

UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA



ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA
CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE
LA PROVINCIA DE LOJA.**

**TESIS DE GRADO PREVIA A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR:

LUIS FELIPE DUQUE YAGUACHE

DIRECTOR:

ING. FERNANDO OÑATE VALDIVIESO.

LOJA – ECUADOR

2009

CERTIFICACIÓN

Ing. Fernando Oñate V.

CATEDRÁTICO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICA:

Haber dirigido, revisado y aprobado la tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Civil, presentada por el señor Luis Felipe Duque Yaguache; titulada: **DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA**, la misma que tiene la suficiente validez técnica y profundidad investigativa, así como el cumplimiento de la reglamentación requerida por parte de la Escuela de Ingeniería Civil; por lo que, se autoriza su presentación.

Ing. Fernando Oñate Valdivieso
DIRECTOR DE TESIS

CESIÓN DE DERECHOS

Luis Felipe Duque Yaguache declaro conocer y aceptar la disposición del artículo 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero académico o institucional operativo de la Universidad”.

.....
Luis Felipe Duque Yaguache.
AUTOR

AUTORÍA

Los análisis, cálculos, resultados, conclusiones y recomendaciones, en la presente tesis de grado: **DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA** es de exclusiva responsabilidad del autor.

.....
Luis Felipe Duque Yaguache

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer primero a Dios por haberme dado fuerzas para superar todo obstáculo que se me ha presentado, ya sea en mis estudios o en mi vida personal y así poder lograr uno de mis objetivos.

A mi madre, hermanos y tíos por ser un pilar fundamental en mi vida, quienes me apoyaron de una u otra manera a lo largo de mi vida universitaria.

A la Universidad Técnica Particular de Loja, a través de la Escuela de Ingeniería Civil, que me dio la oportunidad de ser un profesional y así poder servir a mi patria.

A mi director de tesis el Ing. Fernando Oñate V. por haberme guiado y aconsejado en el desarrollo de ésta investigación.

A mis amigos, compañeros y todos aquellos que se crean merecedores de mis agradecimientos por su oportuno apoyo en las diferentes actividades realizadas en todo el tiempo de estudio.

Luis Felipe Duque Yaguache.

DEDICATORIA

Esta investigación va dedicada a toda mi familia ya que estuvieron pendientes de mi hermano y de mi en todo el transcurso de nuestra carrera universitaria.

En especial quiero dedicar a mi madre Dora María, a mis tíos Robert Vicente y María Cristina, que estoy seguro los llevare en mi corazón a lo largo de toda mi existencia , quienes me apoyan incondicionalmente en mi vida. Quiero que sepan que lo que he logrado hubiera sido imposible de alcanzar si no tuviera la suerte de tenerlos. Mil gracias.

Luis Felipe Duque Yaguache.



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	ii
CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
AUTORÍA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vi

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3. ALCANCE.....	2
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.5. ORGANIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1. PRECIPITACIÓN.....	4
2.1.1. CLASIFICACIÓN.....	4
a. PRECIPITACIÓN DE CONVECCIÓN.....	4
b. PRECIPITACIÓN OROGRÁFICA.....	5
c. PRECIPITACIÓN CICLÓNICA.....	6
2.1.2. MEDICIÓN DE PRECIPITACIÓN.....	6
2.2. ESCURRIMIENTO.....	7
2.2.1. TIPOS DE ESCURRIMIENTO.....	7
a. ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL.....	8
b. ESCURRIMIENTO SUBSUPERFICIAL.....	9



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

c. ESCURRIMIENTO SUBTERRÁNEO.....	9
2.1.2. MEDICIÓN DE ESCURRIMIENTOS.....	9
2.3. INFILTRACIÓN.....	10
2.3.1. TASA DE INFILTRACIÓN.....	10
2.3.2. VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN.....	10
2.3.3. FACTORES QUE AFECTAN LA INFILTRACIÓN.....	11
a. TIPO DE SUELO.....	11
b. TEMPERATURA.....	11
c. GRADO DE HUMEDAD DEL SUELO.....	12
d. CUBIERTA VEGETAL.....	12
e. ACCIÓN DEL HOMBRE Y LOS ANIMALES.....	12
f. PRESENCIA DE SUSTANCIAS COLOIDALES.....	12
g. ACCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN SOBRE EL SUELO.....	12
2.3.4. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN.....	13
a. INFILTRÓMETRO DE DOBLE ANILLO.....	13
2.4. TEXTURA DE SUELOS.....	16
2.4.1. SUELO FRANCO ARCILLOSO.....	18
2.4.2. SUELO FRANCO ARCILLOSO ARENOSO.....	18
2.4.3. SUELO ARCILLOSO.....	18
2.5. MÉTODO DEL “NUMERO DE LA CURVA”.....	18
2.5.1. GRAFICA.....	19
2.5.2. FÓRMULA MATEMÁTICA.....	21
2.5.3. NUMERO DE LA CURVA (CN).....	23
a. CLASIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS SUELOS.....	23
b. USO Y TRATAMIENTO DEL SUELO.....	25
c. CONDICIÓN HIDROLÓGICA.....	26
d. ESTADO DE HUMEDAD ANTECEDENTE.....	26
2.6. RELACIÓN DE DATOS.....	27
2.6.1. REGRESIÓN.....	27
2.6.2. TIPOS DE REGRESIÓN.....	27
2.6.3. CORRELACIÓN.....	28



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

2.6.4. DIFERENCIA ENTRE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN	28
2.6.5. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN R	28

CAPÍTULO III

MATERIALES Y METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1. SIMULADOR DE LLUVIA UTILIZADO.....	29
3.1.1. ESTRUCTURA METÁLICA.....	29
3.1.2. SISTEMA HIDRÁULICO.....	31
3.1.3. PUESTA A PUNTO DEL SIMULADOR DE LLUVIA	33
3.2. CLASIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS SUELOS	34
3.2.1. ENSAYO DE INFILTRACIÓN ESTÁNDAR (ASTM 3385-03)	34
a. MATERIALES Y EQUIPOS	34
b. PROCEDIMIENTO.....	35
c. CÁLCULOS	37
3.2.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA MUESTRA QUE PASA POR EL TAMIZ # 200 (ASTM 1140-00).....	38
a. MATERIALES Y EQUIPOS	38
b. PROCEDIMIENTO.....	39
c. CÁLCULOS	41
3.2.3. LIMITE LÍQUIDO (AASHTO T 89-02)	41
a. MATERIALES Y EQUIPOS	42
b. PROCEDIMIENTO.....	42
c. CÁLCULOS	46
3.2.4. LIMITE PLÁSTICO (AASHTO T 90-00).....	46
a. MATERIALES Y EQUIPOS	46
b. PROCEDIMIENTO.....	46
c. CÁLCULOS	48
3.2.5. ENSAYO DE TEXTURA DEL SUELO: MÉTODO DEL HIDRÓMETRO.....	49
a. MATERIALES Y EQUIPOS	49
b. PROCEDIMIENTO.....	49
c. CÁLCULOS	51



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

3.3. USO Y TRATAMIENTO DEL SUELO	53
3.4. CONDICIÓN HIDROLÓGICA.....	57
3.5. CONDICIÓN DE HUMEDAD ANTECEDENTE	58
3.6. METODOLOGÍA DE ENSAYO.....	59
3.7. DETERMINACIÓN DEL “NUMERO DE LA CURVA”	60

CAPÍTULO IV

CÁLCULOS Y RESULTADOS

4.1. INTENSIDAD DE LLUVIA DEL SIMULADOR	61
4.2. CONDICIÓN HIDROLÓGICA DEL SUELO	62
4.2.1. VELOCIDAD FINAL DE INFILTRACIÓN (VF)	62
4.2.2. GRANULOMETRÍA	67
4.2.3. LIMITE PLÁSTICO Y LIMITE LÍQUIDO	68
4.2.4. TEXTURA	69
4.2.5. TABLA DE RESULTADOS.....	69
4.3. EJEMPLO DE CÁLCULO DE PRECIPITACIÓN Y ESCORRENTÍA	70
4.4. EJEMPLO DE CÁLCULO DEL “NÚMERO DE LA CURVA”	73
4.5. CÁLCULO DE CN PARA LAS DIFERENTES COBERTURAS ENSAYADAS	80
4.6. TABLA RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	90

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.....	91
5.2. RECOMENDACIONES.....	91
BIBLIOGRAFÍA	93

ANEXOS



1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

1.1 INTRODUCCIÓN

El S.C.S de los Estados Unidos en 1950 desarrollo el método del “Número de la Curva” para el estudio de sus proyectos hidrológicos. Después de varios años lo dieron a conocer teniendo una gran acogida. El método nos ayuda a calcular la escorrentía en cuencas medianas y pequeñas a partir de datos de precipitación y otros parámetros. Entre las diferentes aplicaciones éste procedimiento tiene las siguientes: evaluar crecidas, calcular caudales máximos, formular modelos de simulación hidrológica, etc.

El Soil Conservation Service (S.C.S.) observó que al momento de representar gráficamente la precipitación total y la parte de ésta correspondiente a precipitación efectiva se obtuvieron curvas. Para estandarizarlas se definió un número adimensional de curva, que se conoce como CN, de forma tal que $0 \leq CN \leq 100$. Para superficies impermeables y con espejos de agua CN vale 100; para superficies naturales $CN < 100$ y para superficie sin escurrimiento CN vale cero. Los valores de CN han sido tabulados para diferentes tipos de suelo y de uso de la tierra¹. Cabe recalcar que los ensayos para la obtención de datos fueron realizados bajo condiciones de los E.E.U.U, cuyos resultados no son los más apropiados para los estudios hidrológicos de nuestra provincia y el país ya que son condiciones y características diferentes, de ahí la necesidad de nuestra investigación.

En el presente trabajo investigativo se presenta valores del método “Número de la Curva”, los cuales fueron obtenidos simulando el procedimiento del Servicio de Conservación de Suelos los Estados Unidos, para cuatro coberturas quienes en base a discusiones y análisis fueron consideradas como las más representativas en nuestra provincia.

¹ VEN TE CHOW, MAIDMENT y MAYS, 1977



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO I

Los resultados obtenidos experimentalmente, están destinados a dos aspectos:

1. Realizar un análisis comparativo con los valores de las coberturas ya experimentadas por el S.C.S.
2. Con los tipos de coberturas no existentes, dar un aporte muy importante para la aplicación del método del “Número de la Curva” en nuestra provincia, para el cálculo del escurrimiento directo en una cuenca.

Nuestros ensayos fueron realizados con ayuda de un simulador de lluvia y una parcela experimental en el invernadero de la U.T.P.L. Los datos que se obtuvieron son resultados más confiables ya que están acordes a las características de nuestra zona de estudio.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Debido a que los valores del “Numero de la Curva” son resultado de un trabajo experimental con las características climáticas, geológicas y vegetativas de los E.E.U.U, se vio la necesidad de aplicar el método con las condiciones propias de nuestra provincia, y así comparar y aportar con los valores obtenidos.

1.3 ALCANCE

La presente investigación pretende entregar valores de CN imitando el método realizado por el S.C.S de acuerdo con las características de nuestra provincia, y así poder comparar con los valores que ya existen y dar un aporte a los estudios hidrológicos sobre escorrentía superficial con los valores que no especifica el método .



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO I

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Obtener experimentalmente valores del “Numero de la Curva” aplicando el método utilizado por el Servicio de Conservación de Suelos de los E.E.U.U. en coberturas representativas de nuestra provincia y con las condiciones de nuestra región.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la influencia del suelo (tipo y condición), pendiente y cobertura vegetal en la escorrentía superficial.
- Aplicar el método del “Numero de la Curva” en coberturas que no existen en las tablas y que son comunes en nuestra provincia.
- Comparar los resultados obtenidos en las coberturas que ya fueron estudiadas por el S.C.S.
- Implementar este ensayo en los laboratorios de la U.C.G.

1.5 ORGANIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

- En el capítulo 1, se realiza la descripción general del proyecto.
- En el capítulo 2, se presenta generalidades.
- En el capítulo 3, se muestran la metodología y los materiales utilizados para la obtención de los datos.
- En el capítulo 4, se presenta los cálculos realizados y los resultados logrados.
- En el capítulo 5, se observan las conclusiones y recomendaciones.



2. GENERALIDADES

2.1. PRECIPITACIÓN

La precipitación, es toda forma de humedad que originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo; de acuerdo a ésta definición la precipitación puede ser en forma de: lluvia, granizadas, garuas y nevadas¹.

2.1.1. CLASIFICACIÓN

Cuando una masa de agua llega a la atmosfera y se enfría y una parte de la humedad se condensa se forma la precipitación, si se considera el factor que hace posible la subida del aire en la atmosfera, la precipitación se puede clasificar en: precipitación de convección, orográfica y ciclónica.

a. PRECIPITACIÓN DE CONVECCIÓN

Ésta precipitación se origina cuando la masa de aire que está cerca del suelo acrecienta su temperatura y reduce su densidad, la cual trata de elevarse y de ser substituida por otra masa de aire que tiene una densidad mayor.

Existen puntos llamados células de convección, que es donde las masas de vapor se acumulan y se elevan encontrando condiciones aptas para que se produzca la precipitación y condensación.

¹ HIDROLOGIA, Máximo Villón Béjar, pág. 69



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO II

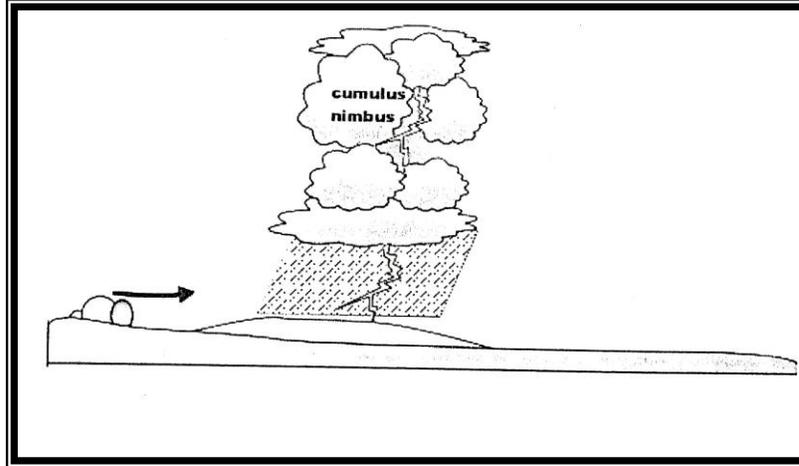


Fig. 2.1 Precipitación de Convección

Fuente: Hidrología, Máximo Villon Bejar, Pág. 71

b. PRECIPITACIÓN OROGRÁFICA

Se origina cuando existe vapor de agua cerca de la superficie y éste vapor es llevado por el viento a las montañas, las nubes se elevan a grandes altitudes siguiendo las faldas de las montañas hasta encontrar condiciones donde se pueda producir la condensación y la precipitación.²

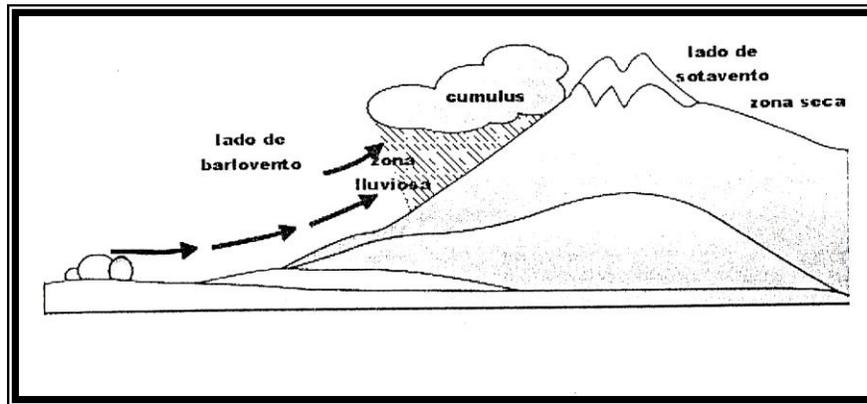


Fig. 2.2 Precipitación Orográfica

Fuente: Hidrología, Máximo Villon Bejar, Pág. 72

² Hidrología en la Ingeniería. Germán Monsalve Sanz



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO II

c. PRECIPITACIÓN CICLÓNICA

Se produce por el choque impulsivo de dos masas de aire de diferente temperatura y humedad, las nubes que tienen una temperatura mayor se elevan hasta encontrar escenario apropiado para la condensación y precipitación, ésta precipitación tiene relación con los ciclones o zonas de presión baja.

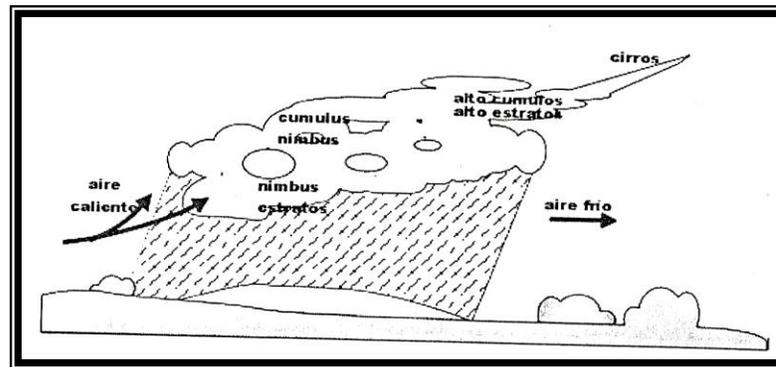


Fig. 2.3 Precipitación Ciclónica

Fuente: Hidrología, Máximo Villon Bejar, Pág. 73

2.1.2. MEDICIÓN DE PRECIPITACIÓN

La forma de calcular la precipitación es midiendo la altura de agua la cual es comúnmente expresada en milímetros, ésta indica el agua acumulada en una superficie horizontal que se produciría si la precipitación permaneciera donde cayó. Los aparatos de medición considerando el registro de precipitación pueden ser pluviógrafos y pluviómetros, los cuales son recipientes de forma cilíndrica abiertos en la parte superior y que están expuestos a la intemperie cuya función es recoger el agua resultado de la precipitación.



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO II

El pluviómetro es un recipiente cilíndrico de 20 cm de diámetro y 60cm de altura que tiene un embudo como tapa que se conecta a una probeta cuya dimensión es 10 veces menor que el de la tapa. La lectura en el pluviómetro se acostumbra hacer cada 24 horas. Para medidas que requieran un tiempo mayor y el lugar donde se encuentre el pluviómetro sea de difícil acceso se utilizan los pluviómetros totalizadores, utilizando cloruro de calcio para evitar la congelación y aceite para que no se produzca la evaporación.

El pluviógrafo es un aparato que tiene la ventaja de que se puede fijar la intensidad de lluvia, ya que registra la lamina de agua en función del tiempo. Los pluviógrafos más comunes son de forma cilíndrica, y el embudo receptor está ligado a un sistema de flotadores, que originan el movimiento de una aguja sobre un papel registrador, montado en un sistema de reloj, como el papel registrador tiene un cierto rango en cuanto a la altura de registro, una vez que la aguja llega al borde superior, automáticamente regresa al borde inferior y sigue registrando. El gráfico resultante recibe el nombre de pluviograma.

2.2. ESCURRIMIENTO

Se llama escurrimiento al transporte de agua sobre o bajo la superficie del suelo debido a la precipitación que cae sobre éste.

2.2.1. TIPOS DE ESCURRIMIENTO

La precipitación que cae sobre la superficie terrestre tiene tres comportamientos: una parte se infiltra, una segunda escurre llamándose a la precipitación que ocasiona este fenómeno como precipitación en exceso y una tercera parte la cual es muy pequeña se pierde. Basándose en lo anterior el escurrimiento se clasifica en: escurrimiento superficial, escurrimiento subsuperficial y escurrimiento subterráneo.



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO II

La siguiente figura muestra como se logra el escurrimiento total en una cuenca.

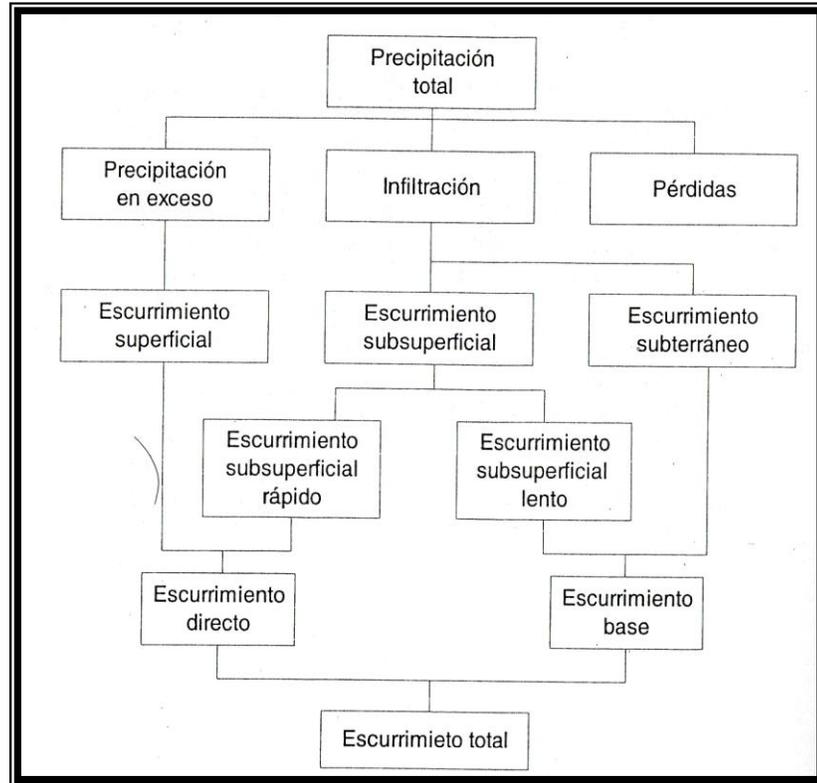


Fig. 2.4 Relación entre la precipitación y el escurrimiento total

Fuente: Hidrología, Máximo Villon Bejar, Pág. 137

a. ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

Es el escurrimiento que se produce en la superficie del suelo el cual tiene una participación inmediata en el escurrimiento total y es la precipitación que no se infiltró. La parte de la precipitación total que hace que se ocasione éste tipo de escurrimiento se denomina precipitación en exceso.



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO II

b. ESCURRIMIENTO SUBSUPERFICIAL

Es el escurrimiento que viene del agua infiltrada, éste puede tener un efecto lento o rápido con el escurrimiento total. Si el efecto es de manera rápida se la trata como escurrimiento superficial y si es lento se lo considera como escurrimiento subterráneo.

c. ESCURRIMIENTO SUBTERRÁNEO

Es el escurrimiento que se produce debido a las aguas subterráneas, como son los acuíferos.

2.2.2. MEDICIÓN DE ESCURRIMIENTOS

La rama de la hidrología que estudia la medición de la esorrentía se denomina hidrometría. Esta práctica se hace mediante el aforo, que es medir el caudal de agua que pasa a través de una sección en un determinado tiempo.

Existen muchos métodos para calcular el caudal de agua en una corriente, estos dependen de la exactitud que se quieran dar a los datos y de la dimensión de la corriente, los métodos más utilizados son: aforos con medidas de la sección y la pendiente, aforos volumétricos, aforos químicos, aforos con flotadores, aforos con vertederos y aforos con molinete, siendo estos tres últimos los más comunes y utilizados en la ingeniería.



2.3. INFILTRACIÓN

Del total de agua precipitada sobre la superficie de la tierra, una parte queda detenida (almacenamiento superficial temporal), otra discurre por aquélla (escorrentía superficial), y finalmente, una tercera parte penetra hacia el interior (infiltración).

En virtud de este concepto, se define la infiltración como el proceso por el cual el agua penetra en el suelo, a través de la superficie de la tierra, y queda retenida por él, o alcanza un nivel acuífero, incrementando el volumen anteriormente acumulado.

2.3.1. TASA DE INFILTRACIÓN

La tasa de infiltración también denominada como capacidad de infiltración de un suelo, es la máxima cantidad de agua de lluvia que el mismo puede absorber en la unidad de tiempo y en condiciones previamente definidas.

Precisamente, la relación entre la intensidad de la lluvia y la capacidad de infiltración es la que determina la cantidad de agua que penetra en el suelo y la que por escorrentía directa alimenta los cauces de las corrientes superficiales.

2.3.2. VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN

La capacidad que tiene un suelo para absorber agua se la mide a través de la velocidad de infiltración. La velocidad de penetración se hace cada vez más rápida, cuando el suelo no esta humedecido, pero si el aporte de agua es permanente llega un momento en que la velocidad es constante, a ésta se la denomina velocidad de infiltración.



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO II

Cuando se hacen ensayos para medir la velocidad de infiltración, el valor de ésta va disminuyendo hasta llegar a una velocidad final (V_f) constante la cual se mide en cm/h. Tomando en cuenta este parámetro se lo puede caracterizar al suelo de acuerdo a la permeabilidad según la siguiente tabla.

TABLA. 2.1.
Velocidad final de infiltración

TIPO DE SUELO	CONDICIÓN	V (cm/h)
A	Muy permeable	$V_f > 7.5$
B	Permeable	$1.5 < V_f < 7.5$
C	Poco permeable	$0.5 < V_f < 1.5$
D	Muy impermeable	$V_f < 0.5$

FUENTE: <http://es.wikipedia.org/wiki/Permeabilidad>

2.3.3. FACTORES QUE AFECTAN LA INFILTRACIÓN³

Para que exista infiltración en el suelo hay que tomar en cuenta muchos factores entre los cuales tenemos:

a. TIPO DE SUELO

La tasa de infiltración es directamente proporcional a las características del suelo, es decir entre mayor sea la porosidad, el tamaño de las partículas y el estado de fisuramiento del suelo, mayor será la capacidad de infiltración.

b. TEMPERATURA

Las temperaturas bajas dificultan la infiltración⁴

³ Duque, Vicente. Tesis de grado: Análisis comparativo de los factores que influyen en la infiltración, mediante ensayos en situ con un Infiltrómetro de doble anillo. u.t.p.l. Loja – Ecuador, 2007.

⁴ <http://www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/libros/hidrogeografia/cp4.pdf>., Pág. 57



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO II

c. GRADO DE HUMEDAD DEL SUELO

La tasa de infiltración tiene una relación inversamente proporcional a la humedad del suelo, un suelo húmedo tiene una menor capacidad de infiltración que un suelo seco.

d. CUBIERTA VEGETAL

La tasa de infiltración obedece al tipo de cubierta vegetal, si ésta es natural la capacidad de infiltración aumenta, si la cubierta es cultivada la tasa de infiltración depende del tratamiento que se le dé.

e. ACCIÓN DEL HOMBRE Y DE LOS ANIMALES

Si el suelo no ha sufrido ninguna acción (suelo virgen) ya sea por parte del hombre o de los animales, el suelo tiene una mayor cantidad de materia orgánica y tamaño de poros, esto favorece a la infiltración, si el suelo está sometido a muchas acciones ya sean de animales o del hombre, el suelo se llega a compactar y disminuye la capacidad de infiltración.

f. PRESENCIA DE SUSTANCIAS COLOIDALES

Las sustancias coloidales están presentes en casi todos los tipos de suelo. La deshidratación de los coloides disminuye su tamaño y aumenta el espacio para que pueda infiltrar el agua.

g. ACCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN SOBRE EL SUELO

La acción de la lluvia en el suelo puede modificar las características de éste. El choque de la precipitación hace que se compacte el suelo, así mismo la porosidad puede disminuir debido a que el agua trae consigo materiales muy finos, también afecta a la humedad de la superficie del suelo, saturando los horizontes más próximos a la misma, esto aumenta la resistencia a la penetración del agua y actúa sobre las sustancias coloidales.



2.3.4. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN

Los métodos más comunes para medir la capacidad de infiltración son los infiltrómetros, estos calculan la tasa de infiltración de una forma directa ya que se los utiliza para mediciones puntuales. Los valores obtenidos se los puede aplicar para cuencas pequeñas y homogéneas. Por lo contrario para cuencas grandes y no homogéneas en vegetación y suelo, se deberán hacer mediciones individuales en áreas homogéneas subdivididas, el lugar de medición debe ser representativo. Entre los infiltrómetros más importantes tenemos los Infiltrómetros tipo inundador y simulador lluvia. En nuestro proyecto investigativo para obtener la tasa de infiltración del suelo en estudio hemos utilizado el infiltrómetro de doble anillo (Tipo inundador), cuyo procedimiento y cálculo se lo detalla a continuación.

a. INFILTRÓMETRO DE DOBLE ANILLO⁵

El infiltrómetro de doble anillo es una herramienta que tiene dos superficies cilíndricas, el cual tiene un diámetro interior de 30 cm y un exterior de 60 cm, la altura de este cilindro es de 50 cm.

El infiltrómetro de doble anillo además de proporcionarnos la tasa de infiltración se lo puede utilizar para: determinar los coeficientes de erosión de los suelos, evaluación de determinados terrenos para la eliminación de desechos de pozos sépticos, modelos de irrigación y pluviosidad, eficacia de disolución y drenaje.

Además esta prueba es utilizada ampliamente y desde hace mucho tiempo en la ingeniería, sobre todo para: Calcular sistemas de riego, determinar aportes al agua subterránea, regular infiltraciones en canales, lagunas artificiales y reservorios, medir la percolación en rellenos sanitarios, probar la efectividad de capas impermeables en

⁵ Duque, Vicente. Tesis de grado: Análisis comparativo de los factores que influyen en la infiltración, mediante ensayos en situ con un Infiltrómetro de doble anillo. u.t.p.l. Loja – Ecuador, 2007.



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO II

obras de retención de líquidos, entre otras aplicaciones, debido a que según otros autores este ensayo les permite determinar la conductividad hidráulica saturada.

El procedimiento para determinar la capacidad de infiltración mediante el infiltrómetro de doble anillo es el siguiente:

1. En primer lugar tenemos que enterrar el cilindro en el suelo a ensayar unos 10 cm aproximadamente.
2. Se vierte una cantidad de agua conocida que cubra suficientemente una varilla de medición situada en posición vertical en el área encerrada por el cilindro interior. Se debe mantener el mismo nivel de agua en los dos cilindros, la función del cilindro exterior es impedir que el agua infiltrada en el cilindro interior se expanda lateralmente.
3. Al cabo de un cierto tiempo, que debe ser medido, la lámina de agua se debe enrasar con la varilla y se repite la operación de añadir una cantidad conocida de agua. Midiendo los tiempos que tardan en infiltrarse estos volúmenes de agua, se deduce la velocidad de infiltración y su ley de variación en función del tiempo.

En ocasiones, se van midiendo los descensos del nivel del agua, para intervalos predeterminados de tiempo, que se van espaciando a medida que decrece la velocidad de infiltración.⁶

⁶ http://fing.uncu.edu.ar/catedras/civil/hidrologia_i/archivos/hidrologia_i/HIDROLOGIA_I_U7.PDF., Pág.7-3 - 7-5



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO II

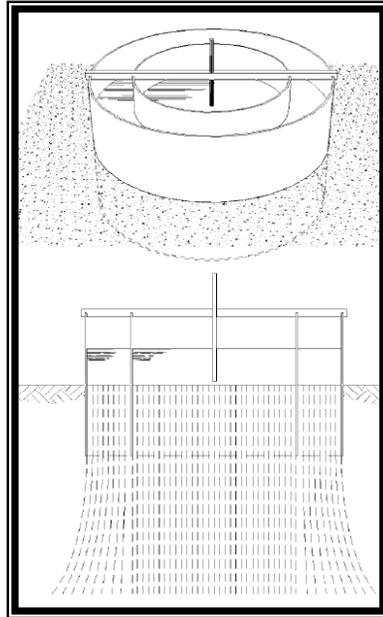


Fig. 2.5 Infiltrómetro de doble anillo

Fuente: http://fing.uncu.edu.ar/catedras/civil/hidrologia_i/archivos/hidrologia_i/HIDROLOGIA_I_U7.PDF

Para determinar la velocidad de infiltración se utiliza la siguiente expresión:

$$V = \frac{Vol}{(A * T)} \quad (2.1)$$

Donde:

V= Velocidad de infiltración incrementada (cm. /h).

Vol= Volumen (cm³)

A= Área interna del anillo interior (cm²).

T= Intervalo de tiempo en (horas).



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO II

Para luego realizar la gráfica de infiltración.⁷

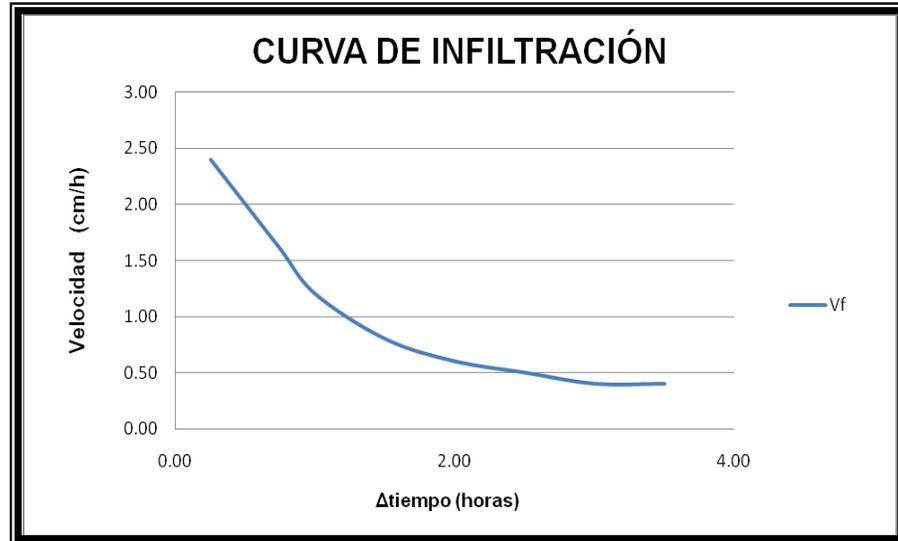


Fig. 2.6 Curva de infiltración

Fuente: El autor

2.4. TEXTURA DE SUELOS

La textura es el tamaño de las partículas que tiene el suelo y es un parámetro que nos ayuda a clasificar el suelo para estudios agrícolas, en la ciudad de Loja existen varios tipos de suelo entre los más comunes tenemos: franco arcilloso (Fo Ac), franco arcilloso arenoso (Fo Ac Ao) y arcilloso (Ac). A continuación presentamos el mapa de suelos de la ciudad así mismo describiremos brevemente los suelos antes mencionados.

⁷ NORMA ASTM D 3385-03., Pág. 6



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO II

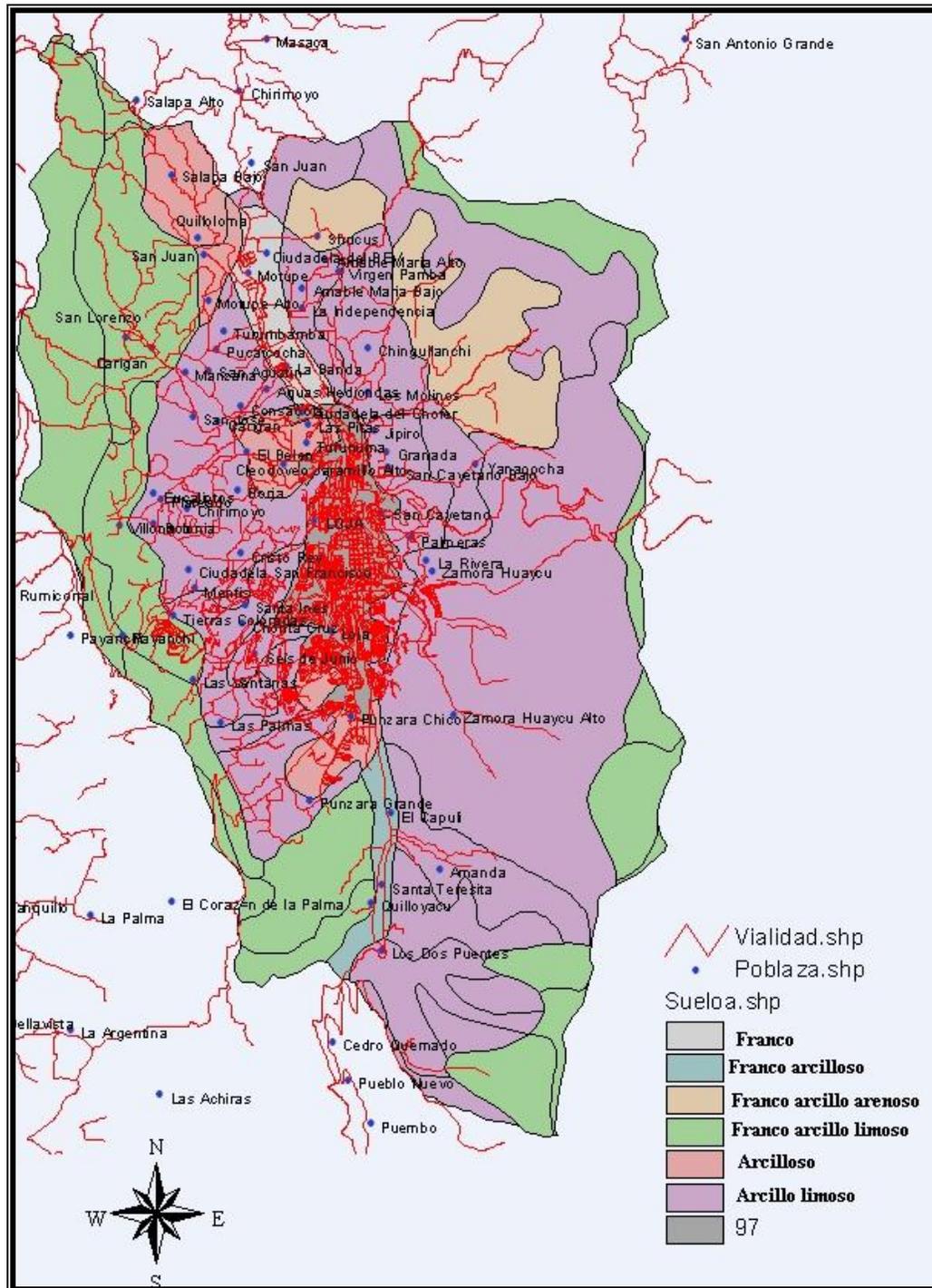


Fig. 2.7 Mapas de suelos en la ciudad de Loja

Fuente: U.N.L. (C.I.N.F.A)



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO II

2.4.1. SUELO FRANCO ARCILLOSO

Es un suelo que está entre arcilloso y franco. Se caracteriza por tener poca arena bastante arcilla pero también tiene mucho limo.

2.4.2 SUELO FRANCO ARCILLO ARENOSO

La textura franco arcillosa arenosa a igual que la franca arcillosa limosa tiene una buena consistencia, la diferencia de éstas en campo, es que la primera es más áspera al tacto y se adhiere moderadamente a los dedos y la segunda es suave y no se adhiere a los dedos.

2.4.3 SUELO ARCILLOSO

Es un suelo donde predomina la arcilla sus partículas miden menos de 0.001 milímetros.

2.5. MÉTODO DEL “NÚMERO DE LA CURVA”

El Numero de la Curva es un procedimiento que nos ayuda a calcular la escorrentía superficial en un terreno, a continuación se dan a conocer conceptos y factores que definen a este método.

Es un método empírico que calcula la escorrentía producida por una determinada precipitación en función del parámetro “Número de la Curva”, que a su vez depende de las condiciones de infiltración de la zona en que se produce la lluvia.

El “Número de la Curva” se calcula a partir de una serie de tablas y gráficos, obtenidos en parcelas experimentales con diversidad de condiciones de suelo, vegetación y condiciones de infiltración, con simulaciones de precipitaciones.



2.5.1 GRÁFICA

El nombre deriva de una serie de curvas, cada una de las cuales lleva el número CN el cual tienen valores entre 1 y 100 (Fig. 2.8).

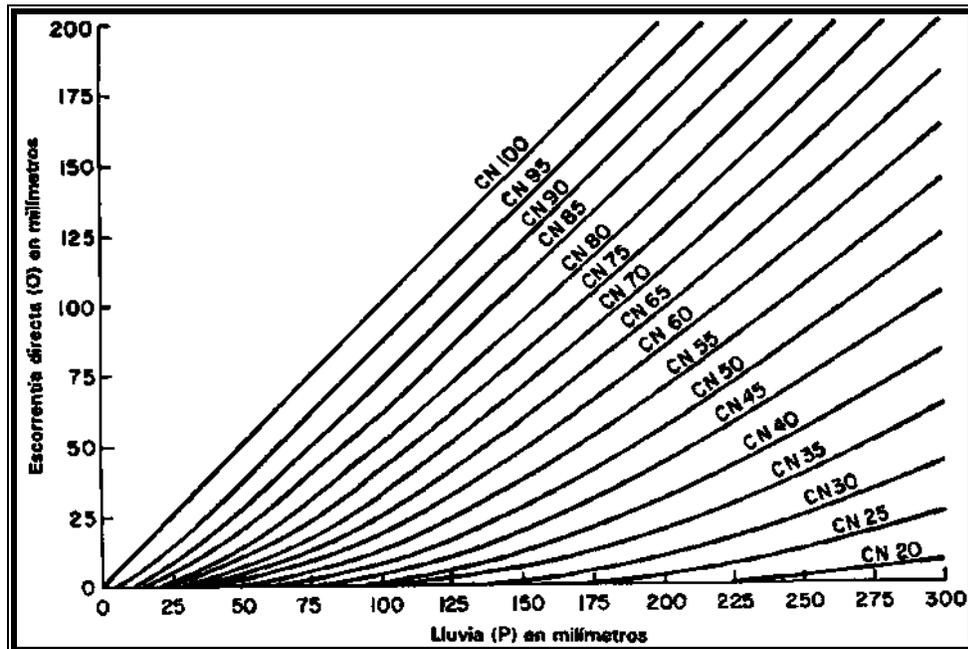


Fig. 2.8 Cálculo de la escorrentía en función de la precipitación y el número de la curva CN

Fuente: Hidrología Máximo Villón Béjar, Pág. 207

La explicación de la (Fig. 2.8) se la detalla a continuación (Fig. 2.9).



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO II

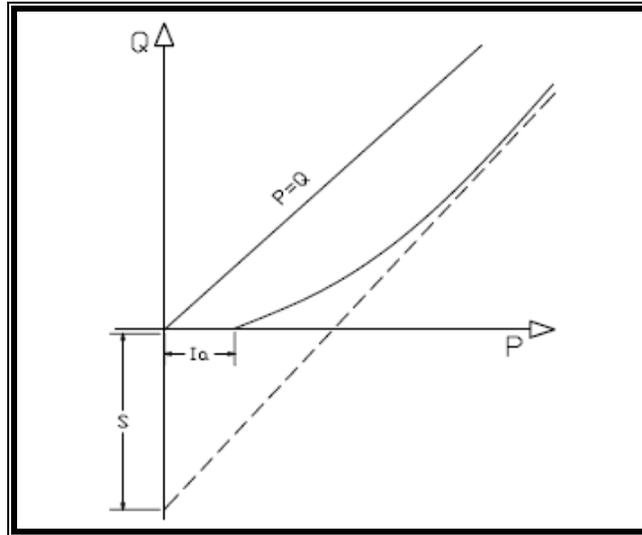


Fig. 2.9 Cálculo de la escorrentía en función de la precipitación y el número de la curva CN

Fuente: <http://ing.unne.edu.ar/pub/hidro-tp7.pdf>

Teniendo en cuenta que ***la*** consiste principalmente en pérdidas por interceptación, almacenamiento en depresiones e infiltración, antes de que se produzca el escurrimiento, entonces para precipitaciones (***P***) menores que ***la***, no tiene lugar el escurrimiento superficial (***Q***).

Para cantidad de lluvia en aumento, la curva ***Q*** en relación con ***P*** se aproxima asintóticamente a una línea recta paralela (***S***) se llama retención potencial máxima, que es la máxima cantidad de lluvia que la cuenca puede absorber. Como hay muchas curvas que cumplen la condición de pasar por el punto (***la***, ***Q***) y aproximarse asintóticamente a **$Q = P - S$** , se necesita definir otra condición para establecer la forma de la curva. Esto se hace estableciendo la relación que se detalla a continuación.⁸

⁸ <http://ing.unne.edu.ar/pub/hidro-tp7.pdf>



2.5.2 FÓRMULA MATEMÁTICA

El S.C.S plantea una ecuación de conservación de masa basándose en los datos de sus cuencas experimentales:

$$P = Q + Fa + Ia \quad (2.2)$$

Donde:

P = Precipitación total acumulada.

Q = Escorrentía acumulada.

Ia = Abstracciones iniciales.

Fa = Pérdidas acumuladas después de iniciada la escorrentía.

La hipótesis propuesta por el método del S.C.S es la siguiente:

$$\frac{\text{Retención Real}}{\text{Retención Máxima}} = \frac{\text{Escorrentía Real}}{\text{Escorrentía Máxima}}$$

$$\frac{Fa}{S} = \frac{Q}{P - Ia} \quad (2.3)$$

Introduce el concepto de retención potencial máxima de una cuenca “S”.

Combinando esta hipótesis 2.3 con la ecuación de conservación de la masa 2.2 se obtiene:

$$Q = \frac{P - Ia}{P - Ia + S} \quad P \geq Ia \quad (2.4)$$



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO II

El S.C.S propuso que la abstracción inicial (I_a) tiene una relación con la retención potencial máxima (S), y estableció que:

$$I_a = 0,2S \quad (2.5)$$

Remplazando la ecuación 2.5 en 2.4 se obtiene lo siguiente:

$$Q = \frac{P - 0.2S}{P + 0.8S} \quad P \geq 0.2S \quad (2.6)$$

La retención potencial máxima (S) es difícil de obtener y tiene un valor de 0 hasta el infinito, por lo que el S.C.S inventó un procedimiento alternativo, que es calcular el S mediante un factor llamado “Número de la Curva” (CN), con ayuda de la siguiente ecuación:

$$S(mm) = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2.7)$$

Sustituyendo la ecuación 2.7 en 2.6 y realizando operaciones se obtiene la ecuación matemática para calcular escorrentía superficial por el método del “Número de la Curva”.

$$Q = \frac{\left[P + \left(50.8 - \frac{5080}{CN} \right) \right]^2}{\left[P + \left(\frac{20320}{CN} - 203.2 \right) \right]} \quad (2.8)$$

Donde la precipitación (P) se expresa en milímetros.



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO II

2.5.3 NUMERO DE LA CURVA (CN)

Es un factor adimensional, cuyo valor esta en el rango de 1 y 100. Cuando $CN= 1$ significa una capacidad de retención máxima en la cuenca y no se produce escorrentía, si $CN = 100$ la capacidad de retención es nula y la escorrentía será igual a la precipitación. Este valor depende de la clasificación hidrológica de los suelos, uso y tratamiento del suelo, condición hidrológica y la condición de humedad antecedente.

a. CLASIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS SUELOS

La clasificación hidrológica de los suelos se basa en las propiedades de éste luego de un humedecimiento prolongado, las cuales son consideradas para estimar la tasa mínima de infiltración. Estas propiedades son las siguientes:

- Profundidad del nivel freático en época de invierno.
- Infiltración y permeabilidad del suelo luego de un humedecimiento prolongado.
- Profundidad hasta el estrato de permeabilidad muy lenta.

Es necesario resaltar que el estudio del suelo se hace sin cobertura vegetal ya que ésta es tratada independientemente.

El método clasifica en cuatro grupos de acuerdo al potencial de escurrimiento: A, B, C y D, de acuerdo a la siguiente tabla:



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO II

TABLA 2.2

Clasificación hidrológica del suelo

GRUPO DEL SUELO	PROPIEDADES
A	(Bajo potencial de escorrentía). Suelos que tienen alta tasa de infiltración aún cuando estén muy húmedos. Consisten en arenas o gravas bien o excesivamente drenadas. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.
B	(Moderadamente bajo potencial de escorrentía). Suelos con tasa de infiltración moderada cuando están muy húmedos. Suelos moderadamente profundos a profundos, moderadamente bien drenados a bien drenados, suelos con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas, y permeabilidad moderadamente lenta a moderadamente rápida. Son suelos con tasas de transmisión de agua moderada.
C	(Moderadamente alto potencial de escorrentía). Suelos con infiltración lenta cuando estén muy húmedos. Consiste en un suelo con un estrato que impide el movimiento de agua hacia abajo; suelos con texturas moderadamente finas a finas; suelos con infiltración lenta debido a sales o alkali, o suelos con niveles freáticos moderados. Esos suelos pueden ser pobremente drenados o bien a moderadamente bien drenados.
D	(Alto potencial de escorrentía). Suelos con infiltración muy lenta cuando están muy húmedos. Consisten de suelos arcillosos con alto potencial de expansión; suelos con nivel freático alto permanente; suelos con estrato arcilloso superficial; suelos con infiltración muy lenta debido a sales o alkali; y suelos poco profundos sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen tasas de transmisión de agua muy lenta.

Fuente: Hidrología. Máximo Villón Béjar, pág. 271.

Otra manera de clasificar el suelo es mediante la obtención de la velocidad final de infiltración (V_f) y observando la tabla 2.1 se procede a caracterizarlo según su permeabilidad.



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO II

b. USO Y TRATAMIENTO DEL SUELO

El uso y tratamiento del suelo se lo considera para apreciar el efecto de la condición superficial sobre una cuenca hidrográfica. El uso del suelo se refiere a la cobertura de la cuenca, pudiendo ser cobertura agrícola y no agrícola. La cobertura agrícola se refiere a todo tipo de vegetación, humus vegetal y suelos limpios y la no agrícola a áreas urbanas y superficies impermeables como carreteras, azoteas, terrazas etc.

Con una cubierta vegetal natural aumenta la capacidad de infiltración y en caso de terreno cultivado, depende del tratamiento que se le dé al suelo.

La cubierta vegetal densa favorece la infiltración y se hace más difícil que se produzca el escurrimiento superficial del agua. Cuando la precipitación ha finalizado, las raíces atrapan la humedad del suelo, aumentando la capacidad de infiltración para próximas precipitaciones.

Si el suelo no tiene un uso (suelo virgen), es decir cuando el suelo tiene un alto contenido de materia orgánica y el tamaño de sus poros es mayor, favorece a la infiltración, por lo contrario si la tierra está sometida a varios usos como de animales o al paso constante de vehículos, la separación entre poros se hace pequeña (compactación) y se vuelve impermeable.

El tratamiento del suelo se refiere a como se ha trabajado éste y se considera principalmente en coberturas agrícolas. El método del “Numero de la Curva” toma en cuenta trabajos mecánicos como perfilado de curvas de nivel y terraceo, y trabajos de manejo como rotación de cultivos y control de pastoreo.

Éste método clasifica el uso y tratamiento en bosques, prados y suelos cultivados. En los suelos cultivados considera lo siguiente: cultivos terraceados, campos sembrados a lo largo de las curvas de nivel, tierras en descanso (suelo limpio), cultivos de hilera,



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO II

cultivos de grano, cultivos en hileras rectas, rotaciones (de pobre a buena) y vegetales sembrados cercanamente.

c. CONDICIÓN HIDROLÓGICA

La condición hidrológica de la cobertura también es un factor a tomar en cuenta en el cálculo del “Número de la Curva”, ésta se divide en tres: buena, regular y pobre. Una cobertura buena es cuando esta ligeramente pastoreado, con plantas cobertoras en mas de los tres cuartos del área. Regular cuando no está muy fuertemente pastoreada, con plantas cobertoras entre la mitad y los tres cuartos del área. Pobre si la cobertura está fuertemente pastoreada, sin mulch (coberturas muertas con paja) o con plantas cobertoras en menos de la mitad del área.

d. ESTADO DE HUMEDAD ANTECEDENTE

La capacidad de infiltración presenta una relación inversa con la humedad del suelo, es decir, un suelo seco tiene mayor capacidad de infiltración.

El método clasifica la humedad precedente en tres tipos: CN (I), CN (II) y CN (III), siendo seco, normal y saturado respectivamente. Cabe recalcar que la condición de humedad se toma en cuenta solo hasta los cinco días anteriores al evento.

Para que un suelo esté en una condición seca la precipitación acumulada (durante los cinco días anteriores) debe estar entre 0 mm y 36 mm. Así mismo la lluvia almacenada para una condición normal debe estar en el rango de 36 mm y 53 mm. Por último la condición saturada la precipitación reservada debe ser más de 53 mm.⁹

Los valores de CN (I) y CN (III) son transformados a partir de CN (II) mediante las siguientes ecuaciones ¹⁰

⁹ Francisco Aparicio. Fundamentos de hidrología de superficie.pag 189

¹⁰ Ven Te Chow. Hidrología Aplicada.



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO II

$$CN(I) = \frac{4.2 * CN(II)}{10 - 0.058 * CN(II)} \quad (2.9)$$

$$CN(II) = \frac{23 * CN(I)}{10 + 0.13 * CN(I)} \quad (2.10)$$

2.6. RELACIÓN DE DATOS

2.6.1 REGRESIÓN

El análisis de regresión es un intento de examinar la relación que existe entre una variable dependiente y un conjunto de variables independientes.

2.6.2 TIPOS DE REGRESIÓN

La regresión se puede clasificar en base a tres criterios: en función del número de variables independientes (simples y múltiples), dependiendo del tipo de función $f(x)$ (regresión lineal y no lineal) y por último observando la naturaleza de relación que existe entre las dos variables (La variable X puede ser la causa del valor de la variable Y).

Tomando los criterios anteriores, entre los muchos tipos de regresión tenemos:

- **Regresión Lineal** : $y = A + Bx$
- **Regresión Logarítmica** : $y = A + B \ln(x)$
- **Regresión Exponencial** : $y = A c(bx)$
- **Regresión Cuadrática** : $y = A + Bx + Cx^2$
- **Regresión Potencial** : $y = AX^B$



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO II

2.6.3 CORRELACIÓN

La correlación es un elemento estadístico que nos permite: comprobar que nuestras medidas, o las de los otros, son razonables, contrastar una hipótesis e intentar descubrir algo nuevo.

2.6.4 DIFERENCIA ENTRE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN

La diferencia que existe entre la regresión y la correlación es que ésta última no distingue entre las variables respuesta y la variable explicativa por que las trata en forma simétrica.

2.6.5 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN R

El coeficiente de correlación mide el grado de relación existente entre dos variables, el valor de R varía de -1 a 1, pero en la práctica se trabaja con un valor absoluto de R.

El valor del coeficiente de correlación se interpreta de modo que a medida que R se aproxima a 1, es más grande la relación entre los datos, por lo tanto R mide la aproximación entre las variables. El coeficiente de correlación se puede clasificar de la siguiente manera:

CORRELACIÓN	VALOR O RANGO
1) Perfecta	1) $R=1$
2) Excelente	2) $R = 0.9 \leq R < 1$
3) Buena	3) $R = 0.8 \leq R < 0.9$
4) Regular	4) $R = 0.5 \leq R < 0.8$
5) Mala	5) $R < 0.5$



3. MATERIALES Y METODOLOGÍA EMPLEADA

A continuación se presenta los materiales y metodología empleada para la determinación experimental del “Numero de la Curva”. Como ya se dijo en los capítulos anteriores nos basaremos en el método desarrollado por el S.C.S. Para esto determinaremos cuatro aspectos que son:

- Clasificación hidrológica de los suelos
- Uso y Tratamiento del suelo
- Condición Hidrológica
- Condición de Humedad antecedente

Cabe mencionar que el método clasifica la pendiente del terreno en dos partes: <1 y >1%, escogiendo para nuestros ensayos un terreno mayor al 1%.

Así mismo para lograr los valores de precipitación-escorrentía se procedió a representar la precipitación con ayuda de un simulador de lluvia, se eligió este proceso debido a que nos da la oportunidad de hacerlo de una forma rápida y eficaz.

3.1. SIMULADOR DE LLUVIA UTILIZADO

Para el desarrollo del proyecto se utilizo el simulador ubicado en el invernadero de la U.T.P.L. el mismo que es producto de una investigación anterior, éste consta de: una estructura metálica y un sistema hidráulico.

3.1.1 ESTRUCTURA METÁLICA

La estructura metálica está diseñada para soportar el sistema hidráulico. A continuación se describen las características de la estructura:

- **Alto:** 1.5 m a 2.5 m
- **Ancho:** 2 m



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.
CAPÍTULO III

- **Largo:** 2.5 m
- **Distancia entre aspersores:** 1m
- **Superficie a cubrir:** 5 m²



Fig. 3.1 Simulador de lluvia tipo pulverizador

Fuente: IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO FÍSICO PARA EL ESTUDIO DEL EFECTO DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN, PAVIMENTOS CELULARES Y LAGUNAS DE RETENCIÓN EN EL MANEJO DE AGUAS DE TORMENTA, Jasson Orellana.

Para la recolección de la lluvia se utilizó un canal recolector de sección rectangular el cual tiene las siguientes dimensiones:

- **Largo:** 2m
- **Ancho:** 0.1m
- **Altura:** 0.08m



Fig. 3.2 Canal Recolector

Fuente: IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO FÍSICO PARA EL ESTUDIO DEL EFECTO DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN, PAVIMENTOS CELULARES Y LAGUNAS DE RETENCIÓN EN EL MANEJO DE AGUAS DE TORMENTA, Jasson Orellana.



3.1.2 SISTEMA HIDRÁULICO

El sistema hidráulico es de vital importancia ya que nos ayuda a controlar y simular la lluvia, a continuación se describen sus componentes:

- Motor-bomba de 0.5 HP de 1" x 1"



Fig. 3.3

Fuente: El Autor

- Tanque para medición de escurrimiento



Fig. 3.4

Fuente: El Autor



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO III

- Aspersor tipo spray-cone, modelo Garden.



Fig. 3.5

Fuente: El autor

- Manómetro, controlador de presión



Fig. 3.6

Fuente: El Autor



3.1.3 PUESTA A PUNTO DEL SIMULADOR DE LLUVIA

El presente simulador de lluvia tiene como objetivo principal medir la escorrentía superficial en diferentes coberturas vegetales, usando para esto aspersores que controlan tanto la intensidad y duración de la precipitación.

Antes de realizar los ensayos se procedió a hacer pruebas en el terreno, las mismas que tienen dos objetivos principales:

- Verificar el óptimo funcionamiento del simulador
- Medir su intensidad.

Se realizaron dos pruebas cortas de 2 y 3 minutos aproximadamente a una presión constante de 20 psi, estas consistieron en obtener la precipitación simulada en un tiempo determinado, con estos datos podemos calcular la intensidad de lluvia partiendo de la siguiente ecuación:

$$I = \frac{P}{t} \quad (3.1)$$

Donde:

I = Intensidad (mm/h).

P = Precipitación (mm.)

t = Tiempo (h).

Para obtener la precipitación del simulador se utilizó la ecuación 3.2

$$P = \frac{V_{asp}}{A_p} * 1000 \quad (3.2)$$

Donde:



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO III

P= Precipitación (mm).

V_{asp}=Volumen de agua que vierten los aspersores (m³.)

A_p = Área de la parcela (m²).

3.2. CLASIFICACIÓN HIDROLÓGICA DE LOS SUELOS

Para hacer la clasificación hidrológica del suelo calcularemos la tasa de infiltración del suelo por medio del ensayo de infiltración estándar (ASTM D 3385-03), y observando en la tabla 2.1 procederemos a ver su permeabilidad, cabe recalcar que el suelo estará previamente saturado. Así mismo haremos dos ensayos de clasificación de suelos, el primero será el ensayo de mecánica de suelos con su respectiva granulometría y límites de Atterberg (Límite líquido y Límite Plástico) y con los datos obtenidos especificaremos el tipo de suelo por el método S.U.C.S. y el segundo será el de Bouyoucos o del hidrómetro que nos proporcionaría el porcentaje de limo, arcilla y arena que tiene el suelo en estudio y con ayuda del triángulo de textura (Fig. 3.21) clasificaremos el suelo.

3.2.1 ENSAYO DE INFILTRACIÓN ESTÁNDAR (ASTM D 3385-03)

El ensayo de infiltración estándar se lo realizará por medio del infiltrómetro de doble anillo, a continuación se describe los materiales y equipos utilizados y el procedimiento ejecutado.

a. MATERIALES Y EQUIPOS

- Infiltrómetro de doble anillo, el mismo que tiene una altura de 50 cm y está compuesto por dos anillos concéntricos con un diámetro de 30 y 60 cm.
- Cronómetro
- Flexómetro
- Libreta para apuntes
- Combo



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO III

- Recipientes
- Marcador a prueba de agua
- Taco de madera

b. PROCEDIMIENTO

- Primero se procede a enterrar el cilindro de 10 a 15 cm en el sitio de ensayo observando que el cilindro este perpendicular a la superficie del terreno. Para enterrar el cilindro uniformemente se debe golpear sus bordes con el combo sobre el taco de madera para que no se lastime el cilindro. Para verificar la profundidad que se ha enterrado, con el flexómetro procedemos a medir la altura del cilindro y ésta debe ser aproximadamente de 40 a 35 cm.



Fig. 3.7

Fuente: El Autor

- Marcar una altura de 20 a 40 cm desde la superficie del terreno con el marcador a prueba de agua, esta altura nos ayudara a observar a qué nivel queda el agua del suelo.



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO III



Fig. 3.8

Fuente: El Autor

- Vierta agua en el anillo exterior y luego en el interior hasta la altura marcada en el segundo paso, se debe mantener el mismo nivel de agua en los dos anillos.



Fig. 3.9

Fuente: El Autor

- Se procede a registrar los datos.
- La toma de datos se hace hasta tener una velocidad de infiltración constante, comúnmente se hace en un periodo de 6 horas, se recomienda hacer en



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO III

intervalos de 15 min en la primera hora, de 30 min en la segunda hora y 60 min para el resto del ensayo. En los casos en que el ensayo comienza con una velocidad muy alta se recomienda tomar los datos en intervalos de 5 min, y dependiendo del comportamiento de la velocidad el periodo de tiempo se puede alargar.

- Basado en experiencias anteriores se recomienda hacer mínimo tres ensayos para tener una mejor estimación de los resultados.

c. CÁLCULOS

El procedimiento de cálculo se lo describe a continuación:

- Calculamos el volumen del líquido que se infiltró mediante la siguiente ecuación

$$\boxed{Vol = A * Y} \quad (3.3)$$

Donde:

Vol = Volumen (cm³)

Y = Distancia perpendicular a la superficie de ensayo medida desde la señal impuesta en el anillo hasta la superficie del agua después de transcurrido el intervalo de tiempo. (cm.)

A = Área interna del anillo interior (cm²).

- Determinamos la velocidad de infiltración con ayuda de la ecuación 3.4.

$$\boxed{V = \frac{Vol}{(\Delta T * A)}} \quad (3.4)$$



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO III

Donde:

V = Velocidad de infiltración incrementada.

ΔT = Intervalo de tiempo en (horas).

A = Área interna del anillo interior (cm^2).

- La velocidad de infiltración al principio del ensayo tiene un valor alto pero luego se va estabilizando, a esta velocidad se la conoce como velocidad final (V_f), siendo éste el valor el que nos interesa ya que mide la tasa de infiltración del suelo.
- Dibujamos la grafica de infiltración, ubicando el incremento del tiempo transcurrido para el ensayo (ΔT) en las abscisas y la velocidad de infiltración (V) en las ordenadas.

3.2.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA MUESTRA QUE PASA POR EL TAMIZ # 200 (ASTM D 1140-00)

La granulometría de partículas se determina por un análisis de tamices (o granulometría) efectuado sobre las muestras de agregado. La granulometría consiste en hacer pasar la muestra por una serie de tamices de diferentes aberturas.

a. MATERIALES Y EQUIPOS.

- Horno
- Balanza
- Recipiente
- Tamices, Los tamices normalmente requeridos se indican en la tabla 3.1



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.
CAPÍTULO III

Tabla 3.1

Diferentes tipos de tamices

Designación Estándar mm	Designación alternativa
75	3 pulg.
50	2 pulg.
25	1 pulg.
9.25	3/8 pulg.
4.75	Nº 4
2.00	Nº 10
0.425	Nº 40
0.075	Nº 200

Fuente: El autor

b. PROCEDIMIENTO.

- Tome una muestra representativa de 500 gr del lugar de ensayo.
- Ponga la muestra sobre los tamices # 40 y # 200 y asegúrese que todo el material sea transferido por medio de un chorro de agua.



Fig. 3.10

Fuente: Programa de Certificación Vial, UTPL, 2008



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.
CAPÍTULO III

- Lave la muestra manipulando ligeramente a mano para facilitar el proceso de lavado, teniendo cuidado de no perder nada de material retenido, hasta que el agua que pase por el tamiz N° 200 sea clara.



Fig. 3.11

Fuente: Programa de Certificación Vial, UTPL, 2008

- Cuando el lavado se complete, vierta el material retenido en cada uno de los tamices en un recipiente y asegúrese que todo el material sea transferido.



Fig. 3.12

Fuente: Programa de Certificación Vial, UTPL, 2008

- Seque el material contenido en el recipiente por 24 horas hasta una masa constante a una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F).



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO III

- Pese la masa del material seco con una precisión de 0.01 g.

c. CÁLCULOS.

- Calcule la cantidad de material que pasa por el tamiz de 75 μm (N° 200) por lavado, de la siguiente forma:

$$A = \frac{(B - C)}{B} * 100 \quad (3.5)$$

Donde:

A= Porcentaje del material fino que pasa el tamiz # 200 por lavado, con una precisión de 0.1 %.

B= Peso de la muestra seca en gramos, gr.

C = Peso de la muestra después de lavar en gramos, gr.

3.2.3 LÍMITE LÍQUIDO (AASHTO T 89-02).

El límite líquido (LL) es el contenido de humedad que tiene un suelo al momento de pasar de estado plástico a un estado semilíquido. El estado líquido se define como la condición en la que la resistencia al corte del suelo es tan baja que un ligero esfuerzo lo hace fluir.



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO III

a. MATERIALES Y EQUIPOS.

- Plato
- Espátula
- Copa de casa grande
- Ranurador
- Recipientes
- Balanza
- Horno

b. PROCEDIMIENTO.

- Se tomará una muestra con una masa aproximada de 100 g, de la porción completamente mezclada del material pasante del tamiz de 0.425 mm (Nº 40) que se ha obtenido de acuerdo con la norma AASHTO T87, preparación seca de muestras de suelos perturbados y muestras de suelo-agregado para ensayos, ó la norma AASHTO T 146, preparación húmeda de muestras de suelos perturbados para ensayos
- Por medio del calibrador del mango del ranurador, ajuste la altura a la cual se levanta la copa, de tal manera que el punto en la copa que hace contacto con la base esté exactamente a 10 mm sobre ésta.
- Ponga la muestra en el plato de mezclado y agregue de 15 ml a 20 ml de agua destilada o desmineralizada revolviendo alternadamente y repetidamente, amasando y cortando con la espátula a fin de homogenizar la muestra. Luego se harán incrementos de agua de 1 ml a 3 ml. Cada incremento de agua se mezclará completamente, con la muestra como se indicó anteriormente, antes de hacer otro incremento de agua.



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.
CAPÍTULO III



Fig. 3.13

Fuente: Programa de Certificación Vial, UTPL, 2008

- Cuando el agua suficiente ha sido completamente mezclada con la muestra hasta formar una masa uniforme de consistencia dura, ponga una cantidad suficiente de esta mezcla en la copa de Casagrande y se extiende con la espátula hasta alcanzar una profundidad de 10 mm al punto de espesor máximo. Para evitar que la muestra colocada sobre la copa sea insuficiente, es conveniente poner una cantidad un poco mayor y se elimina el sobrante al enzararlo con la espátula. Para extender la muestra se procede del centro hacia los extremos sin aplicar una presión excesiva, con el mínimo de pasadas de la espátula.



Fig. 3.14

Fuente: Programa de Certificación Vial, UTPL, 2008



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO III

- Con una firme pasada del ranurador se hace una abertura en la parte central de la muestra contenida en la copa, para lo cual, se mantendrá el ranurador normal a la superficie interior de la copa, como indica la Fig. 3.15.



Fig. 3.15

Fuente: Programa de Certificación Vial, UTP, 2008

- Colocado y ranurado el material, se acciona el casagrande para alzar y dejar caer la copa a razón de dos golpes por segundo hasta lograr que los bordes inferiores de la ranura se pongan en contacto en una distancia de aproximadamente 13 mm y se registra el número de golpes necesarios para cerrar la ranura esta distancia.
- Se toma una rodaja de la muestra aproximadamente la anchura de la espátula, extendiéndose de borde a borde de la copa e incluso la porción de la ranura en que la muestra fluyó, y se pone en un recipiente, el cual se secará de acuerdo con la norma AASHTO T 265 para determinar el contenido de humedad, y se registra los resultados.



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO III



Fig. 3.16

Fuente: Programa de Certificación Vial, UTPL, 2008

- La muestra que permanece en la copa se pone en el plato de mezclado, para lavar y secar la copa y el ranurador para el próximo ensayo.
- Los pasos anteriores se repiten para por lo menos dos porciones adicionales de la muestra a la que se ha agregado el agua suficiente para que la muestra tenga una condición más fluida. El objeto de este procedimiento es obtener muestras de tal consistencia que por lo menos una determinación se hará en cada uno de lo siguiente rangos de golpes: 25 a 30, 20 a 25, 15 a 20, así que el rango en las tres determinaciones es por lo menos 10 golpes.
- Luego se grafican los puntos correspondientes a cada determinación, en un gráfico semi-logarítmico, en el cual se representa, en las abscisas el número de golpes en escala logarítmica y en las ordenadas el contenido de humedad en escala aritmética. Se traza una línea recta que una aproximadamente los puntos graficados, a esta recta se llama curva de fluidez.



c. CÁLCULOS.

Se tomará como límite líquido de la muestra al contenido de humedad que corresponda a la intersección de la curva de flujo con la ordenada a los 25 golpes. El valor obtenido redondéelo al valor más cercano.

3.2.4 LIMITE PLÁSTICO (AASHTO T 90-00).

El límite plástico (LP) es la frontera entre el estado plástico y el semisólido de un suelo. En este estado el suelo puede ser deformado rápidamente o moldeado sin recuperación elástica, y existen cambios de volumen, agrietamiento o desmoronamiento.

Con los valores de LL y LP determinamos el índice de plasticidad (IP) que se define como la diferencia entre estos dos límites.

a. MATERIALES Y EQUIPOS.

- Plato de porcelana.
- Espátula ó cuchillo que tenga una hoja aproximadamente de 75 mm a 100 mm de longitud y 20 mm de ancho, con punta redonda.
- Superficie para la rodadura.
- Horno.
- Balanza.

b. PROCEDIMIENTO.

- Se prepara una muestra de suelo con una masa aproximada de 20 g del material que pasa el tamiz 0.425 mm, obtenido de acuerdo con la norma AASHTO T 87, preparación de muestras seca de suelo perturbado y muestra de suelo agregado para ensayos ó la norma AASHTO



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.
CAPÍTULO III

T 146, preparación de muestras húmedas de suelo perturbado para ensayos. Coloque el suelo secado al aire en el plato de mezclado y agregue agua destilada o desmineralizada hasta que la masa se vuelva plástica, y pueda formarse fácilmente una bola. Tome una porción de esta bola de aproximadamente 8 g de masa para el ensayo.



Fig. 3.17

Fuente: Programa de Certificación Vial, UTPL, 2008

- Ruede la masa de suelo entre la palma o los dedos de la mano y el plato de vidrio con presión suficiente para enrollar la masa hasta obtener un hilo de diámetro uniforme. El hilo se irá deformando hasta que su diámetro alcance 3 mm esto no debe tomar más de 2 minutos.



Fig. 3.18

Fuente: Programa de Certificación Vial, UTPL, 2008



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO III

- Recoja las porciones de suelo disgregado y colóquelas en un recipiente seco, tápelo inmediatamente y determine el contenido de humedad del suelo de acuerdo con la norma AASHTO T 265, y registre los resultados

c. CÁLCULOS.

Calculamos el límite plástico, mediante la siguiente expresión:

$$LP = \frac{W_{mh} - W_{ms}}{W_{ms} - W_R} * 100 \quad (3.6)$$

Donde:

LP = Límite plástico en porcentaje, %.

W_{mh} = Peso de la muestra húmeda en gramos, gr.

W_{ms} = Peso de la muestra seca en gramos, gr.

W_R = Peso del recipiente en gramos, gr.

- Cuando el límite líquido o límite plástico no pueden ser determinados, registre el índice de plasticidad como NP (no plástico)
- Cuando el límite plástico es equivalente a, o mayor que, que el límite líquido, registre el índice de plasticidad con NP (no plástico)



3.2.5 ENSAYO DE TEXTURA DEL SUELO: MÉTODO DEL HIDRÓMETRO.

Con el presente ensayo determinaremos la cantidad de arcilla, limo y arena presente en la muestra de suelo y su clasificación textural.

a. MATERIALES Y EQUIPOS.

- 1 balanza.
- 1 vaso de precipitados.
- 1 agitador manual.
- 1 agitador eléctrico.
- 1 Probeta graduada.
- 1 hidrómetro.
- 1 termómetro.

b. PROCEDIMIENTO.

El procedimiento utilizado para el presente ensayo fue el siguiente:

- Ponemos en el vaso de precipitados 50 gr. de la muestra a ensayar, 100 ml. de agua destilada, 5 ml de hidróxido de sodio y 5 ml de oxalato de sodio para luego remover ligeramente.



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO III

- Agitamos la muestra por el tiempo de 5 min. En el agitador eléctrico.



Fig. 3.19

Fuente: El Autor

- Ubicamos toda la muestra en la probeta agregando agua destilada hasta completar 1110 ml.



Fig. 3.20

Fuente: El Autor

- Agitamos manualmente la probeta haciéndola girar verticalmente 10 veces.



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO III

- Colocamos la probeta en un lugar estable e introducimos el hidrómetro y procedemos a realizar la primera lectura, luego de 40 segundos. Así mismo determinamos la temperatura.
- Realizamos la segunda lectura después de dos horas de haber realizado la primera para luego registrar los datos de hora, hidrómetro y temperatura en el formato correspondiente.

c. CÁLCULOS.

Antes de calcular los diferentes parámetros se procede a corregir las lecturas por temperatura con las siguientes formulas:

$$L1_{\text{corregida}} = L1 + 0.36 * (\text{Temperatura.promedio} - 20) \quad (3.7)$$

$$L2_{\text{corregida}} = L2 + 0.36 * (\text{Temperatura.promedio} - 20) \quad (3.8)$$

Donde:

$L1_{\text{corregida}}$ = Primera lectura corregida.

$L2_{\text{corregida}}$ = Segunda lectura corregida.

$L1$ = Primera lectura.

$L2$ = Segunda lectura.

Para determinar el porcentaje de material en suspensión se utiliza la siguiente expresión:

$$\% Ms = \frac{L1_{\text{corregida}}}{\text{Pesodelamuestra}} * 100 \quad (3.9)$$



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.
CAPÍTULO III

Para determinar el porcentaje de arena se utiliza:

$$\% \text{ Arena}(A_o) = 100 - \% M_s \quad (3.10)$$

Para determinar el porcentaje de arcilla se utiliza:

$$\% \text{ Arcilla}(A_c) = \frac{L2_{\text{corregida}}}{\text{Pesodelamuestra}} * 100 \quad (3.11)$$

Para determinar el porcentaje de limo se utiliza:

$$\% \text{ Limo}(L_o) = \% M_s - \% A_c \quad (3.12)$$

Una vez obtenidos estos valores se procede a clasificar el suelo con ayuda del triángulo de textura, como se lo explica a continuación: Con el porcentaje de arena se traza una paralela al línea de los limos, con el porcentaje de las arcillas se traza una paralela a la línea de las arenas y por ultimo con el porcentaje de los limos se traza una paralela a la línea de las arcillas, en el lugar donde se encuentre la intersección de estas tres líneas será el tipo de suelo escogido para el ensayo.



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.
CAPÍTULO III

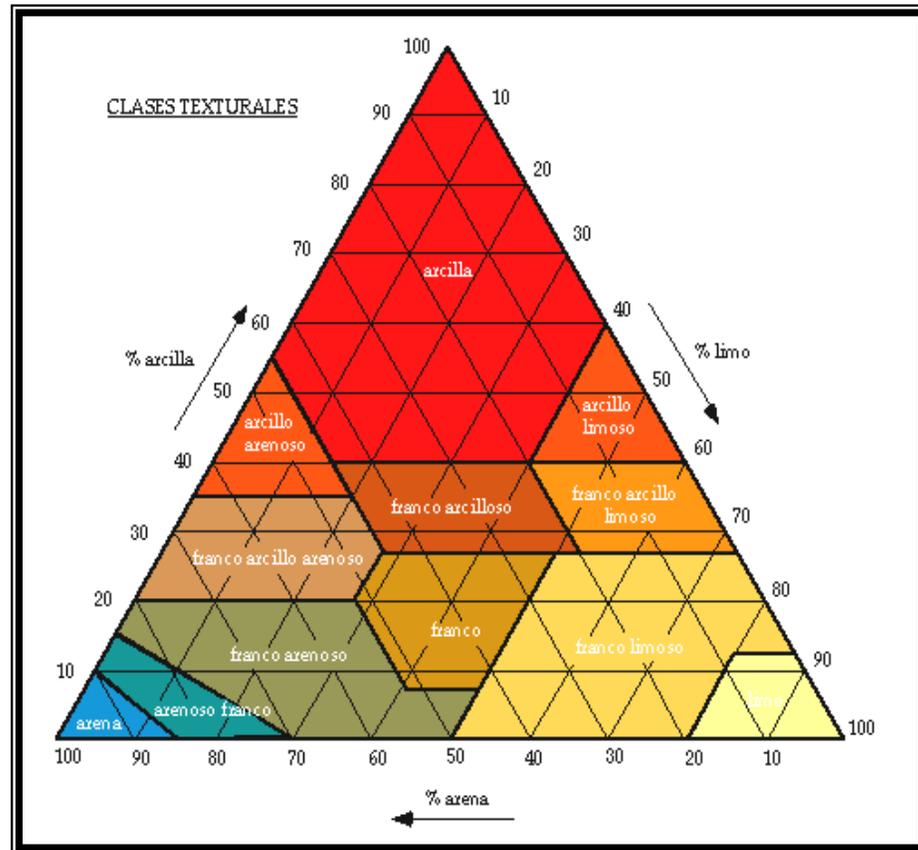


Fig. 3.21 Triángulo de textura

FUENTE: Kirkby y Morgan, 1980, Erosión de suelos, John Wiley & Sons Ltd., pág. 150

3.3. USO Y TRATAMIENTO DEL SUELO

El uso del suelo se refiere a la cobertura agrícola y no agrícola en que se realizara los ensayos, en este caso hemos escogido realizar los estudios en cobertura agrícola. Las que fueron escogidas son las siguientes:



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO III

- Arbusto



Fig. 3.22

Fuente: El Autor



Fig. 3.23

Fuente: El Autor



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.
CAPÍTULO III

- Pasto – Arbusto



Fig. 3.24

Fuente: El Autor

- Arbusto Afoliado



Fig. 3.25

Fuente: El Autor



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.
CAPÍTULO III

- Regeneración Natural (Llashipa)



Fig. 3.26

Fuente: El Autor

- Pajonal



Fig. 3.27

Fuente: El Autor



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO III

Todas estas coberturas fueron trasplantadas en la parcela del simulador de lluvia dejándolas un cierto tiempo para su respectivo enraizamiento.

El tratamiento se lo hace a toda cobertura agrícola y se refiere a las prácticas mecánicas tales como sistema de bordos, curvas de nivel y la ejecución de prácticas para el control de erosión y rotación de cultivos. En nuestro caso no hemos adoptado ningún tipo de tratamiento

3.4. CONDICIÓN HIDROLÓGICA

La condición hidrológica se refiere a la capacidad de la superficie para favorecer o dificultar el escurrimiento directo, se la clasifica de acuerdo a la tabla 3.2.

Tabla 3.2

Condición hidrológica del suelo según el S.C.S.

CONDICIÓN HIDROLOGICA	VEGETACIÓN
Pobre (poor)	Fuertemente pastoreado. Sin mulch (coberturas muertas como paja) o con plantas cobertoras en menos de la mitad del área.
Regular (Fair)	No muy fuertemente pastoreado. Con plantas cobertoras entre la mitad y los tres cuartos del área.
Buena (good)	Ligeramente pastoreado. Con plantas cobertoras en más de los tres cuartos de área.

Fuente: SWAT, Bases teóricas, Pág. 8.4



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO III

A continuación en la tabla 3.3 se detalla la condición hidrológica escogida para cada uso de suelo:

Tabla 3.3

Condición hidrológica para los diferentes usos de suelo.

USO DEL SUELO	CONDICIÓN HIDROLÓGICA
Arbusto	Buena-Regular
Pasto-Arbusto	Buena
Arbusto afoliado	Buena
Regeneración natural	Buena
Pajonal	Buena

Fuente: El Autor

3.5. CONDICIONES DE HUMEDAD ANTECEDENTE

La condición de humedad o estado de humedad tiene en cuenta los antecedentes previos de humedad de la cuenca, determinado por la lluvia total en el periodo de 5 días anterior a la tormenta. La tabla 3.4 clasifica el estado de humedad de la cuenca:

Tabla 3.4

Condición de humedad antecedente según el S.C.S.

Clases de condiciones de humedad antecedentes	Lluvia total de los 5 días anteriores (mm)	
	Estación sin desarrollo vegetativo	Estación de crecimiento vegetativo
I	< 12.7 mm	< 35.6 mm
II	12.7 a 27.9 mm	35.6 a 53.3 mm
III	> 27 mm	> 53.3 mm

Fuente: <http://ing.unne.edu.ar/pub/hidro-tp7.pdf>



La condición de humedad en que se estudió fue la condición saturada (CNIII) para luego transformarla con ayuda de la ecuación 2.10 a CN (II). Para lograr éste estado, con ayuda del simulador se procedió a saturar el suelo antes de realizar cada ensayo.

3.6. METODOLOGÍA DE ENSAYO

Una vez trasplantadas y enraizadas nuestras coberturas en la parcela experimental se siguió el siguiente procedimiento para la toma de datos:

- Encendemos el simulador.
- Registramos el tiempo simulado.
- Esperamos de 3 a 5 minutos para que el agua escurra completamente en el canal recolector.
- Registramos la altura de agua en el tanque de medición de escurrimiento.

Cumplido este proceso procedemos a calcular la precipitación y la escorrentía producto de dicha simulación. Así tenemos:

Precipitación.

$$P = I * t \quad (3.13)$$

Donde:

P= Precipitación (mm).

I = Intensidad de lluvia del simulador (mm/h).

t = Tiempo simulado (h).



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.
CAPÍTULO III

Escorrentía.

$$E = \frac{Ve}{Ap} * 1000 \quad (3.14)$$

$$Ve = \frac{\pi * d^2}{4} * h \quad (3.15)$$

Donde:

E = Escorrentía superficial (mm).

Ap = Área de la parcela (m²).

Ve = Volumen que escurre (m³).

d = Diámetro del tanque de medición de escurrimiento (m).

h = Altura del agua en el tanque de medición de escurrimiento (m).

3.7. DETERMINACIÓN DEL “NÚMERO DE LA CURVA”

Para determinar el coeficiente CN se utilizó el siguiente procedimiento.

- Determinados los datos de precipitación y escorrentía con ayuda del simulador, procedemos a correlacionarlos.
- Agregamos una línea de tendencia escogiendo la que mejor se adapte a los datos.
- Con la línea de tendencia escogida superponemos en la fig. 2.8.
- Observamos en que curva de CN se ajusta mejor nuestra línea de tendencia, siendo éste el valor escogido para nuestro ensayo.



4. CÁLCULOS Y RESULTADOS

En el presente capítulo presentamos los cálculos realizados y los resultados obtenidos de la presente investigación.

4.1. INTENSIDAD DE LLUVIA DEL SIMULADOR

Para obtener la intensidad de lluvia del simulador se procedió hacer dos pruebas cortas con una duración de 2 y 3 minutos.

Por lo tanto, para el primer ensayo se inicia con los siguientes datos:

Volumen de agua que vierten los aspersores en el tiempo de prueba

(V_{asp}): 0.0208 m³

Área de la parcela (A_p): 5 m²

Tiempo de duración (t): 2 minutos

- Con ayuda de la ecuación 3.2 obtenemos la precipitación simulada.

$$P = \frac{V_{asp}}{A_p} * 1000$$

$$P = \frac{0.0208}{5} * 1000$$

$$P = 4.16mm$$

- Determinamos la intensidad de lluvia basándonos en la ecuación 3.1.

$$I = \frac{P}{t}$$



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO IV

$$I = \frac{4.16}{2/60}$$

$$I = 124.8 \text{ mm/h}$$

Cabe recalcar que el procedimiento para el segundo ensayo es exactamente el mismo, por lo que presentamos un resumen de resultados en la siguiente tabla:

Tabla 4.1

Ensayos de prueba de intensidad.

Numero de Ensayo	V _{asp} m ³	A _{p.} m ²	P Mm	t h	I mm / h
1	0.0208	5	4.16	0.0333	124.8
2	0.0313	5	6.26	0.0500	125.2

Fuente: El autor

Siendo 125 mm/h el valor designado para realizar nuestros ensayos.

4.2. CONDICIÓN HIDROLÓGICA DEL SUELO

4.2.1. VELOCIDAD FINAL DE INFILTRACIÓN (V_f)

Debido a que los ensayos se realizaron en el invernadero de la U.T.P.L se hizo la prueba de infiltración estándar (ASTM D 3385-03) en el lugar antes mencionado.



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO IV

Diámetro interior del anillo interior: 29.5 cm

Tiempo (min)	Y de anillo (cm)
15	0.60
15	0.50
15	0.40
15	0.30
30	0.40
30	0.30
30	0.25
30	0.20
30	0.20

- Calculamos el área interna del anillo interior.

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * 29.5^2}{4}$$

$$A = 683.49cm^2$$

- Transformamos el tiempo en horas.

Tiempo (min)	Tiempo (horas)
15.0	0.25
15.0	0.25
15.0	0.25
15.0	0.25
30.0	0.50
30.0	0.50
30.0	0.50



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO IV

- Determinamos la variación de tiempo (ΔT)

Tiempo (min)	Δ tiempo (horas)	Δ tiempo (horas)
15	0.25	0.25
15	0.50	0.50
15	0.75	0.75
15	1.00	1.00
30	1.50	1.50
30	2.00	2.00
30	2.50	2.50
30	3.00	3.00
30	3.50	3.50

- Calculamos el volumen del líquido infiltrado con ayuda de la ecuación 3.3.

$$Vol = A * Y$$

$$Vol = 683.49 * 0.6$$

$$Vol = 410.10 \text{ cm}^3$$

Tiempo (min)	Tiempo (horas)	Δ tiempo (horas)	Y de anillo (cm)	Area (cm ²)	Volumen (cm ³)
15	0.25	0.25	0.60	683.49	410.10
15	0.25	0.50	0.50	683.49	341.75
15	0.25	0.75	0.40	683.49	273.40
15	0.25	1.00	0.30	683.49	205.05
30	0.50	1.50	0.40	683.49	273.40
30	0.50	2.00	0.30	683.49	205.05
30	0.50	2.50	0.25	683.49	170.87
30	0.50	3.00	0.20	683.49	136.70
30	0.50	3.50	0.20	683.49	136.70



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO IV

- Calculamos la velocidad de infiltración mediante la ecuación 3.4. Para la primera observación se obtuvo:

$$V = \frac{Vol}{(\Delta T * A)}$$

$$V = \frac{410.10}{(0.25 * 683.49)}$$

$$V = 2.40 \text{ cm/h}$$

Mediante igual procedimiento se obtuvieron los valores de velocidad de infiltración para las siguientes observaciones, las que se muestran a continuación

Tiempo (min)	Tiempo (horas)	Δ tiempo (horas)	Y de anillo (cm)	Area (cm ²)	Volumen (cm ³)	Velocidad acum (cm/h)
15	0.25	0.25	0.60	683.49	410.10	2.40
15	0.25	0.50	0.50	683.49	341.75	2.00
15	0.25	0.75	0.40	683.49	273.40	1.60
15	0.25	1.00	0.30	683.49	205.05	1.20
30	0.50	1.50	0.40	683.49	273.40	0.80
30	0.50	2.00	0.30	683.49	205.05	0.60
30	0.50	2.50	0.25	683.49	170.87	0.50
30	0.50	3.00	0.20	683.49	136.70	0.40
30	0.50	3.50	0.20	683.49	136.70	0.40



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO IV

- Procedemos a realizar la grafica de infiltración.

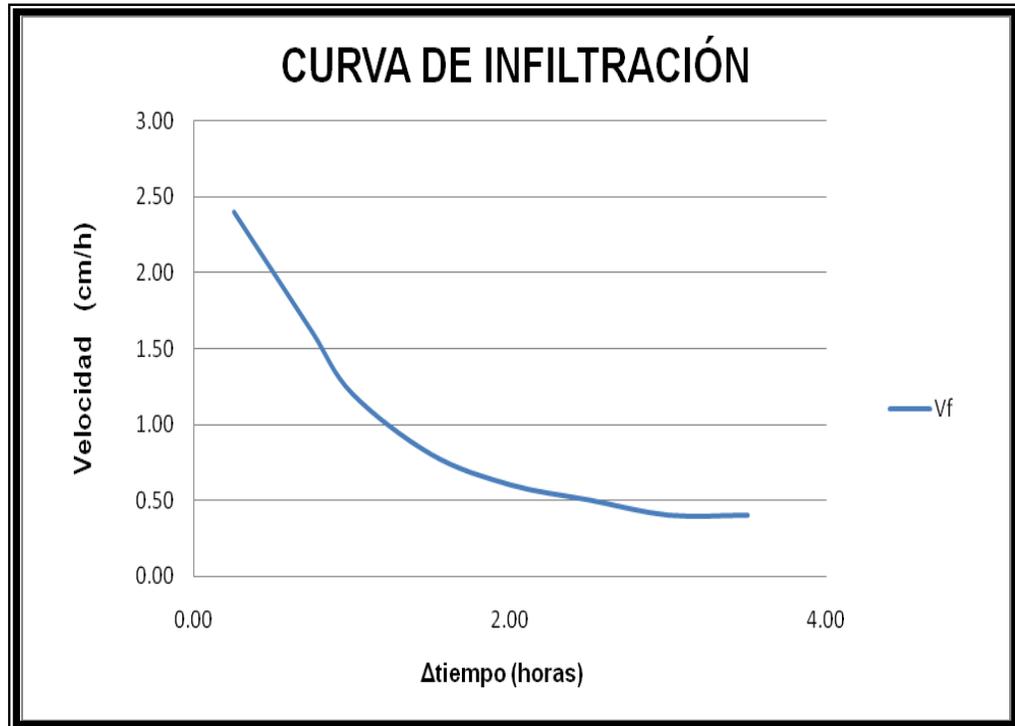


Fig. 4.1 Curva de infiltración del suelo en estudio: Invernadero U.T.P.L.

Fuente: El autor

- Finalmente escogemos el valor de 0.4 cm/h que de acuerdo a la tabla 2.1 es un suelo muy impermeable.



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

*Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.
CAPÍTULO IV*

4.2.2. GRANULOMETRÍA

Una vez realizado nuestro ensayo de granulometría y siguiendo el procedimiento de la sección 3.2.2. nos proporcionó los siguientes resultados:

Tabla 4.2

Granulometría del suelo en estudio: invernadero U.T.P.L.

	Tamiz mm.	Peso Tamiz	Tamiz + Muestra	Peso Retenido	Porcentaje Retenido	Retenido Acumulado	Porcentaje Que Pasa
N.							
3/4"	19.05	0	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.7	0	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8	9.525	535.75	552.47	16.72	3.34	3.34	96.66
4	4.76	515.45	535.09	19.64	3.93	7.27	92.73
10	2	479.4	497.43	18.03	3.61	10.88	89.12
20	0.84	429.01	461.41	32.40	6.48	17.35	82.65
40	0.42	399.4	424.84	25.44	5.09	22.44	77.56
60	0.246	342.87	363.64	20.77	4.15	26.59	73.41
100	0.15	341.89	361.70	19.81	3.96	30.56	69.44
200	0.075	291.58	320.78	29.20	5.84	36.39	63.61
F	Fondo	374.6	379.12	318.15	63.63	100.02	-0.02
	Total:			186.49			
					Muestra antes de lavado (g):		500
Tamaño Máximo:			9.525	mm.	Muestra después de lavado(g):		186.37
					Porcentaje de Finos (%):		63.61

Fuente: El autor

Nuestro ensayo de granulometría nos dice que tenemos un tamaño de partículas máxima es de 9.525 mm y que el porcentaje de finos es del 63 %.



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

*Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.
CAPÍTULO IV*

4.2.3. LIMITE PLÁSTICO Y LIMITE LIQUIDO

Los ensayos realizados en laboratorio con el procedimiento descrito en la sección 3.2.3 y 3.2.4 nos arrojó los siguientes resultados:

Tabla 4.3

Límites de Atterbeg del suelo en estudio: invernadero U.T.P.L.

RESULTADOS					
Capsula No.	No. de golpes	Peso. Cápsula + suelo húmedo.	Peso cap. + suelo seco	Peso capsula	W %
Límite líquido					
MS 6	37	84.98	81.33	72.41	40.92
MS 1081	33	79.32	75.16	65.18	41.68
MS28	26	74.66	70.76	61.62	42.67
MS11	23	81.34	77.56	68.81	43.20
MS1082	17	84.4	80.16	70.7	44.82
Límite plástico					
MS102		71.66	71.41	70.28	22.12
MS15		66.28	66.11	65.40	23.94
L. Líquido =	42.89				
L. Plástico =	23.03				
I. Plasticidad =	19.86				

Fuente: El autor

Adoptamos un límite líquido (LL) de 43 y un límite plástico (LP) de 23 siendo nuestro índice de plasticidad (IP) de 20.

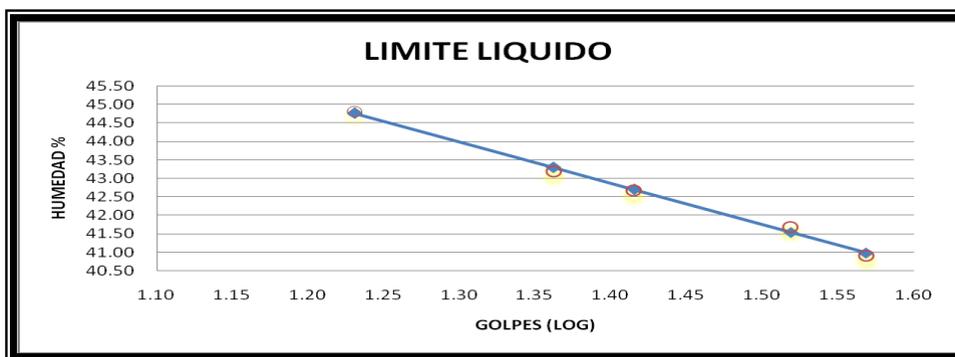


Fig. 4.2 Grafica del límite líquido del suelo en estudio: Invernadero U.T.P.L.

Fuente: El autor



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO IV

4.2.4. TEXTURA

El ensayo de textura explicado en la sección 3.2.5 nos dio los siguientes resultados:

Tabla 4.4

Ensayo de textura del suelo en estudio: invernadero U.T.P.L.

PESO DE LA MUESTRA (gr)	L1	L2	L1corr	L2corr	TEMPERATURA 0C	% MS	% Ao	% Ac	% Lo	CLASE TEXTURAL
50	29.00	17.00	29.68	17.68	21.90	59.37	40.63	35.37	24.00	FoAc

Fuente: El autor

4.2.5. TABLA DE RESULTADOS

La tabla 4.5 resume los resultados obtenidos de nuestro suelo en estudio y nos dice que la condición hidrológica de suelo según el Servicio de conservación de suelos es un suelo tipo D

Tabla 4.5

Condición hidrológica del suelo en estudio: invernadero U.T.P.L.

MUESTRA	UBICACIÓN	PERMEABILIDAD	S.U.C.S.	TEXTURA	TIPO DE SUELO S.C.S.
1	U.T.P.L.	MUY IMPERMEABLE	CL	FoAc	D

Fuente: El autor



4.3. EJEMPLO DE CÁLCULO DE PRECIPITACIÓN Y ESCORRENTÍA.

Una vez ejecutado el procedimiento de la metodología de ensayo definida en el capítulo III, se procede a la toma de datos y al cálculo de la precipitación y escorrentía. Para entender mejor nuestro procedimiento nos ilustraremos en el cálculo hecho para la cobertura Arbusto-Pasto, así tenemos:

▪ DATOS

Número de ensayo: 1

Intensidad de lluvia del simulador (I): 125 mm/h.

Tiempo simulado (t): 9.38 min.

Altura del agua en el tanque de medición de escurrimiento (h): 0.06 m.

Diámetro del tanque de medición de escurrimiento (d): 0.58 m.

Área de la parcela (Ap): 5 m²

- Calculamos la precipitación aplicando la ecuación 3.13.

$$P = I * t$$

$$P = 125 * 9.38 / 60$$

$$P = 19.54mm$$

- Aplicando la ecuación 3.14. y 3.15. obtenemos la escorrentía.

$$Ve = \frac{\pi * d^2}{4} * h$$



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO IV

$$V_e = \frac{\pi * .58^2}{4} * 0.06$$

$$V_e = 0.0159m^3$$

$$E = \frac{V_e}{Ap} * 1000$$

$$E = \frac{0.0159}{5} * 1000$$

$$E = 3.17mm$$

Como podemos observar para una precipitación (**P**) de 19.54 mm tenemos un escurrimiento (**E**) de 3.17 mm. Tenemos que repetir este procedimiento con los ensayos suficientes hasta tener en nuestra grafica P-E una línea de tendencia lo más aproximado a una curva. A continuación se presentan los ensayos y cálculos realizados para la cobertura dicha anteriormente.



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.
CAPÍTULO IV

• Cobertura: Arbusto-Pasto

Tabla 4.6

Datos de Precipitación-Escorrentía: Arbusto -Pasto

#	h (m)	d (m)	Ve (m ³)	t (min)	I (mm/h)	Ap (m ²)	P (mm)	E (mm)
1	0.06	0.58	0.02	9.38	125.00	5.00	19.54	3.17
2	0.33	0.58	0.09	17.33	125.00	5.00	36.10	17.44
3	0.02	0.58	0.01	5.31	125.00	5.00	11.06	1.06
4	0.77	0.58	0.20	31.39	125.00	5.00	65.40	40.69
5	0.65	0.58	0.17	33.24	125.00	5.00	69.24	34.35
6	0.37	0.58	0.10	21.26	125.00	5.00	44.29	19.55
7	0.74	0.58	0.20	27.01	125.00	5.00	56.28	39.10
8	0.09	0.58	0.02	6.07	125.00	5.00	12.65	4.76
9	0.41	0.58	0.11	18.06	125.00	5.00	37.62	21.67
10	0.05	0.58	0.01	6.11	125.00	5.00	12.72	2.64
11	0.07	0.58	0.02	8.08	125.00	5.00	16.83	3.70
12	0.03	0.58	0.01	5.04	125.00	5.00	10.49	1.59
13	0.07	0.58	0.02	7.04	125.00	5.00	14.68	3.70
14	0.05	0.58	0.01	6.05	125.00	5.00	12.60	2.64
15	0.08	0.58	0.02	8.06	125.00	5.00	16.78	4.23
16	0.04	0.58	0.01	5.07	125.00	5.00	10.55	2.11
17	0.07	0.58	0.02	6.03	125.00	5.00	12.57	3.70
18	0.05	0.58	0.01	17.03	125.00	5.00	35.49	2.64
19	0.12	0.58	0.03	8.02	125.00	5.00	16.70	6.34
20	0.04	0.58	0.01	5.03	125.00	5.00	10.49	2.11
21	0.81	0.58	0.21	28.30	125.00	5.00	58.96	42.80
22	0.05	0.58	0.01	6.67	125.00	5.00	13.90	2.64
23	0.05	0.58	0.01	16.05	125.00	5.00	33.44	2.64
24	0.13	0.58	0.03	15.27	125.00	5.00	31.81	6.87
25	0.08	0.58	0.02	11.03	125.00	5.00	22.99	4.23
26	0.16	0.58	0.04	17.18	125.00	5.00	35.80	8.45
27	0.74	0.58	0.20	34.07	125.00	5.00	70.97	39.10
28	0.06	0.58	0.02	9.10	125.00	5.00	18.96	3.17
29	0.25	0.58	0.07	18.07	125.00	5.00	37.64	13.21
30	0.61	0.58	0.16	29.29	125.00	5.00	61.01	32.23
31	0.42	0.58	0.11	20.00	125.00	5.00	41.67	22.19
32	0.27	0.58	0.07	15.24	125.00	5.00	31.75	14.27
33	0.21	0.58	0.06	13.65	125.00	5.00	28.44	11.10
34	0.09	0.58	0.02	9.23	125.00	5.00	19.23	4.76
35	0.33	0.58	0.09	19.00	125.00	5.00	39.58	17.44
36	0.25	0.58	0.07	13.76	125.00	5.00	28.67	13.21
37	0.33	0.58	0.09	16.00	125.00	5.00	33.33	17.44
38	0.25	0.58	0.07	14.12	125.00	5.00	29.42	13.21
39	0.29	0.58	0.08	15.00	125.00	5.00	31.25	15.32
40	0.53	0.58	0.14	28.98	125.00	5.00	60.38	28.01
41	0.45	0.58	0.12	17.00	125.00	5.00	35.42	23.78

Fuente: El autor



4.4. EJEMPLO DE CÁLCULO DEL “NÚMERO DE LA CURVA”

Nuestro procedimiento de deducción del parámetro del número de la curva se detalla en el capítulo III, así mismo tomaremos los datos de precipitación-escorrentía del ejemplo anterior para un mejor entendimiento.

- Primero hacemos una grafica donde en el eje de las abscisas ira la precipitación (**P**) y en el eje de las ordenadas el escurrimiento (**E**).

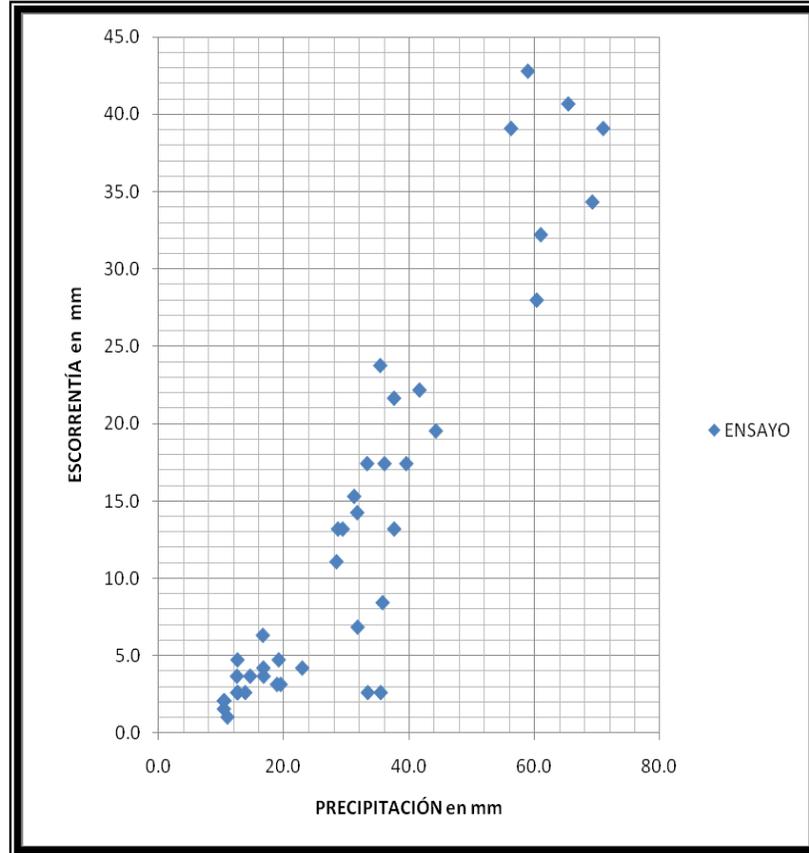


Fig. 4.3 Correlación de datos Precipitación - Escorrentía: Arbusto Pasto

Fuente: El autor



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO IV

- Agregamos una línea de tendencia a nuestra grafica. Nuestra línea de tendencia escogida será una línea que tiene una función polinómica de orden igual a 2.

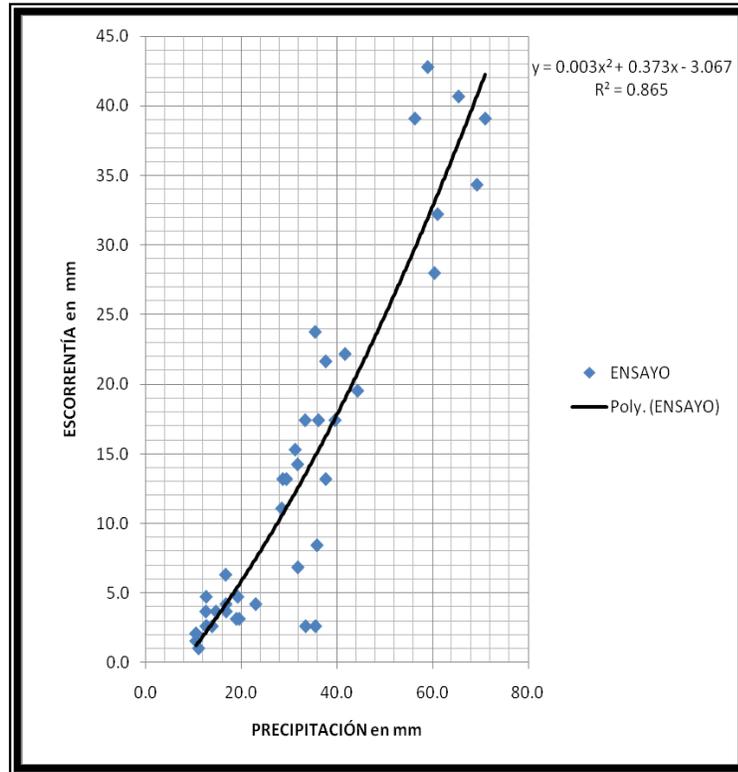


Fig. 4.4 Línea de tendencia de datos Precipitación - Escorrentía: Arbusto Pasto

Fuente: El autor

- Superponemos nuestra línea de tendencia en la grafica 2.8.
 - ✓ Para realizar la grafica 2.8 debemos tener claro que la escorrentía se calcula mediante la ecuación 2.6 y 2.7. Por lo tanto la precipitación (P) de cada uno de nuestros ensayos tiene un valor de escurrimiento (Q) en la grafica 2.8.



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.
CAPÍTULO IV

✓ Para el primer ensayo en la cobertura Pasto-Arbusto se tiene:

▪ **DATOS**

Número de ensayo: 1

Precipitación (P): 19.54

Número de la Curva adoptado (CN): 74

✓ Debido a que se humedeció el suelo antes de realizar los ensayos tenemos que transformar el CN-II a la condición húmeda, es decir a CN-III. Esto lo realizaremos con ayuda de la ecuación 2.10.

$$CN(III) = \frac{23 * CN(II)}{10 + 0.13 * CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23 * 74}{10 + 0.13 * 74}$$

$$CN(III) = 86.7$$

✓ Una vez transformado nuestro CN escogido procedemos a calcular el escurrimiento (Q) perteneciente a nuestra precipitación del ensayo numero 1. Aplicando la ecuación 2.7 y 2.6 se tiene:

$$S(mm) = \frac{25400}{CN} - 254$$

$$S(mm) = \frac{25400}{86.7} - 254$$

$$S(mm) = 38.80$$



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.
CAPÍTULO IV

$$Q = \frac{P - 0.2S}{P + 0.8S}$$

$$Q = \frac{19.54 - 0.2 * 38.80}{19.54 + 0.8 * 38.80}$$

$$Q = 2.74mm$$

- ✓ Como podemos observar la precipitación (**P**) de nuestro ensayo # 1 igual a 19.54 mm tiene un valor de escurrimiento (**Q**) en la grafica 2.8 de 2.74 mm. Este cálculo tenemos que realizarlo en todos nuestros ensayos, a continuación se presenta los valores de (**Q**) para cada prueba:

Tabla 4.7

Escorrentía (Q) de cada ensayo: pasto Arbusto CN-II= 74

#	P (mm)	S (mm)	Q Graf. 2.8 (mm)	#	P (mm)	S (mm)	Q Graf. 2.8 (mm)
1	19.54	38.80	2.74	22	13.90	38.80	0.84
2	36.10	38.80	11.96	23	33.44	38.80	10.23
3	11.06	38.80	0.26	24	31.81	38.80	9.20
4	65.40	38.80	34.45	25	22.99	38.80	4.29
5	69.24	38.80	37.69	26	35.80	38.80	11.76
6	44.29	38.80	17.71	27	70.97	38.80	39.17
7	56.28	38.80	26.96	28	18.96	38.80	2.51
8	12.65	38.80	0.55	29	37.64	38.80	13.00
9	37.62	38.80	12.99	30	61.01	38.80	30.81
10	12.72	38.80	0.56	31	41.67	38.80	15.81
11	16.83	38.80	1.72	32	31.75	38.80	9.17
12	10.49	38.80	0.18	33	28.44	38.80	7.19
13	14.68	38.80	1.05	34	19.23	38.80	2.62
14	12.60	38.80	0.54	35	39.58	38.80	14.34
15	16.78	38.80	1.70	36	28.67	38.80	7.32
16	10.55	38.80	0.19	37	33.33	38.80	10.16
17	12.57	38.80	0.53	38	29.42	38.80	7.76
18	35.49	38.80	11.55	39	31.25	38.80	8.86
19	16.70	38.80	1.67	40	60.38	38.80	30.28
20	10.49	38.80	0.18	41	35.42	38.80	11.51
21	58.96	38.80	29.13				

Fuente: El autor



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.
CAPÍTULO IV

- ✓ Calculados los valores de (**Q**) procedemos a superponer la grafica P-Q en la grafica P-E.

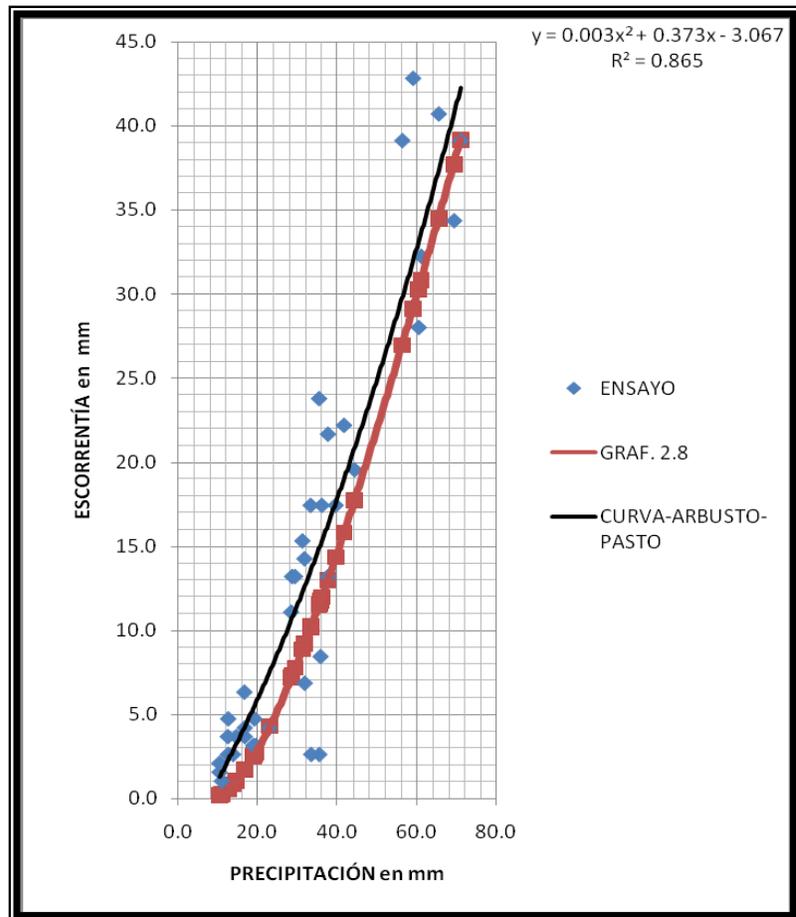


Fig. 4.5 Grafica P –E y P–Q: Arbusto Pasto, CN-II = 74

Fuente: El autor

- ✓ Como podemos observar el valor escogido de CN-II = 74 no se adapta correctamente a nuestros datos, por lo tanto nuestro numero de la curva de escorrentía CN para la cobertura Pasto-Arbusto es un valor más alto, ya que nuestra línea de tendencia está por encima de la curva de la figura 2.8, a continuación se presenta los resultados con un CN-II = 79.



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO IV

▪ DATOS

Número de la Curva adoptado (CN-II): 79

Número de la Curva en condición húmeda (CN-III): 89.6

Tabla 4.8

ESCORRENTÍA (Q) DE CADA ENSAYO: PASTO ARBUSTO, CN-II 79

#	P (mm)	S (mm)	Q Graf. 2.8 (mm)	#	P (mm)	S (mm)	Q Graf. 2.8 (mm)
1	19.54	29.36	4.34	22	13.90	29.36	1.72
2	36.10	29.36	15.34	23	33.44	29.36	13.35
3	11.06	29.36	0.78	24	31.81	29.36	12.17
4	65.40	29.36	39.87	25	22.99	29.36	6.30
5	69.24	29.36	43.31	26	35.80	29.36	15.11
6	44.29	29.36	21.78	27	70.97	29.36	44.87
7	56.28	29.36	31.86	28	18.96	29.36	4.04
8	12.65	29.36	1.27	29	37.64	29.36	16.51
9	37.62	29.36	16.50	30	61.01	29.36	35.99
10	12.72	29.36	1.30	31	41.67	29.36	19.67
11	16.83	29.36	2.98	32	31.75	29.36	12.12
12	10.49	29.36	0.63	33	28.44	29.36	9.81
13	14.68	29.36	2.03	34	19.23	29.36	4.18
14	12.60	29.36	1.25	35	39.58	29.36	18.02
15	16.78	29.36	2.96	36	28.67	29.36	9.96
16	10.55	29.36	0.64	37	33.33	29.36	13.27
17	12.57	29.36	1.24	38	29.42	29.36	10.48
18	35.49	29.36	14.87	39	31.25	29.36	11.77
19	16.70	29.36	2.92	40	60.38	29.36	35.42
20	10.49	29.36	0.63	41	35.42	29.36	14.82
21	58.96	29.36	34.18				

Fuente: El autor



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.
CAPÍTULO IV

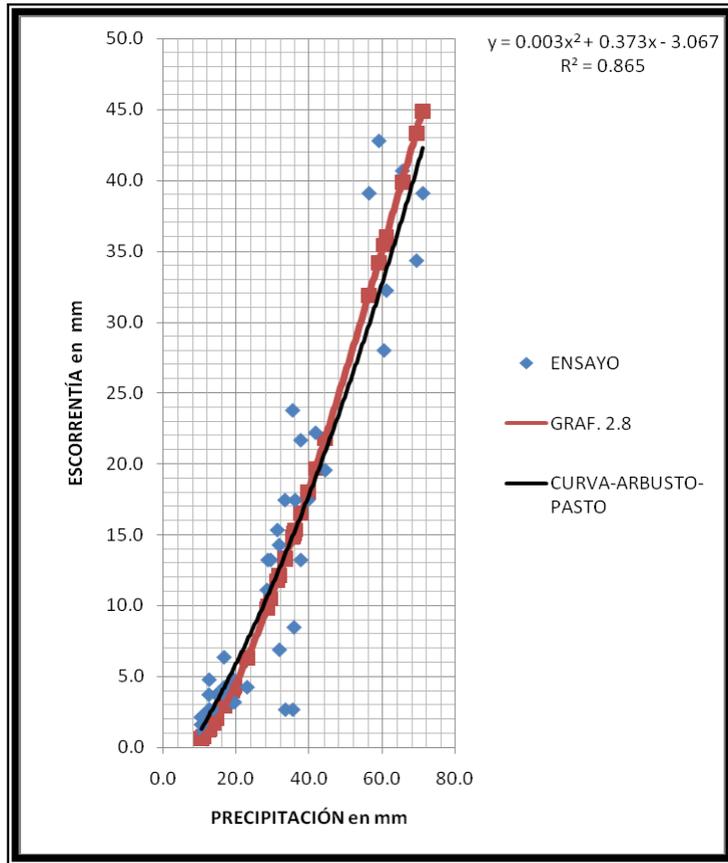


Fig. 4.5 Gráfica P –E y P–Q: Arbusto Pasto, CN-II = 79

Fuente: El autor

- ✓ El valor escogido de CN-II = 79 se adapta correctamente a nuestros datos, por lo tanto nuestro número de la curva de escorrentía CN para la cobertura Pasto-Arbusto es el valor antes mencionado.



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO IV

4.5. CÁLCULO DE CN PARA LAS DIFERENTES COBERTURAS ENSAYADAS.

A continuación se presenta los cálculos realizados para los coberturas experimentadas en nuestro proyecto investigativo.

- ***Arbusto***

NÚMERO DE LA CURVA

LUGAR DE ENSAYO	UTPL
COBERTURA	ARBUSTO
CONDICION HIDROLOGICA	BUENA
CN-II	84.0
CN-III	92.4



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO IV

Tabla 4.8

Cálculo de CN: Arbusto. Condición hidrológica: Buena

#	h (m)	d (m)	Ve (m ³)	t (min)	l (mm/h)	Ap (m ²)	P (mm)	E (mm)	S (mm)	Q Graf. 2.8 (mm)
1	0.08	0.58	0.02	12.42	125.00	5.00	26.00	4.23	21.04	11.09
2	0.53	0.58	0.14	25.15	125.00	5.00	52.00	28.01	21.04	33.19
3	0.38	0.58	0.10	15.07	125.00	5.00	31.00	20.08	21.04	15.01
4	0.68	0.58	0.18	22.10	125.00	5.00	46.00	35.93	21.04	27.80
5	0.15	0.58	0.04	10.02	125.00	5.00	21.00	7.93	21.04	7.45
6	0.59	0.58	0.16	20.10	125.00	5.00	42.00	31.18	21.04	24.28
7	0.19	0.58	0.05	11.27	125.00	5.00	23.00	10.04	21.04	8.87
8	0.75	0.58	0.20	24.08	125.00	5.00	50.00	39.63	21.04	31.38
9	0.04	0.58	0.01	10.25	125.00	5.00	21.00	2.11	21.04	7.45
10	0.50	0.58	0.13	23.37	125.00	5.00	49.00	26.42	21.04	30.48
11	0.19	0.58	0.05	12.07	125.00	5.00	25.00	10.04	21.04	10.34
12	0.37	0.58	0.10	20.53	125.00	5.00	43.00	19.55	21.04	25.15
13	0.19	0.58	0.05	12.40	125.00	5.00	26.00	10.04	21.04	11.09
14	0.74	0.58	0.20	24.05	125.00	5.00	50.00	39.10	21.04	31.38
15	0.09	0.58	0.02	10.08	125.00	5.00	21.00	4.76	21.04	7.45
16	0.68	0.58	0.18	26.08	125.00	5.00	54.00	35.93	21.04	35.00
17	0.70	0.58	0.18	23.80	125.00	5.00	50.00	36.99	21.04	31.38
18	0.25	0.58	0.07	12.43	125.00	5.00	26.00	13.21	21.04	11.09
19	0.06	0.58	0.02	10.08	125.00	5.00	21.00	3.17	21.04	7.45
20	0.37	0.58	0.10	22.51	125.00	5.00	47.00	19.55	21.04	28.69
21	0.19	0.58	0.05	12.07	125.00	5.00	25.00	10.04	21.04	10.34
22	0.69	0.58	0.18	23.17	125.00	5.00	48.00	36.46	21.04	29.58
23	0.28	0.58	0.07	14.08	125.00	5.00	29.00	14.80	21.04	13.41
24	0.55	0.58	0.15	23.18	125.00	5.00	48.00	29.06	21.04	29.58
25	0.27	0.58	0.07	13.03	125.00	5.00	27.00	14.27	21.04	11.85
26	0.75	0.58	0.20	24.10	125.00	5.00	50.00	39.63	21.04	31.38
27	0.22	0.58	0.06	14.38	125.00	5.00	30.00	11.63	21.04	14.21
28	0.71	0.58	0.19	25.12	125.00	5.00	52.00	37.52	21.04	33.19
29	0.05	0.58	0.01	11.07	125.00	5.00	23.00	2.64	21.04	8.87
30	0.66	0.58	0.17	22.08	125.00	5.00	46.00	34.88	21.04	27.80
31	0.16	0.58	0.04	12.18	125.00	5.00	25.00	8.45	21.04	10.34
32	0.65	0.58	0.17	26.03	125.00	5.00	54.00	34.35	21.04	35.00
33	0.30	0.58	0.08	16.53	125.00	5.00	34.00	15.85	21.04	17.46
34	0.18	0.58	0.05	22.10	125.00	5.00	46.00	9.51	21.04	27.80
35	0.72	0.58	0.19	24.08	125.00	5.00	50.00	38.05	21.04	31.38
36	0.28	0.58	0.07	16.10	125.00	5.00	34.00	14.80	21.04	17.46
37	0.53	0.58	0.14	25.08	125.00	5.00	52.00	28.01	21.04	33.19
38	0.30	0.58	0.08	14.18	125.00	5.00	30.00	15.85	21.04	14.21
39	0.46	0.58	0.12	21.50	125.00	5.00	45.00	24.31	21.04	26.91

Fuente: El autor



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.
CAPÍTULO IV

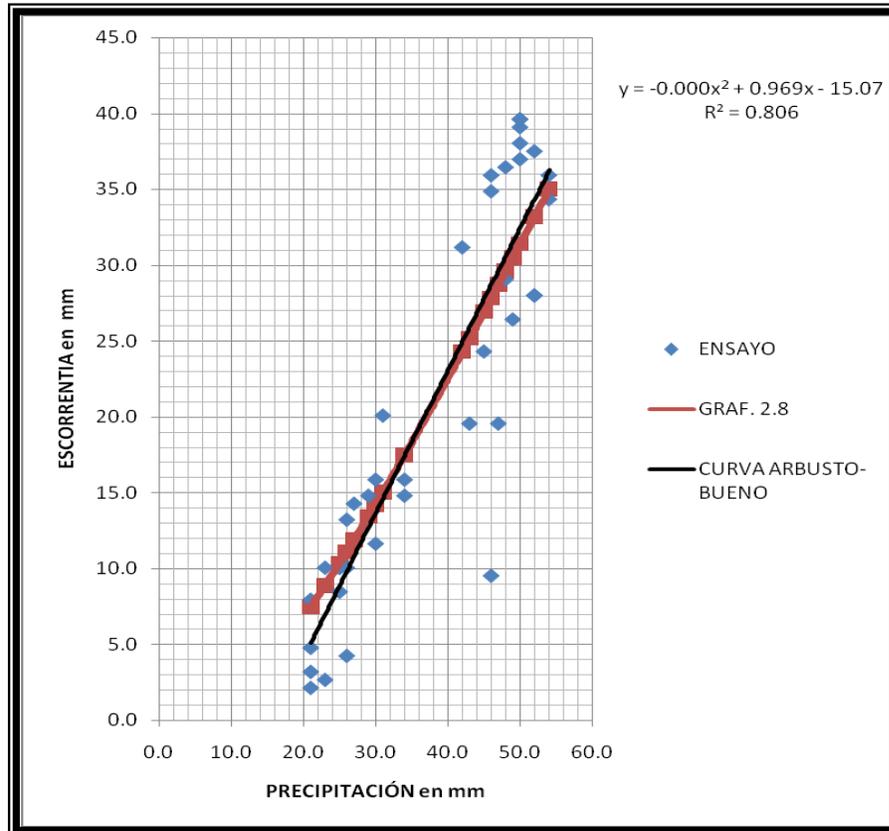


Fig. 4.6 Gráfica P –E y P–Q: Arbusto -Buena

Fuente: El autor

NÚMERO DE LA CURVA

LUGAR DE ENSAYO	UTPL
COBERTURA	ARBUSTO
CONDICION HIDROLOGICA	REGULAR
CN-II	88.0
CN-III	94.4



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO IV

Tabla 4.9

Cálculo de CN: Arbusto. Condición hidrológica: Regular

#	h (m)	d (m)	Ve (m ³)	t (min)	l (mm/h)	Ap (m ²)	P (mm)	E (mm)	S (mm)	Q Graf. 2.8 (mm)
2	0.38	0.58	0.10	18.52	125.00	5.00	39.00	20.08	15.06	25.37
3	0.63	0.58	0.17	23.40	125.00	5.00	49.00	33.29	15.06	34.64
4	0.51	0.58	0.13	18.57	125.00	5.00	39.00	26.95	15.06	25.37
5	0.47	0.58	0.12	20.30	125.00	5.00	42.00	24.84	15.06	28.12
6	0.15	0.58	0.04	20.70	125.00	5.00	43.00	7.93	15.06	29.05
7	0.07	0.58	0.02	3.30	125.00	5.00	7.00	3.70	15.06	0.84
8	0.09	0.58	0.02	7.43	125.00	5.00	15.00	4.76	15.06	5.31
9	0.04	0.58	0.01	6.50	125.00	5.00	14.00	2.11	15.06	4.64
10	0.02	0.58	0.01	4.30	125.00	5.00	9.00	1.06	15.06	1.70
11	0.06	0.58	0.02	5.20	125.00	5.00	11.00	3.17	15.06	2.77
12	0.08	0.58	0.02	2.10	125.00	5.00	4.00	4.23	15.06	0.06
13	0.27	0.58	0.07	15.17	125.00	5.00	32.00	14.27	15.06	19.08
14	0.74	0.58	0.20	19.77	125.00	5.00	41.00	39.10	15.06	27.20
15	0.64	0.58	0.17	17.75	125.00	5.00	37.00	33.82	15.06	23.55
16	0.34	0.58	0.09	14.67	125.00	5.00	31.00	17.97	15.06	18.20
17	0.15	0.58	0.04	9.60	125.00	5.00	20.00	7.93	15.06	9.01
18	0.21	0.58	0.06	10.25	125.00	5.00	21.00	11.10	15.06	9.79
19	0.65	0.58	0.17	20.13	125.00	5.00	42.00	34.35	15.06	28.12
20	0.79	0.58	0.21	23.75	125.00	5.00	49.00	41.74	15.06	34.64
21	0.19	0.58	0.05	11.28	125.00	5.00	24.00	10.04	15.06	12.22
22	0.65	0.58	0.17	19.17	125.00	5.00	40.00	34.35	15.06	26.29
23	0.57	0.58	0.15	22.52	125.00	5.00	47.00	30.12	15.06	32.77
24	0.19	0.58	0.05	8.35	125.00	5.00	17.00	10.04	15.06	6.74
25	0.54	0.58	0.14	20.02	125.00	5.00	42.00	28.53	15.06	28.12
26	0.13	0.58	0.03	11.07	125.00	5.00	23.00	6.87	15.06	11.40
27	0.21	0.58	0.06	10.37	125.00	5.00	22.00	11.10	15.06	10.59
28	0.54	0.58	0.14	16.03	125.00	5.00	33.00	28.53	15.06	19.96

Fuente: El autor



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.
CAPÍTULO IV

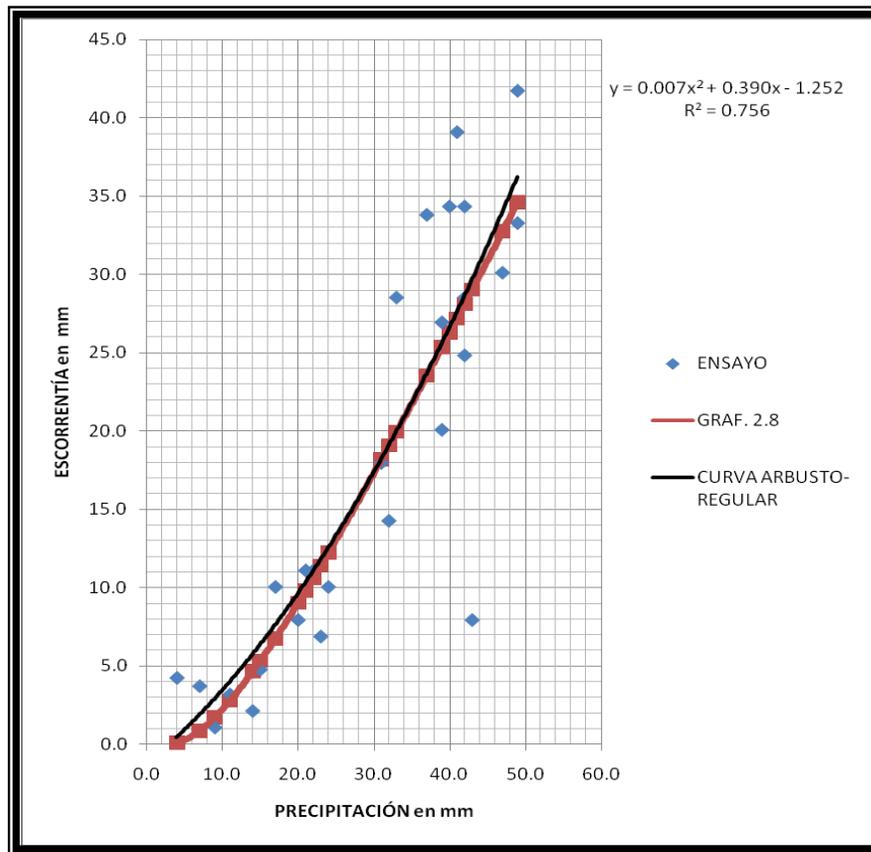


Fig. 4.7 Grafica P –E y P–Q: Arbusto -Regular

Fuente: El autor

- **Arbusto Afoliado**

NÚMERO DE LA CURVA

LUGAR DE ENSAYO	U.T.P.L
COBERTURA	ARBUSTO AFOLIADO
CONDICION HIDROLOGICA	BUENA
CN-II	86.0
CN-III	93.4



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO IV

Tabla 4.10

Cálculo de CN: Arbusto Afoliado. Condición hidrológica Buena

#	h (m)	d (m)	Ve (m ³)	t (min)	I (mm/h)	Ap (m ²)	P (mm)	E (mm)	S (mm)	Q Graf. 2.8 (mm)
1	0.73	0.58	0.19	24.05	125.00	5.00	50.10	38.57	17.98	33.54
2	0.25	0.58	0.07	11.08	125.00	5.00	23.09	13.21	17.98	10.14
3	0.63	0.58	0.17	21.42	125.00	5.00	44.62	33.29	17.98	28.52
4	0.27	0.58	0.07	13.08	125.00	5.00	27.25	14.27	17.98	13.44
5	0.20	0.58	0.05	9.58	125.00	5.00	19.96	10.57	17.98	7.80
6	0.65	0.58	0.17	22.12	125.00	5.00	46.08	34.35	17.98	29.85
7	0.18	0.58	0.05	9.42	125.00	5.00	19.62	9.51	17.98	7.55
8	0.76	0.58	0.20	24.77	125.00	5.00	51.60	40.16	17.98	34.92
9	0.26	0.58	0.07	13.17	125.00	5.00	27.43	13.74	17.98	13.59
10	0.38	0.58	0.10	18.17	125.00	5.00	37.85	20.08	17.98	22.46
11	0.21	0.58	0.06	10.10	125.00	5.00	21.04	11.10	17.98	8.59
12	0.11	0.58	0.03	9.17	125.00	5.00	19.10	5.81	17.98	7.18
13	0.70	0.58	0.18	22.10	125.00	5.00	46.04	36.99	17.98	29.82
14	0.21	0.58	0.06	10.17	125.00	5.00	21.18	11.10	17.98	8.70
15	0.80	0.58	0.21	29.08	125.00	5.00	60.59	42.27	17.98	43.33
16	0.27	0.58	0.07	13.03	125.00	5.00	27.15	14.27	17.98	13.36
17	0.65	0.58	0.17	21.42	125.00	5.00	44.62	34.35	17.98	28.52
18	0.25	0.58	0.07	12.14	125.00	5.00	25.30	13.21	17.98	11.87
19	0.73	0.58	0.19	25.13	125.00	5.00	52.36	38.57	17.98	35.63
20	0.21	0.58	0.06	13.02	125.00	5.00	27.12	11.10	17.98	13.33
21	0.80	0.58	0.21	30.08	125.00	5.00	62.67	42.27	17.98	45.29
22	0.18	0.58	0.05	14.12	125.00	5.00	29.41	9.51	17.98	15.22
23	0.36	0.58	0.10	19.23	125.00	5.00	40.07	19.02	17.98	24.43
24	0.19	0.58	0.05	12.33	125.00	5.00	25.69	10.04	17.98	12.19
25	0.33	0.58	0.09	19.08	125.00	5.00	39.76	17.44	17.98	24.15
26	0.20	0.58	0.05	13.08	125.00	5.00	27.26	10.57	17.98	13.44
27	0.33	0.58	0.09	19.08	125.00	5.00	39.76	17.44	17.98	24.15
28	0.18	0.58	0.05	9.08	125.00	5.00	18.92	9.51	17.98	7.05
29	0.56	0.58	0.15	22.05	125.00	5.00	45.94	29.59	17.98	29.72
30	0.20	0.58	0.05	11.57	125.00	5.00	24.10	10.57	17.98	10.92
31	0.66	0.58	0.17	23.13	125.00	5.00	48.19	34.88	17.98	31.79
32	0.18	0.58	0.05	11.03	125.00	5.00	22.99	9.51	17.98	10.06
33	0.38	0.58	0.10	19.07	125.00	5.00	39.72	20.08	17.98	24.12
34	0.19	0.58	0.05	14.13	125.00	5.00	29.44	10.04	17.98	15.25
35	0.38	0.58	0.10	19.33	125.00	5.00	40.28	20.08	17.98	24.62
36	0.16	0.58	0.04	10.08	125.00	5.00	21.01	8.45	17.98	8.57
37	0.38	0.58	0.10	21.53	125.00	5.00	44.86	20.08	17.98	28.74

Fuente: El autor



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.
CAPÍTULO IV

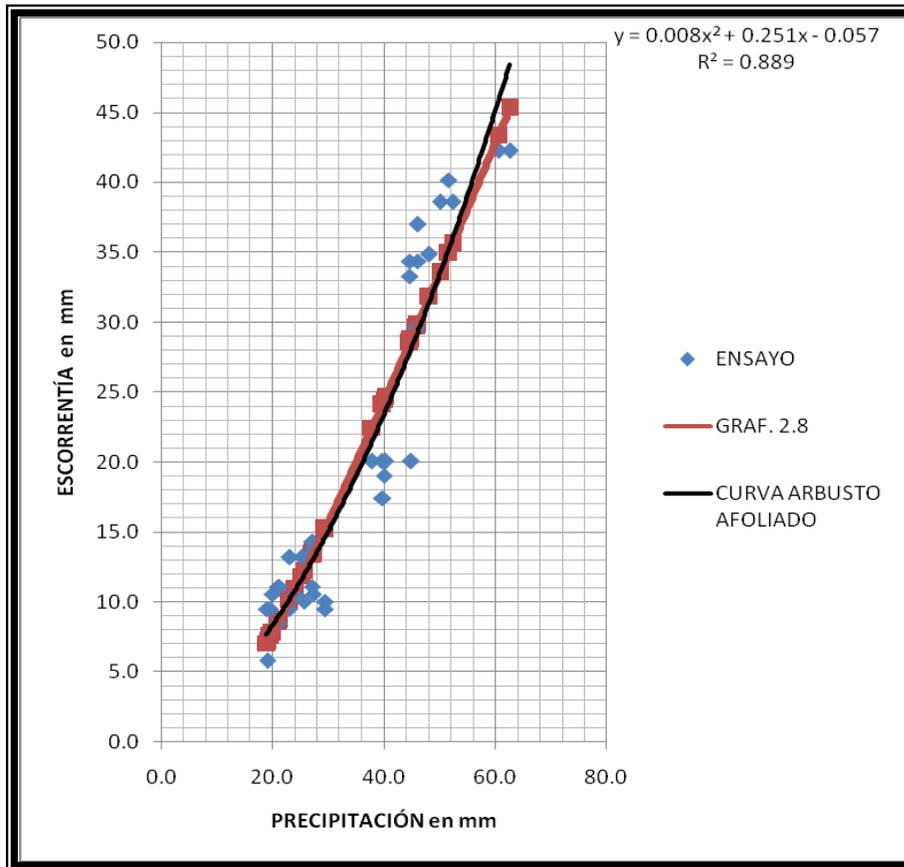


Fig. 4.8 Grafica P –E y P–Q: Arbusto Afoliado

Fuente: El autor

- **Regeneración Natural (Llashipa)**

NÚMERO DE LA CURVA

LUGAR DE ENSAYO	UTPL
COBERTURA	LLASHIPA
CONDICION HIDROLOGICA	BUENA
CN-II	83.0
CN-III	91.8



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO IV

Tabla 4.11

Cálculo de CN: Regeneración Natural (LLashipa). Condición hidrológica: Buena

#	h (m)	d (m)	Ve (m ³)	t (min)	l (mm/h)	Ap (m ²)	P (mm)	E (mm)	S (mm)	Q Graf. 2.8 (mm)
1	0.07	0.58	0.02	11.05	125.00	5.00	23.00	3.70	22.62	8.31
2	0.18	0.58	0.05	15.13	125.00	5.00	32.00	9.51	22.62	15.07
3	0.22	0.58	0.06	11.03	125.00	5.00	23.00	11.63	22.62	8.31
4	0.39	0.58	0.10	18.03	125.00	5.00	38.00	20.61	22.62	19.98
5	0.25	0.58	0.07	11.15	125.00	5.00	23.00	13.21	22.62	8.31
6	0.61	0.58	0.16	21.10	125.00	5.00	44.00	32.23	22.62	25.10
7	0.08	0.58	0.02	10.08	125.00	5.00	21.00	4.23	22.62	6.94
8	0.59	0.58	0.16	19.10	125.00	5.00	40.00	31.18	22.62	21.66
9	0.31	0.58	0.08	12.03	125.00	5.00	25.00	16.38	22.62	9.73
10	0.16	0.58	0.04	20.08	125.00	5.00	42.00	8.45	22.62	23.37
11	0.53	0.58	0.14	22.12	125.00	5.00	46.00	28.01	22.62	26.84
12	0.31	0.58	0.08	12.12	125.00	5.00	25.00	16.38	22.62	9.73
13	0.55	0.58	0.15	21.13	125.00	5.00	44.00	29.06	22.62	25.10
14	0.31	0.58	0.08	13.08	125.00	5.00	27.00	16.38	22.62	11.20
15	0.55	0.58	0.15	19.13	125.00	5.00	40.00	29.06	22.62	21.66
16	0.01	0.58	0.00	10.13	125.00	5.00	21.00	0.53	22.62	6.94
17	0.17	0.58	0.04	20.03	125.00	5.00	42.00	8.98	22.62	23.37
18	0.19	0.58	0.05	11.07	125.00	5.00	23.00	10.04	22.62	8.31
19	0.62	0.58	0.16	19.13	125.00	5.00	40.00	32.76	22.62	21.66
20	0.60	0.58	0.16	21.08	125.00	5.00	44.00	31.70	22.62	25.10
21	0.01	0.58	0.00	9.03	125.00	5.00	19.00	0.53	22.62	5.65
22	0.11	0.58	0.03	12.08	125.00	5.00	25.00	5.81	22.62	9.73
23	0.54	0.58	0.14	20.17	125.00	5.00	42.00	28.53	22.62	23.37
24	0.07	0.58	0.02	9.10	125.00	5.00	19.00	3.70	22.62	5.65
25	0.51	0.58	0.13	19.03	125.00	5.00	40.00	26.95	22.62	21.66
26	0.04	0.58	0.01	12.12	125.00	5.00	25.00	2.11	22.62	9.73
27	0.31	0.58	0.08	17.08	125.00	5.00	36.00	16.38	22.62	18.31
28	0.58	0.58	0.15	21.17	125.00	5.00	44.00	30.65	22.62	25.10
29	0.18	0.58	0.05	10.07	125.00	5.00	21.00	9.51	22.62	6.94
30	0.27	0.58	0.07	18.17	125.00	5.00	38.00	14.27	22.62	19.98
31	0.18	0.58	0.05	10.03	125.00	5.00	21.00	9.51	22.62	6.94
32	0.55	0.58	0.15	22.03	125.00	5.00	46.00	29.06	22.62	26.84
33	0.14	0.58	0.04	13.45	125.00	5.00	28.00	7.40	22.62	11.96
34	0.31	0.58	0.08	18.08	125.00	5.00	38.00	16.38	22.62	19.98
35	0.06	0.58	0.02	9.08	125.00	5.00	19.00	3.17	22.62	5.65
36	0.46	0.58	0.12	21.03	125.00	5.00	44.00	24.31	22.62	25.10
37	0.15	0.58	0.04	10.17	125.00	5.00	21.00	7.93	22.62	6.94
38	0.18	0.58	0.05	20.08	125.00	5.00	42.00	9.51	22.62	23.37
39	0.25	0.58	0.07	11.17	125.00	5.00	23.00	13.21	22.62	8.31
40	0.15	0.58	0.04	18.07	125.00	5.00	38.00	7.93	22.62	19.98
41	0.21	0.58	0.06	11.08	125.00	5.00	23.00	11.10	22.62	8.31
42	0.32	0.58	0.08	17.08	125.00	5.00	36.00	16.91	22.62	18.31
43	0.48	0.58	0.13	19.15	125.00	5.00	40.00	25.36	22.62	21.66
44	0.15	0.58	0.04	12.13	125.00	5.00	25.00	7.93	22.62	9.73
45	0.33	0.58	0.09	20.15	125.00	5.00	42.00	17.44	22.62	23.37
46	0.53	0.58	0.14	23.05	125.00	5.00	48.00	28.01	22.62	28.60

Fuente: El autor



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.
CAPÍTULO IV

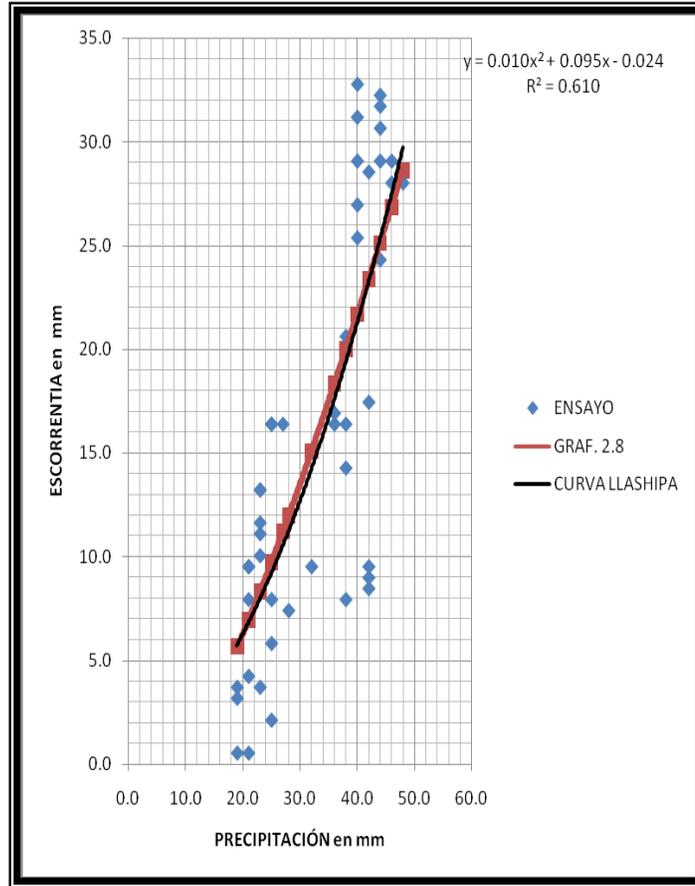


Fig. 4.9 Grafica P –E y P–Q: Regeneración Natural (Llashipa)

Fuente: El autor

- **Pajonal**

NÚMERO DE LA CURVA

LUGAR DE ENSAYO	UTPL
COBERTURA	PAJONAL
CONDICION HIDROLOGICA	BUENA
CN-II	77.0
CN-III	88.5



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.
CAPÍTULO IV

Tabla 4.12

Cálculo de CN: Pajonal. Condición Hidrológica: Buena

#	h (m)	d (m)	Ve (m ³)	t (min)	I (mm/h)	Ap (m ²)	P (mm)	E (mm)	S (mm)	Q Graf. 2.8 (mm)
1	0.06	0.58	0.02	11.75	125.00	5.00	24.48	3.17	32.99	6.29
2	0.29	0.58	0.08	20.03	125.00	5.00	41.74	15.32	32.99	18.12
3	0.18	0.58	0.05	12.00	125.00	5.00	25.00	9.51	32.99	6.59
4	0.35	0.58	0.09	21.03	125.00	5.00	43.82	18.49	32.99	19.73
5	0.05	0.58	0.01	11.10	125.00	5.00	23.13	2.64	32.99	5.52
6	0.22	0.58	0.06	17.07	125.00	5.00	35.56	11.63	32.99	13.54
7	0.02	0.58	0.01	9.17	125.00	5.00	19.10	1.06	32.99	3.44
8	0.02	0.58	0.01	5.23	125.00	5.00	10.90	1.06	32.99	0.50
9	0.14	0.58	0.04	17.75	125.00	5.00	36.98	7.40	32.99	14.57
10	0.33	0.58	0.09	18.13	125.00	5.00	37.78	17.44	32.99	15.15
11	0.07	0.58	0.02	9.87	125.00	5.00	20.56	3.70	32.99	4.15
12	0.13	0.58	0.03	11.07	125.00	5.00	23.06	6.87	32.99	5.48
13	0.38	0.58	0.10	20.17	125.00	5.00	42.01	20.08	32.99	18.34
14	0.18	0.58	0.05	13.03	125.00	5.00	27.15	9.51	32.99	7.89
15	0.44	0.58	0.12	22.07	125.00	5.00	45.97	23.25	32.99	21.43
16	0.10	0.58	0.03	9.03	125.00	5.00	18.82	5.28	32.99	3.30
17	0.29	0.58	0.08	21.17	125.00	5.00	44.10	15.32	32.99	19.95
18	0.11	0.58	0.03	11.08	125.00	5.00	23.09	5.81	32.99	5.50
19	0.28	0.58	0.07	19.58	125.00	5.00	40.80	14.80	32.99	17.41
20	0.07	0.58	0.02	8.07	125.00	5.00	16.81	3.70	32.99	2.41
21	0.38	0.58	0.10	18.15	125.00	5.00	37.81	20.08	32.99	15.18
22	0.32	0.58	0.08	18.15	125.00	5.00	37.81	16.91	32.99	15.18

Fuente: El autor

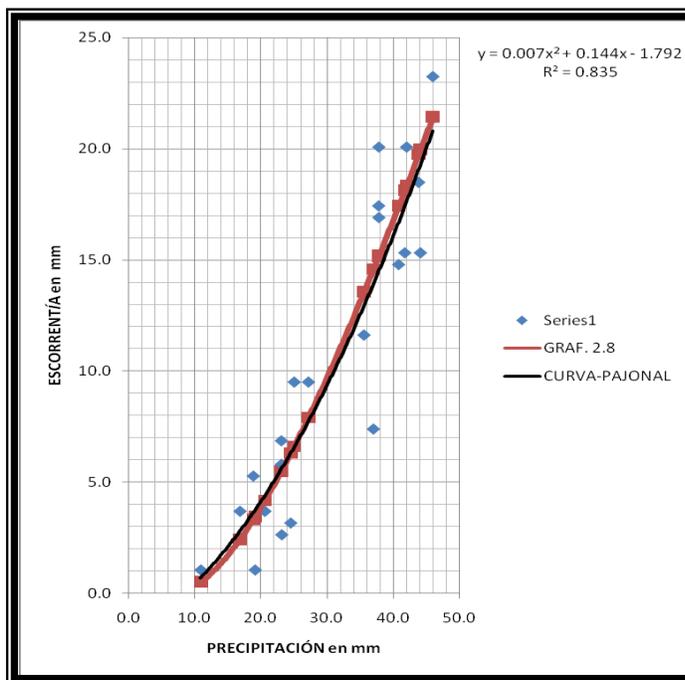


Fig. 4.10 Grafica P –E y P–Q: Pajonal

Fuente: El autor



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO IV

4.6. TABLA RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

Para tener un mejor análisis de resultados y una visión mas clara de los mismos se presenta la tabla 4. 13 donde resumimos los resultados obtenidos.

Tabla 4.13

Resumen de resultados

USO DEL SUELO	PENDIENTE	USO Y TRATAMIENTO DEL SUELO	CLASIFICACIÓN HIDROLÓGICA DEL SUELO	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	CONDICIÓN DE HUMEDAD ANTECEDENTE	NUMERO DE LA CURVA CN
ARBUSTO-PASTO	>1%	-	D	BUENA	CN-II	79
ARBUSTO	>1%	-	D	BUENA	CN-II	84
ARBUSTO	>1%	-	D	REGULAR	CN-II	88
ARBUSTO AFOLIADO	>1%	-	D	BUENA	CN-II	86
REGENERACIÓN NATURAL (LLASHIPA)	>1%	-	D	BUENA	CN-II	83
PAJONAL	>1%	-	D	BUENA	CN-II	77

Fuente: El autor



5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se pudo observar que el valor más alto del número de la curva CN fue el de Arbusto en condición hidrológica regular, es decir que cubrían solo en la mitad del área de la parcela, y esto se debe a que las plantas juegan un papel muy importante en la retención de agua.
- El valor más bajo del número de la curva CN fue el de la cobertura pajonal y esto es razonable debido a que ésta cobertura es de paramo y tiene una alta capacidad para retener el agua.
- Se concluyó que las hojas son las que más influyen en la retención del agua ya que en los ensayos concernientes a la cobertura de arbusto y arbusto afojado en las mismas condiciones se observó que el arbusto tuvo una mayor capacidad para absorber el agua esto hizo que el CN calculado sea menor.
- En la cobertura de Pasto-Arbusto resultó un CN igual a 79 y las tablas del S.C.S. nos dan un valor de 80 (Pastos enmalezados o enrastrados) esto nos hace notar que el procedimiento desarrollado es confiable.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para estudios posteriores se recomienda mejorar el tanque de medición de caudales para tener datos más precisos.



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

CAPÍTULO V

- Se recomienda ampliar nuestra investigación con el objetivo de cubrir todas las coberturas que cubren los suelos de nuestra provincia.
- Se recomienda implantar estos ensayos en el laboratorio de la U.C.G. para que los estudiantes comprendan de mejor manera los factores que afectan a la escorrentía superficial.



BIBLIOGRAFÍA

- APARICIO, FRANCISCO. **FUNDAMENTOS DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE**. EDITORIAL LIMUSA. MEXICO D.F, 1992.
- CHOW, VEN TE - MAIDMENT, DAVID-MAYS, LARRY. **HIDROLOGÍA APLICADA**. EDITORIAL M^c GRAW HILL. SANTA FE DE BOGOTÁ-COLOMBIA, 1977.
- DUQUE, VICENTE. TESIS DE GRADO: **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA INFILTRACIÓN, MEDIANTE ENSAYOS EN SITU CON UN INFILTRÓMETRO DE DOBLE ANILLO**. U.T.P.L. LOJA – ECUADOR, 2007.
- KIRBY Y MORGAN. **EROSIÓN DE SUELOS**. JOHN WILEY & SONS LIMITED, EDITORIAL LIMUSA, 1980.
- MONSALVE SÁENZ, GERMÁN. **HIDROLOGÍA EN LA INGENIERÍA**. 2da. EDICIÓN. EDITORIAL ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA. BOGOTÁ- COLOMBIA, 1999.
- NORMA ASTM D 3385 – 03. **STANDARD TEST METHOD FOR INFILTRATION RATE OF SOILS IN FIELD USING DOUBLE-RING INFILTRMETER**.
- NORMA AASHTO T 89 – 02. **DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO**.
- NORMA AASHTO T 90 – 00. **DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD**.
- ORELLANA, JASSON. TESIS DE GRADO: **IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO FÍSICO PARA EL ESTUDIO DEL EFECTO DE ZANJAS DE INFILTRACIÓN**,



DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL “NÚMERO DE LA CURVA” EN CINCO COBERTURAS REPRESENTATIVAS DE LA PROVINCIA DE LOJA.

Autor: Luis Felipe Duque Yaguache.

PAVIMENTOS CELULARES Y LAGUNAS DE RETENCIÓN EN EL MANEJO DE AGUAS DE TORMENTA.UTPL. LOJA – ECUADOR, 2008.

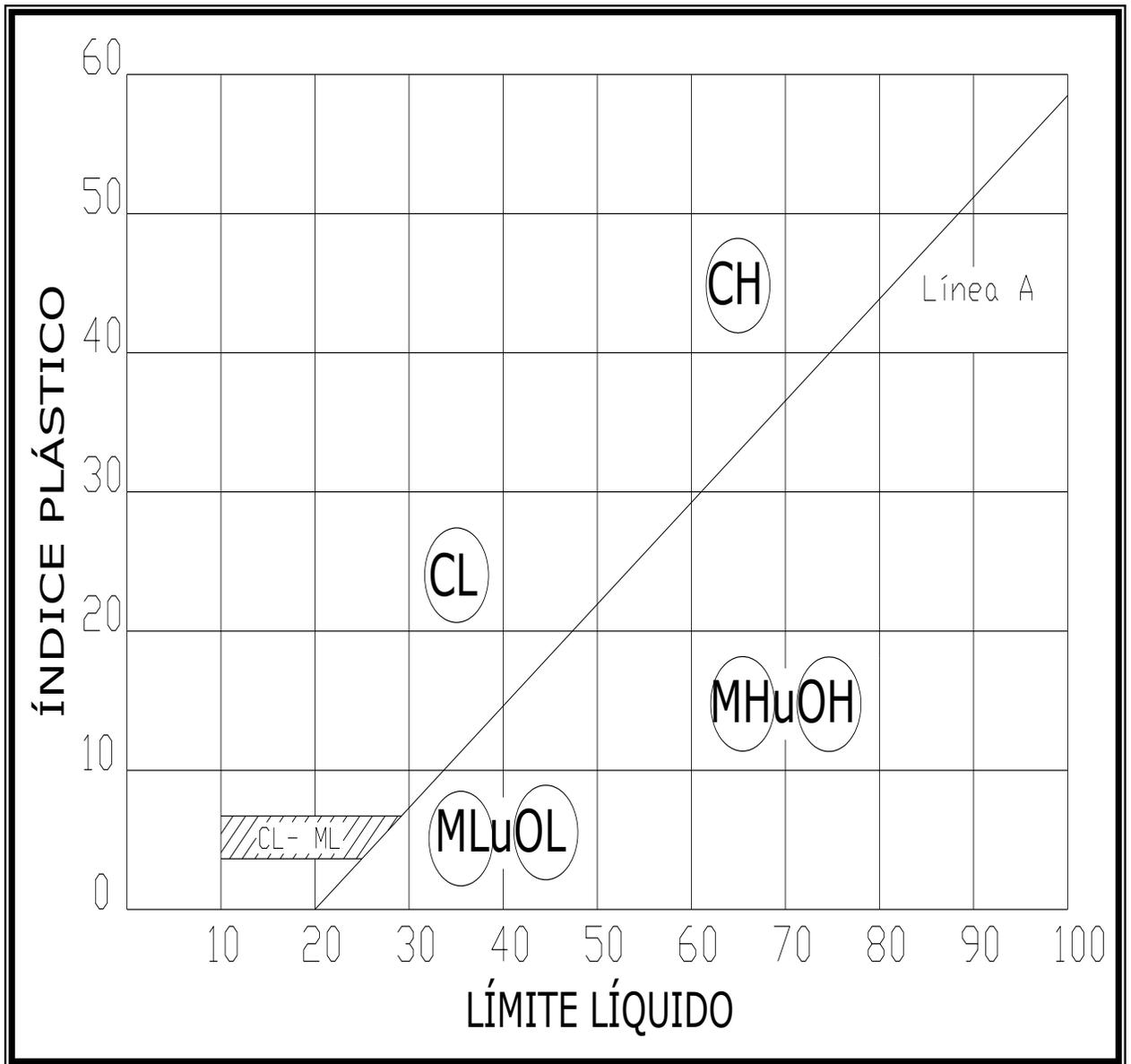
- TORRES, ENRIQUE. **SWAT - BASES TEÓRICAS.** COLOMBIA, 2004.
- UTPL. **PROGRAMA DE CERTIFICACIÓN VIAL.** LOJA – ECUADOR, 2008.
- VILLÓN BÉJAR, MAXIMO. **HIDROLOGÍA.** 2da. EDICIÓN. EDITORIAL VILLÓN. LIMA-PERÚ, 2002.
- [HTTP://ES.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/PERMEABILIDAD.](http://es.wikipedia.org/wiki/permeabilidad)
- [HTTP://FING.UNCU.EDU.AR/CATEDRAS/CIVIL/HIDROLOGIA_I/ARCHIVOS/HIDROLOGIA_I/HIDROLOGIA_I_U7.PDF.](http://fing.uncu.edu.ar/catedras/civil/hidrologia_i/archivos/hidrologia_i/hidrologia_i_u7.pdf)
- [HTTP://WWW.IGEOGRAF.UNAM.MX/INSTITUTO/PUBLICACIONES/LIBROS/HIDROGEOGRAFIA/CP4.PDF.](http://www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/libros/hidrogeografia/cp4.pdf)
- [HTTP://ING.UNNE.EDU.AR/PUB/HIDRO-TP7.PDF.](http://ing.unne.edu.ar/pub/hidro-tp7.pdf)

TABLA DEL “NUMERO DE LA CURVA” PARA DIFERENTES COBERTURAS Y SU SIMBOLOGIA PARA EL PROGRAMA SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL (SWAT)

COBERTURAS	CN	SWAT	NAME
Tejido urbano	31, 59, 72, 79	URML	Residencial-Med/Low density
Centros poblados	31, 59, 72, 79	URML	Residencial-Med/Low density
Zonas industriales o comerciales	31, 59, 72, 79	UIDU	Industrial
Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	31, 59, 72, 79	UTRN	Transportation
Zonas portuarias	31, 59, 72, 79	URML	Residencial-Med/Low density
Aeropuertos	36, 62, 74, 80	UINS	Institutional
Obras hidráulicas	37, 62, 74, 80	URLD	Residencial - Low density
Zonas de extracción minera	67, 77, 83, 87	AGRL	Agricultural Land Generic
Escombreras y vertederos	67, 77, 83, 87	AGRL	
Zonas verdes urbanas	72, 78, 85, 88	URBN	Urban Grass
Instalaciones recreativas	49, 69, 79, 84	RNGE	Range - Grass
Otros cultivos anuales o transitorios	67, 77, 83, 87	TOBC	Tabacco
Algodón	67, 77, 83, 87	COTP	Picker Cotton
Arroz	62, 73, 81, 84	RICE	Rice
Papa	67, 77, 83, 87	POTA	Potatoes
Otros cultivos permanentes	65, 74, 78, 82	CANT	Cantaloupe
Caña de azúcar	45, 66, 77, 83	SUGC	Sugar Cane
Caña Panelera	67, 77, 83, 87	SCRN	Sweet corn
Plátano y banano	48, 68, 79, 83	APPL	Apple tree
Café	48, 68, 79, 83	APPL	Apple tree
Cacao	36, 60, 73, 79	FRST	Forest-Mixed
Palma de aceite			
Frutales	53, 60, 63, 66	STRW	Strawberry
Cultivos confinados	65, 74, 78, 82	CANT	Cantaloupe
Pastos limpios zona baja	49, 69, 79, 84	SPAS	Summer Pasture
Pastos zona media	49, 69, 79, 84	PAST	Pasture
Pastos zona alta	31, 59, 72, 79	BERM	Bermuda
Pastos arbolados	45, 66, 77, 83	SPCL	Spring Pasture
Pastos enmalezados o enrastrados	39, 61, 74, 80	RNGB	Range Brush
Mosaico de cultivos	66, 75, 80, 84	AGRR	
Mosaico de pastos y cultivos	57, 72, 79, 84	RYEG	Annual Rye GR
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	56, 71, 79, 83	SWRN	Range, Southwest
Mosaico de pastos con espacios naturales	50, 68, 78, 82	FRSD	Forest-Deciduous
Bosque natural denso	36, 60, 73, 79	FRST	Forest-Mixed

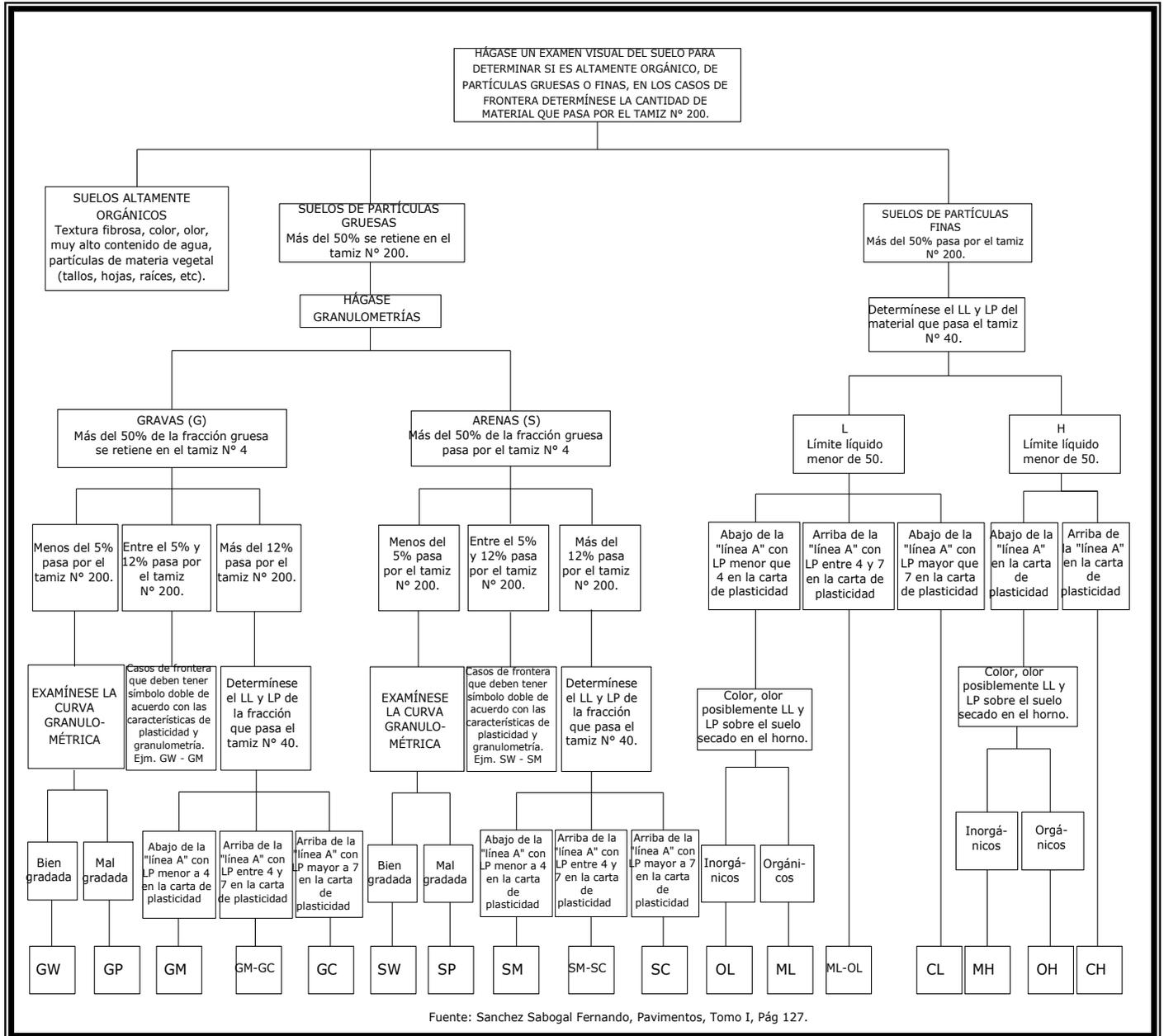
Fuente: CEDERENA. Curso SWAT. Expositor: Natalia Uribe. Loja-Ecuador, 2007

CARTA DE PLASTICIDAD



Fuente: Sabogal Sánchez Fernando, Pavimentos, pág.118

CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS POR EL MÉTODO SUCS



Fuente: Sánchez Sabogal Fernando. Pavimentos. Tomo i.pag 127