



**FACULTAD DE INGENIERÍA ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**ESTUDIO DE LA EROSIÓN Y PÉRDIDA DE SUELOS  
EMPLEANDO UN SIMULADOR DE LLUVIAS EN LA  
CIUDAD DE CHONGOYAPE - CHICLAYO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**Autor:**

**Bach. Jiménez Colala Darwin**

**<https://orcid.org/0000-0003-3104-931X>**

**Asesor:**

**Mg. Muñoz Pérez Sócrates Pedro**

**<https://orcid.org/0000-0003-3182-8735>**

**Línea de Investigación:**

**Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente**

**Pimentel – Perú**

**2021**

**“ESTUDIO DE LA EROSIÓN Y PÉRDIDA DE SUELOS  
EMPLEANDO UN SIMULADOR DE LLUVIAS PARA LA  
CIUDAD DE CHONGOYAPE - CHICLAYO”**

Aprobación de Tesis

---

Mg. Muñoz Pérez Sócrates Pedro

**Asesor**

---

Mg. Idrogo Pérez, César Antonio

**Presidente del Jurado de tesis**

---

Mg. Marín Bardales, Noé Humberto

**Secretario del Jurado de tesis**

---

Mg. Villegas Granados Luis Mario

**Vocal del Jurado de tesis**

## **DEDICATORIA**

Dedico la presente investigación a Dios, a mis padres, Alfredo Jiménez Falla, Agripina Colala Jaramillo, a mis hermanos Celestina Jiménez Colala, Luis Jiménez Colala, Marilú Jiménez Colala, quienes me brindaron su apoyo incondicional, depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ello que soy lo que soy ahora.

A mis demás hermanos y amigos cuando me daban los ánimos a seguir y nunca rendirme, y a ti que siempre estuviste en el momento más difícil de mi vida que fuiste mi fiel compañía.

A mis maestros por su gran apoyo y motivación para la culminación de mis estudios profesionales y para la elaboración de este proyecto de investigación; y por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional y por apoyarnos en su momento.

Ya que hoy, puedo sentir de esta sensación de alegría al saber que el esfuerzo en conjunto de toda mi familia ha dado sus resultados que, con perseverancia, dedicación y esfuerzo, se ha conseguido hacer realidad uno de mis sueños, para que en esta parte de mi vida lograr sostenerme, impulsarme y seguir avanzando; porque nos ha posibilitado creer más en Dios, y amar siempre a nuestros seres queridos.

**Darwin Jiménez Colala**

## **AGRADECIMIENTO**

La presente investigación agradecer a Dios por guiarme y cuidarme en cada paso que he dado, a mis queridos padres, José Alfredo Jiménez Falla, Agripina Colala Jaramillo, y mis hermanos Luis Jiménez Colala, Celestina Jiménez Colala, Marilú Jiménez Colala, por siempre brindarme su apoyo y motivando mi formación académica, y creyeron en mí en todo momento y no dudaron de mis habilidades, para así poder llegar hasta donde he llegado, a ellos doy gracias por hacer realidad este sueño anhelado, y a mis demás hermanos. También dedico este proyecto a ti que en su momento estuviste para apoyarme dándome los ánimos necesarios, fuiste mi fiel compañera inseparable de cada jornada. Todos ellos representaron gran esfuerzo y tesón en momentos de decline y cansancio. A ellos este proyecto, ya que si su apoyo no hubiese podido ser.

A mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza y finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abrió, abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

**Darwin Jiménez Colala**

## RESUMEN

La escuela de ingeniería civil de la universidad Señor de Sipan no cuenta con un simulador de lluvias para dicha investigación, por ende, se realizó el equipo, (simulador de lluvias), para llevar a cabo los eventos hidrológicos, que sea preciso y confiable, para que sea utilizado en esta investigación, y así poder calcular la erosión y pérdida de suelos mediante la simulación de sucesos hidrológicos en los diferentes puntos a estudiar.

El área de estudio se escogió tres puntos específicos, las cuales tienen una superficie de un metro de ancho por tres metros de largo, donde el simulador de lluvia, de la presente investigación está diseñado para ser operado de una manera sencilla y es capaz de representar un evento de hasta 65 mm/h de intensidad, la cual hace uso de boquillas aspersoras que funcionan bajo una presión y un caudal determinado. Las boquillas pulverizadoras o de chorro plano la cual emiten una lluvia uniforme sobre el área de estudios con gotas cuyos tamaños promedios va desde los 2.5 mm a 4.00 mm

El presente estudio se desarrolló en la ciudad de Chongoyape perteneciente a la Provincia de Chiclayo por ser una ciudad donde se registran con frecuencia lluvias.

Como parte de la investigación se optó por simular la intensidad de mayor precipitación registradas en el fenómeno del niño del año de 1998, lo cual se trabajó 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 encontrado en la zona de los ensayos, así como la atribución de la pendiente y la flora en las tasas de erosión.

Los ensayos nos dieron a conocer la importancia de la vegetación en el terreno, así como las pendientes y el tiempo de duración de la lluvia en los sucesos hidrológicos.

**Palabras claves:** Erosión, pérdida de suelos, simulador de lluvias.

## ABSTRACT

The civil engineering school of the Señor de Sipan University does not have a rain simulator for said research, therefore, the equipment was made, (rain simulator), to carry out hydrological events, which is accurate and reliable, to be used in this research, and thus be able to calculate the erosion and loss of soils by simulating hydrological events at the different points to be studied.

The study area was chosen three specific points, which have a surface of one meter wide by three meters long, where the rain simulator of the present investigation is designed to be operated in a simple way and is capable of representing an event of up to 65 mm / h intensity, which makes use of spray nozzles that work under a certain pressure and flow. The spray or flat jet nozzles which emit a uniform rain over the study area with drops whose average sizes go from 2.5 mm to 4.00 mm

The present study was developed in the city of Chongoyape belonging to the Province of Chiclayo as it is a city where rains are frequently recorded.

As part of the research, it was decided to simulate the intensity of the highest rainfall recorded in the phenomenon of El Niño in 1998, which was worked with variable slopes from 3%, 10% and 25%, with a soil type CH, ML, CL; and with vegetation cover of the natural terrain and without cover found in the area of the tests, as well as the attribution of the slope and the flora in the erosion rates.

The tests showed us the importance of the vegetation on the ground, as well as the slopes and the duration of rainfall in hydrological events.

**Keywords:** Erosion, soil loss, rain simulator

# INDICE

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	15
1.1. Realidad problemática .....	15
1.1.1. A nivel internacional .....	15
1.1.2. A Nivel Nacional.....	16
1.1.3. A Nivel Local .....	17
1.2. Antecedentes de estudio. ....	19
1.2.1. Ámbito Internacional.....	19
1.2.2. Ámbito Nacional. ....	21
1.2.3. Ámbito Local.....	22
1.3. Teorías Relacionadas al Tema .....	23
1.3.1. Precipitación.....	23
1.3.1.1 Tamaño de las gotas de Lluvia .....	24
1.3.1.2 Intensidad de la precipitación .....	25
1.3.1.3 Clases de precipitación .....	26
1.3.1.4 Medir la Precipitación .....	26
1.3.1.5 Evaluación de los resultados de la precipitación.....	27
1.3.2. Erosión .....	27
1.3.2.1 Desgaste Superficial .....	28
1.3.2.2 Formas de Erosión.....	28
1.3.2.2.1 Erosión mediante las precipitaciones .....	29
1.3.2.2.2 Erosión Eólica .....	30
1.3.2.2.3 Erosión Hídrica.....	32
1.3.2.3 Causas Erosivos.....	36
1.3.2.4 Control de Erosión.....	40
1.3.2.5 Evaluación de la erosión por señales. ....	41
1.3.3. Pérdida de Suelos .....	41
1.3.3.1 Aplicaciones de la ecuación universal de la erosión (USLE).....	43
1.3.3.2 Limitaciones de la ecuación universal (USLE).....	48
1.3.4. Movimiento de Masas .....	48
1.3.5. Simuladores de lluvia .....	54
1.3.6. Definición de Términos .....	57
1.3.7. Ciencias Aportantes a la Investigación .....	57

1.4.	Formulación del Problema.....	58
1.5.	Justificación e importancia del estudio .....	59
1.6.	Hipótesis.....	59
1.7.	Objetivos .....	60
<b>II.</b>	<b>Material y Método .....</b>	<b>62</b>
2.1.	Tipo y Diseño de Investigación. ....	62
2.2.	Variables, Operacionalización.....	62
2.2.1.	Variable Independiente.....	62
2.2.2.	Variable Dependiente .....	63
2.2.3.	Operacionalización.....	63
2.3.	Población y Muestra. ....	65
2.3.1.	Población.....	65
2.3.2.	Muestra.....	65
2.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	65
2.4.1.	Técnicas.....	65
2.4.2.	Instrumentos .....	65
2.4.3.	Cuestionario .....	66
2.4.4.	Guía de análisis documental .....	66
2.5.	Procedimiento de análisis de datos. ....	66
2.6.	Criterios éticos.....	70
2.7.	Criterios de Rigor Científico .....	70
<b>III.</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>73</b>
3.1.	Resultados de estudio .....	73
3.1.1	Reconocimiento del lugar de estudio. ....	73
3.1.2	Clasificación de suelo a estudiar y tipo de pendiente .....	73
3.1.2.1	Ensayos de mecánica de suelos .....	74
3.1.2.2	Contenido de humedad de los especímenes extraídas.....	76
3.1.2.3	Granulometría.....	77
3.1.2.4	Limite Líquido y Limite Plástico.....	78
3.1.2.5	Clasificación de Suelos.....	78
3.1.2.6	Pendiente.....	79
3.1.2.7	Vegetación.....	80
3.1.3	Construir un simulador de lluvia y caracterizar la lluvia, conociendo la intensidad más alta registrada, en la ciudad de Chongoyape.....	81



3.1.4	Lograr una intensidad adecuada para diferentes precipitaciones con el simulador de lluvias en la ciudad de Chongoyape. ....	83
3.1.5	Determinar la capacidad de infiltración mediante el simulador de lluvias para la ciudad de Chongoyape.....	85
3.1.6	Evaluar a diferentes intensidades de lluvia la erosión y pérdida de suelos en la ciudad de Chongoyape.....	87
3.2.	Discusión de resultados .....	89
3.2.1.	Calculo de la Erosión y Pérdida de suelos mediante la simulación de lluvias.....	89
3.2.2.	Evaluar a diferentes intensidades de lluvia la erosión y pérdida de suelos en la ciudad de Chongoyape.....	90
<b>IV.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>93</b>
4.1.	Conclusiones. ....	93
4.2.	Recomendaciones. ....	95
<b>V.</b>	<b>Referencias .....</b>	<b>96</b>
	Referencias .....	96
	Anexos .....	100

## INDICE DE ABREVIATURAS

<b>INRENA</b>	: Instituto Nacional de Recursos Nacionales
<b>RUSLE</b>	: Ecuación Universal de la Perdida de Suelos
<b>GW</b>	: Grava bien graduada
<b>GP</b>	: Grava pobremente graduada
<b>GM</b>	: Grava limosa
<b>SW</b>	: Arena bien graduada
<b>SP</b>	: Arena pobremente graduada
<b>SM</b>	: Arena limosa
<b>SC</b>	: Arena arcillosa
<b>ML</b>	: Limo de baja plasticidad
<b>MH</b>	: Limo de alta plasticidad
<b>CL</b>	: Arcilla de baja plasticidad
<b>CH</b>	: Arcilla de alta plasticidad
<b>OL</b>	: Suelo orgánico de alta plasticidad

## Índice de Imágenes

<b>Figura 1</b> Localidad donde se desarrollada el estudio.....	18
<b>Figura 2</b> Proceso de erosión por salpicadura, <b>Fuente:</b> (Jaime, 2001, pág. 61).....	32
<b>Figura 3</b> Proceso de erosión laminar, <b>Fuente:</b> (Jaime, 2001, pág. 62) .....	33
<b>Figura 4</b> Proceso de erosión por surcos, <b>Fuente:</b> (Jaime, 2001).....	34
<b>Figura 5</b> Esquema general del proceso de erosión en cárcavas <b>Fuente:</b> (Jaime, 2001).....	35
<b>Figura 6</b> Esquema grafica causada por los tipos de erosión hídrica <b>Fuente:</b> (Jaime, 2001) .....	35
<b>Figura 7</b> Efecto de un ángulo de inclinación sobre la erosión y la vegetación, <b>Fuente:</b> (Izquierdo, 2008). .....	39
<b>Figura 8</b> Extraxtos del suelo a exrtraer .....	75
<b>Figura 9</b> Extracción de Muestras .....	75
<b>Figura:</b> 10 Curva granulométrica de la muestra M-1, E-1. ....	77
<b>Figura 11</b> Muestras para obtener los indices de plasticidad .....	78
<b>Figura 12</b> Simulador de lluvias.....	82
<b>Figura 13</b> Ensayos realizados para lograr la intensidad requerida .....	83
<b>Figura 14</b> Ensayos realizados logrando tener la intensidad adecuada de los diferentes ensayos a realizar .....	84
<b>Figura 15</b> Comportamiento de la Velocidad de infiltración según textura .....	86
<b>Figura 16</b> Escorrentía generada en el área sin vegetal .....	89
<b>Figura 17</b> Escorrentía generada en el área con vegetación.....	90
<b>Figura 18</b> Boquillas aspersoras de agua floodjet.....	101
<b>Figura 19</b> Boquillas aspersoras veejet .....	102
<b>Figura 20</b> Boquillas aspersoras veejet tipo plana .....	103
<b>Figura 21</b> Cosificación de suelos.....	106
<b>Figura 22</b> Elaborando los ensayos de plasticidad.....	106
<b>Figura 23</b> Haciendo la simulación de lluvia en el campo.....	107
<b>Figura 24</b> Recolectando el agua con los sedimentos arrastrados .....	107
<b>Figura 25</b> Secando el material obtenido después de los eventos hidrológicos simulados	108
<b>Figura 26</b> Material erosionado obtenido de los eventos hidrológicos simulados.....	108

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> Formas en que se manifiesta la Lluvia .....	25
<b>Tabla 2</b> Erosión por precipitación.....	29
<b>Tabla 3</b> Degradación de los Suelos.....	30
<b>Tabla 4</b> Erosión Eólica.....	31
<b>Tabla 5</b> Desplazamiento de las Partículas del Suelo por Acción del Aire.....	32
<b>Tabla 6</b> Factores que influyen en la erosión .....	36
<b>Tabla 7</b> Indicadores de estimación de la erosión .....	41
<b>Tabla 8</b> Datos para el coeficiente Topográfico (LS) en Taludes .....	44
<b>Tabla 9</b> Coeficiente C para bosques .....	45
<b>Tabla 10</b> Valores del Factor C para cobertura vegetal .....	45
<b>Tabla 11</b> Factores para Diferentes Coberturas.....	46
<b>Tabla 12</b> Condiciones de la Superficie del Terreno.....	46
<b>Tabla 13</b> Importantes rasgos de la erosión superficial versos el Movimiento de masas ....	49
<b>Tabla 14</b> Agentes y formas de erosión .....	50
<b>Tabla 15</b> Agentes y tipos de erosión.....	51
<b>Tabla 16</b> Clasificación y Movimiento de Taludes.....	52
<b>Tabla 17</b> Principales Fallas en Taludes .....	53
<b>Tabla 18</b> Tipos que revelan los movimientos o potencial de desprendimiento .....	54
<b>Tabla 19</b> <b>Operacionalización</b> .....	64
<b>Tabla 20</b> Zonas de estudio .....	73
<b>Tabla 21</b> Cuadro de las pruebas realizadas en campo .....	74
<b>Tabla 22</b> Contenido de Humedad .....	76
<b>Tabla 23</b> Índices de plasticidad.....	78
<b>Tabla 24</b> Clasificación de Suelos.....	79
<b>Tabla 25</b> Cuadro de pendientes utilizadas en los ensayos realizados.....	79
<b>Tabla 26</b> Matriz de Ensayos Realizados con o sin Cobertura Vegetal .....	80
<b>Tabla 27</b> Resumen de los Resultados de los ensayos de suelos .....	80
<b>Tabla 28</b> Dimensiones del área de estudio .....	82
<b>Tabla 29</b> Cuadro de ensayos realizados la intensidad y diferentes precipitaciones .....	84
<b>Tabla 30</b> Tiempo de concentración.....	85
<b>Tabla 31</b> Infiltración de diferentes puntos a estudiar.....	86

<b>Tabla 32</b> Valores referenciales de velocidad de infiltración básica o estabilizada según textura del suelo.....	86
<b>Tabla 33</b> Evaluación de las tasas de erosión mediante la ecuación USLE. ....	87
<b>Tabla 34</b> Evaluación de las tasas de erosión mediante la ecuación USLE .....	88
<b>Tabla 35</b> Erosión mediante la ecuación USLE y los ensayos realizados en campo .....	90
<b>Tabla 36</b> Erosión del suelo, pendiente vs tiempo sin vegetación .....	91
<b>Tabla 37</b> Erosión del suelo, pendiente vs tiempo con vegetación .....	91
<b>Tabla 38</b> Datos obtenidos en campo .....	93
<b>Tabla 39</b> Erosión del suelo, pendiente vs tiempo con vegetación .....	100

# **I. INTRODUCCIÓN**

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Realidad problemática**

#### **1.1.1. A nivel internacional**

En México, El crecimiento de los seres humanos a nivel universal ha causado la búsqueda y exploración de lugares para poder usarlos y así, resolver las penurias de los seres humanos como la alimentación, hogar, energía, etc.

La tierra es un elemento principal para toda la humanidad la cual se debe cuidar puesto que es el elemento de gran importancia. Ya que, las acciones que realiza el ser humano son las que pueden apresurar en gran medida las tasas de deterioro al exponer al suelo al golpe de la lluvia o de las corrientes del aire (Islas, 2016).

En México el aumento de la población ha ido buscando nuevos espacios para poder solventar sus necesidades; ya que el suelo es un recurso que se debe cuidar, son las actividades del ser humano las que logran activar, y el control de la erosión, al exponerlo al suelo al golpe del agua y viento.

En Colombia, En el programa de pregrado de "tecnología en saneamiento ambiental" en la materia de hidrología se presentaron temáticas sobre infiltración de agua y escorrentía en los suelos, con estos temas se pueden determinar algunas características del suelo y así poder clasificarlo o comprender sus particularidades, pero surge la necesidad de presentar estas temáticas de una forma más didáctica, en la cual los estudiantes de pregrado de tecnología en saneamiento ambiental tengan la oportunidad de observar en prácticas de campo como son realmente estos procesos de escorrentía y de infiltración dependiendo del tipo y uso del suelo.

A causa de que en la universidad no se cuenta con los equipos ni espacios necesarios para determinadas áreas académicas como es el caso de la asignatura de Hidrología, surgió la necesidad de diseñar y crear un simulador de lluvia, con el fin de brindar una explicación más completa de los procesos de infiltración y escorrentía que se presentan en los suelos dependiendo de su tipo y uso (Daniel Julian Luengas Machado Steven Felipe de la Rosa Parra, 2015).

En Chile, la pérdida de suelos se considera un evento complicado, el cual está relacionado principalmente con la separación o meteorización de la tierra o de un material petreo por la actividad de factores ambientales, que conlleva al arrastre de las partículas desprendidas. Deriva de la palabra latino "erodere" que se traduce como roer. El cual es un evento geológico natural, que genera sedimentos, mismos que pasan

a formar parte de la corteza terrestre. Este proceso cuando las piedras se encuentran expuestas a la atmósfera. Por ende, se debe al efecto que causa la energía solar y otros factores reguladores como lo es la gravedad lo cual logra poseer un espacio sobre toda la corteza terrestre en todo nuestro universo, sin embargo, su fuerza varía con el tiempo y espacio.

El grado en la que se expresa el deterioro del suelo, obedece a muchos factores como lo es, geografía del terreno y tiempo en la zona.

En el territorio de Chile, existe una diversidad de vías que han sido construidas en pendientes muy pronunciadas. El hombre por necesidad se ha visto obligado conectar diferentes puntos, aunque la topografía sea muy accidentada, en donde se ha tenido que intervenir taludes naturales y hacer otros de forma artificiales, dejándolos en ambos casos expuestos a los eventos que producen que producen desgaste en el suelo. (Bascuñán Chaparro, 2010).

### **1.1.2.A Nivel Nacional.**

En Lima, las parcelas de experimentación se encuentran contenidas por una armazón de acero, integrada por un pivote que permite usar diversas pendientes. Los aparatos de salida registran el flujo de salida del contenedor de agua que lo abastece, permitiendo controlar la intensidad esperada. El estudio incluyó la simulación de tormentas parecidas a las que se originan en la amazonia alta, consta norte y la sierra peruana. Permite observar que a mayor pendiente y cubierta vegetal los niveles de erosión.

Los experimentos nos aportaron resultados sobre la efectividad de las especies vegetales utilizadas, en las parcelas de prueba. (Izquierdo Cáceres, 2008)

En Puno, El desgaste de la superficie del terreno es un evento muy serio que viene afectando a todo el continente de América Latina. El desgaste del suelo es producido principalmente por los escasos recursos que tienen algunos seres humanos primordialmente es la pobreza. Cuando los que cuentan con bajos recursos logran que el suelo sea desgastado para poder mantenerse. El desgaste del suelo está estrechamente vinculado con las dificultades del crecimiento rural. Por ende, sin terreno el crecimiento rural será imposible.

Como la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), hoy por hoy, el deterioro de la superficie es afectado en un 20%

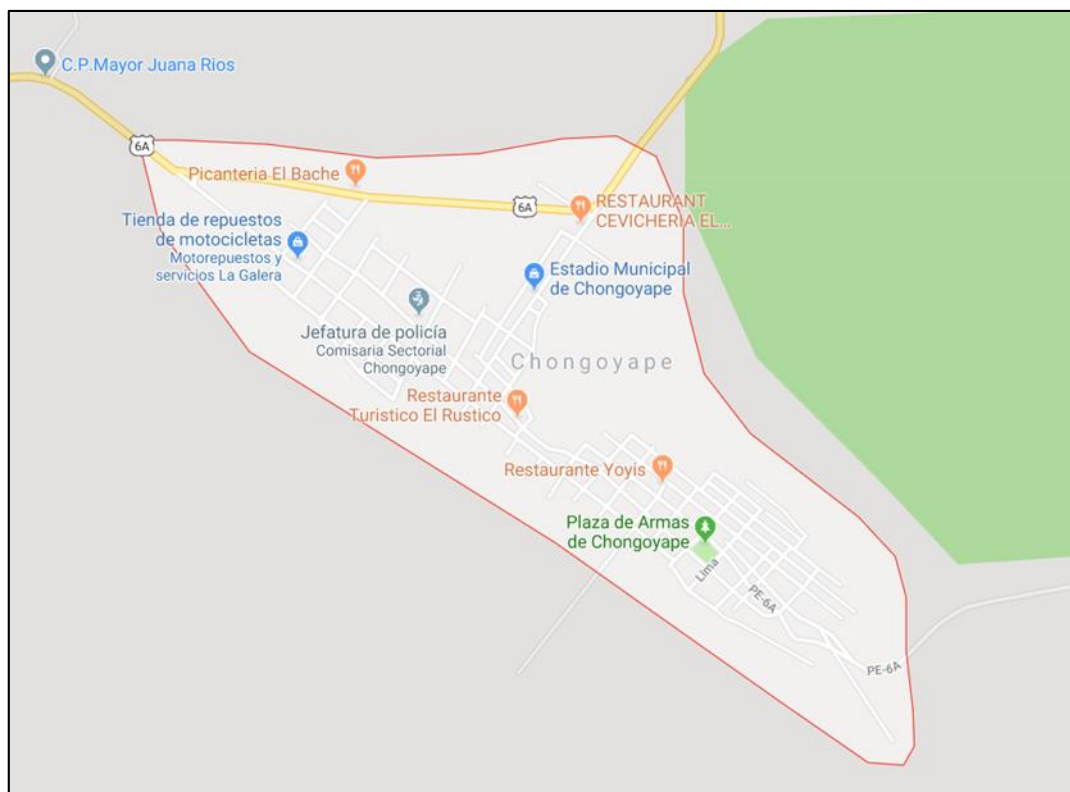


en la agricultura, un 15% en las praderas y un 30% de los bosques a nivel mundial. Dicha entidad expresa que el deterioro se halla a un nivel muy peligroso de los últimos 20 años, según un reciente estudio publicado por la (FAO), y asociados, en los primeros períodos del siglo XXI la erosión de la superficie terrestre afecto a más de 1500 millones de personas. (Harry, 2014).

En Lima, El desgaste de la superficie terrestre por efecto de la erosión hídrica es una molestia que empeora día con día, principalmente en naciones en crecimiento, como consecuencia de la falta de investigación relacionada al tema, como es de mencionar en nuestro país no hay estudios que se hayan hecho. Las últimas investigaciones las realizó el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) en 1996, donde se brindan aportes cualitativa del proceso erosión de los suelos, por ende, esta indagación tiene como vital objetivo evaluar del desgaste del suelo en el Perú y precisar las principales medidas que favorezcan a su control. Por lo cual, primero fue necesario determinar el método apropiado para estudiarlo, en situaciones climatológicas adecuadas y tener los medios para obtener la información, y así poder conseguir resultados a escala regional, subsecuentemente, de cuenca. Para poder cuantificar el desgaste efectivo y proyectada, lo que permitirá efectuar un parecer económico y poder, desarrollar unas alineaciones precisas para su regulación (Rosas Barturén, 2016).

### **1.1.3.A Nivel Local**

La localidad de Chongoyape, es un distrito peruano la cual pertenece a la provincia de Chiclayo, región de Lambayeque, lo cual colinda media por su puntos cardinales mediante las provincias; Lambayeque y Ferreñafe, por el norte; con la demarcacion de Cajamarca al oriente; con la region de la libertd al sur y por el occidente con la extensión del Pacífico.



**Figura 1** Localidad donde se desarrollada el estudio

La presente investigación estudio se realizó en la localidad de Chongoyape – Chiclayo, motivo por ser un residente cercano a dicha zona de estudio, cuenta con presencia de lluvias en los meses de diciembre y marzo, siendo las más fuertes en los últimos años con la presencia del fenómeno del niño costero, esto causó muchos daños en los pobladores de dicha zona. Y de la región Lambayeque donde se puede observar las fallas por erosión causadas por las lluvias de gran intensidad afectando a las estructuras ingenieriles y siendo los más afectados los agricultores de la zona.

### **Objetivo de Estudio**

El desgaste de los suelos como consecuencia de la erosión hídrica se ha convertido en un inconveniente en aumento, especialmente los países de crecimiento, debido a la falta de investigación relacionada al tema de estudio, principalmente como es el caso del Perú, principalmente la ciudad de Chongoyape, que presenta lluvias frecuentes y fue afectada por el fenómeno del Niño costero, es así que esta indagación tiene como objetivo precisar la erosión, pérdida de suelos, mediante un simulador de lluvias en la ciudad Chongoyape.

## **1.2. Antecedentes de estudio.**

### **1.2.1. Ámbito Internacional.**

(Alexander José, 2010), desarrollo el estudio “Análisis de requerimientos, diseño y construcción de un simulador de lluvia a nivel de laboratorio, para la cuantificación de propiedades física-erosivas de gotas”, bajo investigación descriptiva, en general su problemática se centraliza en la erosión del suelo es un proceso natural, pero se ha magnificado debido al aumento de la población humana que provoca una presión sobre el uso de la tierra. Esta presión conlleva al aumento del límite agrario, destrucción de los bosques, utilización de tierras no aptas para cultivar, ya sea por razones de pendiente o tipos de suelos. La degradación de estas tierras crece rápidamente por un sobre uso, mal manejo de cultivos, e inadecuadas prácticas de conservación, el cual tiene como objetivo construir y calibrar un simulador de lluvia con boquilla pulverizadora de cono lleno a nivel de laboratorio, con el fin de desarrollar una metodología para determinar el diámetro, distribución y rapidez de la caída de la lluvia generadas, establecer valores de energías como parámetros fijos de erosividad, concluyendo que se estableció una metodología que permite establecer criterios de diseño para escoger la boquilla adecuada para ser utilizada en un simulador de lluvia a presión, considerando: intensidades de lluvia natural, una superficie de aplicación efectiva, y un método de medición de tamaño y velocidades de caída de gotas.

(Iván, 2010); desarrollo el estudio de, “Caracterización de lluvia simulada y su aplicación en parcelas experimentales de erosión en taludes de infraestructuras lineales”, teniendo como objetivos, narrar en un sector, la caracterización de precipitación simulada y por otro, el cambio que causa el desgaste hídrico producida por la precipitación en los taludes la indagación, concluyendo que a partir de los resultados que a las distintas precipitaciones simuladas en este estudio generadas por los accesorios que simulan distintos parámetros como es, distribución diámetro, dimensión de la gota o fuerza cinética, la mezcla de ambos materiales permite manifestar una de indagar las principales propiedades de las precipitaciones simuladas. Con esta metodología, y superando los distintos problemas que se han ido dando durante la elaboración de ensayos y estar al tanto de las restricciones que se pueden registrar en cualquier instante en las boquillas debido a la naturaleza de las simulaciones, se ha logrado obtener importantes parámetros que precisan las precipitaciones simuladas y de esta forma se adecua las diferencias de una

representación más confiable y minuciosa con otros estudios en los que se utilice las precipitaciones simuladas e incluso en algunos casos, conociendo las diferencias entre ambas, con las precipitaciones naturales.

(Ramiro, 2013); desarrollo la investigación de, "Efecto de tres intensidades de lluvias simuladas sobre el escurrimiento superficial y la pérdida de suelos en laderas quemadas y no quemadas de la serranía de Mojotoro, Salta, Argentina", teniendo como objetivo principal conocer el resultado de las precipitaciones simuladas y su relación con los incendios de la laderas, sobre la esorrentía y el material removido, en un tramo de las laderas de exposición oeste de la serranía de Mojotoro, Salta, Argentina, concluyendo, que tanto la esorrentía como la erosión fueron diferenciales, registrándose que ambas fueron en sentido general hasta un 60% mayores en las laderas afectadas por incendios; la intensidad de las lluvias simuladas, los bloques y marginalmente la Humedad Antecedente fueron determinantes en la obtención de la Capacidad de Infiltración con el simulador de lluvias de distintas intensidades, la que fueron contrastada con aquella que a la par se determinó con los infiltrómetros de anillos. Concluyendo que la Capacidad de Infiltración Real, en la zona de estudio, debe hallarse en algún punto situado por encima de los valores que se obtuvo con el simulador de lluvias y, puntualmente en relieves de ladera, por debajo de los valores determinados mediante la aplicación del método del infiltrómetro de doble anillo.

(María, 2014); desarrollo la investigación de, "Lluvia, Ecurrimiento y Producción de Sedimentos en una Microcuenca Agrícola del Sistema de Tandilia", su problema el país de Tailandia su serranía, presenta cambios en los cuales tuvieron como suceso el deterioro del área, la intensificación del trabajo agrario, objetivo, investigar el suceso mediante los eventos hidrológicos en una microcuenca ubicada en la subcuenca superior del afluente del Azul, que pertenece al Sistema de Tandilia, mediante la estimación de un evento hidrológico, el deslizamiento, traslado de partículas en un trayecto del agua, además a través del estudio experimental e empírico que narra dicha fase, concluye, que mediante las técnicas usadas, las variables asociadas al desplazamiento de las partículas mediante las precipitaciones, se encontró relación al considerarse muchos eventos, la interpretación de los eventos registrados durante la fase experimento indicó que la erosión laminar fue el que se originó con mayor frecuencia en la microcuenca, lo que permitiría corroborar la hipótesis propuesta.

(Ángel Daniel, 2015); desarrollo el estudio de "Aplicación del Modelo Rusle para el Cálculo de la Erosión Hídrica en la Microcuenca río Cubí" Se pretende como objetivo principal, Emplear de prueba de la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo Revisada (RUSLE), así poder obtener datos del desgaste de la superficie mediante las precipitaciones en la microcuenca del Río Cubí, parroquia Atahualpa.

Establecer alcances de deterioro mediante el beneficio de un simulador de lluvias.

Pronosticar el deterioro del suelo mediante las precipitaciones, con la ecuación universal de pérdida de suelos.

Certificar, medir el tipo con la Ecuación Universal, Perdida de Suelo Revisada (RUSLE), concluyendo el desgaste del suelo mediante la precipitación, se lograron controles de desgaste pequeñas a 10 t ha  $-1/\text{año}$ -1, que afectan a una categoría ligera de erosión.

El estudio de correlación entre el desgaste del suelo mediante la precipitación es determinado mediante el simulador de lluvia y la pérdida del suelo con la ecuación RUSLE lo que mostró una similitud de un  $r=0,70$ . Estos datos indican que la aplicabilidad del estereotipo es permisible en esta zona de investigación.

La deducción de la erosión mediante el procedimiento indirectamente, empleando la ecuación RUSLE, mediante los factores de la misma, y el uso de mapas digitales, lo cual se pudo conseguir un enfoque subjetiva del proceso del desprendimiento mediante las precipitaciones, lo que permitió ver su efecto y causa.

### **1.2.2. Ámbito Nacional.**

(Juan F. Weber; Santiago M. Reyna, 2016); desarrollo la investigación de "Cuantificación de la Erosión Hídrica en el Perú y los Costos Ambientales Asociados", centra su problema, pérdida de suelos es causada por las precipitaciones, lo que es un problema que se agrava, primordialmente en los pueblos en crecimiento, debido a la poca investigación desarrollada, como es el caso del Perú. Un estudio relacionado al tema lo realizo el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) en 1996 lo cual indagan de sol una forma cualitativa de los sucesos erosivos, lo cual el objetivo es estimar el peligro de la erosión en nuestro país y limitar lineamientos de prevención para su información. inicialmente, logra identificar las técnicas que logre adecuar con las condiciones climatológicas, con el medio de indagación que permita tener deducciones escala local de la cuenca. En seguida se medirá el control de deterioro

real y proyectada, lo cual permitirá plasmar y hacer una evaluación económica y así, diseñar los lineamientos precisos para poder ser controlados. En base a la experiencia desarrollada por este grupo de trabajo (Weber et al, 2011), se ha observado la conveniencia de llevar a cabo los experimentos correspondientes en el ámbito del Laboratorio; esto conlleva una serie de ventajas, entre ellas: condiciones ambientales controladas (temperatura, viento, etc.); accesibilidad a servicios (agua, electricidad, etc.); mejor operación de sistemas electrónicos de medición, en la cual se establece como objetivo, evaluar y medir la erosión mediante las precipitaciones en los países en crecimiento, estando el Perú el tema de indagación, para desarrollar medidas de instrucción, concluyendo que la indagación es mediante la pérdida de alimentos y sedimentos mediante los cuerpos de agua, lo cual es inevitable efectuar una apreciación más minuciosa incluyendo elementos y elementos añadidos que desempeñen un rol significativo en la cuenca de Santa, a fin de que su construcción existente e industrias de potabilización de agua. Los resultados manifiestan el grado que se debe efectuar una indagación a un tiempo determinado que permita evaluar la pérdida en años futuros las diferentes cuencas de nuestra localidad, de este modo se regula el crecimiento de la erosión.

(Roosevelt, 2016); desarrollo la investigación de “Evaluación de la Pérdida de Suelos por Erosión Hídrica en la Sub-cuenca Del Rio Shullcas 2000 – 2013, Huancayo”, su finalidad es evaluar el desgaste de suelo mediante el efecto que causa la erosión hídrica en la sub-cuenca del río Shullcas para el año 2000 y 2013, concluyendo que un 93.64% del área de la sub-cuenca del río Shullcas, lo cual viene siendo afectado por índices altos en erosión mediante las precipitaciones que solo un 6.36% por niveles moderados, parecido al grado de erosionabilidad en un 87.51% es muy pequeño, se debe porque presenta suelos como son, franco arcillo arenoso y franco arenoso y el 12.49% en superficies de clase moderado con texturas franco arcilloso.

### **1.2.3. Ámbito Local.**

Chiclayo, Se localizan, molestias geológicas en la división de Lambayeque está enderezado en la individualización de las zonas con mayor susceptibilidad de peligros geológicos en el departamento. El reciente estudio inicial que muestra las franjas críticas mediante los peligros geológicos identificadas durante el estudio de la indagación.

Utilizar especies forestales y realizar campañas educativas de romance ambiental para calibrar las especies forestales nativas y dar un audacia añadido con la recuperación de suelos afectados por la salinidad. Tomando como ribete la parcela actual en la circunscripción Realizar enseñanza comparativos de recuperación de suelos salinizados en otras localidades de la Región.

Existen pocos estudios relacionados en el tema.

### **1.3. Teorías Relacionadas al Tema**

#### **1.3.1. Precipitación**

La precipitación es un suceso meteorológico la cual forma parte del ciclo hidrológico, por el cual caen las gotas de agua, en estado sólido o líquido, con lo que cae con una velocidad apreciable a la superficie terrestre (Agustin Cahuana Andina, Weimar Yugar Morales, 2009, pág. 74).

Viene hacer precipitación a todo evento que se expresa mediante la humedad, lo cual su origen se da mediante las nubes, llegando hasta toda la corteza terrestre. Por ende se manifiestan mediante, las lluvias, las granizadas, las garuas y las nevadas son representaciones diferentes del mismo fenómeno de la precipitación. Lo cual se puede identificar según su intensidad, en:

- ✓ Leve, para tasas de caída de hasta 2.5 mm/h
- ✓ Moderada, desde 2.5 hasta 7.6 mm/h
- ✓ Fuerte, por encima de 7.6 mm/h (Moran, 2014, pág. 24).

#### **a) Origen de la Precipitación**

Para que la precipitación se genere son necesarios cuatro procesos fundamentales del ciclo hidrológico:

- ✓ Subida del viento y su disminución del calor
- ✓ condensación del vapor de agua y la formación de nubes
- ✓ alta concentración de humedad y
- ✓ aumento de diámetro de las gotas de agua que conforman la nube.

Los dos primeros procesos se dan en la atmósfera sin excesiva demora, no obstante una vez formadas las nubes, estas no siempre ocasionan precipitaciones, por lo tanto se resalta la importancia de los dos últimos requerimientos. De tal modo que la humedad contenida en las masas nubosas no es suficiente para producir lluvia continua, es por ello que el mecanismo de la precipitación va acompañado con un

proceso de regeneración de las nubes con nuevos aportes de vapor agua de las superficies por donde pasa la lluvia evitando así que las nubes se descarguen por completo y desaparezcan. El último proceso requerido es quizá el más crítico e importante, lo cual radica en que las gotas de lluvia tienen tamaños milimétricos mientras que las gotitas de nube son de tamaño micrométrico y se mantiene flotando en el aire en tanto no crezcan y pesen lo suficiente para vencer la resistencia del aire y precipitarse (José Cuadrate, Fernanda Pita, 1997, pág. 35).

#### **b) Formación de las gotas de Lluvia**

Para que se forme las gotas de lluvia previamente tienen que cambiar de fase el vapor de agua que hay presente en el aire y para ello se solicita la representación de los llamados núcleos de condensación que son partículas muy diminutivas, sales marinas o de esporas que apenas tienen una micra de diámetro en torno a ello se forman una película de agua líquida y se forman las gotas de lluvia con unos diámetros de 20 micras, teniendo en cuenta que la precipitación dura aproximadamente 60, es un proceso demaciado demaciado lento, por lo que existen dos teorías (José Cuadrate, Fernanda Pita, 1997).

#### **c) Teoría de Bergeron – Findeisen ( Nubes Frias)**

En este proceso solo da lugar en nubes de carácter mixto donde coexisten cristales de hielo y gotas de agua a temperaturas negativas, donde se evaporan y se subliman sobre los cristales de hielo haciendo que crezcan, este fenómeno se da ya que la tensión de saturación del fluido sobre el hielo es mínimo que el elemento subfundida. Cuando están formados los cristales de hielo, estas siguen creciendo por sublimación de vapor, o por la unión de otros cristales de hielo que que alcance el peso suficiente y puede precipitarse como nieve o agua. Lo cual este es el más activo en nubes con temperaturas de  $-30^{\circ}\text{C}$  a  $0^{\circ}\text{C}$  (José Cuadrate, Fernanda Pita, 1997).

#### **1.3.1.1 Tamaño de las gotas de Lluvia**

Los diámetros de las gotas de las precipitaciones llegan a tener diámetros de 6 mm donde las que presentan diámetros menores que 3 mm no suelen ser muy comunes especialmente en lluvias de baja intensidad. Lo cual el tipo de precipitación que llegará a la corteza terrestre obedecerá al proceso que se da en el interior de las nubes y la temperatura entre la tierra y las nubes. En las que permitirán que haya



precipitaciones, manifestándose en lloviznas, lluvia, heladas y nieve seca o aguanieve.

Debido al calor que está próximo a la corteza terrestre, mediante la radiación, hace que las corrientes de aire trepen hasta alturas que logren ser enfriadas y puedan ser saturadas.

Las lluvias se manifiestan mediante un estado líquido lo cual varían sus tamaños de acuerdo a sus estados en que se dan (José Cuadrate, Fernanda Pita, 1997).

**Tabla 1** Formas en que se manifiesta la Lluvia

<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tamaño</b>
<b>Llovizna</b>	Pequeñas gotas de agua Intensidad (1 mm/h)	0.1 - 0.5 mm
<b>Lluvia</b>	Gotas de agua Ligera: < 2.5 mm/h Moderada: 2.5 - 7.6 mm/h Fuerte: > 7.6 mm/h	< 0.5 mm
<b>Helada</b>	Capa de hielo, formada por llovizna o lluvia congelada	Gravedad específica 0.8
<b>Nieve</b>	Cristales hexagonales de hielo	Gravedad promedio específica 0.1
<b>Granizo</b>	Fragmentos irregulares de Hielo	De 5 a más 125 mm, Gravedad específica = 0.8

**Fuente:** (Chow V. T., 1994).

### 1.3.1.2 Intensidad de la precipitación

Se le conoce como el total de agua que cae en la superficie terrestre, en un determinado tiempo la cual se mide en mm/hora.

Al momento en que la intensidad supere la capacidad de infiltración en el suelo, hace que el agua se escurra superficialmente, lo cual hace que el suelo se erosione. cuando la superficie del suelo se encuentra cubierta por manto vegetal hace que se reduzca la posibilidad de desgaste del suelo, ya que las plantas atrapan las gotas de lluvia, protegiéndolas en cierta medida para que no tengan roce directo con el suelo.

Por otro lado, la fuerza con la que cae el agua generalmente se relaciona de forma inversa con su duración, haciendo referencia que los aguaceros duran poco tiempo. Las gotas de lluvias torrenciales al impactar sobre la superficie terrestre destruyen las partículas del suelo, haciendo que el suelo se erosione, debido a la escorrentía que se produce.

El recurso hídrico es de mucha importancia para cualesquiera de los entes vivientes, lo cual tiene la función, mantener el equilibrio térmico del planeta (Morales, 2010, pág. 58).

#### **1.3.1.3 Clases de precipitación**

Es la descondensación del agua, generando la precipitación en forma leve y de gran intensidad, lo cual se clasifica en tres grupos:

**Precipitaciones convectivas:** se genera mediante el calentamiento del aire lo cual tiende a elevarse, debido a que las corrientes de aire caliente tienen menor peso que el aire que se encuentra en la atmósfera. Esta diferencia de temperaturas origina un calentamiento irregular de acuerdo a la zona mediante la capa superior del aire, que se va elevando mientras se calienta, una vez elevado el aire se enfría y forman las nubes generando las precipitaciones. Este tipo de precipitación se caracteriza por ser precisa y de intensidad variable, pudiendo provocar desde lloviznas hasta aguaceros (Morales, 2010, pág. 59).

**Precipitaciones orográficas:** Es el resultado que se da en mediante la evaporación del agua y es elevado por los vientos hacia una cadena de cordilleras, donde las capas de aire adyacentes a la superficie suelen tener las mayores concentraciones de vapor, en el que los nublados continúan por los declives de las cordilleras y trepan a grandiosas elevaciones logrando la precipitación.

En el Perú, la selva es la zona con mayor presencia de precipitaciones, lo cual las corrientes de agua provienen de las zonas bajas (Morales, 2010, pág. 61).

**Precipitación frontal:** Es el resultado mediante la unión de nubes en diferentes temperaturas, lo cuales las más calientes son elevadas a alturas donde se produzca la precipitación. En la naturaleza, estos tres tipos de enfriamiento están entre sí, generando precipitaciones en las cuales se pueden identificarse de diferentes tipos (Morales, 2010, pág. 61).

#### **1.3.1.4 Medir la Precipitación**

La lluvia se calcula mediante la altura del espejo de agua medida en milímetros. El espejo de agua acumulada encima de la zona donde se registró el evento hidrológico, nos evidencia el total de agua que cayó en dicha zona. Aquellos instrumentos utilizados para medir la lluvia y otro tipo de precipitaciones son el pluviómetro y pluviógrafo, los cuales son un recipiente cilíndrico y descubierta en la parte de arriba. El procedimiento de medición se basa en la colocación de dichos

instrumentos en una zona abierta para recolectar el líquido que se originó mediante el suceso hidrológico (Morales, 2010, pág. 61).

Comúnmente la lluvia es recolectada por instrumentos muy simples, que permiten medir el agua recolectada y así medir la cantidad de agua recolectada y su altura.

Para poder obtener los datos se hace uso de los siguientes instrumentos:

- a) **Pluviómetro:** Es un recipiente tubular abierto en la parte superior, y de manera que sus paredes sean verticales, que permita recolectar el agua en un evento hidrológico para posterior ser medida.
- b) **Pluviógrafos:** Es similar al pluviómetro solo que estos inspeccionan la lluvia automática y hacen su representación seguida en pequeños intervalos de tiempo.
- c) **Pluviómetros totalizadores:** son empleados en zonas que no son muy accesibles, las cuales son frecuentadas en intervalos, que permitan registrar dichos datos ya sea mensual o temporal (Cheroque, 1989, pág. 27).

#### **1.3.1.5 Evaluación de los resultados de la precipitación**

Los estudios mediante resultados obtenidos en los eventos hidrológicos registrados en los instrumentos utilizados para recolectar el agua, se debe realizar teniendo los conocimientos básicos relacionados al tema. La idea de todo hidrólogo es recoger un sin número de datos a modo que le sea necesario obtener los resultados y ser plasmados felizmente, tanto espacial como temporalmente, el proceso muestreado. Lo cual utiliza un método estadístico, eligiendo única guía que simbolice los comportamientos de las lluvias en la zona de indagación (Cheroque, 1989, pág. 19).

#### **1.3.2. Erosión**

Es la separación, arrastre y depósito de partículas que conforman el suelo o las rocas, que se genera por el efecto de algún fluido en circulación, este puede originarse mediante las precipitaciones o las corrientes de aire.

Además, la erosión obedece únicamente a los elementos del aguacero o de las corrientes de aire, lo cual la erosión se da a conocer mediante la lluvia y el viento, por ende, se puede calcular mediante la lluvia o el aire que lo expresan mediante la erosión.

Donde se ha verificado que la erosión mediante los sucesos hidrológicos, se relaciona mediante las formas que se manifiestan las lluvias, ya sea en tormentas de gran intensidad, pero de corta duración, las lluvias de tiempos muy largos, pero de poca intensidad.

Asimismo, cabe mencionar al impactar el agua en forma de gotas con la corteza terrestre estas hacen que el suelo se erosioné. También la erosión se produce cuando el suelo ha superado su capacidad de infiltración, por lo cual la superficie del suelo se forma una arrolla, generando que el suelo se vea afectado mediante la desgaste laminar, desgaste en surcos y desgaste en cárcavas (Jaime, 2001, pág. 16)

#### **1.3.2.1 Desgaste Superficial**

El desgaste ligero en la superficie viene hacer la separación de las capas superiores de la corteza terrestre mediante corrientes de aire, agua y el hielo. El desgaste de la corteza terrestre implica una serie de procesos como es desprendimiento y transporte mediante estos eventos.

Ambos eventos que causan el desgaste del suelo, ya sea mediante la lluvia y corrientes de viento. El desgaste por las lluvias comienza desde que caen las gotas de agua que al entrar en contacto con el suelo logran despegar las partículas y trasladarlas a otros lugares determinados.

Cuando se inicia el escurrimiento la lluvia que cae en la superficie terrestre y se reúne en pequeños arroyos, los cuales son capaces de desgastar la superficie del suelo manifestándose en pequeños canales llamados surcos. Las cárcavas son un valor de degradación más y más peligroso y destructivamente cuando se inicia, por ende, es difícil de reducir.

El desgaste se puede manifestar en todo lo extenso de las orillas de los ríos puesto que su aceleración es demasiado fuerte sin embargo su resistencia muy baja. Los continuos procesos de inundación relacionados con los de erosión pueden roturar que la planificación de las defensas ribereñas sea un gran desafío. La socavación y la tubificación pueden hacer otros tipos de abrasión generados por la infiltración del agua en taludes desprotegidos (Jaime, 2001, pág. 57).

#### **1.3.2.2 Formas de Erosión**

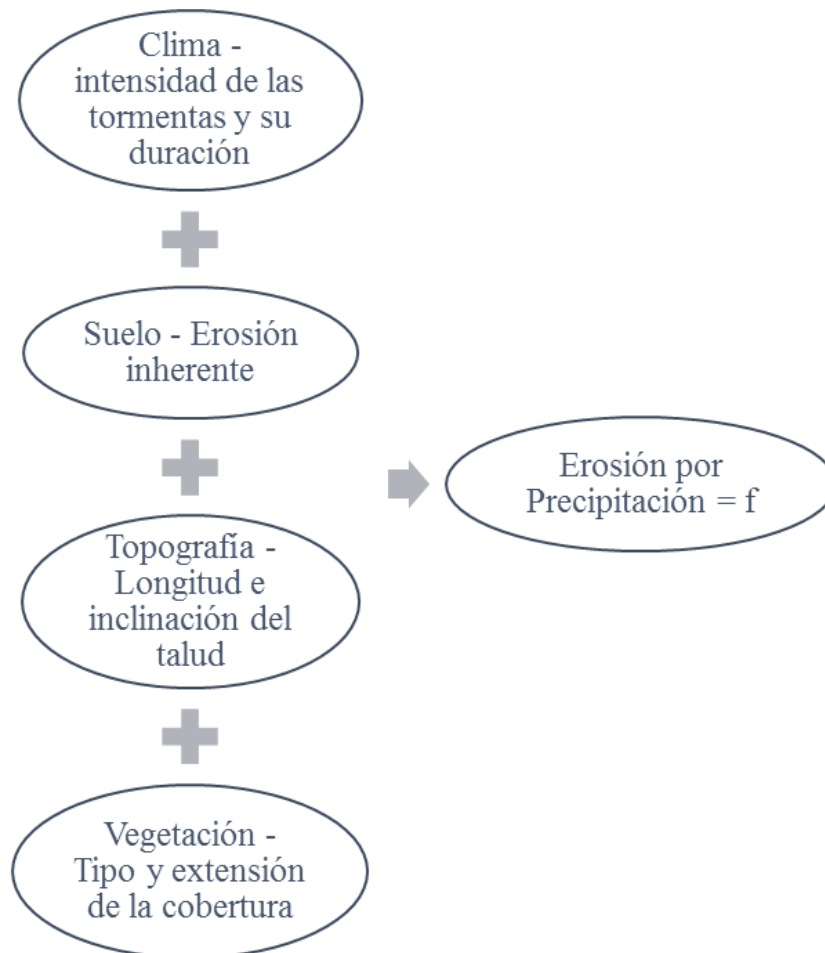
El principal problema que conlleva a que el suelo sea erosionado son las lluvias, las corrientes de aire y el hielo. Por ende, estos eventos alcanzan desprender y socavar ciertas porciones del suelo mediante las corrientes de agua o impacto sobre la superficie en la que están en contacto. Así mismo el suelo se puede erosionar en

diferentes formas. El desgaste mediante las lluvias, se manifiesta mediante salpicaduras, láminas o surcos (Jaime, 2001, pág. 57).

### 1.3.2.2.1 Erosión mediante las precipitaciones

La erosión mediante las precipitaciones depende de cuatro factores como es: el clima, tipo de corteza terrestre, pendiente y cobertura vegetal. Lo cual se detalla de la siguiente forma:

**Tabla 2** Erosión por precipitación



Las medidas climáticas más y más significativas conllevan, que el suelo sea erosionado mediante la presencia de precipitaciones es el tiempo, e intensidad de los eventos hidrológicos. En suelo es afectado mediante el arrastre de partículas lo cual se le conoce como “erosión”. Por ende, en la corteza terrestre hay una variedad de suelos siendo los más erosionados en mayor magnitud, los limos tienen y de menor magnitud las gravas bien graduadas. La erosionabilidad se da respecto a diversos factores según la tabla 2 (Izquierdo, 2008, pág. 36).

Los son erosionados de mayor erosión a menor erosión de la cual de detalla de la siguiente manera: **ML > SM > SC > MH > OL >> CL > CH > GM > SW > GP > GW** (Izquierdo, 2008, pág. 36).

Donde:

- GW : Grava bien graduada
- GP : Grava pobremente graduada
- GM : Grava limosa
- SW : Arena bien graduada
- SP : Arena pobremente graduada
- SM : Arena limosa
- SC : Arena arcillosa
- ML : Limo de baja plasticidad
- MH : Limo de alta plasticidad
- CL : Arcilla de baja plasticidad
- CH : Arcilla de alta plasticidad
- OL : Suelo orgánico de alta plasticidad

**Tabla 3** Degradación de los Suelos

- 
- Es baja en grabas gruesas y bien graduadas
  - Es alta en limos uniformes y arenas finas
  - Decrece con el aumento del contenido de arcilla y materia orgánica
  - Decrece con una relación de vacíos baja y un contenido de humedad previo alto
  - Se incrementa con el aumento de la absorción de sodios y la disminución de la resistencia iónica del agua.
- 

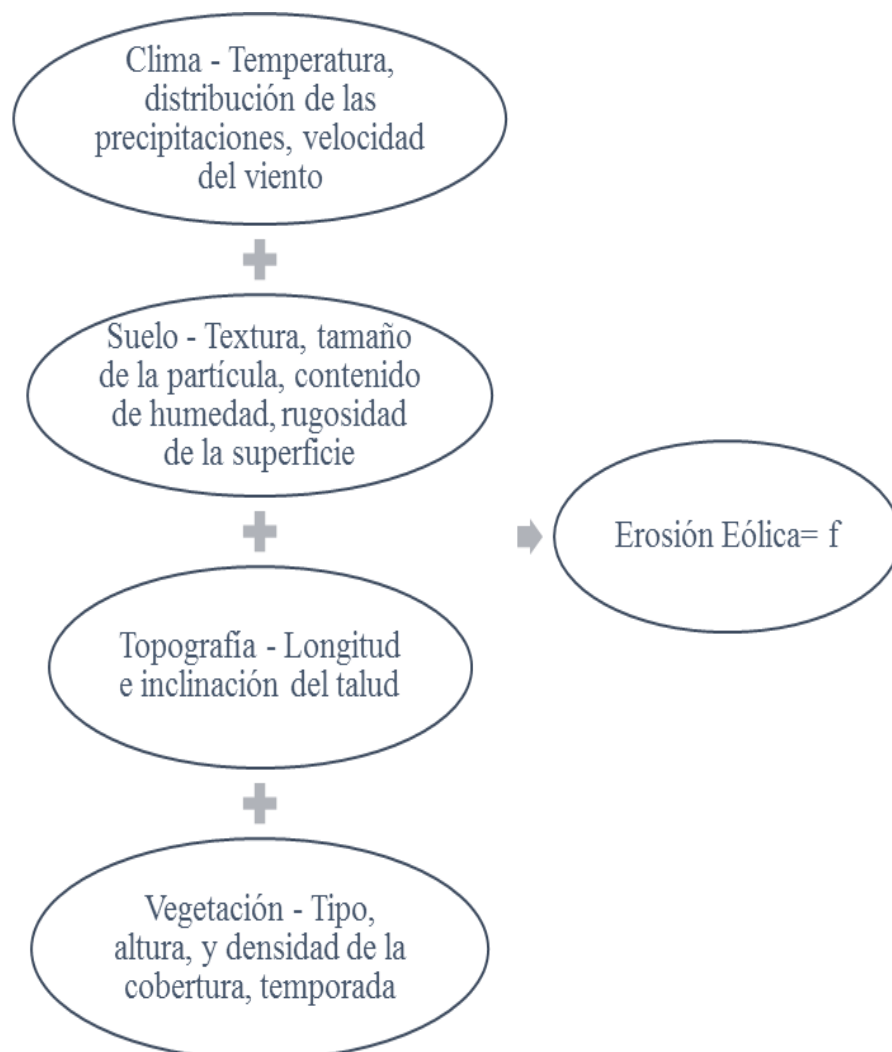
**Fuente:** (Izquierdo, 2008).

#### 1.3.2.2.2 Erosión Eólica

El viento es un agente de erosión que puede, levantar y transportar mercancías, pero tiene una capacidad limitada para dañar rocas duras y duras. Si la superficie está formada por roca dura, la fuerza de unión del material supera la fuerza ejercida por el aire, por lo que el aire no provoca cambios significativos. El viento puede aumentar su potencial de erosión y erosión si las condiciones expuestas contienen minerales sólidos. La velocidad excesiva determina la

capacidad del viento para dañar la materia roja, pero también afecta las propiedades del suelo, el área de la corteza terrestre, el resultado protector sobre la vegetación y más. En caso de contaminación del aire, las condiciones en las que opera el viento en él son muy críticas. Los cambios no se limitan a puntos o áreas limitadas como las causadas por daños por agua. La ventilación se realiza en todas las superficies. En áreas extensas, la erosión del suelo a menudo resulta en excavaciones profundas llamadas cuencas, depresiones o cuencas de contracción. Ocurren en áreas casi blandas sin vegetación donde el suelo está expuesto a los efectos del viento. Las partículas finas (arcilla y arcilla) se elevan y fluyen más allá del valor de almacenamiento. La que se expande en el espacio desde miles de metros hasta miles de metros de altura. La altura depende de la intensidad del viento, su longitud y el tamaño de las celdas. El resultado puede ser una nube espesa llamada huracán (Izquierdo, 2008, pág. 37).

**Tabla 4** Erosión Eólica



**Tabla 5** Desplazamiento de las Partículas del Suelo por Acción del Aire

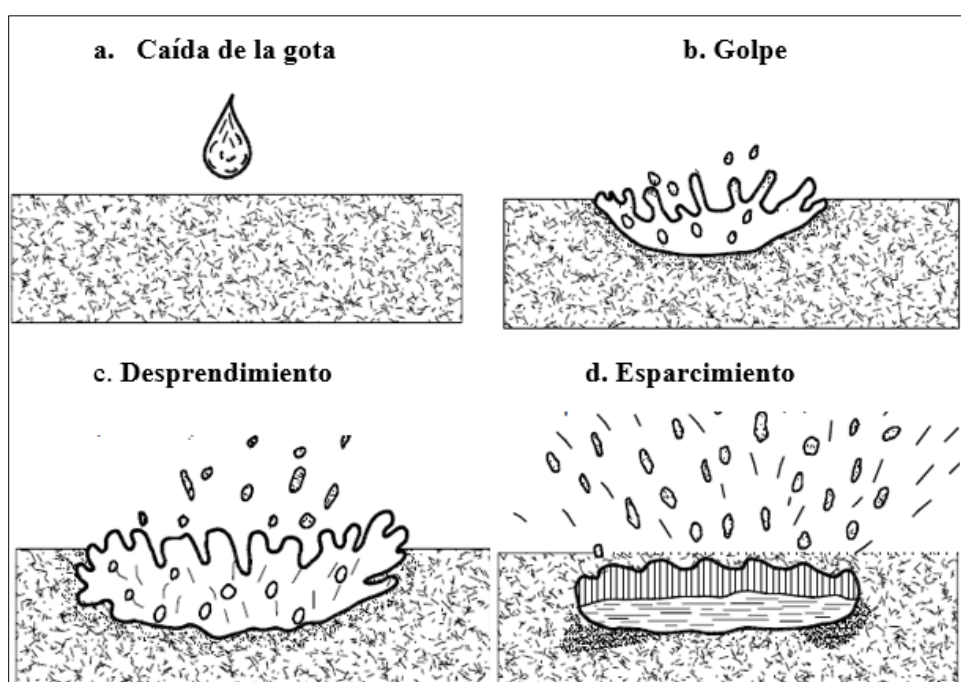
Mecánica de Movimiento	Tamaño de las partículas removidas (mm)	% de suelo removido
Suspensión	< 0.1	
Salpicación (salto y rebote)	0.1 - 0.5	55 - 72
Deslizamiento	0.5 - 1.0	

Fuente: (Chow V. T., 1988).

### 1.3.2.2.3 Erosión Hídrica

La violencia de la lluvia se manifiesta de muchas formas, provocando la erosión la cual comienza con la lluvia y producirse hasta barrancos. sus importantes características de las diferentes concentraciones de agua se manifiestan de la siguiente manera:

- a) Salpicadura mediante las gotas de lluvia: Sucede como resultado de colisiones con las que caen las gotas directamente sobre la superficie expuesta. De esta forma se pueden perder grandes partículas de suelo. Se estima que se importaron hasta 100 toneladas / acre de tierra durante los eventos hidrológicos. Una vez que entran en contacto las gotas de lluvia con la superficie terrestre hace que se eleven partículas del suelo, la cual las raciona en un área alrededor de un metro cuadrado, porción del aguacero se infiltra y otra parte transcurre sobre la superficie (Jaime, 2001, pág. 60).

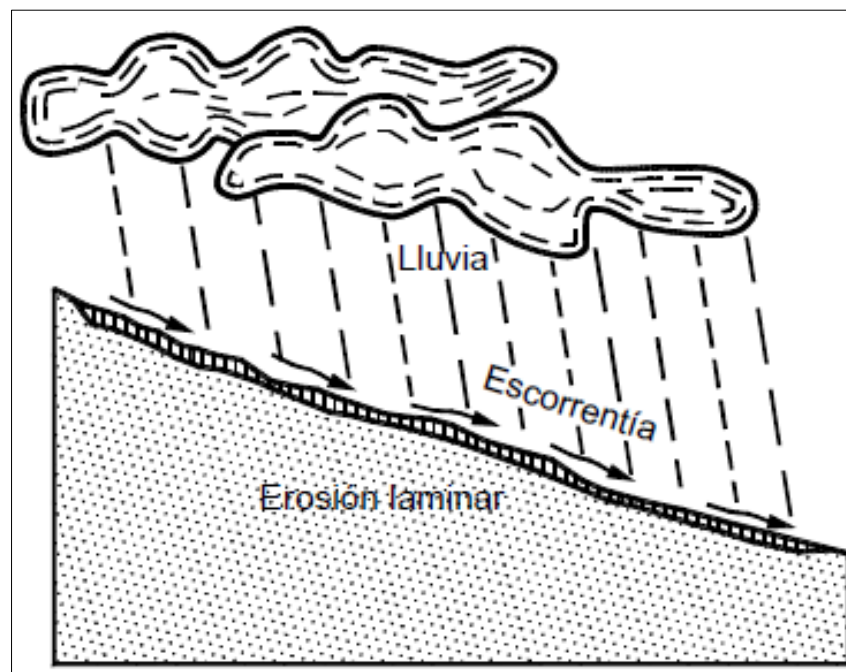


**Figura 2** Proceso de erosión por salpicadura, Fuente: (Jaime, 2001, pág. 61).



b) Erosión Laminar: Este tipo de degradación es el resultado del desprendimiento y transporte debido a la acción de las precipitaciones, mediante la escorrentía. Las lluvias cambian las condiciones del suelo. El agua fluye en la superficie del suelo después que una gran parte se ha infiltrado, formando una pequeña línea de agua con un espesor de 2 a 3 milímetros. La corriente laminar insuficiente hondo fluye en la parte superior mediante dichas pendientes, por ende, la profundidad laminar aumentara mediante se incrementa la pendiente. A medida que la lluvia progresa y los flujos ocurren al mismo tiempo, se producen colisiones en los arroyos, lo que aumenta la probabilidad de erosión. El agua se vuelve marrón o amarilla debido al barro.

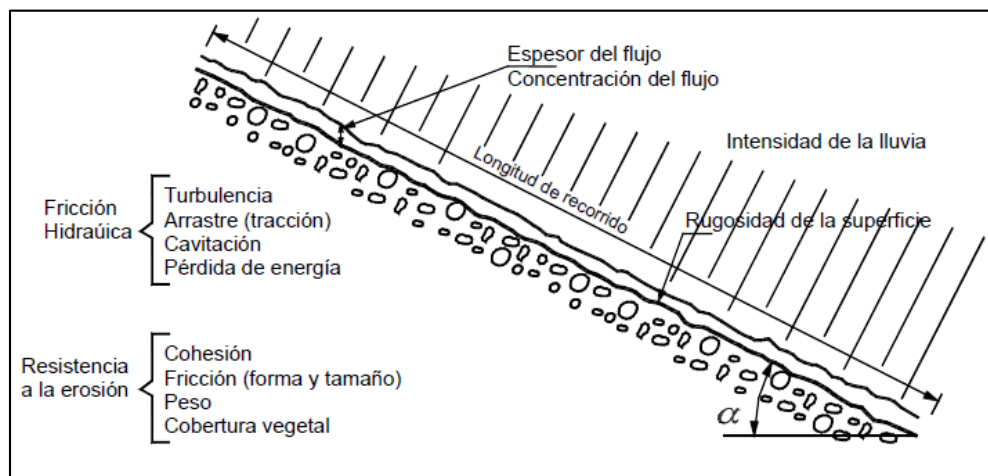
La erosión por salpicadura es más importante que el desgaste laminar ya que las lluvias alcanzan velocidades de 6 a 10 m/s, sin embargo, los flujos sobre la superficie alcanzan ligerezas de 0.30 a 60 m/s. Las áreas no permanentes pueden experimentar la erosión ya que no cuentan con cobertura vegetal siendo las más susceptibles a este fenómeno (Jaime, 2001, pág. 62).



**Figura 3** Proceso de erosión laminar, Fuente: (Jaime, 2001, pág. 62)

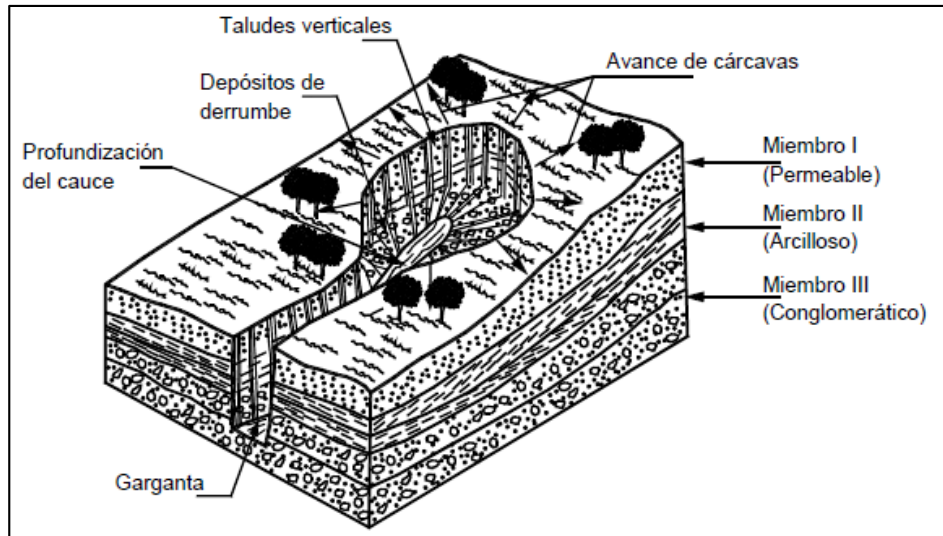
c) Erosión en Surcos: Esto ocurre cuando las aguas de la inundación comienzan a concentrarse en la superficie debido a la irregularidad de la superficie del suelo. Centrarse en un arroyo en un pequeño río en la ladera da como

resultado un flujo de agua alto y un flujo bajo que da como resultado la erosión del suelo. Dicha erosión ocurre al liberar agua en canales pequeños y bien drenados junto con el flujo de aire. La erosión del suelo aumenta cuando el volumen del agua está cerca al diámetro de las chispas de agua (0.5–5 m.m.). Las partículas son removidas por la lluvia y arrastradas por los arroyos que se forman en la superficie haciéndolos como un pequeño riachuelo. El agua es muy dentro de surcos tiene una gran cantidad de energía, puede dañar partículas grandes (Jaime, 2001, pág. 62).



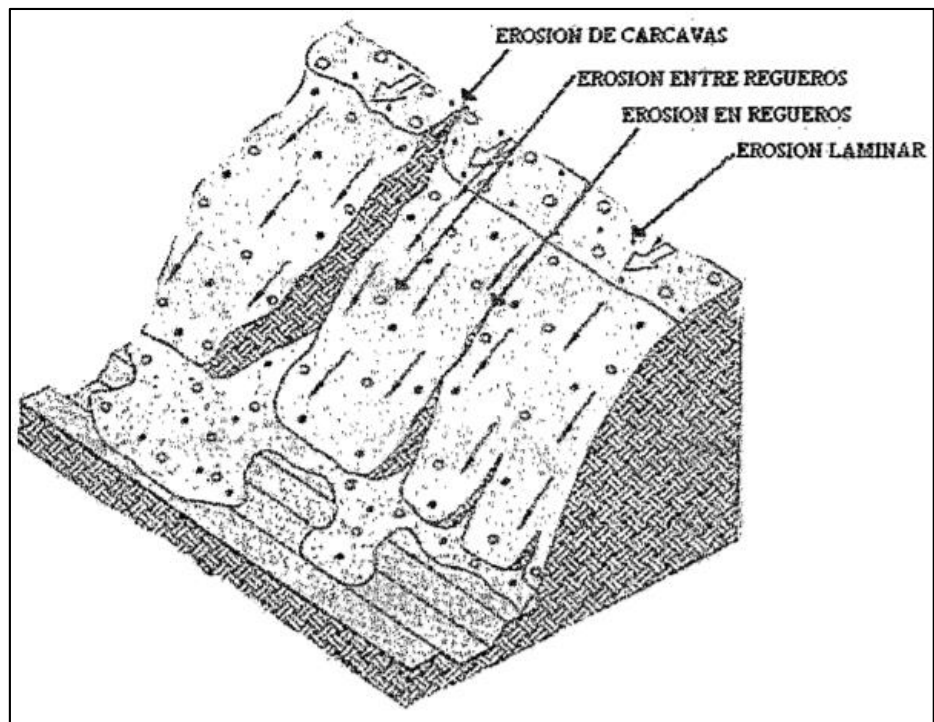
**Figura 4** Proceso de erosión por surcos, **Fuente:** (Jaime, 2001)

- d) Erosión en Cárcavas: Al incrementarse la erosión en los surcos estos pasarían a ser llamadas cárcavas. A estos canales a causa de la erosión tienen a ser superiores a dimensiones de pie cuadrado. Estos canales trasladan el agua durante los eventos hidrológicos. A diferencia del caso anterior, estos ya no pueden ser reparados mediante la acción de la agricultura. Este caso se presenta donde hay gran cantidad de agua en la superficie siendo los más afectados los suelos de alta erosionabilidad. Suele ser menos importante que las pérdidas de tierras. Sin embargo, los daños a las carreteras, vallas y vías fluviales a menudo provocan daños graves (Jaime, 2001, pág. 66).



**Figura 5** Esquema general del proceso de erosión en cárcavas **Fuente:**  
(Jaime, 2001)

- e) Erosión en Flujos de Canales: Este fenómeno es el desgaste del suelo en las riberas del canal. La cantidad de partículas que fluye a causa del proceso de la erosión. Hay pasos para destruir carreteras o estaciones dañadas (Izquierdo, 2008).
- f) Erosión por Agua Subterránea: Es el desprendimiento de partículas mediante la infiltración subterránea (Izquierdo, 2008).



**Figura 6** Esquema grafica causada por los tipos de erosión hídrica **Fuente:**  
(Jaime, 2001)

### 1.3.2.3 Causas Erosivos

Las causas más frecuentes que se manifiestan en la superficie terrestre, mediante los que determinan la degradación son las condiciones del medio ambiente. Siendo otros factores como la geología, la geomorfología e incluso los fenómenos antropogénicos, que se combinan para causar cambios complejos e interdependiente a lo largo del tiempo. Siendo los más vulnerables las pendientes más pronunciadas, los factores que reconocen la erosión del suelo son las frecuentes precipitaciones de larga duración o las condiciones del suelo, las condiciones de erosión del suelo y las condiciones climáticas. Las pendientes y los arbustos que cubren o se colocan encima de ellos (Izquierdo, 2008, pág. 42)

La erosión que puede ocurrir en un área depende de cuatro factores principales: característica del suelo, cobertura vegetal, topografía del suelo y clima.

**Tabla 6** Factores que influyen en la erosión

Principales factores que influyen en la erosión	Características del suelo	Distribución de tamaño de partículas (textura)
		Contenido de materia orgánica
		Estructura
		Permeabilidad
	Cubierta vegetal (beneficios que proporciona con respecto a la erosión)	Protección de la superficie del suelo del impacto de las gotas de agua
		Incremento de la resistencia del suelo al esfuerzo de corte de la escorrentía gracias a las raíces
		Mejora de la capacidad de infiltración del suelo
		Aumento de la rugosidad hidráulica que disminuye la velocidad de la escorrentía
		Menor humedad del suelo por la transpiración de las plantas
	Topografía	Pendiente
		Forma
		Longitud
	Clima	Frecuencia de ocurrencia de chubascos
		Intensidad de la lluvia
		Duración de los chubascos

**Fuente:** (Giráldez, 2014)

**Erosión natural (normal):** Es la erosión que se da sin la actividad del hombre, la cual ocurre lentamente excepto en los canales de agua y en las orillas de las corrientes de ríos o mares.

**Erosión acelerada:** Es la erosión que se da con la actividad del hombre como por ejemplo la agricultura y la construcción.

### **Características del suelo**

a) La estructura del suelo es una medida de los diversos minerales de la tierra. A esto se le llama arena (partículas que miden de 2 a 0,05 mm), fina (de 0,05 a 0,002 mm) y granos finos de menos de 0,002 mm. Suele estar hecho de arcilla, pero también contiene varios minerales. La tortura es una función de dividir el tamaño de celda determinado por el análisis de la máquina y el resultado es representado por una serie de cálculos estadísticos. A partir del estudio del tamaño de celda, comienza la creación del texto. La más utilizada es la clasificación del USDA, que divide los tres campos de erosión (superior, medio e inferior). Generalmente los suelos que se componen en su gran mayoría por arenas fina, media y gruesas (0,1 a 2 mm) suelen ser de baja erosionabilidad, como consecuencia por su alto nivel de filtración. Por otro lado, los que contienen un nivel elevado de arcilla, son más congruentes y toleran de mejor forma al entra en contacto con las lluvias.

Finalmente, el suelo de menor resistencia al desgaste son los limos, las cuales son se componen de partículas diminutas con muy poca cohesión, además de las que tienen gran cantidad de arena superior (0.05–0.1 mm). En cuanto a los suelos pedregosos (grava, piedras, pedregones, 0.2-60 cm), siendo los de menor susceptibilidad al ser erosionados (Izquierdo, 2008).

b) Por su distribución de un suelo es la agrupación o unión de las partículas individuales mediante cementos memorias como arcillas, coloides húmicos, óxidos de hierro o microorganismos para formar unidades de mayor tamaño llamadas agregados. En general, un suelo no es un tejido masivo y macizo, sino que es posible identificar unidades de tamaño y forma diferentes, siendo los terrones la forma más conocida de agregados. Aunque un suelo tenga la misma textura puede presentar estructuras diferentes. La estructura determina la distribución en el espacio de la materia sólida y de los poros, algunos de los

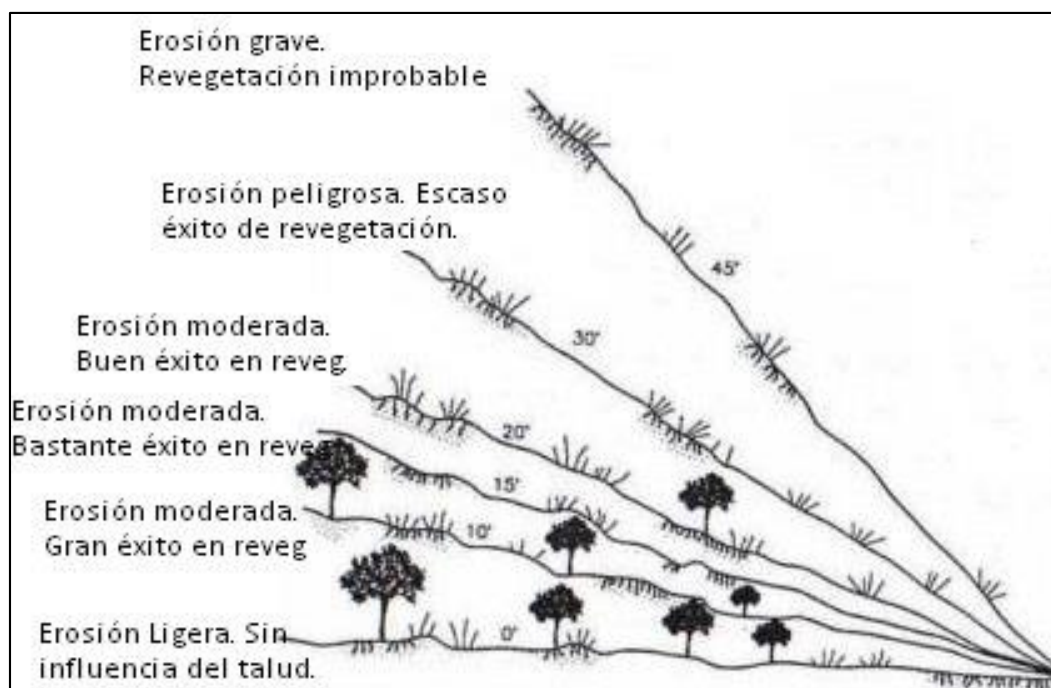
cuales están ocupados por agua, mientras que otros, los de mayor diámetro, lo están por aire. Esa distribución condiciona las Propiedades Físicas del Suelo: aireación, retención de agua, etc. El impacto de las gotas de lluvia puede provocar la rotura de los agregados por más duras que sean (Izquierdo, 2008).

- c) La resistencia al corte de un suelo se considera como la medición de la cohesión y de su capacidad de resistencia ante las presiones de la gravedad, corrientes de fluidos y fuerzas mecánicas. La resistencia se reduce al incrementar la humedad del terreno. Por ende, al momento de la saturación de un suelo su resistencia se vuelve mínima, provocando la separación de partículas como consecuencia del roce que de las gotas de lluvia. Lo cual es una manera de poner resistencia a las tensiones provocadas por la gravedad, donde vendría hacer los movimientos provocados por los fluidos y cargas (Izquierdo, 2008).

- d) Relieve Topográfico, es un agente geomorfológico con mayor influencia en el proceso de erosión. Debido a las diferentes pendientes que presenta.

El desgaste del suelo originado por la precipitación aumentando en pendientes de mayor pronunciación, debido al aumento y su ligereza y volumen de la corriente de agua superficial, teniendo un impacto mayor en las partes bajas de las laderas, debido a la que soporta la misma cantidad de precipitación más el agua que baja en la parte alta.

En las zonas de cultivo, de vegetación no protege el suelo en ciertos periodos, en ese momento inicial inicia la erosión laminar con el movimiento de los componentes más ligeros y finos, esto se origina con pendientes de apenas 2 o 2%. Su intensidad aumenta cuando la inclinación es de 4 a 5% y se origina las cárcavas y el arrastre e indetenible en pendientes de 18 a 20% (Izquierdo, 2008).



**Figura 7** Efecto de un ángulo de inclinación sobre la erosión y la vegetación,  
**Fuente:** (Izquierdo, 2008).

### **Cobertura vegetal**

Ejerce una función de manto protector amortiguador de los efectos de los factores atmosféricos y el suelo. Esto hace que absorba un porcentaje cuando entre en contacto con las precipitaciones que caigan en el área que están cubren, del movimiento del viento y del agua favoreciendo a la reducción de los efectos de la erosión, ya que no impacta directamente al terreno. Lo cual Funciona como una capa preventiva o también amortigua dando estabilidad y porosidad al suelo.

### **Escorrentía**

Parte de la precipitación que nutre las corrientes superficiales ya sea continuas intermitentes, de una cuenca, lo cual se presenta en forma de escorrentía superficial y subsuperficial (Izquierdo, 2008).

### **Escorrentía Superficial**

Es el tipo de precipitación que no se filtra en el suelo y logra llegar hasta la red de drenaje desplazándose por efectos de la gravedad. También incluye a las precipitaciones que no se estanca en las cavidades del suelo del suelo y que no es

afectada por la evaporación. Ahora bien, el recorrido que realiza el agua una vez que inicia la precipitación se relaciona con las características propias del suelo, en este sentido, la primera cantidad de agua queda retenida en la parte superior de las plantas y posteriormente pasa a saturar al suelo. Una vez la precipitación culmina su capacidad de infiltración del suelo, el agua empieza a desplazarse por la superficie del suelo, formando una delgada capa de agua.

Por su parte, la escorrentía interviene en el trascurso del desprendimiento de partículas causadas por las precipitaciones, mediante la separación de partículas y desplazamiento del terreno, mediante el golpe de las gotas de lluvia, generando el mismo impacto en las demás partículas que estaban intactas (Izquierdo, 2008).

#### **1.3.2.4 Control de Erosión**

La erosión del suelo se puede controlar o prevenir siguiendo ciertas reglas básicas. Estas pautas están disponibles en todo el mundo y deben seguirse incluso si está considerando la ingeniería nacional. En los últimos años se han implementado diversas medidas de gestión de residuos (Izquierdo, 2008).

Son efectivos cuando se usan de acuerdo con las pautas se mencionan en seguida:

- a) Se debe evitar trabajos de nivelación y terraplenes en áreas propensas a la erosión.
- b) Instalar dispositivos hidráulicos de transporte para manejar la escorrentía.
- c) Mantener bajas las velocidades de escorrentía.
- d) Derivar la escorrentía y alejarla de los taludes empinados y áreas descubiertas construyendo drenajes y bermas interceptoras.
- e) Mantener la vegetación nativa en la medida que sea posible.
- e) Si la vegetación debe ser removida, limpiar la zona en pequeños incrementos el tiempo de exposición.
- g) Proteger las áreas expuestas con humus y cubierta de rápido crecimiento.
- h) Construir depósitos de sedimentos para prevenir la erosión del suelo.
- i) Instalar medidas de control de erosión lo más temprano posible.
- j) Inspeccionar y mantener las medidas de control.

Lo cual estas pautas si se toman en cuenta ayudaría a reducir la erosión (Izquierdo, 2008).



### 1.3.2.5 Evaluación de la erosión por señales.

En algunas épocas la única forma de estimar la intensidad de erosión es haciendo un reconocimiento visual. Lo recomendable son 15 evaluaciones para que los resultados puedan ser confiables. En la observación de taludes realizada en las etapas de construcción o al final, es de vital importancia la verificación del estado de erosión, mediante la comprobación de un grupo de señales a las que se le atribuye un valor (Giráldez, 2014), tal como menciona en la Tabla 7

**Tabla 7** Indicadores de estimación de la erosión

Código	Indicadores
0	Raíces de árboles o plantas no expuestas; sin costra superficial ni pedestales por salpicadura; más del 70% con cobertura vegetal, próxima al suelo y aérea.
1/2	Ligera exposición de raíces de árboles o plantas; poca costra superficial; sin pedestales por salpicadura; nivel del suelo ligeramente más elevado pendiente arriba o a barlovento de las plantas y rocas; cobertura vegetal del 30-70%.
1	Exposición de raíces de árboles o plantas, formación de pedestales por salpicadura, montículos de suelo cubiertos con vegetación, con profundidades de 1-10 mm; ligera costra superficial; cobertura vegetal del 30-70%.
2	Exposición de raíces de árboles, pedestales por salpicadura y profundidad de montículo de suelo de 1-5 cm; costra superficial; cubierta vegetal del 30-70%.
3	Exposición de raíces de árboles, pedestales por salpicadura y montículos de suelo de 5-10 cm; costra superficial de 2-5 mm de espesor; hierba embarrada por lavado y volcada pendiente abajo; arrastre de materiales gruesos por el agua y el viento; cobertura vegetal inferior al 30%.
4	Exposición de raíces de árboles, pedestales por salpicadura y montículos de suelo de 5-10 cm de profundidad; arrastre de materiales gruesos; regueros hasta 8 cm de profundidad; suelo desnudo.
5	Cárcavas o regueros con más de 8 cm de profundidad; arrastres por viento y dunas; suelo desnudo.

**Fuente:** (Giráldez, 2014)

### 1.3.3. Pérdida de Suelos

Se describe a la cantidad de partículas que componen el suelo, que son arrastradas de un sitio a otro, sin ocasionar el desabastecimiento del material. La pérdida de suelos se expresa en unidades de peso por unidad de superficie.

El desgaste del suelo, puede generarse por medio de la erosión actual o potencia, mismas que se calculan haciendo uso de la ecuación universal de la pérdida de suelos (USLE). La cual esta ecuación tiene en consideración todos los agentes que influyen como es, el tiempo, suelo, relieve y cobertura vegetal; determinado la erosión del suelo

mediante la precipitación. El cálculo se realiza mediante análisis estadísticos, a través de datos obtenidos de simulaciones de precipitación natural (Izquierdo, 2008).

La erosión se conoce actualmente como la estimación de pérdidas de suelos en un lugar específico de acuerdo a las actividades y presión al que está sometido el terreno, haciendo referencia a la interrelación existente entre el factor de erosividad de las lluvias (factor **R**), racionabilidad del suelo (factor **K**), longitud y pendiente del terreno (factor **LS**) y la cobertura, uso del suelo (factor **C**) (Izquierdo, 2008).

La erosión actual, se determina a través de la ecuación universal denominada pérdida de suelos, en cual se escoge el lugar de estudio estudiado mediante el cual se calcula basándose en la siguiente ecuación:

$$A = R * K * LS * C$$

Donde:

- ✓ **A** es la pérdida de suelo promedio anual por unidad de superficie, que se mide en toneladas por hectárea y año,  $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$ .
- ✓ **R** es el coeficiente de agresividad de lluvia o erosividad. Es función de la energía cinética de la lluvia. Se mide con un índice EI que para cada chubasco es el producto de su energía total (E) por la máxima intensidad en 30 minutos (I).
- ✓ **K** es el coeficiente de erosión susceptibilidad del suelo a ser desprendido y arrastrado. Es la pérdida de suelo por unidad EI para unas condiciones patrón de los otros factores. (adimensional).
- ✓ **L** y **S** caracterizan el relieve del terreno, longitud y ángulo de inclinación, respectivamente. La longitud es la máxima distancia que puede recorrer el flujo de escorrentía en la ladera. (adimensional).
- ✓ **C** es el coeficiente que refleja la cubierta o condición de la superficie del suelo, incluyendo en ella la vegetación y sus restos. (Adimensional)
- ✓ **A** es la pérdida de suelo promedio anual por unidad de superficie, que se mide en toneladas por hectárea y año,  $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$ .
- ✓ **R** es el factor agresividad de la lluvia o erosividad. Es función de la energía cinética de la lluvia. Se mide con un índice EI que para cada chubasco es el producto de su energía total (E) por la máxima intensidad en 30 minutos (I).

- ✓ **K** es el factor erosión susceptibilidad del suelo a ser desprendido y arrastrado. Es la pérdida de suelo por unidad EI para unas condiciones patrón de los otros factores. (adimensional).
- ✓ **L** y **S** caracterizan el relieve del terreno, longitud y ángulo de inclinación, respectivamente. La longitud es la máxima distancia que puede recorrer el flujo de escorrentía en la ladera. (adimensional).
- ✓ **C** es el factor que refleja la cubierta o condición de la superficie del suelo, incluyendo en ella la vegetación y sus restos. (Adimensional) (Jaime, 2001)

### 1.3.3.1 Aplicaciones de la ecuación universal de la erosión (USLE)

**Índice de erosión pluvial (R):** Definir el índice de erosión pluvial o elemento de erosionabilidad de los aguaceros, como el producto de la energía cinética de un aguacero por su máxima intensidad en un tiempo de 30 minutos (Jaime, 2001, pág. 38).

Su energía cinética se determina mediante la siguiente formula:

$$E = 210.2 + 89. \log_{10} I$$

Donde:

E (julios. m<sup>2</sup>/cm): energía cinética del aguacero.

I (cm/hora): intensidad de la lluvia en el período considerado.

El índice de erosión pluvial R se define por:

$$R = \frac{\sum_{j=1}^n E_j \cdot (I_j \cdot T_j) \cdot I_{30}}{100}$$

Donde:

R = (julios.m<sup>2</sup>.cm.hora-1), índice de erosión pluvial.

T<sub>j</sub>= período de tiempo (horas) para intervalos homogéneos de lluvia durante el aguacero.

I<sub>30</sub> = máxima intensidad de lluvia durante el aguacero.

J = intervalos homogéneos del aguacero.

n = número de intervalos.

Donde R viene hacer el valor durante un año, la cual es sumatoria de los productos R de cada lluvia evaluada a lo largo del tiempo. Es recomendable calcular un tiempo pequeño de 10 años como una forma para obtener datos representativos de R (Jaime, 2001, pág. 39)

**Factores topográficos (LS):** Se puede adecuar de forma fácil al reducir la longitud del talud el uso de sistemas de colocación de terrazas o barreras puede ser de gran ayuda al momento de reducir la longitud del talud, en vista que estos apoyan en la distribución de taludes de menor tamaño (Jaime, 2001, pág. 39).

A continuación, mediante representación para encontrar el coeficiente LS con la siguiente formula:

Pendientes < 9%

$$L = \left(\frac{\gamma}{22.1}\right)^{0.3} \cdot \left(\frac{0.43+0.30.s+0.043s^2}{6.613}\right)$$

Pendientes  $\geq$  9%

$$L = \left(\frac{\gamma}{22.1}\right)^{0.3} \cdot \left(\frac{s}{9}\right)^{1.3}$$

**Tabla 8** Datos para el coeficiente Topográfico (LS) en Taludes

Relación de Talud (H:V)	Gradiente del Talud S(%)	Valores de LS para Longitudes Seleccionadas (L) de Taludes						
		10 (3.0)	30 (9.1)	50 (15.2)	100 (30.5)	300 (91.0)	500 (152.0)	1000 (305.0)
20:1	5	0.17	0.29	0.38	0.53	0.93	1.20	1.69
10:1	10	0.43	0.75	0.97	1.37	2.37	3.06	4.33
8:1	12.5	0.61	1.05	1.36	1.92	3.33	4.30	6.08
6:1	16.7	0.96	1.67	2.15	3.04	5.27	6.80	9.62
5:1	20	1.29	2.23	2.88	4.08	7.06	9.12	12.90
4:1	25	1.86	3.23	4.16	5.89	10.20	13.17	18.63
3:1	33.5	2.98	5.17	6.67	9.43	16.33	21.09	29.82
2.5:1	40	4.00	6.93	8.95	12.65	21.91	28.29	40.01
2:1	50	5.64	9.76	12.60	17.82	30.87	39.85	56.36
1.75:1	57	6.82	11.80	15.24	21.55	37.33	48.19	68.15
1.50:1	66.7	8.44	14.67	18.87	26.68	46.22	59.66	84.38
1.25:1	80	10.55	18.28	23.60	33.38	57.81	74.63	105.55
1:1	100	13.36	23.14	29.87	42.24	73.17	94.46	133.59

**Fuente:** (Izquierdo, Roberto Cáceres, 2008).

**El coeficiente de cobertura vegetal C:** Aqueja a la erosión mediante el tejado o cubiertas, plantas que cubren el suelo y resto de vegetación interna y haciendo que no se erosione el suelo. Para ello se expresa en la tabla 9, donde los valores que puede tomar C es igual a la unidad.

Donde este coeficiente C es definido como la proporción entre la pérdida de los suelos (Jaime, 2001, pág. 41).

**Tabla 9** Coeficiente C para bosques

% de área cubierta	Tipo de Ordenación	
	Coeficiente C	
	Sin cobertura	Con cobertura
<b>100 - 75</b>	0.001	0.003 - 0.0011
<b>75 - 40</b>	0.002 - 0.003	0.01 - 0.03
<b>40 - 20</b>	0.003 - 0.009	0.03 - 0.09

**Fuente:** (Jaime, 2001)

**Tabla 10** Valores del Factor C para cobertura vegetal

Tipo y altura de cubierta	Área cubierta (%)	Tipo de Cubierta <sup>a</sup>	Valores de C para la Cubierta Seleccionada y las Condiciones de la Cobertura del Terreno						
			(% del terreno cubierto)						
			0	20	40	60	80	95-100	
Cubierta no apreciable		G	0,45	0,2	0,1	0,042	0,013	0,003	
		W	0,45	0,24	0,15	0,09	0,043	0,011	
Cubierta de maleza alta o arbusto (altura de caída de 0,5 m)	25	G	0,36	0,17	0,09	0,038	0,012	0,003	
		W	0,36	0,2	0,13	0,082	0,041	0,011	
	50	G	0,26	0,13	0,07	0,035	0,012	0,003	
		W	0,26	0,16	0,11	0,075	0,039	0,011	
	75	G	0,17	0,1	0,06	0,031	0,011	0,003	
		W	0,17	0,12	0,09	0,067	0,038	0,011	
Monte bajo apreciable, arbustos, (altura de caída de 2 m)	25	G	0,4	0,18	0,09	0,04	0,013	0,003	
		W	0,4	0,22	0,14	0,085	0,042	0,011	
	50	G	0,34	0,16	0,09	0,038	0,012	0,003	
		W	0,34	0,19	0,13	0,081	0,041	0,011	
	75	G	0,28	0,14	0,08	0,036	0,012	0,003	
		W	0,28	0,17	0,12	0,077	0,04	0,011	
	Árboles sin maleza apreciable Maleza baja (4 m altura de caída)	25	G	0,42	0,19	0,1	0,041	0,013	0,003
			W	0,42	0,23	0,14	0,087	0,042	0,011
50		G	0,39	0,18	0,09	0,04	0,013	0,003	
		W	0,39	0,21	0,14	0,085	0,042	0,011	
75		G	0,36	0,17	0,09	0,039	0,012	0,003	
		W	0,36	0,2	0,13	0,083	0,014	0,011	

**Fuente:** (Izquierdo, Roberto Cáceres, 2008).

**Tabla 11** Factores para Diferentes Coberturas

Tipo de Cobertura	Factor C	Reducción en la Pérdida de Suelos (%)
Ninguna	1.0	0
Vegetación Nativa	0.01	99
Siembras temporales		
90% de cobertura, pastos anuales, sin compost	0.1	90
Humus de fibras leñosas. 0.75 ton/acre con siembra	0.5	50
Estera de virutas, red de yute (taludes superiores a 2:1)	0.3	70
Humus de paja		
1.5 tons/acre (3.4 t/ha), siembra provisional	0.2	80
4.0 tons/acre (9.0 t/ha), siembra provisional	0.05	95

Fuente: (Izquierdo, Roberto Cáceres, 2008).

**El factor del control de erosión P:** Esta condición puede ser monitoreada por mecánicos, agua, disminuyendo la velocidad de escorrentía o el flujo de agua directamente por la pendiente. Incluso el barro se puede clasificar como un ejemplo de registro. Lo cual los fondos no ayudan a contener la erosión, evitando que las sustancias nocivas se escapen del suelo y cause perjuicios lindantes. Las técnicas para estimar y establecer los valores de P se describen en la Agencia Estadounidense de Protección Ambiental (EPA), 1973. En construcción, el valor de P indica el estado fundamental después del trabajo realizado (Jaime, 2001, pág. 41)

**Tabla 12** Condiciones de la Superficie del Terreno

Condiciones de la Superficie	Factor P
Compacto y liso	1.3
Paso de maquinaria pesada sobre el contorno del talud	1.2
Paso de maquinaria pesada talud abajo o talud arriba	0.9
Paja compactada	0.9
Corte áspero e irregular	0.9
Suelo suelto de 12 pulgadas (30 cm.) de altura	0.8

Fuente: (Izquierdo, Roberto Cáceres, 2008).

Donde se puede observar el comportamiento, donde en pendiente que se hayan compactado y queden lisas vendrían a ser las más vulnerables a la erosionabilidad; ya que tiene una inclinación la cual tiene un establecimiento de cobertura vegetal por siembra (Jaime, 2001).

**Índice de erosión del Suelo K:** Se analiza de manera experimental en cada terreno, ya que se calcula la asociación asociarse al peso del terreno (t/ha), la cifra de

mecanismos es el valor de erosión pluvial conveniente, en situaciones donde el cultivo no es frecuente. Una vez obtenidos el grupo de valores, es posible realizar el cálculo de promedio de K en cada tipo de terreno. donde se determina para cada suelo según sus características físicas (Jaime, 2001).

La regresión determinada se expresa mediante la ecuación:

$$K = \frac{10^{-4} * 2.71 * M^{1.14} (12-a) + 4.20 * (b-2) + 3.23 * (c-3)}{100}$$

Donde:

**M**, coeficiente característico de la estructura. Lo cual se determina mediante el producto del porcentaje de partículas de suelo comprendidas entre 0.002 a 0.1 mm. de diámetro, dado en porcentaje, donde el porcentaje de las partículas del suelo comprenden de 0.002 a 2 mm. de diámetro, hallado también en porcentaje donde vendría hacer igual a 100 menos el porcentaje de arcilla en muestra.

$$M = [100 - \% \text{ arcilla}] * [\% (\text{limo} + \text{arena muy fina})]$$

**a**, porcentaje de material orgánico

**b**, dígito propio a la distribución de la tierra de acuerdo a la siguiente clasificación:

1. grano muy delgado menor a un milímetro
2. grano delgado de 1 a 2 milímetros
3. grano intermedio de 2 a 5 milímetros y grano grueso de 5 a 10 milímetros
4. grano llano, prismático, columnar y muy grueso mayores a 10 milímetros

**c**, variedad de filtración del perfil, según la siguiente clasificación:

- rápida a muy rápida
- medianamente rápida
- moderada
- moderadamente lenta
- lenta
- muy lenta

Estos datos expresados mediante la contextura del material orgánico y estructura hacen referencia a quince y veinte centímetros, superficiales en el terreno y su filtración en todo el contorno.

Además los valores más altos encontrados para K son 0.92 y hacen referencia a los terrenos en donde el limo fino y la arena son considerados la muestra total, por lo que no hay material orgánico (Jaime, 2001, pág. 39)

#### **1.3.3.2 Limitaciones de la ecuación universal (USLE)**

La ecuación universal es experimental que determina la erosión laminar y por surcos en un espacio respectiva. Tomando en cuenta aquellos elementos que aquejan la erosión mediante las precipitaciones, la cual viene siendo utilizada en todo el universo, teniendo las restricciones que a continuación se detallan:

- ✓ **Es una expresión experimental** donde demanda de un razonamiento muy extenso para poder establecer los datos de cada uno de los coeficientes. Donde viene hacer de gran importancia el coeficiente de la vegetación.
- ✓ **Anuncia pérdidas durante un año en promedio** su coeficiente de precipitación sé basa en aguaceros durante dos años, donde su duración es seis horas. Donde las tormentas o sucesos climatológicos inusualmente son los que producen una gran cantidad de pérdidas de sedimentos que las pronosticadas.
- ✓ **No anuncia el desgaste por cárcavas** donde la ecuación universal de pérdidas de suelos pronostica la erosión por surcos y laminar, mas no las que son producidas mediante las cárcavas o canales grandes.
- ✓ **No anuncia la entrega de sedimentos** la ecuación universal de pérdidas de suelos anuncia la pérdida de tierras, mas no el depósito de los sedimentos (Jaime, 2001).

Teniendo estas restricciones, la ecuación universal, viene a ser una técnica sencilla y precisa, para así poder determinar la perdida de tierras, identificando en zonas críticas dando a conocer el control de las pérdidas de suelos. Así mismo, ayuda de una forma razonable para su depósito (Jaime, 2001).

#### **1.3.4. Movimiento de Masas**

El movimiento es el movimiento del suelo y el movimiento fuera de rocas, tierra, objetos hechos por el hombre o una combinación de estos elementos. Se utilizan los términos "erosión excesiva" o "erosión excesiva". Un grupo atlético conocido mediante movimientos de tierras. A diferencia de la desertificación, la migración



masiva implica deslizamientos de tierra, deslizamientos de tierra, caídas o grandes extensiones masivas

**Tabla 13** Importantes rasgos de la erosión superficial versus el Movimiento de masas

<b>DEGRADACIÓN DE TALUD</b>		
<b>PROCESO</b>	<b>EROSIÓN SUPERFICIAL</b>	<b>MOVIMIENTO DE MASAS</b>
	Desprendimiento y transporte de partículas individuales	MOVIMIENTO DE MASAS GRANDES DE SUELOS A LO LARGO DE SUPERFICIES DE FALLA DISCRETAS
<b>MODELO PREDICTIVO O FISICO</b>	Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos $A = RKLSC$	TALUD INFINITO O ARCO CIRCULAR $FS - 0.5 \tan \theta' / \tan \beta$
<b>PROPIEDAD DEL SUELO</b>	erosionabilidad $k = t(0.5 \text{ Cu\% org.})$	RESISTENCIA DE CORTE $S = C + \sigma \tan \theta$
<b>ROL DE PROTECCIÓN DE LA VEJETACIÓN</b>	Interpretación restricción retardación infiltración	reforzamiento extracción de la humedad sostenimiento arqueamiento
<b>VEJETACIÓN MAS EFECTIVA</b>	Herbáceos pastos y hierbas estas densas y superficie cubierta por follaje	Arbustos y árboles sistemáticos de raíces profundas y fuertes antas radio raíz - rama

Fuente: (Izquierdo, 2008)

#### a) Mecanismo de la Erosión

La erosión y el agrietamiento se previene dependiendo mediante la comprensión de los mecanismos que conducen al proceso de erosión. y el registro de la erosión obedecen al alcance de los elementos que representan los métodos de erosión. Donde se manifiesta la pérdida de suelos básicamente mediante los siguientes pasos:

- a) Desintegración de las partículas.
- b) Arrastré de las partículas.
- c) Deposito o sedimentación.

Para proteger que el suelo sea erosionado se tiene en cuenta los siguiente:

- Descenso de las fuerzas de tracción o transporte reduciendo la rapidez del flujo sobre el área o disipando la energía del agua en la superficie preservada.
- Aumentar la firmeza a la erosión previniendo o fortaleciendo el área mediante la cobertura adecuada para poder incrementar su firmeza entre partículas (Jaime, 2001, pág. 42)

**Tabla 14** Agentes y formas de erosión

<b>Agente</b>	<b>Tipos de Erosión o Procesos de Degradación</b>
<b>Agua</b>	
1	Salpicadura por gotas de agua
2	Erosión laminar
3	Surcos
4	Cárcavas
5	Erosión por corriente de canal
6	Acción de las ondas
7	Tubificación
<b>Hielo</b>	
1	Soliflucción
2	Socavación glacial
3	Desgarramiento por hielo
<b>Viento</b>	
	La erosión eólica no puede ser clasificada en tipos, en cambio puede variar principalmente por grados
<b>Gravedad</b>	
1	Deslizamiento
2	Flujo de tierra
3	Avalanchas
4	Deslizamiento de escombros

**Fuente:** (Chow V. T., 1994)

### **Tipos de Movimiento de Talud**

Se presenta varios esquemas diferentes para diseñar y explicar el principio en pendientes, la cual la tabla 13 muestra las características más importantes de los diferentes grupos.

**Tabla 15** Agentes y tipos de erosión

---

**A. MATERIALES**

- 1 Hielo
- 2 Roca
- 3 Suelo (seco o saturado, arenoso o arcilloso)

**B. VELOCIDAD**

- 1 Rápido (segundos a minutos): avalanchas, desprendimiento de rocas, deslizamiento de tierra.
- 2 Intermedio (minuto a horas): deslizamiento de escombros, asentamientos, deslizamiento de bloques
- 3 Lento (días a años): soliflucción, esparcimiento lateral

**C. MECANISMOS DE FALLA**

- 1 Desplazamientos: movimiento a lo largo de la superficie de corte de grandes masas de roca y tierra.  
Flujos: flujos cuasi viscosos en los cuales es difícil diferenciar una superficie de deslizamiento; el movimiento desaparece con la profundidad. Este tipo de movimiento ocurre en suelos saturados (arenas, limos y arcillas) con alto contenido de agua
  - 2
  - 3 Caídas: masas de material desprendidas producto de rocas agrietadas y quebradizas formando taludes abruptos.
- 

**Fuente:** (Izquierdo, 2008).

Sus movimientos o mecanismo de las fallas se clasifican mediante cinco grupos: desplomes, derrumbes, deslizamientos, esparcimientos y flujos, como se muestra en la tabla 16. Donde sus materiales directos se dividen en roca y material suelto.

Mediante esta manera se debe identificar para poder comprender y ver su gran importancia que tienen los deslizamientos de taludes, para así poder evitar los deslizamientos y daños que pueden causar de esta manera se debe tomar medidas de prevención y poder controlarlos (Izquierdo, 2008, pág. 57).

**Tabla 16** Clasificación y Movimiento de Taludes

		Tipo de Material		
		Material Suelto		
Tipo de Movimiento	Lecho de Roca	Predominantemente grueso	Predominantemente fino	
Caídas	Caídas de rocas	Caída de escombros	Caída de tierra	
Derrumbes	Derrumbes de rocas	Derrumbe de escombros	Derrumbe de tierra	
Deslizamientos				
Rotacional	Pocas unidades	Asentamiento de rocas	Asentamiento de escombros	
Traslacional	Muchas unidades	Deslizamiento en bloque de rocas	Deslizamientos en bloque de escombros	
		Deslizamiento de rocas	Deslizamiento de escombros	
Esparcimientos Laterales	Esparcimiento de rocas	Esparcimiento de escombros	Esparcimiento de tierra	
Flujos	Flujo de rocas	Flujo de escombros	Flujo de tierra	

Fuente: (Izquierdo, 2008)

### Causas y Fallas de Taludes

las pendientes están controladas por las condiciones climáticas, las condiciones climáticas y las condiciones que controlan la magnitud de la tensión y la fuerza de la pendiente, y el daño máximo se produce cuando la tensión supera la fuerza de estas fuerzas. La importancia de las pendientes seguras se explica por la relación entre resistencia y rigidez en las fracturas. Donde la superficie establece el final entre tierra firme y movediza.

**Tabla 17** Principales Fallas en Taludes

---

<b>INCREEMNTO EN EL ESFUERZO DE CORTE</b>
- Sobre carga sobre el talud (estructura y rellenos)
- Remoción del soporte lateral (cortes y excavaciones al pie del talud)
- Cambios rápidos en el nivel de agua adyacente al talud (abatimiento rápido)
- Incremento en el esfuerzo lateral (fisuras y hendiduras llenas de agua)
- Carga por sino (incremento las fuerzas horizontales y talud abajo

---

<b>DECREMENTO EN LA RESITENCI AL CORTE</b>
- Presión de poros incrementada (infiltración del agua de las lluvias descarga descontrolada del agua de los drenajes)
- Presencia de arcillas expansivas (recepción de agua con una cohesión intrínseca)
- Degradación fisicoquímica y por intemperismo
- Falla progresiva debido ablandamiento por falla al corte

---

**FUENTE:** (Izquierdo, 2008)

### **Cuadros de la Inestabilidad de Taludes**

El principal problema que existe en los taludes es su inestabilidad, para ellos se tiene que identificar el gran potencial que tienen al deslizamiento, lo cual se da de acuerdo a los siguientes parámetros, topografía, deforestación, por precipitaciones fluviales y geológicos tal como se indica en la tabla 16. Donde estas causas se pueden identificar mediante un recorrido visual del campo. Esto se puede tomar medidas de prevención donde se pueden emplear antes y después de ocurrir los deslizamientos en los (Jaime, 2001, pág. 349).

**Tabla 18** Tipos que revelan los movimientos o potencial de desprendimiento

	Característica	Significado
1	Colinas, topografía disecada	Característica común en deslizamientos antiguos y activos (de muchos componentes individuales). La masa deslizante es propensa a cárcavas.
2	Cambio abrupto en la pendiente del talud	Puede indicar tanto áreas de antiguos deslizamientos o un cambio en las características de erosión del material yacente; la parte con menor pendiente suele ser la más débil y presenta mayor contenido de agua.
3	Escarpas y grietas	Define la ubicación de un deslizamiento activo o recientemente activo. La edad de las escarpas puede ser estimadas por la cantidad de vegetación existente; el ancho de las grietas puede servir para estimar tasas de movimiento relativo.
4	Topografía escalonada	Indica falla progresiva; una compleja sucesión de deslizamientos rotacionales que puede hacer otorgar a la superficie de la zona una apariencia escalonada.
5	Taludes con forma redondeadas.	Indicador de un área de anteriores episodios de soliflucción o flujos de tierra,
6	Charcas en las laderas	Captaciones locales o depresiones formadas como característica de la infiltración en 4 actos que pueden agravar el proceso de falla.
7	Precolación en laderas	Común en masas en deslizamiento o con alto potencial de sufrir ese fenómeno; también puede ser identificada al estar relacionada con la presencia de vegetación freatófica.
8	Vegetación incongruente	Áreas de vegetación muy joven o diferente respecto a la matriz pueden indicar recientes deslizamientos o terreno inestable.
9	Árboles sesgados	Árboles inclinados sobre un talud son indicadores de episodios previos de movimiento de taludes o flujo de suelos.
10	Planos de estratificación o juntas	Potenciales planos de deslizamiento para movimientos de talud traslacional.

Fuente: (Izquierdo, 2008)

### 1.3.5. Simuladores de lluvia

Un simulador es un instrumento ideal para el análisis de la infiltración, escorrentía, erosión del suelo, y otras áreas de investigación donde se experimenta de una manera similar a la precipitación natural, la cual en nuestro país son pocos los estudios que se han desarrollado en relación al proyecto de estudio.

La simulación de la lluvia se puede precisar aplicando técnicas en el área de estudio para así poder simular un evento hidrológico, donde esta técnica ha sido

utilizada por varios años para poder estudiar cómo es, la erosión, infiltración y escurriendo, sin tener que esperar que la lluvia natural suceda. Adicionalmente, los simuladores de lluvia permiten controlar la intensidad y la duración de la precipitación (PARRA, 2015)

### **Características de un simulador de lluvia**

Se tendrá en cuenta las características de la lluvia a simular como son.

**Distribución del Tamaño de las Gotas** así mismo se simulará lo más a la precipitación natural, la cual las precipitaciones naturales tienen diferentes dimensiones que van desde cerca a cero hasta siete milímetros. Donde las dimensiones de las gotas de las precipitaciones obedecen a la intensidad de la precipitación (Meyer, 1988).

**Velocidad de las Gotas** al momento del impacto estas deben producir un efecto parecido al de las gotas de lluvia natural, las cuales se precipitan en velocidades que van desde cero (la gota de niebla) hasta 9 m/segundo en los casos mayor dimensión en sus gotas, en general sus gotas de la precipitación con 2mm de diámetro se aproximan a 6m/seg y 7m/seg.

- ✓ **Dimensión de la superficie a investigar** debe desarrollarse en un área que sea significativa y presente las condiciones a estudiar.
- ✓ **Los tipos de las gotas de lluvia y su intensidad** se obliga a conservar en todo el transcurso de la investigación.
- ✓ **El simulador** este equipo debe tener la capacidad para replicar periódicos intervalos las propias precipitaciones.
- ✓ **Equipo** tener la particularidad de poder recrear varias veces las mismas lluvias en los diferentes puntos de estudio.
- ✓ **Energía cinética** debe ser lo parecida a las precipitaciones naturales.
- ✓ **Lluvia uniforme** esparcimiento aleatorio de las gotas.

**Usos de los simuladores de lluvia** los simuladores son una herramienta de gran ayuda puesto que son capaces de semejar en cualquier momento la lluvia natural, ya que a esperar que ocurra la lluvia natural nos tomaría mucho tiempo según las condiciones climatológicas. Los simuladores nos facilitan de replicar la precipitación natural. Esto hace que sea idóneo para los estudios de diferentes componentes del ciclo

hidrológico, la relación (lluvia – escorrentía, infiltración, erosión, flujo superficial, etc.) (PARRA, 2015).

#### **a) Tipos de Simulador de Lluvias**

##### **❖ Simuladores tipo aspersor.**

Son utilizados en equipos de riego a presión, rehiletos y los de tipo cebolleta, usados generalmente para jardines. El tipo de asperjado de estos equipos es por gotas grandes y de grandes tasas de implementación.

Los simuladores de lluvia fueron diseñados con el fin de recrear lo más parecido posible a las precipitaciones naturales. En algunos países como Estados Unidos, se han creado aspersores de tipo "D", "E" y "F"; siendo el último el más popular y usado, al cual se denomina infiltrómetro (Cohen, 1999, pág. 2).

##### **❖ Simuladores tipo formadores de gota.**

Este tipo de simuladores son utilizados para generar el efecto de goteo, el cual se obtiene empleando materiales que permitan acumular agua y romper la tensión superficial para que la gota caiga. Los primeros diseños tenían pequeños tubos colgantes, sujetos al fondo de un embace de agua, en los últimos años se ha implementado el uso de tubos de vidrio, plástico agujas. Estos dispositivos controlan la creación de gotas mediante la longitud del tubo y la presión es controlada por el diámetro a través de módulos cerrados. Donde el diámetro promedio de la gota se encuentra entre 2 y 5 mm.

Ya que las gotas empiezan con cero de velocidad, los simuladores deben ubicarse lo más alejados del suelo para que puedan generar un impacto parecido, como si tuviera la velocidad real. Además, los tubos deben colocarse en distancias cercanas de manera que pueda esparcir y distribuir el agua de manera adecuada, condiciones que determinan el uso de este tipo de simuladores en terrenos pequeños. Lo cual se pueden separar en simuladores de; formadores de gotas y boquillas presurizada (Cohen, 1999, pág. 7).



La elaboración del simulador de lluvias se tiene que escoger un área adecuada para evitar algún inconveniente en la elaboración del estudio.

### 1.3.6. Definición de Términos

**Erosión hídrica**, hace referencia al traslado y separación de partículas de un terreno por la precipitación de la lluvia, desplazamiento superficial del agua. Los factores del suelo, clima, vegetación y relieve afectan este proceso, generando en ocasiones erosión laminar, surcos, y cárcavas.

**Erosión Mecánica** es el desgaste del suelo, originada por las actividades humanas y su modificación para la construcción.

**Erosión de los cauces fluviales** es la remoción de material debido al movimiento de las aguas fluviales (erosión de márgenes fluviales)

**Erosión costera o litoral** originado por el impacto de las olas y las mareas, en donde el mar va ganando terreno a causa del deterioro de las zonas emergentes.

**Erosión glaciar** remoción de los espacios fríos, glaciares y periglaciares como consecuencia del movimiento del hielo. El avance generalmente constituye el deterioro total del terreno.

**Deslizamientos de masas superficiales** deslizamientos del terreno que deja una marca honda y un frente sobresaliente. Generalmente la gran mayoría del desplazamiento se convierte en flujos de clastos que incluyen rocas, piedras. Cuando se evidencia la acción de otros factores erosivos se puede manifestar que es solo un desplazamiento y no una pérdida de suelos.

**Erosión Eólica o deflación** desgaste del suelo en función de los efectos del viento que arrastra las partículas separadas.

**Erosión eólica corrosión** separación de partículas a causa del impacto que reciben de partículas ya separadas y que son arrastradas por la acción del viento.

### 1.3.7. Ciencias Aportantes a la Investigación

Las ciencias que aportarían a la investigación

#### **a) Hidrologia.**

Abarca el estudio de las etapas de la lluvia en la superficie terrestre (período hídrico), la cual es un elemento de mucho valor para la humanidad y el medio ambiente. experiencias prácticas de la hidrología donde se detallan en los siguientes puntos:

- Proyectos y usos de las obras estructuras hidráulicas que se construyen como, (azudes, diques, presas, embalses, desagües, etc.)
- proyectos de obras viales como alcantarillas y puentes.
- suministro de agua bebible, mantenimiento y evacuación de aguas residuales
- irrigación y drenaje de suelos
- generación hidroeléctrica
- estudios de disponibilidad hídrica y de sequías (escurrimientos nivales, pluviales, etc.)
- manejo integral de crecientes (aluvionales, urbanas, fluviales, etc.)
- erosión y control de sedimentos
- estudios de impacto ambiental (control y disminución de la contaminación hídrica, salinidad, metales pesados, uso consuntivo, minería, etc.)
- uso recreacional del agua
- protección de la vida terrestre y acuática
- métodos de alerta temprana de inundaciones y catástrofes (Villodas, 2008, pág. 3)

#### **b) Mecanica de Tierras**

la comprensión de sus propiedades físicas y mecánicas de las tierras es primordial en su estudio, donde mediante su adecuada interpretación ingenieril se anuncia, con mucha aproximación, su comportamiento de los disparejos suelos bajo la acción de cargas a que sean sometidos (Villalaz, pág. 3).

### **1.4. Formulación del Problema**

¿De qué manera empleando un simulador de lluvias nos permite calcular la erosión y pérdida de suelos en la ciudad de Chongoyape?

### **1.5. Justificación e importancia del estudio**

Debido a que el tema a estudiar, no se han hecho investigaciones, por ende, la pérdida y erosión de la tierra simboliza el cambio de una o más de sus propiedades a situaciones menores a las originales esto conllevaría a la degradación de la estructura del suelo, disminución del material orgánico, pérdidas de suelos y alimentos. Afectado por el hombre y los eventos hidrológicos.

**Económica:** Realizar un desarrollo del estudio en la ciudad de Chongoyape con costos mínimos del proyectista, compra y mantenimiento del equipo, de tal manera con la realización del estudio se obtendrá los resultados de la erosión y pérdida de suelos.

**Social:** Este estudio está abocado a cumplirse para transmitir un aporte a la ciudadanía de Chongoyape ya que mediante un simulador de lluvias será posible simular la lluvia real sin necesidad de dicho evento natural, para así poder obtener la erosión y pérdida de suelos en dicha ciudad.

**Técnica:** Debido a la presencia de lluvias en los meses de diciembre a marzo, esta investigación se empleará reglas de hidroingeniería, siendo una buena posibilidad, dado que se basa en la construcción de un simulador de lluvias como sujeto constructivo que permitirá obtener la erosión y y pérdida de suelos.

**Ambiental:** La protección del medio ambiente debe ser considerada ya que en la ciudad de Chongoyape está siendo afectado por el fenómeno del Niño y está causando erosión y pérdida de suelos de acuerdo a este problema, se está realizando esta investigación mediante un simulador de lluvias para poder obtener los datos requeridos en la investigación.

### **1.6. Hipótesis**

Si, se emplea un simulador de lluvias, entonces es factible determinar la erosión y pérdida de suelos en la ciudad Chongoyape - Chiclayo.

## **1.7. Objetivos**

### **1.7.1. Objetivo General.**

Estudiar la erosión y pérdida de suelos, empleando un simulador de lluvias, en la ciudad de Chongoyape - Chiclayo.

### **1.7.2. Objetivos Específicos**

- a) Reconocer el lugar de estudio.
- b) Clasificar el suelo a estudiar y tipo de pendiente.
- c) Construir un simulador de lluvia y caracterizar la lluvia, conociendo la intensidad más alta registrada, en la ciudad de Chongoyape.
- d) Lograr una intensidad adecuada para diferentes precipitaciones con el simulador de lluvias en la ciudad de Chongoyape.
- e) Determinar la capacidad de infiltración mediante el simulador de lluvias para la ciudad de Chongoyape.
- f) Evaluar a diferentes intensidades de lluvia la erosión y pérdida de suelos en la ciudad de Chongoyape.

## **II. MATERIAL Y METODO**

## **II. Material y Método**

### **2.1. Tipo y Diseño de Investigación.**

#### **a) Tipo de investigación.**

Esta investigación, es experimental, debido a la realización de cálculos de las características de la erosión y pérdidas de suelos en la ciudad de Chongoyape, lo cual presume proceder de un marco conceptual a la dificultad analizada, una orden de rozamiento que manifiesten recomendaciones entre las variables experimentadas de forma justificada (César Augusto, 2010, pág. 146).

#### **b) Esquema de la indagación.**

Se desarrolló de una manera experimental, ya que el investigador interviene y manipula de forma consiente una de las variables para cumplir con el objetivo planteado, ya que precisamente se espera identificar los efectos de las pruebas realizadas por el investigador como una forma de probar su hipótesis (César Augusto, 2010, pág. 123)

En el presente estudio se estableció construir un simulador de lluvia, para observar cómo la lluvia afecta en la erosión y pérdida de suelos en la ciudad de Chongoyape.

### **2.2. Variables, Operacionalización.**

#### **2.2.1. Variable Independiente**

Simulador de lluvias

La precipitación simulada mediante un simulador de lluvia es un proceso complejo, pero gracias a su identificación mediante los numerosos agentes que interceden en el transcurso y a la implementación de los principios físicos de construcción fue viable la obtención de la lluvia simulada en diferentes condiciones, similares a la natural. Lo cual conlleva a una inversión técnica y económica con la intención de seguir el esquema planteado.

En zonas tropicales normalmente las lluvias son de tipo convectivas, es decir, intensas pero poca duración, de allí la necesidad de evaluar la lluvia cuantitativamente con la intención de identificar el recorrido del agua que se precipita en el terreno y conocer las causas más importantes que dan origen a la erosión, además, de las prácticas de cuidado adecuadas para aplicar en un terreno y que este padezca la menor erosión posible.

La elección del simulador adecuado estuvo sujeto a las intensidades de las precipitaciones a simular fueron: diámetro de gota, ligereza de impacto, intensidades de los sucesos a simular, así como los objetivos del estudio.

### **2.2.2. Variable Dependiente**

Erosión y Pérdida de Suelos

**La erosión** es la separación, arrastré y depósito de partículas que conforman el suelo o las rocas, que se genera por efecto de las fuerzas de algún fluido en circulación, esta puede originarse debido a la acción del viento o por eventos hidrológicos.

**Pérdida de Suelos** alteración en la composición del suelo, que conlleva a la reducción de la capacidad del ambiente en generar bienes para sus usuarios. Los suelos degradados ya no pueden generar alimentos ni nutrientes para quienes habitan en él.

### **2.2.3. Operacionalización**

**Tabla 19 Operacionalización**

<b>Variable Dependiente</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Subindicadores</b>	<b>Índices</b>	<b>Técnica de recolección de Información</b>	<b>Instrumento de recolección de datos</b>	<b>Instrumento de medición</b>
Erosión	Índice de Erosionabilidad del Suelo K	K		mm.	Observación		
	Factor de control de la erosión.				Observación		
	Intensidad de la lluvia.	Precipitación		mm	Observación		
Pérdida de Suelo	Resistencia al corte				Observación		
	Movimiento de fluidos.				Observación		
<b>Variable Independiente</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Subindicadores</b>	<b>Índices</b>	<b>Técnica de recolección de Información</b>	<b>Instrumento de recolección de datos</b>	<b>Instrumento de medición</b>
Simulador de lluvia	Mecánico			m	Observación		
	Hidráulico			m	Observación		

**Fuente:** Elaboración propia



## **2.3. Población y Muestra.**

### **2.3.1. Población**

Estuvo conformada por suelos y pendientes más críticos de la ciudad de Chongoyape.

### **2.3.2. Muestra**

Se consideró los diferentes tipos de suelos y topografía (que resulten aptos para el estudio con el simulador de lluvia) de la ciudad de Chongoyape.

## **2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.**

### **2.4.1. Técnicas**

Como prácticas para recolectar los datos de implemento la vigilancia. Haciendo uso de fichas técnicas que permitan evaluar en espacio en el cual se produjo a cabo el estudio con el simulador de lluvias.

- **Observación:** para la observación de las muestras del suelo y toma de datos obtenidos de los ensayos realizados en el laboratorio y adecuarlos a las diversas ecuaciones para hallar el cálculo de la erosión y la pérdida de suelos.
- **Análisis de documentos:** en el desarrollo del estudio se consideró diversos recursos bibliográficos como libros, tesis, páginas web, artículos de investigación, informes, que permitan brindar sustento mediante la explicación de conceptos y explicación de los fenómenos
- **Entrevista:** se llevó a cabo una entrevista al ingeniero especialista en la rama de ingeniería hidráulica de nuestra universidad al ING. Guillermo Arriola Carrasco, con la intención de conocer su opinión acerca de la investigación realizada.

### **2.4.2. Instrumentos**

**Los instrumentos** (materiales y equipos) a emplearse serán, para la realización de simulación de lluvias y así estudiar la erosión y pérdida de suelos.

También se utilizó un muestreador para la toma de muestras del suelo, bolsas plásticas y marcadores para indicar el número de muestra.

La metodología será el uso de libros, como referencia tesis anteriores sobre este tipo de investigaciones (simulador de lluvias).

El tratamiento de datos se realizó haciendo uso de hojas de Excel y word, para la realización de las ecuaciones correspondientes. Además, el presente estudio se desarrolló con el apoyo de un asesor experto conocedor del tema y análisis de datos.

Las guías de observación fueron utilizadas para la toma de datos de forma ordenada y favorecer a la comprensión de los datos.

Asimismo, se consultaron normativas técnicas para llevar a cabo una adecuada recolección de datos y obtener resultados adecuados.

#### **2.4.3. Cuestionario**

La entrevista se realizó a un ingeniero especialista en la rama de Ingeniería hidráulica.

Entre las preguntas que se realizaron sobre la importancia del tema de la erosión y pérdida de suelos fueron: la importancia del tema de investigación, la importancia del actual estudio, que aporte nos haría el presente tema de investigación, entre otras.

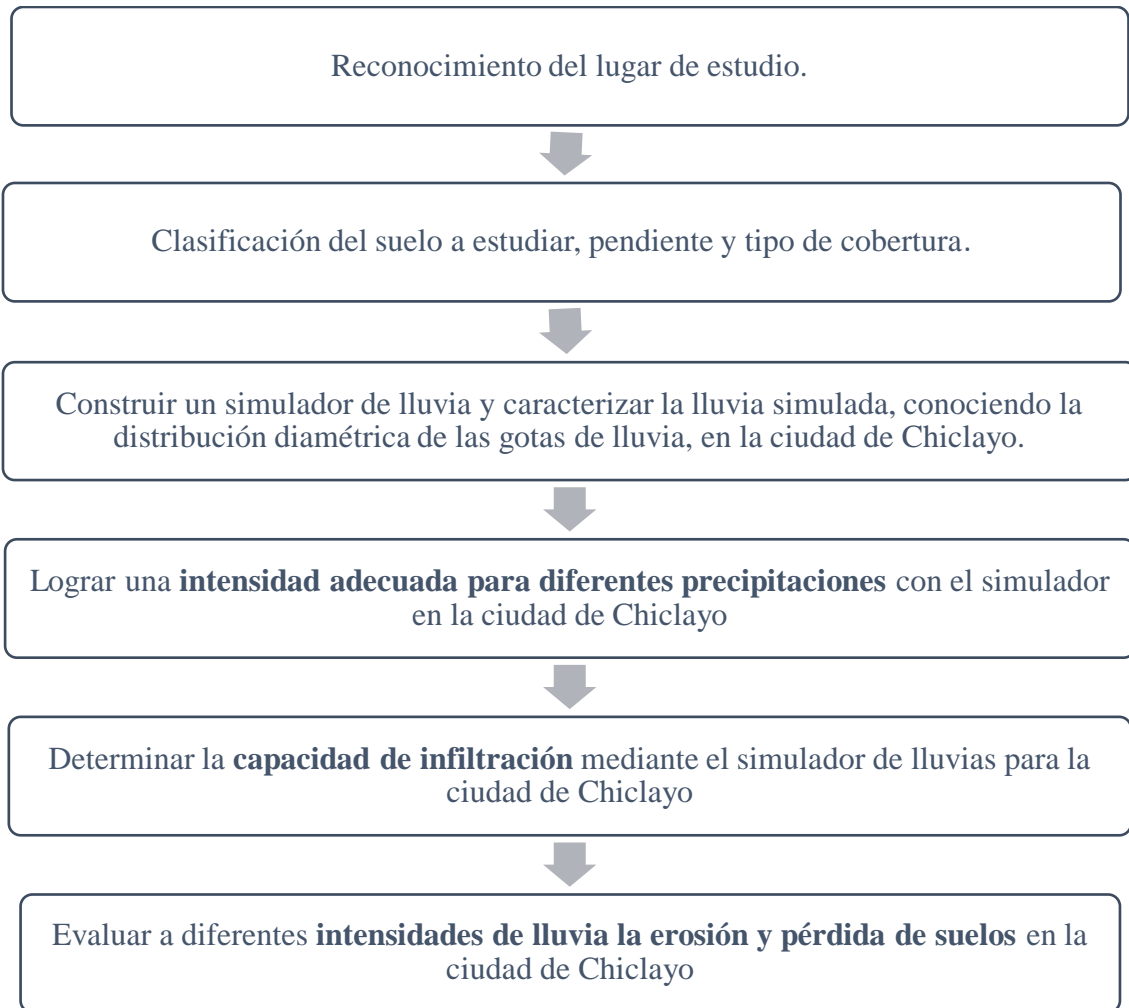
#### **2.4.4. Guía de análisis documental**

Se consideró diversos documentos que favorecieron e desarrollo del estudio y sirvieron de guía para la realización de los diversos ensayos, una vez obtenidos los resultados se procedió al procesamiento de los datos haciendo usos de diversas ecuaciones para determinar la cantidad de erosión y pérdida de suelos que se producen en distintas precipitaciones, tipo de suelo, pendientes y cobertura vegetal que se producen en determinado tiempo.

#### **2.5. Procedimiento de análisis de datos.**

Así mismo se desarrolló con el compromiso y estudio, venerando las deducciones, de los resultados obtenidos en campo, y sus análisis concernientes. Las mismas que se anotaran en las referencias bibliográficas, anexos.

## A. Diagrama de procesos



## B. Descripción de procesos.

- a) Reconocimiento del lugar de estudio
- b) Clasificación del suelo a estudiar, pendiente y tipo de cobertura se trabajará con suelos de características muy desfavorables como que permitan retener la humedad y mixtura de arena y finos estos suelos suelen ser las arenas y los limos, lo cual aseguran alta erosión, estas características son deseables para la investigación ya son los más desfavorables, (teniendo una tasa muy alta de erosionabilidad) siendo los más críticos, así mismo estos ayudan al crecimiento de las especies vegetales.
- c) Construir un simulador de lluvia y caracterizar la lluvia, conociendo sus intensidades de la lluvia a simular, la cual se desarrollará en ciudad de Chongoyape; teniendo en cuenta sus características del simulador, lo cual debe tener un costo que sea lo más accesible posible.

Para ello se realizó diferentes ensayos con los diferentes tipos de boquillas las cuales requieren diferentes espacios contiguos, donde permitan obtener una igualdad en el área que cubra.

**Tipo de boquilla** para el uso de este simulador de lluvia fueron las boquillas Floodjet las cuales son de uso agrícola y se asemejan a las boquillas Veejet. Donde su repartición de su dimensión de las gotas de lluvia está detallada en sus especificaciones técnicas las cuales permitan asimilar a las precipitaciones naturales.

De otro modo las boquillas Veejet, son mayormente usadas en las industrias, para realizar la limpieza de pozos y otras ya que trabajan a altas presiones.

Sin embargo, las que son usadas en la simulación de lluvias tiene un rango de presión mucho mayor que la boquilla Floodjet.

**Las pruebas de dimensión de las gotas**, será esencial para la simulación de precipitaciones, sabiendo que las gotas varían desde 0.5 a 0.7 mm (0.02 a 0.28 in).

El diseño final del simulador de lluvias será de acuerdo a los datos obtenidos en los ensayos.

Donde se llegará a una conclusión final y se escogió el tipo de boquilla adecuada, (**Ver anexo A**)

- d) Lograr una **intensidad adecuada para diferentes precipitaciones** con el simulador en la ciudad de Chongoyape / Chiclayo.

El caudal de ingreso se consigue mediante las recitaciones brindadas por el registrador en el transcurso de las pruebas entre el lapso de los ensayos de las mismas. Obteniendo como consecuencia el caudal (Q).

Para lograr una precipitación adecuada mediante ensayos realizados mediante un pluviómetro y donde se escogió el más alto por ser el más crítico registrado en el punto meteorológica ubicada en Tinajones Chongoyape una intensidad de 60.7 mm/h y en la estación de Oyotun de 64.8 mm/h, siendo la más alta registrada en la estación de Oyotun en el año 2017 teniendo un registro de una precipitación 64.8 milímetros por hora, lo cual se eligió este valor siendo el más alto registrado en el fenómeno del Niño en la provincia de Chiclayo Distrito de Oyotun por ser la zona más cerca al lugar de estudio (**ver anexo B**).

Teniendo en cuenta la relación que existe entre el caudal e intensidad, donde la intensidad dependerá del caudal, por ende, esta correlación se detallará más adelante.

**Lapso de prueba** los ensayos se producirán en tiempos de quince y treinta minutos de lluvia simulada, ya que estos lapsos concernirían a sucesos hidrológicos drásticos, así mismo habiendo elegido la precipitación más alta a ensayar.

- e) Determinar la **capacidad de infiltración** mediante el simulador de lluvias para la ciudad de Chongoyape / Chiclayo.

Para fijar su capacidad de infiltración se tendrá en cuenta el tipo de suelo a ensayar, pendiente, las parcelas de ensayo serán de un metro cuadrado que será representado en una hectárea.

Donde se ejecutarán ensayos relativos en diferentes condiciones de suelos, sin cobertura y con cobertura vegetal para ello se seleccionará dos tipos de parcelas sin cobertura vegetal y con cobertura vegetal.

Se trabajará con suelos con características desfavorables que vendrían hacer los suelos arcillosos y los limos que permitan retener la humedad mixtura de arena y finos, aseguran alta erosión, estas características son deseables para la investigación siendo los más críticos logrando grandes índices de erosión, permitiendo el crecimiento de vegetación.

- f) Evaluar a diferentes **intensidades de lluvia la erosión y pérdida de suelos** en la ciudad de Chongoyape / Chiclayo.

Las pruebas se han encaminado a partir la representación de cada uno de los elementos de los ensayos como es la duración de tiempo, inclinación del terreno y cobertura vegetal.

### **C. Extracción de Muestras**

Teniendo la ayuda de aquellos que dominan el tema como en hidráulica y suelos para la extracción de muestras del suelo con el que se va a desarrollar las diferentes pruebas.

#### **❖ Validación y Confiabilidad de Instrumentos.**

##### **Ratificación de herramientas**

Su confirmación de las herramientas fue controlada por Wilson Olaya Aguilar, experto en el Mecánica de Suelos y Pavimentos de la Universidad Señor de Sipán, cumpliendo con la evaluación y

aprobación de las herramientas utilizadas en las pruebas ejecutadas en laboratorio.

### **Confidencialidad de las Herramientas**

Donde se puede afirmar su exactitud y confidencialidad en los resultados obtenidos, la cual se preguntó a expertos para obtener resultados confiables y precisos, en esta indagación.

## **2.6. Criterios éticos.**

### **a) Ética de reelección de datos.**

Donde simplifica la autenticidad mediante los valores obtenidos de las muestras y pruebas, donde se tendrá en cuenta la gran importancia de esta investigación en el ámbito de hidráulica y suelos.

### **b) Ética de publicación.**

La indagación mostrará una manera de cómo se erosionará el suelo a diferentes precipitaciones, pendientes y tipo de cobertura donde permitirá a los siguientes investigadores a comparar los resultados obtenidos.

### **c) Ética de aplicación.**

La elaboración del simulador de lluvias para realizar los ensayos y así observar la erosión y pérdida de suelo, se tendrá que sustentarse, conservando un razonamiento lógico y económico.

## **2.7. Criterios de Rigor Científico**

### **a) Criterio de validez.**

La elaboración del simulador de lluvias y ejecución de los ensayos serán realizados siguiendo las exigencias y recomendaciones de los especialistas en el tema de suelos e hidráulica.

### **b) Criterio de generalizabilidad.**

Destacada igualmente con una validez externamente; es decir se tomará un espécimen representativo. La cual viene hacer esencial la toma de datos; así poder desarrollar la indagación, logrando los objetivos de dicha investigación.

**c) Criterio de fiabilidad.**

Las pruebas que se realizarán en el laboratorio de la Universidad Señor de Sipan, serán confiables donde los datos de manera óptima, obteniendo los datos claros.

# **III. RESULTADOS**



### III. Resultados

#### 3.1. Resultados de estudio

##### 3.1.1 Reconocimiento del lugar de estudio.

###### Procedimiento

Para escoger el lugar de estudio se ha realizado mediante la observación identificando los diferentes lugares de estudio, donde con la ayuda del equipo Gps se logró identificar las parcelas experimentales, teniendo cada uno sus coordenadas.

###### Resultados

**Tabla 20** Zonas de estudio

N°	Coordenadas	
	NORTE:	ESTE:
1	9264889.2	678974.7
2	9265149.4	679414.8
3	9264390.17	679553.8

Se escogió el área de estudio de acuerdo a los intereses y objetivos de la investigación, donde se escogió un área representativa con y sin vegetación, cada área de estudio tiene las dimensiones de tres metros de largo por un metro de ancho.

###### Interpretación

Con los resultados adquiridos, se identificó los puntos de erosión logrando así las pérdidas de suelos en los diferentes tipos de suelos, cobertura y pendientes. Esto sirvió para la realizar la extracción de los suelos que sean representativos permitiendo efectuar los diferentes estudios en laboratorio logrando identificar el tipo de suelo existente. Vegetación

##### 3.1.2 Clasificación de suelo a estudiar y tipo de pendiente.

###### Procedimiento

Para certificar una repartición igual de los especímenes de tierra a experimentar, tomando los puntos específicos de la localidad de Chongoyape en el área a desarrollar los ensayos, para obtener los grados de erosión y pérdida de suelos. Mediante la indagación recolectada en campo, se lograron las condiciones físicas de la tierra, cuadros sensorios que permitan realizar tomar las muestras de

los diferentes puntos donde se efectuarán los ensayos, teniendo como tres puntos específicos, lo cual se llevó a laboratorio a estudiar.

Se precisó los puntos específicos teniendo en cuenta la duración de cada ensayo que se realizó de la presente indagación, teniendo un número máximo y mínimo de las muestras a ensayar, permitiendo obtener los valores. La cual es este el motivo se tomaron tres puntos diferentes, teniendo un total de ocho muestras representativas especificadas como M1 – E1, M1 – E2, M1 – E3; M2 – E1, M2 – E2; M3 – E1, M3 – E2, M3 – E3. **Ver Anexo1.**

**Tabla 21** Cuadro de las pruebas realizadas en campo

<b>Muestra</b>	<b>Vegetación</b>	<b>Ensayo</b>	<b>Intensidad (mm/h)</b>	<b>Pendiente (%)</b>	<b>Tiempo (min)</b>
M - 1	sin Vegetación	A - 1	65	3.00	15
		A - 2	65	3.00	30
	con Vegetación	A - 3	65	3.00	15
		A - 4	65	3.00	30
M - 2	sin Vegetación	B - 1	65	25.00	15
		B - 2	65	25.00	30
	con Vegetación	B - 3	65	25.00	15
		B - 4	65	25.00	30
M - 3	sin Vegetación	C - 1	65	10.00	15
		C - 2	65	10.00	30
	con Vegetación	C - 3	65	10.00	15
		C - 4	65	10.00	30

Se detalla en la tabla la matriz de los ensayos realizados en campo en los diferentes puntos a estudiar

### **3.1.2.1 Ensayos de mecánica de suelos**

Se extrajeron las muestras de lugar de estudio, y fueron llevadas al laboratorio, para realizar los ensayos.

Su objetivo es obtener las características físicas y mecánicas y saber el suelo con el que se va a trabajar, y así poder hacer el estudio de la erosión y pérdida de suelos.

La cual, desarrolló la siguiente metodología de trabajo:

### **En campo**

Se hicieron calicatas de una profundidad de 1.50 m, las cuales se observó los diferentes tipos de estratos en cada calicata realizada las cuales se obtuvieron porciones representativas por separado.



**Figura 8** Extraxtos del suelo a extraer



**Figura 9** Extracción de Muestras

## Laboratorio

Se hicieron los siguientes ensayos:

### 3.1.2.2 Contenido de humedad de los especímenes extraídas

#### Procedimiento

Dicho ensayo consiste en la obtención de una porción del material de tal manera que las características de la porción obtenida sean representativas, y fueron colocadas en bolsas herméticas para así pueda conservar su humedad natural, se procedió llevarlos al laboratorio y se procedió a hallar el contenido de humedad.

#### Resultados

Los datos se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 22** Contenido de Humedad

Muestra	Estrato	Profundidad (m)	Contenido de humedad (%)
M - 1	E - 1	0.00 - 0.60	21.73
	E - 2	0.60 - 1.10	23.34
	E - 3	1.10 - 1.50	25.95
M - 2	E - 1	0.00 - 0.80	11.55
	E - 2	0.80 - 1.50	20.85
M - 3	E - 1	0.00 - 0.70	4.81
	E - 2	0.70 - 1.20	5.57
	E - 3	1.20 - 1.50	8.82

En la presente tabla se aprecia los estratos encontrados a diferentes profundidades en cada toma de muestra del lugar a ensayar, teniendo diferentes contenidos de humedad.

### 3.1.2.3 Granulometría

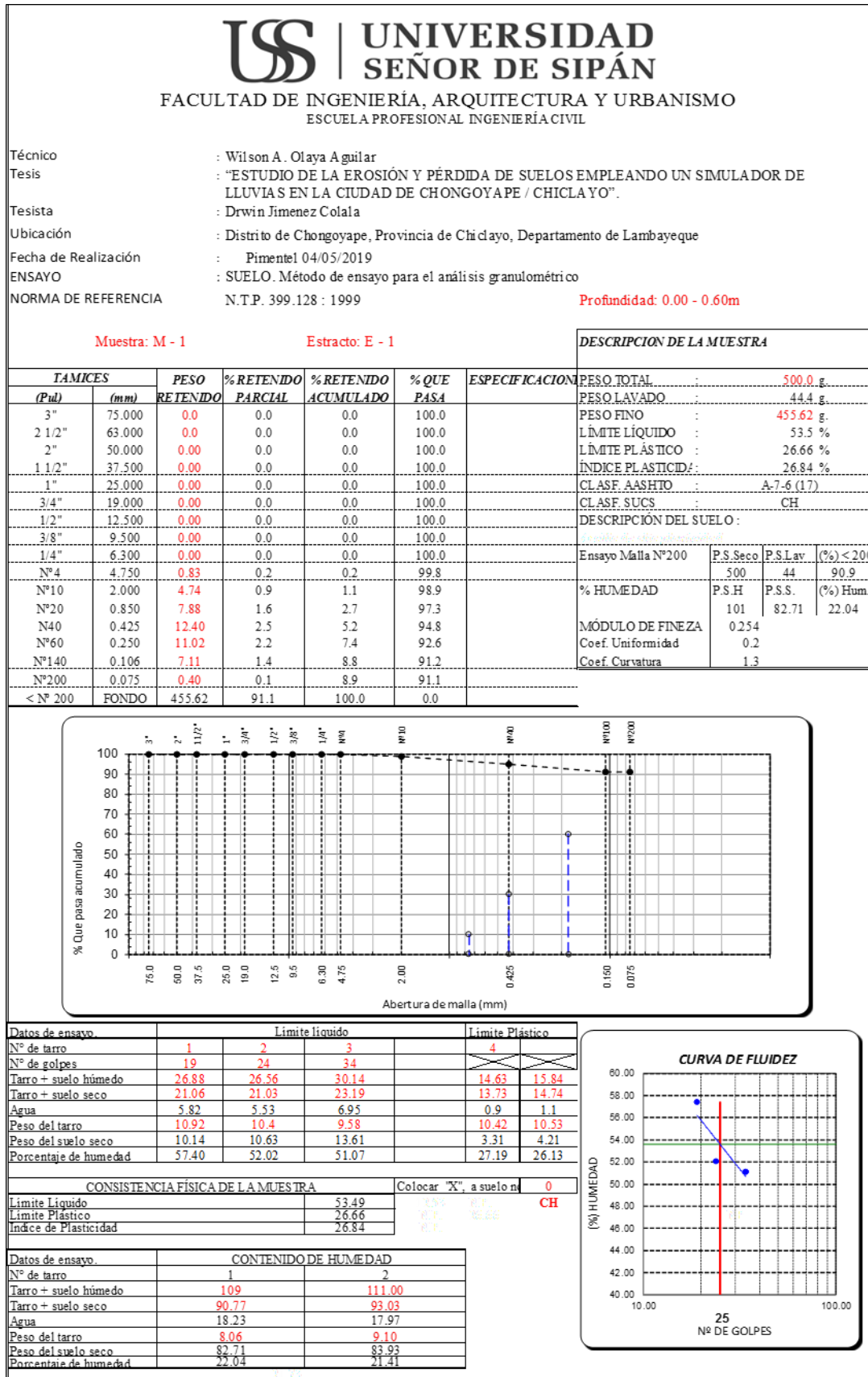


Figura: 10 Curva granulométrica de la muestra M-1, E-1.

### 3.1.2.4 Limite Líquido y Limite Plástico



**Figura 11** Muestras para obtener los índices de plasticidad

Los resultados obtenidos de detallan en la siguiente tabla

**Tabla 23** Índices de plasticidad

Muestra	Estrato	Profundidad	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)
<b>M - 1</b>	E - 1	0.00 - 0.60	53.49	26.66	26.84
	E - 2	0.60 - 1.10	35.21	23.54	11.67
	E - 3	1.10 - 1.50	55.04	16.11	38.93
<b>M - 2</b>	E - 1	0.00 - 0.80	38.49	22.68	15.81
	E - 2	0.80 - 1.50	43.72	21.96	21.76
<b>M - 3</b>	E - 1	0.00 - 0.70	24.59	16.26	8.33
	E - 2	0.70 - 1.20	33.03	18.07	14.96
	E - 3	1.20 - 1.50	26.56	17.92	8.64

En la tabla de detallan los índices de plasticidad de cada muestra y estrado obtenidos en cada uno de las muestras.

### 3.1.2.5 Clasificación de Suelos

Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 24** Clasificación de Suelos

Muestra	Estrato	SUCS
M - 1	E - 1	CH
	E - 2	ML
	E - 3	CH
M - 2	E - 1	CL
	E - 2	CL
M - 3	E - 1	CL
	E - 2	CL - ML
	E - 3	CL

Se detallan los suelos encontrados en campo en cada zona a desarrollar dicha investigación.

### 3.1.2.6 Pendiente

La pendiente de estudio es variable, ya que se trabajó con la pendiente natural en el área de estudio donde será variable. Para los ensayos realizados se trabajó con pendientes de 3, 10 y 25%

**Tabla 25** Cuadro de pendientes utilizadas en los ensayos realizados

Muestra	Ensayo	Pendiente (%)
M - 1	A - 1	3.00
	A - 2	3.00
	A - 3	3.00
	A - 4	3.00
M - 2	B - 1	25.00
	B - 2	25.00
	B - 3	25.00
	B - 4	25.00
M - 3	C - 1	10.00
	C - 2	10.00
	C - 3	10.00
	C - 4	10.00

En este cuadro se detalla los ensayos realizados en las diferentes pendientes y las muestras con las que se trabajó como también el tipo de cobertura vegetal o sin ella.

### 3.1.2.7 Vegetación

Se desarrolló con la vegetación encontrada en el área de estudio, donde se realizaron los ensayos relativos entre dos situaciones de la tierra, sin cobertura vegetal y con vegetación, la cual se trabajó en dos zonas distintas.

La densidad de la vegetación está simbolizada por el parámetro (M)

**Tabla 26** Matriz de Ensayos Realizados con o sin Cobertura Vegetal

Muestra	Vegetación	Ensayo	Intensidad (mm/h)	Pendiente (%)	Tiempo (min)	Vegetación
M - 1	sin Vegetación	A - 1	65	3.00	15	sin vegetación
		A - 2	65	3.00	30	sin vegetación
	con Vegetación	A - 3	65	3.00	15	con vegetación
		A - 4	65	3.00	30	con vegetación
M - 2	sin Vegetación	B - 1	65	25.00	15	sin vegetación
		B - 2	65	25.00	30	sin vegetación
	con Vegetación	B - 3	65	25.00	15	con vegetación
		B - 4	65	25.00	30	con vegetación
M - 3	sin Vegetación	C - 1	65	10.00	15	sin vegetación
		C - 2	65	10.00	30	sin vegetación
	con Vegetación	C - 3	65	10.00	15	con vegetación
		C - 4	65	10.00	30	con vegetación

En la matriz se detalla las muestras realizadas, también con o sin vegetación, su intensidad las diferentes pendientes utilizadas en los ensayos como el tiempo de cada suceso a indagar ya que su intensidad era constante en ambos tiempos.

**Tabla 27** Resumen de los Resultados de los ensayos de suelos

Muestra	Estratos	%				SUCS
		Humedad	LL %	LP %	IP %	
M - 1	M1 - E1	22.04	53.49	26.66	26.84	CH
	M1 - E2	25.03	35.21	23.54	11.67	ML
	M1 - E3	25.84	55.04	16.11	38.93	CH
M - 2	M2 - E1	11.38	38.49	22.68	15.81	CL
	M2 - E2	20.81	43.49	21.96	21.53	CL
M - 3	M3 - E1	4.83	24.59	16.26	8.33	CL
	M3 - E2	5.66	24.59	18.07	6.52	CL-ML
	M3 - E3	8.73	26.56	17.92	8.64	CL

En la presente tabla se detallan las muestras que se tomaron en campo y los diferentes extractos que se encontraron en campo. La cual fueron llevados a laboratorio y nos arrojaron las características de los suelos.



### **3.1.3 Construir un simulador de lluvia y caracterizar la lluvia, conociendo la intensidad más alta registrada, en la ciudad de Chongoyape.**

#### **Procedimiento**

Los datos climatológicos para la actual indagación se tomaron en cuenta los de la estación Meteorológico de Tinajones siendo de 65 mm/h registrada en el fenómeno del Niño del año 1998 siendo la precipitación más alta registrada, ubicada en la zona del mismo nombre.

El modelo que se escogió para la construcción del simulador de lluvias del autor Miller, que fue desarrollado en el año de 1987 por la Universidad de Georgia, Athens, GA. USA.

El simulador de lluvias abarca un área de 3.00 m<sup>2</sup> es trasladable de un lugar a otro para realizar los ensayos, y consta de los siguientes elementos:

- ☞ Estructura de soporte o simulador de lluvia
- ☞ Sistema de bombeo y recolección
  - Bomba ½ HP
  - Manguera 8.5 mm.
  - Boquilla de pulverización
  - Manómetro
  - Cronometro
  - Probetas para la recolección de sedimentos

Para la evaluación del simulador de lluvia se tomó los datos de la precipitación registrada en la estación meteorología de Tinajones (ver anexo 2), ya que esta estación se encuentra cerca de la zona área de estudio, donde los valores con los que se trabajó fueron los registrados en el fenómeno del niño del año de 1998 siendo los registros más altos hasta hoy.

Se hicieron ensayos preliminares con la finalidad de establecer los rasgos de la lluvia a simular sean similares a las precipitaciones naturales registradas en dicha zona de estudio. Lo cual se tomaron los datos registrados en la estación meteorológica antes mencionada (Ver anexo).

Se determinó la cantidad de agua que cae sobre el área de estudio, volumen de agua que cae por cada boquilla, donde es medida desde el momento que es expulsada por la boquilla aspersora con los tiempos establecidos.

### Resultados

Donde teóricamente los resultados arrojados tienen que ser aproximadamente iguales, de las dos formas esto nos permite calcular la intensidad promedio alcanzada en los ensayos.

**Tabla 28** Dimensiones del área de estudio

Ancho		1.00	m		
Largo		3.00	m		
Superficie		3.00	m <sup>2</sup>		
Intensidad		volumen			
				Tiempo	
mm/h	65.00	195.00	l/h	15 minutos	30 minutos
l/m <sup>2</sup> /h	65.00			48.75	97.50



**Figura 12** Simulador de lluvias

Para lograr la intensidad requerida se realizó los ensayos con el simulador de lluvias antes de ser llevado al campo y así poder realizar las pruebas reales.



**Figura 13** Ensayos realizados para lograr la intensidad requerida

### **3.1.4 Lograr una intensidad adecuada para diferentes precipitaciones con el simulador de lluvias en la ciudad de Chongoyape.**

#### **Procedimiento**

Para lograr la intensidad que se requiere en el estudio se tomó los registros meteorológicos más altos registrados en dicha zona de estudio. De los datos recopilados se empleó la fórmula de Fournier, logrando obtener los valores de erosión mediante la precipitación en la que se trabajó, en cada evento ya se máximo y mínimo de una manera que se la más correcta de su descarga del agua mediante el simulador de lluvias para obtener, y así lograr los eventos hidrológicos a ensayar, ya que los datos tomados para el área de estudio se obtuvo un valor de 48.75 litros, estos fueron medidos en recipiente para luego desarrollar el estudio mediante el simulador de lluvias.

Para lograr la intensidad requerida en dicho estudio se usó un área de 1.00 m por 3.00 m la cual nos permitió conocer el área, al conocer el área y la intensidad registrada en la zona de estudio se precedió a calcular el volumen de agua requerida, de acuerdo a los tiempos, que se pretende ensayar, donde nos arroja el volumen de agua a emplear en las simulaciones de lluvias y así obtener la precipitación deseadas.

## Resultados

Donde se logró evaluar el simulador, ya que el simulador expresa la intensidad adecuada para las diferentes precipitaciones, similares en la zona de estudio, donde se recolectaron los datos registrados en el fenómeno del niño de 1998. Mediante la metodología plantada por Fournier es decir (Índice Modificado de Fournier), donde se obtuvo los valores del volumen de agua requerida en los diferentes tiempos a ensayar los propios que fueron medidos mediante un recipiente y colocados en el simulador de lluvia en cada ensayo.

Donde se realizaron en tres lugares diferentes como lo indica la tabla 27 de ensayos realizados.

**Tabla 29** Cuadro de ensayos realizados la intensidad y diferentes precipitaciones

Muestra	Vegetación	Ensayo	Intensidad (mm/h)	Pendiente (%)	Tiempo (min)
M - 1	sin Vegetación	A - 1	65	3.00	15
		A - 2	65	3.00	30
	con Vegetación	A - 3	65	3.00	15
		A - 4	65	3.00	30
M - 2	sin Vegetación	B - 1	65	25.00	15
		B - 2	65	25.00	30
	con Vegetación	B - 3	65	25.00	15
		B - 4	65	25.00	30
M - 3	sin Vegetación	C - 1	65	10.00	15
		C - 2	65	10.00	30
	con Vegetación	C - 3	65	10.00	15
		C - 4	65	10.00	30



**Figura 14** Ensayos realizados logrando tener la intensidad adecuada de los diferentes ensayos a realizar

### 3.1.5 Determinar la capacidad de infiltración mediante el simulador de lluvias para la ciudad de Chongoyape.

#### Procedimiento

La infiltración ocurre cuando el agua que alcanza el suelo penetra a través de sus poros y pasa a ser subterránea.

Para determinar la infiltración se realizó con el simulador para los diferentes ensayos realizados.

#### Resultados

Para obtener la infiltración mediante el simulador de lluvias para las diferentes intensidades en las áreas de estudio se detalla en el siguiente cuadro.

**Tabla 30** Tiempo de concentración

Muestra	Vegetación	Ensayo	Intensidad (mm/h)	Pendiente (%)	Tiempo (min)	Tiempo de concentración (min)
M - 1	sin Vegetación	A - 1	65	3.00	15	11'49"
		A - 2	65	3.00	30	12'02"
	con Vegetación	A - 3	65	3.00	15	13'59"
		A - 4	65	3.00	30	18'30"
M - 2	sin Vegetación	B - 1	65	25.00	15	2'29"
		B - 2	65	25.00	30	8'02"
	con Vegetación	B - 3	65	25.00	15	11'12"
		B - 4	65	25.00	30	14'45"
M - 3	sin Vegetación	C - 1	65	10.00	15	7'36"
		C - 2	65	10.00	30	8'15"
	con Vegetación	C - 3	65	10.00	15	9'30"
		C - 4	65	10.00	30	10'16"

El tiempo de concentración  $t_c$  viene a ser el tiempo mínimo para que estos puedan aportar a un punto de salida, donde se denomina al tiempo que tarda en llegar al punto de salida, la cual se representa el momento a partir que el caudal de escorrentía es constante, cuando ocurra una precipitación con intensidad constante sobre toda un área.

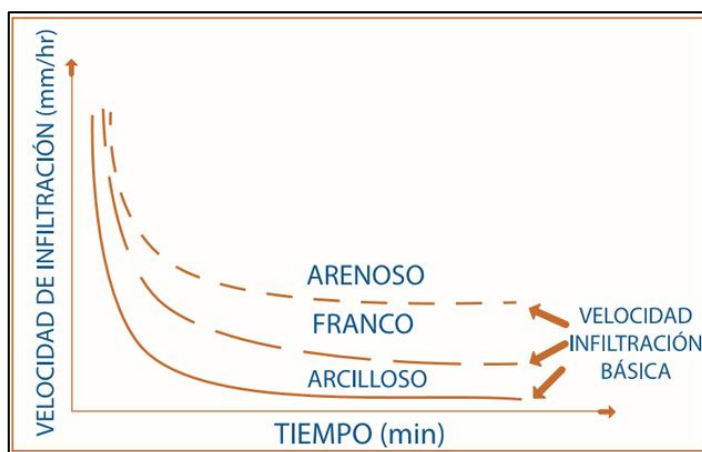
**Tabla 31** Infiltración de diferentes puntos a estudiar

Muestra	Vegetación	Ensayo	Tiempo (min)	volumen (L)	Infiltración (L)
M - 1	sin Vegetación	A - 1	15	48.75	36.45
		A - 2	30	97.50	81.10
	con Vegetación	A - 3	15	48.75	40.35
		A - 4	30	97.50	81.10
M - 2	sin Vegetación	B - 1	15	48.75	16.45
		B - 2	30	97.50	47.10
	con Vegetación	B - 3	15	48.75	31.45
		B - 4	30	97.50	77.90
M - 3	sin Vegetación	C - 1	15	48.75	26.35
		C - 2	30	97.50	69.70
	con Vegetación	C - 3	15	48.75	33.15
		B - 4	30	97.50	77.40

El cuadro detalla los niveles de infiltración de cada ensayo realizado en campo. Donde se denomina la cantidad del agua que entra en el suelo en un factor determinante del tiempo

**Tabla 32** Valores referenciales de velocidad de infiltración básica o estabilizada según textura del suelo.

TEXTURA	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN (mm/hr)
Arcilloso	< 5
Franco - arcilloso	5 - 10
Franco	10 - 20
Franco - arenoso	20 - 30
Arenoso	> 30



**Figura 15** Comportamiento de la Velocidad de infiltración según textura

### 3.1.6 Evaluar a diferentes intensidades de lluvia la erosión y pérdida de suelos en la ciudad de Chongoyape.

#### Procedimiento

Para la determinación de la pérdida de suelos se realizó los diferentes ensayos en el área escogida, donde se hizo diferentes pruebas.

Se utilizó la fórmula universal (USLE) conocida como la Ecuación Universal de la pérdida de suelos:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

- ✓ A vendría hacer la pérdida de tierra promedio, ton /ha \*año
- ✓ R coeficiente de agresividad de la lluvia
- ✓ K coeficiente de erosión
- ✓ L y S
- ✓ C coeficiente de vegetación
- ✓ P coeficiente del control de erosión

#### Procedimiento

#### Erosión potencial

**Tabla 33** Evaluación de las tasas de erosión mediante la ecuación USLE.

Muestra	Vegetación	Ensayo	K	R	LS	A (tn/ha)	A* (kg/3.00m2)
M - 1	sin	A - 1	0.45	20.28	0.13	1.20	0.40
	Vegetación	A - 2	0.45	81.13	0.13	4.81	1.60
	con	A - 3	0.45	20.28	0.13	1.20	0.40
	Vegetación	A - 4	0.45	81.13	0.13	4.81	1.60
M - 2	sin	B - 1	0.45	20.28	1.78	16.25	5.42
	Vegetación	B - 2	0.45	81.13	1.78	64.99	21.66
	con	B - 3	0.45	20.28	1.78	16.25	5.42
	Vegetación	B - 4	0.45	81.13	1.78	64.99	21.66
M - 3	sin	C - 1	0.45	20.28	0.90	8.25	2.75
	Vegetación	C - 2	0.45	81.13	0.90	33.00	11.00
	con	C - 3	0.45	20.28	0.90	8.25	2.75
	Vegetación	B - 4	0.45	81.13	0.90	33.00	11.00

## Erosión Efectiva

**Tabla 34** Evaluación de las tasas de erosión mediante la ecuación USLE

Muestra	Vegetación	Ensayo	R	K	LS	C	P	A (tn/ha)	A* (kg/3.00 m2)
M - 1	sin Vegetación	A - 1	20.28	0.45	0.13	0.45	1.30	0.70	0.23
		A - 2	81.13	0.45	0.13	0.01	1.30	0.06	0.02
	con Vegetación	A - 3	20.28	0.45	0.13	0.45	0.90	0.49	0.16
		A - 4	81.13	0.45	0.13	0.01	0.90	0.04	0.01
M - 2	sin Vegetación	B - 1	20.28	0.45	1.78	0.45	1.30	9.50	3.17
		B - 2	81.13	0.45	1.78	0.01	1.30	0.84	0.28
	con Vegetación	B - 3	20.28	0.45	1.78	0.45	0.90	6.58	2.19
		B - 4	81.13	0.45	1.78	0.01	0.90	0.58	0.19
M - 3	sin Vegetación	C - 1	20.28	0.45	0.90	0.45	1.30	4.83	1.61
		C - 2	81.13	0.45	0.90	0.01	1.30	0.43	0.14
	con Vegetación	C - 3	20.28	0.45	0.90	0.45	0.90	3.34	1.11
		B - 4	81.13	0.45	0.90	0.01	0.90	0.30	0.10

Los parámetros que intervinieron están descritos en el capítulo uno del presente trabajo de investigación. En las tablas anteriores se muestra los ensayos realizados y los valores de la pérdida de suelos para los diferentes ensayos realizados en cada lugar de estudio. De donde se calculó las tasas de erosión, tanto en campo como en gabinete con el sistema USLE, para ser comparados con los obtenidos en el campo mediante el simulador de lluvias con las diferentes intensidades.



### 3.2. Discusión de resultados

#### 3.2.1. Cálculo de la Erosión y Pérdida de suelos mediante la simulación de lluvias.

Erosión del suelo: se ha orientado el análisis desde el aspecto de cada uno de los elementos que influyen en la desgaste y pérdida de los suelos mediante la presencia de las lluvias. Para los ensayos los factores que varían en los ensayos son: el tiempo, la pendiente, tipo de suelo y el tipo de cobertura.

**Pendiente:** se notó evidente la influencia de la pendiente en los resultados obtenidos durante los ensayos. Donde el tiempo de concentración varió de 2 a 18 minutos de acuerdo a las pendientes en los ensayos realizados.

**Tipo de cobertura:** la vegetación en el suelo es de gran importancia eso se ve reflejado en los ensayos realizados en campo.



**Figura 16** Escorrentía generada en el área sin vegetal



**Figura 17** Escorrentía generada en el área con vegetación

**3.2.2. Evaluar a diferentes intensidades de lluvia la erosión y pérdida de suelos en la ciudad de Chongoyape.**

Comparación de los resultados obtenidos en campo y los obtenidos mediante el sistema USLE

**Tabla 35** Erosión mediante la ecuación USLE y los ensayos realizados en campo

Muestra	Vegetación	Ensayo	Intensidad (mm/h)	Pendiente (%)	Tiempo (min)	Erosión USLE*		Erosion en los ensayos (kg)
						A (tn/ha)	A* (kg/3.00 m <sup>2</sup> )	
M - 1	sin Vegetación	A - 1	65	3.00	15	0.70	0.23	0.028
		A - 2	65	3.00	30	0.06	0.02	0.085
	con Vegetación	A - 3	65	3.00	15	0.49	0.16	0.004
		A - 4	65	3.00	30	0.04	0.01	0.014
M - 2	sin Vegetación	B - 1	65	25.00	15	9.50	3.17	0.802
		B - 2	65	25.00	30	0.84	0.28	1.044
	con Vegetación	B - 3	65	25.00	15	6.58	2.19	0.130
		B - 4	65	25.00	30	0.58	0.19	0.185
M - 3	sin Vegetación	C - 1	65	10.00	15	4.83	1.61	0.142
		C - 2	65	10.00	30	0.43	0.14	0.225
	con Vegetación	C - 3	65	10.00	15	3.34	1.11	0.039
		B - 4	65	10.00	30	0.30	0.10	0.074

Se aprecia los resultados obtenidos en campo y los empleados mediante la ecuación universal de pérdidas de suelos para así poder encontrar las pérdidas que sufren los suelos a diferentes tiempos de las precipitaciones.

**Tabla 36** Erosión del suelo, pendiente vs tiempo sin vegetación

Muestra	Vegetación	Ensayo	Pendiente (%)	Tiempo (min)	A (tn/ha)	A* (kg/3.00 m <sup>2</sup> )
M - 1	sin Vegetación	A - 1	3.00	15	0.70	0.23
		A - 2	3.00	30	0.06	0.02
M - 2	sin Vegetación	B - 1	25.00	15	9.50	3.17
		B - 2	25.00	30	0.84	0.28
M - 3	sin Vegetación	C - 1	10.00	15	4.83	1.61
		C - 2	10.00	30	0.43	0.14

Se observa que a medida que va aumentando la pendiente y la duración del evento se va generando la erosión. Y sobre todo el suelo sin vegetación y a mayor duración y pendiente se produce más erosión.

**Tabla 37** Erosión del suelo, pendiente vs tiempo con vegetación

Muestra	Vegetación	Ensayo	Pendiente (%)	Tiempo (min)	A (tn/ha)	A* (kg/3.00 m <sup>2</sup> )
M - 1	con Vegetación	A - 3	3.00	15	0.49	0.16
		A - 4	3.00	30	0.04	0.01
M - 2	con Vegetación	B - 3	25.00	15	6.58	2.19
		B - 4	25.00	30	0.58	0.19
M - 3	con Vegetación	C - 1	10.00	15	3.34	1.11
		C - 2	10.00	30	0.30	0.10

Se visualiza que el suelo mientras más cubierto este, el evento hidrológico no causa mucho daño al suelo.

# **V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## IV. Conclusiones y recomendaciones

### 4.1. Conclusiones.

De acuerdo a mis objetivos planteados se llegó a las conclusiones siguientes:

El lugar de estudio fue el adecuado para realizar los ensayos y llegar al objetivo de estudio; para caracterizar los suelos se extrajeron las muestras del lugar y llevados al laboratorio para realizar los ensayos de clasificación SUCS, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

**Tabla 38** Datos obtenidos en campo

<b>Muestra</b>	<b>Estrato</b>	<b>SUCS</b>	<b>Pendiente</b>
M - 1	E - 1	CH	3%
	E - 2	ML	3%
	E - 3	CH	3%
M - 2	E - 1	CL	25%
	E - 2	CL	25%
M - 3	E - 1	CL	10%
	E - 2	CL-ML	10%
	E - 3	CL	10%

Mediante los estudios realizados a los diferentes tipos de las muestras obtenidas se pudo saber el tipo de los suelos utilizados en esta investigación las cuales son; arcilla inorgánica (CH), arcillas con graba con arena (CL), limos orgánicos, donde las arcillas y las arenas tienen como característica que son bajos en filtración y altos en erosión, ya que son ideales para los objetivos de esta indagación ya que se conoce las superficies que nos mostrara ambientes críticos de erosión.

La presencia de cobertura en lugar donde se desarrolló el ensayo representa una tasa de erosión muy baja, sin embargo, unos casos anularían por completo la erosión. Donde demostraría fehaciente la presencia de vegetación en el suelo para evitar poder controlar la erosión ya que permite proteger al terreno hasta pendientes de 25 %. En cambio, en los sitios donde se desarrolló los ensayos sin la presencia de cobertura vegetal se presenciaron severos procesos de erosión en los diferentes ensayos que se desarrollaron, evidenciando a aquellas donde las pendientes fueron mayores.

Los suelos erosionados en los ensayos de menor pendiente que se desarrollaron está conformado por suelos muy finos en gran parte, en cambio en las de pendiente mayor se ve la presencia de arena hasta simbolizar una gran porción de sedimentación erosionado. Este hecho se debe a medida que se va incrementa la intensidad de la lluvia y el tiempo de duración, donde se ve la presencia de partículas a medida que trascurren los hechos son de mayor dimensión.

En los ensayos realizados en las diferentes áreas de estudio se pudo observar el proceso de erosión donde cuyo material consiste en la protección que el terreno genera con las partículas que tienen una granulometría más graduadas, que consisten en arenas y gravas; la cual las partículas más finas ya han sido desplazadas. Donde se pudo observar en los lugares de mayor pendiente y tiempo de duración de la lluvia. El comportamiento que la naturaleza desarrolla cuando la corteza terrestre soporta los ataques de las lluvias muy intensas y de mayor duración.

Se pudo observar el comportamiento hidrológico en los lugares de las pruebas, en los ensayos donde se realizaban sin vegetación, al iniciarse la lluvia artificial se podía apreciar como alcanzaba su caudal pico y la escorrentía con rapidez. La cual su caudal pico se conservaba hasta que el suceso hidrológico culmine, y en aquel momento el caudal reduce de inmediato hasta escurrir con velocidad. En cambio, en los ensayos realizados donde tenía vegetación la escorrentía se producía algunos minutos después que la parcela con vegetación, lo cual hacia que el caudal de escorrentía se conserve firme por unos minutos así poder reducir de una amera lenta y dejar de gotear posteriormente en las pruebas sin vejación.

Este fenómeno se pudo observar en todas las pruebas realizadas con o sin vegetación, con sus diferentes pendientes y en los tiempos que dure el evento hidrológico. Se puede concluir que la presencia de vegetación en la corteza terrestre disminuye la erosión y ayuda a la retención del agua en las temporadas de lluvia y se controla la descarga en tiempos de sequias.

El factor de la escorrentía va aumentando de acuerdo a la pendiente del terreno en los taludes de 3 a 25% donde se desarrollaron los ensayos, donde la presencia de vegetación causo una leve caída de escorrentía.

La erosión es variable de acuerdo a la pendiente del suelo, tiempo de precipitación, intensidad de la lluvia y la presencia de vegetación en el lugar de ensayo.

La lluvia no cubría toda el área de estudio ya que una insignificante porción de agua se perdía, en los costados del área a ensayar.

#### **4.2. Recomendaciones.**

A futuras investigaciones en el tema el modelo de simulador de lluvia es propia de los trabajos a indagar en los diversos elementos con la hidrología, hidráulica y en registro de erosión. Se logra indagar la consecuencia que origina la lluvia sobre varios tipos de suelos en situaciones hidrológicas cambiantes entre otros ya que las posibilidades de investigar en el tema son inmensas.

Se debe construir un simulador de lluvias que sea fácil de maniobrar y que sea lo más preciso para llevar a cabo los ensayos que se deseen hacer con el mismo.

En los diversos lugares donde se desarrollaron los ensayos hubo la presencia de filtraciones donde se debe tener en cuenta la filtración, la cual se debe medir la infiltración para calcular la pérdida de agua.

Al momento de determinar la capacidad de infiltración se debe tener mucho cuidado y precisión para que las medidas sean las más exactas posibles, a la elaboración de este ensayo se tiene que hacer en un suelo que no cuente con humedad que sea seco y hacer varias repeticiones de este ensayo en diferentes puntos para tener un cálculo más preciso de los resultados adquiridos.

Se debe calcular la pendiente del terreno donde se desarrolla los ensayos para ver los niveles de erosión en dicho lugar de estudio.

La ecuación universal de pérdidas de las tierras es idónea que se puede prever la pérdida de suelos en ensayos de mayor erosión con mucha cercanía.

Para evitar la erosión y pérdidas de suelos se recomienda incrementar la forestación, la rugosidad del suelo lo cual se debe controlar la escorrentía mediante cunetas de ladera, utilizar franjas con vegetación densa en los puntos donde sea más críticos a erosionar. Evitar la deforestación en pendientes que estén expuestas a la erosión.

## V. Referencias

### Referencias

- Agustin Cahuana Andina, Weimar Yugar Morales. (2009). *MATERIAL DE APOYO DID+ACTICO PARA LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA DE HIDROLOGIA CV-233*. COCHABAMBA.
- Alexander José, K. S. (2010). *Análisis de requerimientos, diseño y construcción de un simulador de lluvia a nivel de laboratorio, para la cuantificación de propiedades físicaerosivas - erosivas de gotas*.
- Ángel Daniel, P. U. (2015). *APLICACIÓN DEL MODELO RUSLE PARA EL CÁLCULO DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA MICROCUENCA RÍO CUBÍ*. Santiago de Chile.
- Ángel Daniel, P. U. (2015). *APLICACIÓN DEL MODELO RUSLE PARA EL CÁLCULO DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA MICROCUENCA RÍO CUBÍ*. Santiago de Chile.
- Ares, M. G. (2104). *LLUVIA, ESCURRIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN UNA MICROCUENCA AGRÍCOLA DEL SISTEMA DE TANDILIA*.
- Bascuñán Chaparro, S. M. (2010). *RELACIÓN ENTRE LA EROSIÓN PRODUCIDA POR UN FLUJO SUPERFICIAL EN SUELOS FINOS Y ALGUNAS PROPIEDADES DE ESTOS*. Santiago de Chile.
- Bejar, M. V. (2002). *HIDROLOGIA*.
- César Augusto, B. T. (2010). *Metodología de la investigación* (Vol. Tercera Edicion). (O. F. Palma, Ed.) Colombia.
- Cheroque, M. W. (1989). *HIDROLOGÍA (para estudiantes de ingeniería civil)*. Lima - Perú.
- Chow, V. T. (1988). *Hidrologia Aplicada*.
- Chow, V. T. (1994). *HIDROLOGIA APLICADA*.
- Cohen, I. S. (1999). Simuladores.
- Cruz, I. M. (2010). *Caracterización de lluvia simulada y su aplicación en parcelas experimentales de erosión en taludes de infraestructuras lineales*.
- Daniel Jualian Luengas Machado, Steven Felipe de la Rosa Parra. (s.f.). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SIMULADOR DE LLUVIA PARA ESTUDIOS HIDROLÓGICOS*.
- Daniel Julian Luengas Machado Steven Felipe de la Rosa Parra. (2015). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SIMULADOR DE LLUVIA PARA ESTUDIOS HIDROLÓGICOS*. Bogota.
- Daniel Julian Luengas Machado; Steven Felipe de la Rosa Parra. (2015). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SIMULADOR DE LLUVIA PARA ESTUDIOS HIDROLÓGICOS*. Bogotá.
- Giráldez, J. V. (2014). *MANUAL DE TÉCNICAS DE ESTABILIZACIÓN BIOTÉCNICA EN TALUDES DE INFRAESTRUCTURAS DE OBRA CIVIL*. En L. R. Rodríguez.
- Google Maps. (s.f.).



- Harry, V. T. (2014). *ANÁLISIS DE PÉRDIDA DE SUELOS POR EROSIÓN HÍDRICA EN LA SUBCUENCA CONDURIRI MEDIANTE LA METODOLOGÍA RUSLE, 1980 - 2014*. Puno.
- Hernán D. Mena; Cristian C. Benavides; Jesús A. Castillo. (2010). *EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN HÍDRICA DE UN Vitric haplustands, MEDIANTE EL USO DE UN MINISIMULADOR DE LLUVIA, EN UNA ZONA DE LADERA EN COLOMBIA. REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, 12*.
- Islas, E. F. (2016). *ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA EN TRES CUENCAS DE LA REPÚBLICA MEXICANA, UTILIZANDO LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO*.
- Iván, M. d. (2010). *Caracterización de lluvia simulada y su aplicación en parcelas experimentales de erosión en taludes de infraestructuras lineales*.
- Izquierdo Cáceres, R. (2008). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN DE LLUVIAS PARA INVESTIGACIÓN DE PÉRDIDA DE SUELOS*. Lima.
- Izquierdo, R. C. (2008). *Diseño y Construcción de un Modelo de Simulación de Lluvias para Investigación de Pérdida de Suelos*.
- Izquierdo, Roberto Cáceres. (2008). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE SIMULACION DE LLUVIAS PARA INVESTIGACION DE PERDIDAS DE SUELOS*.
- Jaime, S. D. (2001). *CONTROL DE EROSIÓN EN ZONAS TROPICALES*. Bucaramanga - Colombia.
- Javier Eduardo, Z. H. (2017). *DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELOS EN LA CUENCA APORTANTE DEL EMBALSE AGUADA BLANCA-AREQUIPA, APLICANDO USLE Y TECNICAS GEOESPACIALES*. Lima.
- José Cuadrate, Fernanda Pita. (1997). *CLIMATOLOGÍA* (Vol. TERCERA EDICION).
- Juan F. Weber; Santiago M. Reyna. (2016). *MEDICIÓN EN LABORATORIO DE LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN EN SUELOS MEDIANTE UN SIMULADOR DE LLUVIA*.
- María, G. A. (2014). *LLUVIA, ESCURRIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN UNA MICROCUENCA AGRÍCOLA DEL SISTEMA DE TANDILIA*. La Plata.
- Meyer, L. D. (1988). *Soil erosion research methods, Soil and water conservation*. U.S.A.
- Morales, I. W. (2010). *TEXTO BÁSICO DE HIDROLOGÍA*. Managua .
- Morales, I. W. (2010). *TEXTO BÁSICO DE HIDROLOGÍA*.
- Morán Wendor Cheroque. (1989). *Hidrologia para estudiantes de ingnería civil*. Lima - Peru.
- Morán, W. C. (2011). *HDROLOGIA (para estudiantes de ingeniería civil)*.
- Moran, W. C. (2014). *Hidrologia para estudiantes de ingeniería*.
- Morán, W. C. (s.f.). *Hidrologia para estudiantes de ingeniería*. Lima.
- PARRA, D. J. (2015). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SIMULADOR DE LLUVIA PARA ESTUDIOS HIDROLOGICOS*. BOGOTA.

- Ramiro, G. B. (2013). *Efecto de tres intensidades de lluvias simuladas sobre el escurrimiento superficial y la pérdida de suelos en laderas quemadas y no quemadas de la serranía de Mojotoro, Salta, Argentina*. SALTA - ARGENTINA.
- Roosevelt, S. P. (2016). *ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELOS POR EROSIÓN HÍDRICA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SHULLCAS 2000 – 2013, HUANCAYO*. Huancayo.
- Rosas Barturén, M. A. (2016). *CUANTIFICACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN EL PERÚ Y LOS COSTOS AMBIENTALES ASOCIADOS*. Lima.
- Umatambo, Á. D. (2015). *APLICACIÓN DEL MODELO RUSLE PARA EL CÁLCULO DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA MICROCUENCA RÍO CUBÍ*. Santiago de Chile.
- Villacorta, S.; Ochoa, M. y Nuñez, S. (2008). *PRIMER REPORTE DE ZONAS CRÍTICAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA REGIÓN LAMBAYEQUE*.
- Villalaz, C. C. (s.f.). *problemas resuelto de mecanica de suelos*. mexico.
- Villodas, I. E. (2008). *HIDROLOGIA ( la hidrología, el ciclo hidrológico)*. lima .

# **ANEXOS**

## Anexos

### Mecánica de suelos

**Tabla 39** Erosión del suelo, pendiente vs tiempo con vegetación

<b>Símbolos, Terminologías y Definiciones (NTP 339.136:1999)</b>	
GW	Gravas bien Graduadas
GC	Gravas Arcillosas
GP	Gravas mal graduadas
GM	Gravas Limosas
SW	Arenas bien graduadas
SC	Arenas arcillosas
SP	Arenas mal graduadas
SM	Arenas limosas
ML	Limos Orgánicos
CL	Arcillas con grava o con arena
OL	Limos Orgánicos y arcilla limosa
MH	Limos inorgánicos
CH	Arcillas inorgánicas
OH	Arcillas orgánicas



## BOQUILLAS QUICK *FloodJet* ASPERSIÓN DE ÁNGULO ANCHO

C

### CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS

- Patrón de aspersión de abanico plano de ángulo ancho con distribución uniforme e impacto medio.
- Gotas medianas.
- Rápida y fácil instalación de las puntas de aspersión sin necesidad de utilizar herramientas.
- Alineación automática.
- Bajo costo – los cuerpos se pueden volver a utilizar – únicamente se reemplazan las puntas.
- Las boquillas de aspersión miniatura Quick FloodJet cuentan con puntas de aspersión muy pequeñas diseñadas para aplicaciones en donde el espacio es limitado.
- Ensamble de las boquillas QuickJet® estándar:
  - Cuerpo de boquilla, filtro, punta de aspersión con sello integrado.
  - Cuerpo de boquilla miniatura, sello, punta de aspersión.

### CONSEJOS DE OPTIMIZACIÓN

- Ver página C2 para consejos de optimización.

### APLICACIONES

- Enfriamiento de bandas transportadoras
- Lavado de películas
- Supresión/prevención de incendios
- Eliminación de espuma
- Agitación
- Aspersión a platos eliminadores
- Cortina de agua

### VER TAMBIÉN

- Accesorios
  - Conectores de bola ajustables
  - Válvulas check
  - Estabilizadores de chorro para reducir la turbulencia
  - Manómetros
  - Válvulas de alivio de presión
  - Conectores split-eyelet
  - Filtros
  - Conectores giratorios

### CUERPOS ESTÁNDAR QUICKJET

- Conexiones de entrada hembra QJA y macho QJJA



### PUNTA DE ASPERSIÓN QUICK FLOODJET

El ensamble típico de las boquillas Quick FloodJet consta de un cuerpo hembra QJA o cuerpo macho QJJA, filtro en acero inoxidable o bronce y punta de aspersión.

### QTKA



Hasta 12 gpm (47 l/min)  
a 40 psi (2.8 bar)



**Spraying Systems Co.**  
Experts in Spray Technology

C31

Figura 18 Boquillas aspersoras de agua floodjet



## CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS

- El patrón de aspersión plano distribuye el líquido en forma de cortina o abanico.
- Gotas de pequeñas a medianas.
- Distribución uniforme en una amplia gama de capacidades y presiones.
- Ángulos de aspersión desde 0° (chorro sólido) hasta 110° a 40 psi (2.8 bar).
- Diseño especial de bordes ahusados ideal para aplicaciones con cabezales y manifolds.
- Chorro sólido de alto impacto que proporciona el mayor impacto por unidad de área.
- Pasos internos sin obstrucciones para minimizar taponamientos.

### H-DT



Abajo de 1 gpm (3.9 l/min) a  
40 psi (2.8 bar)  
1/8" a 1/4" NPT o BSPT (H)

### H-DU



1 gpm (3.9 l/min) o mayor a  
40 psi (2.8 bar)  
1/8" a 1/4" NPT o BSPT (H)

### H-U



1 gpm (3.9 l/min) o mayor a  
40 psi (2.8 bar)  
1/8" a 3/4" NPT o BSPT (M)

### H-VV



Abajo de 1 gpm (3.9 l/min) a  
40 psi (2.8 bar)  
1/8" a 1/4" NPT o BSPT (M)

### H-VVL



Filtro integrado  
1/8" a 1/4" NPT o BSPT (M)

### U



40 gpm (152 l/min) o mayor a  
40 psi (2.8 bar)  
1" a 2" NPT o BSPT (M)

## CONSEJOS DE OPTIMIZACIÓN

- Ver página C2 para consejos de optimización.

## APLICACIONES

- Lavado de aire
- Enfriamiento y extinción
- Control de polvos
- Supresión/prevencción de incendios
- Lavado de gases
- Lavadores de licor
- Depuradores
- Lavado/enjuague
- Enfriamiento de agua

## VER TAMBIÉN

- Accesorios
  - Conectores de bola ajustables
  - Válvulas check
  - Estabilizadores de chorro para reducir la turbulencia
  - Manómetros
  - Válvulas de alivio de presión
  - Puntas robóticas para aplicaciones de alta precisión
- Para resistencia a los químicos y a la corrosión, vea boquillas VeeJet en Kynar®
  - Conectores split-eyelet
  - Filtros para H1/8W (ordenar filtro 12686) y H1/4W (ordenar filtro 12687)
  - Filtros para otras boquillas VeeJet
  - Conectores giratorios



**Spraying Systems Co.®**  
Experts in Spray Technology

Figura 19 Boquillas aspersoras veejet

# C

## BOQUILLAS QUICK VeeJet™ Y PROMAX® QUICK VEEJET, ASPERSIÓN ESTÁNDAR



BOQUILLAS DE ASPERSIÓN PLANA

### CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS

- Patrón de aspersión de abanico plano con distribución uniforme.
- Gotas de pequeñas a medianas.
- Ángulos de aspersión de 25° a 110° a 40 psi (2.8 bar).
- Fácil y rápida instalación de las puntas de aspersión sin herramientas.
- Alineación automática.
- Bajo costo – los cuerpos se pueden volver a utilizar – solo se reemplazan las puntas.
- Versiones miniatura ideales cuando se requieran boquillas de tamaño pequeño y poco peso.
- Las boquillas estándar Quick VeeJet tienen puntas de aspersión de fácil agarre con un sello que permanece en la punta para evitar que se coloque de manera equivocada.
- Las boquillas ProMax Quick VeeJet proporcionan una mayor resistencia a los productos químicos y menor acumulación de material. Para protección adicional contra contaminantes en ambientes agresivos, cuenta con un O-ring interno y un O-ring externo opcional. Vea la tabla para máximas presiones a diversas temperaturas.
- Puntas ProMax Quick VeeJet con codificación de colores para su fácil identificación según la capacidad.
- Componentes de la boquilla estándar Quick VeeJet:
  - Cuerpo de boquilla, punta de aspersión con sello integrado.
  - Cuerpo de boquilla miniatura, sello, punta de aspersión.
- Componentes de la boquilla ProMax Quick VeeJet:
  - Cuerpo de boquilla, punta de aspersión y O-ring externo opcional.
  - Cuerpo de boquilla miniatura, filtro opcional para cuerpo, filtro para punta, O-ring externo, punta de aspersión.

### CUERPOS MINIATURA QUICKJET®

- QJJS conexión de entrada macho



Cuerpo macho QJJS



Sello



Punta de Aspersión

### PUNTAS DE ASPERSIÓN MINIATURA QUICK VEEJET

El ensamble típico de las boquillas Miniatura Quick VeeJet consta de un cuerpo, sello y punta de aspersión.

#### QSU



1 gpm (3.9 l/min)  
o mayor a 40 psi (2.8 bar)

#### QSVV



Menor a  
1 gpm (3.9 l/min)  
a 40 psi (2.8 bar)

Figura 20 Boquillas aspersoras veejet tipo plana

## ANEXO (B)

Estación : TINAJONES , Tipo Convencional - Meteorológica												
Departamento :		LAMBAYEQUE		Provincia :		CHICLAYO		Distrito :		CHONGOYAPE		mar-17
Latitud :			6° 39' 17.75"		Longitud :			79° 25' 40.43"		Altitud :		182
Día/mes/año	Temperatura Max (°c)	Temperatura Min (°c)	Temperatura Bulbo			Temperatura Bulbo			Precipitación (mm)		Dirección del Viento 13h	Velocidad del Viento 13h (m/s)
			Seco (°c)			Humedo (°c)			7	19		
			7	13	19	7	13	19				
01-mar-17	32.8	23	24.2	32.4	25.6	23.2	25	20.8	0	0	S	4
02-mar-17	32	22.8	24	29.2	24.6	23.4	22	20.2	0	4.8	S	10
03-mar-17	33.6	21.2	24.2	32	25.6	23.8	24	21	0	17.4	W	6
04-mar-17	32.2	22.6	23.8	31.6	25.4	23.4	24.4	21.2	2	0	W	6
05-mar-17	31.4	23	24.4	30.6	25	23.6	24	21.4	0	22.3	S	7
06-mar-17	32.2	21.8	23	31.4	25.8	22.6	25	20.4	6	0	S	6
07-mar-17	31.4	22.2	24.4	30.6	24.8	24	25	20	1.2	18.5	S	5
08-mar-17	30	22.2	23.4	29.2	25	23	24	20.2	10.2	9	S	6
09-mar-17	30.4	22	23.6	29.4	25.2	23.2	24.2	20	5.3	3	S	6
10-mar-17	32	22.2	23.6	31.2	25.6	23.2	25	20.2	1.6	0	W	5
11-mar-17	31	22	23	30.2	25.6	22.6	24	20.4	4.2	0	S	6
12-mar-17	31.2	22.6	23.8	30	24.8	23.4	24.2	20	1.7	60.7	S	5
13-mar-17	31	21.8	23.2	30.2	25.8	22.8	24	20.8	25	0	S	7
14-mar-17	30	21.4	23.6	29	24.6	23.2	23.4	20	53.3	0	S	6
15-mar-17	31.4	22	23.8	30.6	24	23.4	23.2	21	2	30	S	5
16-mar-17	31.8	21.2	22.8	31	25	22.4	24.2	20.6	0	1.7	S	6
17-mar-17	32.4	21.2	23.6	31	25.4	23.2	26	21	0	0	S	6
18-mar-17	32.2	22.4	23.2	31.4	25.8	22.8	25.2	21.4	0	23.4	S	5
19-mar-17	31.4	22.2	23.6	30.6	26	23.2	25.2	22	14.7	0	S	6
20-mar-17	30.2	22.6	24	29.4	24.8	23.6	24	20.4	0	0	S	5
21-mar-17	31.6	22.4	24.4	30.8	25.2	24	24.2	20.6	0	0	S	7
22-mar-17	31.2	22.2	23.2	30.6	25.6	22.8	24.6	21.8	25.6	28.5	S	5
23-mar-17	32.4	22.6	23	31.6	25.6	22.6	24.2	21.4	2	27.5	S	7
24-mar-17	30.4	22	22.8	29.6	24.6	22.4	23.6	21	1.2	12	S	5
25-mar-17	30.8	21.8	23.4	30	25.2	23	24.2	21.4	2.5	0	S	6
26-mar-17	31.4	22.6	24	30.6	25.6	23.6	24.8	21.6	2.8	4.8	S	5
27-mar-17	30.6	21.8	23	29.8	25.6	22.6	24.4	21.8	14	0	S	6
28-mar-17	31	22.2	23.4	30	25.4	23	25	21.6	0	0	S	7
29-mar-17	28.8	23.2	24	28.2	24.8	23.6	24	21	1.4	0	S	7
30-mar-17	29.2	22.2	23	28.6	24.4	22.6	23.6	21	5.2	4	S	6
31-mar-17	29.8	22	23	29	25.4	22.6	25	21.6	8.4	8	S	7
Precipitación Máxima									53.3	60.7		

\* Fuente : SENAMHI - Dirección de Redes de Observación y Datos

\* Información sin Control de Calidad

\* El uso de esta Información es bajo su entera Responsabilidad



Estación : TINAJONES , Tipo Convencional - Meteorológica												
Departamento :		LAMBAYEQUE		Provincia :		CHICLAYO		Distrito :		OYUTUN		mar-17
Latitud :			6° 39' 17.75"		Longitud :			79° 25' 40.43"		Altitud :		182
Dia/mes/año	Temperatura Max (°c)	Temperatura Min (°c)	Temperatura Bulbo Seco (°c)			Temperatura Bulbo Humedo (°c)			Precipitación (mm)		Dirección del Viento 13h	Velocidad del Viento 13h (m/s)
			7	13	19	7	13	19	7	19		
01-mar-17	32.4	23.4	23.6	30.8	24.6	23.2	27	23.8	0	15.2		2
02-mar-17	32.2	23	24.2	30.6	28.4	23.4	28.4	26.6	0	0	N	2
03-mar-17	32	22.4	22.6	30.8	26.6	22.2	27.6	25.8	0	0	NE	4
04-mar-17	30.8	22.8	23.6	30	25.8	23.4	22.8	24.2	0	0	N	2
05-mar-17	32	22.8	24	30.4	24.6	22.6	22.8	23.8	0	5.6	SW	2
06-mar-17	30.4	23.2	24.2	29.2	25.6	23	26.8	24.2	0	2	NE	2
07-mar-17	32	23.2	24.6	29.6	23.2	23.4	27	22.4	0.5	19.1	N	2
08-mar-17	29.2	23.2	23.6	28.8	23.2	23	27.4	22	4.1	16.1	SW	4
09-mar-17	29.4	22.8	23.6	28.8	24.4	23.2	22.8	23	4.6	0	N	2
10-mar-17	30.2	22.6	23	29.4	25.4	22.4	27.6	24.8	6.7	0	SW	4
11-mar-17	32	23	24.2	31.8	24.8	23.4	27.2	22.6	2.6	3.2	SW	6
12-mar-17	30.8	23.2	23.8	30.2	23.2	23	28.4	22.8	0	29.2	N	2
13-mar-17	30.4	23	23.4	27.8	24.8	22.8	25.2	23.8	22.2	5.7	NE	4
14-mar-17	29.4	22.2	22.4	28.6	23.8	22	26.4	22.6	20.1	33.5	NE	4
15-mar-17	30	22.4	22.8	29.4	23.2	22.4	26.8	22.8	1	13.4	N	2
16-mar-17	31.4	22.2	22.4	30.8	25	22	27.6	24.4	0	1.8	N	2
17-mar-17	32.2	22	22.6	30.6	24.6	21.8	27.2	23.8	1.2	0	N	2
18-mar-17	31.6	22.4	23.2	27.4	23.4	23	25.6	23	24.8	64.8	N	4
19-mar-17	31	22.4	23.2	30.4	25	22.8	28.6	24.8	37.4	0	SW	4
20-mar-17	30	23.4	23.8	29.6	23.8	23	27.4	23.4	0	33.8	SW	2
21-mar-17	31.2	23	23.8	30.6	26.8	23.2	27.8	25	0	0	N	4
22-mar-17	30.6	23.8	24.4	27.4	23.8	24	26.6	23.2	0	16.8	SW	4
23-mar-17	30.8	22.6	22.8	30	26.8	22.4	27.4	24.4	11.2	0	N	2
24-mar-17	29.8	22.6	23.4	28	23.8	23	26.8	22.6	5.7	5.4	SW	6
25-mar-17	30.8	23	23.4	30.4	26.2	23.2	28	25.4	30.7	0	SW	2
26-mar-17	30.6	23.2	23.6	29.8	24.2	23.4	27	23.6	2.1	0	N	2
27-mar-17	31.8	23	23.6	31.2	25.4	22.8	27.8	24.6	1.2	0	SW	4
28-mar-17	31.4	23	24.2	31	25.8	23.6	28.4	23.4	0	0	SW	2
29-mar-17	27.4	23.4	23.6	26.2	24.6	23.4	24.8	23.8	3	1.7	NE	2
30-mar-17	27.6	23.2	23.4	25.4	23.4	23	25	22.8	5.7	19.3	N	2
31-mar-17	30.2	23	23.2	29.8	23.2	23	27	22.8	8.3	9.2	SW	6
Precipitación Máxima									37.4	64.8		

\* Fuente : SENAMHI - Dirección de Redes de Observación y Datos

\* Información sin Control de Calidad

\* El uso de esta Información es bajo su entera Responsabilidad



**Figura 21** Cosificación de suelos



**Figura 22** Elaborando los ensayos de plasticidad



**Figura 23** Haciendo la simulación de lluvia en el campo



**Figura 24** Recolectando el agua con los sedimentos arrastrados



**Figura 25** Secando el material obtenido después de los eventos hidrológicos simulados



**Figura 26** Material erosionado obtenido de los eventos hidrológicos simulados