):</b> Peso del material Seco	4.95	9.33
<b>W%:</b> Porcentaje de humedad	12.73	15.54
<b>Límite plástico (%):</b> promedio del (%) de contenido de humedad	<b>14.13</b>	

**Determinación del Índice de Plasticidad: Muestra M-2**

Para calcular el Índice de Plasticidad (**IP**), se determina la diferencia del Límite Líquido (**LL**) y el Límite Plástico (**LP**):

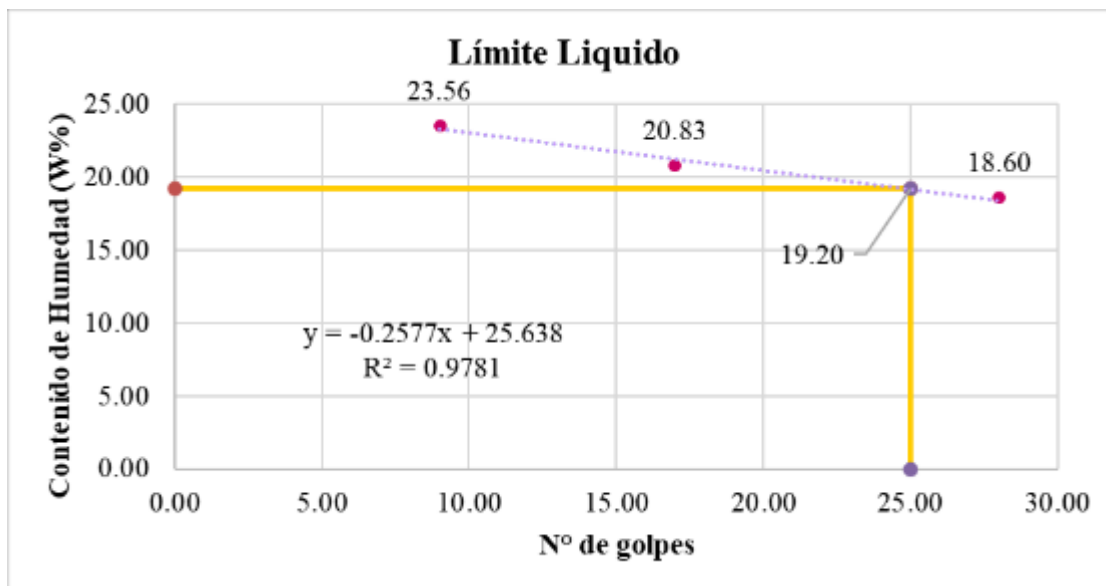
$$\mathbf{IP = LL - LP}$$

<b>Límite Líquido (LL)</b>	14.94
<b>Límite Plástico (LP)</b>	14.13
<b>Índice de Plasticidad (IP)</b>	<b>0.80</b>

**Determinación del Límite Líquido: Muestra M-3**

ID	DESCRIPCIÓN	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara	T10	T11	T12
B	Wt (g): Peso del recipiente	27.16	27.26	26.75
C	Wmh + Wt (g): Material Natural + Recipiente	38.00	37.70	37.50
D	Wms + Wt (g): Material Seco + Recipiente	36.30	35.90	35.45
E	Ww (g): Peso del material húmedo Ww=E=C-B	10.84	10.44	10.75
F	Ws (g): Peso del material Seco Ws=F=D-B	9.14	8.64	8.70
H	Wagua (g): Peso del agua Wagua=H=E-F	1.70	1.80	2.05
#	Nº de golpes	28.00	17.00	9.00
W%	W%: Porcentaje de humedad W%=[(E-F)/F]x100	18.60	20.83	23.56

**Figura para determinación de Límite Líquido: Muestra M-3**



Para calcular el límite líquido, empleamos la gráfica con el valor del contenido de humedad a los 25 golpes.

**-Límite líquido: 19.20 %**

**Determinación del Límite Plástico: Muestra M-3**

DESCRIPCIÓN	1	2
Identificación del recipiente o Tara	<b>T1</b>	<b>T2</b>
<b>Wt (g):</b> Peso del recipiente	27.80	27.68
<b>Wmh + Wt (g):</b> Material Natural + Recipiente	33.40	35.70
<b>Wms + Wt (g):</b> Material Seco + Recipiente	32.80	34.80
<b>Ww (g):</b> Peso del material húmedo	5.60	8.02
<b>Ws (g):</b> Peso del material Seco	5.00	7.12
<b>W%:</b> Porcentaje de humedad	12.00	12.64
<b>Límite plástico (%):</b> promedio del (%) de contenido de humedad	<b>12.32</b>	

**Determinación del Índice de Plasticidad: Muestra M-3**

Para calcular el Índice de Plasticidad (**IP**), se determina la diferencia del Límite Líquido (**LL**) y el Límite Plástico (**LP**):

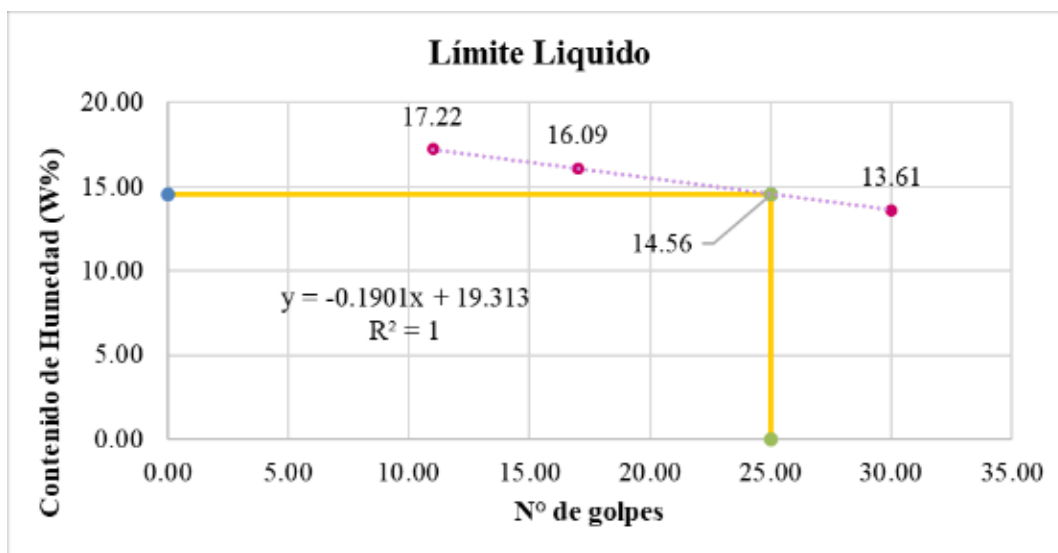
$$\mathbf{IP = LL - LP}$$

<b>Límite Líquido (LL)</b>	19.20
<b>Límite Plástico (LP)</b>	12.32
<b>Índice de Plasticidad (IP)</b>	<b>6.88</b>

**Determinación del Límite Líquido: Muestra M-4**

ID	DESCRIPCIÓN	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara	T13	T14	T15
B	Wt (g): Peso del recipiente	27.82	25.82	26.97
C	Wmh + Wt (g): Material Natural + Recipiente	49.44	48.42	49.27
D	Wms + Wt (g): Material Seco + Recipiente	46.85	45.10	46.18
E	Ww (g): Peso del material húmedo Ww=E-C-B	21.62	22.60	22.30
F	Ws (g): Peso del material Seco Ws=F-D-B	19.03	19.28	19.21
H	Wagua (g): Peso del agua Wagua=H-E-F	2.59	3.32	3.09
#	Nº de golpes	30.00	11.00	17.00
W%	W%: Porcentaje de humedad W%=[(E-F)/F]x100	13.61	17.22	16.09

**Figura para determinación de Límite Líquido: Muestra M-4**



Para calcular el límite líquido, empleamos la gráfica con el valor del contenido de humedad a los 25 golpes.

**-Límite líquido: 14.56 %**

**Determinación del Límite Plástico: Muestra M-4**

DESCRIPCIÓN	1	2
Identificación del recipiente o Tara	<b>T6</b>	<b>T7</b>
<b>Wt (g):</b> Peso del recipiente	27.78	27.52
<b>Wmh + Wt (g):</b> Material Natural + Recipiente	31.95	32.40
<b>Wms + Wt (g):</b> Material Seco + Recipiente	31.50	31.70
<b>Ww (g):</b> Peso del material húmedo	4.17	4.88
<b>Ws (g):</b> Peso del material Seco	3.72	4.18
<b>W%:</b> Porcentaje de humedad	12.10	16.75
<b>Límite plástico (%):</b> promedio del (%) de contenido de humedad	<b>14.42</b>	

**Determinación del Índice de Plasticidad: Muestra M-4**

Para calcular el Índice de Plasticidad (**IP**), se determina la diferencia del Límite Líquido (**LL**) y el Límite Plástico (**LP**):

$$IP = LL - LP$$

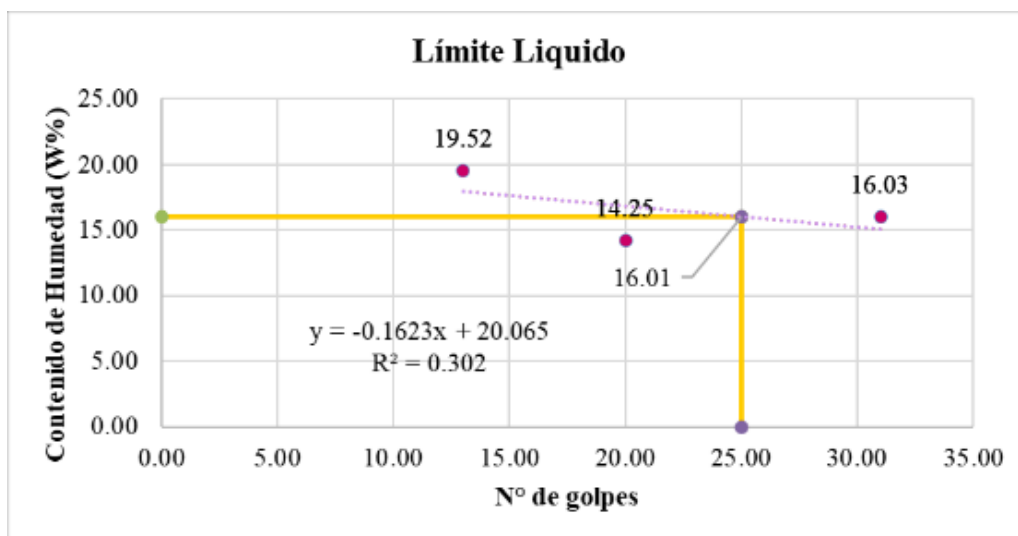
<b>Límite Líquido (LL)</b>	14.56
<b>Límite Plástico (LP)</b>	14.42
<b>Índice de Plasticidad (IP)</b>	<b>0.14</b>



**Determinación del Límite Líquido: Muestra M-5**

ID	DESCRIPCIÓN	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara	T16	T17	T18
B	Wt (g): Peso del recipiente	27.52	26.45	26.88
C	Wmh + Wt (g): Material Natural + Recipiente	46.50	46.73	45.70
D	Wms + Wt (g): Material Seco + Recipiente	43.40	44.20	43.10
E	Ww (g): Peso del material húmedo Ww=E-C-B	18.98	20.28	18.82
F	Ws (g): Peso del material Seco Ws=F-D-B	15.88	17.75	16.22
H	Wagua (g): Peso del agua Wagua=H=E-F	3.10	2.53	2.60
#	Nº de golpes	13.00	20.00	31.00
W%	W%: Porcentaje de humedad W%=[(E-F)/F]x100	19.52	14.25	16.03

**Figura para determinación de Límite Líquido: Muestra M-5**



Para calcular el límite líquido, empleamos la gráfica con el valor del contenido de humedad a los 25 golpes.

**-Límite líquido: 16.01 %**

**Determinación del Límite Plástico: Muestra M-5**

DESCRIPCIÓN	1	2
Identificación del recipiente o Tara	<b>T19</b>	<b>T20</b>
<b>Wt (g):</b> Peso del recipiente	28.50	28.58
<b>Wmh + Wt (g):</b> Material Natural + Recipiente	32.83	34.70
<b>Wms + Wt (g):</b> Material Seco + Recipiente	32.32	33.90
<b>Ww (g):</b> Peso del material húmedo	4.33	6.12
<b>Ws (g):</b> Peso del material Seco	3.82	5.32
<b>W%:</b> Porcentaje de humedad	13.35	15.04
<b>Límite plástico (%):</b> promedio del (%) de contenido de humedad	<b>14.19</b>	

**Determinación del Índice de Plasticidad: Muestra M-5**

Para calcular el Índice de Plasticidad (**IP**), se determina la diferencia del Límite Líquido (**LL**) y el Límite Plástico (**LP**):

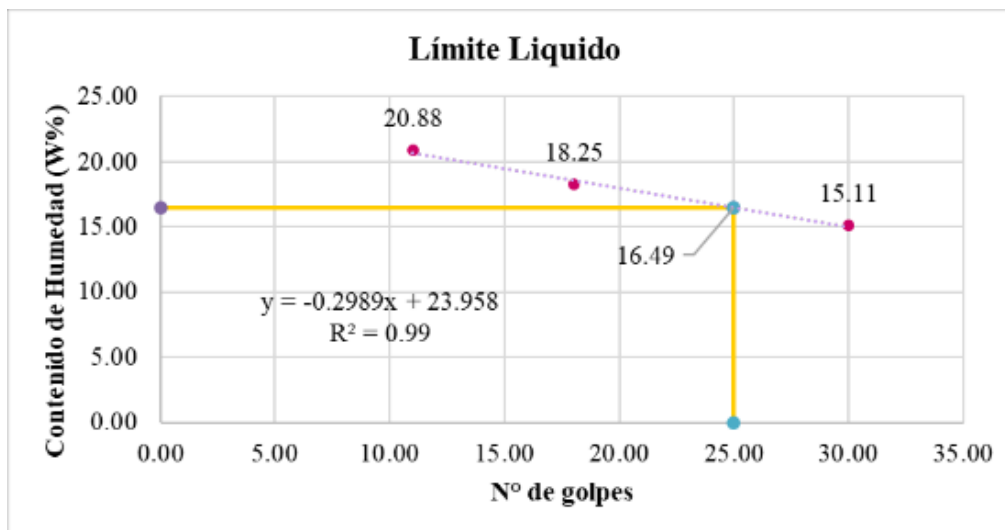
$$IP = LL - LP$$

<b>Límite Líquido (LL)</b>	16.01
<b>Límite Plástico (LP)</b>	14.19
<b>Índice de Plasticidad (IP)</b>	<b>1.81</b>

**Determinación del Límite Líquido: Muestra M-6**

ID	DESCRIPCIÓN	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara	T19	T20	T21
B	Wt (g): Peso del recipiente	28.50	28.58	28.66
C	Wmh + Wt (g): Material Natural + Recipiente	39.50	38.30	37.80
D	Wms + Wt (g): Material Seco + Recipiente	37.60	36.80	36.60
E	Ww (g): Peso del material húmedo Ww=E-C-B	11.00	9.72	9.14
F	Ws (g): Peso del material Seco Ws=F-D-B	9.10	8.22	7.94
H	Wagua (g): Peso del agua Wagua=H=E-F	1.90	1.50	1.20
#	Nº de golpes	11.00	18.00	30.00
W%	W%: Porcentaje de humedad W%=[(E-F)/F]x100	20.88	18.25	15.11

**Figura para determinación de Límite Líquido: Muestra M-6**



Para calcular el límite líquido, empleamos la gráfica con el valor del contenido de humedad a los 25 golpes.

**-Límite líquido: 16.49 %**

**Determinación del Límite Plástico: Muestra M-6**

DESCRIPCIÓN	1	2
Identificación del recipiente o Tara	<b>T13</b>	<b>T14</b>
<b>Wt (g):</b> Peso del recipiente	27.82	25.82
<b>Wmh + Wt (g):</b> Material Natural + Recipiente	35.20	36.30
<b>Wms + Wt (g):</b> Material Seco + Recipiente	34.20	35.30
<b>Ww (g):</b> Peso del material húmedo	7.38	10.48
<b>Ws (g):</b> Peso del material Seco	6.38	9.48
<b>W%:</b> Porcentaje de humedad	15.67	10.55
<b>Límite plástico (%):</b> promedio del (%) de contenido de humedad	<b>13.11</b>	

**Determinación del Índice de Plasticidad: Muestra M-6**

Para calcular el Índice de Plasticidad (**IP**), se determina la diferencia del Límite Líquido (**LL**) y el Límite Plástico (**LP**):

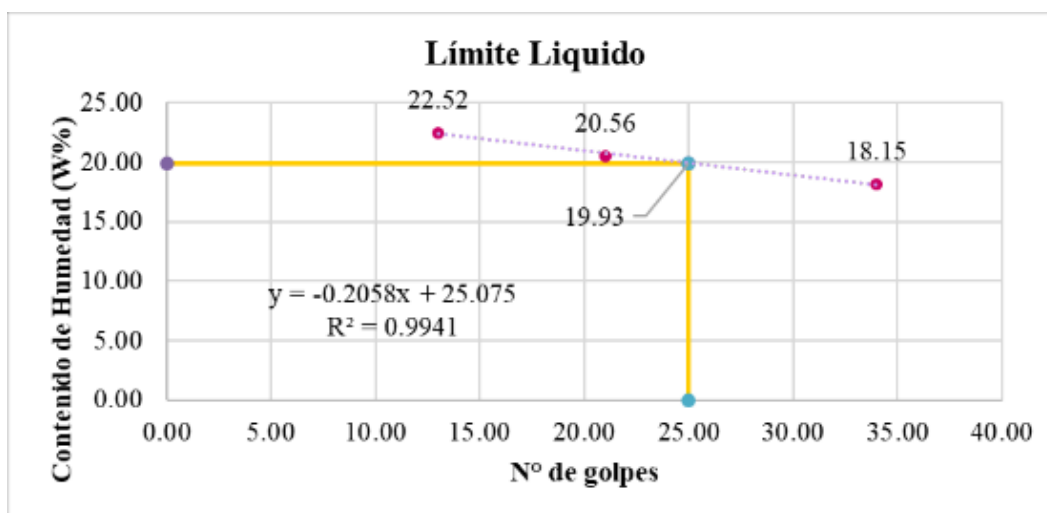
$$\mathbf{IP = LL - LP}$$

<b>Límite Líquido (LL)</b>	16.49
<b>Límite Plástico (LP)</b>	13.11
<b>Índice de Plasticidad (IP)</b>	<b>3.37</b>

**Determinación del Límite Líquido: Muestra M-7**

ID	DESCRIPCIÓN	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara	T22	T23	T24
B	Wt (g): Peso del recipiente	28.51	28.60	28.53
C	Wmh + Wt (g): Material Natural + Recipiente	48.82	41.50	40.50
D	Wms + Wt (g): Material Seco + Recipiente	45.70	39.30	38.30
E	Ww (g): Peso del material húmedo Ww=E-C-B	20.31	12.90	11.97
F	Ws (g): Peso del material Seco Ws=F-D-B	17.19	10.70	9.77
H	Wagua (g): Peso del agua Wagua=H=E-F	3.12	2.20	2.20
#	Nº de golpes	34.00	21.00	13.00
W%	W%: Porcentaje de humedad W%=[(E-F)/F]x100	18.15	20.56	22.52

**Figura para determinación de Límite Líquido: Muestra M-7**



Para calcular el límite líquido, empleamos la gráfica con el valor del contenido de humedad a los 25 golpes.

**-Límite líquido: 19.93 %**

**Determinación del Límite Plástico: Muestra M-7**

DESCRIPCIÓN	1	2
Identificación del recipiente o Tara	<b>T8</b>	<b>T9</b>
<b>Wt (g):</b> Peso del recipiente	27.22	28.69
<b>Wmh + Wt (g):</b> Material Natural + Recipiente	39.40	40.10
<b>Wms + Wt (g):</b> Material Seco + Recipiente	38.10	38.90
<b>Ww (g):</b> Peso del material húmedo	12.18	11.41
<b>Ws (g):</b> Peso del material Seco	10.88	10.21
<b>W%:</b> Porcentaje de humedad	11.95	11.75
<b>Límite plástico (%):</b> promedio del (%) de contenido de humedad	<b>11.85</b>	

**Determinación del Índice de Plasticidad: Muestra M-7**

Para calcular el Índice de Plasticidad (**IP**), se determina la diferencia del Límite Líquido (**LL**) y el Límite Plástico (**LP**):

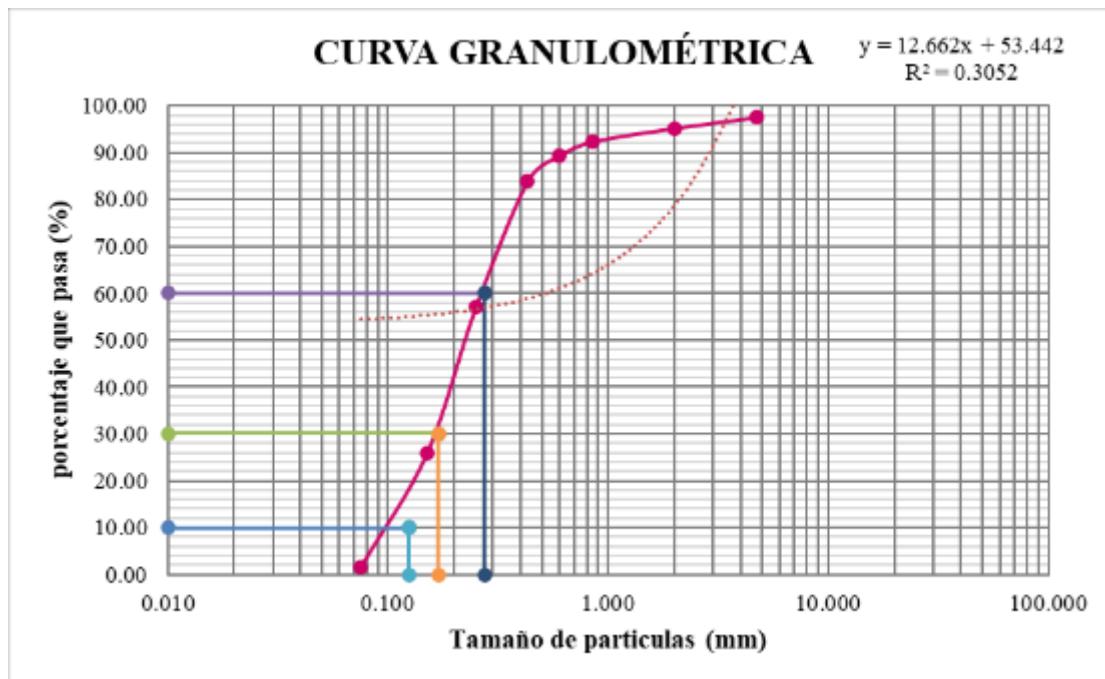
$$\mathbf{IP = LL - LP}$$

<b>Límite Líquido (LL)</b>	19.93
<b>Límite Plástico (LP)</b>	11.85
<b>Índice de Plasticidad (IP)</b>	<b>8.08</b>

**Granulometría por tamizado en seco: Muestra M-1**

PESO MUESTRA SECA, $W_s$ (gr)		285.98			
GRANULOMETRIA POR TAMIZADO EN LAVADO					
TAMIZ		P.R.P (gr)	%RP	%RA	% QUE PASA
Nº	ABER (mm)				
Nº 4	4.750	7.09	2.48	2.48	97.52
Nº 10	2.000	6.57	2.30	4.78	95.22
Nº 20	0.850	8.24	2.88	7.66	92.34
Nº 30	0.600	8.63	3.02	10.68	89.32
Nº 40	0.430	15.41	5.39	16.06	83.94
Nº 60	0.250	76.87	26.88	42.94	57.06
Nº 100	0.150	89.20	31.19	74.13	25.87
Nº 200	0.075	69.54	24.32	98.45	1.55
CAZOLETA	0.000	4.43	1.55	100.00	0.00
TOTAL		285.98	100.00		

**Gráfico de la curva granulométrica: Muestra M-1**



ARCILLA	LIMO	FINA	MEDIA	GRUESA	FINA	MEDIA	GRUESA
		ARENA			GRAVA		

**Determinación del Coeficiente de Uniformidad (Cu) y el Coeficiente de Curvatura (Cc):**  
*Muestra M-1*

Para calcular los valores de las dimensiones **D10**, **D30** y **D60**, se emplea una fórmula general en función a la abertura de los tamices en (mm) y el % que pasa por estos tamices:

❖ Fórmula para cálculo de D10, D30 y D60:

$$Dx = \frac{D2-D1}{LOG\%2-LOG\%1} * (LOG\%x - LOG\%1) + D1$$

Para calcular el Coeficiente de Uniformidad (**Cu**) y el Coeficiente de Curvatura (**Cc**), se emplean fórmulas generales en función a **D10**, **D30** y **D60**.

❖ Fórmula para cálculo de coeficientes:

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

$$Cc = \frac{(D30)^2}{D60 * D10}$$

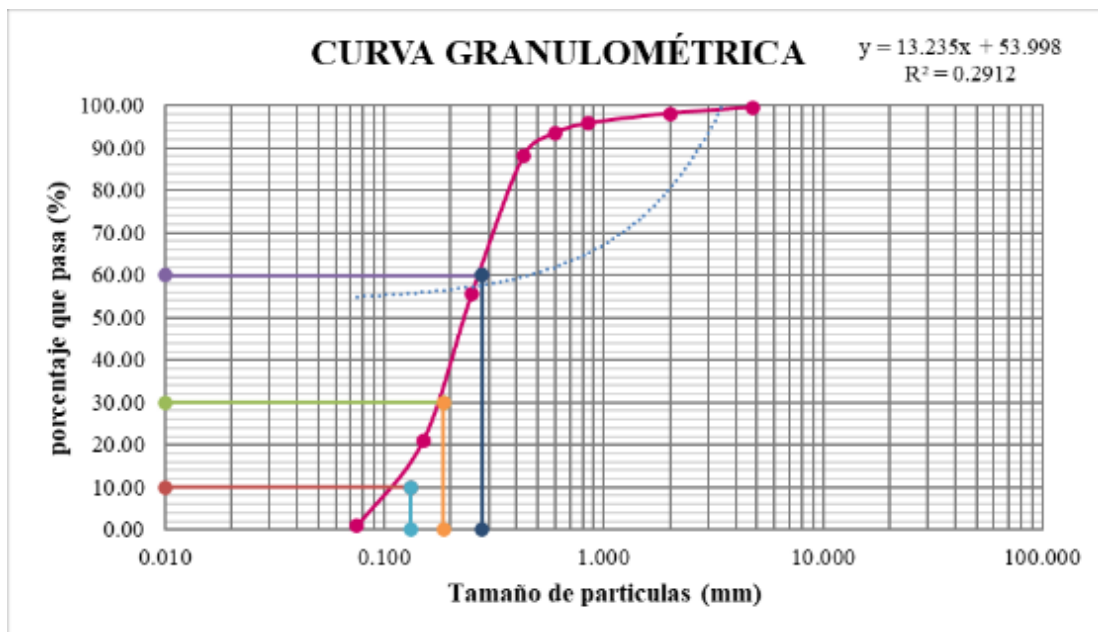
<b>D10</b>	<b>D30</b>	<b>D60</b>
0.125	0.169	0.273
<b>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (Cu)</b>		<b>COEFICIENTE DE CURVATURA (Cc)</b>
2.193		0.835



**Granulometría por tamizado en seco: Muestra M-2**

PESO MUESTRA SECA, W <sub>s</sub> (gr)		381.44			
GRANULOMETRIA POR TAMIZADO EN LAVADO					
TAMIZ		P.R.P (gr)	%RP	%RA	% QUE PASA
Nº	ABER (mm)				
Nº 4	4.750	1.98	0.52	0.52	99.48
Nº 10	2.000	5.31	1.39	1.91	98.09
Nº 20	0.850	8.83	2.31	4.23	95.77
Nº 30	0.600	9.01	2.36	6.59	93.41
Nº 40	0.430	20.18	5.29	11.88	88.12
Nº 60	0.250	123.98	32.50	44.38	55.62
Nº 100	0.150	131.91	34.58	78.96	21.04
Nº 200	0.075	76.57	20.07	99.04	0.96
CAZOLETA	0.000	3.67	0.96	100.00	0.00
TOTAL		381.44	100.00		

**Gráfico de la curva granulométrica: Muestra M-2**



ARCILLA	LIMO	FINA	MEDIA	GRUESA	FINA	MEDIA	GRUESA
		ARENA			GRAVA		

**Determinación del Coeficiente de Uniformidad (Cu) y el Coeficiente de Curvatura (Cc):**  
*Muestra M-2*

Para calcular los valores de las dimensiones **D10**, **D30** y **D60**, se emplea una fórmula general en función a la abertura de los tamices en (mm) y el % que pasa por estos tamices:

❖ Fórmula para cálculo de D10, D30 y D60:

$$Dx = \frac{D2-D1}{LOG\%2-LOG\%1} * (LOG\%x - LOG\%1) + D1$$

Para calcular el Coeficiente de Uniformidad (**Cu**) y el Coeficiente de Curvatura (**Cc**), se emplean fórmulas generales en función a **D10**, **D30** y **D60**.

❖ Fórmula para cálculo de coeficientes:

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

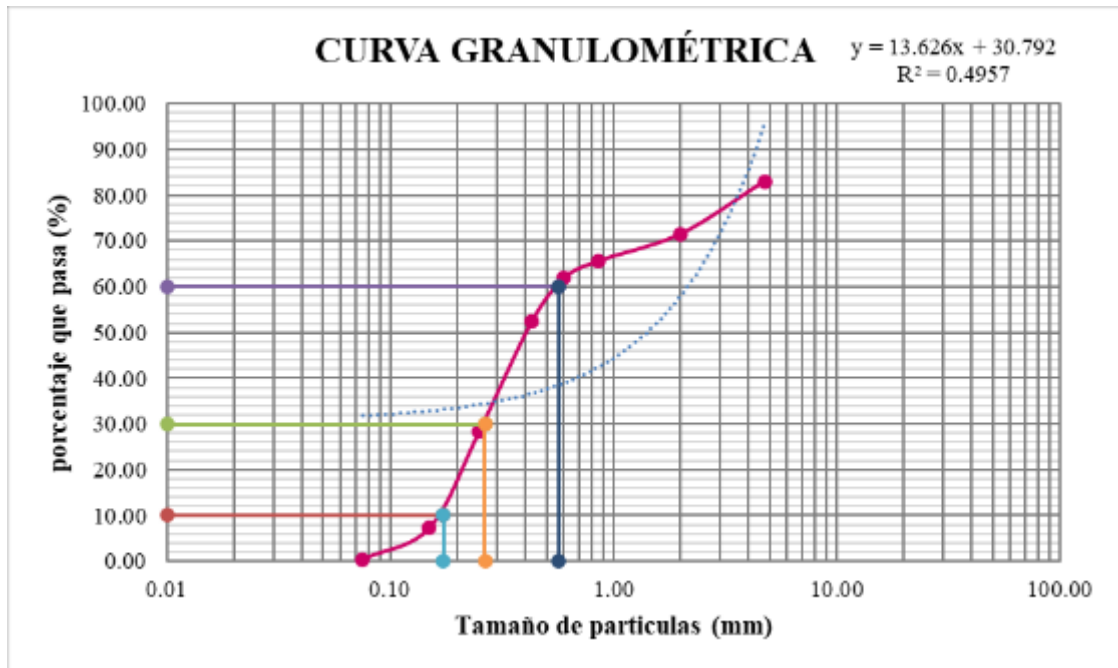
$$Cc = \frac{(D30)^2}{D60 * D10}$$

<b>D10</b>	<b>D30</b>	<b>D60</b>
0.132	0.187	0.280
<b>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (Cu)</b>		<b>COEFICIENTE DE CURVATURA (Cc)</b>
2.120		0.943

**Granulometría por tamizado en seco: Muestra M-3**

PESO MUESTRA SECA, $W_s$ (gr)		255.20			
GRANULOMETRIA POR TAMIZADO EN LAVADO					
TAMIZ		P.R.P (gr)	%RP	%RA	% QUE PASA
Nº	ABER (mm)				
Nº 4	4.75	43.39	17.00	17.00	83.00
Nº 10	2.00	29.35	11.50	28.50	71.50
Nº 20	0.85	15.21	5.96	34.46	65.54
Nº 30	0.60	9.48	3.71	38.18	61.82
Nº 40	0.43	24.07	9.43	47.61	52.39
Nº 60	0.25	61.13	23.95	71.56	28.44
Nº 100	0.15	53.86	21.11	92.67	7.33
Nº 200	0.08	17.73	6.95	99.62	0.38
CAZOLETA	0.00	0.98	0.38	100.00	0.00
TOTAL		255.20	100.00		

**Gráfico de la curva granulométrica: Muestra M-3**



ARCILLA	LIMO	FINA	MEDIA	GRUESA	FINA	MEDIA	GRUESA
		ARENA			GRAVA		

**Determinación del Coeficiente de Uniformidad (Cu) y el Coeficiente de Curvatura (Cc):**  
*Muestra M-3*

Para calcular los valores de las dimensiones **D10**, **D30** y **D60**, se emplea una fórmula general en función a la abertura de los tamices en (mm) y el % que pasa por estos tamices:

❖ Fórmula para cálculo de D10, D30 y D60:

$$Dx = \frac{D2-D1}{LOG\%2-LOG\%1} * (LOG\%x - LOG\%1) + D1$$

Para calcular el Coeficiente de Uniformidad (**Cu**) y el Coeficiente de Curvatura (**Cc**), se emplean fórmulas generales en función a **D10**, **D30** y **D60**.

❖ Fórmula para cálculo de coeficientes:

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

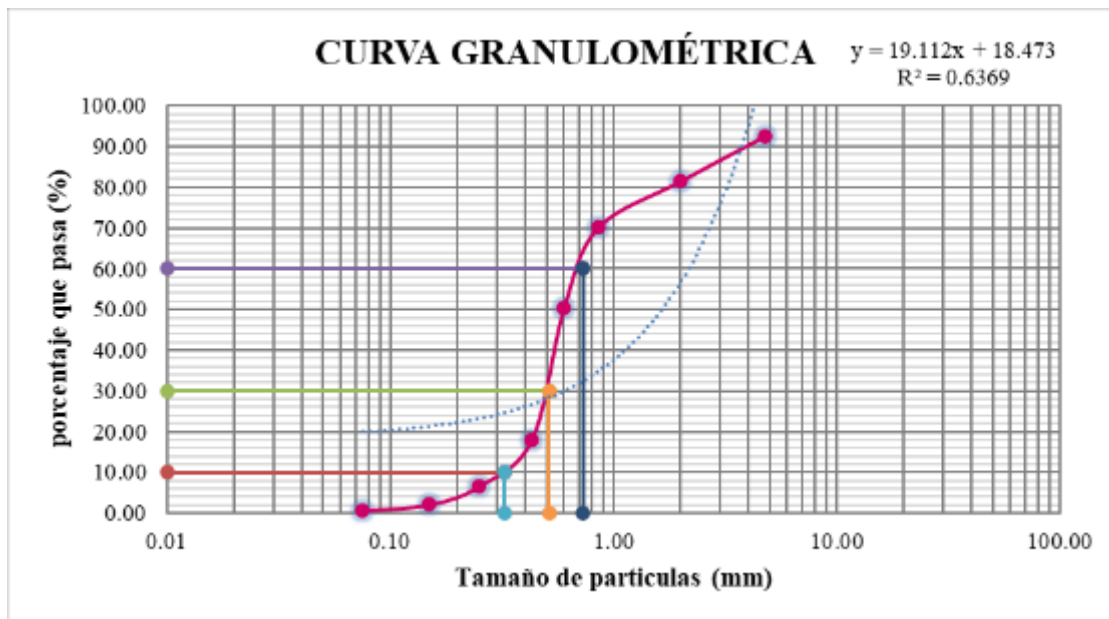
$$Cc = \frac{(D30)^2}{D60 * D10}$$

<b>D10</b>	<b>D30</b>	<b>D60</b>
0.173	0.266	0.569
<b>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (Cu)</b>		<b>COEFICIENTE DE CURVATURA (Cc)</b>
3.293		0.718

**Granulometría por tamizado en seco: Muestra M-4**

PESO MUESTRA SECA, $W_s$ (gr)		362.57			
GRANULOMETRIA POR TAMIZADO EN LAVADO					
TAMIZ		P.R.P (gr)	%RP	%RA	% QUE PASA
Nº	ABER (mm)				
Nº 4	4.75	27.30	7.53	7.53	92.47
Nº 10	2.00	39.69	10.95	18.48	81.52
Nº 20	0.85	41.65	11.49	29.96	70.04
Nº 30	0.60	71.30	19.67	49.63	50.37
Nº 40	0.43	117.34	32.36	81.99	18.01
Nº 60	0.25	41.14	11.35	93.34	6.66
Nº 100	0.15	16.49	4.55	97.89	2.11
Nº 200	0.08	5.44	1.50	99.39	0.61
CAZOLETA	0.00	2.22	0.61	100.00	0.00
TOTAL		362.57	100.00		

**Gráfico de la curva granulométrica: Muestra M-4**



ARCILLA	LIMO	FINA	MEDIA	GRUESA	FINA	MEDIA	GRUESA
		ARENA			GRAVA		

**Determinación del Coeficiente de Uniformidad (Cu) y el Coeficiente de Curvatura (Cc):**  
*Muestra M-4*

Para calcular los valores de las dimensiones **D10**, **D30** y **D60**, se emplea una fórmula general en función a la abertura de los tamices en (mm) y el % que pasa por estos tamices:

❖ Fórmula para cálculo de D10, D30 y D60:

$$Dx = \frac{D2-D1}{LOG\%2-LOG\%1} * (LOG\%x - LOG\%1) + D1$$

Para calcular el Coeficiente de Uniformidad (**Cu**) y el Coeficiente de Curvatura (**Cc**), se emplean fórmulas generales en función a **D10**, **D30** y **D60**.

❖ Fórmula para cálculo de coeficientes:

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

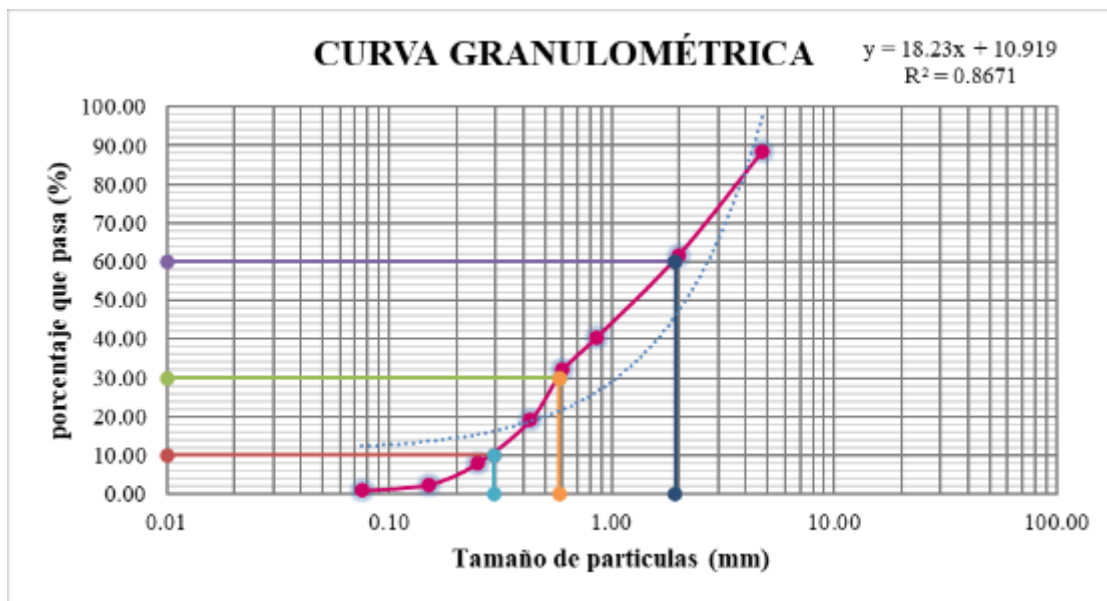
$$Cc = \frac{(D30)^2}{D60 * D10}$$

<b>D10</b>	<b>D30</b>	<b>D60</b>
0.324	0.514	0.733
<b>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (Cu)</b>		<b>COEFICIENTE DE CURVATURA (Cc)</b>
2.265		1.116

**Granulometría por tamizado en seco: Muestra M-5**

PESO MUESTRA SECA, $W_s$ (gr)		255.12			
GRANULOMETRIA POR TAMIZADO EN LAVADO					
TAMIZ		P.R.P (gr)	%RP	%RA	% QUE PASA
Nº	ABER (mm)				
Nº 4	4.75	29.21	11.45	11.45	88.55
Nº 10	2.00	68.24	26.75	38.20	61.80
Nº 20	0.85	54.66	21.43	59.62	40.38
Nº 30	0.60	21.33	8.36	67.98	32.02
Nº 40	0.43	33.00	12.94	80.92	19.08
Nº 60	0.25	28.15	11.03	91.95	8.05
Nº 100	0.15	14.18	5.56	97.51	2.49
Nº 200	0.08	3.87	1.52	99.03	0.97
CAZOLETA	0.00	2.48	0.97	100.00	0.00
TOTAL		255.12	100.00		

**Gráfico de la curva granulométrica: Muestra M-5**



ARCILLA	LIMO	FINA	MEDIA	GRUESA	FINA	MEDIA	GRUESA
		ARENA			GRAVA		

**Determinación del Coeficiente de Uniformidad (Cu) y el Coeficiente de Curvatura (Cc):**  
*Muestra M-5*

Para calcular los valores de las dimensiones **D10**, **D30** y **D60**, se emplea una fórmula general en función a la abertura de los tamices en (mm) y el % que pasa por estos tamices:

❖ Fórmula para cálculo de D10, D30 y D60:

$$Dx = \frac{D2-D1}{LOG\%2-LOG\%1} * (LOG\%x - LOG\%1) + D1$$

Para calcular el Coeficiente de Uniformidad (**Cu**) y el Coeficiente de Curvatura (**Cc**), se emplean fórmulas generales en función a **D10**, **D30** y **D60**.

❖ Fórmula para cálculo de coeficientes:

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

$$Cc = \frac{(D30)^2}{D60 * D10}$$

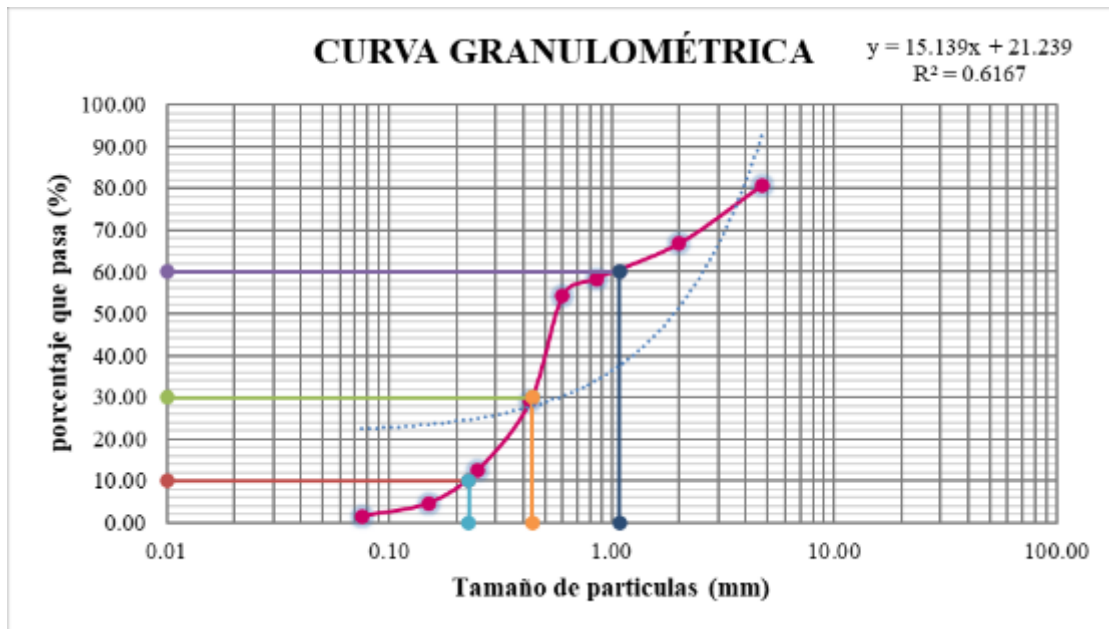
<b>D10</b>	<b>D30</b>	<b>D60</b>
0.295	0.579	1.920
<b>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (Cu)</b>		<b>COEFICIENTE DE CURVATURA (Cc)</b>
6.502		0.591



**Granulometría por tamizado en seco: Muestra M-6**

PESO MUESTRA SECA, $W_s$ (gr)		360.79			
GRANULOMETRIA POR TAMIZADO EN SECO					
TAMIZ		P.R.P (gr)	%RP	%RA	% QUE PASA
Nº	ABER (mm)				
Nº 4	4.75	69.15	19.17	19.17	80.83
Nº 10	2.00	50.74	14.06	33.23	66.77
Nº 20	0.85	30.14	8.35	41.58	58.42
Nº 30	0.60	15.20	4.21	45.80	54.20
Nº 40	0.43	90.84	25.18	70.97	29.03
Nº 60	0.25	59.60	16.52	87.49	12.51
Nº 100	0.15	28.70	7.95	95.45	4.55
Nº 200	0.08	11.20	3.10	98.55	1.45
CAZOLETA	0.00	5.22	1.45	100.00	0.00
TOTAL		360.79	100.00		

**Gráfico de la curva granulométrica: Muestra M-6**



ARCILLA	LIMO	FINA	MEDIA	GRUESA	FINA	MEDIA	GRUESA
		ARENA			GRAVA		

**Determinación del Coeficiente de Uniformidad (Cu) y el Coeficiente de Curvatura (Cc):**  
*Muestra M-6*

Para calcular los valores de las dimensiones **D10**, **D30** y **D60**, se emplea una fórmula general en función a la abertura de los tamices en (mm) y el % que pasa por estos tamices:

❖ Fórmula para cálculo de D10, D30 y D60:

$$Dx = \frac{D2-D1}{LOG\%2-LOG\%1} * (LOG\%x - LOG\%1) + D1$$

Para calcular el Coeficiente de Uniformidad (**Cu**) y el Coeficiente de Curvatura (**Cc**), se emplean fórmulas generales en función a **D10**, **D30** y **D60**.

❖ Fórmula para cálculo de coeficientes:

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

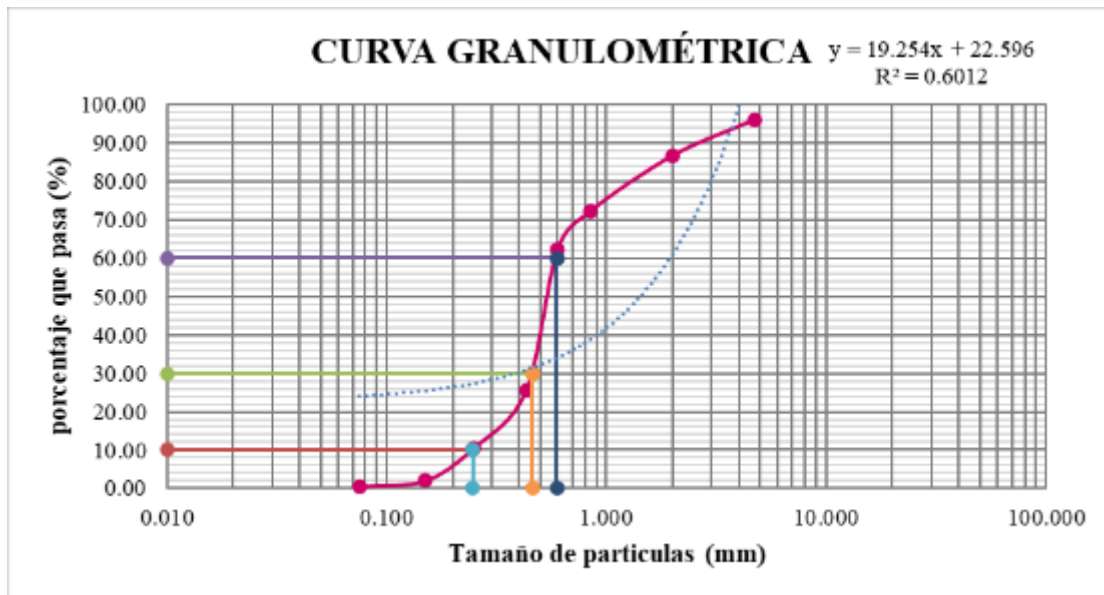
$$Cc = \frac{(D30)^2}{D60 * D10}$$

<b>D10</b>	<b>D30</b>	<b>D60</b>
0.228	0.439	1.080
<b>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (Cu)</b>		<b>COEFICIENTE DE CURVATURA (Cc)</b>
4.740		0.783

**Granulometría por tamizado en seco: Muestra M-7**

PESO MUESTRA SECA, $W_s$ (gr)		268.07			
GRANULOMETRIA POR TAMIZADO EN LAVADO					
TAMIZ		P.R.P (gr)	%RP	%RA	% QUE PASA
Nº	ABER (mm)				
Nº 4	4.750	10.20	3.80	3.80	96.20
Nº 10	2.000	25.24	9.42	13.22	86.78
Nº 20	0.850	38.58	14.39	27.61	72.39
Nº 30	0.600	26.80	10.00	37.61	62.39
Nº 40	0.430	99.19	37.00	74.61	25.39
Nº 60	0.250	39.85	14.87	89.48	10.52
Nº 100	0.150	22.90	8.54	98.02	1.98
Nº 200	0.075	4.15	1.55	99.57	0.43
CAZOLETA	0.000	1.16	0.43	100.00	0.00
TOTAL		268.07	100.00		

**Gráfico de la curva granulométrica: Muestra M-7**



ARCILLA	LIMO	FINA	MEDIA	GRUESA	FINA	MEDIA	GRUESA
		ARENA			GRAVA		

**Determinación del Coeficiente de Uniformidad (Cu) y el Coeficiente de Curvatura (Cc):**  
*Muestra M-7*

Para calcular los valores de las dimensiones **D10**, **D30** y **D60**, se emplea una fórmula general en función a la abertura de los tamices en (mm) y el % que pasa por estos tamices:

❖ Fórmula para cálculo de D10, D30 y D60:

$$Dx = \frac{D2-D1}{LOG\%2-LOG\%1} * (LOG\%x - LOG\%1) + D1$$

Para calcular el Coeficiente de Uniformidad (**Cu**) y el Coeficiente de Curvatura (**Cc**), se emplean fórmulas generales en función a **D10**, **D30** y **D60**.

❖ Fórmula para cálculo de coeficientes:

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

$$Cc = \frac{(D30)^2}{D60 * D10}$$

<b>D10</b>	<b>D30</b>	<b>D60</b>
0.247	0.462	0.593
<b>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (Cu)</b>		<b>COEFICIENTE DE CURVATURA (Cc)</b>
2.400		1.456

**Determinación de Densidad de campo- Método Volumétrico:** Muestras M-1, M-2, M-3, M-4, M-5, M-6 y M-7.

ID	DESCRIPCIÓN	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
A	Peso del molde cilíndrico	103.73	103.18	103.65	104.97	105.86	105.38	104.90
B	Peso de muestra inalterada con el molde cilíndrico	323.68	330.02	309.93	286.79	310.53	326.62	331.76
C	Altura del molde cilíndrico	6.90	6.80	6.95	6.80	7.00	6.90	6.90
D	Diámetro del molde cilíndrico	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60	4.60
E	Volumen del molde cilíndrico: volumen de la muestra ( <b>V<sub>mh</sub></b> )	114.67	113.01	115.50	113.01	116.33	114.67	114.67
F	Peso de la muestra inalterada ( <b>W<sub>mh</sub></b> ) <b>F=B-A</b>	219.95	226.84	206.28	181.82	204.67	221.24	226.86
(G)D	Densidad natural de campo ( <b>W<sub>mh</sub>/V<sub>mh</sub></b> ) <b>(G)D=F/E</b>	1.92	2.01	1.79	1.61	1.76	1.93	1.98

La densidad natural del suelo de las muestras corresponde al cociente entre la masa de un suelo y el volumen total que la contiene. Para este cálculo del volumen que ocupa el material en el terreno se ha empleado contenedores cilíndricos.

**Clasificación de suelo por SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelo): Muestra M-1**

Clasificación de suelos: Sistema unificado de suelos (SUCS)

DATOS PARA CLASIFICACIÓN DE MUESTRA			PROCESO- PARTE I																										
Características de la muestra: <b>M-1</b>																													
Límite Líquido (LL):	18.06		1. Observamos el porcentaje que pasa por la malla N°200																										
Índice de Plasticidad (IP):	4.75		2. Cuando se tiene un suelo grueso: se analiza el % que pasa por el tamiz #4																										
Granulometría:			2.1. Nuevamente analizamos el % que pasa por el tamiz #200																										
N° malla	% retenido acumulado	% Pasa																											
4	2.48	97.52	Si el suelo es fino, vas directamente a la carta de plasticidad																										
40	16.06	83.94	<table border="1"> <thead> <tr> <th>N° malla</th> <th>% retenido acumulado</th> <th>% Pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>200</td> <td>98.45</td> <td>1.55</td> </tr> </tbody> </table>			N° malla	% retenido acumulado	% Pasa	200	98.45	1.55	<table border="1"> <thead> <tr> <th>N° malla</th> <th>% retenido acumulado</th> <th>% Pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4</td> <td>2.48</td> <td>97.52</td> </tr> </tbody> </table>			N° malla	% retenido acumulado	% Pasa	4	2.48	97.52	<table border="1"> <thead> <tr> <th>N° malla</th> <th>% retenido acumulado</th> <th>% Pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>200</td> <td>98.45</td> <td>1.55</td> </tr> </tbody> </table>			N° malla	% retenido acumulado	% Pasa	200	98.45	1.55
N° malla	% retenido acumulado	% Pasa																											
200	98.45	1.55																											
N° malla	% retenido acumulado	% Pasa																											
4	2.48	97.52																											
N° malla	% retenido acumulado	% Pasa																											
200	98.45	1.55																											
200	98.45	1.55	El 1.55% es menor al 50%: es un <b>suelo grueso</b>			El 97.52% es mayor al 50%: son <b>arenas</b>			El % que pasa por el tamiz #200, es el porcentaje de finos que tiene la muestra que se está estudiando: Este es el <b>1.55%</b>																				
D10:	0.125																												
D30:	0.169																												
D60:	0.273																												
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (Cu):	2.193																												
COEFICIENTE DE CURVATURA (Cc):	0.835																												

CASOS Y CRITERIOS PARA CLASIFICACIÓN DE SUELO GRUESO			PROCESO- PARTE II																																														
Para la clasificación de finos, acorde al % que pasa por el tamiz #200, se tiene los siguientes casos:																																																	
<p><b>B.1) Finos &lt; 5 %</b></p> <table border="0"> <tr> <td><b>Arenas</b></td> <td><b>Gravas</b></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SP</td> <td>GP</td> <td></td> </tr> <tr> <td>SW</td> <td>GW</td> <td></td> </tr> </table> <p><b>1</b></p>		<b>Arenas</b>	<b>Gravas</b>		SP	GP		SW	GW		<p><b>B.2) 5 % &lt; Finos &lt; 12 %</b></p> <table border="0"> <tr> <td><b>Arenas</b></td> <td><b>Gravas</b></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SP-SM</td> <td>GP-GM</td> <td><b>1</b></td> </tr> <tr> <td>SP-SC</td> <td>GP-GC</td> <td></td> </tr> <tr> <td>SW-SM</td> <td>GW-GM</td> <td><b>2</b></td> </tr> <tr> <td>SW-SC</td> <td>GW-GC</td> <td></td> </tr> </table>		<b>Arenas</b>	<b>Gravas</b>		SP-SM	GP-GM	<b>1</b>	SP-SC	GP-GC		SW-SM	GW-GM	<b>2</b>	SW-SC	GW-GC		<p><b>B.3) 12 % &lt; Finos</b></p> <table border="0"> <tr> <td><b>Arenas</b></td> <td><b>Gravas</b></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SM</td> <td>GM</td> <td><b>2</b></td> </tr> <tr> <td>SC</td> <td>GC</td> <td></td> </tr> </table> <p>Arena limosa -SM Grava limosa -GM Arena arcillosa -SC Grava arcillosa -GC</p>		<b>Arenas</b>	<b>Gravas</b>		SM	GM	<b>2</b>	SC	GC		<p>2.2. En base a la granulometría (2.1.), determinamos el caso a emplear: [1.55%]</p> <p><b>B.1) Finos &lt; 5 %</b></p> <table border="0"> <tr> <td><b>Arenas</b></td> <td><b>Gravas</b></td> <td></td> </tr> <tr> <td>SP</td> <td>GP</td> <td><b>1</b></td> </tr> <tr> <td>SW</td> <td>GW</td> <td></td> </tr> </table>		<b>Arenas</b>	<b>Gravas</b>		SP	GP	<b>1</b>	SW	GW	
<b>Arenas</b>	<b>Gravas</b>																																																
SP	GP																																																
SW	GW																																																
<b>Arenas</b>	<b>Gravas</b>																																																
SP-SM	GP-GM	<b>1</b>																																															
SP-SC	GP-GC																																																
SW-SM	GW-GM	<b>2</b>																																															
SW-SC	GW-GC																																																
<b>Arenas</b>	<b>Gravas</b>																																																
SM	GM	<b>2</b>																																															
SC	GC																																																
<b>Arenas</b>	<b>Gravas</b>																																																
SP	GP	<b>1</b>																																															
SW	GW																																																
<p>a. Los criterios a emplear serán:</p> <p><b>Granulometría</b></p> <p>SW: <math>Cu &gt; 6; 1 \leq Cc \leq 3</math> GW: <math>Cu &gt; 4; 1 \leq Cc \leq 3</math></p> <p>Cu: 2.193 Cc: 0.835</p> <p>SW: <math>Cu &gt; 6</math> No cumple <math>1 \leq Cc \leq 3</math> No cumple</p> <p>Por lo tanto: La arena será pobremente graduada- SP</p>																																																	
<p><b>1. Granulometría</b></p> <p>SW : <math>Cu &gt; 6; 1 \leq Cc \leq 3</math> <b>1</b> GW : <math>Cu &gt; 4; 1 \leq Cc \leq 3</math></p>			<p><b>2. Límites de Atterberg</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Índice plástico (IP) <b>2</b></li> <li>- Límite Líquido (LL)</li> <li>- Límite Plástico (LP)</li> </ul>																																														
<p><b>Criterios para la clasificación de suelos en los 3 casos</b></p>																																																	
<p>Arena pobremente graduada -SP Grava pobremente graduada -GP Arena bien graduada- SW Grava bien graduada- GW</p> <p>Arena pobremente graduada -SP con partículas de limo -SM Grava pobremente graduada -GP con partículas de limo -GM</p> <p>Arena pobremente graduada -SP con partículas de arcilla- SC Grava pobremente graduada -GP con partículas de arcilla- GC</p> <p>Arena bien graduada- SW con partículas de limo -GM Grava bien graduada -GW con partículas de limo -GM</p> <p>Arena bien graduada- SW con partículas de arcilla- SC Grava bien graduada -GW con partículas de arcilla- GC</p>																																																	

CARTA DE CASAGRANDE PARA CLASIFICACIÓN DE SUELO FINO Y GRUESO		PROCESO- PARTE III	
		<p>LL: - IP: -</p>	
<p>Respuesta:</p> <p>Los datos indican que el suelo es:</p> <div style="border: 2px solid green; padding: 5px; display: inline-block; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">SP</div> <p>Es una arena pobremente graduada</p>			

**Clasificación de suelo por SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelo): Muestra M-2**

Clasificación de suelos: Sistema unificado de suelos (SUCS)

DATOS PARA CLASIFICACIÓN DE MUESTRA			PROCESO- PARTE I					
Características de la muestra: <b>M-2</b>			1. Observamos el porcentaje que pasa por la malla N°200					
Límite Líquido (LL):	14.94					2. Cuando se tiene un suelo grueso: se analiza el % que pasa por el tamiz #4		
Índice de Plasticidad (IP):	0.8					2.1. Nuevamente analizamos el % que pasa por el tamiz #200		
Granulometría:								
N° malla	% retenido acumulado	% Pasa	N° malla	% retenido acumulado	% Pasa	N° malla	% retenido acumulado	% Pasa
4	0.52	99.48	200	99.04	0.96	4	0.52	99.48
40	11.88	88.12	Si el suelo es fino, vas directamente a la carta de plasticidad			200	99.04	0.96
200	99.04	0.96	El 0.96% es menor al 50%: es un <b>suelo grueso</b>			4	0.52	99.48
D10:	0.132		El 99.48% es mayor al 50%: son <b>arenas</b>			200	99.04	0.96
D30:	0.187		El % que pasa por el tamiz #200, es el porcentaje de finos que tiene la muestra que se está estudiando: Este es el <b>0.96%</b>					
D60:	0.28							
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (Cu):	2.12							
COEFICIENTE DE CURVATURA (Cc):	0.943							

**CASOS Y CRITERIOS PARA CLASIFICACIÓN DE SUELO GRUESO**

Para la clasificación de finos, acorde al % que pasa por el tamiz #200, se tiene los siguientes casos:

**B.1) Finos < 5 %**

**B.2) 5 % < Finos < 12 %**

**B.3) 12 % < Finos**

Arenas SP, SW (1)  
Gravas GP, GW (1)

Arenas SP-SM, SP-SC (1)  
Gravas GP-GM, GP-GC (1)

Arenas SW-SM, SW-SC (2)  
Gravas GW-GM, GW-GC (2)

Arenas SM, SC (2)  
Gravas GM, GC (2)

Arena limosa -SM Grava limosa -GM  
Arena arcillosa -SC Grava arcillosa -GC

**Grupos de Suelos:**

- Arena pobremente graduada -SP
- Grava pobremente graduada -GP
- Arena bien graduada- SW
- Grava bien graduada- GW
- Arena pobremente graduada -SP con partículas de limo -SM
- Arena pobremente graduada -SP con partículas de arcilla- SC
- Arena bien graduada- SW con partículas de limo -SM
- Arena bien graduada- SW con partículas de arcilla- SC
- Grava pobremente graduada -GP con partículas de limo -GM
- Grava pobremente graduada -GP con partículas de arcilla- GC
- Grava bien graduada -GW con partículas de limo -GM
- Grava bien graduada -GW con partículas de arcilla- GC

**Criterios para la clasificación de suelos en los 3 casos**

**1. Granulometría**

SW :  $Cu > 6 ; 1 \leq Cc \leq 3$  (1)  
GW :  $Cu > 4 ; 1 \leq Cc \leq 3$  (1)

**2. Límites de Atterberg**

- Índice plástico (IP) (2)
- Límite Líquido (LL)
- Límite Plástico (LP)

**PROCESO- PARTE II**

2.2. En base a la granulometría (2.1.), determinamos el caso a emplear: [0.96%]

**B.1) Finos < 5 %**

Arenas SP, SW (1)  
Gravas GP, GW (1)

a. Los criterios a emplear serán:

**Granulometría**

SW :  $Cu > 6 ; 1 \leq Cc \leq 3$   
GW :  $Cu > 4 ; 1 \leq Cc \leq 3$

Cu: 2.12  
Cc: 0.943

SW:  
 $Cu > 6$  No cumple  
 $1 \leq Cc \leq 3$  No cumple

Por lo tanto: La arena será pobremente graduada- SP

**CARTA DE CASAGRANDE PARA CLASIFICACIÓN DE SUELO FINO Y GRUESO**

LL: -  
IP: -

**PROCESO- PARTE III**

Respuesta:

Los datos indican que el suelo es:

**SP**

Es una arena pobremente graduada

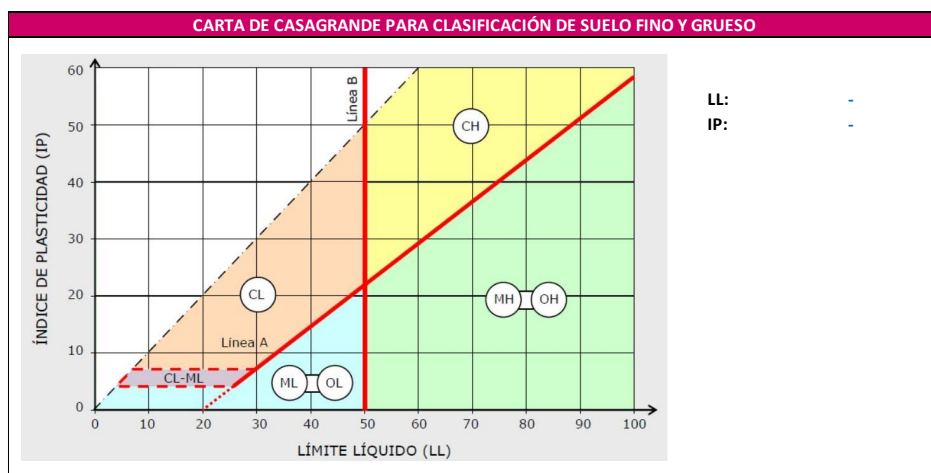
**Clasificación de suelo por SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelo): Muestra M-3**

Clasificación de suelos: Sistema unificado de suelos (SUCS)

DATOS PARA CLASIFICACIÓN DE MUESTRA			PROCESO- PARTE I					
Características de la muestra: <b>M-3</b>			1. Observamos el porcentaje que pasa por la malla N°200		2. Cuando se tiene un suelo grueso: se analiza el % que pasa por el tamiz #4		2.1. Nuevamente analizamos el % que pasa por el tamiz #200	
Límite Líquido (LL):	19.2							
Índice de Plasticidad (IP):	6.88		Si el suelo es fino, vas directamente a la carta de plasticidad					
Granulometría:								
N° malla	% retenido acumulado	% Pasa	N° malla	% retenido acumulado	% Pasa	N° malla	% retenido acumulado	% Pasa
4	17.00	83.00	4	17	83	200	99.62	0.38
40	47.61	52.39	El 0.38% es menor al 50%: es un <b>suelo grueso</b>					
200	99.62	0.38	El 83% es mayor al 50%: son <b>arenas</b>					
D10:	0.173		El % que pasa por el tamiz #200, es el porcentaje de finos que tiene la muestra que se está estudiando: Este es el <b>0.38%</b>					
D30:	0.266							
D60:	0.569							
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (Cu):	3.293							
COEFICIENTE DE CURVATURA (Cc):	0.718							

CASOS Y CRITERIOS PARA CLASIFICACIÓN DE SUELO GRUESO		
Para la clasificación de finos, acorde al % que pasa por el tamiz #200, se tiene los siguientes casos:		
<p><b>B.1) Finos &lt; 5 %</b></p> <p><b>Arenas</b> SP SW</p> <p><b>Gravas</b> GP GW</p> <p>1</p>	<p><b>B.2) 5 % &lt; Finos &lt; 12 %</b></p> <p><b>Arenas</b> SP-SM SP-SC</p> <p><b>Gravas</b> GP-GM GP-GC</p> <p>1</p> <p><b>SW-SM</b> <b>SW-SC</b></p> <p>2</p>	<p><b>B.3) 12 % &lt; Finos</b></p> <p><b>Arenas</b> SM SC</p> <p><b>Gravas</b> GM GC</p> <p>2</p> <p>Arena limosa -SM Grava limosa -GM Arena arcillosa -SC Grava arcillosa -GC</p>
<p><b>Criterios para la clasificación de suelos en los 3 casos</b></p> <p><b>1. Granulometría</b> SW : Cu &gt; 6 ; 1 ≤ Cc ≤ 3 1 GW : Cu &gt; 4 ; 1 ≤ Cc ≤ 3</p> <p><b>2. Límites de Atterberg</b> - Índice plástico (IP) 2 - Límite Líquido (LL) - Límite Plástico (LP)</p>		
<p>Arena pobremente graduada -SP Grava pobremente graduada -GP Arena bien graduada- SW Grava bien graduada- GW</p> <p>Arena pobremente graduada -SP con partículas de limo -SM Grava pobremente graduada -GP con partículas de limo -GM Arena pobremente graduada -SP con partículas de arcilla- SC Grava pobremente graduada -GP con partículas de arcilla- GC</p> <p>Arena bien graduada- SW con partículas de limo -SM Grava bien graduada -GW con partículas de limo -GM Arena bien graduada- SW con partículas de arcilla- SC Grava bien graduada -GW con partículas de arcilla- GC</p>		

PROCESO- PARTE II
2.2. En base a la granulometría (2.1.), determinamos el caso a emplear: [0.38%]
B.1) Finos < 5 %
<p><b>Arenas</b> SP SW</p> <p><b>Gravas</b> GP GW</p> <p>1</p>
a. Los criterios a emplear serán:
Granulometría
SW : Cu > 6 ; 1 ≤ Cc ≤ 3 GW : Cu > 4 ; 1 ≤ Cc ≤ 3
Cu: 3.293 Cc: 0.718
SW: Cu > 6 No cumple 1 ≤ Cc ≤ 3 No cumple
Por lo tanto: La arena será pobremente graduada- SP



PROCESO- PARTE III
Respuesta:
Los datos indican que el suelo es:
<div style="border: 2px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: auto;"> <p><b>SP</b></p> </div>
Es una arena pobremente graduada



**Clasificación de suelo por SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelo): Muestra M-4**

Clasificación de suelos: Sistema unificado de suelos (SUCS)

DATOS PARA CLASIFICACIÓN DE MUESTRA			PROCESO- PARTE I								
Características de la muestra: <b>M-4</b>			1. Observamos el porcentaje que pasa por la malla N°200			2. Cuando se tiene un suelo grueso: se analiza el % que pasa por el tamiz #4			2.1. Nuevamente analizamos el % que pasa por el tamiz #200		
Límite Líquido (LL):	14.56										
Índice de Plasticidad (IP):	0.14										
Granulometría:			Si el suelo es fino, vas directamente a la carta de plasticidad								
N° malla	% retenido acumulado	% Pasa	N° malla	% retenido acumulado	% Pasa	N° malla	% retenido acumulado	% Pasa	N° malla	% retenido acumulado	% Pasa
4	7.53	92.47	200	99.39	0.61	4	7.53	92.47	200	99.39	0.61
40	81.99	18.01	El 0.61% es menor al 50%: es un <b>suelo grueso</b>			El 92.47% es mayor al 50%: son <b>arenas</b>			El % que pasa por el tamiz #200, es el porcentaje de finos que tiene la muestra que se está estudiando: Este es el <b>0.61%</b>		
200	99.39	0.61									
D10:	0.324										
D30:	0.514										
D60:	0.733										
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (Cu):	2.265										
COEFICIENTE DE CURVATURA (Cc):	1.116										

CASOS Y CRITERIOS PARA CLASIFICACIÓN DE SUELO GRUESO					PROCESO- PARTE II	
Para la clasificación de finos, acorde al % que pasa por el tamiz #200, se tiene los siguientes casos:					2.2. En base a la granulometría (2.1.), determinamos el caso a emplear: [0.61%]	
<b>B.1) Finos &lt; 5 %</b> Arenas: SP, SW (1) Gravas: GP, GW (1)		<b>B.2) 5 % &lt; Finos &lt; 12 %</b> Arenas: SP-SM, SP-SC (1), SW-SM, SW-SC (2) Gravas: GP-GM, GP-GC (1), GW-GM, GW-GC (2)		<b>B.3) 12 % &lt; Finos</b> Arenas: SM, SC (2) Gravas: GM, GC (2)		
<b>Criterios para la clasificación de suelos en los 3 casos</b> <b>1. Granulometría</b> SW : $Cu > 6 ; 1 \leq Cc \leq 3$ (1) GW : $Cu > 4 ; 1 \leq Cc \leq 3$ (1)					<b>a. Los criterios a emplear serán:</b> <b>Granulometría</b> SW: $Cu > 6 ; 1 \leq Cc \leq 3$ GW: $Cu > 4 ; 1 \leq Cc \leq 3$ Cu: 2.265 Cc: 1.116 SW: $Cu > 6$ No cumple $1 \leq Cc \leq 3$ Cumple	
<b>2. Límites de Atterberg</b> - Índice plástico (IP) (2) - Límite Líquido (LL) (2) - Límite Plástico (LP) (2)					<b>Aunque cumple con una de las condiciones: La arena será pobremente graduada- SP</b>	

CARTA DE CASAGRANDE PARA CLASIFICACIÓN DE SUELO FINO Y GRUESO		PROCESO- PARTE III	
		LL: - IP: -	
		<b>Respuesta:</b> Los datos indican que el suelo es: <div style="background-color: #008080; color: white; padding: 10px; text-align: center; font-weight: bold; font-size: 24px; margin: 10px 0;">SP</div> Es una arena pobremente graduada	

**Clasificación de suelo por SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelo): Muestra M-5**

Clasificación de suelos: Sistema unificado de suelos (SUCS)

DATOS PARA CLASIFICACIÓN DE MUESTRA		
Características de la muestra: <b>M-5</b>		
Límite Líquido (LL):	16.01	
Índice de Plasticidad (IP):	1.81	
Granulometría:		
N° malla	% retenido acumulado	% Pasa
4	11.45	88.55
40	80.92	19.08
200	99.03	0.97
D10: 0.295		
D30: 0.579		
D60: 1.92		
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (Cu):	6.502	
COEFICIENTE DE CURVATURA (Cc):	0.591	

**PROCESO- PARTE I**

1. Observamos el porcentaje que pasa por la malla N°200

2. Cuando se tiene un suelo grueso: se analiza el % que pasa por el tamiz #4

2.1. Nuevamente analizamos el % que pasa por el tamiz #200

Si el suelo es fino, vas directamente a la carta de plasticidad

N° malla	% retenido acumulado	% Pasa
200	99.03	0.97

El 0.97% es menor al 50%: es un **suelo grueso**

N° malla	% retenido acumulado	% Pasa
4	11.45	88.55

El 88.55% es mayor al 50%: son **arenas**

N° malla	% retenido acumulado	% Pasa
200	99.03	0.97

El % que pasa por el tamiz #200, es el porcentaje de finos que tiene la muestra que se está estudiando: Este es el **0.97%**

**CASOS Y CRITERIOS PARA CLASIFICACIÓN DE SUELO GRUESO**

Para la clasificación de finos, acorde al % que pasa por el tamiz #200, se tiene los siguientes casos:

**B.1) Finos < 5 %**

**B.2) 5 % < Finos < 12 %**

**B.3) 12 % < Finos**

**Arenas** (1) **Gravas** (2)

**SP - SM** **GP - GM**  
**SW - SC** **GW - GC**

**Arena limosa - SM** **Grava limosa - GM**  
**Arena arcillosa - SC** **Grava arcillosa - GC**

**Criteria para la clasificación de suelos en los 3 casos**

**1. Granulometría**

**SW** :  $Cu > 6 ; 1 \leq Cc \leq 3$  (1)  
**GW** :  $Cu > 4 ; 1 \leq Cc \leq 3$  (2)

**2. Límites de Atterberg**

- Índice plástico (IP) (2)  
- Límite Líquido (LL)  
- Límite Plástico (LP)

**PROCESO- PARTE II**

2.2. En base a la granulometría (2.1), determinamos el caso a emplear: [0.97%]

**B.1) Finos < 5 %**

**Arenas** (1) **Gravas** (1)  
**SP - SW** **GP - GW**

a. Los criterios a emplear serán:

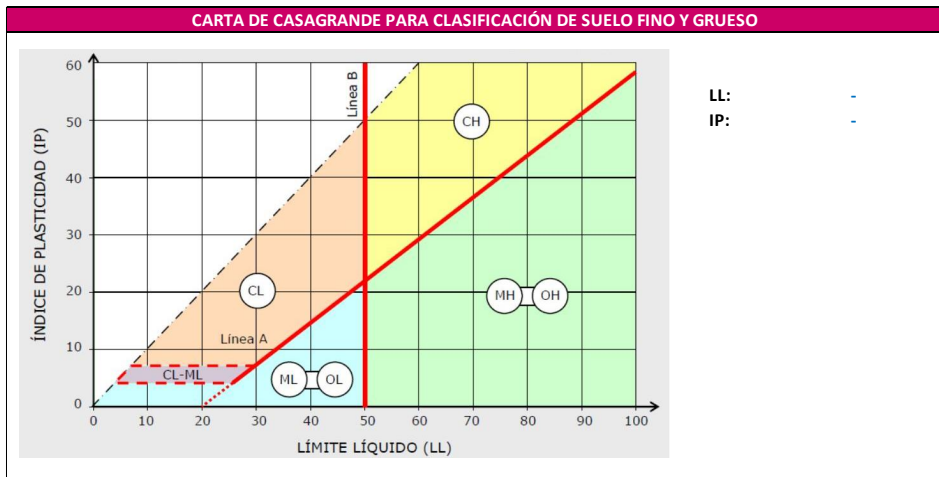
**Granulometría**

**SW**:  $Cu > 6 ; 1 \leq Cc \leq 3$   
**GW**:  $Cu > 4 ; 1 \leq Cc \leq 3$

**Cu**: 6.502  
**Cc**: 0.591

**SW**:  
 $Cu > 6$  Cumple  
 $1 \leq Cc \leq 3$  No cumple

**Aunque cumple con una de las condiciones:** La arena será pobremente graduada- **SP**



**PROCESO- PARTE III**

**Respuesta:**

Los datos indican que el suelo es:

**SP**

Es una arena pobremente graduada

**Clasificación de suelo por SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelo): Muestra M-6**

Clasificación de suelos: Sistema unificado de suelos (SUCS)

DATOS PARA CLASIFICACIÓN DE MUESTRA			PROCESO- PARTE I								
Características de la muestra:		<b>M-6</b>	1. Observamos el porcentaje que pasa por la malla N°200			2. Cuando se tiene un suelo grueso: se analiza el % que pasa por el tamiz #4		2.1. Nuevamente analizamos el % que pasa por el tamiz #200			
Límite Líquido (LL):		16.49									
Índice de Plasticidad (IP):		3.37	Si el suelo es fino, vas directamente a la carta de plasticidad								
Granulometría:			N° malla	% retenido acumulado	% Pasa	N° malla	% retenido acumulado	% Pasa	N° malla	% retenido acumulado	% Pasa
	4	19.17	200	98.55	1.45	4	19.17	80.83	200	98.55	1.45
	40	70.97	El 1.45% es menor al 50%: es un suelo grueso			El 80.83% es mayor al 50%: son arenas			El % que pasa por el tamiz #200, es el porcentaje de finos que tiene la muestra que se está estudiando: Este es el 1.45%		
	200	98.55									
D10:	0.228										
D30:	0.439										
D60:	1.080										
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (Cu):	4.740										
COEFICIENTE DE CURVATURA (Cc):	0.783										

CASOS Y CRITERIOS PARA CLASIFICACIÓN DE SUELO GRUESO			PROCESO- PARTE II				
Para la clasificación de finos, acorde al % que pasa por el tamiz #200, se tiene los siguientes casos:							
<b>B.1) Finos &lt; 5 %</b>		<b>B.2) 5 % &lt; Finos &lt; 12 %</b>		<b>B.3) 12 % &lt; Finos</b>			
<u>Arenas</u> SP SW	<u>Gravas</u> GP GW	<u>Arenas</u> SP-SM SP-SC	<u>Gravas</u> GP-GM GP-GC	<u>Arenas</u> SM SC	<u>Gravas</u> GM GC		
1		1		2			
Arenas limosa - SM Gravas limosa - GM		Arenas arcillosa - SC Gravas arcillosa - GC		Arenas limosa - SM Gravas limosa - GM			
Arenas bien graduada - SW Gravas bien graduada - GW		Arenas pobremente graduada - SP con partículas de limo - SM Gravas pobremente graduada - GP con partículas de limo - GM		Arenas pobremente graduada - SP con partículas de arcilla - SC Gravas pobremente graduada - GP con partículas de arcilla - GC			
Arenas bien graduada - SW con partículas de limo - SM Gravas bien graduada - GW con partículas de limo - GM		Arenas bien graduada - SW con partículas de arcilla - SC Gravas bien graduada - GP con partículas de arcilla - GC		Arenas bien graduada - SW con partículas de limo - SM Gravas bien graduada - GP con partículas de limo - GM			
Arenas bien graduada - SW con partículas de arcilla - SC Gravas bien graduada - GW con partículas de arcilla - GC		Arenas bien graduada - SW con partículas de limo - SM Gravas bien graduada - GP con partículas de limo - GM		Arenas bien graduada - SW con partículas de arcilla - SC Gravas bien graduada - GP con partículas de arcilla - GC			
Criterios para la clasificación de suelos en los 3 casos							
<b>1. Granulometría</b>							
SW : Cu > 6 ; 1 ≤ Cc ≤ 3							
GW : Cu > 4 ; 1 ≤ Cc ≤ 3							
<b>2. Límites de Atterberg</b>							
- Índice plástico (IP)							
- Límite Líquido (LL)							
- Límite Plástico (LP)							
2.2. En base a la granulometría (2.1), determinamos el caso a emplear: [1.45%]							
B.1) Finos < 5 %							
<table border="1"> <tr> <td><u>Arenas</u> SP SW</td> <td><u>Gravas</u> GP GW</td> </tr> </table>						<u>Arenas</u> SP SW	<u>Gravas</u> GP GW
<u>Arenas</u> SP SW	<u>Gravas</u> GP GW						
a. Los criterios a emplear serán:							
Granulometría							
SW: Cu > 6 ; 1 ≤ Cc ≤ 3							
GW: Cu > 4 ; 1 ≤ Cc ≤ 3							
Cu: 4.74							
Cc: 0.783							
SW: Cu > 6 No cumple							
1 ≤ Cc ≤ 3 No cumple							
Por lo tanto: La arena será pobremente graduada- SP							

CARTA DE CASAGRANDE PARA CLASIFICACIÓN DE SUELO FINO Y GRUESO		PROCESO- PARTE III	
		<p>LL: -</p> <p>IP: -</p>	
<p>LL: -</p> <p>IP: -</p>		<p>Respuesta:</p> <p>Los datos indican que el suelo es:</p>	
		<div style="background-color: #008080; color: white; padding: 10px; display: inline-block; font-weight: bold; font-size: 24px;">SP</div>	
		<p>Es una arena pobremente graduada</p>	

**Clasificación de suelo por SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelo): Muestra M-7**

Clasificación de suelos: Sistema unificado de suelos (SUCS)

DATOS PARA CLASIFICACIÓN DE MUESTRA			PROCESO- PARTE I					
Características de la muestra:		<b>M-7</b>	1. Observamos el porcentaje que pasa por la malla N°200		2. Cuando se tiene un suelo grueso: se analiza el % que pasa por el tamiz #4		2.1. Nuevamente analizamos el % que pasa por el tamiz #200	
Límite Líquido (LL):		19.93						
Índice de Plasticidad (IP):		8.08	Si el suelo es fino, vas directamente a la carta de plasticidad					
Granulometría:			N° malla		% retenido acumulado		% Pasa	
N° malla	% retenido acumulado	% Pasa	N° malla	% retenido acumulado	% Pasa	N° malla	% retenido acumulado	% Pasa
4	3.80	96.20	4	3.8	96.2	200	99.57	0.43
40	74.61	25.39	El 0.43% es menor al 50%: es un suelo grueso					
200	99.57	0.43	El 96.20% es mayor al 50%: son arenas					
D10:			D10:		D10:		D10:	
0.247			D30:		D30:		D30:	
0.462			D60:		D60:		D60:	
0.593			COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (Cu):		COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (Cu):		COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD (Cu):	
2.400			COEFICIENTE DE CURVATURA (Cc):		COEFICIENTE DE CURVATURA (Cc):		COEFICIENTE DE CURVATURA (Cc):	
1.456			El % que pasa por el tamiz #200, es el porcentaje de finos que tiene la muestra que se está estudiando: Este es el 0.43%					

CASOS Y CRITERIOS PARA CLASIFICACIÓN DE SUELO GRUESO			PROCESO- PARTE II		
Para la clasificación de finos, acorde al % que pasa por el tamiz #200, se tiene los siguientes casos:					
<b>B.1) Finos &lt; 5 %</b>		<b>B.2) 5 % &lt; Finos &lt; 12 %</b>		<b>B.3) 12 % &lt; Finos</b>	
<u>Arenas</u> SP SW	<u>Gravas</u> GP GW	<u>Arenas</u> SP-SM SP-SC	<u>Gravas</u> GP-GM GP-GC	<u>Arenas</u> SM SC	<u>Gravas</u> GM GC
1		1		2	
Arenas limosa-SM Grava limosa-GM		Arenas arcillosa-SC Grava arcillosa-GC		Arenas limosa-SM Grava limosa-GM	
Arenas bien graduada-SW Grava bien graduada-GW		Arenas pobremente graduada-SP con partículas de limo-SM Arenas pobremente graduada-SP con partículas de arcilla-SC		Arenas pobremente graduada-GP con partículas de limo-GM Arenas pobremente graduada-GP con partículas de arcilla-GC	
		Arenas bien graduada-SW con partículas de limo-SM Arenas bien graduada-SW con partículas de arcilla-SC		Grava bien graduada-GW con partículas de limo-GM Grava bien graduada-GW con partículas de arcilla-GC	
<p><b>Los criterios a emplear serán:</b></p> <p><b>Granulometría</b> SW: <math>Cu &gt; 6; 1 \leq Cc \leq 3</math> GW: <math>Cu &gt; 4; 1 \leq Cc \leq 3</math></p> <p>Cu: 2.4 Cc: 1.456</p> <p>SW: <math>Cu &gt; 6</math> No cumple <math>1 \leq Cc \leq 3</math> Cumple</p> <p>Aunque cumple con una de las condiciones: La arena será pobremente graduada- SP</p>					
<p><b>Para la clasificación de suelos en los 3 casos</b></p> <p><b>1. Granulometría</b> SW: <math>Cu &gt; 6; 1 \leq Cc \leq 3</math> GW: <math>Cu &gt; 4; 1 \leq Cc \leq 3</math></p> <p><b>2. Límites de Atterberg</b> - Índice plástico (IP) - Límite Líquido (LL) - Límite Plástico (LP)</p>					

CARTA DE CASAGRANDE PARA CLASIFICACIÓN DE SUELO FINO Y GRUESO		PROCESO- PARTE III	
		<p>LL: - IP: -</p>	
<p>Los datos indican que el suelo es:</p> <p><b>SP</b></p> <p>Es una arena pobremente graduada</p>			

**Clasificación de suelo por AASHTO (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes): Muestra M-1**

Clasificación de suelos: Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO)

DATOS PARA CLASIFICACIÓN DE MUESTRA			PARÁMETROS DEL ÍNDICE DE GRUPO (IG)		
Características de la muestra: <b>M-1</b>			$(IG) = 0.2(a) + 0.005(a)(c) + 0.01(b)(d)$		
Límite Líquido (LL):	18.06		a : Es el % en exceso sobre 35, de suelo que pasa el tamiz N° 200, sin pasar de 75, se expresa como un número entero de valor entre 0 y 40		
Índice de Plasticidad (IP):	4.75		b : Es el % en exceso sobre 15, de suelo que pasa el tamiz N° 200, sin pasar de 55, se expresa como un número entero de valor entre 0 y 40		
Granulometría:			c : Es el % en exceso de límite líquido (LL) sobre 40, pero nunca superior a 60, se expresa como un número entero de valor entre 0 y 20		
N° malla	% retenido acumulado	% Pasa	d : Es el % en exceso de índice de plasticidad (IP) sobre 10, pero nunca superior a 30, se expresa como un número entero de valor entre 0 y 20		
10	4.78	95.22			
40	16.06	83.94			
200	98.45	1.55			

PROCESO- PARTE I			PROCESO- PARTE II								
1. Cálculo del Índice de Grupo (IG)			2. Observamos el porcentaje que pasa por la malla N°200								
$(IG) = 0.2(a) + 0.005(a)(c) + 0.01(b)(d)$											
<p><b>IG = 0</b></p> <p>% que pasa Tamiz N° 200</p> <p>35% (min) <b>a</b> 75% (máx) <b>a= 0</b> (%) #200: <b>1.55</b></p> <p>0 40</p> <p>El % que pasa el tamiz N° 200 es: <b>1.55%</b>, este valor no genera exceso sobre el 35%</p> <p>Si el % que pasa el tamiz #200 es menor al 35%, el valor de "a" será el mínimo "0"</p> <p>Si el % que pasa el tamiz #200 es mayor al 75%, el valor de "a" será el máximo "40"</p>			<p><b>Suelo fino</b> <b>Suelo Grueso</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>N° malla</th> <th>% retenido acumulado</th> <th>% Pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>200</td> <td>98.45</td> <td>1.55</td> </tr> </tbody> </table> <p>El <b>1.55%</b> es menor al 35%: es un <b>suelo grueso</b></p>			N° malla	% retenido acumulado	% Pasa	200	98.45	1.55
N° malla	% retenido acumulado	% Pasa									
200	98.45	1.55									
<p>% que pasa Tamiz N° 200</p> <p>15% (min) <b>b</b> 55% (máx) <b>b= 0</b> (%) #200: <b>1.55</b></p> <p>0 40</p> <p>El % que pasa el tamiz N° 200 es: <b>1.55%</b>, este valor no genera exceso sobre el 15%</p> <p>Si el % que pasa el tamiz #200 es menor al 35%, el valor de "b" será el mínimo "0"</p> <p>Si el % que pasa el tamiz #200 es mayor al 75%, el valor de "b" será el máximo "40"</p>											
<p>Límite Líquido</p> <p>40% (min) <b>c</b> 60% (máx) <b>c= 0</b> (%) LL: <b>18.06</b></p> <p>0 20</p> <p>El límite líquido es: <b>18.06%</b>, este valor no genera exceso sobre el 40%</p> <p>Si el % de límite líquido es menor al 40%, el valor de "c" será el mínimo "0"</p> <p>Si el % de límite líquido es mayor al 60%, el valor de "c" será el máximo "20"</p>											
<p>Índice plástico</p> <p>10% (min) <b>d</b> 30% (máx) <b>d= 0</b> (%) IP: <b>4.75</b></p> <p>0 20</p> <p>El índice plástico es: <b>4.75%</b>, este valor no genera exceso sobre el 10%</p> <p>Si el % del índice plástico es menor al 40%, el valor de "d" será el mínimo "0"</p> <p>Si el % del índice plástico es mayor al 60%, el valor de "d" será el máximo "20"</p>											

**TABLA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL MÉTODO AASHTO**

DIVISIÓN GENERAL	Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)							Materiales Limo-arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)					
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7		
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6	
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasas por cada tamiz)													
Serie ASTM	#10	≤50											
	#40	≤30	≤50	≥51									
	#200	≤15	≤25	≤10	≤35	≤35	≤35	≤35	≥36	≥36	≥36	≥36	
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)	Límite Líquido				≤40	≥41	≤40	≥41	≤40	≥41	≤40	>41 (IP<LL-)	>41 (IP>LL-)
	Índice de plasticidad		≤6	NP	≤10	≤10	≥11	≥11	≤10	≤10	≥11	≥11	≥11
ÍNDICE DE GRUPO		0	0	0	0	4	8	12	20	20	20	20	20
TIPOLOGÍA	Fragmento de piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos			
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA							ACEPTABLE A MALA					

**3. Clasificación de suelos**

Al ser un suelo grueso nos enfocamos en los grupos y subgrupos de los suelos A-1, A-3 y A-2

**a. Siendo el IG=0, no se excluye ningún grupo**

**b. En base al análisis granulométrico:**

N° malla	% retenido acumulado	% Pasa
10	4.78	95.22
40	16.06	83.94
200	98.45	1.55

\*Según la malla #10 descartamos el grupo A-1-a

\*Según la malla #40 descartamos el grupo A-1-b

\*Según la malla #200 no se descartan los grupos A-3 y A-2

**c. En base a las propiedades del estado de consistencia:**

LL: 18.06

IP: 4.75

\*Descartamos el grupo A3, ya que si hay propiedades plásticas en el suelo estudiado

\*Descartamos el grupo A-2-5 y A-2-7, ya que el LL no es mayor a 41

\*Descartamos el grupo A-2-6, ya que el IP no es mayor a 11

\*Finalmente al ser el LL<40 e IP<10, el suelo se clasifica como **A-2-4**, con un **IG (0): A-2-4 (0)**

Respuesta: Los datos indican que el suelo es

**A-2-4(0)**

Es una arena limosa o arcillosa

**Clasificación de suelo por AASHTO (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes): Muestra M-2**

Clasificación de suelos: Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO)

DATOS PARA CLASIFICACIÓN DE MUESTRA			PARÁMETROS DEL ÍNDICE DE GRUPO (IG)		
Características de la muestra:	<b>M-2</b>		$(IG) = 0.2(a) + 0.005(a)(c) + 0.01(b)(d)$		
Límite Líquido (LL):	14.94		a : Es el % en exceso sobre 35, de suelo que pasa el tamiz N° 200, sin pasar de 75, se expresa como un número entero de valor entre 0 y 40		
Índice de Plasticidad (IP):	0.8		b : Es el % en exceso sobre 15, de suelo que pasa el tamiz N° 200, sin pasar de 55, se expresa como un número entero de valor entre 0 y 40		
<b>Granulometría:</b>			c : Es el % en exceso de límite líquido (LL) sobre 40, pero nunca superior a 60, se expresa como un número entero de valor entre 0 y 20		
N° malla	% retenido acumulado	% Pasa	d : Es el % en exceso de índice de plasticidad (IP) sobre 10, pero nunca superior a 30, se expresa como un número entero de valor entre 0 y 20		
10	1.91	98.09			
40	11.88	88.12			
200	99.04	0.96			

PROCESO- PARTE I			PROCESO- PARTE II		
1. Cálculo del Índice de Grupo (IG)			2. Observamos el porcentaje que pasa por la malla N°200		
$(IG) = 0.2(a) + 0.005(a)(c) + 0.01(b)(d)$					
IG = 0					
<p><b>% que pasa Tamiz N° 200</b></p> <p>35% (min) <b>a</b> 75% (máx) <b>a= 0</b> (%) #200: <b>0.96</b></p> <p>0 40</p> <p>El % que pasa el tamiz N° 200 es: <b>0.96%</b>, este valor no genera exceso sobre el 35%</p> <p>Si el % que pasa el tamiz #200 es menor al 35%, el valor de "a" será el mínimo "0"</p> <p>Si el % que pasa el tamiz #200 es mayor al 75%, el valor de "a" será el máximo "40"</p>			<p><b>N° malla</b> <b>% retenido acumulado</b> <b>% Pasa</b></p> <p>200 <b>99.04</b> <b>0.96</b></p> <p><b>El 0.96% es menor al 35%: es un suelo grueso</b></p>		
<p><b>% que pasa Tamiz N° 200</b></p> <p>15% (min) <b>b</b> 55% (máx) <b>b= 0</b> (%) #200: <b>0.96</b></p> <p>0 40</p> <p>El % que pasa el tamiz N° 200 es: <b>0.96%</b>, este valor no genera exceso sobre el 15%</p> <p>Si el % que pasa el tamiz #200 es menor al 35%, el valor de "b" será el mínimo "0"</p> <p>Si el % que pasa el tamiz #200 es mayor al 75%, el valor de "b" será el máximo "40"</p>					
<p><b>Límite Líquido</b></p> <p>40% (min) <b>c</b> 60% (máx) <b>c= 0</b> (%) LL: <b>14.94</b></p> <p>0 20</p> <p>El límite líquido es: <b>14.94%</b>, este valor no genera exceso sobre el 40%</p> <p>Si el % de límite líquido es menor al 40%, el valor de "c" será el mínimo "0"</p> <p>Si el % de límite líquido es mayor al 60%, el valor de "c" será el máximo "20"</p>					
<p><b>Índice plástico</b></p> <p>10% (min) <b>d</b> 30% (máx) <b>d= 0</b> (%) IP: <b>0.8</b></p> <p>0 20</p> <p>El índice plástico es: <b>0.80%</b>, este valor no genera exceso sobre el 10%</p> <p>Si el % del índice plástico es menor al 40%, el valor de "d" será el mínimo "0"</p> <p>Si el % del índice plástico es mayor al 60%, el valor de "d" será el máximo "20"</p>					

**TABLA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL MÉTODO AASHTO**

DIVISIÓN GENERAL	Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)						Materiales Limo- arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)											
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7								
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6				A-2-7	A-7-5	A-7-6						
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b> (% que pasas por cada tamiz)																		
Serie ASTM	#10	≤50																
	#40	≤30	≤50	≥51														
	#200	≤15	≤25	≤10	≤35	≤35	≤35	≤35	≥36	≥36	≥36	≥36	≥36	≥36	≥36	≥36	≥36	≥36
<b>ESTADO DE CONSISTENCIA</b> (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)																		
Límite Líquido			NF	≤40	≥41	≤40	≥41	≤40	≥41	≤40	≥41	>41 (IP<LL-	>41 (IP>LL-					
	Índice de plasticidad			≤6	≤10	≤10	≥11	≥11	≤10	≤10	≥11	≥11	≥11	≥11				
<b>ÍNDICE DE GRUPO</b>		0		0	0	≤4	≤8	≤12	≤20	≤20								
<b>TIPOLOGÍA</b>		Fragmento de piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas			Suelos limosos		Suelos arcillosos								
<b>CALIDAD</b>		EXCELENTE A BUENA					ACEPTABLE A MALA											

**3. Clasificación de suelos**

Al ser un suelo grueso nos enfocamos en los grupos y subgrupos de los suelos A-1, A-3 y A-2

a. Siendo el IG=0, no se excluye ningún grupo

b. En base al análisis granulométrico:

N° malla	% retenido acumulado	% Pasa
10	1.91	98.09
40	11.88	88.12
200	99.04	0.96

- \*Según la malla #10 descartamos el grupo A-1-a
- \*Según la malla #40 descartamos el grupo A-1-b
- \*Según la malla #200 no se descartan los grupos A-3 y A-2

c. En base a las propiedades del estado de consistencia:

- LL: 14.94
- IP: 0.8
- \*Descartamos el grupo A3, ya que si hay propiedades plásticas en el suelo estudiado
- \*Descartamos el grupo A-2-5 y A-2-7, ya que el LL no es mayor a 41
- \*Descartamos el grupo A-2-6, ya que el IP no es mayor a 11
- \*Finalmente al ser el LL<40 e IP<10, el suelo se clasifica como A-2-4, con un IG (0): A-2-4 (0)

Respuesta: Los datos indican que el suelo es

**A-2-4(0)**

Es una arena limosa o arcillosa

**Clasificación de suelo por AASHTO (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes): Muestra M-3**

Clasificación de suelos: Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO)

DATOS PARA CLASIFICACIÓN DE MUESTRA			PARÁMETROS DEL ÍNDICE DE GRUPO (IG)		
Características de la muestra: <b>M-3</b>			$(IG) = 0.2(a) + 0.005(a)(c) + 0.01(b)(d)$		
Límite Líquido (LL):	19.2		a : Es el % en exceso sobre 35, de suelo que pasa el tamiz N° 200, sin pasar de 75, se expresa como un número entero de valor entre 0 y 40		
Índice de Plasticidad (IP):	6.88		b : Es el % en exceso sobre 15, de suelo que pasa el tamiz N° 200, sin pasar de 55, se expresa como un número entero de valor entre 0 y 40		
Granulometría:			c : Es el % en exceso de límite líquido (LL) sobre 40, pero nunca superior a 60, se expresa como un número entero de valor entre 0 y 20		
N° malla	% retenido acumulado	% Pasa	d : Es el % en exceso de índice de plasticidad (IP) sobre 10, pero nunca superior a 30, se expresa como un número entero de valor entre 0 y 20		
10	28.5	71.5			
40	47.61	52.39			
200	99.62	0.38			

PROCESO- PARTE I			PROCESO- PARTE II								
1. Cálculo del Índice de Grupo (IG)			2. Observamos el porcentaje que pasa por la malla N°200								
$(IG) = 0.2(a) + 0.005(a)(c) + 0.01(b)(d)$											
<p><b>IG = 0</b></p> <p>% que pasa Tamiz N° 200</p> <p>35% (min) <b>a</b> 75% (máx) <b>a= 0</b> (%) #200: <b>0.38</b></p> <p>0 40</p> <p>El % que pasa el tamiz N° 200 es: <b>0.38%</b>, este valor no genera exceso sobre el 35%</p> <p>Si el % que pasa el tamiz #200 es menor al 35%, el valor de "a" será el mínimo "0"</p> <p>Si el % que pasa el tamiz #200 es mayor al 75%, el valor de "a" será el máximo "40"</p>			<p><b>Suelo grueso</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>N° malla</th> <th>% retenido acumulado</th> <th>% Pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>200</td> <td>99.62</td> <td>0.38</td> </tr> </tbody> </table> <p>El <b>0.38%</b> es menor al 35%: es un <b>suelo grueso</b></p>			N° malla	% retenido acumulado	% Pasa	200	99.62	0.38
N° malla	% retenido acumulado	% Pasa									
200	99.62	0.38									
<p>% que pasa Tamiz N° 200</p> <p>15% (min) <b>b</b> 55% (máx) <b>b= 0</b> (%) #200: <b>0.38</b></p> <p>0 40</p> <p>El % que pasa el tamiz N° 200 es: <b>0.38%</b>, este valor no genera exceso sobre el 15%</p> <p>Si el % que pasa el tamiz #200 es menor al 35%, el valor de "b" será el mínimo "0"</p> <p>Si el % que pasa el tamiz #200 es mayor al 75%, el valor de "b" será el máximo "40"</p>											
<p>Límite Líquido</p> <p>40% (min) <b>c</b> 60% (máx) <b>c= 0</b> (%) LL: <b>19.2</b></p> <p>0 20</p> <p>El límite líquido es: <b>19.20%</b>, este valor no genera exceso sobre el 40%</p> <p>Si el % de límite líquido es menor al 40%, el valor de "c" será el mínimo "0"</p> <p>Si el % de límite líquido es mayor al 60%, el valor de "c" será el máximo "20"</p>											
<p>Índice plástico</p> <p>10% (min) <b>d</b> 30% (máx) <b>d= 0</b> (%) IP: <b>6.88</b></p> <p>0 20</p> <p>El índice plástico es: <b>6.88%</b>, este valor no genera exceso sobre el 10%</p> <p>Si el % del índice plástico es menor al 40%, el valor de "d" será el mínimo "0"</p> <p>Si el % del índice plástico es mayor al 60%, el valor de "d" será el máximo "20"</p>											

**TABLA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL MÉTODO AASHTO**

DIVISIÓN GENERAL	Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)						Materiales Limo- arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)					
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7		
GRUPO	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Subgrupo												
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasas por cada tamiz)												
Serie ASTM	#10	≤50										
	#40	≤30	≤50	≥51								
	#200	≤15	≤25	≤10	≤35	≤35	≤35	≤35	≥36	≥36	≥36	≥36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)												
Límite Líquido				≤40	≥41	≤40	≥41	≤40	≥41	≤40	>41 (IP<LL-	>41 (IP>LL-
índice de plasticidad		≤6		≤10	≤10	≥11	≥11	≤10	≤10	≥11	≥11	≥11
ÍNDICE DE GRUPO	0		0	0		≤4		≤8	≤12	≤20	≤20	
TIPOLOGÍA	Fragmento de piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas			Suelos limosos			Suelos arcillosos		
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA					

**3. Clasificación de suelos**

Al ser un suelo grueso nos enfocamos en los grupos y subgrupos de los suelos A-1, A-3 y A-2

a. Siendo el IG=0, no se excluye ningún grupo

b. En base al análisis granulométrico:

N° malla	% retenido acumulado	% Pasa
10	28.5	71.5
40	47.61	52.39
200	99.62	0.38

\*Según la malla #10 descartamos el grupo A-1-a

\*Según la malla #40 descartamos el grupo A-1-b

\*Según la malla #200 no se descartan los grupos A-3 y A-2

c. En base a las propiedades del estado de consistencia:

LL: 19.2

IP: 6.88

\*Descartamos el grupo A3, ya que si hay propiedades plásticas en el suelo estudiado

\*Descartamos el grupo A-2-5 y A-2-7, ya que el LL no es mayor a 41

\*Descartamos el grupo A-2-6, ya que el IP no es mayor a 11

**\*Finalmente al ser el LL<40 e IP<10, el suelo se clasifica como A-2-4, con un IG (0): A-2-4 (0)**

**Clasificación de suelo por AASHTO (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes): Muestra M-4**

Clasificación de suelos: Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO)

DATOS PARA CLASIFICACIÓN DE MUESTRA			PARÁMETROS DEL ÍNDICE DE GRUPO (IG)		
Características de la muestra: <b>M-4</b>			<b><math>(IG) = 0.2(a) + 0.005(a)(c) + 0.01(b)(d)</math></b>		
Límite Líquido (LL):	14.56		a : Es el % en exceso sobre 35, de suelo que pasa el tamiz N° 200, sin pasar de 75, se expresa como un número entero de valor entre 0 y 40		
Índice de Plasticidad (IP):	0.14		b : Es el % en exceso sobre 15, de suelo que pasa el tamiz N° 200, sin pasar de 55, se expresa como un número entero de valor entre 0 y 40		
Granulometría:			c : Es el % en exceso de límite líquido (LL) sobre 40, pero nunca superior a 60, se expresa como un número entero de valor entre 0 y 20		
N° malla	% retenido acumulado	% Pasa	d : Es el % en exceso de índice de plasticidad (IP) sobre 10, pero nunca superior a 30, se expresa como un número entero de valor entre 0 y 20		
10	18.48	81.52			
40	81.99	18.01			
200	99.39	0.61			

PROCESO- PARTE I			PROCESO- PARTE II								
1. Cálculo del Índice de Grupo (IG)			2. Observamos el porcentaje que pasa por la malla N°200								
<b><math>(IG) = 0.2(a) + 0.005(a)(c) + 0.01(b)(d)</math></b>											
IG = <b>0</b>			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>N° malla</th> <th>% retenido acumulado</th> <th>% Pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>200</td> <td>99.39</td> <td>0.61</td> </tr> </tbody> </table>			N° malla	% retenido acumulado	% Pasa	200	99.39	0.61
N° malla	% retenido acumulado	% Pasa									
200	99.39	0.61									
<p><b>% que pasa Tamiz N° 200</b></p> <p>35% (min) <b>a</b> 75% (máx) <b>a = 0</b> (%) #200: <b>0.61</b></p> <p>0 40</p> <p>El % que pasa el tamiz N° 200 es: <b>0.61%</b>, este valor no genera exceso sobre el 35%</p> <p>Si el % que pasa el tamiz #200 es menor al 35%, el valor de "a" será el mínimo "0"</p> <p>Si el % que pasa el tamiz #200 es mayor al 75%, el valor de "a" será el máximo "40"</p>			<p>El 0.61% es menor al 35%: es un <b>suelo grueso</b></p>								
<p><b>% que pasa Tamiz N° 200</b></p> <p>15% (min) <b>b</b> 55% (máx) <b>b = 0</b> (%) #200: <b>0.61</b></p> <p>0 40</p> <p>El % que pasa el tamiz N° 200 es: <b>0.61%</b>, este valor no genera exceso sobre el 15%</p> <p>Si el % que pasa el tamiz #200 es menor al 35%, el valor de "b" será el mínimo "0"</p> <p>Si el % que pasa el tamiz #200 es mayor al 75%, el valor de "b" será el máximo "40"</p>											
<p><b>Límite Líquido</b></p> <p>40% (min) <b>c</b> 60% (máx) <b>c = 0</b> (%) LL: <b>14.56</b></p> <p>0 20</p> <p>El límite líquido es: <b>14.56%</b>, este valor no genera exceso sobre el 40%</p> <p>Si el % de límite líquido es menor al 40%, el valor de "c" será el mínimo "0"</p> <p>Si el % de límite líquido es mayor al 60%, el valor de "c" será el máximo "20"</p>											
<p><b>Índice plástico</b></p> <p>10% (min) <b>d</b> 30% (máx) <b>d = 0</b> (%) IP: <b>0.14</b></p> <p>0 20</p> <p>El índice plástico es: <b>0.14%</b>, este valor no genera exceso sobre el 10%</p> <p>Si el % del índice plástico es menor al 40%, el valor de "d" será el mínimo "0"</p> <p>Si el % del índice plástico es mayor al 60%, el valor de "d" será el máximo "20"</p>											

TABLA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL MÉTODO AASHTO												
DIVISIÓN GENERAL	Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)							Materiales Limo- arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
GRUPO	A-1-a		A-1-b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5	A-7-6
Subgrupo	A-1-a		A-1-b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5	A-7-6
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasas por cada tamiz)	#10	≤50										
#40	≤30	≤50	≥51									
#200	≤15	≤25	≤10	≤35	≤35	≤35	≤35	≥36	≥36	≥36	≥36	≥36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)	Límite Líquido			≤40	≥41	≤40	≥41	≤40	≥41	≤40	>41 (IP<LL-)	>41 (IP>LL-)
Índice de plasticidad	≤6		NP	≤10	≤10	≥11	≥11	≤10	≤10	≥11	≥11	≥11
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	0	0	0	0	≤8	≤12	≤20	≤20	≤20
TIPOLOGÍA	Fragmento de piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA					

**3. Clasificación de suelos**

Al ser un suelo grueso nos enfocamos en los grupos y subgrupos de los suelos A-1, A-3 y A-2

**a. Siendo el IG=0, no se excluye ningún grupo**

**b. En base al análisis granulométrico:**

N° malla	% retenido acumulado	% Pasa
10	18.48	81.52
40	81.99	18.01
200	99.39	0.61

\*Según la malla #10 descartamos el grupo **A-1-a**

\*Según la malla #40 descartamos el grupo **A3**

\*Según la malla #200 no se descartan los grupos **A-1-b** y **A-2**

**c. En base a las propiedades del estado de consistencia:**

LL: 14.56

IP: 0.14

\*Descartamos el grupo **A-1b**, ya que si existe valor del límite líquido de la muestra

\*Descartamos el grupo **A-2-5** y **A-2-7**, ya que el LL no es mayor a 41

\*Descartamos el grupo **A-2-6**, ya que el IP no es mayor a 11

\*Finalmente al ser el LL<40 e IP<10, el suelo se clasifica como **A-2-4**, con un **IG (0): A-2-4 (0)**



**Clasificación de suelo por AASHTO (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes): Muestra M-5**

Clasificación de suelos: Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO)

DATOS PARA CLASIFICACIÓN DE MUESTRA			PARÁMETROS DEL ÍNDICE DE GRUPO (IG)	
Características de la muestra:	M-5		$(IG) = 0.2(a) + 0.005(a)(c) + 0.01(b)(d)$	
Límite Líquido (LL):	16.01		a : Es el % en exceso sobre 35, de suelo que pasa el tamiz N° 200, sin pasar de 75, se expresa como un número entero de valor entre 0 y 40	
Índice de Plasticidad (IP):	1.81		b : Es el % en exceso sobre 15, de suelo que pasa el tamiz N° 200, sin pasar de 55, se expresa como un número entero de valor entre 0 y 40	
Granulometría:			c : Es el % en exceso de límite líquido (LL) sobre 40, pero nunca superior a 60, se expresa como un número entero de valor entre 0 y 20	
N° malla	% retenido acumulado	% Pasa	d : Es el % en exceso de índice de plasticidad (IP) sobre 10, pero nunca superior a 30, se expresa como un número entero de valor entre 0 y 20	
10	38.20	61.80		
40	80.92	19.08		
200	99.03	0.97		

PROCESO- PARTE I			PROCESO- PARTE II								
1. Cálculo del Índice de Grupo (IG)			2. Observamos el porcentaje que pasa por la malla N°200								
$(IG) = 0.2(a) + 0.005(a)(c) + 0.01(b)(d)$											
IG = 0											
<p>% que pasa Tamiz N° 200</p> <p>35% (min) a 75% (máx) a= 0 (% #200: 0.97)</p> <p>0 40</p> <p>El % que pasa el tamiz N° 200 es: 0.97%, este valor no genera exceso sobre el 35%</p> <p>Si el % que pasa el tamiz #200 es menor al 35%, el valor de "a" será el mínimo "0"</p> <p>Si el % que pasa el tamiz #200 es mayor al 75%, el valor de "a" será el máximo "40"</p>											
<p>% que pasa Tamiz N° 200</p> <p>15% (min) b 55% (máx) b= 0 (% #200: 0.97)</p> <p>0 40</p> <p>El % que pasa el tamiz N° 200 es: 0.97%, este valor no genera exceso sobre el 15%</p> <p>Si el % que pasa el tamiz #200 es menor al 35%, el valor de "b" será el mínimo "0"</p> <p>Si el % que pasa el tamiz #200 es mayor al 75%, el valor de "b" será el máximo "40"</p>											
<p>Límite Líquido</p> <p>40% (min) c 60% (máx) c= 0 (% LL: 16.01)</p> <p>0 20</p> <p>El límite líquido es: 16.01%, este valor no genera exceso sobre el 40%</p> <p>Si el % de límite líquido es menor al 40%, el valor de "c" será el mínimo "0"</p> <p>Si el % de límite líquido es mayor al 60%, el valor de "c" será el máximo "20"</p>											
<p>Índice plástico</p> <p>10% (min) d 30% (máx) d= 0 (% IP: 1.81)</p> <p>0 20</p> <p>El índice plástico es: 1.81%, este valor no genera exceso sobre el 10%</p> <p>Si el % del índice plástico es menor al 40%, el valor de "d" será el mínimo "0"</p> <p>Si el % del índice plástico es mayor al 60%, el valor de "d" será el máximo "20"</p>											
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>N° malla</th> <th>% retenido acumulado</th> <th>% Pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>200</td> <td>99.03</td> <td>0.97</td> </tr> </tbody> </table> <p>El 0.97% es menor al 35%: es un suelo grueso</p>			N° malla	% retenido acumulado	% Pasa	200	99.03	0.97
N° malla	% retenido acumulado	% Pasa									
200	99.03	0.97									

TABLA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL MÉTODO AASHTO

DIVISIÓN GENERAL	Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)							Materiales Limo- arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
GRUPO	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5	A-7-6
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasas por cada tamiz)												
Serie ASTM	#10	≤50										
	#40	≤30	≤50	≥51								
	#200	≤15	≤25	≤10	≤35	≤35	≤35	≤35	≥36	≥36	≥36	≥36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)												
Límite Líquido			NP	≤40	≥41	≤40	≥41	≤40	≥41	≤40	>41 (IP<LL-	>41 (IP>LL-
	Índice de plasticidad	≤6		≤10	≥10	≥11	≥11	≤10	≤10	≥11	≥11	≥11
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TIPOLOGÍA	Fragmento de piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA							ACEPTABLE A MALA				

3. Clasificación de suelos

Al ser un suelo grueso nos enfocamos en los grupos y subgrupos de los suelos A-1, A-3 y A-2

a. Siendo el IG=0, no se excluye ningún grupo

b. En base al análisis granulométrico:

N° malla	% retenido acumulado	% Pasa
10	38.2	61.8
40	80.92	19.08
200	99.03	0.97

\*Según la malla #10 descartamos el grupo A-1-a

\*Según la malla #40 descartamos el grupo A3

\*Según la malla #200 no se descartan los grupos A-1-b y A-2

c. En base a las propiedades del estado de consistencia:

LL: 16.01

IP: 1.81

\*Descartamos el grupo A-1b, ya que si existe valor del límite líquido de la muestra

\*Descartamos el grupo A-2-5 y A-2-7, ya que el LL no es mayor a 41

\*Descartamos el grupo A-2-6, ya que el IP no es mayor a 11

\*Finalmente al ser el LL<40 e IP<10, el suelo se clasifica como A-2-4, con un IG (0): A-2-4 (0)

Respuesta: Los datos indican que el suelo es

A-2-4(0)

Es una arena limosa o arcillosa



**Clasificación de suelo por AASHTO (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes): Muestra M-7**

Clasificación de suelos: Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO)

DATOS PARA CLASIFICACIÓN DE MUESTRA			PARÁMETROS DEL ÍNDICE DE GRUPO (IG)		
Características de la muestra: <b>M-7</b>			$(IG) = 0.2(a) + 0.005(a)(c) + 0.01(b)(d)$		
Límite Líquido (LL):	19.93		a : Es el % en exceso sobre 35, de suelo que pasa el tamiz N° 200, sin pasar de 75, se expresa como un número entero de valor entre 0 y 40		
Índice de Plasticidad (IP):	8.08		b : Es el % en exceso sobre 15, de suelo que pasa el tamiz N° 200, sin pasar de 55, se expresa como un número entero de valor entre 0 y 40		
Granulometría:			c : Es el % en exceso de límite líquido (LL) sobre 40, pero nunca superior a 60, se expresa como un número entero de valor entre 0 y 20		
N° malla	% retenido acumulado	% Pasa	d : Es el % en exceso de índice de plasticidad (IP) sobre 10, pero nunca superior a 30, se expresa como un número entero de valor entre 0 y 20		
10	13.22	86.76			
40	74.61	25.39			
200	99.57	0.43			

**PROCESO- PARTE I**

1. Cálculo del Índice de Grupo (IG)

$$(IG) = 0.2(a) + 0.005(a)(c) + 0.01(b)(d)$$

IG = 0

**% que pasa Tamiz N° 200**

35% (mín) — a — 75% (máx)

0 — 40

a = 0 (% #200: 0.43)

El % que pasa el tamiz N° 200 es: 0.43%, este valor no genera exceso sobre el 35%

Si el % que pasa el tamiz #200 es menor al 35%, el valor de "a" será el mínimo "0"

Si el % que pasa el tamiz #200 es mayor al 75%, el valor de "a" será el máximo "40"

**% que pasa Tamiz N° 200**

15% (mín) — b — 55% (máx)

0 — 40

b = 0 (% #200: 0.43)

El % que pasa el tamiz N° 200 es: 0.43%, este valor no genera exceso sobre el 15%

Si el % que pasa el tamiz #200 es menor al 35%, el valor de "b" será el mínimo "0"

Si el % que pasa el tamiz #200 es mayor al 75%, el valor de "b" será el máximo "40"

**Límite Líquido**

40% (mín) — c — 60% (máx)

0 — 20

c = 0 (% LL: 19.93)

El límite líquido es: 19.93%, este valor no genera exceso sobre el 40%

Si el % de límite líquido es menor al 40%, el valor de "c" será el mínimo "0"

Si el % de límite líquido es mayor al 60%, el valor de "c" será el máximo "20"

**Índice plástico**

10% (mín) — d — 30% (máx)

0 — 20

d = 0 (% IP: 8.08)

El índice plástico es: 8.08%, este valor no genera exceso sobre el 10%

Si el % del índice plástico es menor al 40%, el valor de "d" será el mínimo "0"

Si el % del índice plástico es mayor al 60%, el valor de "d" será el máximo "20"

**PROCESO- PARTE II**

2. Observamos el porcentaje que pasa por la malla N°200

# 200

> 35% Suelo fino

≤ 35% Suelo Grueso

N° malla	% retenido acumulado	% Pasa
200	99.57	0.43

El 0.43% es menor al 35%: es un suelo grueso

**TABLA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS POR EL MÉTODO AASHTO**

DIVISIÓN GENERAL	Materiales Granulares (pasa menos del 35% por el tamiz ASTM #200)							Materiales Limo- arcillosos (más del 35% por el tamiz ASTM #200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
GRUPO	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5	A-7-6
Subgrupo												
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (% que pasas por cada tamiz)												
Serie ASTM	#10	≤50										
	#40	≤30	≤50	≥51								
	#200	≤15	≤25	≤10	≤35	≤35	≤35	≤35	≥36	≥36	≥36	≥36
ESTADO DE CONSISTENCIA (de la fracción de suelo que pasa por el tamiz ASTM #40)												
Límite Líquido índice de plasticidad			NP	≤40	≥41	≤40	≥41	≤40	≥41	≤40	>41 (IP<LL-	>41 (IP>LL-
		≤6		≤10	≤10	≥11	≥11	≤10	≤10	≥11	≥11	≥11
ÍNDICE DE GRUPO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TIPOLOGÍA	Fragmento de piedra, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos		
CALIDAD	EXCELENTE A BUENA						ACEPTABLE A MALA					

3. Clasificación de suelos

Al ser un suelo grueso nos enfocamos en los grupos y subgrupos de los suelos A-1, A-3 y A-4

a. Siendo el IG=0, no se excluye ningún grupo

b. En base al análisis granulométrico:

N° malla	% retenido acumulado	% Pasa
10	13.22	86.76
40	74.61	25.39
200	99.57	0.43

\*Según la malla #10 descartamos el grupo A-1-a

\*Según la malla #40 descartamos el grupo A3

\*Según la malla #200 no se descartan los grupos A-1-b y A-2

c. En base a las propiedades del estado de consistencia:

LL: 19.93

IP: 8.08

\*Descartamos el grupo A-1b, ya que si existe valor del límite líquido de la muestra

\*Descartamos el grupo A-2-5 y A-2-7, ya que el LL no es mayor a 41

\*Descartamos el grupo A-2-6, ya que el IP no es mayor a 11

\*Finalmente al ser el LL<40 e IP<10, el suelo se clasifica como A-2-4, con un IG (0): A-2-4 (0)

Respuesta: Los datos indican que el suelo es

**A-2-4(0)** Es una arena limosa o arcillosa

## **PLANO DEL SIMULADOR**