



**UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ**

**GUÍA TÉCNICA DE HIDROLOGÍA.  
ESTUDIO DE LA INTERCEPCION, RETENCION  
SUPERFICIAL, INFILTRACIÓN, PERCOLACION  
Y SU APLICACIÓN EN LA INGENIERÍA CIVIL.**

**Autores:** Casal Carlos  
Celis Paola



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA INGENIERIA CIVIL**

**GUÍA TÉCNICA DE HIDROLOGÍA. ESTUDIO DE LA INTERCEPCION,  
RETENCION SUPERFICIAL, INFILTRACIÓN, PERCOLACION Y SU  
APLICACIÓN EN LA INGENIERÍA CIVIL.**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
INGENIERO CIVIL**

**Autor:** Paola Emperatriz Celis Araque  
C.I: 20.514.751  
Carlos Roque Casal Rodríguez  
C.I:23.053.228  
**Tutor:** Ing. Emerly Castillo S.  
C.I: 4.464.524

San Diego, Marzo de 2018



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ACEPTACIÓN DEL TUTOR**

Quien suscribe, Ingeniero Emerly Castillo S. titular de la cédula de identidad N°4.464.524, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por los ciudadanos Celis Araque Paola E, titular de la cédula de identidad 20.514.751; Casal Rodríguez Carlos R, titular de la cedula de identidad 23.053.228 titulado **“GUÍA TÉCNICA DE HIDROLOGÍA. ESTUDIO DE LA INTERCEPCION, RETENCION SUPERFICIAL, INFILTRACIÓN, PERCOLACION Y SU APLICACIÓN EN LA INGENIERÍA CIVIL.”**; presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los \_\_\_\_\_ del año 2018.

---

Ing. Emerly Castillo S.  
C.I: 4.464.524



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

San Diego, Marzo de 2018

**ACTA DE REVISIÓN METODOLÓGICA DEL TRABAJO DE GRADO**

Quienes suscriben esta Acta, dejan constancia que el Proyecto de Trabajo de Grado: **“GUÍA TÉCNICA DE HIDROLOGÍA. ESTUDIO DE LA INTERCEPCION, RETENCION SUPERFICIAL, INFILTRACIÓN, PERCOLACION Y SU APLICACIÓN EN LA INGENIERÍA CIVIL.”**, ha sido revisado y, cumpliendo con los requisitos exigidos para su aprobación, recomiendan su tramitación ante el organismo académico correspondiente.

Ing. Emerly Castillo S.	_____	_____
Tutor Académico	Firma	Fecha
Ing. Alicia de Pizzella	_____	_____
Tutor Metodológico	Firma	Fecha

## INDICE

<b>CONTENIDO</b>	pp.
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
RESUMEN INFORMATIVO.....	x
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO

#### I EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Formulación del problema .....	4
1.3 Objetivos de la investigación .....	4
1.3.1 Objetivo general .....	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 Justificación del problema .....	5
1.5 Alcance y limitación .....	5

#### II MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes .....	7
2.2 Bases teóricas.....	9
2.2.1 Retención Superficial .....	10
2.2.2 Intercepción .....	10
2.2.2.1 Cálculo de la Intercepción .....	10
2.2.3 Infiltración .....	11
2.2.4 Percolación .....	16
2.2.5 Sustentabilidad Ambiental .....	16
2.3 Términos Básicos.....	22

#### III MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de la Investigación.....	24
-----------------------------------	----

3.2 Diseño de la Investigación .....	25
3.3 Nivel de la Investigación .....	25
3.4 Población y Muestra .....	26
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	26
3.6 Fases Metodológicas .....	27

#### **IV RESULTADOS**

4.1 Encuesta .....	29
4.2 Conocer y explicar las variables que afectan estos fenómenos y dar a conocer los distintos métodos de cálculo existentes .....	36
4.3 Generar ejercicios utilizando data real y resolverlos de una manera explicativa para que el estudiantado aprenda cómo abordar problemas relacionados a la retención superficial, intercepción, infiltración y percolación en el marco de la sustentabilidad ambiental, utilizando herramientas virtuales. ....	36
4.4 Diseñar ejercicios propuestos para hacer que el estudiantado pueda resolverlos de manera sencilla utilizando los conocimientos adquiridos en la guía técnica.....	37
4.5 Ensamblar la guía técnica de Hidrología sobre el tema de la intercepción, retención superficial, infiltración y percolación en el marco de la sustentabilidad ambiental .....	37

#### **V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1 Conclusiones .....	38
5.2 Recomendaciones .....	39

#### **VI PROPUESTA DE GUÍA TÉCNICA DE HIDROLOGÍA**

6.1 Introducción .....	40
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	41
<b>GUÍA TÉCNICA</b> .....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CONTENIDO

FIGURA	pp.
1 Esquema de generación de infiltración.....	12
2 Esquema de las diferentes zonas y flujos en el terreno.....	13
3 Infiltrómetro .....	15



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**GUÍA TÉCNICA DE HIDROLOGÍA. ESTUDIO DE LA  
INTERCEPCION, RETENCION SUPERFICIAL, INFILTRACIÓN,  
PERCOLACION Y SU APLICACIÓN EN LA INGENIERÍA CIVIL.**

**Autor(es):** Celis A Paola E

Casal R Carlos R

**Tutor:** Emerly Castillo S.

**Fecha:** Marzo de 2018

**RESUMEN**

La presente investigación consiste en la elaboración de una guía técnica que permita conocer los fenómenos como la intercepción, retención superficial, infiltración y percolación los cuales forman parte del ciclo hidrológico, analizar sus causas, posibles afectaciones tanto al medio ambiente como a las obras civiles, y determinar por medio de fórmulas y análisis matemáticos su intensidad, duración y extensión. Dicha guía servirá como apoyo didáctico a los estudiantes universitarios para profundizar sus conocimientos en la materia hidrología, también se ubicará en un nivel documental, a partir de recopilar información teórica y práctica referente a la intercepción, retención superficial, infiltración y percolación en la escuela de Ingeniería Civil, que contribuirá a cubrir falta de material de estudio aplicado a la especialidad. En tal sentido, se analizarán investigaciones previas sobre la intercepción, retención superficial, infiltración y percolación y sus métodos de cálculo existentes, los cuales permitirán formular de manera más práctica y didáctica dichas formas de cálculo para que el estudiantado de Ingeniería Civil, Ingeniería Hidrológica, Eco Hidrología, Licenciatura Geo Hidrológica o estudios afines a la hidrología pueda entender con mayor facilidad el tema y llegue a conocer los distintos métodos de cálculo de uso más difundido, de esta manera podrá aplicar dichos conocimientos a sus respectivas carreras.

*La presente investigación consiste en la elaboración de una guía técnica que permita conocer los fenómenos como*

**Descriptor:** ciclo hidrológico, intercepción, infiltración, retención superficial, percolación, caudal, obras civiles, cálculo, sustentabilidad ambiental

## INTRODUCCIÓN

La Retención Superficial es un término que engloba a dos componentes del ciclo hidrológico que son la intercepción y la detención superficial. Se define la intercepción como la parte de lluvia retenida por la vegetación. La cantidad de lluvia interceptada dependerá del tipo de vegetación, es decir del tamaño de la hoja, densidad de la vegetación, de la velocidad del viento, intensidad y duración del aguacero,

La infiltración es conocida como proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia los estratos más profundos. En una primera etapa que satisface la deficiencia de humedad del suelo en una zona cercana a la superficie, y posteriormente superado cierto nivel de humedad, pasa a formar parte del agua subterránea, saturando los espacios vacíos, donde inicia la percolación que es el movimiento del agua a través del suelo y sus estratos, por acción de la fuerza de la gravedad y de la capilaridad

Estos fenómenos son sólo una parte del estudio que se realiza en una cuenca, por su comportamiento natural aleatorio no es factible definir un procedimiento puramente determinístico; por lo que se adoptan aproximaciones a estos fenómenos y se idealizan los cálculos; hasta ahora las componentes del Ciclo Hidrológico que se han descrito corresponden a las componentes superficiales y subterráneas.

Es bien conocido que las obras civiles pueden tener un gran efecto en los procesos hidrológicos, tales como los patrones de la intercepción, retención superficial, infiltración y percolación. En el entorno natural la tierra en una cuenca junto a una corriente es como una esponja (más precisamente, como capas de esponjas de diferentes porosidades) que se inclinan hacia arriba, alejándose de la corriente. Cuando llueve un poco de agua se absorbe en la esponja (infiltración) algunas partículas quedan interceptadas, algunos pasan por la percolación y pasan a ser aguas subterráneas

Una obra civil suele generalmente cambiar el tipo de suelo de uno natural a uno artificial, altera totalmente los procesos hidrológicos, al modificar dichos

procesos se altera de forma proporcional el cálculo de la intercepción, retención superficial, infiltración y percolación causando dichos cambios si no son previstos pueden causar fallas en las obras civiles. Por eso es necesario calcular dichos procesos, ya que pueden provocar erosiones en los suelos, deslaves e inundaciones, para las obras civiles pueden provocar sub presiones en la estructura, pueden actuar como una carga, generan humedad y moho en estructuras de concreto y corrosión en estructuras de acero.

Actualmente no se cuenta con información concentrada de referencia para los estudiantes de ingeniería civil en el marco de la sustentabilidad ambiental y con el apoyo de herramientas virtuales que permita conocer de manera más fácil dichos cálculos de la intercepción, retención superficial, infiltración y percolación.

De esta manera el presente estudio consistirá en la elaboración de una guía técnica que permita conocer la intercepción, retención superficial, infiltración y percolación y estimarlos por distintos métodos para que de esta forma el estudiantado le sea de más fácil acceso para la comprensión de los fenómenos y cuantificadores y sus efectos De tal manera, la presente investigación se encuentra estructurada de la siguiente forma:

**Capítulo I El Problema:** Planteamiento del problema, formulación del problema, objetivo general, objetivos específicos, justificación del problema, alcance y limitaciones.

**Capítulo II Marco Teórico:** Antecedentes de la investigación y bases teóricas

**Capítulo III Marco Metodológico:** Tipo de Investigación, diseño de la investigación, nivel de investigación, población y muestra y fases metodológicas.

**Capítulo IV Resultados**

**Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones**

**Capítulo VI Propuesta de Guía Técnica de Hidrología**

# CAPÍTULO 1

## EL PROBLEMA

### 1.1 Planteamiento del problema

La intercepción en conjunto con el agua que permanece retenida en las pequeñas pozas, y la humedad del suelo (agua retenida en los poros, sin llegar a saturarla), constituyen la humidificación del suelo, y no contribuyen al escurrimiento superficial ni al subterráneo. Parte del agua interceptada por las hojas vuelve a evaporarse, otra parte desciende por ramas y tallo y no llega a la tierra inmediatamente. Así como la Retención Superficial es un término que engloba a dos componentes del ciclo hidrológico que son la intercepción y la detención superficial y se define como el agua procedente de la lluvia que queda retenida o bien en la vegetación o bien en el suelo constituyendo lagunas.

La infiltración es otro fenómeno del ciclo hidrológico que está gobernada por dos fuerzas: la gravedad y la acción capilar. Los poros muy pequeños empujan el agua por la acción capilar además de contra la fuerza de la gravedad. La tasa de infiltración se ve afectada por características del suelo como la facilidad de entrada, la capacidad de almacenaje y la tasa de transmisión por el suelo. Percolación se refiere al paso lento de fluidos a través de los materiales porosos, un ejemplo de este proceso es la filtración. Así se originan las corrientes subterráneas.

A nivel de ingeniería civil estos factores afectan de manera directa las obras civiles ya que puede generar inundaciones y posibles daños estructurales al generar humedad y moho en estructuras de concreto y corrosión en estructuras de acero. Estos fenómenos son conocidos en el campo de la ingeniería civil debido a los riesgos que dichos fenómenos pueden causar a las obras civiles si no son tomados en cuenta o si son subestimados.

A nivel académico este proceso del agua es estudiado en la rama de hidrología puesto que es necesario un estudio profundo acerca de sus causas, afectaciones, los parámetros que intervienen y métodos para su estimación.

Actualmente, en varios temas de hidrología, no se cuenta con material suficiente que pueda ser usado académicamente, el estudiante universitario necesita poder contar con fuentes de información que le permitan entender dichos fenómenos y las variables que intervienen en él, además de poder contar con data de previos estudios hidrológicos en cuencas reales y poder entender su aplicación en la ingeniería civil y sus consecuencias sobre las obras.

Contar con dicha información, además de ejercicios propuestos y resueltos de manera explicativa, basados en data de cuencas existentes permitiría al estudiante universitario contar con una mayor facilidad a la hora de entender para así poder aplicar sus conocimientos adecuadamente a la hora de ejercer su carrera.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Cómo se podría mejorar la comprensión de la Hidrología para los estudiantes de Ingeniería Civil, mediante el desarrollo de guías técnicas que incluyan el uso de herramientas digitales para la resolución de ejercicios de aplicación práctica en el marco de la sustentabilidad ambiental, en el estudio de los fenómenos de la intercepción, retención superficial, infiltración y percolación?

## **1.3 Objetivos de la investigación**

### **1.3.1 Objetivo general**

Elaborar una guía técnica de hidrología que permita conocer los fenómenos de la intercepción, retención superficial, infiltración y percolación para que el estudiante de ingeniería civil comprenda y analice el tema mediante el uso de herramientas digitales en el marco de la sustentabilidad ambiental.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Conocer y explicar las variables que afectan estos fenómenos y dar a conocer los distintos métodos de cálculo existentes.
2. Generar ejercicios utilizando data real y resolverlos de una manera explicativa para que el estudiantado aprenda cómo abordar problemas relacionados a la retención superficial, intercepción, infiltración y

percolación en el marco de la sustentabilidad ambiental, utilizando herramientas virtuales.

3. Diseñar ejercicios propuestos para hacer que el estudiantado pueda resolverlos de manera sencilla utilizando los conocimientos adquiridos en la guía técnica.
4. Ensamblar la guía técnica de hidrología. Estudio de la intercepción, retención superficial, infiltración, percolación y su aplicación en la ingeniería civil.

#### **1.4 Justificación del problema**

Considerando la problemática actual, la importancia que merece y la responsabilidad que se tiene como ingeniero civil a la hora de aplicar los conocimientos adquiridos durante la carrera, el presente trabajo de grado se convertirá en un aporte académico a la Universidad José Antonio Páez y será de gran ayuda a otras universidades en las cuales se estudien los fenómenos hidrológicos en el área de la ingeniería civil

Con el propósito de explicar detalladamente la intercepción, retención superficial, infiltración y percolación; el presente trabajo de grado se encargará de explorar teóricamente y dar a conocer mediante ecuaciones y métodos de cálculo ya establecidos estos fenómenos naturales que son parte del ciclo hidrológico, con un enfoque de sustentabilidad, así como los temas referentes, entre ellos:

- Variables que afectan directa e indirectamente estos fenómenos de la hidrología
  - Posibles riesgos y afectaciones a las obras civiles.
  - Alteraciones al medio ambiente.
  - Alteraciones de origen antrópico y sus efectos ambientales.
  - Medición y modelación matemática

#### **1.5 Alcance y limitación**

En este proyecto de origen exploratorio se pretende recopilar y analizar material de información referente al tema de la intercepción, retención superficial, infiltración y percolación. Para el desarrollo de esta propuesta de proyecto, se desarrollará una guía técnica que sirva de ayuda para los estudiantes de ingeniería

civil a la hora de cursar la materia del pensum de estudio conocida como hidrología, en el marco de la sustentabilidad por medio del uso de herramientas virtuales o digitales. En el marco de la sustentabilidad, por medio del uso de herramientas virtuales o digitales.

Esta propuesta de proyecto tendrá un alcance académico en la educación superior cuyo uso sea a nivel nacional, aplicado a aquellas universidades o institutos en los cuales se encuentren en los planes de estudio materias referentes a la hidrología.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

Según Sabino (1996) “El marco teórico, marco referencial o marco conceptual tiene el propósito de dar a la investigación un sistema coordinado y coherente de conceptos y proposiciones que permitan abordar el problema. Se trata de integrar al problema dentro de un ámbito donde éste cobre sentido, incorporando los conocimientos previos relativos al mismo y ordenándolos de modo tal que resulten útil a nuestra tarea. El fin que tiene el marco teórico es el de situar a nuestro problema dentro de un conjunto de conocimientos, que permita orientar nuestra búsqueda y nos ofrezca una conceptualización adecuada de los términos que utilizaremos”.

#### 2.1 Antecedentes

Los antecedentes de la investigación tienen como objetivo exponer los estudios previos realizados con el propósito de sustentar el tema de investigación.

Tomando en consideración lo mencionado anteriormente, se presentan a continuación los siguientes trabajos de grado:

Córcega E. (2009) en su trabajo de grado titulado **“Evaluación comparativa de la interceptación y escorrentía superficial en plantaciones de cacao (THEOBROMA Cacao L, bosque y conuco ubicados en el municipio Ocumare de la costa de oro, Edo. Aragua”**, Realizado en la Universidad Central de Venezuela, para obtener el título de Magíster Scientiae en Ciencia del Suelo; tuvo como objetivo evaluar comparativamente la interceptación y la escorrentía en plantaciones de cacao, bosque y conuco ubicados en el municipio Ocumare de la Costa de Oro, Edo. Aragua. Realizando mediciones directas en campo de la precipitación total, precipitación neta y escorrentía, para poder estimar mediante fórmulas la interceptación, comparar la precipitación, infiltración e interceptación para diferentes escenarios y posteriormente realizar simulaciones mediante el modelo WEPP.

El aporte del trabajo de grado a la presente investigación será el estudio realizado mediante las mediciones en el campo de todos los factores asociados a la intercepción para luego aplicar dichas mediciones a las fórmulas utilizadas en el método de Rutters, de manera de que se puedan hacer estimaciones a futuro, para distintos eventos de precipitación.

Minguelis E, Yulisbet del C, (2013) en su Trabajo de Grado titulado, **Caracterización Hidrogeológica del sub suelo en el proyecto de transporte masivo de la línea 5 entre el tramo estación Zona Rental – estación Bello Monte, de la C.A. Metro de Caracas**, realizado en la Universidad Central de Venezuela, para obtener el título de ingeniero civil, planteó: se realizó el cálculo de escorrentías, cálculo de la evapotranspiración potencial y real, construcción de mapas piezométricos.

Además, el profesor Carlos Monedero, (2009 - 2010) en su Trabajo de Maestría titulado, **Construcción de un modelo de conocimiento ambiental con base al abordaje del tópico del 'desarrollo sustentable'**, realizado en la Universidad Central de Venezuela, para obtener el título de ingeniero civil, se propuso: determinar los principales retos del desarrollo incluyendo la reducción de la pobreza, el trabajo hacia una distribución global más justa de la riqueza y de los recursos, abordando el incremento en el consumo y la reducción de los impactos ambientales del desarrollo.

En la investigación realizada por Cahuana Agustín, Yugar Weimar (2009), en su trabajo de grado titulado **"Material de apoyo didáctico para la enseñanza y el aprendizaje de la asignatura de Hidrología CIV-233"** realizado en la Universidad mayor de San Simón, para obtener el título de ingeniero civil, de forma general, trata de demostrar la importancia elaborar un material de apoyo para el estudio de la hidrología para estudiantes de ingeniería civil, realizando una clasificación de las principales características del país (Perú).

Tener presente esta investigación es de gran importancia pues ayuda a ver qué factores externos pueden a su vez influir directamente en un fenómeno de precipitación.

Por último Gravina G y Rondon Jesus (2018), en su trabajo de grado titulado “ **Guía Técnica de Hidrología. Estudio de la cuenca contribuyente y su aplicación en la Ingeniería Civil, en el marco de la Sustentabilidad Ambiental.**” Realizado en la Universidad José Antonio Páez, para obtener el título de ingeniero civil, trata sobre la elaboración de una guía técnica sobre el tema de la cuenca contribuyente, utilizando herramientas digitales que logren desarrollar ejemplos de forma práctica que permitan la visualización de los cálculos hidrológicos en cuencas para su posterior utilización en casos reales de la ingeniería civil.

El aporte del trabajo de grado a la presente investigación será la metodología usada para la elaboración de dicho trabajo la cual servirá como referencia para la elaboración de la guía técnica ya que se tomara como referencia la forma en la que se elaboro el contenido de dicha investigación, además de la forma en la que se realizaron los ejercicios y su forma de resolverlos de manera explicativa.

## **2.2 Bases teóricas**

Con la finalidad de explicar el presente trabajo de investigación de una forma didáctica al lector, tomando en cuenta que la investigación será usada para el estudio por parte de personas con diferentes niveles educativos, será presentado a continuación una serie de términos, fórmulas y tablas que permitirán conocer mejor el tema de investigación.

De acuerdo a Arias (1999), constituyen: “Un conjunto de conceptos y proposiciones que constituyen un punto de vista o enfoque determinado, dirigido a explicar el fenómeno o problema planteado”. Pueden subdividirse de acuerdo a su naturaleza en psicológicas, filosóficas, pedagógicas, legales, entre otras. Su desarrollo debe iniciarse con una breve introducción donde se indique el tema a estudiar, el concepto de bases teóricas debidamente citado y la mención de las teorías relacionadas con el trabajo.

Las bases teóricas de la presente investigación se estructuran de la siguiente manera:

### **2.2.1 Retención Superficial**

La Retención Superficial es un término que engloba a dos componentes del ciclo hidrológico que son la intercepción y la detención superficial. Se define como el agua procedente de la lluvia que queda retenida o bien en la vegetación o bien en el suelo, coberturas y pavimentos constituyendo lagunas y empozamientos. En primer lugar, se analizará la Intercepción y, posteriormente, la detención superficial.

### **2.2.2 Intercepción**

Se define como la parte de lluvia retenida por la vegetación. La cantidad de lluvia interceptada dependerá del tipo de vegetación, es decir del tamaño de la hoja, densidad de la vegetación, de la velocidad del viento, intensidad y duración del aguacero, etc. No obstante, la capacidad máxima que puede almacenar una hoja oscila entre 1 y 2 l/m<sup>2</sup>.

La intercepción coincide con la precipitación si los aguaceros son pequeños ( $P < 5 \text{ l/m}^2$ ) y constituye aproximadamente el 10 % de ésta si son mucho mayores de esta cantidad. De forma más simplificada, la intercepción puede obtenerse como un porcentaje de la lluvia con la siguiente expresión:  $In =$

susceptible de evaporarse al incorporarse de nuevo a la atmósfera en fase vapor. Únicamente el agua que resbale por el tronco del árbol o por la planta llegará al suelo infiltrándose o escurriéndose superficialmente.

Para calcular intercepción se puede realizar un sencillo balance de masa en el que se establece que la precipitación total que recibe el dosel ( $P_d$ ) se reparte entre el volumen evaporado desde el dosel ( $E_d$ ), lo que pasa a través del mismo ( $P_s$ ), lo que escurre por el tronco ( $P_t$ ), y un residuo que es la intercepción. La intercepción es una variable del ciclo hidrológico que crece con una fuerte pendiente en los primeros instantes de un aguacero, pero, posteriormente se estabiliza con un crecimiento menor hasta que se establece un régimen estacionario entre lo que la vegetación es capaz de retener y el agua que escurre por la planta hasta el suelo.

### **2.2.3 Infiltración**

La Infiltración es el proceso de paso del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra. Este concepto hay que distinguirlo del de percolación, que es el movimiento del agua dentro del suelo. Ambos fenómenos están relacionados, puesto que la infiltración no puede continuar libremente hasta que la percolación haya removido el agua de las capas superiores del suelo.

Mecanismo de generación de la infiltración: Cuando se produce un aguacero, el agua que no es interceptada alcanza el suelo. A partir de ese instante ocurren tres fenómenos diferentes: El primero de ellos es la acumulación de agua en forma de detención superficial, a la vez que, dependiendo de la permanencia del agua en la superficie del terreno y de las características hidrodinámicas del mismo, se activa el mecanismo de infiltración. El agua que el terreno no es capaz de filtrar ni retener, escurre, formando la escorrentía superficial o directa.

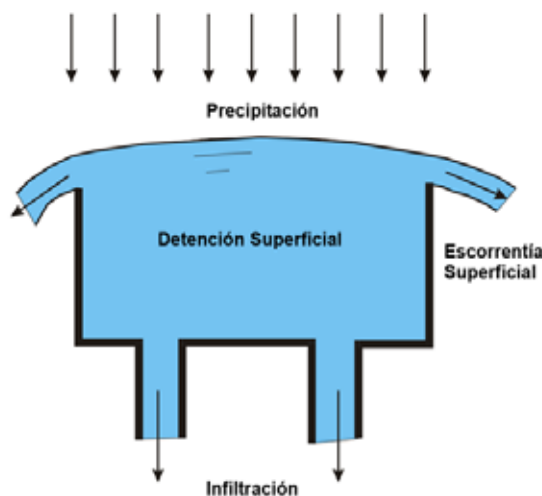


Figura 1: Esquema representativo de los mecanismos de generación de Infiltración

Fuente: Universidad de Coruña España

La permeabilidad del suelo es activada por medio de canales no capilares, a través de los cuales drena el agua de gravedad desde la superficie hasta el nivel freático del agua subterránea, siguiendo el camino de menor resistencia. El agua va rellenando los espacios capilares por lo que el gradiente de humedad establecido inicialmente va menguando y por tanto también la cantidad de agua infiltrada por unidad de tiempo. En caso de que inicialmente el suelo se encuentre con más contenido de agua, la infiltración por unidad de tiempo producida será menor, ya que el suelo se encuentra en condiciones de mayor saturación, y por tanto con un gradiente de humedad menor, que si inicialmente se encuentra completamente seco.

En consecuencia, se favorecerá la formación de escorrentía superficial al disminuir la masa de agua susceptible de infiltrarse. La infiltración está más relacionada con el movimiento del agua en la parte edáfica del suelo donde tiene lugar el desarrollo radicular de las plantas. La percolación está más relacionada con el movimiento vertical del agua en la zona no saturada. En la Figura 7 se muestra un esquema del suelo y los diferentes flujos existentes en él. En dicho

gráfico se distingue la Infiltración, la Percolación, el Flujo Hipodérmico, el Flujo Subterráneo y la Recarga que le llega al medio saturado.

También se ha incluido el Flujo Subsuperficial epidérmico (Escorrentía Superficial epidérmica), que es el agua que se encuentra en la parte del suelo edáfico y que, en un momento dado puede aflorar, incorporándose a la Escorrentía superficial. Se muestra el frente de saturación, con respecto a la profundidad, que se genera una vez infiltrada el agua en el suelo, y que avanza saturando al mismo.

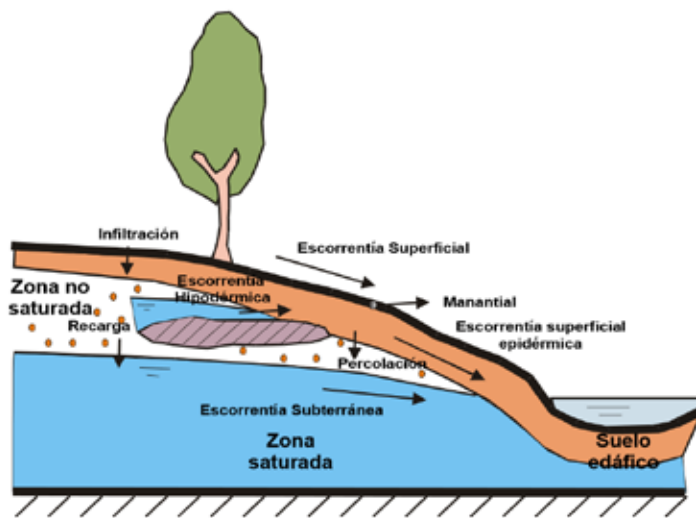


Figura 2: Esquema de las diferentes zonas y flujos que aparecen en el terreno.

Fuente: universidad de Coruña España

### **Factores que influyen en la Infiltración**

Existen diversos factores que influyen tanto en el origen de la Infiltración como en la cantidad de agua infiltrada. Los factores que influyen en la Infiltración del suelo son los siguientes:

- La Precipitación es un factor externo a las propiedades del terreno. La existencia de Precipitación es la causa de que exista Infiltración siempre y cuando se supere un cierto umbral mínimo exigible.
- La temperatura. Si la temperatura del suelo es suficientemente baja para producir la congelación del agua recibida, la capa helada impide o dificulta la Infiltración.
- El contenido inicial de humedad en el suelo tiene una gran influencia. Si el terreno está muy seco, a la acción de la gravedad, se une una fuerte

tensión capilar con lo que aumenta la Infiltración. A medida que el terreno se humedece se hinchan las arcillas y coloides y se reduce el tamaño de los poros y la capacidad del suelo para infiltrar. Por otra parte, a medida que se alcanza la capacidad de retención del suelo, se admitirá menos cantidad de agua ya que existirá menos gradiente piezométrico y, en consecuencia, menos flujo de entrada.

- Las condiciones de la superficie del terreno. La permanencia estática del agua en el terreno favorece la Infiltración, ya que se da tiempo para que el agua se infiltre, por ello factores que eviten esa permanencia de agua en forma de Detención Superficial en el terreno perjudicarán a la Infiltración.

La pendiente del terreno favorece el tránsito del agua caída en forma de Escorrentía a mayor pendiente menor tiempo de tránsito superficial del agua y menor permanencia de agua en el terreno. Por otro lado, la vegetación favorece la retención del agua, lo que aumenta el tiempo de permanencia del agua en el terreno y, en consecuencia, la Infiltración. La compactación del terreno es otro factor que define las condiciones.

Medida de la Infiltración el parámetro que cuantifica la infiltración es la capacidad de infiltración. La capacidad de infiltración de un suelo es la tasa máxima con la cual puede penetrar agua en un suelo en un sitio particular y dada una serie de condiciones, o, lo que es lo mismo, la intensidad máxima de agua de lluvia que puede absorber el suelo. La capacidad de infiltración se puede expresar en mm/h o mm/min. Como ya se explicó anteriormente, si la Intensidad de lluvia es superior a la capacidad de infiltración, una vez superada la retención superficial, se producirá escorrentía superficial. Si la intensidad de lluvia es inferior a la capacidad de infiltración, la tasa real de infiltración será la intensidad de lluvia menos la retención superficial, que será inferior a dicha capacidad de infiltración.

La capacidad de infiltración se puede medir con infiltrómetros, lisímetros y analizando hidrogramas. El infiltrómetro es un tubo diseñado para aislar una sección del suelo. Se utilizan para medidas muy locales y los valores obtenidos pueden aplicarse a cuencas homogéneas en suelo y vegetación y de pequeña

extensión. Existen diferentes tipos de infiltrómetros: El infiltrómetro de tipo inundador en el que la capacidad de infiltración se calcula a partir del volumen de agua que hay que añadir por unidad de tiempo para mantener constante el nivel de la lámina de agua sobre un área definida en el terreno.

El problema que existe en los valores deducidos con este tipo de infiltrómetros reside en que no se tiene en cuenta el efecto de compactación que produce la lluvia. En la Figura siguiente se muestra un infiltrómetro. Un infiltrómetro de tipo inundador, es el de anillos concéntricos. Este infiltrómetro posee un anillo exterior para impedir la expansión lateral del agua infiltrada del cilindro interior, en donde se mide la altura de lámina de agua. En la Figura 8 se representa el esquema de un Infiltrómetro tipo inundador, el Infiltrómetro de cilindro excavado en el suelo (método de Porchet). En este Infiltrómetro se produce infiltración por toda la superficie de un cilindro excavado en el suelo, de tal forma que se miden los niveles de la lámina de agua en tiempos muy próximos para que se pueda suponer que la capacidad de infiltración es constante.



Figura 3 Infiltrómetro

Fuente: universidad de Coruña España

En un lisímetro el agua infiltrada será la suma de la cantidad de agua recogida en el colector de percolación y del incremento del agua retenida en el terreno.

#### **2.2.4 Percolación**

La percolación es un fenómeno natural que los científicos y los administradores del agua pueden calcular y utilizar para asegurar que el agua superficial y subterránea no contenga contaminantes y también para garantizar que el agua destinada al consumo humano sea potable.

La imagen del goteo líquido a través de los granos de café por gravedad no está muy alejada del concepto de percolación, que generalmente describe el movimiento de un líquido a través de un medio.

En el contexto del ciclo del agua, describe la forma en que el agua se mueve en forma subterránea. Tal como lo explica el Centro de Pronósticos Northwest River, dependiente de la Administración Nacional de los Océanos y la Atmósfera, “la percolación es el movimiento del agua a través del suelo y sus estratos, por acción de la fuerza de la gravedad y de la capilaridad.”

#### **Modelación de la Percolación**

Existen varios factores que determinan cómo se mueve el agua a través del suelo – el medio filtrante – entre ellos la porosidad del suelo y cuán saturada con agua está previamente la tierra. El agua se mueve por acción de la gravedad a través de los estratos del suelo y los sedimentos, y normalmente fluye hacia el subsuelo hasta que alcanza una roca impermeable que la detiene, quedando almacenada bajo tierra en lo que se denomina un acuífero.

Si el suelo contiene más arena que arcilla, se ve afectada la velocidad con la que el agua pasa a través de él. Los esquistos y la arcilla son porosos, pero generalmente restringen el flujo del agua.

La percolación puede ser modelada en forma matemática, lo que puede ayudar a determinar la ubicación de las instalaciones proyectadas tales como las instalaciones sépticas o de tratamiento de aguas residuales. El método de evaluación conocido como test de percolación o test de Perc, determina la velocidad a la que el agua se mueve a través del suelo y está basado en factores tales como la composición y compactación del suelo.

#### **2.2.5 Sustentabilidad ambiental**

El término sustentabilidad refiere al equilibrio existente entre una especie con los recursos del entorno al cual pertenece. Básicamente, la sustentabilidad, lo

que propone es satisfacer las necesidades de la actual generación, pero sin que por esto se vean sacrificadas las capacidades futuras de las siguientes generaciones de satisfacer sus propias necesidades, es decir, algo así como la búsqueda del equilibrio justo entre estas dos cuestiones. Es decir, la propuesta de este concepto es que se explote un recurso pero que esa explotación, utilización se lleve a cabo por debajo de los límites de renovación del mismo. Porque solo así se podrá preservar satisfactoriamente las capacidades de quienes vengan detrás nuestro.

Un caso típico y muy difundido acerca de este equilibrio entre especie y uso de recursos que la sustentabilidad busca y propone es el que se cierne en torno a la madera proveniente de la tala de árboles en bosques, como es sabido si se tala demasiado un bosque se corre el riesgo que este desaparezca, pero si ese uso o aprovechamiento de la materia prima se realiza a conciencia y debajo de un cierto límite en el cual jamás se comprometa la extinción de este recurso, entonces, se podrá equilibrar la cuestión, es decir, seguirán habiendo bosques y además se podrá seguir utilizando la madera para construir lindas mesas que luego alegren y adornen nuestros entornos.

Pero además del caso de la madera que expusimos, hay otros recursos como el agua, el suelo fértil y la pesca que pueden ser sustentables o dejar de serlo si es que no se cumple con ese justo equilibrio del cual hablábamos más arriba, porque cuando se traspasa ese límite será muy difícil poder retomar y volver a las condiciones anteriores.

La sustentabilidad puede estudiarse e incluso manejarse a través de varios niveles de tiempo y espacio y también en muchos contextos de organización económica, social y ambiental. Puede enfocarse el tema ya sea desde una mirada global del planeta o bien desmenuzarlo, descomponerlo en varias partes como ser por sectores económicos, municipios, barrios, países, casas individuales. Mientras tanto, sea cual sea el ángulo o lugar desde el cual se lo aborde es importante destacar que se trata de un tema sumamente importante a atender en el mundo entero dado que de él depende que le dejemos a nuestros hijos, a las generaciones venideras un mundo habitable, sano y en el que los recursos naturales abunden y no se hallen agotados por la irresponsabilidad humana de un uso poco solidario.

La puesta en acción del desarrollo sostenible propone el respeto a ciertos valores y principios éticos, en tanto, muchos de ellos se hayan contenidos en el documento denominado La carta de la tierra, que fuera oportunamente desarrollado con la colaboración de diversas personas y organizaciones pertenecientes a todo el mundo, que aportaron sus visiones para hacer un mundo más sostenible. Por supuesto la Organización de Naciones Unidas fue clave en su promoción y difusión. Entre sus principales postulados se destacan: el respeto y cuidado de la vida, integridad ecológica, justicia social y económica, democracia, no violencia y paz,

También, este documento de alcance internacional es utilizado por muchas organizaciones para enseñar al respecto de la materia y como influencia política; cuando el ecosistema es saludable es posible proporcionarle a los seres humanos y a los organismos que lo habitan bienes y servicios que no impacten negativamente en el ambiente. En tanto, para conseguir este escenario ideal hay dos grandes propuestas, por un lado, el manejo ambiental que se nutre de la información que se obtiene de las ciencias de la tierra, de las ciencias ambientales, del manejo de la demanda de los recursos y de la biología de la conservación; y por otro lado el manejo del consumo que realizan los seres humanos, cuya información provendrá de las ciencias económicas.

La sostenibilidad es un proceso socio-ecológico caracterizado por un comportamiento en busca de un ideal común. Un ideal es un estado o proceso inalcanzable en un tiempo/espacio dados, pero infinitamente aproximable y es esta aproximación continua e infinita la que inyecta sostenibilidad en el proceso. Solo los ideales sirven de referentes en un ambiente turbulento y cambiante. Es un término ligado a la acción del hombre en relación con su entorno, se refiere al equilibrio que existe en una especie basándose en su entorno y todos los factores o recursos que tiene para hacer posible el funcionamiento de todas sus partes, sin necesidad de dañar o sacrificar las capacidades de otro entorno.

Por otra parte, sostenibilidad en términos de objetivos, significa satisfacer las necesidades de las generaciones actuales, pero sin afectar la capacidad de las futuras, y en términos operacionales, promover el progreso económico y social

respetando los ecosistemas naturales y la calidad del medio ambiente. La sostenibilidad se estudia y maneja a varios niveles de tiempo y espacio y en muchos contextos de organización económica, cultural, social y ambiental. Se enfoca desde la sostenibilidad total del planeta a la sostenibilidad de sectores económicos, países, municipios, barrios, casas individuales; bienes y servicios, ocupaciones, estilos de vida, etc. En resumen, puede incluir el total de las actividades humanas y biológicas o partes especializadas de ellas

La sostenibilidad se estudia y maneja a varios niveles de tiempo y espacio y en muchos contextos de organización económica, cultural, social y ambiental. Se enfoca desde la sostenibilidad total del planeta a la sostenibilidad de sectores económicos, países, municipios, barrios, casas individuales; bienes y servicios, ocupaciones, estilos de vida, etc. En resumen, puede incluir el total de las actividades humanas y biológicas o partes especializadas de ellas

### **Tipos de sostenibilidad**

#### **Sostenibilidad Ambiental**

Se refiere a la capacidad de poder mantener los aspectos biológicos en su productividad y diversidad a lo largo del tiempo y, de esta manera, ocuparse por la preservación de los recursos naturales fomentando una responsabilidad consciente sobre lo ecológico y, al mismo tiempo, crecer en el desarrollo humano cuidando el ambiente donde vive.

#### **Sostenibilidad Económica**

Se refiere a la capacidad de generar riqueza en forma de cantidades adecuadas, equitativas en distintos ámbitos sociales que sea una población capaz y solvente de sus problemas económicos, tanto como fortalecer la producción y consumo en sectores de producción monetaria. En pocas palabras es un equilibrio entre el hombre y la naturaleza para satisfacer las necesidades y no sacrificar generaciones futuras.

#### **Sostenibilidad Política**

Se refiere a redistribuir el poder político y económico, que existan reglas congruentes en el país, un gobierno seguro y establecer un marco jurídico que garantice el respeto a las personas y el ambiente fomentando relaciones solidarias

entre comunidades y regiones para mejorar su calidad de vida y reducir la dependencia de las comunidades generando estructuras democráticas.

### **Sostenibilidad Social**

Se refiere a adoptar valores que generen comportamientos como el valor de la naturaleza, principalmente mantener niveles armónicos y satisfactorios de educación, capacitación y concientización ya que así apoyas a la población de un país a superarse, se refiere a mantener un buen nivel de vida en la población de un país, en los aspectos sociales ya sea el enrolamiento de las mismas personas para crear algo nuevo en la sociedad donde forman parte.

#### **Un país sostenible**

Para construir un país sostenible debemos tener un equilibrio en los sectores económicos, ecológicos, sociales y políticos. En lo económico debemos generar riqueza de forma equitativa, fomentando un intercambio equitativo de recursos entre los diferentes sectores sociales. Así como buscar un equilibrio entre producción y consumo, aprovechando los recursos y servicios de forma eficiente.

En lo social, los valores son de suma importancia ya que nosotros formamos el lugar donde vivimos con nuestras acciones. Debemos tener una convivencia armónica y de respeto a las distintas culturas y personas que forman parte del lugar donde vivimos. Debemos mejorar la calidad de vida al tener mejores transportes que reduzcan los niveles de contaminación, brindar servicios de salud, educación, capacitación y empleo con salarios justos a la población.

En lo ecológico como parte de la sociedad debemos cuidar nuestro entorno al tener un uso responsable y adecuado de los recursos ya que al ser una población en constante crecimiento la demanda de los recursos va en aumento. Además de este uso responsable debemos contribuir reciclando, no contaminando, e implementando energías limpias y renovables.

En lo político debemos establecer una democracia, descentralizando la toma de decisiones y reduciendo la dependencia de municipios, países y regiones. Las relaciones solidarias son otro punto importante para crear una armonía entre las personas que habitamos en un mismo espacio.

Como podemos ver anteriormente en los conceptos, la sustentabilidad no se lleva a cabo obteniendo resultados mediante dañar otra parte, ya que un país no genera sustentabilidad si uno de sus sectores no está completo. Un país sostenible fomenta y educada oportunidades a todas las partes, para crear beneficios a todos los sectores de la población. Un ejemplo es cuando una empresa genera una buena economía, pero ¿qué es lo que sucede si la maquinaria que utiliza para su empresa solo contamina el medio ambiente? es ahí cuando esa empresa por más dinero que produzca y aporte al sector económico, deja de ser sustentable al ganar mediante causar daños en otro sector.

### **Arquitectura sostenible**

Es el modo de concebir la arquitectura de modo que no dañe el medio ambiente, de la forma más ecológica posible, aprovechando los recursos naturales y minimizando el impacto sobre ellos.

La construcción más recomendable para una determinada zona debe cumplir con principios ambientales que se deducen después de un análisis del lugar. Las orientaciones, la posibilidad de tener ventilación cruzada, el aislamiento térmico, son estrategias óptimas para algunos climas.

### **Sustentabilidad del agua**

Si se captara toda la lluvia en los techos y en algunos suelos, se podría ahorrar de 10% a 15% del agua que se consume en los hogares. Si se aprovechara el 3% de la lluvia que cae cada año en el país, alcanzaría para suministrar de agua no potable para usos como limpieza o sanitarios a 13 millones de personas, para que 50 millones de animales pudieran beber o para regar 18 millones de hectáreas de cultivo. Es la práctica de recolectar y utilizar el agua de lluvia que se descarga de las superficies duras, como los techos o el escurrimiento de suelos. Es una técnica ancestral que está recuperando su popularidad ahora que cada vez más gente, está buscando maneras de usar las fuentes de agua de forma más inteligente.

Hoy, muchas áreas rurales dependen de la cosecha de agua de lluvia, pero las zonas urbanas que son atendidas por servicios municipales tienden a olvidar este recurso. La cosecha de lluvia es una solución muy importante para las

grandes urbes en donde se está gastando más agua de la que se dispone. Un problema que se viene agravando además con las transformaciones que está produciendo el cambio climático.

Para poder captar agua de lluvia es necesario que las superficies expuestas a la precipitación pluvial permitan su escurrimiento, ya sea porque la superficie es impermeable o porque su capacidad de absorción es inferior a la de infiltración en terrenos con pendiente. En los centros urbanos, las áreas expuestas a la lluvia son mayoritariamente impermeables (techos, calles y estacionamientos), por lo que la captación se puede realizar con inversiones relativamente pequeñas. La conducción de los escurrimientos a los cuerpos de almacenaje se efectúa por medio de canalones en techos (liga a drenajes sifónicos), tuberías de lámina y/o PVC y canaletas con o sin rejillas en los pisos.

### **2.3 Términos básicos**

**Área de captación:** Lugar donde se almacenan los escurrimientos de agua de lluvia, antes de realizar su disposición final. Por lo general se utilizan superficies como los techos de las casas, escuelas, almacenes, etc., que deben estar impermeabilizados. También se puede captar el agua que escurre de calles o estacionamientos por medio de canales.

**Estructura de captación:** Recolectan las aguas en los sistemas de alcantarillado pluvial, se utilizan sumideros o bocas de tormenta como estructuras de captación, aunque también pueden existir descargas domiciliarias donde se vierta el agua de lluvia que cae en techos y patios.

**Sistema de conducción:** El sistema de conducción se refiere al conjunto de canaletas o tuberías de diferentes materiales y formas que conducen el agua de lluvia del área de captación al sistema de almacenamiento. El material utilizado debe ser liviano, resistente, fácil de unir entre sí y que no permita la contaminación con compuestos orgánicos o inorgánicos.

**Dispositivo de retiro de contaminantes y filtración:** Antes de conducir el agua a la infraestructura de almacenamiento se recomienda colocar un dispositivo que retire y filtre los contaminantes que puede arrastrar el agua a su paso por las superficies, como pueden ser sedimentos, metales, grasas y basuras. De esta forma el agua llegará sin residuos tóxicos al lugar de almacenamiento.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

En este capítulo se incluirá los pasos o acciones a seguir con el objeto de describir y analizar el fondo del problema planteado, así mismo se incluye el tipo, nivel y diseño de la investigación, las correspondientes fases de investigación que serán usadas en el presente trabajo, la población y muestra seleccionada y las técnicas e instrumentos de recolección de datos a utilizar. Así mismo Arias (2006) explica el marco metodológico como el “Conjunto de pasos, técnicas y procedimientos que se emplean para formular y resolver problemas”

#### **3.1 Tipo de investigación**

Tomando en cuenta el tipo de problema planteado en la presente investigación, los objetivos planteados y las bases teóricas mencionadas, la presente investigación será de tipo documental y descriptiva.

Según Palella y Martins (2010), definen: “La investigación documental se concreta exclusivamente en la recopilación de información en diversas fuentes. Indaga sobre un tema en documentos escritos u orales”

Por otra parte, Arias (2012), define: “La investigación exploratoria es aquella que se efectúa sobre un tema u objeto desconocido o poco estudiado, por lo que sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto, es decir, un nivel superficial de conocimientos”.

En la presente investigación se seleccionará estos tipos de estudios, debido a que se los conocimientos obtenidos serán aplicados con la finalidad de alcanzar los resultados prácticos y técnicos que permitirán solucionar el problema en estudio.

### **3.2 Diseño de la investigación**

Según Sabino (2000) “su objeto es proporcionar un modelo de verificación que permita contrastar hechos con teorías, y su forma es la de una estrategia o plan general que determina las operaciones necesarias para hacerla”.

Según la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (1998) la investigación Documental, “es estudio de problemas con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, con apoyo, principalmente, en trabajos previos, información y datos divulgados por medios impresos, audiovisuales o electrónicos”.

En cuanto al diseño de la investigación documental, Pérez (2009) explica que: “se caracteriza fundamentalmente porque realiza análisis de fuentes secundarias, es decir, material elaborado por otros autores de manera sistemática. Las principales fuentes de información son textos, documentos, tesis, revistas especializadas, entre otros”

Con lo mencionado anteriormente la presente investigación se basará en la recopilación de fundamentos teóricos, materiales de información y fuentes secundarias con el propósito de profundizar el conocimiento que se pueda tener acerca de la intercepción, retención superficial, infiltración y percolación

### **3.3 Nivel de la investigación**

El nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un objeto o fenómeno.

Arias (2006) lo define como: “la caracterización de un hecho fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento, los mismos miden de forma independiente las variables y aun cuando se formulen hipótesis, las primeras aparecerán enunciadas en los objetivos de la investigación”.

Se puede decir que esta investigación se ubicará en un nivel exploratorio, puesto que dicho tema no ha sido lo suficientemente abordado o estudiado, a partir de la recopilación de información referente al cálculo de la intercepción, retención superficial, infiltración y percolación se profundizara el estudio a un nivel académico.

### **3.4 Población y muestra**

Según Tamayo y Tamayo, (1997), “La población se define como la totalidad del fenómeno a estudiar donde la unidad de población posee una característica común la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación”.

En esta investigación según lo expuesto anteriormente la población vendría siendo el fenómeno de l

Por otro lado, Tamayo y Tamayo (1997), la muestra “es el grupo de individuos que se toma de la población, para estudiar un fenómeno estadístico”

Para esta investigación las muestras serían los distintos tipos de cálculo de la intercepción, retención superficial, infiltración y percolación

### **3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Según Tamayo y Tamayo (2002; p.182), depende en gran parte del tipo de investigación y del problema planteado para la misma, y puede efectuarse desde una simple ficha bibliográfica, observación, entrevista, cuestionario o encuesta, y aun mediante ejecución de investigaciones para este fin. Para todo proceso de investigación se requiere del uso de diversas técnicas que le permitan obtener toda la información o datos que se requiere para el desarrollo del mismo. De acuerdo a lo antes señalado las técnicas utilizadas para recabar la información con la finalidad de lograrlos objetivos propuestos fueron las siguientes:

#### **Técnicas**

**Encuesta:** Como una técnica de recolección de datos que pretende obtener información que suministra un grupo o muestra de sujetos en relación con una problemática planteada. Dentro de ese marco esta técnica, será aplicada según el tipo de muestra seleccionada.

**Cuestionario:** este instrumento estará dirigido a personas directamente del área de estudio, quienes proporcionen toda la información de interés, de la experiencia y conocimientos sobre los aspectos relevantes relacionados con el aprendizaje mediante guías técnicas.

La elaboración del cuestionario es tipo escala de Likert y redactado con ítems de orden cerrado, es decir, preguntas dicotómicas donde se establecen cinco

(5) alternativas de respuesta, el cual se le entregara a los estudiantes seleccionados al azar.

### **3.6 Fases metodológicas**

Para llevar a cabo la investigación, se cumplirá con cinco fases metodológicas, de acuerdo con los objetivos específicos planteados:

**Fase I:** Describir y explicar las variables que afectan la intercepción, retención superficial, infiltración y percolación y dar a conocer los distintos métodos de cálculo existentes.

Dentro de esta primera fase se procedió a explicar detalladamente cómo funciona el ciclo de la intercepción, retención superficial, infiltración y percolación, todas las variables que afectan y él porque de su relación directa con el estudio de estos fenómenos, además se mencionó los distintos tipos de cálculo existentes.

**Fase II:** Definir los diferentes métodos de cálculo de la intercepción, retención superficial, infiltración y percolación

En esta fase se explicó de una manera más profunda cada fórmula, variable y coeficiente para cada método para que de esta manera sea comprendido de una manera más sencilla.

**Fase III:** Generar ejercicios utilizando data real y resolverlos de una manera explicativa para que el estudiantado aprenda cómo abordar problemas relacionados a la intercepción, retención superficial, infiltración y percolación, en el marco de la sustentabilidad ambiental, utilizando herramientas virtuales.

Es esta fase entrarán en una metodología académica adaptada las nuevas tecnologías (software), tomando data ya recopilada con anterioridad en estaciones meteorológicas, y se procederá realizar ejercicios paso a paso para que los estudiantes de ingeniería puedan ver más a detalle cómo se resuelven estos tipos de problemas tanto en lo académico como en la vida real.

**Fase IV:** Diseñar ejercicios propuestos para hacer que el estudiantado pueda resolverlos de manera sencilla utilizando los conocimientos adquiridos en la guía técnica.

En esta fase se procede a elaborar ejercicios con distintos grados de complejidad para que los estudiantes puedan resolverlos por sus propios medios aplicando los conocimientos ya adquiridos.

**Fase V:** Ensamblar la guía técnica de Hidrología sobre el tema de la intercepción, retención superficial, infiltración y percolación.

Se procede a elaborar y ensamblar la guía para su uso.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1 Encuesta

Para elaborar la encuesta referente a los temas de retención superficial, infiltración, intercepción y percolación para comprobar si la guía técnica es factible, se utilizó la aplicación Google Encuesta para que la población de los estudiantes de Ingeniería civil de los semestres comprendidos de 7mo a 10mo, pudiera responder utilizando medios digitales.

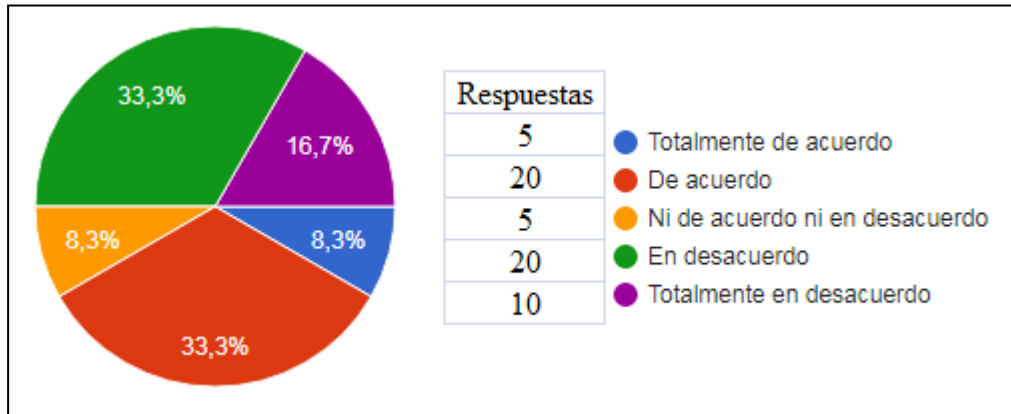
El cuestionario de la encuesta fue respondido por 60 estudiantes, que representa una cantidad significativa de la población. La elaboración del cuestionario es tipo escala de Likert, con la siguiente propuesta y calificación:

Totalmente de acuerdo	1
De acuerdo	2
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	3
En desacuerdo	4
Totalmente en desacuerdo	5

Una vez establecidos los criterios de la encuesta se procedió a enviar a una población de estudiantes de ingeniería civil de los semestres del 7mo al 10mo para que procedieran a responder la encuesta.

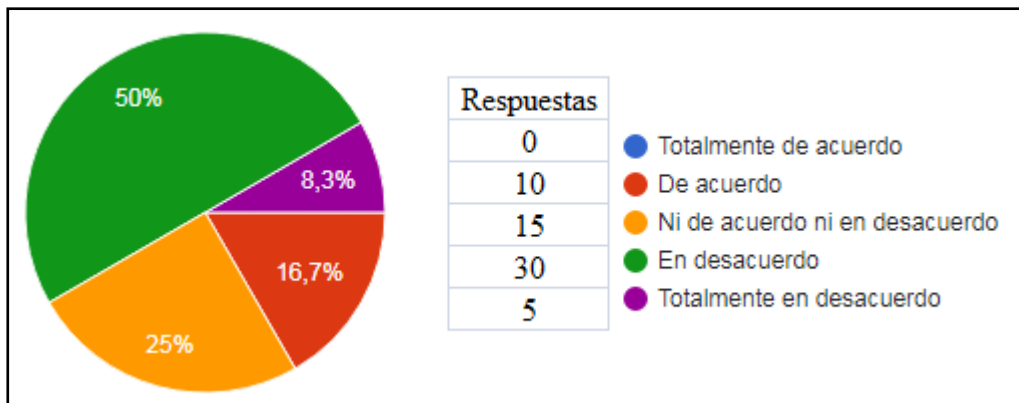
Dicho esto se procederá a analizar cada uno de los ítems, basados en los diferentes tipos de respuesta.

**Ítem 1.** ¿Considera usted que el estudiante de Ing Civil de la Universidad José Antonio Páez cuenta actualmente con fuentes de información suficientes?



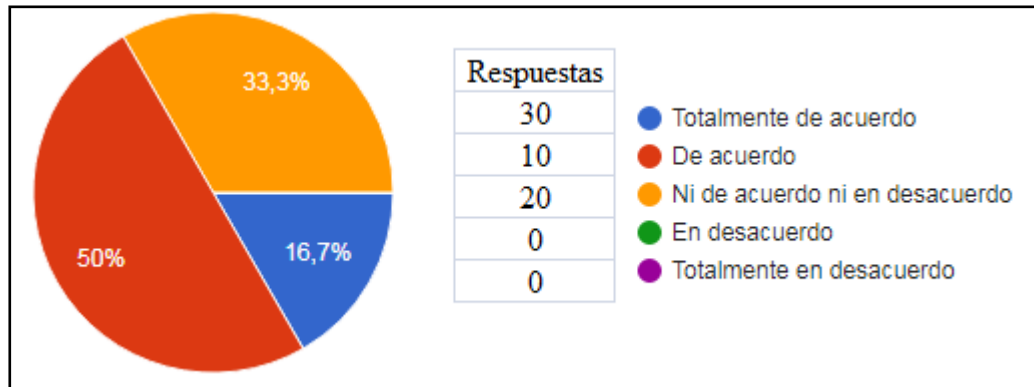
**Análisis:** Como se puede observar en la gráfica uno (1), basados en las diferentes opiniones, se puede tomar como conclusión de que la Universidad José Antonio Páez no cuenta actualmente con fuentes de información suficientes ya que más del 50% de las personas encuestadas así lo consideran.

**Ítem 2.** ¿Considera usted que el estudiante de Ing Civil de la Universidad José Antonio Páez tiene conocimientos amplios sobre intercepción, retención superficial, infiltración, percolación?



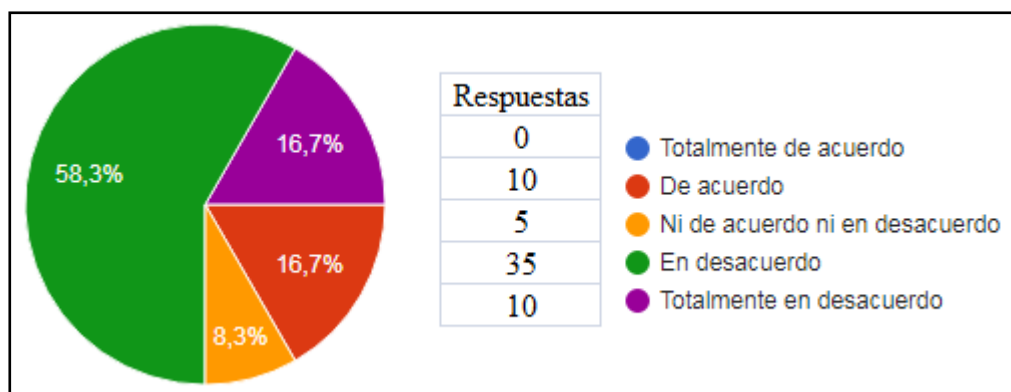
**Análisis:** Como se puede observar en la gráfica dos (2), basados en las diferentes opiniones, se puede tomar como conclusión de que los estudiantes de la Universidad José Antonio Páez no tienen conocimientos amplios sobre intercepción, retención superficial, infiltración, percolación.

**Ítem 3.** ¿Considera usted que hidrología prepara a los estudiantes para cálculos de intercepción, retención superficial, infiltración, percolación?



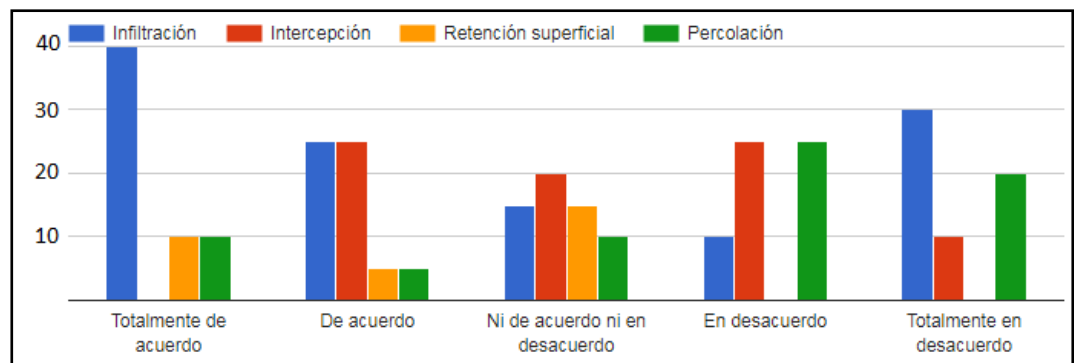
**Análisis:** Como se puede observar en la gráfica tres (3), basados en las diferentes opiniones, se puede tomar como conclusión de que hidrología prepara a los estudiantes para cálculos de intercepción, retención superficial, infiltración, percolación. Pero, hay que tomar en cuenta que debido a las respuestas obtenidas en el ítem N°2, la preparación para cálculos de intercepción, retención superficial, infiltración, percolación sería básica y no amplia.

**Ítem 4.** ¿Considera usted que la Universidad José Antonio Páez cuenta con el material suficiente para ampliar los conocimientos de los estudiantes sobre intercepción, retención superficial, infiltración, percolación?



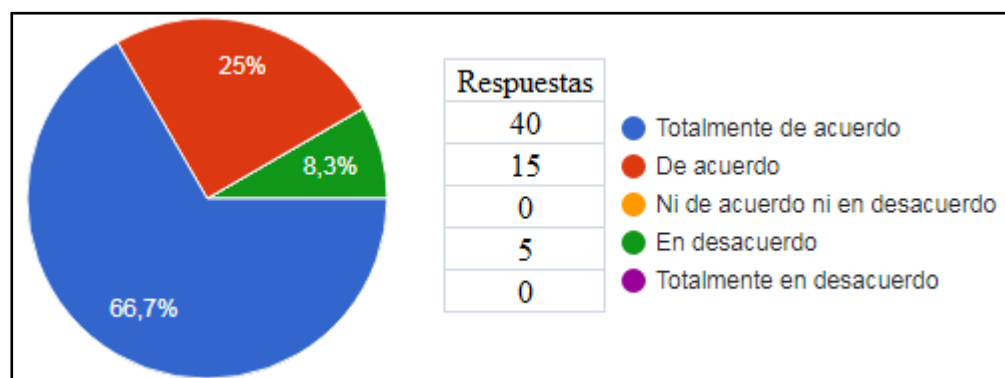
**Análisis:** Como se puede observar en la gráfica cuatro (4), basados en las diferentes opiniones, se puede tomar como conclusión de que la Universidad José Antonio Páez no cuenta con el material suficiente para ampliar los conocimientos de los estudiantes.

**Ítem 5.** ¿Considera usted tener conocimientos sobre alguno de los siguientes temas o sus posibles cálculos?



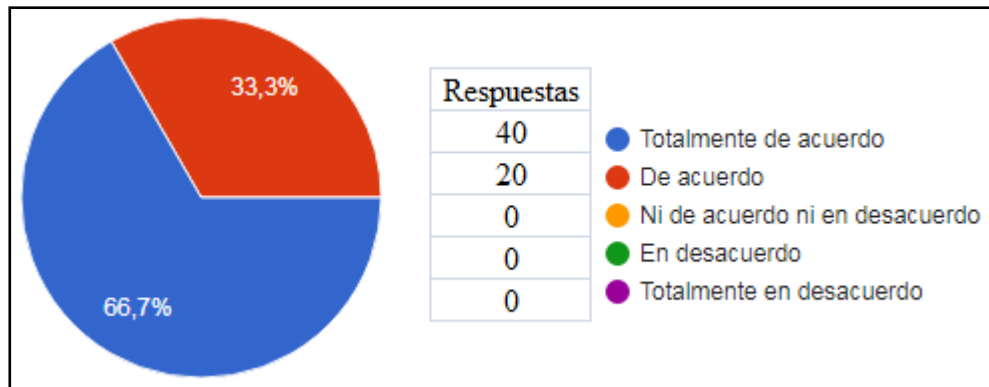
**Análisis:** Como se puede observar en la tabla de columnas, basados en las diferentes opiniones, se puede tomar como conclusión de que cierta cantidad de la población tiende a tener más conocimientos sobre los temas de infiltración y retención superficial y menos conocimientos sobre los temas de intercepción y percolación.

**Ítem 6.** ¿Considera usted que los temas de intercepción, retención superficial, infiltración, percolación, son aplicables en la ingeniería civil?



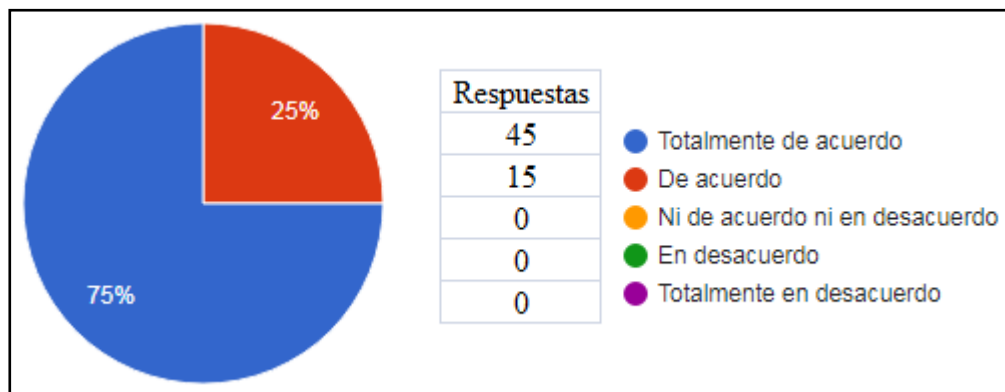
**Análisis:** Como se puede observar en la gráfica cinco (5), basados en las diferentes opiniones, se puede tomar como conclusión de que la población considera que los temas de intercepción, retención superficial, infiltración, percolación, son aplicables en la ingeniería civil.

**Ítem 7.** ¿Considera usted que la intercepción, retención superficial, infiltración, percolación pueda afectar directamente una obra civil?



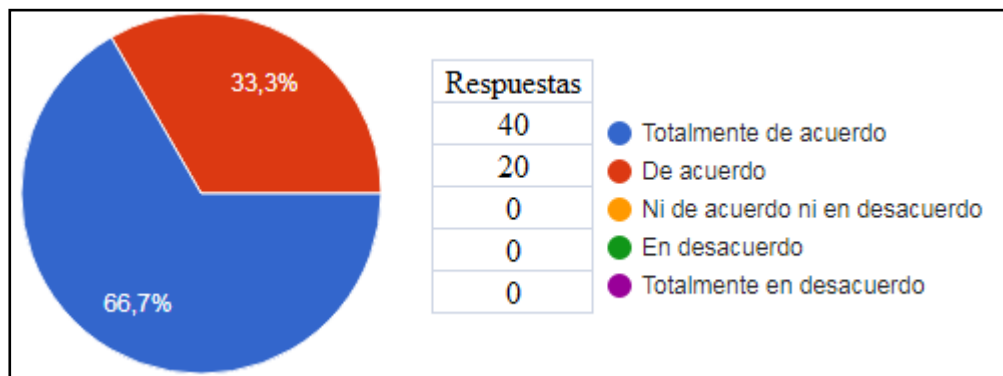
**Análisis:** Como se puede observar en la gráfica seis (6), basados en las diferentes opiniones, se puede tomar como conclusión de que la población considera que la intercepción, retención superficial, infiltración, percolación puede afectar directamente una obra civil.

**Ítem 8.** ¿Considera usted que la elaboración de material de apoyo referente a intercepción, retención superficial, infiltración, percolación, mejoraría la percepción que tiene el estudiante acerca de la hidrología y le permitiría ampliar sus conocimientos sobre ella?



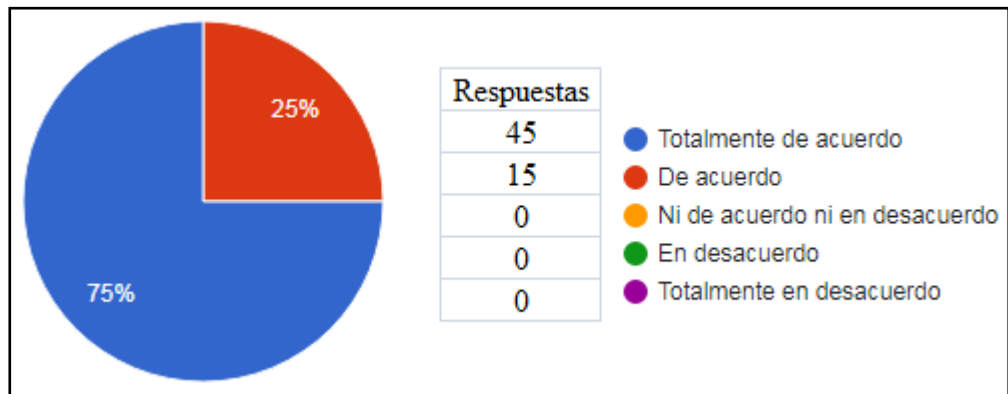
**Análisis:** Como se puede observar en la gráfica siete (7), basados en las diferentes opiniones, se puede tomar como conclusión de que la población considera que la elaboración de material de apoyo referente a intercepción, retención superficial, infiltración, percolación, mejoraría la percepción que tiene el estudiante acerca de la hidrología y le permitiría ampliar sus conocimientos sobre ella.

**Ítem 9.** ¿Considera usted que una guía técnica mejoraría la práctica docente sobre los temas de intercepción, retención superficial, infiltración, percolación?



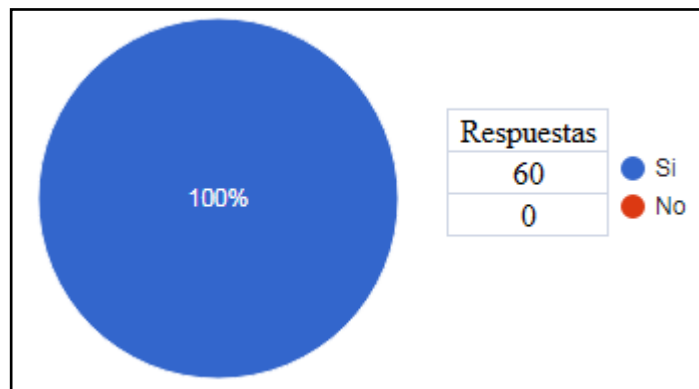
**Análisis:** Como se puede observar en la gráfica ocho (8), basados en las diferentes opiniones, se puede tomar como conclusión de que la población considera que una guía técnica mejoraría la práctica docente sobre los temas de intercepción, retención superficial, infiltración, percolación.

**Ítem 10.** ¿Considera usted que la elaboración de una guía técnica de hidrología para el estudio de la intercepción, retención superficial, infiltración, percolación y su aplicación contribuiría en forma efectiva en la preparación de los estudiantes de ingeniería civil de la de la Universidad José Antonio Páez?



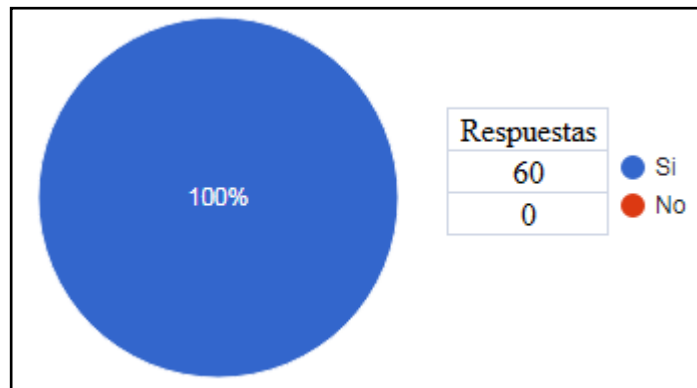
**Análisis:** Como se puede observar en la gráfica nueve (9), basados en las diferentes opiniones, se puede tomar como conclusión de que la población considera que la elaboración de una guía técnica de hidrología para el estudio de la intercepción, retención superficial, infiltración, percolación y su aplicación contribuiría en forma efectiva en la preparación de los estudiantes de ingeniería civil de la de la Universidad José Antonio Páez.

**Ítem 11.** ¿Sabe usted que es la sustentabilidad ambiental?



**Análisis:** Como se puede observar en la gráfica diez (10), se considera que la población sabe que es la sustentabilidad ambiental

**Ítem 12.** ¿Le interesaría saber más acerca del tema de la sustentabilidad ambiental y su relación con la hidrología?



**Análisis:** Como se puede observar en la gráfica once (11), se considera que a la población le interesaría saber más acerca del tema de la sustentabilidad ambiental y su relación con la hidrología.

**4.2 Conocer y explicar las variables que afectan estos fenómenos y dar a conocer los distintos métodos de cálculo existentes.**

Se procedió a investigar distintas fuentes de información y se procedió a analizar y estudiar cada una de las variables que afectan a los fenómenos de intercepción, retención superficial, infiltración, percolación, una vez cumplido este paso, se procedió a elaborar la guía técnica con distintos métodos de cálculo en los cuales dichas variables influyen directamente

**4.3 Generar ejercicios utilizando data real y resolverlos de una manera explicativa para que el estudiantado aprenda cómo abordar problemas relacionados a la retención superficial, intercepción, infiltración y percolación en el marco de la sustentabilidad ambiental, utilizando herramientas virtuales.**

Los ejercicios empleados en los distintos métodos fueron diseñados con datos de distintas fuentes, se procuró obtener información de fuentes de información venezolanas, sin embargo también se utilizaron fuentes de información de distintos países como España y Estados Unidos.

Los ejercicios fueron resueltos paso a paso explicando a detalle cada uno de los cálculos realizados, para la elaboración de las distintas tablas mostradas en la guía y los cálculos se utilizó el programa Microsoft Office Excel, el cual permite tener de una forma organizada toda la data.

**4.4 Diseñar ejercicios propuestos para hacer que el estudiantado pueda resolverlos de manera sencilla utilizando los conocimientos adquiridos en la guía técnica.**

Los ejercicios propuestos en la guía técnica fueron seleccionados de tal manera que el estudiante pueda escoger en algunos casos que método pueda emplear para aplicar cálculos y en otros casos simplemente para realizar el paso a paso explicado.

**4.5 Ensamblar la guía técnica de hidrología. Estudio de la intercepción, retención superficial, infiltración, percolación y su aplicación en la ingeniería civil.**

Una vez establecidos todos los métodos de cálculo con sus respectivos ejercicios, se procedió a ensamblar la guía técnica para el estudio de la intercepción, retención superficial, infiltración, percolación y su aplicación en la ingeniería civil.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

Luego de haber elaborado la guía técnica para el estudio de la interceptación, retención superficial, infiltración, percolación y su aplicación en la ingeniería civil se pudo concluir lo siguiente:

El material académico es de vital importancia para el aprendizaje ya que les facilita a los estudiantes la adquisición de conocimientos y habilidades que les sean útiles y aplicables en su vida personal, académica y profesional. Además de representar una forma más sencilla y práctica para que el estudiante pueda aprender.

La importancia de cada uno de los temas relacionados a la hidrología no puede ser tomado a la ligera, es necesario que el estudiante sea capaz de incrementar sus conocimientos.

Es necesario la elaboración de material de estudio en ingeniería civil no solo de Hidrología, sino además del resto de temas que se vean a través de la carrera para que el estudiante se desenvuelva mejor a la hora de resolver problemas tanto en su vida académica como profesional.

La interceptación es importante, ya que al haber poca vegetación, la cantidad de agua interceptada disminuye, y esto hace que la esorrentía aumente.

La infiltración y percolación son importantes variables del ciclo hidrológico que deberían ser estudiados más a fondo.

## **5.2 Recomendaciones**

Como resultado del presente trabajo de investigación se presentan las siguientes recomendaciones:

Realizar mediciones de campo para estimar con modelos matemáticos la interceptación, infiltración y percolación.

Evaluar las variaciones en los resultados de los distintos modelos matemáticos.

Realizar investigaciones mas profundas sobre el tema de la percolación ya que la cantidad de información referente al tema es escasa.

Elaborar otras guías técnicas que abarquen distintas ramas de la Hidrología.

## CAPÍTULO VI

### PROPUESTA DE GUÍA TÉCNICA DE HIDROLOGÍA

#### 6.1 Introducción

Se decidió como criterio para realizar la presente guía técnica, estructurarla en capítulos para de esta manera tener un orden y poder suministrar la información de una manera precisa.

Los 6 capítulos de la guía técnica comprenderán los siguientes temas:

**Capítulo 1 Retención Superficial:** ¿Qué es la retención superficial? Y ¿Qué factores influyen en el cálculo de la retención superficial?

**Capítulo 2 Intercepción:** ¿Qué es la intercepción?, cálculo de la intercepción, criterios asumidos según investigaciones previas, factores que influyen en la intercepción, instrumentos usados para la estimación directa de las variables que influyen en la intercepción y modelos de intercepción.

**Capítulo 3 Infiltración:** ¿Qué es la infiltración?, cálculo de la infiltración, criterios asumidos según investigaciones previas, factores que afectan la infiltración, instrumentos usados para la estimación directa de la infiltración y modelos de infiltración.

**Capítulo 4 Percolación:** ¿Qué es la percolación?, factores que afectan la percolación, tasa de percolación y procedimiento del cálculo de la tasa de percolación.

**Capítulo 5 Sustentabilidad ambiental:** ¿Qué es la sustentabilidad ambiental?, ¿Qué es el informe Brundtland?, objetivos del informe Brundtland, los 3 pilares de la sustentabilidad, Influencia de la intercepción, infiltración y percolación con respecto a la escorrentía, Importancia e impacto de la intercepción, infiltración y percolación en el diseño de las obras civiles y sustentabilidad aplicada a la intercepción, infiltración y percolación.

## BIBLIOGRAFÍA

### Impresas

- Arias, F. (1999). **El Proyecto de Investigación Guía Para su Elaboración**. Tercera edición. Caracas, Venezuela: Episteme.
- Arias, F. (2006). **El Proyecto de Investigación Introducción a la Metodología Científica**. Quinta edición. Caracas, Venezuela: Episteme.
- Arias, F. (2012). **El Proyecto de Investigación Introducción a la Metodología Científica**. Sexta edición. Caracas, Venezuela: Episteme.
- Balestrini, M. (2002). **Como se Elabora el Proyecto de Investigación, Para los Estudios Descriptivos, Diagnósticos, Evaluativos, Formulación de Hipótesis Causales, Experimentales y los Proyectos Factibles**. Sexta edición. Caracas, Venezuela: BL Consultores Asociados, Servicio Editorial.
- Belmonte, Francisco y Romero. (1999). Asunción. **Intercepción en algunas especies del mar mediterráneo**. Universidad de Murcia, Servicio de publicaciones.
- Campos, Aranda. (1998). **Procesos del ciclo hidrológico**. Universidad autónoma de San Luis Potosí
- Crouse, Robert, Corbett, Edward & Seegrift Donald. (2010). **Methods of measuring and analyzing rainfall interception by grass**. Taylor & Francis Group.
- Hernández, R. Fernández, C. Baptista, P. (1994). **Metodología de la Investigación**. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Hernández, R. Fernández, C. Baptista, P. (2003). **Metodología de la Investigación**. México: McGraw-Hill Interamericana.

### Digitales

<https://es.wikipedia.org/wiki/Sostenibilidad>

[http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado\\_itop/415/pdfs/Capitulo%203.pdf](http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_itop/415/pdfs/Capitulo%203.pdf)

[http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado\\_itop/415/pdfs/Capitulo%206.pdf](http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_itop/415/pdfs/Capitulo%206.pdf)



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE  
VENEZUELA  
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**GUÍA TÉCNICA DE HIDROLOGÍA.  
ESTUDIO DE LA INTERCEPCIÓN, RETENCIÓN  
SUPERFICIAL, INFILTRACIÓN, PERCOLACIÓN  
Y SU APLICACIÓN EN LA INGENIERÍA CIVIL.**

**Autores: Carlos Roque Casal Rodríguez  
Paola Emperatriz Celis Araque  
Tutor: Ing. Emerly Castillo**

**San Diego – Venezuela, Agosto de 2018**

## **AGRADECIMIENTOS**

## **DEDICATORIA**

## **PROLOGO**

## INDICE

<b>CONTENIDO</b>	pp.
AGRADECIMIENTOS .....	i
DEDICATORIA .....	ii
PRÓLOGO.....	iii

## CAPÍTULO

<b>I RETENCIÓN SUPERFICIAL .....</b>	<b>1</b>
1.1 ¿Qué es la retención superficial?.....	1
1.2 ¿Qué factores influyen en el cálculo de la retención superficial?.....	1
<b>II INTERCEPCIÓN .....</b>	<b>2</b>
2.1 ¿Qué es la intercepción?.....	2
2.2 Cálculo de la intercepción .....	4
2.3 Criterios asumidos según investigaciones previas .....	4
2.3 Factores que influyen en la Intercepción .....	6
2.5 Instrumentos usados para la estimación directa de las variables que influyen en la intercepción.....	8
2.6 Modelo de Horton según el área de vegetación proyectada .....	13
2.7 Modelo de Horton según el tipo de vegetación y la precipitación por evento. ....	14
2.8 Modelo de Linsley, Kohler, y Paulhus (1949).....	19
2.9 Modelo de Meriam (1960) .....	23
2.10 Modelo de Rutters (1971) .....	25
<b>III INFILTRACIÓN.....</b>	<b>40</b>
3.1 ¿Qué es la infiltración? .....	40
3.3 Cálculo de la infiltración .....	42
3.3 Criterios asumidos según investigaciones previas .....	43
3.4 Factores que afectan la infiltración .....	44

3.5 Instrumentos usados para la estimación directa de la infiltración	45
3.6 Modelo de Horton (1939)	49
3.7 Modelo de Mishra y Singh (2002)	51
3.8 Modelo lineal de Smith y Parlange (1978)	53
3.9 Modelo lineal de Philip (1969)	55
3.10 Modelo de Green-Ampt (1919)	56
<b>IV PERCOLACIÓN</b>	<b>61</b>
4.1 ¿Qué es la percolación?	61
4.2 Factores que afectan la percolación	61
4.3 Tasa de percolación	62
4.4 Procedimiento del cálculo de la tasa de percolación	62
<b>V SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL</b>	<b>69</b>
5.1 ¿Qué es la sustentabilidad ambiental?	69
5.2 ¿Qué es el informe Brundtland?	70
5.3 Objetivos del informe Brundtland	71
5.4 Los 3 pilares de la sustentabilidad	72
5.5 Influencia de la intercepción, infiltración y percolación con respecto a la escorrentía	73
5.6 Importancia e impacto de la intercepción, infiltración y percolación en el diseño de las obras civiles	75
5.7 Aplicación de la sustentabilidad ambiental con respecto a la intercepción, infiltración y percolación	77
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>79</b>

## **CAPÍTULO I**

### **RETENCIÓN SUPERFICIAL**

#### 1.1. ¿Qué es la retención superficial?

También conocida como almacenamiento superficial, se refiere a la porción de la precipitación la cual no se infiltra, es interceptada por la vegetación o es detenida por la superficie debido a depresiones en los terrenos formando lagunas o empozamientos, para que se genere escurrimiento superficial durante el periodo de precipitación la cantidad de agua producida por la precipitación debe ser mayor a la capacidad de intercepción que posea la vegetación, y debe ser de tal magnitud que haga que el agua rebose las depresiones en los terrenos.

#### 1.2. ¿Qué factores influyen en el cálculo de la retención superficial?

Para que se produzca retención superficial es necesario tener en cuenta que la retención superficial es un término que engloba a dos componentes del ciclo hidrológico que son la intercepción y la detención superficial.

## CAPÍTULO II

### INTERCEPCIÓN

#### 2.1. ¿Qué es la intercepción?

La intercepción de la lluvia o precipitación, se denomina al volumen de agua que es atrapada por la vegetación en las hojas, ramas y tallos, es evaporada y devuelta a la atmósfera durante y después de eventos de lluvia. Va bajando de nivel de vegetación según se va deslizando el agua almacenada en las superficies por el agua que va cayendo.

El agua interceptada se evapora posteriormente a tasas que dependen de las condiciones meteorológicas existentes y varían según el tipo de vegetación. En áreas húmedas, la evaporación del agua interceptada puede ser un importante componente del balance; áreas forestadas han mostrado tener mayores pérdidas por intercepción que áreas de pasto. Esto se debe a la mayor rugosidad de la cubierta forestal que resulta en una eficiente transferencia de vapor de agua de la superficie.

La intercepción (I), es el proceso por el cual la precipitación es retenida por el dosel y se pierde por evaporación directamente desde la biomasa aérea, antes de alcanzar el suelo, esto se puede deducir como:

$$I = P_t - P_n$$

$$P_n = P_d + F_c$$

Donde:

$P_t$  (Precipitación total): Cantidad de lluvia que es medida en terreno abierto, o encima del dosel.

$P_n$  (Precipitación neta): Total de agua de lluvia que alcanza el piso del bosque. Comprende la precipitación directa y el flujo caulinar.

$P_d$  (Precipitación directa): Representa la cantidad de agua de lluvia que alcanza la superficie del suelo directamente, sin haber sido interceptada por las

superficies vegetales, más aquella que fue detenida por la vegetación y posteriormente llega al suelo por goteo.

Fc (Flujo caulinar): Es el agua de lluvia que fluye por el exterior de ramas y troncos alcanzando el suelo, investigaciones indican el bajo aporte de precipitación por esta vía caulinar en cultivos perennes y algunas plantaciones arbóreas, además de la dificultad que presenta el recolectar el escurrimiento por los tallos en plantaciones ramificadas (Edwards, 1982; Miranda, 1987; Veneklaas, 1990; Navar y Bryan, 1990; Franken et al., 1992; Ataroff y Sanchez, 2000; Cantú y Gonzales, 2005).

La cantidad de lluvia interceptada dependerá del tipo de vegetación, es decir del tamaño de la hoja, densidad de la vegetación, de la velocidad del viento, intensidad y duración del aguacero, etc. No obstante, la capacidad máxima que puede almacenar una hoja oscila entre 1 y 2 lts/m<sup>2</sup>. La Intercepción coincide con la precipitación si los aguaceros son pequeños ( $P < 5$  mm) y constituye aproximadamente el 10 % de ésta si son mucho mayores de esta cantidad.

Parte de la lluvia será almacenada en la hojarasca y no alcanzará el suelo.

Si ( $P > 1$  mm) Entre el 10 y el 40 % de la lluvia total se puede interceptar por la vegetación de un bosque. Las yerbas pueden interceptar entre el 10 y el 20 % de la lluvia. Los coníferos interceptan mayor lluvia que otros bosques, cosechas como alfalfa y trigo pueden interceptar entre el 10 y el 35 % de la lluvia total, la soja un 9 % y maíz un 3 %. La intercepción o interceptación puede reducir la erosión del suelo.

De forma más simplificada, la Intercepción puede obtenerse como un porcentaje de la lluvia con la siguiente expresión:

$$I_n = P$$

tipo de cobertura vegetal

y que suele valer entre 0.1 y 0.2 para zonas húmedas con amplia cobertura vegetal y 0 para zonas semiáridas. En zonas amplias de bosque la intercepción puede llegar al orden del 10 %, e incluso del 20 % de la precipitación.

La intercepción es el componente del ciclo hidrológico más difícil de medir teniendo en cuenta que, en períodos largos, el agua interceptada se evapora o

discurre por el dosel vegetal llegando a infiltrarse incrementado la reserva del agua del suelo.

La intercepción es el primer proceso hidrológico que actúa redistribuyendo y modificando la precipitación sobre un área. Su determinación es especialmente útil para evaluar la porción de la precipitación que finalmente llega al suelo, cantidad con la cual se desarrolla el resto del ciclo hidrológico de una cuenca o un área.

## 2.2. Cálculo de la intercepción

Se puede decir que la intercepción es sencillamente la diferencia entre la precipitación total y la precipitación neta, es decir, la precipitación directa más el flujo caulinar, para evaluar la intercepción se han seguido diferentes modelos hidrológicos de los cuales en su gran mayoría trabajan directamente con la precipitación directa:

Modelo de Horton según el área de vegetación proyectada (1919), modelo de Horton según el tipo de vegetación y la precipitación por evento, modelo de Linsley, Kohler y Paulhus (1949) (1949), modelo de Meriam (1960), y modelo de Rutters (1971).

## 2.3. Criterios asumidos según investigaciones previas

Cabe destacar que debido a la gran cantidad de investigaciones realizadas anteriormente, es importante destacar algunos criterios asumidos por los investigadores.

Helvey y Patric (1965), en un bosque secundario maduro del oeste de los Estados Unidos, estimaron que aproximadamente el 25% de la lluvia total es interceptada por la cubierta del piso durante la estación de desarrollo y 3.5% durante la estación de descanso. Por otra parte, Helvey (1980) estimó que la intercepción del mantillo de un bosque de pino variaba entre 2 al 4 % de la lluvia total.

Fernández (1982), en un bosque natural y uno artificial de *Pinus tenuifolia*, encontrando diferencias estadísticamente significativas.

Valores de intercepción de 23,3% y 26,7% para bosque natural y Pinus respectivamente (Venezuela Los Andes – Edo. Mérida).

Fernández (1983), Reportó resultados obtenidos sobre la medición de la intercepción de la lluvia en maíz, quinchoncho y yuca. Además de hacer estimaciones del número de colectores más indicado para cada cultivo. Los resultados señalan que los porcentajes de intercepción variaron entre el 17,9%, 11,8% y 11,5%, respectivamente, correspondiendo el mayor valor al maíz. En relación al número de colectores se requieren menos aparatos para el quinchoncho por la mayor uniformidad en su desarrollo (Venezuela Valles Centrales).

Jaramillo y Cháves (1999), establecen que la lluvia interceptada depende de la cantidad incidente, la intensidad de la lluvia, el viento, y la distribución y densidad de la parte aérea de la vegetación, condiciones que modifican las tasa de intercepción de la lluvia.

Ataroff (2002), Analizó la relación entre precipitación vertical e intercepción en una selva nublada (SN) y una plantación de pino laso (R.r.), en el Parque Nacional Sierra Nevada, comparándola con un Bosque Siempreverde Seco (BSVS) y un cafetal con sombra. En el balance anual, la intercepción fue el 45%, 42%, 27% y 21% de la precipitación vertical, en SN, bosque R.r., BSVS y cafetal, respectivamente (Venezuela Los Andes – Edo. Mérida).

Cantú y Gonzales (2005); Guariguata y Kattan (2002), definen la comúnmente denominada capacidad de almacenaje de intercepción o del dosel, también conocida como capacidad de saturación del dosel, como la precipitación promedio que se requiere para humedecer todo el dosel antes que el agua empiece a escurrirse al sotobosque. Estos autores señalan que la mediana de los valores de la capacidad de saturación del dosel en los bosques neotropicales es de 1,5 mm. (Para efectos del modelo de Rutters  $S = 1,5\text{mm}$  para bosques neotropicales).

Córcega (2009), valores estimados para la capacidad de almacenaje del dosel para el bosque  $S = 1,2\text{mm}$ ; cacao  $S = 1.0\text{ mm}$  y para conucos  $S = 0,2\text{mm}$  (Ocumare de la costa de oro – Edo. Aragua).

Córcega (2009), Con láminas entre 2,5 y 15 mm de precipitación, la intercepción en el bosque y plantación de cacao permanece relativamente constante, con valores alrededor de 40% y 28% respectivamente. Con valores de precipitación entre 15 y 32,5 mm, disminuye la diferencia de la intercepción entre ambas coberturas, con valores alrededor de 20% en el bosque y de 18% en la plantación de cacao. Cuando la precipitación superó los 32,5 mm, la intercepción en el bosque se mantuvo alrededor de 18%, mientras que la de la plantación de cacao disminuyó a 12%. En el conuco, el comportamiento es totalmente distinto. Aún con láminas de precipitación pequeñas (inferiores a 2,5 mm) la intercepción es baja (menos del 20%). Por encima de este umbral de precipitación, la intercepción se reduce a un valor alrededor de 5 %.

#### 2.4. Factores que influyen en la Intercepción

**Precipitación:** El agua interceptada aumenta con la cantidad total de la precipitación hasta alcanzar un valor constante, esto es debido a que la vegetación solo es capaz de interceptar una cierta cantidad de agua tanto en el fuste como el dosel, al superar la capacidad máxima de intercepción el restante pasaría a formar parte de la precipitación directa.

**Intensidad:** La cantidad de agua interceptada por los árboles, a igual precipitación, va decreciendo proporcionalmente a medida que aumenta la intensidad de las lluvias. Este efecto de la intensidad de lluvia sobre la intercepción se debe a que el agua de lluvia tiene un menor tiempo de permanencia en las copas y, por lo tanto, un menor tiempo potencial para evaporar.

**Velocidad de viento:** El aumento de la velocidad del viento disminuye los porcentajes de intercepción, debido principalmente a que el viento sacude las

copas de los árboles disminuyendo con ello la cantidad máxima de agua que puede retener. La influencia del viento se hace más importante durante las precipitaciones de mayor intensidad. En estos casos, el agua adherida al follaje es sacudida de él, disminuyéndose así el tiempo de exposición para una potencial evaporación. Aparentemente, las altas velocidades del viento tienden a aumentar la intercepción total durante tormentas de larga duración y a reducirla durante las de corto intervalo.

Estado atmosférico: La cantidad total de agua interceptada depende de la tasa de evaporación desde la cubierta vegetal, que a su vez depende de las condiciones evaporantes de la atmósfera (temperatura, tasa de humedad, viento, etc.)

Almacenamiento superficial por retención: Es relativamente importante en función a la micro topografía del terreno. Hace referencia al agua que puede quedar retenida por largo tiempo en la micro topografía de la superficie, y que se puede ser evaporada o infiltrada.

Humus: La pérdida bruta por intercepción incluye el agua retenida por la vegetación secundaria o de piso, que puede consistir en pequeños arbustos, pasto o capa de humus.

Evaporación: Es un proceso físico que consiste en el paso lento y gradual de un estado líquido hacia un estado gaseoso, tras haber adquirido suficiente energía para vencer la tensión superficial. A diferencia de la ebullición, la evaporación se puede producir a cualquier temperatura, siendo más rápido cuanto más elevada sea esta. No es necesario que toda la masa alcance el punto de ebullición. Cuando existe un espacio libre encima de un líquido, una parte de sus moléculas está en forma gaseosa, al equilibrarse, la cantidad de materia gaseosa define la presión de vapor saturante, la cual no depende del volumen, pero varía según la naturaleza del líquido y la temperatura.

Transpiración vegetal: Consiste en la pérdida de agua en forma de vapor que se produce en las plantas. A las hojas de éstas llega gran cantidad de agua absorbida por las raíces, pero sólo una pequeña parte se utiliza en la fotosíntesis. Su principal función es eliminar en forma de vapor el agua que no

es utilizada por las plantas. Además, el agua transpirada permite el enfriamiento de la planta, debido al elevado calor de vaporización del agua.

Evapotranspiración: Es la suma de la evaporación y la transpiración de la planta desde la superficie terrestre y oceánica a la atmósfera. La evaporación explica el movimiento del agua hacia el aire desde fuentes como el suelo, la interceptación del dosel y los cuerpos de agua. La transpiración representa el movimiento del agua dentro de una planta y la consiguiente pérdida de agua en forma de vapor a través de las estomas en sus hojas, la evapotranspiración es una parte importante del ciclo del agua.

## 2.5. Instrumentos usados para la estimación directa de las variables que influyen en la interceptación

Para medir de una manera directa las variables en un evento de precipitación es necesaria la utilización de equipos automatizados o manuales que permitan determinar de forma directa cada uno de los valores de precipitación total, precipitación neta, precipitación directa el flujo caulinar o escorrentía cortical, temperatura de la superficie, temperatura al punto de rocío, temperatura del suelo velocidad del viento, radiación solar, entre otros.

Estación meteorológica: Una estación meteorológica es una instalación, ya sea terrestre o marítima, con instrumentos y equipos para medir las condiciones atmosféricas a fin de proporcionar información para las predicciones meteorológicas y para estudiar el clima, en una estación meteorológica se realizan mediciones y observaciones puntuales de los diferentes parámetros meteorológicos utilizando los instrumentos adecuados para así poder establecer el comportamiento atmosférico.



Figura 1. Estación meteorológica Great Blue Hill

Fuente: <http://www.bluehill.org/weatherdata/>

Estación meteorológica personal: Una estación meteorológica personal es un conjunto de instrumentos de medición del tiempo operados por un particular, club, asociación o incluso empresa. Las estaciones meteorológicas personales se han vuelto más avanzadas y pueden incluir muchos sensores diferentes para medir las condiciones climáticas. Estos sensores pueden variar de un modelo a otro, pero la mayoría mide la velocidad del viento, la dirección del viento, las temperaturas exteriores e interiores, la humedad interior y exterior, la presión barométrica, la lluvia y finalmente la radiación UV o solar.



Figura 2. Estación meteorológica personal

Fuente: [http://pembrokeweather.com/?page\\_id=349](http://pembrokeweather.com/?page_id=349)

Estación meteorológica automática: Una estación meteorológica automática (EMA) es una versión autónoma automatizada de la

tradicional estación meteorológica, preparada tanto para ahorrar labor humana, o realizar mediciones en áreas remotas o inhóspitas. El sistema puede reportar en tiempo real vía sistema Argos, o el Global Telecommunications System, tener enlace de microondas, o salvar los datos para posteriores recuperaciones.



Figura 3. Estación meteorológica automatizada

Fuente: <https://www.tendersontime.com/blogs/technology-and-equipment/supplyinstallation-automatic-weather-station-17388/>

Estación meteorológica sinóptica: Las estaciones meteorológicas sinópticas son instrumentos que recopilan información meteorológica en el tiempo sinóptico 00:00, 06:00, 12:00, 18:00 (UTC) y en las horas sinópticas intermedias 03:00, 09:00, 15:00, 21:00 (UTC).

Los instrumentos comunes de medida son anemómetro, veleta, sensor de presión, termómetro, higrómetro y pluviómetro.



Figura 4. Estación meteorológica sinóptica

Fuente: <http://www.sutron.com/product/airport-automated-weather-observation-system-awos/>

Dispositivos de canales plásticos: Son sistemas de cierta cantidad de canales plásticos de los cuales mediante sistemas de derivación descargan el agua de la precipitación en pluviógrafos, son empleados para determinar de manera directa la precipitación neta.



Figura 5. Sistema de canales plásticos

Fuente: Evaluación comparativa de la interceptación y escorrentía superficial en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.), bosque y conuco, ubicados en el municipio Ocumare de la costa de oro – Edo. Aragua, Córcega (2009).



Figura 6. Sistema de canales plásticos (Derivación)

Fuente: Evaluación comparativa de la interceptación y escorrentía superficial en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.), bosque y conuco, ubicados en el municipio Ocumare de la costa de oro – Edo. Aragua, Córcega (2009).



Figura 7. Descarga en pluviógrafo

Fuente: Evaluación comparativa de la interceptación y escorrentía superficial en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.), bosque y conuco, ubicados en el municipio Ocumare de la costa de oro – Edo. Aragua, Córcega (2009).

Canales de goma en espiral: La forma directa más sencilla para la medición de la escorrentía cortical es el uso de canales de goma los cuales se colocan en forma de espiral alrededor del perímetro del tronco para que estos puedan transportar el flujo de escorrentía que pasa a través del tronco, los canales descargan en bidones.



Figura 8. Colector de escorrentía cortical

Fuente: Departamento de Geografía y O.T, Universidad de Extremadura.  
España.

#### 2.6. Modelo de Horton según el área de vegetación proyectada

Horton (1919) observó que la pérdida por interceptación debe ser la suma de: (1) el agua almacenada en las superficies de las plantas al final de una tormenta y, posteriormente, regresa a la atmósfera por evaporación, y (2) la evaporación de las superficies húmedas de la planta durante una tormenta. Él expresó esta relación como

$$\text{Int} = \text{Sd} + \left(\frac{\text{Av}}{\text{A}}\right) \text{E T}$$

Donde:

Int: Es la pérdida de interceptación total en milímetros de profundidad sobre el área proyectada del dosel.

Sd: Es el agua almacenada en la vegetación en milímetros sobre el área proyectada del dosel.

Av/A: Es la relación del área superficial de la vegetación al área proyectada del dosel.

E: Es la tasa de evaporación en milímetros por hora durante la tormenta.

T: Es la duración de la tormenta en horas.

2.7. Modelo de Horton según el tipo de vegetación y la precipitación por evento.

Horton encontró una relación lineal entre la pérdida de intercepción y la precipitación en un por cada base de ducha siguiendo una ley lineal con coeficientes ajustados empíricamente y la cantidad de agua que se evapora que expresó como:

$$\text{Int} = \text{Sd} + \text{Pd}$$

Donde:

Pd: Es la precipitación directa.

Sd: Es el agua almacenada en la vegetación en milímetros sobre el área proyectada del dosel.

	Vegetacion	Sd
Bosque de coníferas	<i>Pynus Sylvestris</i> (Pino Silvestre)	1,5
	<i>Picea abies</i>	1,6
	<i>Pseudotsuga menziensis</i> (Abeto de Douglas)	2,1
	<i>Pinus nigra</i> (Pino Salgareño)	1,6
Bosque caducifolio	<i>Carpinus betulus</i> (verano) (Carpe Blanco)	1
	<i>Carpinus betulus</i> (invierno) (Carpe Blanco)	0,6
	<i>Quercus robur</i> (verano) (Roble comun)	1
	<i>Quercus robur</i> (invierno) (Roble comun)	0,4
Ericáceas	<i>Calluna vulgaris</i>	2
Herbáceas	<i>Zea mays</i> (Maiz)	0,4 - 0,7
	<i>Lolium perenne</i> (10 cm altura) (Ballica)	1,6
	<i>Lolium perenne</i> (48 cm altura) (Ballica)	2,8
	<i>Molinia caerulea</i> (Hierba)	0,7
	<i>Pteridium aquilinum</i> (Helecho aguila)	0,9

Figura 1. Modelo de Horton, Sd Según vegetación

Fuente: Universidad de da Coruña. España

Tipo de cubierta	Sd( mm)	$\gamma$
Huertos	1,02	0,18
Bosque de fresno	0,51	0,18
Bosque de hayas	1,02	0,18
Bosque de robles	1,27	0,18
Bosque de arces	1,02	0,18
Sauces	0,51	0,4
Pinares	1,27	0,2
Cubierta herbácea	1,67 h	0,49 h
Trébol y praderas	0,42 h	0,26 h
Alfalfa Veza y pastos	1,67 h	0,33 h
Cereales	0,42 h	0,16 h
h = Altura de la planta en mts		

Fuente: Universidad de da Coruña. España

Limitaciones de las ecuaciones de Horton

Las ecuaciones aplican para el caso de que la lluvia siempre llene por completo el almacenamiento disponible.

Al ser las ecuaciones unas relaciones lineares, para eventos de lluvia con altas duraciones el cálculo de la intercepción suele ser muy exagerado.

No son considerados los efectos de las hojas, tronco y dosel por individual, sino que se estima la intercepción como un todo (Sd).

Gráficos de la variación en la intercepción con el tipo de vegetación, la magnitud y duración de la precipitación

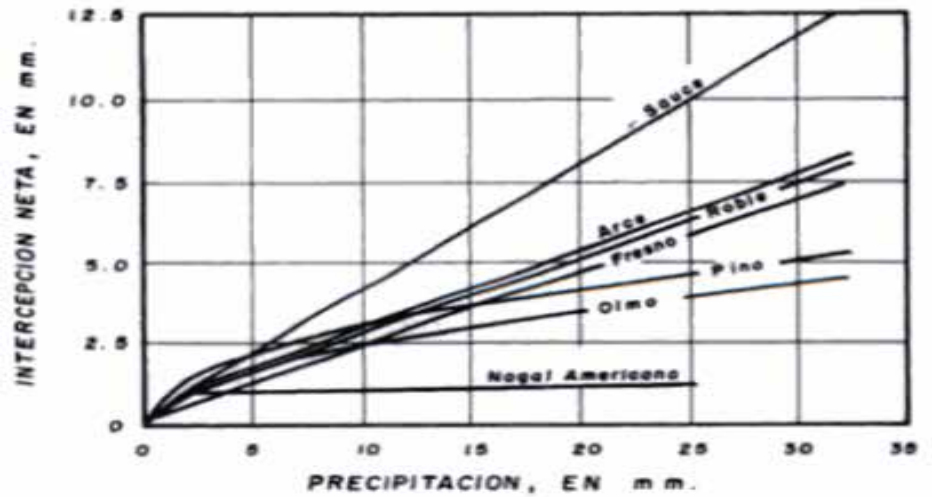


Figura 3. Variación de la intercepción con la cantidad de la precipitación

Fuente: Procesos del ciclo hidrológico. Daniel Campos A (1998).

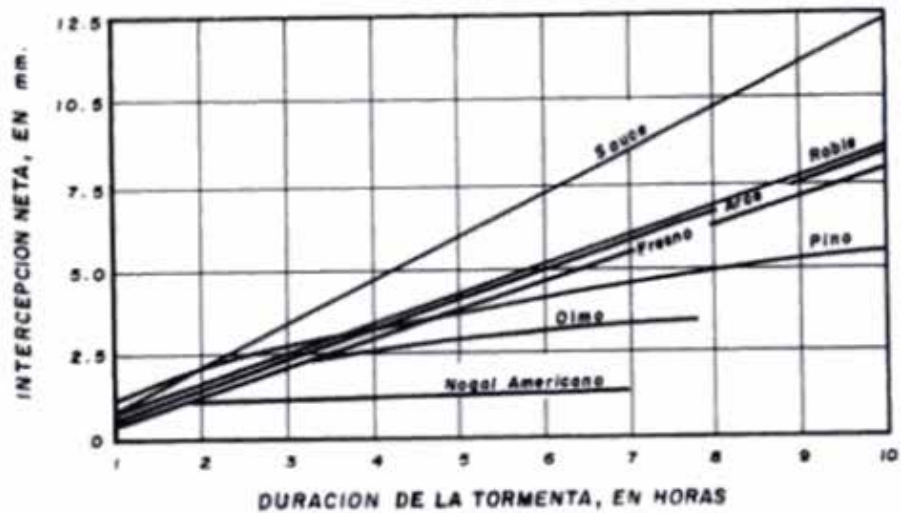


Figura 4. Variación de la intercepción con la duración de la precipitación

Fuente: Fuente: Procesos del ciclo hidrológico. Daniel Campos A (1998).

## EJERCICIOS

- 1) En un área de 30 hectáreas, de las cuales 22 hectáreas son de cultivos de maíz, se determinó por medio de un Tanque evaporimétrico que la tasa de evaporación es de 0,83mm/hora. Calcular la pérdida por interceptación para una tormenta de 6 horas.

R. Para poder calcular la interceptación, se tiene primero que saber cuál de las 2 formulas se puede usar, en este caso se posee como dato tanto las áreas totales y de vegetación, la tasa de evaporación y el tiempo de la tormenta, se tendría que usar la formula

$$\text{Int} = \text{Sd} + \left(\frac{\text{Av}}{\text{A}}\right) \text{E T}$$

Sd = (0,4 – 0,7) para maíz, en este caso se trabajara con el promedio

$$\text{Sd} = 0,55\text{mm}$$

$$\text{Av} = 20 \text{ Hectáreas}$$

$$\text{A} = 30 \text{ Hectáreas}$$

$$\text{E} = 0,83\text{mm/hora}$$

$$\text{T} = 6 \text{ Horas}$$

$$\text{Int} = 0,55 + \left(\frac{20\text{ha}}{30\text{ha}}\right) \frac{0,83\text{mm}}{\text{hora}} 6\text{horas}$$

$$\text{Int} = 3,87\text{mm}$$

Como se puede observar, la pérdida por infiltración es considerable debido a la duración considerable de la tormenta.

- 2) En una zona de cubierta herbácea en Barcelona, España. Se produjo un evento de lluvia el cual se produjo una precipitación directa de 2,83mm. Determinar la pérdida por infiltración si el promedio de altura de la cubierta herbácea es de 50cms.

$$\text{Int} = \text{Sd} + \text{Pd}$$

Datos del ejercicio:

$$S_d = 1,67 * h \text{ (cubierta herbácea)}$$

$$P_d = 2,83 \text{ mm}$$

$$h = 0,50 \text{ mts}$$

$$\text{Int} = (1,67 \cdot 0,50) + (0,49 \cdot 0,50) \cdot 2,83\text{mm}$$

$$\text{Int} = 1,528\text{mm}$$

- 3) En una cuenca de 350 hectáreas en las cuales 100 hectáreas tienen cobertura vegetal tipo hierba, 55 hectáreas están cubiertas por pinos silvestres y 45 hectáreas están cubiertas por pinos salgareños, se ha determinado que la tasa de evaporación es de 0,13 mm/hora. Determinar la pérdida total por intercepción para una duración de tormenta de 5 horas.

Datos del ejercicio:

$$S_{d1} = 0,7\text{mm} \text{ (cobertura tipo hierba).}$$

$$S_{d2} = 1,5\text{mm} \text{ (pinos silvestres).}$$

$$S_{d3} = 1,6\text{mm} \text{ (pinos salgareños).}$$

$$A = 350 \text{ ha}$$

$$A_{v1} = 100 \text{ ha}$$

$$A_{v2} = 55 \text{ ha}$$

$$A_{v3} = 45 \text{ ha}$$

$$E = 0,13 \text{ mm/hora}$$

$$T = 5 \text{ horas}$$

$$\text{Int} = \text{Int1} + \text{Int2} + \text{Int3}$$

$$\text{Int1} = 0,7\text{mm} + \left(\frac{100\text{ha}}{350\text{ha}}\right) \frac{0,13\text{mm}}{\text{hora}} \cdot 5\text{horas}$$

$$\text{Int1} = 0,89\text{mm}$$

$$\text{Int2} = 1,5\text{mm} + \left(\frac{55\text{ha}}{350\text{ha}}\right) \frac{0,13\text{mm}}{\text{hora}} \cdot 5\text{horas}$$

$$\text{Int2} = 1,60\text{mm}$$

$$\text{Int3} = 1,6\text{mm} + \left( \frac{45\text{ha}}{350\text{ha}} \right) \frac{0,13\text{mm}}{\text{hora}} \cdot 5\text{horas}$$

$$\text{Int3} = 1,68\text{mm}$$

$$\text{Int} = 4,17\text{mm}$$

## 2.8. Modelo de Linsley, Kohler, y Paulhus (1949).

Linsley, Kohler y Paulhus (1949) propusieron un cambio en la ecuación de Horton porque la lluvia no siempre llena por completo el almacenamiento disponible, además sugirieron que la curva de la intercepción de la precipitación tomara forma exponencial a medida de que aumenta la precipitación dada una duración constante. La intercepción pasó a describirse como:

$$\text{Int} = \left( S_d + \left( \frac{A_v}{A} \right) E T \right) (1 - e^{-a P})$$

Donde:

Int: Es la pérdida de intercepción total en milímetros de profundidad sobre el área proyectada del dosel.

S<sub>d</sub>: Es el agua almacenada en la vegetación en milímetros sobre el área proyectada del dosel.

A<sub>v</sub>/A: Es la relación del área superficial de la vegetación al área proyectada del dosel.

E: Es la tasa de evaporación en milímetros por hora durante la tormenta.

T: Es la duración de la tormenta en horas.

P: Es la precipitación total.

a: Es una constante la cual tiene que ver con un porcentaje de pérdida por intercepción para el total de la precipitación por evento, Linsley, Kohler y Paulhus consideraron esta constante como 0,25 la cual significa un 25% de pérdida de intercepción con respecto a la precipitación (ver libro Efecto de la estructura de la copa en la partición de lluvia de Eva García. Pág. 244).

## EJERCICIOS

- 1) En un terreno el cual 60% de su área está cubierta por pastos cuya altura es de 30 cm aproximadamente y la tasa de evaporación para el mes de enero es de 2,667mm/hora. Determinar la pérdida por intercepción para los siguientes eventos: A) 10mm de precipitación total en una tormenta de 6 horas; B) 6,43mm de precipitación total en una tormenta de 4,5 horas y C) 2,58mm de precipitación total en una tormenta de 2 horas.

R. Primero es necesario ordenar la data que se da en el ejercicio, se tiene un 60% del área del terreno la cual está cubierta por pastos, esto significa que el factor  $A_v/A = 0,60$  debido a que ese es el porcentaje del área de la vegetación con respecto al área total del terreno. También el ejercicio indica que la tasa de evaporación corresponde al mes de enero, es normal ver distintas tasas de evaporación ya que las condiciones climáticas no van a ser iguales en todo el año, lo normal es que se presenten variaciones con respecto a las estaciones del año, se cuenta con 3 eventos de precipitación, lo que significa que se tendrá que calcular la pérdida por intercepción para 3 eventos.

Evento A:

$$S_d = 1,67 * h$$

$$A_v/A = 0,60$$

$$E = 2,667 \text{ mm/hora}$$

$$T = 6 \text{ Horas}$$

$$P_d = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Int} = (1,67 \cdot 0,30 \text{ mts} + (0,60) \cdot 2,667 \text{ mm/hora} \cdot 6 \text{ horas}) \cdot (1 - e^{-0,25 \cdot 10 \text{ mm}})$$

$$\text{Int} = 9,27 \text{ mm}$$

Evento B:

$$S_d = 1,67 * h$$

$$Av/A = 0,60$$

$$E = 2,667\text{mm/hora}$$

$$T = 4,5 \text{ Horas}$$

$$Pd = 6,43 \text{ mm}$$

$$Int = (1,67 \cdot 0,30\text{mts} + (0,60) \cdot 2,667\text{mm/hora} \cdot 4,5\text{horas}) \cdot (1 - e^{-0,25 \cdot 6,43\text{mm}})$$

$$Int = 6,16\text{mm}$$

Evento C:

$$Sd = 1,67 \cdot h$$

$$Av/A = 0,60$$

$$E = 2,667\text{mm/hora}$$

$$T = 2 \text{ Horas}$$

$$Pd = 2,58\text{mm}$$

$$Int = (1,67 \cdot 0,30\text{mts} + (0,60) \cdot 2,667\text{mm/hora} \cdot 2\text{horas}) \cdot (1 - e^{-0,25 \cdot 2,58\text{mm}})$$

$$Int = 1,76\text{mm}$$

- 2) En un terreno el cual 54% de su área está cubierta por huertos, se desarrollo el siguiente estudio:

Mes	Precipitación Promedio	Tasa de Evaporación	Duración Promedio
Enero	4,81 mm	1,00 mm/hora	4,50 horas
Febrero	4,95 mm	1,41 mm/hora	6,00 horas
Marzo	0,53 mm	2,53 mm/hora	2,00 horas
Abril	0,79 mm	3,73 mm/hora	2,50 horas
Mayo	0,23 mm	5,23 mm/hora	1,00 horas
Junio	0,00 mm	6,12 mm/hora	0,00 horas
Julio	0,00 mm	6,35 mm/hora	0,00 horas
Agosto	0,00 mm	5,71 mm/hora	0,00 horas
Septiembre	0,00 mm	4,89 mm/hora	0,00 horas
Octubre	0,43 mm	3,20 mm/hora	2,00 horas

Noviembre	0,84 mm	1,74 mm/hora	3,50 horas
Diciembre	4,84 mm	0,94 mm/hora	8,00 horas

Se pide determinar las pérdidas por interceptación para cada mes

Nota: Cabe destacar 2 aspectos importantes a) Las tasas de evaporación aumentan en periodos secos debido a las altas temperaturas b) Si en un periodo de tiempo determinado no ocurrió precipitación, la pérdida por interceptación es nula.

Dato fijo del ejercicio:

$S_d = 1,02$

$$Int_i = (1,02 + (0,54) E_i T_i) (1 - e^{-a P_i})$$

Una vez calculadas las pérdidas por interceptación mensuales se proceden a colocarse en otra columna en la misma tabla de datos.

Mes	Precipitación Promedio	Tasa de Evaporación	Duración Promedio	Perdida por Interceptación
Enero	4,81 mm	1,00 mm/hora	4,50 horas	2,41 mm
Febrero	4,95 mm	1,41 mm/hora	6,00 horas	3,97 mm
Marzo	0,53 mm	2,53 mm/hora	2,00 horas	0,47 mm
Abril	0,79 mm	3,73 mm/hora	2,50 horas	1,09 mm
Mayo	0,23 mm	5,23 mm/hora	1,00 horas	0,21 mm
Junio	0,00 mm	6,12 mm/hora	0,00 horas	0,00 mm
Julio	0,00 mm	6,35 mm/hora	0,00 horas	0,00 mm
Agosto	0,00 mm	5,71 mm/hora	0,00 horas	0,00 mm
Septiembre	0,00 mm	4,89 mm/hora	0,00 horas	0,00 mm
Octubre	0,43 mm	3,20 mm/hora	2,00 horas	0,46 mm
Noviembre	0,84 mm	1,74 mm/hora	3,50 horas	0,82 mm
Diciembre	4,84 mm	0,94 mm/hora	8,00 horas	3,57 mm

## 2.9. Modelo de Meriam (1960).

Meriam (1960) propuso que el factor exponencial se aplica solo al almacenamiento. Él razonó que solo la acumulación inicial de agua almacenada es exponencial y no la evaporación durante una tormenta.

$$\text{Int} = Sd \left( 1 - e^{-P/Sd} \right) + \left( \frac{Av}{A} E T \right)$$

Se procederá a verificar las variaciones entre el método de Meriam con respecto al modelo de Linsley, Kohler y Paulhus.

### EJERCICIOS

- 1) En un terreno el cual 60% de su área está cubierta por pastos cuya altura es de 30 cm aproximadamente y la tasa de evaporación para el mes de enero es de 2,667mm/hora. Determinar la pérdida por intercepción para los siguientes eventos: A) 10mm de precipitación total en una tormenta de 6 horas; B) 6,43mm de precipitación total en una tormenta de 4,5 horas y C) 2,58mm de precipitación total en una tormenta de 2 horas.

Evento A:

$$Sd = 1,67 * h = 0,501 \text{mm}$$

$$Av/A = 0,60$$

$$E = 2,667 \text{mm/hora}$$

$$T = 6 \text{ Horas}$$

$$Pd = 10 \text{mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Int} &= 0,501 \text{mm} \left( 1 - e^{-10 \text{mm}/0,501 \text{mm}} \right) \\ &+ (0,6 \cdot 2,667 \text{mm/hora} \cdot 6 \text{Horas}) \end{aligned}$$

$$\text{Int} = 10,10 \text{mm}$$

Evento B:

$$S_d = 1,67 * h = 0,501 \text{ mm}$$

$$A_v/A = 0,60$$

$$E = 2,667 \text{ mm/hora}$$

$$T = 4,5 \text{ Horas}$$

$$P_d = 6,43 \text{ mm}$$

$$\text{Int} = 0,501 \text{ mm} \left( 1 - e^{-6,43 \text{ mm}/0,501 \text{ mm}} \right) + (0,6 \cdot 2,667 \text{ mm/hora} \cdot 4,5 \text{ Horas})$$

$$\text{Int} = 7,70 \text{ mm}$$

Evento C:

$$S_d = 1,67 * h = 0,501 \text{ mm}$$

$$A_v/A = 0,60$$

$$E = 2,667 \text{ mm/hora}$$

$$T = 2 \text{ Horas}$$

$$P_d = 2,58 \text{ mm}$$

$$\text{Int} = 0,501 \text{ mm} \left( 1 - e^{-2,58 \text{ mm}/0,501 \text{ mm}} \right) + (0,6 \cdot 2,667 \text{ mm/hora} \cdot 2 \text{ Horas})$$

$$\text{Int} = 3,70 \text{ mm}$$

- 2) En un terreno el cual 54% de su área está cubierta por huertos, se desarrollo el siguiente estudio:

Mes	Precipitación Promedio	Tasa de Evaporación	Duración Promedio
Enero	4,81 mm	1,00 mm/hora	4,50 horas
Febrero	4,95 mm	1,41 mm/hora	6,00 horas
Marzo	0,53 mm	2,53 mm/hora	2,00 horas
Abril	0,79 mm	3,73 mm/hora	2,50 horas
Mayo	0,23 mm	5,23 mm/hora	1,00 horas
Junio	0,00 mm	6,12 mm/hora	0,00 horas
Julio	0,00 mm	6,35 mm/hora	0,00 horas
Agosto	0,00 mm	5,71 mm/hora	0,00 horas
Septiembre	0,00 mm	4,89 mm/hora	0,00 horas

Octubre	0,43 mm	3,20 mm/hora	2,00 horas
Noviembre	0,84 mm	1,74 mm/hora	3,50 horas
Diciembre	4,84 mm	0,94 mm/hora	8,00 horas

Se pide determinar las pérdidas por intercepción para cada mes

Mes	Precipitación Promedio	Tasa de Evaporación	Duración Promedio	Perdida por Intercepción
Enero	4,81 mm	1,00 mm/hora	4,50 horas	3,44 mm
Febrero	4,95 mm	1,41 mm/hora	6,00 horas	5,58 mm
Marzo	0,53 mm	2,53 mm/hora	2,00 horas	3,15 mm
Abril	0,79 mm	3,73 mm/hora	2,50 horas	5,59 mm
Mayo	0,23 mm	5,23 mm/hora	1,00 horas	3,03 mm
Junio	0,00 mm	6,12 mm/hora	0,00 horas	0,00 mm
Julio	0,00 mm	6,35 mm/hora	0,00 horas	0,00 mm
Agosto	0,00 mm	5,71 mm/hora	0,00 horas	0,00 mm
Septiembre	0,00 mm	4,89 mm/hora	0,00 horas	0,00 mm
Octubre	0,43 mm	3,20 mm/hora	2,00 horas	3,81 mm
Noviembre	0,84 mm	1,74 mm/hora	3,50 horas	3,86 mm
Diciembre	4,84 mm	0,94 mm/hora	8,00 horas	5,07 mm

Como se puede observar, en el método de Meriam los valores de las pérdidas por intercepción son mayores.

## 2.10. Modelo de Rutters (1971).

El modelo de Rutters representa el proceso de intercepción mediante un balance de agua, de tal forma que hay una entrada de lluvia, un posterior almacenamiento y una salida final en forma de drenaje y evaporación. Las

intensidades de drenaje y evaporación dependen de la cantidad de agua almacenada en el dosel, que varía a lo largo del evento, y se estiman a partir de variables y parámetros tanto meteorológicos como de la masa forestal.

El modelo estima la trascolación, escorrentía cortical e interceptación a partir de la precipitación incidente y la evaporación en el dosel y en el fuste, basándose en un cálculo del balance de agua en el dosel y el fuste, donde R es la intensidad de lluvia, D es el drenaje del dosel, Ec es la intensidad de evaporación de agua interceptada por el dosel, C es el cambio en el almacenamiento del dosel, Sf es la escorrentía cortical, Et es la intensidad de evaporación del agua interceptada por el fuste y Ct es el cambio en el almacenamiento del fuste.

La precipitación incidente se divide en tres componentes principales: trascolación libre, siendo ésta el producto de un coeficiente de trascolación (p) por la precipitación; precipitación que incide en el fuste, calculada como el producto de un parámetro que representa la proporción de lluvia que se desvía hacia el tronco (pt) por la precipitación, de modo que, cuando la cantidad de agua que incide en el fuste (Ct) supera a la capacidad de almacenamiento del mismo (St), se produce un nuevo flujo denominado escorrentía cortical (Sf); por último, la cantidad de lluvia que incide en el dosel (C) es calculada por diferencia entre la precipitación incidente y los componentes ya descritos  $(1 - p - pt) \cdot R$ . Al igual que en el caso del fuste, cuando la cantidad de lluvia que incide en el dosel supera la capacidad de almacenamiento del mismo (S) se produce el drenaje del dosel el cual, junto con la trascolación libre constituye la trascolación total. La

la evaporación desde los troncos con la existente en el dosel.

Basándose en ecuaciones físicas, que utilizan como datos de entrada la lluvia y variables meteorológicas que controlan la evaporación, para calcular un balance variable de una superficie arbórea de estructura conocida y el cual conduce a una estimación de la pérdida por interceptación establecida de este modo:

$$I = E + R - T$$

$$T = p \cdot R + D$$

Donde:

I: Perdida por intercepción.

R: Intensidad total de la lluvia.

T: Transcolación libre.

p: Coeficiente de Trascolación  
Total del agua drenada.

Con esto, el balance de agua de la cubierta para cualquier periodo de tiempo dentro de una lluvia lo define como:

$$(1 - p - pt) R = Sf + \int Et + \int Ct$$

Donde:

p: Coeficiente de Trascolación.

pt: Proporción de lluvia que se desvía hacia el tronco.

R: Intensidad total de la lluvia.

Sf: Escorrentía cortical.

Et: Evaporación desde el fuste.

Ec: Evaporación desde el dosel

Evaporación desde el dosel

$$Ec = Ep \frac{C}{S} \quad (\text{Si } S > C)$$

$$Ec = Ep \quad (\text{Si } S \leq C)$$

Donde:

$$C = (1 - p - pt) * R$$

C: Cantidad de lluvia que incide en el dosel

S: Capacidad de almacenamiento del dosel

Cuando se conoce la temperatura de la superficie:

$$E_p = \frac{c (e_s(T) - e_d)}{r_a}$$

Cuando no se conoce la temperatura de la superficie:

$$E_p = \frac{s R_n + c (e_a(T) - e_d)/r_a}{(s + )}$$

Cuando se conoce la temperatura de la superficie y la temperatura del aire:

$$E_p = \frac{s R_n + c ([e_a(T) - e_s(T)]/r_a)}{(s + )}$$

Donde:

$E_p$ : Evaporación potencial.

$s$ : Cambio de la presión de vapor del agua con la temperatura (mbar/°C).

$e_s(T)$ : Presión de vapor del agua a la temperatura de la superficie (mbar).

$e_a(T)$ : Presión de vapor del agua a la temperatura del aire (mbar).

$e_d$ : Presión de vapor del agua al punto de temperatura de rocío (mbar).

$c$ : Producto de la densidad y del calor específico del aire seco.

$c = (2,9 \times 10^{-4} \text{ cal/cm}^3 \text{ } ^\circ\text{C})$ .

3).

$R_n$ : Radiación neta (cal/cm<sup>2</sup>).

$r_a$ : Resistencia aerodinámica (seg\*m<sup>-1</sup>).

Presión de vapor del agua							
°C	mbar	°C	mbar	°C	mbar	°C	mbar
0	6,1121	14	15,9891	28	37,8309	42	82,0999
1	6,5709	15	17,0586	29	40,0914	43	86,5076
2	7,0597	16	18,1875	30	42,4704	44	91,1290
3	7,5808	17	19,3837	31	44,9696	45	95,9495
4	8,1352	18	20,6467	32	47,5969	46	101,0003
5	8,7258	19	21,9835	33	50,3545	47	106,2699
6	9,3532	20	23,3926	34	53,2516	48	111,7772
7	10,0210	21	24,8819	35	56,2900	49	117,5197
8	10,7294	22	26,4530	36	59,4812	50	123,5269

9	11,4831	23	28,1110	37	62,8228	51	129,7800
10	12,2814	24	29,8578	38	66,3313	52	136,3201
11	13,1230	25	31,6987	39	70,0022	53	143,1216
12	14,0278	26	33,6389	40	73,8530		
13	14,9814	27	35,6811	41	77,8776		

Tabla 1. Presión del agua a distintas temperaturas

Fuente: [http://www.vaxasoftware.com/doc\\_edu/qui/pvh2o.pdf](http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/qui/pvh2o.pdf)

$$r_a = \frac{\left[ \text{Ln} \left\{ \frac{Z_m - D}{Z_{om}} \right\} \right] \left[ \text{Ln} \left\{ \frac{Z_h - D}{Z_{oh}} \right\} \right]}{K^2 z}$$

Donde:

$r_a$ : Resistencia aerodinámica ( $\text{seg} \cdot \text{m}^{-1}$ ).

$Z_m$ : Altura desde donde se mide la velocidad de viento (m).

$D$ : Altura del plano de desplazamiento cero, definido como la altura aparente en la que se puede considerar que se ejerce todo el esfuerzo debido al arrastre por el viento (m).

$Z_{om}$ : Longitud de rugosidad, un parámetro con dimensiones de longitud que gobierna la transferencia de cantidad de movimiento, o lo que es lo mismo el efecto de arrastre (m).

$Z_h$ : Altura desde donde se mide la humedad (m).

$Z_{oh}$ : Longitud de rugosidad, un parámetro con dimensiones de longitud que gobierna la transferencia de calor sensible y flujo de vapor de agua (m).

$K$ : Constante de von Karman, adimensional = 0,41.

$z$ : Velocidad del viento a la altura  $z$  (m).

Para el caso de muchos cultivos, especialmente aquellos que presentan superficies relativamente homogéneas los conceptos de altura del plano de desplazamiento cero y los parámetros de longitud de rugosidad para la transferencia de cantidad de movimiento y para la transferencia de calor sensible y flujo de vapor de agua se pueden estimar desde la altura de cultivo  $h$ , mediante las siguientes relaciones propuestas por Allens et al (1998).

$$D = \frac{2}{3} h$$

$$Z_{om} = 0,123 \text{ h}$$

$$Z_{oh} = 0,1 \text{ h}$$

Evaporación desde el fuste

$$Et = Ep \frac{C_t}{S_t} \quad (\text{Si } S_t > C_t)$$

$$Et = Ep \quad (\text{Si } S_t < C_t)$$

Rutter et al (1975) considera que la evaporación desde los troncos (fuste) es

Donde:

$$= (0,01 \text{ a } 0,10).$$

$$C_t = p_t * R$$

S<sub>t</sub>: Capacidad de almacenamiento en el fuste.

C<sub>t</sub>: Cantidad de lluvia que incide en el fuste.

Atravesamiento libre (Escorrentía y drenaje)

$$Cl = p * R$$

Cl: cantidad de lluvia que recorre libremente la superficie del terreno (Precipitación directa).

$$D = D_s e^{b (C-S)}$$

$$D_s = \frac{0,0019 S}{1,05}$$

$$b = \frac{3,7 - 1,05}{S}$$

Donde:

D<sub>s</sub>: Tasa de drenaje.

b: Coeficiente empírico. Basado en las diferencias en el espesor del almacenamiento y a la ventilación de las áreas expuestas.

C: Cantidad de lluvia que incide en el dosel.

S: Capacidad de almacenamiento del dosel.

Escorrentía cortical

$$Sf = 0 \quad (\text{Si } S_t > C_t)$$

$$Sf = (C_t - S_t) (Si - S_t - C_t)$$

Valores estimados de los parámetros para las especies Pinus pinea y Cistus ladanifer

Parámetro	Pinus pinea (Pino piñonero)	Cistus ladanifer (Jara pringosa)
Coefficiente de Trascolución (p)	0,26	0,62
Capacidad de almacenamiento del dosel (S) (mm)	3,24	0,9
Proporción de lluvia que se desvía hacia el tronco (pt)	0,004	0,18
Capacidad de almacenamiento en el fuste (St) (mm)	0,01	0,09

Tabla 2. Valores estimados de los parámetros para las especies Pinus pinea y Cistus ladanifer.

Fuente: Arellano, Moreno Pérez, Roldán Cañas (2015). Departamento de Agronomía. Área de Ingeniería Hidráulica. Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales.

#### EJERCICIO

De un estudio realizado en Ocumare de la costa de oro – Edo. Aragua, para plantaciones de cacao, conuco y bosque tropical semidecicuo se obtuvo la siguiente data:

Para bosque:

$$p = 0,65$$

$$pt = 0,05$$

$$Z_m = 8,5 \text{ mts}$$

$$Z_h = 8 \text{ mts}$$

$$h = 10,5 \text{ mts}$$

$$S = 1,2 \text{ mm}$$

$$St = 0,02 \text{ mm}$$

Para cacao:

$$P = 0,74$$

$$Pt = 0,03$$

$$Z_m = 1 \text{ mt}$$

$$Z_h = 1,2 \text{ mts}$$

$$h = 1,4 \text{ mts}$$

$$S = 1 \text{ mm}$$

$$St = 0,05 \text{ mm}$$

Para conuco:

$$p = 0,95$$

$$pt = 0,01$$

$$Z_m = 0,60 \text{ mts}$$

$$Z_h = 0,60 \text{ mts}$$

$$h = 0,8 \text{ mts}$$

$$S = 0,2 \text{ mm}$$

$$St = 0,07 \text{ mm}$$

Calcular las pérdidas por infiltración para el siguiente evento ocurrido el día  
29/08/2017:

$$R = 3,6 \text{ mm/hr}$$

$$z = 1,6 \text{ mts/seg}$$

$$R_n = 79,5 \text{ cal/cm}^2$$

$$T_s = 24 \text{ C}^\circ$$

$$T_a = 23,2 \text{ C}^\circ$$

Paso 1: Cálculos de los valores de la fórmula de evaporación potencial:

$$e_s(T) = 29,8578 \text{ mbar (tabla)}$$

$$e_a(T) = 28,46035 \text{ mbar (tabla, interpolación)}$$

$$s = 1,7468 \text{ mbar/C}^\circ$$

Para bosque

$$D = \frac{2}{3} \text{ h} \quad D = 7 \text{ mts}$$

$$Z_{om} = 0,123 \text{ h} \quad Z_{om} = 1,2915 \text{ mts}$$

$$Z_{oh} = 0,1 \text{ h} \quad Z_{oh} = 1,05 \text{ mts}$$

$$r_a = \frac{\left[ \text{Ln} \left\{ \frac{8,5-7}{1,2915} \right\} \right]}{0,41^2} \frac{\left[ \text{Ln} \left\{ \frac{8-7}{1,05} \right\} \right]}{1,6} \quad r_a = 0,02714892$$

Para cacao

$$D = \frac{2}{3} h \quad D = 0,93\text{mt}$$

$$Z_{om} = 0,123 h \quad Z_{om} = 0,1722 \text{ mts}$$

$$Z_{oh} = 0,1 h \quad Z_{oh} = 0,14\text{mts}$$

$$r_a = \frac{\left[ \text{Ln} \left\{ \frac{1-0,93}{0,1722} \right\} \right]}{0,41^2} \frac{\left[ \text{Ln} \left\{ \frac{1,2-0,93}{0,14} \right\} \right]}{1,6} \quad r_a = 2,198124458$$

Para conuco

$$D = \frac{2}{3} h \quad D = 0,53\text{mt}$$

$$Z_{om} = 0,123 h \quad Z_{om} = 0,0984 \text{ mts}$$

$$Z_{oh} = 0,1 h \quad Z_{oh} = 0,08\text{mts}$$

$$r_a = \frac{\left[ \text{Ln} \left\{ \frac{0,60-0,53}{0,0984} \right\} \right]}{0,41^2} \frac{\left[ \text{Ln} \left\{ \frac{0,60-0,53}{0,08} \right\} \right]}{1,6} \quad r_a = 0,169071695$$

Paso 2: Cálculos de evaporación potencial:

Nota: Los resultados de las evaporaciones potenciales suelen ser parecidos, a menos que las resistencias aerodinámicas varíen mucho.

Cuando se conoce la temperatura de la superficie y la temperatura del aire:

$$E_p = \frac{s \quad R_n + c \quad ([e_a(T) \quad e_s(T)]) / r_a}{(s + )}$$

Para bosque

$$E_p = 0,0978 \text{ mm/hr}$$

Para cacao

$$E_p = 0,0978 \text{ mm/hr}$$

Para conuco

$$E_p = 0,0978 \text{ mm/hr}$$

Paso 3: Cálculos de evaporación desde el dosel:

Para bosque

$$C = (1 - 0,65 - 0,05) * 3,6$$

$$C = 1,08 \text{ mm}$$

$$S = 1,2 \text{ mm}$$

$$E_c = E_p \frac{C}{S} \quad (\text{Si } S > C)$$

$$E_c = 0,088$$

Para cacao

$$C = (1 - 0,74 - 0,03) * 3,6$$

$$C = 0,828 \text{ mm}$$

$$S = 1 \text{ mm}$$

$$E_c = E_p \frac{C}{S} \quad (\text{Si } S > C)$$

$$E_c = 0,081$$

Para conuco

$$C = (1 - 0,95 - 0,01) * 3,6$$

$$C = 0,144 \text{ mm}$$

$$S = 0,2 \text{ mm}$$

$$E_c = E_p \frac{C}{S} \quad (\text{Si } S > C)$$

$$E_c = 0,070$$

Paso 4: Cálculos de evaporación desde el fuste y escorrentía cortical:

$$= 0,05 \text{ según estudio}$$

Para bosque

$$C_t = (0,05) * 3,6$$

$$C_t = 0,18 \text{ mm}$$

$$S_t = 0,02 \text{ mm}$$

$$E_t = E_p (S_t - C_t)$$

$$E_t = 0,00489$$

$$S_f = (C_t - S_t) (S_t - C_t)$$

$$S_f = 0,16 \text{ mm}$$

Para cacao

$$C_t = (0,03) * 3,6$$

$$C_t = 0,108 \text{ mm}$$

$$S_t = 0,05 \text{ mm}$$

$$E_t = E_p (S_t - C_t)$$

$$E_t = 0,00489$$

$$S_f = (C_t - S_t) (S_t - C_t)$$

$$S_f = 0,058 \text{ mm}$$

Para conuco

$$C_t = (0,01) * 3,6$$

$$C_t = 0,036 \text{ mm}$$

$$S_t = 0,07 \text{ mm}$$

$$E_t = E_p \frac{C_t}{S_t} (S_t > C_t)$$

$$Et = 0,00251$$

$$Sf = 0 \quad (\text{Si } S_t > C_t)$$

$$Sf = 0$$

Paso 5: Cálculos de Atravesamiento libre:

Para bosque

$$Cl = 0,65 * R$$

$$Cl = 2,34 \text{ mm (Transcolación libre).}$$

$$D_s = \frac{0,0019 \cdot 1,2}{1,05} \quad D_s = 0,00217$$

$$b = \frac{3,7 \cdot 1,05}{1,2} \quad b = 3,2375$$

$$D = 0,00217 \cdot e^{3,2375 \cdot (1,08 - 1,2)} \quad D = 0,00147$$

Para cacao

$$Cl = 0,74 * R$$

$$Cl = 2,664 \text{ mm (Transcolación libre).}$$

$$D_s = \frac{0,0019 \cdot 1}{1,05} \quad D_s = 0,00181$$

$$b = \frac{3,7 \cdot 1,05}{1} \quad b = 3,885$$

$$D = 0,00181 \cdot e^{3,885 \cdot (0,828 - 1)} \quad D = 0,00093$$

Para conuco

$$Cl = 0,95 * R$$

$$Cl = 3,42 \text{ mm (Transcolación libre).}$$

$$D_S = \frac{0,0019 \cdot 0,2}{1,05} \quad D_S = 0,00036$$

$$b = \frac{3,7 \cdot 1,05}{0,2} \quad b = 19,425$$

$$D = 0,00036 \cdot e^{19,425 \cdot (0,144 - 0,2)} \quad D = 0,00012$$

Paso 6: Cálculos de pérdida por intercepción:

Para bosques:

$$I = R - T$$

$$I = 3,6 - 2,34$$

$$I = 1,26$$

$$I = 35\%$$

Para cacao:

$$I = R - T$$

$$I = 3,6 - 2,664$$

$$I = 0,936$$

$$I = 26\%$$

Para conuco:

$$I = R - T$$

$$I = 3,6 - 3,42$$

$$I = 0,18$$

$$I = 5\%$$

## EJERCICIOS DE INTERCEPCIÓN

Calcular según el método que usted considere prudente, la pérdida por intercepción:

40% de zona de cubierta herbácea con respecto al área total,  
Precipitación = 1,47mm, tasa de evaporación = 3,5mm/hora,  
Duración de la tormenta = 5 horas.

Terreno de 200Ha el cual aproximadamente 65Ha están cubiertas por pastos de altura = 25cm, Precipitación = 3,5mm.

Calcular las pérdidas por intercepción para duraciones de tormentas de 2 a 4 horas para un terreno cuyo  $S_d = 1,02\text{mm}$ ,  $A_v/A = 0,55$ ,  $P = 10\text{mm}$  y  $E = 1,55\text{mm/hora}$ .

Para un el siguiente estudio determinar las pérdidas por intercepción para cada mes, considere 3 casos, (1)  $A_v/A = 0,30$ , (2)  $A_v/A = 0,45$  y (3)  $A_v/A = 0,60$ .

Mes	Precipitación Promedio	Tasa de Evaporación	Duración Promedio
Enero	3,15 mm	0,98 mm/hora	4,00 horas
Febrero	3,80 mm	1,03 mm/hora	2,50 horas
Marzo	4,70 mm	0,87 mm/hora	3,50 horas
Abril	1,79 mm	2,15 mm/hora	6,50 horas
Mayo	1,05 mm	2,47 mm/hora	5,00 horas
Junio	0,84mm	3,02 mm/hora	1,50 horas
Julio	0,32 mm	2,98 mm/hora	1,00 hora
Agosto	0,00 mm	3,48 mm/hora	0,00 horas
Septiembre	0,00 mm	2,89 mm/hora	0,00 horas
Octubre	0,98 mm	1,70 mm/hora	2,00 horas
Noviembre	2,15 mm	1,01 mm/hora	3,50 horas
Diciembre	4,30 mm	0,80 mm/hora	6,00 horas

Calcular las pérdidas por infiltración para el siguiente evento ocurrido el día 12/04/2018, para ello se cuenta con la siguiente data:

$R = 2,8 \text{ mm/hr}$ ,  $z = 1,2 \text{ mts/seg}$ ,  $R_n = 102,9 \text{ cal/cm}^2$ ,  $T_s = 29 \text{ C}^\circ$ ,  $T_a = 22 \text{ C}^\circ$ .  
 $p = 0,58$ ,  $p_t = 0,06$ ,  $Z_m = 4,5 \text{ mts}$ ,  $Z_h = 3,2 \text{ mts}$ ,  $h = 6 \text{ mts}$ ,  $S = 1,2 \text{ mm}$  y  
 $St = 0,04 \text{ mm}$ .

## RESUMEN DE MODELOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA INTERCEPCIÓN

Información requerida según el Modelo de intercepción										
Tipos de Modelo	Tipo de vegetación	Área de la superficie de la cuenca y área de vegetación	Tasa de evaporación	Duración de la tormenta	Intensidad de la lluvia	Precipitación directa	Escorrentía superficial	Información detallada de las partes de la vegetación (Tronco, Dosel y Fuste)	Presión de vapor	Radiación neta
Modelo de Horton según el área proyectada					---	---	---	---	---	---
Modelo de Horton según el tipo de vegetación		---	---	---	---		---	---	---	---
Modelo de Linsley, Kohler, y Paulhus					---		---	---	---	---
Modelo de Meriam					---		---	---	---	---
Modelo de Rutters		---								

Fuente: Casal y Celis (2018).

## **CAPÍTULO III**

### **INFILTRACIÓN**

#### 3.1 ¿Qué es la infiltración?

La infiltración es el proceso por el cual el agua en la superficie de la tierra entra en el suelo. La infiltración es causada por dos fuerzas: la gravedad y la acción capilar. Mientras que los poros más pequeños ofrecen una mayor resistencia a la gravedad, los poros muy pequeños extraen el agua a través de la acción capilar además e incluso contra la fuerza de la gravedad.

La tasa de infiltración está determinada por las características del suelo, incluida la facilidad de entrada, la capacidad de almacenamiento y la velocidad de transmisión a través del suelo. La textura y la estructura del suelo, los tipos de vegetación y la cobertura, el contenido de agua del suelo, la temperatura del suelo y la intensidad de la lluvia juegan un papel importante en el control de la tasa de infiltración y la capacidad. Por ejemplo, los suelos arenosos de grano grueso tienen grandes espacios entre cada grano y permiten que el agua se infiltre rápidamente. La vegetación crea suelos más porosos al proteger el suelo del impacto de la gota de lluvia, que puede cerrar las brechas naturales entre las partículas del suelo, aflojando el suelo a través de la acción de la raíz y potenciando la presencia de organismos del suelo como termitas, gusanos y pequeños mamíferos que tienen un impacto directo en las densidades del suelo. Esta es la razón por la cual las áreas boscosas tienen las tasas de infiltración más altas de cualquier tipo vegetativo.

La capa superior de hojarasca que no se descompone protege al suelo de la acción de la lluvia; sin esto, el suelo puede volverse mucho menos permeable. En las áreas con vegetación de chaparral, los aceites hidrofóbicos en las hojas suculentas se pueden extender sobre la superficie del suelo con fuego, creando grandes áreas de suelo hidrofóbico. Otras condiciones que pueden reducir las tasas de infiltración o bloquearlas incluyen la cama seca de la planta que resiste la re humectación o las heladas. Si el suelo está saturado en el momento de un período

de congelación intenso, el suelo puede convertirse en una escarcha de concreto sobre la cual casi no se produciría infiltración. En toda una cuenca hidrográfica, es probable que existan lagunas en las heladas de concreto o suelos higroscópicos donde el agua podría infiltrarse.

Una vez que el agua se ha infiltrado en el suelo, permanece en el suelo, se filtra hasta la capa freática subterránea o se convierte en parte del proceso de escorrentía subsuperficial (Percolación).

El proceso de infiltración puede continuar solo si hay espacio disponible para agua adicional en la superficie del suelo. El volumen disponible para agua adicional en el suelo depende de la porosidad del suelo y la velocidad a la que el agua previamente infiltrada puede alejarse de la superficie a través del suelo. La tasa máxima que el agua puede ingresar en un suelo en una condición dada es la capacidad de infiltración. Si la llegada del agua a la superficie del suelo es inferior a la capacidad de infiltración, a veces se analizaron utilizando modelos de transporte de hidrología, modelos matemáticos que tienen en cuenta la infiltración, escorrentía y el flujo de canal para predecir caudal de los ríos y arroyos de la calidad del agua.

La tasa máxima a la que el agua puede entrar en un suelo se conoce como capacidad de infiltración. Si la llegada del agua a la superficie del suelo es menor que la capacidad de infiltración, toda el agua se infiltrará. Si la intensidad de precipitación en la superficie del suelo ocurre a una tasa que excede la capacidad de infiltración, el agua comienza a estancarse y se produce la escorrentía sobre la superficie de la tierra, una vez que la cuenca de almacenamiento está llena.

La infiltración es un fenómeno de tres procesos independientes complejos y sólo parcialmente comprendidos: el paso del agua de la superficie al interior del suelo, el movimiento a través del perfil debido al gradiente de humedad en la zona de aireación y el movimiento debido a la succión por parte de las plantas del agua contenida en los espacios porosos del suelo. Esos procesos dependen de las variables que determinan el estado del sistema hidrológico; es decir, de la intensidad y duración de las precipitaciones, condiciones antecedentes de

humedad, características físicas e hidráulicas del suelo, estado de la superficie del suelo, cobertura vegetal, composición mecánica del suelo y de la intervención del hombre; por lo que no es posible obtener una expresión única para toda una unidad taxonómica de suelo debido a la falta de uniformidad.

La infiltración es, por tanto, un proceso que siempre posee un interés científico y que sigue siendo modelado por parte de los profesionales dedicados a los recursos de agua y suelo y las ciencias del agro, debido a su papel fundamental en la hidrología superficial y subterránea y la agricultura de riego; su magnitud se cuantifica por medio de parámetros que se estiman usando diferentes tipos de modelos.

Desde el punto de vista hidrológico, la infiltración se considera como una pérdida o abstracción, muy importante durante una tormenta; es decir, representa una parte de la porción de lluvia que no escurre, humedece al suelo en la zona de aireación y alimenta al flujo subterráneo por percolación profunda; su magnitud varía con el estado del sistema hidrológico, desde un porcentaje muy bajo para condiciones altamente impermeables hasta valores cercanos al 100 por ciento para condiciones altamente permeables. La abstracción o pérdida de la lluvia por infiltración durante una tormenta permiten determinar la lluvia efectiva; es decir, la que escurre superficialmente y que va ocasionando la erosión, ya sea laminar, en surcos, causes o cárcavas. En este sentido, desde el punto de vista hidrológico, se considera a la infiltración como un componente de la modelación de la erosión.

### 3.2 Cálculo de la infiltración

Se puede decir que la infiltración es aquella cantidad de agua de precipitación total que no forma parte de la escorrentía superficial ni de la interceptación, para evaluar la interceptación se han seguido diferentes modelos hidrológicos de los cuales en su gran mayoría se estima la tasa de infiltración:

Modelo de Horton (1939), Modelo de Mishra y Singh (2002), Modelo Lineal de Smith y Parlange (1978), Modelo de Philip (1969) y Modelo de Green-Ampt (1919)

Cabe destacar que parámetros de los distintos métodos de cálculo de la infiltración son en general obtenidos por estudios previos realizados de los cuales se puede observar una clara variación en sus parámetros dependiendo del tipo de suelo.

### 3.3 Criterios asumidos según investigaciones previas

Cabe destacar que debido a la gran cantidad de investigaciones realizadas anteriormente, es importante destacar algunos criterios asumidos por los investigadores.

Berndtsson, (1987) encontró que para suelos arcillosos  $f_0$  varía entre (0 y 8950) mm/h;  $f_c$  varía entre (0 y 435 mm/h);  $k$  varía entre (0 y 96)  $h^{-1}$ ;  $s$  varía entre (0 y 525)  $mm/h^{1/2}$ ;  $C$  varía entre (0 y 250) mm/h.

Para suelos que varían desde arcilla hasta arena, Mihra et al., (2003) encontraron los siguientes valores promediados para los parámetros:  $f_0$  varía desde (27,3 hasta 6897,3) mm/h;  $f_c$  desde (0,8 hasta 180,8) mm/h;  $k$  entre (0,6 y 5919,6)  $h^{-1}$ .

Para suelos que varían desde una arena media a gruesa, Ganatche et al., (1996) encontraron los siguientes valores promediados para los parámetros:  $f_0$  varía desde 1124,8 hasta 3518 mm/h;  $f_c$  desde 411 hasta 1793 mm/h;  $k$  entre 34,39 hasta 195,4 ( $h^{-1}$ ).

Mishra et al., (2003) encontraron que: para suelos arcillosos,  $K_s$  varía entre (2,75 y 4,9) mm/h;  $C1$  varía entre (19,55 y 3774)  $mm^2/h$ . Para suelos limosos,  $K_s$  varía entre (13,72 y 47,74) mm/h;  $C1$  varía entre (548,4 y 1741,4)  $mm^2/h$ . Para suelos arenosos,  $K_s$  varía entre (29,525 y 102,98) mm/h;  $C1$  varía entre (388,6 y 1897,5)  $mm^2/h$ .

Mishra (1998); Mishra y Singh (1999) y Tyagi et al., (2008) encontraron para: suelos en una condición saturada,  $S$  varía entre (38,04 y 55,74) mm; suelos en una condición normal,  $S$  varía entre (72,24 y 143,48) mm; suelos en una condición seca,  $S$  varía entre (271,34 y 716,34) mm.

Guevara y Marquez (2009) determinaron que las pruebas de infiltración arrojaron los siguientes valores máximos y mínimos para los tres sectores (Cariaprima, Potrerito y La Paredaña), respectivamente: 1980 y 2 mm/h; 240 y 1 mm/h y 1200 y 2 mm/h. (Rio Chirgua, Venezuela).

### 3.4 Factores que afectan la infiltración

**Porosidad del suelo:** Es la cantidad de vacíos que pueda tener presente la estructura del suelo. Los poros en el suelo se distinguen en: macroscópicos y microscópicos. Los primeros son de notables dimensiones, y están generalmente llenos de aire, en efecto, el agua los atraviesa rápidamente, impulsada por la fuerza de la gravedad. Los segundos en cambio están ocupados en gran parte por agua retenida por las fuerzas capilares. Los terrenos arenosos son ricos en macro poros, permitiendo un rápido pasaje del agua, pero tienen una muy baja capacidad de retener el agua, mientras que los suelos arcillosos son ricos en micro poros, y pueden manifestar una escasa aeración, pero tienen una elevada capacidad de retención del agua.

**Grado de humedad del suelo:** El contenido inicial de humedad en el suelo tiene una gran influencia. Si el terreno está muy seco, a la acción de la gravedad, se une una fuerte tensión capilar con lo que aumenta la Infiltración. A medida que el terreno se humedece se hinchan las arcillas y coloides y se reduce el tamaño de los poros y la capacidad del suelo para infiltrar. Por otra parte, a medida que se alcanza la capacidad de retención del suelo, se admitirá menos cantidad de agua ya que existirá menos gradiente piezométrico y, en consecuencia, menos flujo de entrada.

**Temperatura:** La temperatura afecta de forma directa a la infiltración de 2 formas; a bajas temperaturas puede ocurrir que se produzca congelación del agua, la capa helada impide la posibilidad de la ocurrencia de la infiltración; a altas temperaturas el suelo pasa de un

estado húmedo a un estado seco y se produce por efecto de tensión capilar una alta capacidad de infiltración.

Pendiente del terreno: La pendiente tiene que ver mucho con la posibilidad de que el agua se pueda quedar en un estado estático o de alto movimiento, esto se debe a que el agua se mueve a través de los terrenos por acción de la gravedad, si hay poca pendiente la posibilidad de que el agua se mantenga en estado estático aumenta y la permanencia estática del agua en el terreno favorece la infiltración, ya que se da tiempo para que el agua se infiltre; en cambio si hay pendientes elevadas, el agua recorrería más rápido el terreno causando que la infiltración sea menos favorecida.

Cubierta vegetal: La vegetación favorece la retención del agua, lo que aumenta el tiempo de permanencia del agua en el terreno y, en consecuencia, la infiltración.

Permeabilidad del suelo: Es la propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua, mientras más permeable sea el suelo, mayor será la infiltración. La permeabilidad del suelo suele aumentar por la existencia de fallas, grietas, juntas u otros defectos estructurales.

Conductividad hidráulica: es una propiedad de plantas vasculares, suelos y rocas, que describe la facilidad con la que un fluido (generalmente agua) puede moverse a través de espacios de poro o fracturas. Depende de la permeabilidad intrínseca del material, del grado de saturación y de la densidad y viscosidad del fluido.

### 3.5 Instrumentos usados para la estimación directa de la infiltración

Infiltrómetro de anillo único: Un infiltrómetro de anillo único implica introducir un anillo en el suelo y suministrar agua en el anillo, ya sea con la cabeza constante o con la cabeza caída. Cabeza constante se refiere a la condición donde la cantidad de agua en el anillo siempre se mantiene constante. Debido a que la capacidad de infiltración es la tasa de infiltración máxima, y si la tasa de infiltración excede la capacidad

de infiltración, la consecuencia será la escorrentía, por lo que mantener la carga constante significa que la cantidad de agua suministrada corresponde a la capacidad de infiltración. El suministro de agua se realiza con una botella de Mariotte. La caída de la cabeza se refiere a la condición en la que se suministra agua en el anillo, y el agua se deja caer con el tiempo. El operador registra la cantidad de agua que ingresa al suelo durante un período de tiempo determinado. La tasa de entrada de agua en el suelo está relacionada con la conductividad hidráulica del suelo.



Figura 1. Infiltrómetro de anillo único con botella de Mariotte (Desarmado)

Fuente: Infiltración de efluente industrial respecto de la infiltración de agua.

Buenos Aires., Argentina

Infiltrómetro de doble anillo: Un infiltrómetro de doble anillo requiere dos anillos; un anillo interno y externo. El objetivo es crear un flujo de agua unidimensional desde el anillo interno, ya que el análisis de datos se simplifica. Si el agua fluye en una dimensión en condiciones de estado estable, y una pendiente de la unidad está presente en el suelo subyacente, la tasa de infiltración es aproximadamente igual a la conductividad hidráulica saturada. Un anillo interior se clava en el suelo y un segundo anillo más grande alrededor para ayudar a controlar el flujo de agua a través del primer anillo. El agua se suministra con

una condición constante o de caída de la cabeza, y el operador registra la cantidad de agua que se infiltra desde el anillo interior hacia el suelo durante un período de tiempo determinado. El método estándar de ASTM especifica anillos internos y externos de 30 y 60 cm de diámetro, respectivamente.



Figura 2. Infiltrómetro de doble anillo sin botella de Mariotte (Desarmado)

Fuente: <https://sp.eijkelkamp.com/productos/equipo-de-medici-n-de-campo/infiltrómetro-de-doble-anillo.html>

**Infiltrómetro de mini disco:** El infiltrómetro de mini disco consiste en un tubo de ensayo de 32.7 cm. de longitud y 3.1 cm. de diámetro. En la parte superior se encuentra un tapón de goma con un capilar graduado en centímetros para determinar la succión a utilizar. En su parte inferior posee un disco de acero inoxidable de 4.5 de diámetro y 3mm de grosor. Separado en dos cámaras por una placa de goma, la cámara superior llamada cámara de burbujas controla la succión sobre la superficie de contacto entre el disco y el suelo, su función principal es crear una succión constante sobre la superficie de contacto entre el disco y el suelo. La cámara inferior esta graduada en centímetros y contiene el agua a aplicar en la prueba, posee un tubo mariotte que se comunica con la cámara superior. Para su utilización se llena de agua ambas cámaras tapándose herméticamente con el disco y el tapón de

goma, se coloca verticalmente sobre la superficie del suelo. Previamente se coloca un anillo de plástico de 2mm de grosor relleno de arena de 0.5 mm diámetro, a fin de lograr un buen contacto hidráulico entre el infiltrómetro y el suelo. Una vez hecho esto el agua dentro del tubo fluye y se infiltra dentro del suelo a una tensión igual a la que produce el capilar dentro de la cámara de burbujas de -0.5cm,- 1.0cm hasta -6.0cm de columnas de agua. En el caso de la tensión -0.5 cm la succión es menor, por tanto la fuerza vertical creada entre por la cohesión y la tensión superficial es menor, al ir disminuyendo las tensiones hasta -6.0 cm. la fuerza vertical incrementa.



Figura 3. Infiltrómetro de mini disco

Fuente: <http://www.gisiberica.com/INFILTRÓMETROS/IN001.htm>

Permeámetro de Guelph: El Permeámetro de Guelph es un instrumento fácil de usar para una medida rápida y exacta in - situ de la conductividad hidráulica. La evaluación exacta de suelo del que la conductividad hidráulica, adsorción del suelo, y potencial de flujo matricial puede hacerse en todos los tipos de suelo. El equipo puede ser transportado, montado, y de operativa fácil por una persona. Las medidas pueden hacerse entre 1/2 a 2 horas, según el tipo de suelo, y requerir sólo unos 2.5 litros de agua. Las medidas pueden hacerse en la horquilla de 15 a 75 cm bajo la superficie del suelo. El Permeámetro

de Guelph es un equipo completo que consiste en el permeámetro, trípode de campo, barrena, preparación de la perforación y herramientas de limpieza, contenedor de agua plegable, y bomba de mano de vacío, todos embalados para su transporte. Hay accesorios disponibles para ampliar la capacidad de medida del permeámetro. Los accesorios de profundidad aumentan la profundidad de operación en 80 cm. la profundidad máxima alcanzable es de 315 cm. Los accesorios acopladores de anillos permiten medidas de anillos de diámetro de 10 cm y 20 cm.



Figura 4. Permeámetro de Guelph

Fuente: <http://www.gisiberica.com/INFILTRÓMETROS/GM100.htm>

### 3.6 Modelo de Horton (1939).

Robert E. Horton (1939) sugirió que la capacidad de infiltración rápidamente disminuía durante la fase inicial de una tormenta y luego tendía hacia un valor aproximadamente constante después de un par de horas. El agua antes infiltrada llena los almacenes disponibles y reduce las fuerzas capilares que hacen entrar el agua en los poros. Las partículas de arcilla en el suelo pueden hincharse cuando se mojan, y así reducen el tamaño de los poros. En áreas donde la tierra no está protegida por una capa de residuos forestales, las gotas de lluvia pueden separar las partículas del suelo superficial y lavar las partículas finas en los poros superficiales, lo que puede impedir el proceso de infiltración.

Horton desarrolló la siguiente ecuación para estimar la velocidad de infiltración:

$$f(t) = f_c + (f_o - f_c) e^{-k t}$$

Donde:

$f(t)$ : Velocidad o tasa de infiltración (mm/h).

$f_c$ : Estado estable de infiltración (capacidad mínima de infiltración) (mm/h).

$f_o$ : Tasa inicial de infiltración (mm/h).

$k$ : Conductividad hidráulica ( $h^{-1}$ ).

$t$ : Tiempo (h).

Horton noto que esta ecuación se puede derivar de la simple suposición de que los procesos involucrados en la reducción de  $f(t)$  a medida que la lluvia continúa son de naturaleza de propiedades exhaustivas. Estos procesos incluyen el empaque de la superficie del suelo por lluvia, el lavado de materiales finos en la superficie del suelo, aberturas, ruptura de la estructura de la miga del suelo, y la hinchazón de los coloides a través de los cierres de controles solares y otras aberturas superficiales.

## EJERCICIOS

1) En una medición realizada en un suelo arcilloso se obtuvieron los siguientes datos:

$$f_o = 89,61 \text{ mm/h}$$

$$f_c = 14,91 \text{ mm/h}$$

$$k = 9,42 \text{ h}^{-1}$$

Determinar la tasa de infiltración para cada una de las 2 primeras horas.

a) Para la primera hora:

$$f(t) = 14,91 \text{ mm/h} + (89,61 - 14,91) \text{ mm/h} e^{-9,42 \text{ h}^{-1} \cdot 1 \text{ h}}$$

$$f(t) = 14,91606 \text{ mm/hr}$$

b) Para la segunda hora:

$$f(t) = 14,91 \text{ mm/h} + (89,61 - 14,91) \text{ mm/h} e^{-9,42 \text{ h}^{-1} \cdot 2 \text{ h}}$$

$$f(t) = 14,91 \text{ mm/hr}$$

- 2) En un terreno compuesto por distintos tipos de suelo se obtuvo como resultado de estudio que la tasa estable de infiltración es de 48,01 mm/hr, la tasa inicial es de 124,446 mm/hr y la conductividad hidráulica es de 38,15 h<sup>-1</sup>. Determinar la tasa de infiltración para los primeros 10 minutos.

$$10 \text{ minutos} \cdot \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ minutos}} = 0,1667 \text{ horas}$$

$$f(t) = 48,01 \text{ mm/h} + (124,446 - 48,01) \text{ mm/h} e^{-38,15 \text{ h}^{-1} \cdot 0,1667 \text{ h}}$$

$$f(t) = 48,14 \text{ mm/hr}$$

### 3.7 Modelo de Mishra y Singh (2002).

Mishra (1998) y Mishra y Singh (2002) desarrollaron para la infiltración el modelo expresando el procedimiento convencional del SCS-CN bajo la forma del método de Horton, suponiendo una variación lineal de la precipitación acumulada con el tiempo (o intensidad de lluvia constante):

$$f(t) = f_c + \frac{S \cdot k}{[1 + (k \cdot t)]^2}$$

Donde:

$f(t)$ : Velocidad o tasa de infiltración (mm/h).

$f_c$ : Estado estable de infiltración (capacidad mínima de infiltración) (mm/h).

$k$ : Conductividad hidráulica (h<sup>-1</sup>).

$t$ : Tiempo (h).

$S$ : Potencial máximo de retención

$$S = \frac{f_o - f_c}{k}$$

## EJERCICIOS

Se procederá a resolver los mismos ejercicios planteados en el modelo de Horton esta vez aplicando el modelo de Mishra y Singh

1) En una medición realizada en un suelo arcilloso se obtuvieron los siguientes datos:

$$f_0 = 89,61 \text{ mm/h}$$

$$f_c = 14,91 \text{ mm/h}$$

$$k = 9,42 \text{ h}^{-1}$$

Determinar la tasa de infiltración para cada una de las 2 primeras horas.

$$S = \frac{89,61 \text{ mm/h} - 14,91 \text{ mm/h}}{9,42 \text{ h}^{-1}}$$

$$S = 7,93 \text{ mm}$$

a) Para la primera hora:

$$f(t) = 14,91 \text{ mm/h} + \frac{7,93 \text{ mm} \cdot 9,42 \text{ h}^{-1}}{[1 + (9,42 \text{ h}^{-1} \cdot 1 \text{ h})]^2}$$

$$f(t) = 15,60 \text{ mm/h}$$

b) Para la segunda hora:

$$f(t) = 14,91 \text{ mm/h} + \frac{7,93 \text{ mm} \cdot 9,42 \text{ h}^{-1}}{[1 + (9,42 \text{ h}^{-1} \cdot 2 \text{ h})]^2}$$

$$f(t) = 15,10 \text{ mm/h}$$

2) En un terreno compuesto por distintos tipos de suelo se obtuvo como resultado de estudio que la tasa estable de infiltración es de 48,01 mm/hr, la tasa inicial es de 124,446 mm/hr y la conductividad hidráulica es de 38,15 h<sup>-1</sup>. Determinar la tasa de infiltración para los primeros 10 minutos.

$$S = \frac{124,446 \text{ mm/h} - 48,01 \text{ mm/h}}{38,15 \text{ h}^{-1}}$$

$$S = 2 \text{ mm}$$

$$f(t) = 48,01\text{mm/h} + \frac{2\text{mm} \cdot 38,15\text{h}^{-1}}{[1 + (38,15\text{h}^{-1} \cdot 0,1667\text{h})]^2}$$

$$f(t) = 49,41\text{mm/h}$$

### 3.8 Modelo lineal de Smith y Parlange (1978).

Smith y Parlange (1978) comenzaron con la ecuación de Richards y derivaron una ecuación de infiltración para tasas de lluvia arbitrarias, tiempo de estancamiento y capacidad de infiltración después del encharcamiento ambos pueden predecirse a partir de su modelo. Solo se usan dos parámetros para hacer predicciones con este método, que pueden calcularse a partir de un suelo cuyas propiedades puedan ser medidas, o determinados a partir de experimentos de infiltrómetro.

Desarrollado una solución analítica para la infiltración basada en la disminución del gradiente hidráulico con el tiempo durante infiltración. De su solución, parece que la sorptividad representa físicamente la absorción de agua. La sorptividad disminuye al aumentar el contenido de agua (inicial).

Suponiendo una intensidad de lluvia constante, se pueden distinguir dos situaciones. Si la infiltración de estado estacionario la capacidad excede la intensidad de la lluvia, no se producirá exceso de infiltración en el flujo superficial. Si la lluvia la intensidad excede la capacidad de infiltración en estado estable, inicialmente la tasa de infiltración será igual a la intensidad de la lluvia.

$$f = K_s \left[ \frac{C_1}{K_s F} + 1 \right]$$

Donde:

$K_s$ : Conductividad hidráulica saturada (mm/h).

$F$ : Retención (mm).

$C_1$ : Parámetro relacionado con la sorptividad del suelo y la variación lineal de la humedad inicial (mm<sup>2</sup>/h).

Con la aplicación del método del SCS se puede determinar la retención como:

$$F = (P - 0,20 S) - P_n$$

$$P_n = \frac{(P - 0,20 S)^2}{(P + 0,8S)} \quad S = \frac{25400}{CN} = 254$$

Donde:

$P_n$  = Escurrimiento neto (mm).

$P$  = Precipitación por evento (mm).

$S$  = Retención máxima potencial (mm).

$CN$  = Curvas numéricas (adimensional).

$F$  = Retención (mm).

Para mayor información sobre este método por favor revisar la Guía técnica para el estudio y cálculo hidrológico de la escorrentía realizada por el estudiante Cesar Vela, en ella se explica de manera detallada sobre el método del SCS.

#### EJERCICIOS

- 1) En el estudio de un suelo limoso y un evento de precipitación de baja probabilidad de ocurrencia se obtuvieron los siguientes datos:

$$K_s = 16,75 \text{ mm/h}$$

$$C_1 = 28,79 \text{ mm}^2/\text{h}$$

$$F = 8,75 \text{ mm}$$

Determinar la tasa de infiltración

$$f = 16,75 \text{ mm/h} \left[ \frac{28,79 \text{ mm}^2/\text{h}}{16,75 \text{ mm/h} - 8,75 \text{ mm}} + 1 \right]$$

$$f = 20,04 \text{ mm/hr}$$

- 2) En un terreno el cual su conductividad hidráulica saturada es de 38,94 mm/h y el parámetro de sortividad del suelo y la variación lineal de la humedad inicial es de 153 mm<sup>2</sup>/h.

Determinar para las siguientes 3 retenciones estimadas de los últimos eventos de lluvia realizados

$$F1 = 6\text{mm}$$

$$F2 = 9,16\text{mm}$$

$$F3 = 12\text{mm}$$

Para el evento 1

$$f(1) = 38,94\text{mm/h} \left[ \frac{153 \text{ mm}^2/\text{h}}{38,94\text{mm/h} \cdot 6\text{mm}} + 1 \right]$$

$$f(1) = 64,44\text{mm}$$

Para el evento 2

$$f(2) = 38,94\text{mm/h} \left[ \frac{153 \text{ mm}^2/\text{h}}{38,94\text{mm/h} \cdot 9,16\text{mm}} + 1 \right]$$

$$f(2) = 55,64\text{mm}$$

Para el evento 3

$$f(3) = 38,94\text{mm/h} \left[ \frac{153 \text{ mm}^2/\text{h}}{38,94\text{mm/h} \cdot 12\text{mm}} + 1 \right]$$

$$f(3) = 51,69\text{mm}$$

### 3.9 Modelo lineal de Philip (1969).

Philip obtuvo una ecuación suponiendo que los parámetros hidrodinámicos pueden variar con el contenido de humedad del suelo.

Una ecuación de tasa de infiltración concisa podría ser obtenida para tiempos pequeños. La ecuación resultante es:

$$f(t) = 0,5 \quad (s \quad t)^{-1/2} + C$$

Donde:

s: Sorptividad ( $\text{mm/h}^{1/2}$ ).

C: Difusividad y retención de humedad ( $\text{mm/h}$ ).

t: Tiempo (h).

Philip define la sorptividad (s) como la cantidad física medible que expresa la capacidad de un medio poroso para captación capilar y liberación de un líquido.

White y Perroux (1987) se refirieron a la sorptividad como una propiedad integral de la Difusividad hidráulica del suelo.  $s$  es constante siempre que el contenido de agua en el extremo de entrada sea constante (Jury et al., 1991).

### EJERCICIO

Se ha obtenido de un estudio que la Sorptividad del suelo de estudio es de  $250\text{mm/h}^{1/2}$

y la Difusividad es de  $175\text{mm/h}$ .

Determinar la infiltración para los tiempos de: 15 minutos, 30 minutos y 1 hora.

Para 15 minutos

$$15 \text{ minutos} \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ minutos}} = 0,25 \text{ horas}$$

$$f(t) = 0,5 (250\text{mm/h}^{1/2} \ 0,25\text{h})^{-1/2} + 175\text{mm/h}$$

$$f(t) = 175,06\text{mm/hr}$$

Para 30 minutos

$$30 \text{ minutos} \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ minutos}} = 0,5 \text{ horas}$$

$$f(t) = 0,5 (250\text{mm/h}^{1/2} \ 0,5\text{h})^{-1/2} + 175\text{mm/h}$$

$$f(t) = 175,04\text{mm/hr}$$

Para 1 hora

$$f(t) = 0,5 (250\text{mm/h}^{1/2} \ 1\text{h})^{-1/2} + 175\text{mm/h}$$

$$f(t) = 175,03\text{mm/hr}$$

### 3.10 Modelo de Green-Ampt (1919).

Green y Ampt propusieron en 1911 un modelo aproximado que aplica directamente la ley de Darcy. La ecuación original se derivó para la infiltración desde una superficie acolchada en un suelo profundo y homogéneo con un contenido de agua inicial uniforme. El modelo Green-Ampt se ha encontrado que se aplica mejor a la infiltración en suelos uniformes, inicialmente secos, de textura gruesa que exhiben un frente mojado claramente definido.

Green y Ampt (1911) recomendaron que las propiedades físicas del suelo debieran ser medidas el campo, de modo que las condiciones de campo no alteradas se reflejan en el resultado.

$$F_p = \frac{|f| K_s (s_i)}{P K_s}$$

$$t_p = \frac{F_p}{P}$$

Donde:

$F_p$ : Es la cantidad de agua que se infiltra antes de que el agua comience a estancarse en la superficie (mm)

$K_s$ : Conductividad hidráulica saturada (mm/h).

$f$ : Presión matricial en el frente mojado (mm).

$s$ : Contenido de humedad saturada.

$s_i$ : Contenido de humedad inicial antes de que comenzara la infiltración.

$P$ : Intensidad de lluvia (mm/hr).

$t_p$ : Es el tiempo que toma para que el agua comience a estancarse en la superficie (h).

Para determinar el tiempo exacto en el cual se infiltra una cierta cantidad de agua ( $F$ ) se emplea la siguiente ecuación:

$$t = t_p + \frac{1}{K_s} \left[ (F - F_p) + |f| (s_i) \ln \frac{|f| (s_i) + F_p}{|f| (s_i) + F} \right]$$

Donde:

$t$ : Tiempo en el cual se infiltra cierta cantidad de agua (h).

$F$ : Cantidad de agua infiltrada (mm). Este valor se estimara hasta alcanzar el tiempo total del evento de precipitación.

Una vez calculados todos los parámetros anteriormente mencionados se procederá a calcular la tasa de infiltración:

$$f(t) = K_s + K_s \frac{|f| (s - i)}{F} \text{ Para } t > t_p$$

$$f(t) = P \text{ Para } t < t_p$$

### EJERCICIO

¿Cuál es la escorrentía e infiltración total [mm] de un evento de lluvia de 2 horas con una intensidad de 5mm/h,  $i = 0,25$ ,  $s = 0,50$ ,  $K_s = 0,44\text{mm/h}$  y  $f = 224\text{mm}$  ¿Cuándo comienza la escorrentía? ¿Cuál es la tasa de infiltración al final de la tormenta?

a) Se calcula  $F_p$  y  $t_p$

$$F_p = \frac{|224\text{mm}| \quad 0,44\text{mm/h} \quad (0,50 \quad 0,25)}{5\text{mm/h} \quad 0,44\text{m/h}}$$

$F_p = 5,4\text{mm}$  (infiltración total)

$$t_p = \frac{5,4\text{mm}}{5\text{mm/h}}$$

$t_p = 1,08 \text{ h}$  (momento en el que inicia la escorrentía).

b) Se calcula  $F$  y  $t$

F (mm) (se utilizan valores hasta que el cálculo de (t) de igual o mayor a la duración del evento de lluvia)	t (h) Si $F < F_p$ $t = F/P$	f (mm/h)
0	0,00	5,0
1	0,20	5,0
2	0,40	5,0
3	0,60	5,0
4	0,80	5,0
5,4 = $F_p$	$t_p = 1,08$	$P = 5,0$
6	1,21	4,5
7	1,44	4,0
8	1,71	3,5
9	2,01 (fin del evento de lluvia de 2 h)	3,2

¿Cuál es la tasa de infiltración al final de la tormenta?

$$f(t) = 3,2\text{mm/hr}$$

¿Cuál es la escorrentía total?

F (al final de la lluvia) -  $F_p$

$$9\text{mm} - 5,4\text{mm} = 3,6\text{mm}$$

### EJERCICIOS DE INFILTRACIÓN

Calcular según el método que usted considere prudente, la tasa de infiltración:

$$f_o = 105,97 \text{ mm/h}, f_c = 22,15 \text{ mm/h y } k = 10,80 \text{ h}^{-1}$$

$$f_o = 216,87 \text{ mm/h}, f_c = 58,74 \text{ mm/h y } k = 40,12 \text{ h}^{-1}$$

$$K_s = 6,12 \text{ mm/h}, C_1 = 18,15 \text{ mm}^2/\text{h y } F = 5,72\text{mm}$$

$$s = 305\text{mm/h}^{1/2}, C = 215\text{mm/h}, t_1 = 1 \text{ hr}, t_2 = 2 \text{ hr y } t_3 = 10 \text{ min}$$

$$\text{evento de lluvia de 3 horas y media, } P = 6\text{mm/h}, i = 0,40, s = 0,55,$$

$$K_s = 0,72\text{mm/h y } f = 300\text{mm}$$

## RESUMEN DE MODELOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA INFILTRACIÓN

Información requerida según el Modelo de infiltración													
Tipos de Modelo	Capacidad mínima de infiltración	Tasa o capacidad inicial de infiltración	Conductividad hidráulica	Tiempo	Potencial máximo de retención	Retención	Sorptividad del suelo	Conductividad hidráulica saturada	Información de la humedad inicial	Escorrentía superficial	Precipitación directa	Presión matricial	Intensidad de la lluvia
Modelo de Horton					---	---	---	---	---	---	---	---	---
Modelo de Mishra y Singh						---	---	---	---	---	---	---	---
Modelo lineal de Smith y Parlange	---	---	---	---							---	---	---
Modelo lineal de Philip	---	---	---		---	---		---		---	---	---	---
Modelo de Green-Ampt	---	---	---		---	---	---			---	---	---	

Fuente: Casal y Celis (2018).

## **CAPÍTULO IV**

### **PERCOLACIÓN**

#### 4.1 ¿Qué es la percolación?

La percolación se refiere al paso lento de fluidos a través de materiales porosos. Ejemplos de este proceso son la filtración y la lixiviación. Así se originan las corrientes subterráneas.

El agua fluye para recargar el agua subterránea en el nivel freático y los acuíferos. En lugares donde se planifican cuencas de infiltración o drenajes sépticos para disponer de cantidades sustanciales de agua, una prueba de percolación es necesaria de antemano para determinar si la estructura prevista es probable que tenga éxito o falle.

#### 4.2 Factores que afectan la percolación

Existen varios factores que determinan como se mueve el agua a través del suelo, entre ellos están la porosidad del suelo y cual saturada con agua esta previamente la tierra. El agua se mueve por acción de la gravedad a través de los estratos del suelo y los sedimentos, normalmente fluye hacia el subsuelo hasta que alcanza una roca impermeable que la detiene quedando almacenada bajo tierra en lo que se denomina un acuífero.

Durante la percolación, los granos de la estructura del suelo son acomodados, pero el agua que fluye a través de ellos produce la misma fuerza de fricción que se produce entre los granos de la estructura del suelo para tratar de resistir ese flujo de agua que trata de pasar a través de ellos.

La cantidad de fricción a lo largo de los límites del grano depende de la superficie del sedimento, mientras menor sea el diámetro del grano mayor será la cantidad de fricción generada para evitar el flujo del agua a través de ellos, ya que al ser las partículas de menor tamaño se entiende que la cantidad de espacios vacíos en la estructura del suelo serán menores, generando una resistencia al paso del agua.

#### 4.3 Tasa de percolación

La percolación es el movimiento del agua a través del suelo, y la tasa de percolación es la velocidad a la que se produce ese movimiento. Las pruebas de percolación miden las tasas de percolación. Los profesionales de laboratorio de suelos generalmente miden las tasas de percolación en términos de minutos por pulgada o minutos por centímetro.

Los suelos arenosos generalmente tienen tasas de percolación muy altas, medidas en el rango de 1 a 8 pulgadas o más por hora. Eso significa que los suelos arenosos se secan muy rápido, se calientan muy rápido y no retienen los nutrientes por mucho tiempo.

Los suelos limosos, incluido el limo, tienen tasas de percolación moderadas, que van de 0,1 a 1 pulgada por hora. Esta es la situación en la que un suelo contiene el agua y los nutrientes el tiempo suficiente para que las raíces de las plantas los absorban, pero el suelo no se empapa fácilmente.

Los suelos arcillosos tienen tasas de percolación notoriamente lentas de 0,1 pulgada o menos por hora. Estos suelos se anegan fácilmente y las raíces de las plantas pueden sofocarse como resultado.

#### 4.4 Procedimiento del cálculo de la tasa de percolación

Paso N°1 Preparación de los agujeros de percolación: Los agujeros de prueba de 4 a 12 pulgadas de diámetro deberán cavarse a la profundidad propuesta del campo (las profundidades típicas son de 30 a 42 pulgadas). Las paredes laterales deben ser verticales y una superficie de suelo natural (una que no se mancha al excavar) se debe exponer raspando los lados y el fondo del orificio de prueba con un instrumento puntiagudo. Cualquier material suelto debe ser removido del agujero de prueba y varias pulgadas de arena gruesa o grava colocada en el fondo del orificio de prueba para evitar el fregado y el sellado antes de que se vierta el agua.

Paso N°2 Remojado del terreno de prueba: EL remojo del terreno de prueba es absolutamente necesario para obtener resultados válidos de las

pruebas de percolación. El propósito del pre empapado es lograr que las condiciones del agua en el suelo alcancen una condición estable similar a la que existe. Durante la aplicación continua de aguas residuales en un campo de lixiviación. El tiempo mínimo de pre empapado varía con el tipo de suelo y condiciones del suelo, pero debe ser lo suficientemente largo para que el agua se filtre a un ritmo constante. El seguimiento las instrucciones de pre empapado son usualmente suficientes para establecer las condiciones adecuadas de humedad del suelo.

- a) Suelos arenosos o sueltos: Llene el orificio de prueba hasta varias pulgadas de la parte superior y permita que se filtre. Llenar el hoyo una 2da y 3ra vez y deja que el agua se filtre. Si el agua continúa goteando en diez (10) minutos o menos, esto indica que el suelo es excesivamente permeable. Si el agua permanece después de 10 minutos, entonces es necesario un pre empapado adicional antes de tomar cualquier medición.
- b) Otros suelos adecuados: si el suelo es adecuado para un campo de lixiviación subsuperficial estándar, entonces los agujeros de prueba deberían ser pre empapados durante al menos 4 horas. Mantenga al menos 12 pulgadas de agua en los orificios de prueba durante al menos 4 horas, luego permita que el suelo se hinche durante 12 horas (la noche es buena) antes de comenzar la prueba de percolación.

Paso N°3 Mediciones: Comience la prueba llenando cada orificio de prueba con aproximadamente 12 a 18 pulgadas de agua. Deja que la tierra se re hidrate durante aproximadamente 15 minutos y luego se rellena a 12 a 18 pulgadas de profundidad. Luego, decida un intervalo de tiempo para su prueba. Los intervalos de tiempo de 10 o 15 minutos son típicos. Una vez decidido, el intervalo de tiempo debe permanecer constante durante toda la prueba para que pueda determinarse cuando la tasa de caída del nivel de agua se haya estabilizado. Mida el nivel inicial de agua (desde un punto de referencia fijo, como una placa plana en la parte superior del orificio) en cada orificio y registrar en la línea "Inicio" en la tabla de datos de prueba. Para continuar, registre el nivel de agua real en cada hoyo al

final de cada intervalo de tiempo sucesivo. Después de cada medición del nivel del agua, calcule la caída del nivel del agua desde la anterior medición y registre en la tabla de datos de prueba. Continúe la prueba hasta que la tasa de caída del nivel de agua (la mitad derecha de cada columna) se ha estabilizado; es decir. 3 tazas de caída iguales consecutivas dentro de 1/8 de pulgada la una de la otra. Tenga en cuenta que algunas pruebas los agujeros pueden tomar más tiempo que otros para estabilizarse. La prueba debe continuar en cada orificio de prueba hasta que cada tasa de caída se estabilice. También tenga en cuenta que debe mantenerse un mínimo de 6 pulgadas de agua en el orificio de prueba. Si el nivel baja por debajo de 6 pulgadas, se debe agregar algo de agua adicional entre intervalos de tiempo. Antes de usar la hoja de datos de prueba, haga varias copias en blanco adicionales antes de comenzar en caso de que las pruebas tomen más de 10 intervalos para estabilizarse o si tiene la intención de usar más de 3 agujeros de prueba.

Paso N°4 Cálculo de la tasa de percolación: Después de que las tasas de caída del nivel de agua se hayan estabilizado en todos los orificios de prueba, transfiera la última medida de caída de nivel a la fila final de caída en la tabla de datos. Para calcular la tasa de percolación para cada agujero de prueba, divida el intervalo de tiempo por la caída final. Esta es la tasa de percolación en minutos por pulgada (mpi). Dependiendo de cuántos agujeros de prueba se utilizaron, determine la tasa de percolación del diseño utilizando.

- a) Si 6 o más agujeros fueron utilizados la tasa de percolación será el promedio de las tasas estimadas.
- b) Si entre 3 y 5 agujeros fueron utilizados, la tasa de percolación será la mayor de todas.

#### Ejemplo

Se desea estimar la tasa de infiltración para la prueba N°1 realizada en intervalos de 10 minutos cuyo agujero de ensayo fue remojado en la noche previa

al ensayo. El agujero tiene un diámetro de 6 pulgadas y una profundidad de 34 pulgadas.

Para la tasa mostrada en la página siguiente se realizaron las mediciones siguiendo lo establecido en los pasos anteriores.

A los 40 minutos de comenzar la medición se volvió a rellenar de agua el agujero 5 pulgadas, para evitar dificultades en mediciones profundas.

El nivel de caída de agua se refiere a cuanta agua cayó en ese momento, para el tiempo = 0 minutos es normal observar valores elevados ya que son infiltraciones iniciales no constantes.

A partir de los 60 minutos se pudo observar que las variaciones entre las caídas de agua eran menores a 1/8'', y fueron 3 caídas consecutivas.

Para calcular la tasa de percolación de ese agujero de prueba simplemente se divide el tiempo transcurrido de los intervalos / la caída promedio, en este caso fue de 10 minutos/ 1/2'' = 20 minutos por pulgada (mpi).

Agujero de Prueba N°	1	
Profundidad del agujero (Pulgadas)	34"	
Tiempo Transcurrido	Nivel de caída de agua	Caída de agua del intervalo
0 Minutos	17"	
		1 1/4"
10 Minutos	18 1/4"	
		1"
20 Minutos	19 1/4"	
		3/4"
30 Minutos	20"	
		5/8"
40 Minutos	20 5/8"	
		Se relleno de agua el agujero
50 Minutos	15"	
		1/2"
60 Minutos	15 1/2"	
		3/8"
70 Minutos	15 7/8"	
		1/2"
80 Minutos	16 3/8"	
Caída promedio	=	1/2"
Tasa de percolación =Intervalo/Caída promedio		20 mpi

## EJERCICIOS DE PERCOLACIÓN

Se cuenta con la siguientes 6 pruebas de ensayo:

Agujero de Prueba N°	1		2		3	
Profundidad del agujero (Pulgadas)	34"		38"		40"	
Tiempo Transcurrido	Nivel de caída de agua	Caída de agua del intervalo	Nivel de caída de agua	Caída de agua del intervalo	Nivel de caída de agua	Caída de agua del intervalo
0 Minutos	12"		18"		20"	
		2"		3"		2 3/4"
10 Minutos	14"		21"		22 3/4"	
		1 3/4"		2 3/4"		2 5/8"
20 Minutos	15 3/4"		23 3/4"		24 3/8"	
		3/4"		1 3/4"		1 1/8"
30 Minutos	16 1/2"		25 1/2"		25 1/2"	
		3/4"		1 1/4"		3/4"
40 Minutos	17 1/4"		26 3/4"		26 1/4"	
		1/4"		1/4"		3/4"
50 Minutos	17 1/2"		27 1/2"		27"	
				1/2"		1/2"
60 Minutos	--		28"		27 1/2"	
				3/8"		
70 Minutos	--		28 3/8"		--	
				1/2"		
80 Minutos	--		29 3/8"		--	
Caída promedio	=		=		=	
Tasa de percolación =Intervalo/Caída promedio						

Agujero de Prueba N°	4		5		6	
Profundidad del agujero (Pulgadas)	34"		38"		40"	
Tiempo Transcurrido	Nivel de caída de agua	Caída de agua del intervalo	Nivel de caída de agua	Caída de agua del intervalo	Nivel de caída de agua	Caída de agua del intervalo
0 Minutos	17 1/2"		20"		22"	
		2 1/2"		2 1/2"		2 3/4"
10 Minutos	20"		22 1/2"		24 3/4"	
		2 3/4"		2 1/4"		2 5/8"
20 Minutos	22 3/4"		24 3/4"		26 3/8"	
		1 3/4"		1 3/4"		1 1/8"
30 Minutos	24 1/2"		25 5/8"		27 1/2"	
		3/4"		7/8"		--
40 Minutos	25 1/4"		26 3/4"		15"	
		3/8"		1 1/4"		1 1/2"
50 Minutos	25 5/8"		28 1/2"		16 1/2"	
		1/2"		1 1/4"		3/4"
60 Minutos	26 1/8"		29 3/8"		17 1/4"	
		1/2"				1 1/8"
70 Minutos	26 5/8"		--		18 3/8"	
						3/4"
80 Minutos	--		--		19 1/8"	
Caída promedio	=		=		=	
Tasa de percolación =Intervalo/Caída promedio						

Indique si alguno de los ensayos no cumple con el criterio de diferencia de 3/8", calcule cada una de las tasas de percolación y diga cuál es la tasa de percolación promedio.

Para el mismo ejercicio calcule la tasa de intercepción si los únicos ensayos realizados fueron los ensayos 2, 3 y 5.

## **CAPÍTULO V**

### **SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL**

#### 5.1 ¿Qué es la sustentabilidad ambiental?

La sostenibilidad es el proceso de mantener el cambio de una manera equilibrada, en la que la explotación de los recursos, la dirección de las inversiones, la orientación del desarrollo tecnológico y el cambio institucional están en armonía y mejoran el potencial actual y futuro para satisfacer las necesidades y aspiraciones humanas. Para muchos en el campo, la sostenibilidad se define a través de los siguientes pilares o dominios interconectados: medio ambiente, económico y social. También se han considerado los subdominios del desarrollo sostenible: cultural, tecnológico y político. Si bien el desarrollo sostenible puede ser el principio organizador para la sostenibilidad para algunos, para otros, los dos términos son paradójicos (es decir, el desarrollo es intrínsecamente insostenible). El desarrollo sostenible es el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. El Informe Brundtland para la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1987) introdujo el término de desarrollo sostenible.

El término durabilidad (o sustentabilidad) es un neologismo utilizado desde la década de 1990 para designar la configuración de la sociedad humana que le permite garantizar su sustentabilidad. Esta organización humana se basa en el mantenimiento de un entorno habitable, en el desarrollo ambiental, económico y social a escala planetaria y, según los puntos de vista, en una organización social justa. El período de transición a la sustentabilidad se puede lograr a través del desarrollo sostenible.

Los problemas ambientales y el acceso a los recursos naturales constituyen desde la década de 1970, con los choques petroleros y la contaminación, una preocupación creciente de las sociedades occidentales.

De hecho, según estudios realizados por expertos en el campo de la ecología, la huella ecológica de la humanidad, desde mediados de la década de 1970, excedió la capacidad de la Tierra para regenerar nuevos recursos naturales y absorber desechos de todo tipo. De la actividad económica. El fenómeno del cambio climático es solo uno de los aspectos de este problema, cuyo origen es en parte una tendencia a una mayor concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Los recursos pesqueros y la energía son dos áreas en las que el agotamiento de recursos es la más temida.

Por lo tanto, es sobre todo el problema ambiental que está emergiendo hoy en día en las sociedades contemporáneas.

## 5.2 ¿Qué es el informe Brundtland?

Nuestro futuro común, también conocido como el Informe Brundtland en reconocimiento del ex primer ministro noruego Gro Harlem Brundtland como presidente de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (WCED), fue publicado en 1987 por las Naciones Unidas a través de Oxford University Press.

Sus objetivos eran el multilateralismo y la interdependencia de las naciones en la búsqueda de un camino de desarrollo sostenible. El informe buscaba recapturar el espíritu de la Conferencia de Estocolmo que había introducido las preocupaciones ambientales en la esfera del desarrollo político formal. Nuestro futuro común colocó los temas ambientales firmemente en la agenda política; pretendía discutir el medio ambiente y el desarrollo como un solo tema.

El documento fue la culminación de un ejercicio internacional de "900 días" que catalogó, analizó y sintetizó: presentaciones escritas y testimonios de "altos representantes gubernamentales, científicos y expertos, institutos de investigación, industriales, representantes de organizaciones no gubernamentales, y el público en general" celebrado en audiencias públicas en todo el mundo.

### 5.3 Objetivos del informe Brundtland

La conservación del planeta Tierra.

Reducción de los niveles de consumo a los que no todos los individuos puedan aspirar.

Crecimiento económico en los lugares donde no se satisfacen las necesidades anteriores, es decir, en los países pobres.

Control demográfico, referido principalmente a las tasas de natalidad.

No poner en peligro los sistemas naturales que sostienen la vida en la Tierra.

La conservación de los ecosistemas debe estar subordinada al bienestar humano, pues no todos los ecosistemas pueden ser conservados en su estado virgen.

El uso de los recursos no renovables debe ser lo más eficiente posible.

Cuidar el planeta y sus alrededores.

Cuidar y proteger la flora y fauna del planeta.

Reexaminar las cuestiones críticas del medio ambiente y el desarrollo y formular propuestas de acción innovadora, concreta y realista para abordarlas.

Fortalecer la cooperación internacional en materia de medio ambiente y desarrollo, y evaluar y proponer nuevas formas de cooperación que puedan romper los patrones existentes e influir en las políticas y los acontecimientos en la dirección del cambio necesario.

Elevar el nivel de comprensión y compromiso con la acción por parte de individuos, organizaciones voluntarias, empresas, institutos y gobiernos "(1987: 347). "La Comisión centró su atención en las áreas de población, seguridad alimentaria, pérdida de especies y recursos genéticos, energía, industria y asentamientos humanos, al darse cuenta de que todos estos están conectados y no pueden ser tratados de forma aislada unos de otros".

#### 5.4 Los 3 pilares de la sustentabilidad

En la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Social de 2005 se identificaron objetivos de desarrollo sostenible, como el desarrollo económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente. Esta visión se ha expresado a modo de ilustración utilizando tres elipses superpuestas que indican que los tres pilares de la sustentabilidad no son mutuamente excluyentes y pueden reforzarse mutuamente. De hecho, los tres pilares son interdependientes, y en el largo plazo ninguno puede existir sin los otros. Los tres pilares han servido como un terreno común para numerosas normas de sostenibilidad y sistemas de certificación en los últimos años, en particular en la industria alimentaria. Los estándares que hoy se refieren explícitamente al triple resultado final incluyen Rainforest Alliance , Fairtrade y UTZ Certified. Algunos expertos y profesionales en sostenibilidad han ilustrado cuatro pilares de la sostenibilidad, o un resultado final cuádruple. Uno de esos pilares son las generaciones futuras, que enfatiza el pensamiento a largo plazo asociado con la sostenibilidad. También hay una opinión que considera el uso de los recursos y la sostenibilidad financiera como dos pilares adicionales de la sustentabilidad.

Un estudio de 2005 señaló que la justicia ambiental es tan importante como el desarrollo sostenible. [31] El economista ecologista Herman Daly preguntó: "¿De qué sirve un aserradero sin bosque?" [32] Desde esta perspectiva, la economía es un subsistema de la sociedad humana, que a su vez es un subsistema de la biosfera, y una ganancia en un sector es una pérdida de otro. [33] Esta perspectiva llevó a la figura de círculos anidados de 'economía' dentro de 'sociedad' dentro del 'medio ambiente'.

La simple definición de que la sustentabilidad es algo que mejora "la calidad de la vida humana mientras se vive dentro de la capacidad de soporte de los ecosistemas de apoyo", aunque vaga, transmite la idea de que la sostenibilidad tiene límites cuantificables. Pero la sostenibilidad también es un llamado a la acción, una tarea en progreso o "viaje" y, por lo tanto, un proceso político, por lo que algunas definiciones establecen metas y valores comunes. La Carta de la Tierra habla de "una sociedad global sostenible fundada en el respeto por la

naturaleza, los derechos humanos universales, la justicia económica y una cultura de paz". Esto sugirió una figura de sostenibilidad más compleja, que incluía la importancia del dominio de la "política".

Más que eso, la sustentabilidad implica una toma de decisiones e innovación responsable y proactiva que minimiza el impacto negativo y mantiene el equilibrio entre la resiliencia ecológica, la prosperidad económica, la justicia política y la vitalidad cultural para garantizar un planeta deseable para todas las especies ahora y en el futuro. Los tipos específicos de sustentabilidad incluyen agricultura sustentable, arquitectura sustentable o economía ecológica. Comprender el desarrollo sostenible es importante, pero sin objetivos claros un término desenfocado como "libertad" o "justicia". También se ha descrito como un "diálogo de valores que desafían la sociología del desarrollo".

#### 5.5 Influencia de la intercepción, infiltración y percolación con respecto a la escorrentía

Como bien se explico en los anteriores capítulos de la guía, en los cálculos de intercepción, infiltración y percolación, hay ciertos factores que determinan los cálculos, y en base a estos factores se rigen los distintos modelos de cálculo existentes.

Todas estas variables pertenecientes al ciclo de hidrológico son en gran parte, factores que afectan directamente a la escorrentía superficial, escorrentía subsuperficial y escorrentía subterránea, siendo la escorrentía superficial: “la precipitación que no se infiltra en ningún momento y llega a la red de drenaje moviéndose sobre la superficie del terreno por la acción de la gravedad. Corresponde a la precipitación que no queda tampoco detenida en las depresiones del suelo, y que escapa a los fenómenos de evapotranspiración”; la escorrentía subsuperficial: “el agua de precipitación que, habiéndose infiltrado en el suelo, se mueve sub horizontalmente por los horizontes superiores a muy poca profundidad sin llegar a infiltrarse en el nivel freático, hasta que aflora a la superficie al

encontrar un canal de flujo, formando parte de la escorrentía superficial poco tiempo después de la lluvia, y no llega a alimentar el flujo de agua subterránea” y la escorrentía subterránea: “la precipitación que por el fenómeno de percolación infiltra hasta el nivel freático, desde donde circula hasta alcanzar la red de drenaje formando un flujo de agua conocido como agua subterránea”.

Dicho esto se explicara a continuación cual de las variables afecta a cada uno de los tipos de escorrentía:

**Intercepción:** La intercepción es una variable que afecta directamente a la escorrentía superficial e indirectamente a la escorrentía subsuperficial e subterránea, ya que en un evento de precipitación la vegetación se encarga de retener un porcentaje de la lluvia, la intercepción constituye la humidificación del suelo, y no contribuye al escurrimiento superficial ya que el agua interceptada por la vegetación se evapora y no recorre la superficie del terreno, al no ocurrir esto, ese porcentaje de agua no se puede infiltrar y por ende no puede percolar.

**Infiltración:** La infiltración afecta de manera directa a la escorrentía superficial y subsuperficial, y de manera indirecta a la escorrentía subterránea, ya que parte del agua que recorre la superficie del terreno se infiltra a través de los poros del suelo, ese volumen de agua deja de formar parte de la escorrentía superficial y pasa a formar parte de la escorrentía subsuperficial hasta que aflora a la superficie al encontrar un canal de flujo, formando otra vez parte de la escorrentía superficial poco tiempo después de la lluvia; se podría decir que esta variable produce cierta interacción entre los 2 tipos de escorrentía mencionadas anteriormente, el porqué de la interacción indirecta con la escorrentía subterránea es muy sencillo, parte del agua infiltrada alcanza niveles subterráneos formando parte de los acuíferos.

**Percolación:** La percolación afecta directamente la escorrentía subterránea ya que es la cantidad de agua que infiltra hasta el nivel freático, desde donde circula hasta alcanzar la red de drenaje formando un flujo de agua conocido como agua subterránea.

Cabe destacar que las variables de intercepción, infiltración y percolación son consideradas como pérdidas a la hora de calcular la escorrentía superficial, un ejemplo claro es el coeficiente de escorrentía: “Representa la porción de la precipitación que se convierte en caudal, es decir, la relación entre el volumen de escorrentía superficial y el de precipitación total sobre un área o cuenca determinada, en pocas palabras, es el porcentaje de agua que escurre en la superficie de un terreno, en relación al total de agua que pudo haber escurrido en el terreno”

#### 5.6 Importancia e impacto de la intercepción, infiltración y percolación en el diseño de las obras civiles.

En la ingeniería civil es muy importante a la hora de diseñar y ejecutar una obra, tomar en cuenta todas las posibles variables que puedan afectarla, ya que de no hacerlo se pone en riesgos las vidas de las personas que interactúen directa o indirectamente con la obra ya sea en la etapa constructiva o ya terminada la obra como tal. En hidrología se estudia la importante relación que tiene el agua con respecto al diseño y ejecución de una obra civil ya sea para garantizar la seguridad o para cuidar el agua de que pueda ser contaminada, a continuación se enseñaran ejemplos de obras en las cuales debe tomarse en cuenta la interacción del agua:

**Muros de contención:** Los muros de contención son elementos constructivos cuya principal misión es servir de contención, bien sea de un terreno natural, relleno artificial o de un elemento a almacenar. La presencia del agua en el relleno por la acción de lluvia o por infiltraciones subterráneas, produce un aumento de las presiones y los empujes del suelo. Además de generar presiones hidrostáticas y sub presiones, si el suelo está sumergido en agua (caso de una "capa

freática"), disminuye su densidad, y por tanto también el empuje del terreno.

**Fundaciones:** Son las bases que sirven de sustentación al edificio; se calculan y proyectan teniendo en consideración varios factores tales como la composición y resistencia del terreno, las cargas propias del edificio y otras cargas que inciden, tales como el efecto del viento o el peso de la nieve sobre las superficies expuestas a los mismos. Si el nivel freático se encuentra muy cercano a la fundación o esta llega a alcanzar el nivel freático, su diseño tiene que ser especial o de lo contrario se estará sub dimensionando una fundación y por ende no aguantara las cargas de la edificación ni los esfuerzos producidos por el suelo y por el agua.

**Edificaciones construidas alrededor de los arboles:** Estas edificaciones tienen algo muy especial ya que sus arquitectos e ingenieros respetaron los árboles para hacerlos partícipes de la estructura, demostrando que no siempre es necesario acabar con todo lo que hay en el sitio donde se levantará el edificio. Hay que tener cuidado con los elementos de concreto o acero en este tipo de edificaciones ya que los arboles al interceptar agua de lluvia o al ser “rociados con agua” pueden llegar a pasar parte de esta agua a los elementos estructurales y dañarlos si no son diseñados de una manera especial.

**Sistemas de infiltración pluvial:** Se le denomina sistema de infiltración pluvial, al conjunto de componentes por medio de los cuales se realiza la infiltración de las aguas pluviales captadas y conducidas por el alcantarillado o drenaje pluvial. Dada la dificultad de realizar en la zona urbana una infiltración de manera natural (vasos de captación, arroyos, dispersión por terrenos, etc.), se tienen que construir estructuras hidráulicas que sustituyan el área necesaria para realizar la infiltración.

## 5.7 Aplicación de la sustentabilidad ambiental con respecto a la intercepción, infiltración y percolación.

La sustentabilidad ambiental con respecto a la hidrología explora a fondo todos los aspectos del proyecto relacionado con el agua, para diseñar la solución más adecuada, para la integración del proyecto en el ciclo del agua natural.

En cada etapa del ciclo del agua hay muchos factores a considerar y tener en cuenta. Estos factores están interconectados de modo que cada aspecto afecta al otro, formando un todo para ser estudiado para diseñar la solución más adecuada.

Tomando en cuenta que la ejecución de un proyecto se debe proyectar para que afecte en lo menos posible el ambiente; no solo porque se puede dañar la flora y fauna, la calidad del aire y el agua, la temperatura del ambiente, entre otros.

Dicho lo anterior se plantea la siguiente interrogante:

¿Qué tiene que ver la sustentabilidad ambiental con respecto a la intercepción, infiltración y percolación?

Digamos que un proyecto X va a ser realizado en una zona boscosa y nadie supervisa ese proyecto, ¿Qué ocurriría?

Se empezaría a talar toda la vegetación que se encuentre en el camino o este impidiendo la construcción, esto generaría una pérdida significativa para la vegetación, ahora, sin vegetación como puede ocurrir la intercepción, toda el agua interceptada sería agua parte de la escorrentía, generando así caudales más elevados, erosionando gravemente el suelo y causando posibles daños a la obra en cuestión.

Digamos que el problema continúa y se realiza un movimiento de tierras, alterando así las características naturales del suelo afectando así la infiltración del agua ya sea que ahora se infiltre menos agua o que ocurra lo contrario, que se infiltre mas agua.

Digamos que la maquinaria emite efluentes peligrosos o produzca emisiones de gases, partículas, polvo o radiaciones; y el agua que se encuentre en proceso

de infiltración o percolación retenga dichos componentes, ¿Qué pasaría? Se contaminaría el agua de los acuíferos, por ende los ríos, lagos y mares.

Para controlar eventos así es que se aplica la sustentabilidad ambiental, se hace para mantener el cambio de una manera equilibrada, para controlar que las obras no afecten el ambiente.

## BIBLIOGRAFÍA

### Impresas

- Alonso, Jimena. (2011). **Modelación de procesos hidrológicos asociados a la forestación con eucalyptus en el Uruguay**. Universidad de la República, Uruguay.
- Arellano Pérez, Moreno Pérez y Cañas, Roldán. (2015). **Comparación de modelos de intercepción de agua de lluvia en individuos aislados de Pinus pinea y Cistus ladanifer**. Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales. Edificio Leonardo da Vinci. 14071 Córdoba
- Belmonte, Francisco y Romero. (1999). Asunción. **Intercepción en algunas especies del mar mediterráneo**. Universidad de Murcia, Servicio de publicaciones.
- Campos, Aranda. (1998). **Procesos del ciclo hidrológico**. Universidad autónoma de San Luis Potosí
- Crouse, Robert, Corbett, Edward & Seegrist Donald. (2010). **Methods of measuring and analyzing rainfall interception by grass**. Taylor & Francis Group.
- Gonzales Hernández, López Arias & Gallego Minaya. (1993). **Intercepción, Transcolación y escorrentía cortical en masas de Eucalyptus Globulus y Pinus Pinea L. del sur de la provincia de Huelva**. Dpto de sistemas forestales, C.I.T-N.I.A. Apdo 8.111, 28080 Madrid.
- Gonzalez Marta. **Intercepción**. Unidad docente de hidráulica e hidrología, departamento de ingeniería forestal, Universidad Politecnica de Madrid.
- J. Schellekens, N. Scatenab, A. Bruijnzeela & J. Wickel. (1999). **Modelling rainfall interception by a lowland tropical rain forest in northeastern Puerto Rico**. Faculty of Earth Sciences, Vrije Universiteit, De Boelelaan 1085, 1081 HV Amsterdam, Netherlands.
- Linsley Ray, Kohler Max & Paulhus Joseph (1958). **Hidrology for engineers**. McGraw-Hill Book Company, New York, Toronto & London.
- M Regalado, Ritter A, Benedi Álvarez & Carpena Muñoz. (2003). **Medida de la sorptividad del suelo con el permeámetro de Philip-Dunne**. Instituto canario de investigaciones agrarias, departamento de suelos, Apdo. 60 La Laguna, 38200 La Laguna.
- Weber, Francisco. (2014). **Parámetros del modelo de infiltración de Horton obtenidos mediante el uso de un simulador de lluvia, Córdoba, Argentina**. Universidad Tecnológica Nacional, Córdoba, Argentina.
- William, Massman. (1982). **The derivation and validation of a new model for the interception of rainfall by forests**. Department of Biology, University of Oregon, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam

## **Digitales**

**<https://es.wikipedia.org/wiki/Sostenibilidad>**

**[http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado\\_itop/415/pdfs/Capitulo%203.pdf](http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_itop/415/pdfs/Capitulo%203.pdf)**

**[http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado\\_itop/415/pdfs/Capitulo%206.pdf](http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_itop/415/pdfs/Capitulo%206.pdf)**

**[https://fremontcountywy.org/wp-content/uploads/2009/11/Perc\\_test.pdf](https://fremontcountywy.org/wp-content/uploads/2009/11/Perc_test.pdf)**