



CONGOPE



Consortio de Gobiernos
Autónomos Provinciales
del Ecuador

**CONVENIO ESPECÍFICO DE
COOPERACIÓN INTERINSTITUCIONAL
ENTRE EL CONSORCIO DE
GOBIERNOS AUTÓNOMOS
PROVINCIALES DEL ECUADOR Y EL
CONSEJO NACIONAL DE COMPETENCIAS**

**MANUAL TÉCNICO PARA EL
DISEÑO DE SISTEMAS DE DRENAJE
EN SUELOS AGRÍCOLAS DEL
ECUADOR**

Junio - 2018

Contenido

1.	ANTECEDENTES	9
2.	DEFINICIÓN DE DRENAJE	11
3.	DRENAJE AGRÍCOLA EN EL ECUADOR	15
4.	ESTUDIOS DE INGENIERÍA BÁSICA	17
4.1	TOPOGRAFÍA Y CARTOGRAFÍA	17
4.2	CLIMATOLOGÍA	18
4.3	INVESTIGACIONES DE CAMPO	20
4.3.1	DRENAJE SUBTERRÁNEO O SUBSUPERFICIAL	20
4.3.2	DRENAJE SUPERFICIAL	27
4.4	ESTUDIO AGROLÓGICO	33
4.4.1	VARIABLES EDAFOLÓGICAS	33
4.4.2	CLASES DE APTITUDES AGRÍCOLAS	40
4.5	DISEÑO AGRONÓMICO	43
4.5.1	CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL	43
4.5.2	CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA	51
4.5.3	CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO	51
4.6	DISEÑO HIDRÁULICO	52
4.6.1	DRENAJE SUPERFICIAL	52
4.6.2	DRENAJE SUBTERRÁNEO O SUBSUPERFICIAL	62
4.7	DINÁMICAS PRODUCTIVAS	79
4.8	ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS	80
4.9	PRESUPUESTO DE OBRA	83
4.10	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	84
4.11	PLAN DE MANTENIMIENTO	85
5.	ANEXO 1	87
6.	ANEXO 2	93
7.	BIBLIOGRAFÍA	101

Figuras

■	Figura 1. Esquema del Drenaje Subsuperficial	12
	Figura 2. Terreno con problemas de exceso de agua superficial	13
	Figura 3. Triángulo Textural (USDA)	33
	Figura 4. Trazado del sistema de drenaje y definición de áreas de aportación	53
	Figura 5. Zonificación de intensidades de precipitación	56
	Figura 6. Esquema del canal	61
	Figura 7. Tipos de flujo	66
	Figura 8. Flujo horizontal	67
	Figura 9. Flujo radial	67
	Figura 10. Flujo horizontal y radial	67
	Figura 11. Régimen permanente	68
	Figura 12. Ecuación de Donnan	69
	Figura 13. Ecuación de Hooghoudt	70
	Figura 14. Flujo horizontal y radial	71
	Figura 15. Régimen permanente	72
	Figura 16. Ecuación Glover - Dumm	74
	Figura 17. Ecuación Glover - Dumm	76

Cuadros

■	Cuadro 1.	Tipos de pendiente	34
	Cuadro 2.	Tipos de profundidad efectiva	34
	Cuadro 3.	Tipos de texturas según el triángulo del USDA	35
	Cuadro 4.	Categorías de pedregosidad de los suelos	35
	Cuadro 5.	Niveles de fertilidad natural	36
	Cuadro 6.	Niveles de salinidad del suelo	36
	Cuadro 7.	Categorías de toxicidad de los suelos	37
	Cuadro 8.	Clases de drenaje en los suelos	38
	Cuadro 9.	Duración de las inundaciones	39
	Cuadro 10.	Régimen de humedad de los suelos	39
	Cuadro 11.	Régimen de temperatura del suelo	40
	Cuadro 12.	Duración promedio posible del fotoperiodo (Rt) expresado en unidades de 30 días de 12 horas cada uno	44
	Cuadro 13.	Tanto por ciento de horas de sol diarias	45
	Cuadro 14.	Valores del coeficiente K – Fórmula de Hargreaves	46
	Cuadro 15.	Porcentaje de corrección por resplandor solar	47
	Cuadro 16.	Rt para el método de Christiansen y Yépez	51
	Cuadro 17.	Tiempo de drenaje (horas)	54
	Cuadro 18.	Curvas Número (CN) para los complejos suelo – cobertura en cuencas en condición de humedad media	57
	Cuadro 19.	Grupos hidrológicos	58
	Cuadro 20.	Coficiente de rugosidad de Manning para canales abiertos excavados	60
	Cuadro 21.	Nivel de tabla de agua, mediante tipo de suelo	65
	Cuadro 22.	Nivel de tabla de agua, mediante tipo de cultivo	65
	Cuadro 23.	Intervalos de magnitud de la conductividad hidráulica	66
	Cuadro 24.	Estrategia de estudio de dinámicas productivas	79
	Cuadro 25.	Conformación del análisis de precios unitario	81

1 ANTECEDENTES

EL CONGOPE, el 16 de octubre de 2015 suscribió un convenio con el CNC, denominado “CONVENIO ESPECÍFICO DE COOPERACIÓN INTERINSTITUCIONAL ENTRE EL CONSORCIO DE GOBIERNOS AUTÓNOMOS PROVINCIALES DEL ECUADOR Y EL CONSEJO NACIONAL DE COMPETENCIAS”, cuyo objeto principal es establecer una alianza estratégica para fortalecer las capacidades de los veintitrés Gobiernos Provinciales.

Por medio de este convenio, el 11 de abril de 2017 el CNC contrató el proceso de consultoría “Guía Metodológica para la formulación y evaluación de Proyectos de Drenaje” con la consultora GROPRECISIÓN.

Con el fin de recopilar la bibliografía que sustente la “Guía Metodológica para la formulación y evaluación de Proyectos de Drenaje Agrícola”, la Dirección de Vialidad, Riego y Drenaje del CONGOPE presenta el “MANUAL TÉCNICO PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE DRAHAJE EN SUELOS AGRÍCOLAS DEL ECUADOR”; este documento recoge experiencias internacionales en la evaluación y formulación de proyectos de drenaje agrícola relacionándolas a condiciones de clima y suelo propias del Ecuador.

2 DEFINICIÓN DE DRENAJE

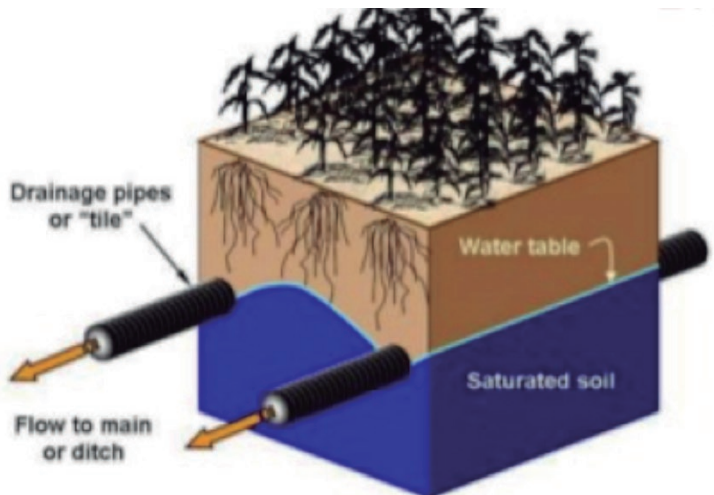
El drenaje en tierras agrícolas consiste en un conjunto de técnicas que permiten eliminar cualquier exceso de agua y/o sales que se presente sobre la superficie del suelo, o en la zona radicular de los cultivos, con el objetivo de proporcionar a éstos un medio adecuado para su normal desarrollo y mantener el suelo en condiciones favorables. Al atacar los problemas de drenaje deben hacerse contemplando simultáneamente el drenaje superficial y el subterráneo¹

En el caso del drenaje subterráneo o subsuperficial, el problema consiste en un exceso de agua en el perfil del suelo, debido a la presencia de una napa freática, permanente o fluctuante a una profundidad tal que restringe el desarrollo radicular. El nivel freático es la superficie de agua presente en el suelo, la cual marca el límite entre el suelo saturado y no saturado y tiene la particularidad de que la presión es igual a la presión atmosférica. Generalmente, la napa freática se ubica sobre un estrato impermeable, el cual impide el movimiento vertical del agua infiltrada procedente de la lluvia, riego u otros orígenes.

En zonas áridas, la precipitación es reducida, por lo que ésta es menor que la evapotranspiración y el desarrollo de los cultivos es posible gracias a la aplicación del riego. Una aplicación inadecuada del mismo, provoca que los excesos eleven el nivel freático; además el agua de riego contiene sales que con el tiempo se van acumulando en el terreno, es por estas razones que en estas zonas, el drenaje subterráneo o subsuperficial tiene como principal objetivo abatir los niveles freáticos y eliminar la salinidad del perfil, donde se desarrolla el sistema radicular.

¹ Villón, M. (2006). Drenaje. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Figura 1. Esquema del Drenaje Subsuperficial



Fuente: Universidad de Minnesota

La necesidad del drenaje superficial se justifica en zonas donde los factores climáticos, las condiciones hidrológicas, las características de los suelos, la topografía y la utilización de la tierra, dan lugar a que el agua permanezca inundando la superficie del suelo, durante un tiempo superior al que los cultivos pueden soportar sin manifestar serios efectos sobre los rendimientos y/o sobrevivencia.²

En zonas húmedas, como la Amazonía del Ecuador, donde las condiciones climáticas presentan una precipitación mayor que la evapotranspiración, con topografía desfavorable y los suelos presentan baja capacidad de transmisión se presentan problemas de drenaje superficial. En estas zonas el exceso de precipitación casi siempre garantiza el mantenimiento del balance salino del suelo, por lo cual, el objetivo del drenaje es asegurar a los cultivos, un espesor de suelo suficientemente aireado para que su desarrollo radicular sea normal³.

²Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA – Carillanca. (2001). Drenaje en Suelos Agrícolas. Chile: Ministerio de Agricultura.

³Villón, M.(2006). Drenaje. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

**Figura 2. Terreno con problemas de
exceso de agua superficial**



3 DRENAJE AGRÍCOLA EN EL ECUADOR

De acuerdo con los Boletines Agrológicos del INAMHI, en general las regiones del sur del Litoral y del Callejón Interandino presentan períodos prolongados de sequía en los que la evapotranspiración supera a la precipitación. Por ello los agricultores deben programar turnos de riego en forma periódica y con alta frecuencia para suplir las demandas hídricas; además deben complementar el riego con sistemas de drenaje subsuperficial para lavar la concentración de sales en el suelo.

Hacia el centro de la costa ecuatoriana las lluvias superan a la evapotranspiración, permitiendo que el suelo se encuentre en su máxima capacidad de almacenamiento provocando a su vez condiciones de superávit de humedad aunque sin mayores consecuencias para el desarrollo de los cultivos debido a que se consideran valores moderados que no causan mayores efectos y que más bien favorecen al contenido de humedad ambiental.

En el área norte de la región Litoral, el norte y centro norte de la región Interandina presentan condiciones adecuadas de humedad en el suelo, sin excesos ni déficit permitiendo las actividades de campo que según el caso lo demande.

Todo lo contrario se puede decir en la región Oriental donde por sus características de zona montañosa y las lluvias intensas, mantienen al suelo en su máxima capacidad de almacenamiento e inclusive superávit de humedad de consideración, situación que genera un ambiente propicio para el desarrollo de encharcamientos e inundaciones, poniendo en riesgo a los cultivos. En esta región se recomienda a los agricultores realizar labores de drenaje superficial para desalojar los excedentes de agua especialmente aquellos que se encuentran en las parte de menor pendiente donde se acumula el agua, causando asfixia y putrefacción de las raíces de los cultivos.

El desbordamiento de los ríos es causa de algunos problemas de drenaje superficial, pero se considera como un problema de control de inundaciones relacionado al manejo de cuencas, más que con un tema de diseño de drenaje superficial agrícola.

4

ESTUDIOS DE
INGENIERÍA
BÁSICA

4.1 TOPOGRAFÍA Y CARTOGRAFÍA

En la realización de los estudios para el diseño de drenaje agrícola es de suma importancia la topografía del terreno, siendo este un factor determinante en la elección del trazado y configuración del sistema.

El trazo del eje de un canal se lleva a cabo mediante las siguientes fases:

i. Reconocimiento del terreno

Mediante la utilización de las cartas topográficas elaboradas por el Instituto Geográfico Militar (I.G.M.) a escalas 1:250.000, 1:100.000, 1:50.000 y 1:25.000 que cubren parcialmente el territorio nacional, se puede tener una idea de las características más importantes de la zona del proyecto, especialmente en lo que respecta a las características Topográficas e Hidrológicas y a la ubicación de las poblaciones a beneficiar mediante el drenaje a proyectar; además permitirán identificar las posibles alternativas de trazado.

Una vez que se haya llevado a cabo esta actividad, se procederá al trabajo de campo propiamente dicho con la realización de reconocimientos del terreno de la zona del proyecto. Estos reconocimientos pueden ser: aéreos en el caso de no disponer de fotografías, terrestres o combinados.

ii. Trazo preliminar

Se procede a levantar la zona con una brigada topográfica, clavando en el terreno las estacas de la poligonal preliminar y luego el levantamiento con equipos topográficos de alta precisión como estación

total o similares, posteriormente a este levantamiento se nivelará la poligonal y se hará el levantamiento de secciones transversales, estas secciones se harán de acuerdo a criterio, si es un terreno con una alta distorsión de relieve, la sección se hace a cada 5 m, si el terreno no muestra muchas variaciones y es uniforme la sección es máximo a cada 20 m.

iii. Trazo definitivo

Con los datos del recorrido preliminar se procede al trazo definitivo, teniendo en cuenta la escala del plano, la cual depende básicamente de la topografía de la zona y de la precisión que se desea:

- Terrenos con pendiente transversal mayor a 25%, se recomienda escala de 1:500.
- Terrenos con pendiente transversal menor a 25%, se recomienda escalas de 1:1000 a 1:2000.

Toda la topografía y restitución aerofotogramétrica que se genere deberá ser bajo los parámetros de referencia geodésicos: sistema de referencia WGS84, proyección universal transversal de mercator (UTM), zona cartográfica y deberá enlazarse a hitos de primer orden del Instituto Geográfico Militar, tanto en lo referente a coordenadas X, Y, como a elevaciones (Z).

4.2 CLIMATOLOGÍA

La climatología es la ciencia que estudia el clima y sus variaciones a lo largo del tiempo. Aunque utiliza los mismos parámetros que la meteorología, su objetivo es distinto, ya que no pretende hacer previsiones inmediatas, sino estudiar las características climáticas a largo plazo.

El objetivo general de los estudios de climatología consiste en proporcionar la información necesaria para caracterizar los recursos naturales desde el enfoque de manejo integral de las microcuencas para implementar prácticas de conservación que permitan recuperar el equilibrio del entorno natural para un aprovechamiento sostenible de los recursos.

Para el estudio de la climatología tenemos que considerar el método analítico;

que está basado en el análisis estadístico de las características que se consideren más significativas. En ella se establecen los valores medios de los elementos atmosféricos.

Los elementos climáticos relevantes para un proyecto de drenaje agrícola son:

i. Temperatura

Temperatura señalada en un termómetro expuesto al aire y protegido de la radiación solar directa. Se mide en grados centígrados y décimas de grado.

ii. Precipitación

Consiste en la caída de lluvia, llovizna, nieve, granizo, etc., desde las nubes a la superficie de la tierra. Se mide en alturas de precipitación en mm, que equivale a la altura obtenida por la caída de un litro de agua sobre la superficie de un metro cuadrado.

iii. Viento

Movimiento del aire con respecto a la superficie de la tierra. Las direcciones se toman de donde viene o procede el viento y las velocidades se miden en metros por segundo.

iv. Humedad relativa

Es un parámetro que determina el grado de saturación de la atmósfera. Está definido por la relación existente entre la tensión de vapor actual y la tensión de vapor saturante a una determinada temperatura, multiplicada por cien. Su unidad de medida es el porcentaje.

v. Heliofanía

Tiempo de duración de brillo solar. Se mide en horas y minutos.

vi. Evaporación

Se refiere a la emisión de vapor de agua a la atmósfera por una superficie libre de agua líquida pura, a una temperatura inferior al punto de ebullición.

4.3 INVESTIGACIONES DE CAMPO

4.3.1 DRENAJE SUBTERRÁNEO O SUBSUPERFICIAL

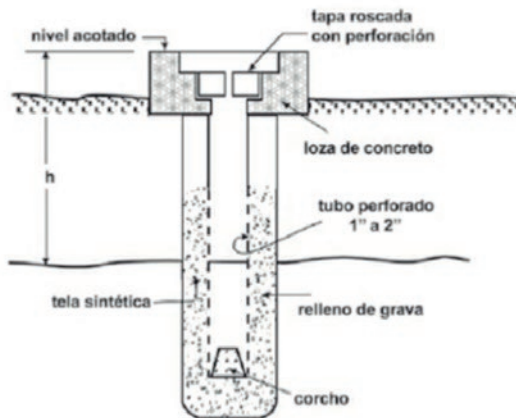
Para proyectos de drenaje subterráneo o subsuperficial, es decir en zonas donde la evapotranspiración supere a la precipitación, será necesario realizar las siguientes investigaciones de campo.

i. Nivel freático

Para la obtención del nivel freático se puede realizar pozos de observación o piezómetros.

a) Pozos de observación

Los pozos de observación miden la profundidad del nivel freático en acuíferos libres. Este método consiste en colocar puntos en un área para permitir una observación periódica de los niveles de la tabla de agua, generalmente es necesario entubarlos, generalmente con tubería de PVC para evitar los desmoronamientos. Se recomienda utilizar diámetros de $\frac{3}{4}$ " a 2".



La profundidad de los pozos debe ser tal que cubra la variación de la fluctuación del nivel freático, generalmente hasta los 2.50m.

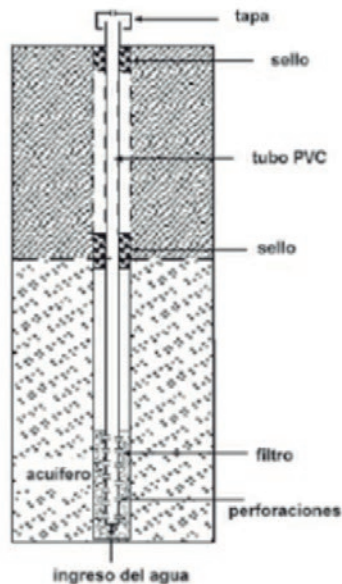
Las perforaciones que se realizan en las tuberías pueden ser de 1 a 3 mm de diámetro y a una distancia entre sí de 5 cm de forma alternada.

Para mantener fija la tubería, evitar robos, se recomienda construir una base de concreto que sobresalga unos 20 o 30 cm.

Además se puede colocar un tapón con un agujero a fin de darle ventilación.

b) Piezómetros

Un piezómetro es una tubería de diámetro pequeño, abierta en ambos extremos, generalmente no perforada de tal modo que no se produzcan filtraciones entre la pared exterior del tubo y el suelo, y permitir que toda el agua que ingrese a su interior lo haga sólo por el extremo inferior.



El piezómetro indica solamente la presión hidrostática del agua subterránea en un punto específico del suelo, localizado en el extremo inferior. Generalmente se utilizan como piezómetros, tubos de PVC o metálicos de $\frac{1}{4}$ ", $\frac{3}{8}$ ", $\frac{1}{2}$ ". Sus perforaciones de 5 – 20 cm en el extremo inferior, cubiertos por un filtro protector.

Para la instalación de un piezómetro existen tres métodos: golpe por medio de un martinete, con barreno y mediante presión de agua.

En el pozo de observación el agua ingresa por las perforaciones que se hacen en la tubería, mientras que en el piezómetro el agua ingresa por el extremo final. Si un piezómetro se coloca en un acuífero libre funciona como un pozo de observación.

ii. Conductividad hidráulica.

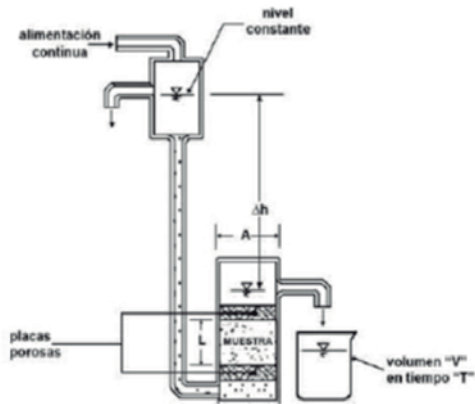
La conductividad hidráulica, puede ser determinada mediante muestras de suelo en laboratorio, en situ y puede ser estimada en relación a ciertas características del suelo.

a) Métodos de laboratorio

Los métodos de laboratorio pueden ser a través de muestras alteradas o inalteradas, en general la determinación de la conductividad hidráulica con muestras inalteradas se realiza mediante permeámetros, tanto de carga variable y de carga constante.

i. Permeámetro de carga constante

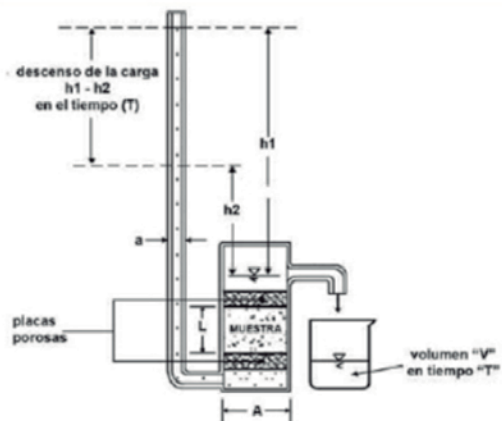
El método de permeámetro de carga constante consiste en colocar una muestra de suelo inalterada bajo una carga hidráulica constante para medir el flujo a través de la muestra saturada. El arreglo de la muestra es de manera que el flujo sea vertical de abajo hacia arriba.



Fuente: Máximo Villón Bejar, Costa Rica (2006)

ii. Permeámetro de carga variable

Este método se usa para medir la conductividad hidráulica cuando esta es pequeña, consiste en medir diferentes cargas hidráulicas para diferentes tiempos.



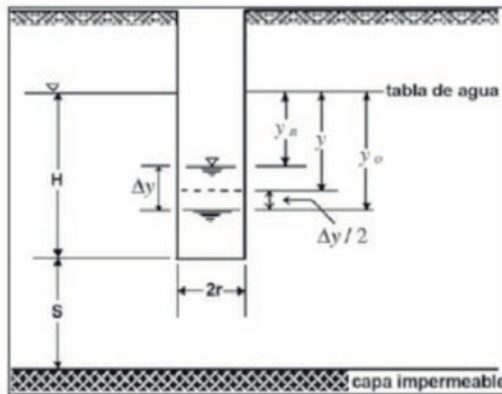
Fuente: Máximo Villón Bejar, Costa Rica (2006)

b) Métodos de campo (in situ)

Son métodos que se realizan en el sitio mismo en donde se realizará un proyecto de drenaje.

i. Métodos del agujero de barrena (auger – hole)

Se lo utiliza para determinar la conductividad hidráulica cuando la tabla de agua se encuentra cerca de la superficie consiste en perforar un pozo cilíndrico hasta una determinada profundidad, para esperar que el agua freática alcance su nivel original, una vez que alcanza su nivel original se extrae el agua del pozo de tal manera que el agua freática fluya a través de las paredes y ahí es cuando se mide la velocidad de elevación del nivel de agua.

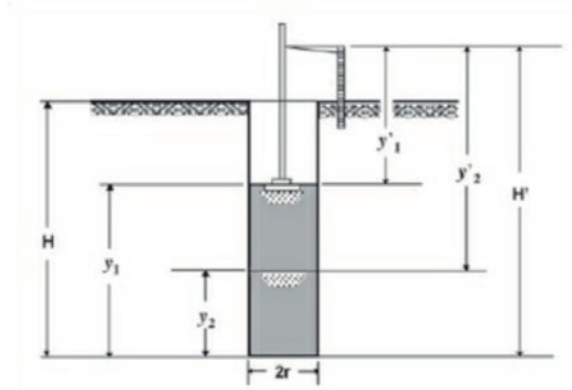


Fuente: Máximo Villón Bejar, Costa Rica (2006)

Cuando se trata de terrenos estratificados, se puede determinar las conductividades hidráulicas de las distintas capas por medio de dos o más pozos colocados estratégicamente.

ii. Método del barreno invertido

Este método se usa cuando la tabla de agua se encuentra muy profunda, consiste en abrir un pozo a una profundidad deseada, llenarlo de agua y medir la velocidad del descenso del nivel de ésta.



Fuente: Máximo Villón Bejar, Costa Rica (2006)

Cabe indicar que la conductividad hidráulica es similar al coeficiente de permeabilidad cuando existe un suelo saturado

iii. Estratigrafía del suelo hasta determinar la profundidad de estrato impermeable;

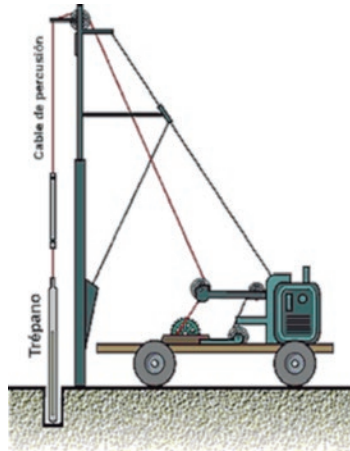
Se puede utilizar sondeos, que es un método de reconocimiento que se emplea cuando se precisa conocer las características del sub-suelo a profundidades imposibles de alcanzar por medio de pozos o calicatas. Sirve para realizar el reconocimiento de la naturaleza y localización de las diferentes capas del terreno. Dentro de los sondeos, existen sondeos a percusión con recuperación de muestras alteradas e inalteradas.

a) Muestras alteradas

Obtenidas de trozos de testigo o de muestras de ensayo SPT. Análogamente al caso de muestras alteradas obtenidas en calicatas, se tienen en cuenta las mismas Consideraciones

b) Muestras inalteradas

Se utiliza generalmente equipos mecánicos e hidráulicos, que pueden perforar desde suelos blandos hasta rocas y su transporte se facilita al estar montados sobre camiones, para posteriormente interpretar las muestras obtenidas.



Fuente: Perforebro.com

Se utiliza un tomamuestras abierto de pared gruesa, que consta de un tubo cilíndrico de pared gruesa dotado de una zapata separable. El resto del tubo es bipartido (por dos generatrices), para la extracción posterior de la muestra una vez tomada. En el interior se aloja una camisa fina que generalmente es de PVC, aunque puede ser metálica, donde se introduce la muestra para enviarla al laboratorio, habiendo parafinado previamente las caras extremas para evitar pérdidas de humedad.

En suelos blandos, el grosor de la zapata provoca una fuerte alteración de la muestra. Para evitarlo, se recurre al tomamuestras de pared delgada, también denominado Shelby. En este caso, no se introduce ninguna camisa en el interior del tomamuestras, sino que la muestra se envía al laboratorio dentro del mismo tubo Shelby, convenientemente tapado y parafinado.

En suelos arcillosos muy duros o en rocas, no se pueden introducir tubos tomamuestras mediante presión o percusión: en el caso de arcillas muy firmes, la introducción del tubo tomamuestras por medio de un gran número de golpes, provoca la total alteración del suelo. Por ello, debe obtenerse la muestra con la batería de perforación. Si este suelo duro o roca requiere agua para el avance, (y esto puede dar lugar a una alteración de la muestra), se debe utilizar tubo saca-testigos doble.

El testigo que va a ser enviado como muestra al laboratorio, debe ser envuelto en un mallazo y parafinado posteriormente.

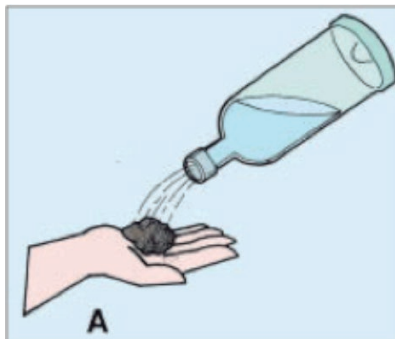
4.3.2 DRENAJE SUPERFICIAL

Para proyectos de drenaje superficial es necesario conocer la textura del suelo, parámetro que indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla. La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa.

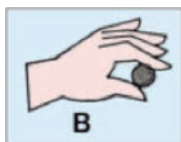
Para determinar las proporciones aproximadas de arena, limo y arcilla de una muestra de suelo la FAO recomienda diferentes ensayos de campo rápido, entre los que se puede mencionar los siguientes:

i. Prueba de manipulación

(A). Tomar una muestra de suelo; humedecer un poco en la mano hasta que sus partículas comiencen a unirse, pero sin que se adhiera a la mano.



- (B). Moldear la muestra de suelo hasta que forme una bola de unos 3 cm de diámetro

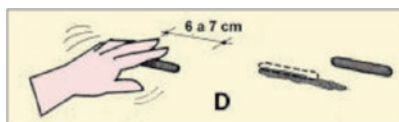


- (C). Dejar caer la bola



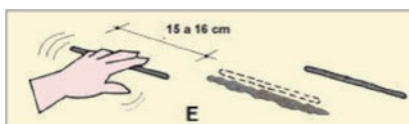
- (D). Si la muestra se desmorona, es arena;

Si mantiene la cohesión, moldear la bola en forma de un cilindro de 6 a 7 cm, de longitud.



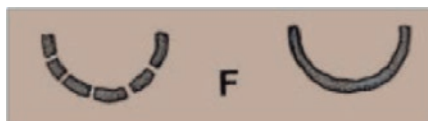
- (E). Si no mantiene esa forma, es arenoso franco;

Si mantiene esa forma, continuar amasando el cilindro hasta que alcance de 15 a 16 cm de longitud.



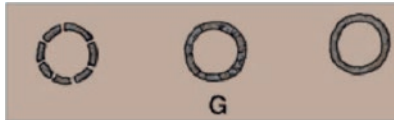
- (F). Si no mantiene esa forma es franco arenoso;

Si mantiene esa forma, doblar el cilindro hasta formar un semi-círculo.



(G). Si no es posible dar la forma de semicírculo, es franco;

Continuar doblando el cilindro hasta formar un círculo cerrado; si no es posible, es franco arcilloso; si se forman ligeras grietas en el cilindro, es arcilla ligera; y si se forma el cilindro sin grietas, es arcilla.

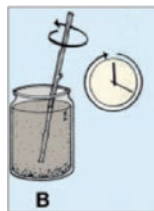


ii. Prueba de la botella

(A). Colocar 5 cm de suelo en una botella y llenarla de agua

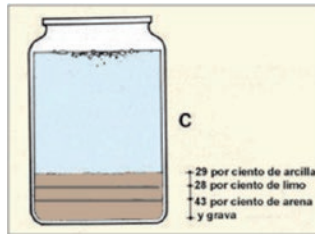


(B). Agitar bien y déjela reposar durante una hora. Transcurrido este tiempo, el agua estará transparente y observará que las partículas mayores se han sedimentado.



(C). Las partículas se sedimentarán de abajo hacia arriba en el siguiente orden: arena, limo, arcilla. Si el agua no está completamente transparente esto se debe a que parte de la arcilla más fina está todavía mezclada con el agua. En la superficie del agua pueden flotar fragmentos de materia orgánica.

Para definir los porcentajes de cada componente se deberá medir la profundidad de cada capa y calcular su proporción.



iii. Análisis de Laboratorio para determinar clases texturales

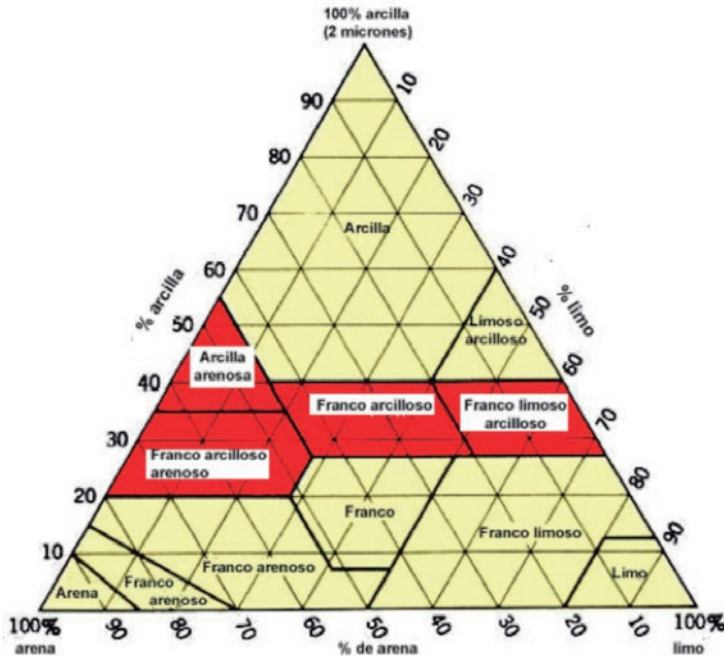
Si necesita definir con mayor precisión la clase textural de su suelo, se debe llevar las muestras de suelo alterado a un laboratorio de análisis para determinar cuantitativamente el tamaño de las partículas. Esto se denomina análisis mecánico del suelo. A continuación, se enumeran algunas de las actividades que pueden realizarse en un laboratorio de suelos:

- (A). Se seca la muestra de suelo;
- (B). Se eliminan las partículas mayores de 2 mm, tales como la grava y las piedras;
- (C). La parte restante de la muestra, la tierra fina, se tritura bien a fin de liberar todas las partículas separadas;
- (D). Se mide con precisión el peso total de la tierra fina;
- (E). La tierra fina se hace pasar a través de una serie de tamices con mallas de diversos tamaños de hasta alrededor de 0,1 mm de diámetro;
- (F). El peso del contenido de cada malla se calcula por separado y se expresa como porcentaje del peso total inicial de la tierra fina;
- (G). Los pesos de las partículas muy pequeñas de limo y arcilla que hayan pasado a través de la malla más fina se miden por sedimentación y también se expresan como porcentaje del peso total inicial de la tierra fina.

Con estos resultados se podrá asignar una clase textural específica a cada muestra utilizando el método del triángulo textural, que se basa en el sistema que aplica el USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de America), según el tamaño de las partículas, en el que se emplea la clasificación siguiente:

- Limo, todas las partículas cuyo tamaño varía de 0,002 a 0,05 mm;
- Arcilla, todas las partículas de menos de 0,002 mm.

Figura 3. Triángulo Textural (USDA)



Para determinar la clase textural del suelo empleando el diagrama triangular se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Ubicarse en el porcentaje de arena que figura en la base del triángulo y seguir la línea en sentido ascendente, hacia la izquierda;

- ii. Desde el porcentaje de arcilla a lo largo del lado izquierdo del triángulo seguir la línea horizontal hacia la derecha hasta que encuentre la línea que representa la arena (punto “o”). Este punto indica la textura de la muestra de suelo;
- iii. Comprobar si este punto corresponde al porcentaje de limo del análisis, siguiendo la línea desde el punto “o” hacia la derecha hasta alcanzar la escala de porcentaje de limo que aparece en el lado derecho del triángulo;

iv. Información SIGTIERRAS

El Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica, SIGTIERRAS, es un Programa emblemático del Ministerio de Agricultura. Su objeto es establecer un sistema de administración de la tierra rural, que contribuya a la regularización de su tenencia y proporcione información para la planificación del desarrollo y ordenamiento territorial.

El mapa de Geopedología a escala 1:25.000, con formato vector, contiene información sobre las características y propiedades de los distintos tipos de suelos que existen en el Ecuador continental, su clasificación y sus límites en el mapa.

La metodología utilizada siguió un enfoque geopedológico, basado en la alta correlación que existe entre la geomorfología (formas de relieve) y el suelo. Para la clasificación taxonómica de los suelos se siguen los criterios de la SoilTaxonomy (Claves para la Taxonomía de Suelos, 2006 y 2010), tomando como unidad taxonómica de clasificación el subgrupo y como unidad cartográfica el perfil modal o perfil característico de la unidad edáfica.

El estudio de geopedología se encuentra disponible en 105 cantones con una superficie aproximada de 121.000 km²; donde se realizaron más de 8.000 calicatas realizadas, 4.400 sondeos y 17.000 muestras analizadas en laboratorio

El mayor esfuerzo de muestreo (al menos 1 calicata por unidad edáfica presente en la carta 1:50000) se ha realizado sobre las zonas de semidetalle, las áreas de mayor interés agrícola, cuya caracterización

fue el objetivo principal del proyecto.

Los productos cartográficos generados por el Programa SIGTIERRAS, se encuentran disponibles en www.sigtierras.gob.ec

4.4 ESTUDIO AGROLÓGICO

La información edáfica básica precedente así como el ambiente ecológico en la que se han desarrollado los suelos permiten determinar la aptitud de uso de las tierras y sus respectivas limitaciones al potencial productivo; este acápite, constituye la interpretación práctica del estudio de suelos.

Dentro del marco del Buen Vivir, la planificación y administración adecuada de los recursos naturales; el Ministerio de Agricultura generó la Metodología para el Mapa de Aptitudes Agrícolas del Ecuador Continental; documento que tiene como objetivo, servir de base para la realización de proyectos de desarrollo agrícola a nivel del Ecuador continental.

Las variables edáficas que se deben analizar para definir la aptitud agrícola corresponden a: pendiente, textura superficial, inundación, fertilidad, salinidad, toxicidad, pedregosidad, drenaje y profundidad efectiva.

4.4.1 VARIABLES EDAFOLÓGICAS

4.4.1.1 Pendiente

Se considera la variable pendiente para la evaluación de tierras por su capacidad de uso, pues constituye un factor determinante al incidir directamente en las diferentes prácticas agronómicas y mecánicas para el cultivo de la tierra (MAGAP-PRAT, 2008: 95). Este factor determina a su vez, las medidas de conservación y las prácticas de manejo necesarias para la preservación del suelo y agua (IEE, 2010).

Cuadro 1. Tipos de pendiente

Tipo	Símbolo	Descripción
Plana 0 a 2%	(1)	Relieves completamente planos
Muy suave 2 a 5%	(2)	Relieves casi planos
Suave 5 a 12%	(3)	Relieves ligeramente ondulados
Media 12 a 25%	(4)	Relieves medianamente ondulados
Media a fuerte 25 a 40%	(5)	Relieves mediana a fuertemente disectados
Fuerte 40 a 70%	(6)	Relieves fuertemente disectados
Muy fuerte > 70%	(7)	Relieves muy fuertemente disectados

Fuente: IEE (2010)

4.4.1.2 Profundidad efectiva

La profundidad efectiva de un suelo constituye el espesor de las capas del suelo y subsuelo en las cuales las raíces pueden penetrar sin dificultad, en busca de agua, nutrimentos y sostén. Este valor se mide en centímetros de manera perpendicular a la superficie de la tierra. (MAG, 1995: 23).

Cuadro 2. Tipos de profundidad efectiva

Tipo	Símbolo	Profundidad
Muy superficial	Ms	0 a 10 cm
Superficial	S	11 a 20 cm
Poco profundo	Pp	21 a 50 cm
Moderadamente profundo	M	51 a 100 cm
Profundo	P	> 100 cm

Fuente: IEE (2010)

4.4.1.3 Textura

La textura se define como el porcentaje en peso del suelo mineral que queda comprendido en varias fracciones de tamaño de partículas, los procedimientos para definir el tipo de textura del suelo fueron descritos en el capítulo correspondiente a las investigaciones de campo para drenaje superficial.

Cuadro 3. Tipos de texturas según el triángulo del USDA

Tipo	Símbolo	Descripción
Arena	A	Tiene un buen drenaje y se cultivan con facilidad, pero también se secan fácilmente y los nutrientes se pierden por lavado
Areno francoso	AF	
Franco	F	Muestran mayor capacidad de uso agrícola.
Franco arenoso	FA	
Franco limoso	FL	
Franco arcilloso	FY	
Franco – arcillo – arenoso	FYA	
Franco – arcillo - limoso	FYL	
Limoso	L	Son texturas que dan una sensación harinosa (como polvo de talco). Tienen velocidad de infiltración baja y almacenamiento de nutrientes medio.
Arcilloso	Y	Tienden a no drenar bien, se compactan con facilidad y se cultivan con dificultad, además presentan una buena capacidad de retención de agua y nutrientes.
Arcillo - arenoso	YA	
Arcillo - limoso	YL	
Arcilla pesada	YP	

Fuente: IEE (2010)

4.4.1.4 Pedregosidad

Se refiere a la presencia o ausencia de fragmentos gruesos superficiales o presentes en los horizontes del suelo que afecten a la mecanización y desarrollo de las plantas; también incluyen aquellos que se exponen parcialmente; están descritos en términos de porcentaje de cobertura (IEE. 2010).

Cuadro 4. Categorías de pedregosidad de los suelos

Tipo	Símbolo	Descripción
Sin	S	No posee fragmentos gruesos
Muy pocas	M	< 10% de fragmentos gruesos y no interfieren con el laboreo.
Poca	P	10 a 25% de fragmentos gruesos, existe interferencia con el laboreo, es posible el cultivo de plantas de escarda (maíz, plantas con raíces útiles y tubérculos)
Frecuente	F	25 a 50% de fragmentos gruesos, existe dificultad para el laboreo, es posible la producción de heno y pasto.
Abundantes	A	50 a 75% de fragmentos gruesos, no es posible el uso de maquinaria agrícola, solo se puede utilizar máquinas livianas y herramientas manuales.
Pedroso o rocoso		> 75% de fragmentos gruesos en la superficie, excesivamente pedregoso para ser cultivado.

Fuente: IEE (2010)

4.4.1.5 Fertilidad natural

La fertilidad de un suelo se puede definir como la capacidad de éste para suministrar los nutrimentos apropiados, en cantidades adecuadas y proporciones balanceadas para el crecimiento normal de las plantas, cuando otros factores abióticos como luz, temperatura y condiciones físicas y biológicas son favorables (Fuentes, 1999: 176, citado por IEE.2010).

Cuadro 5. Niveles de fertilidad natural

Tipo	Símbolo	DESCRIPCIÓN
Muy baja	Mb	Baja capacidad de intercambiar cationes, muy baja disponibilidad de nutrientes debido al bajo pH, muy baja saturación de bases, suelos con texturas arenosas y contenido de materia orgánica muy bajos.
Baja	B	Escasa capacidad de intercambio de cationes, baja disponibilidad de nutrientes, baja saturación de bases, suelos con contenido de materia orgánica bajos y texturas arenosas a arena francosas.
Mediana	M	Moderada capacidad de intercambio catiónico, buena disponibilidad de nutriente, mediana saturación de bases, estos suelos presentan clases texturales variables de arcillosos a francos, con contenido de materia.
Alta	A	Alta capacidad de intercambio catiónico, alta saturación de bases y óptima disponibilidad de nutrientes, suelos con altos contenidos de materia orgánica y de texturas francas.

Fuente: IEE (2010)

4.4.1.6 Salinidad

La salinidad es una característica del suelo que se debe a su contenido excesivo de sales y en especial de sodio (Na), limita el crecimiento de los cultivos, debido a que las plantas no pueden absorber una cantidad suficiente de agua para funcionar adecuadamente (Potash & Phosphate Institute, 1997: 1-6, 1-8, citado por IEE.2010).

Cuadro 6. Niveles de salinidad del suelo

Tipo	Símbolo	Descripción
No salino	NS	< 2.0 dS/m. Nivel de sales que no limitan el rendimiento
Ligeramente salino	LS	2.0 a 4.0 dS/m. Nivel de sales ligeramente tóxico con excepción de cultivos tolerantes
Salino	S	4.0 a 8.0 dS/m. Nivel de sales tóxico en la mayoría de cultivos
Muy salino	MS	8.0 a 16.0 dS/m. Nivel de sales muy tóxico en los cultivos
Extremadamente salino	ES	> 16.0 dS/m. Nivel muy tóxico en los cultivos

Fuente: IEE (2010)

4.4.1.7 Toxicidad

La toxicidad se define como el efecto negativo que producen los aniones y cationes sobre las plantas cuando se encuentran presentes en exceso en el suelo (De La Rosa, 2008: 208, IEE, 2010).

Cuadro 7. Categorías de toxicidad de los suelos

Tipo	Símbolo	Rango	Descripción
Sin o nula	S	-	Ausencia de acidez de aluminio e hidrógeno intercambiable aplicable tanto para Costa como para Sierra. Ausencia de carbonatos, sin reacción al HCl
Ligera (ac)	La	< 0.50 meq/100ml	Ligera acidez de aluminio e hidrógeno intercambiable aplicable tanto para Costa como para Sierra.
Media (Ac)	Ma	0.50 – 1.5 meq/100ml	Media acidez de aluminio e hidrógeno intercambiable aplicable tanto para Costa como para Sierra
Alta (ac)	Aa	> 1.5 meq/100ml	Alta acidez de aluminio e hidrógeno intercambiable aplicable tanto para Costa como para Sierra
Ligera (car)	Lc	0 - 10%	Relación ligera al HCl, presencia de pequeñas burbujas. Contenido de carbonatos muy bajo.
Media (car)	Mc	11 – 25%	Relación moderada al HCl, presencia de burbujas con espuma baja. Contenido de carbonato normal.
Alta (car)	Ac	> 25%	Relación fuerte al HCl, presencia de efervescencia con burbujas y espuma alta. Contenido de carbonatos muy alto.

Fuente: IEE (2010)

4.4.1.8 Drenaje

El drenaje de un suelo expresa la rapidez con que se elimina el agua sobrante en relación con las aportaciones (Porta et al., 2005: 146, citado por IEE, 2010). La clase de drenaje es un atributo del suelo que viene determinado por un conjunto de propiedades (estructura, textura, porosidad, existencia de una capa impermeable, permeabilidad, posición del suelo en el paisaje y color) (Porta et al., 2005: 146, citado por IEE, 2010).

Cuadro 8. Clases de drenaje en los suelos

Tipo	Símbolo	Descripción
Excesivo	E	Eliminación rápida del agua en relación al aporte por lluvia. Suelos de texturas gruesas. Normalmente ningún horizonte permanece saturado durante varios días después de un aporte de agua.
Bueno	B	Eliminación fácil del agua e precipitación, aunque no rápidamente. Suelos de textura media a fina. Algunos horizontes pueden permanecer saturados durante unos días después de un aporte agua. Sin moteados en los 100 cm superiores o con menos de un 2% entre los 60 y 100 cm.
Moderado	M	Eliminación lenta en relación al aporte agua. Suelos con un amplio intervalo de texturas. Algunos horizontes pueden permanecer saturados durante más de una semana después del aporte. Moteados del 2 al 20% entre 60 y 100 cm.
Mal drenado	X	Eliminación del agua en relación al suministro. Suelos con un amplio intervalo de texturas. Los horizontes permanecen saturados por el agua durante varios meses. Rasgos gléicos, propiedades estratégicas (moteados y coloraciones naranja o herrumbrosas en los canales de raíces). Problemas de hidromorfismo. Estas características se observan por lo general en zonas deprimidas y con régimen de humedad ácuico.

Fuente: IEE (2010)

4.4.1.9 Inundación

Inundación es la condición en la que el suelo es cubierto por agua. Encharcamiento es cuando el agua se encuentra en una depresión (Soil Survey Division Staff, 1993: 24, citado por IEE, 2010).

Las inundaciones, están relacionadas precisamente con las precipitaciones intensas de carácter excepcional y de larga duración que aumentan considerablemente el caudal de los ríos, produciendo desbordamiento y generando inundaciones por anegamiento especialmente en aquellas áreas de topografía plana con suelos de texturas arcillosas (González et al., 2008: 4, citado por IEE, 2010).

Cuadro 9. Duración de las inundaciones

Tipo	Símbolo	Tiempo	Descripción
Sin o muy corta	O	0 A 1 mes	Suelos con ninguna presencia de agua o máxima durante un mes
Corta	C	1 a 3 meses	Suelos con presencia de agua durante uno a tres meses
Mediana	M	3 a 6 meses	Suelos con presencia de agua durante tres a seis meses.
Larga	L	6 a 9 meses	Suelos con presencia de agua durante seis a nueve meses.
Permanente	P	> 9 meses	Suelos permanentemente inundados, más de nueve meses cubiertos de agua.

Fuente: IEE (2010)

4.4.1.10 Régimen de humedad

El régimen de humedad del suelo se refiere a los estados de humedad de una sección de control, cuyos límites pueden ser determinados para cada perfil (Winckell et al., 1997: 98). Además, se debe relacionar con la información climática como por ejemplo con las isoyetas y meses ecológicamente secos (IEE.2010).

Cuadro 10. Régimen de humedad de los suelos

Tipo	Símbolo	Descripción
Árido	AR	El suelo está seco en todo el perfil, durante más o menos la mitad del año, pero ninguna parte está húmeda más de tres meses consecutivos. Generalmente, hay infiltración del agua por abajo. No hay lixiviación pero en muchos casos una acumulación de elementos minerales: sales, carbonatos.
Ústico	US	Este régimen de humedad es intermedio entre el régimen árido y el údico. La sección de control en áreas del régimen ústico está seca, en alguna o en todas sus partes por 90 días o más acumulativos en años normales. Sin embargo, está húmeda en alguna parte por más de 180 días acumulativos por año o por 90 días o más consecutivos. Es posible hacer cultivos de ciclo corto sin riego pero con irregularidad y deficiencia de agua algunos años.
Údico	U	El suelo no está seco en todo el perfil más de tres meses consecutivos la mayoría de los años.
Perúdico	P	Las precipitaciones mensuales son más altas que la evapotranspiración, por consecuencia, hay percolación del agua en el perfil durante todo el año y lixiviación de algunos elementos minerales útiles.
Acuíco	A	Suelos saturados con agua, con predominio de reacciones de reducción debido a la ausencia de oxígeno, condiciones no favorables para desarrollo de microorganismos.

Fuente: IEE (2010)

4.4.1.11 Régimen de temperatura

La temperatura es el elemento climático que indica el grado de calor o frío sensible en la atmósfera, teniendo como fuente generadora de dicho calor al sol. La tierra no recibe igual energía solar en todas sus partes, por lo tanto hay variación de temperatura y ésta es dada por muchas causas: la altitud, distancia al mar, la latitud, vegetación, diferencia de temperatura del día y noche, hora del día, época del año y otros factores (MAGAPPRAT, 2008: 98).

Cuadro 11. Régimen de temperatura del suelo

Zonas de temperatura	Rango de temperatura (°C)
Isohipertérmico	> 22
Isotérmico	13 – 22
Isoméxico	10 – 13
Isofrío	< 10

Fuente: IEE (2010)

4.4.2 CLASES DE APTITUDES AGRÍCOLAS

La metodología propuesta por el Ministerio de Agricultura considera cuatro clases de aptitud agrícola para los cultivos, las mismas que se describen a continuación:

4.4.2.1 Muy apto (C1)

Son tierras que soportan las actividades agrícolas, pecuarias o forestales, adaptadas ecológicamente a la zona, sin degradar a alguno de sus elementos, no presentan limitaciones, y permiten la utilización de maquinaria para el arado. En cuanto a las variables edafológicas deben estar dentro de los rangos que se establecen a continuación:

Variable	Rango
Pendiente	< 2%
Profundidad efectiva	profundo
Pedregosidad	Sin o muy poca
Fertilidad natural	Alta
Toxicidad	Sin o nula
Drenaje	Bueno
Salinidad	No salino
Textura	Franco
Régimen de humedad	Údico
Régimen de temperatura	Isohipertérmico e isotérmico

4.4.2.2 Apto (C2)

Son tierras que soportan las actividades agrícolas, pecuarias o forestales, adaptadas ecológicamente a la zona, sin degradar a alguno de sus elementos, presentan limitaciones ligeras que no suponen grandes inversiones para sobreponerlas, y permiten la utilización de maquinaria para el arado. Son tierras regables.

Variable	Rango
Pendiente	2 - 5%
Profundidad efectiva	Profundo y moderadamente profundo
Pedregosidad	Poca
Fertilidad natural	Mediana a alta
Toxicidad	Ligera o nula
Drenaje	Bueno a moderado
Salinidad	Ligeramente salinos y no salino
Textura	Franco Franco – arcillosa Franco – arenosa Limosa
Régimen de humedad	Údico ústico
Régimen de temperatura	Isohipertérmico e isotérmico

4.4.2.3 Moderadamente apto (C3)

Son tierras que soportan las actividades agrícolas, pecuarias o forestales, pero se reduce las posibilidades de elección de cultivos anuales a desarrollar o se incrementan los costos de producción debido a la necesidad de usar prácticas de manejo de suelo y agua; y permiten la utilización de maquinaria para el arado.

Variable	Rango
Pendiente	5 - 12%
Profundidad efectiva	Profundo a poco profundo
Pedregosidad	Poca
Fertilidad natural	Alta, media o baja
Toxicidad	Sin o nula, ligera y media
Drenaje	Excesivo, bueno o moderado
Salinidad	Salinos, ligeramente salinos y no salino
Textura	Arcilla Franco – arcillosa Fraco Arcillo – arenosa
Régimen de humedad	Údico y ústico
Régimen de temperatura	Isohipertérmico e isotérmico

4.4.2.4 Marginalmete apto (C4)

Estas tierras requieren un tratamiento especial en cuanto a las labores de maquinaria o permiten un laboreo ocasional. Se restringe el establecimiento de cultivos intensivos y admite cultivos siempre y cuando se realicen prácticas de manejo y conservación.

Variable	Rango
Pendiente	12 - 25%
Profundidad efectiva	Profundo a poco profundo
Pedregosidad	Poca o ninguna
Fertilidad natural	Alta, media o baja
Toxicidad	Alta
Drenaje	Bueno a moderado
Salinidad	Alta (ac) y alta (car)
Textura	Variable
Régimen de humedad	Údico y ústico
Régimen de temperatura	Isohipertérmico e isotérmico

4.5 DISEÑO AGRONÓMICO

De todos los elementos meteorológicos, el que ejerce mayor impacto en la agricultura es la precipitación u oferta de agua, su infiltración y retención en el suelo; así como también la demanda de la evaporación directa desde el suelo y la transpiración a través de las estomas de las hojas de las plantas.

4.5.1 CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL

La planificación agrícola se ve beneficiada con el conocimiento del balance hídrico, ya que la utilización del agua para consumo de las plantas, entraña problemas de abastecimiento y de excesos. Un elemento básico en el conocimiento y la interpretación de los elementos del balance hídrico es la estimación de la evapotranspiración potencial.

Durante los últimos 50 años se han desarrollado una gran cantidad de métodos empíricos por numerosos científicos en todo el mundo, con el fin de estimar la evapotranspiración a partir de diferentes variables climáticas. A menudo las ecuaciones estaban sujetas a rigurosas calibraciones locales pero demostraron tener limitada validez global. Por otra parte, probar la exactitud de los métodos bajo nuevas condiciones es laborioso y necesita mucho tiempo y dinero. A pesar de ello, los datos de evapotranspiración son necesarios con antelación al planeamiento de proyectos. Para cubrir esta necesidad y tomando en cuenta la disponibilidad de datos se puede aplicar cualquiera de los métodos que se describen a continuación:

4.5.1.1 Método Thornthwaite (1944)

Los cálculos de Thornthwaite se basan en procedimientos empíricos realizados en las regiones húmedas del Este de Estados Unidos, para la determinación de la evapotranspiración potencial en función de la temperatura media, con una corrección en función de la duración astronómica del día y el número de días del mes.

$$Etp = 16Rt \left(\frac{10T}{I} \right)^a$$

Donde:

Etp: Evapotranspiración Potencial en mm/mes

T: Temperatura media mensual en °C

I: Índice calórico anual, que se calcula a partir de la suma de los doce índices de calor mensuales:

$$i_j = \left(\frac{T_j}{5} \right)^{1.514}$$

a: parámetro que se calcula a partir de I, según la expresión:

$$a = 0,000000675 \times I^3 - 0,0000771 \times I^2 + 0,01792 \times I + 0,49239$$

Rt: Índice de Iluminación, que se define como el coeficiente que toma en cuenta el número de días del mes y horas de luz de cada día, en función de la latitud. El valor de Rt se puede obtener de la siguiente tabla.

Cuadro 12. Duración promedio posible del fotoperiodo (Rt) expresado en unidades de 30 días de 12 horas cada uno

Mes	Latitud en grados		
	Norte 5	0	Sur -5
Enero	1.02	1.04	1.06
Febrero	0.93	0.94	0.95
Marzo	1.03	1.04	1.04
Abril	1.02	1.01	1.00
Mayo	1.06	1.04	1.02
Junio	1.03	1.01	0.99
Julio	1.06	1.04	1.02
Agosto	1.05	1.04	1.03
Septiembre	1.01	1.01	1.00
Octubre	1.03	1.04	1.05
Noviembre	0.99	1.01	1.03
Diciembre	1.02	1.04	1.06

4.5.1.2 Método Hargreaves (1956 - 1956)

Hargreaves calculó el uso consuntivo mensual en función de la temperatura media, humedad relativa media al medio día, y la duración del día en función de la latitud.

En 1966 se introdujo factores de corrección y una tabla que incluye coeficientes que toman en cuenta el efecto del cultivo.

$$Et = 17,37 \times k \times d \times T(1 - 0,01Hn)$$

Et: Evapotranspiración real en mm.

d: Coeficiente mensual de duración del día, siendo igual a:

$$d = 0,12p$$

p: Porcentaje de horas luz del día respecto al total anual. Este valor se obtiene del siguiente cuadro.

Cuadro 13. Tanto por ciento de horas de sol diarias

Latitud de 20° al Sur a 20° al Norte												
Latitud °	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
NORTE												
0	8.50	7.66	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50
5	8.32	7.57	8.47	8.29	8.65	8.41	8.67	8.60	8.23	8.42	8.07	8.30
10	8.13	7.47	8.45	8.37	8.81	8.60	8.86	8.71	8.25	8.34	7.91	8.10
15	7.94	7.36	8.43	8.44	8.98	8.80	9.05	8.83	8.25	8.20	7.75	7.88
20	7.74	7.25	8.41	8.52	9.15	9.00	9.25	8.96	8.30	8.18	7.58	7.66
SUR												
0	8.50	7.66	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50	8.49	8.21	8.50	8.22	8.50
5	8.68	7.76	8.51	8.15	8.34	8.05	8.33	8.38	8.19	8.56	8.37	8.68
10	8.86	7.87	8.53	8.09	8.18	7.85	8.14	8.27	8.17	8.62	8.53	8.88
15	9.05	7.98	8.55	8.02	8.02	7.65	7.95	8.15	8.15	8.68	8.70	9.10
20	9.24	8.09	8.57	7.94	7.85	7.43	7.76	8.03	8.13	8.76	8.87	9.33

Hn: Humedad relativa media al mediodía, se determina aplicando la expresión:

$$Hn = 1 + 0,4h + 0,004h^2$$

h: Humedad relativa media mensual.

K: Coeficiente empírico del cultivo, se obtiene de la siguiente tabla.

Cuadro 14. Valores del coeficiente K – Fórmula de Hargreaves

Estación de crecimiento %	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D	Grupo E	Grupo F	Grupo G	Arroz
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.20	0.15	0.12	0.08	1.00	0.60	0.55	0.90
10	0.36	0.27	0.22	0.15	1.00	0.60	0.60	0.92
15	0.50	0.38	0.30	0.19	1.00	0.60	0.65	0.95
20	0.64	0.48	0.38	0.27	1.00	0.60	0.70	0.98
25	0.75	0.56	0.45	0.33	1.00	0.60	0.75	1.00
30	0.84	0.63	0.50	0.40	1.00	0.60	0.80	1.03
35	0.92	0.69	0.55	0.46	1.00	0.60	0.85	1.06
40	0.97	0.73	0.58	0.52	1.00	0.60	0.90	1.08
45	0.99	0.74	0.60	0.58	1.00	0.60	0.95	1.10
50	1.00	0.75	0.60	0.65	1.00	0.60	1.00	1.10
55	1.00	0.75	0.60	0.71	1.00	0.60	1.00	1.10
60	0.99	0.74	0.60	0.77	1.00	0.60	1.00	1.10
65	0.96	0.72	0.58	0.82	1.00	0.60	0.95	1.10
70	0.91	0.68	0.55	0.88	1.00	0.60	0.90	1.05
75	0.85	0.64	0.51	0.90	1.00	0.60	0.85	1.00
80	0.75	0.56	0.45	0.90	1.00	0.60	0.80	0.95
85	0.60	0.45	0.36	0.80	1.00	0.60	0.75	0.90
90	0.46	0.35	0.28	0.70	1.00	0.60	0.70	0.85
95	0.28	0.21	0.17	0.60	1.00	0.60	0.55	0.80
100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Grupo A	frijol, maíz, algodón, papas, remolacha, azucarera y tomates							
Grupo B	dátiles, olivo, durazno, ciruela y nogal							
Grupo C	melón, cebada, zanahoria, vides y almendras, cebolla							
Grupo D	espárragos, cebada, apio, lino, avena, trigo y otros cereales menores y sorgo granífero							
Grupo E	pasto pangola, trébol, huertos con cultivos de cobertura, bananas y plátanos							
Grupo F	naranja, limonero y toronja, piña							
Grupo G	caña de azúcar y alfalfa							
Arroz	arroz							

Por haber sido desarrollada para condiciones meteorológicas medias Hargreaves propone las siguientes correcciones:

- Efecto de la velocidad del viento (2m): los resultados deben aumentarse o disminuirse 9% por cada 50 km/día de aumento o disminución, con respecto a 100 km/día que corresponde a las condiciones de obtención de la fórmula.

- b) Duración del resplandor solar: la fórmula se obtuvo con una insolación del 90%. La corrección se hará:

Cuadro 15. Porcentaje de corrección por resplandor solar

Insolación %	30	40	50	60	70	80	90
Corrección %	-34	-28	-24	-20	-16	-9	0

Fuente: (Guruvich, L., 1985)

- c) Altitud: los resultados deben corregirse en 1% por cada 100 metros de elevación a partir de los 150 metros.

4.5.1.3 Método Penman Monteith FAO98

La fórmula de Penman-Monteith FAO98 es ampliamente recomendada como el método estándar para estimar la evapotranspiración de referencia con validez mundial en los diferentes tipos de clima, por proveer resultados más consistentes para el uso real del agua por los cultivos y ha sido comprobada fehacientemente por organismos especializados, incluyendo la Organización Meteorológica Mundial.

La fórmula Penman-Monteith FAO98 permite estimar la evapotranspiración de referencia, ET_o , en función de la radiación solar neta, temperatura del aire, velocidad del viento y tensión de vapor del agua.

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)}$$

Donde:

ET_o : evapotranspiración de referencia (mm/día).

Δ : Pendiente de la curva de la presión de saturación de vapor a la temperatura del aire T [kPa °C]

$$\Delta = \frac{4098 \left[0.6108 + \exp \left(\frac{17.27 \cdot T}{T + 237.3} \right) \right]}{(T + 237.3)^2}$$

T: Temperatura del aire [°C]

e_s : Presión de saturación de vapor

La presión de saturación de vapor puede ser calculada en función de la temperatura del aire, pues depende de ella. La relación entre ambas variables se expresa como:

$$e_s = \frac{e^\circ(T_{\max}) + e^\circ(T_{\min})}{2}$$

$$e^\circ(T_{\max}) = 0.6108 * \exp\left(\frac{17.27 * T_{\max}}{T_{\max} + 237.3}\right)$$

$$e^\circ(T_{\min}) = 0.6108 * \exp\left(\frac{17.27 * T_{\min}}{T_{\min} + 237.3}\right)$$

El déficit de presión de vapor es la diferencia entre la presión de saturación de vapor (e_s) y la presión real de vapor (e_a) durante un determinado período.

$$e_a = e_s \frac{HR_{\text{media}}}{100}$$

Si no se cuenta con mediciones directas de radiación solar, R_s , ésta puede ser calculada a través de la aplicación de la fórmula de Angstrom que relaciona la radiación solar con la radiación extraterrestre y la duración relativa de la insolación:

$$R_s = \left[0.25 + 0.50 \frac{n}{N}\right] R_a$$

Donde:

- R_s : Radiación solar o de onda corta ($\text{MJm}^{-2}\text{día}^{-1}$)
- n : duración real de la insolación (horas)
- N : duración máxima posible de insolación (horas)
- n/N : duración relativa de insolación
- R_a : radiación extraterrestre ($\text{MJm}^{-2}\text{día}^{-1}$)

La radiación en días despejados, R_{so} , cuando $n = N$, puede ser calculada de la siguiente forma:

$$R_{so} = (0.75 + 2 * 10^{-5} z) R_a$$

- z : elevación de la estación sobre el nivel del mar.

La radiación neta de onda corta resultante del equilibrio entre la radiación solar entrante y la reflejada está dada por:

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s$$

Donde:

R_{ns} : radiación neta solar o de onda corta ($\text{MJm}^{-2}\text{día}^{-1}$)

α : albedo o coeficiente de reflexión del cultivo, que es 0,23 para el cultivo hipotético de referencia.

R_s : radiación solar entrante ($\text{MJm}^{-2}\text{día}^{-1}$)

La cantidad de emisión de energía de onda larga es proporcional a la temperatura absoluta de la superficie elevada a la cuarta potencia. Esta relación se expresa cuantitativamente por la ley de Stefan-Boltzmann. Se debe tener en cuenta que el flujo de energía neta que sale de la superficie terrestre es menor que la calculada y dada por la ley de Stefan-Boltzmann debido a la absorción y radiación devuelta del cielo. El vapor de agua, las nubes, el dióxido de carbono y el polvo absorben y emiten radiación de onda larga. Por ello se deben conocer sus concentraciones para determinar el flujo saliente neto. Como la humedad y la nubosidad tienen un papel importante, la ley de Stefan-Boltzmann se corrige por estos dos factores cuando se estima el flujo saliente neto de la radiación de onda larga. De tal modo que se asume que las concentraciones de los otros factores de absorción de radiación son constantes:

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{max,k^4} + T_{min,k^4}}{2} \right] (0.34 - 0.14\sqrt{e_a}) \left(1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \right)$$

Donde:

R_{nl} : Radiación neta de onda larga ($\text{MJm}^{-2}\text{día}^{-1}$)

σ : constante de Stefan-Boltzmann [$4,903 \times 10^{-9}$ ($\text{MJm}^{-2}\text{día}^{-1}$)]

$T_{max,k}$: temperatura máxima absoluta durante un periodo de 24 horas, [$K = ^\circ\text{C} + 273,16$],

$T_{min,k}$: temperatura mínima absoluta durante un periodo de 24 horas, [$K = ^\circ\text{C} + 273,16$],

La radiación neta (R_n) es la diferencia entre la radiación neta de onda corta (R_{ns}) y la radiación neta de onda larga (R_{nl}):

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

4.5.1.4 Método Christiansen y Yépez

El ex INERHI, a través del Ing. José Yépez realizó un ajuste a la ecuación de Christiansen para el Ecuador, ya que los métodos directos e indirectos para cuantificar la evapotranspiración no toman en cuenta las condiciones climáticas, de vegetación, de suelos, etc, de nuestro país. Para la estimación de la evapotranspiración potencial se tiene la ecuación:

$$ETHC = 0,36 \times RT \times CT \times CH \times CW \times CE$$

Donde:

ETHC: Evapotranspiración potencial diaria

CT: Coeficiente que es función de la temperatura

$$CT = 0.23 + 0.77 \frac{T_m}{25}$$

Tm: Temperatura media en °C.

CH: Coeficiente que es función de la humedad relativa

$$CH = \frac{1 - HM}{0.3}$$

HM: Humedad relativa en décimos

CW: Coeficiente en función de la velocidad del viento, con el anemómetro ubicado a 10 m de la superficie

$$CW = 0.8 + 0.2 \frac{W_{10}}{8}$$

W10 = Velocidad media del viento en 24 horas en km/h.

CE: Coeficiente en función de la elevación.

$$CE = 1 + 0.07 \frac{EL}{1000}$$

EL: Elevación de la estación en m.s.n.m.

RT: Radiación extraterrestre en función de la latitud, expresada como evaporación equivalente en mes/día a temperatura media de 20°C. Su valor está indicado en la siguiente tabla.

Cuadro 16. Rt para el método de Christiansen y Yépez

Latitud	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
5.00	14.26	14.97	15.55	15.56	15.11	14.77	14.92	15.40	15.63	15.25	14.49	14.01
4.00	14.43	15.09	15.59	15.51	14.99	14.62	14.78	15.32	15.64	15.36	14.65	14.20
3.00	14.60	15.20	15.63	15.46	14.87	14.45	14.64	15.23	15.64	15.43	14.80	14.38
2.00	14.76	15.32	15.66	15.40	14.76	14.30	14.49	15.14	15.63	15.51	14.98	14.55
1.00	14.92	15.42	15.69	15.34	14.61	14.14	14.34	15.05	15.62	15.59	15.09	14.73
0.00	15.07	15.53	15.71	15.27	14.47	13.97	14.19	14.95	15.61	15.66	15.23	14.90
-1.00	15.23	15.62	15.73	15.20	14.34	13.80	14.03	14.85	15.59	15.73	15.37	15.06
-2.00	15.37	15.72	15.74	15.12	14.19	13.63	13.87	14.74	15.56	15.79	15.50	15.23
-3.00	15.52	15.81	15.75	15.04	14.05	13.45	13.71	14.63	15.53	15.85	15.63	15.39
-4.00	15.66	15.89	15.75	14.86	13.90	13.27	13.54	14.52	15.50	15.91	15.76	15.54
-5.00	15.79	15.97	15.75	14.87	13.74	13.09	13.37	14.40	15.48	15.96	15.87	15.69

4.5.2 CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA

La precipitación efectiva (P_e), es aquella fracción de la precipitación total que es aprovechada por las plantas. Depende de múltiples factores como la intensidad de precipitación o la aridez del clima, la inclinación del terreno, contenido de humedad o velocidad de infiltración.

Como primera aproximación, Brouwer y Heibloem, proponen las siguientes fórmulas para áreas con pendientes inferiores al 5%.

$$\begin{aligned}
 P_e &= 0.8P - 25 \rightarrow & \text{Si } P \geq 75 \text{ mm/mes} \\
 P_e &= 0.6P - 10 \rightarrow & \text{Si } P < 75 \text{ mm/mes}
 \end{aligned}$$

4.5.3 CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO

Cuando el balance mensual entre el valor de la evapotranspiración y la precipitación efectiva es positivo significa que existe déficit hídrico por lo tanto se debe aplicar riego y el sistema de drenaje a implementarse debe ser subsuperficial.

Por el contrario, si balance mensual entre el valor de la evapotranspiración y la precipitación efectiva es negativo existe un exceso de agua que debe ser removido mediante sistemas de drenaje superficial.

4.6 DISEÑO HIDRÁULICO

El diseño hidráulico consiste en determinar la capacidad de la red de drenaje proyectada y proceder a su dimensionamiento, para lo cual es necesario cumplir con las siguientes etapas:

4.6.1 DRENAJE SUPERFICIAL

En el diseño del drenaje superficial, solo se considera el exceso de agua en la superficie, sin considerar el flujo subsuperficial o subterráneo, ya que el tiempo de retardo es muy largo y por lo tanto no tiene gran influencia en el dimensionamiento de la red.

4.6.1.1 Trazado de la red

El trazado de la red de drenaje consiste en la ubicación en el terreno de los drenes colectores y la determinación de la dirección del flujo.

Los drenes colectores deben trazarse por los puntos más bajos, por lo que es necesario examinar cuidadosamente la topografía del terreno. Deben evitarse trazados arquitectónicos que adapten al drenaje al parcelamiento; por el contrario el parcelamiento debe ajustarse a las vías de drenaje.

En esta etapa además se deben determinar los linderos de cada microcuenca que contribuye a un cierto dren y se obtener el área respectiva.

Figura 4. Trazado del sistema de drenaje y definición de áreas de aportación



4.6.1.2 Definición del tiempo de drenaje

El tiempo de drenaje es el tiempo de inundación que el cultivo tolera sin que se reduzca significativamente su producción. Este tiempo de inundación permite un nivel de daño pre-establecido para una cierta combinación de cultivo-suelo-clima, que se denomina "daño permisible", y se obtiene de consideraciones agronómicas.

Cuando ocurre una precipitación, se inicia el proceso de infiltración y los poros del suelo comienzan a llenarse de agua. A medida que el tiempo transcurre, la velocidad de infiltración disminuye y al cabo de un cierto tiempo es menor que la intensidad de la lluvia y en ese momento, se inicia la acumulación de agua en la superficie del terreno, y consecuentemente, la inundación y la escorrentía. Por otra parte, estando el terreno inundado se inicia el tiempo de exceso de agua. Durante el resto de la duración de la lluvia, tanto la lámina de inundación como de escorrentía van aumentando hasta alcanzar un valor máximo; el suelo acumula agua y pierde aire, pudiendo incluso llegar a la saturación. Al cesar la lluvia comienza el período de recesión de la lámina superficial por efecto de una escorrentía decreciente hasta que la lámina superficial desaparece. En tal momento termina la inundación y el suelo comienza a recuperar el aire. Cuando la aireación alcanza a un 10% concluye el tiempo de exceso de agua.

El tiempo transcurrido entre el inicio de la inundación y aquél en el cual el suelo alcanza un 10% de aireación es el tiempo total de exceso de agua. Las obras de drenaje permiten disminuir sólo el tiempo de inundación al acondicionar la topografía y el microrelieve del terreno y construir la red de drenaje y consecuentemente, esto acelera la escorrentía. Por tal motivo, para fines de diseño, el

tiempo de inundación es equivalente al tiempo de drenaje.

Por lo tanto, el exceso de agua superficial deberá ser evacuado en un tiempo igual o menor al tiempo de drenaje para mantener un nivel de daño escogido. De esta manera, el sistema de drenaje debe tener la capacidad suficiente para evacuar el exceso de agua superficial que se produzca durante el tiempo de drenaje. Es por ello que la duración de la lluvia de diseño deberá ser igual al tiempo de drenaje t_d .

El tiempo de drenaje se debe obtener de locales, en Ecuador al no contar con este tipo de herramientas se adopta los valores recomendados en la siguiente tabla.

Cuadro 17. Tiempo de drenaje (horas)

Cultivos	Tiempo de drenaje (horas)
Hortalizas y cultivos delicados	6 – 8
Cultivos anuales	12 - 24
Pastos	48 - 72

Otra alternativa para definir el tiempo de drenaje es mediante el cálculo del tiempo de concentración, que está definido como el lapso que tarda en llegar al sitio de drenaje el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado; y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante.

En los modelos de lluvia – escorrentía, la duración de la lluvia se asume igual al tiempo de concentración, puesto que es para esta duración cuando la totalidad de la cuenca está aportando al proceso de escorrentía, por lo cual se espera que se presenten los caudales máximos.

En la literatura existen múltiples expresiones para el cálculo del tiempo de concentración propuestas por diferentes autores:

1. Témez:

$$T_c = 0.3 \left(\frac{L}{S_o^{0.25}} \right)^{0.75}$$

T_c: Tiempo de concentración (horas)
L: Longitud del dren (km)
S: Pendiente del dren (%)

2. Kirpich:

$$T_c = 0.066 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77}$$

T_c: Tiempo de concentración (horas)
L: Longitud del dren (km)
S: Pendiente del dren (m/m)

4.6.1.3 Estimación de la lluvia de diseño

Existen muchos procedimientos para calcular la escorrentía, pero la mayoría de ellos han sido diseñados para estimar crecidas máximas; entre estos se puede citar la fórmula Racional, el método de Cook y la fórmula de Mac Math. Como el drenaje superficial en el ámbito parcelario, lo importante es evacuar el agua en un tiempo razonable de acuerdo a la sensibilidad del cultivo, lo que más interesa no es la crecida máxima, sino la escorrentía superficial, de esta manera parte de la cuenca puede estar inundada durante algunas horas. Sólo en el caso de diseño de algunas estructuras como alcantarillas, será necesario el conocimiento de las crecidas máximas.

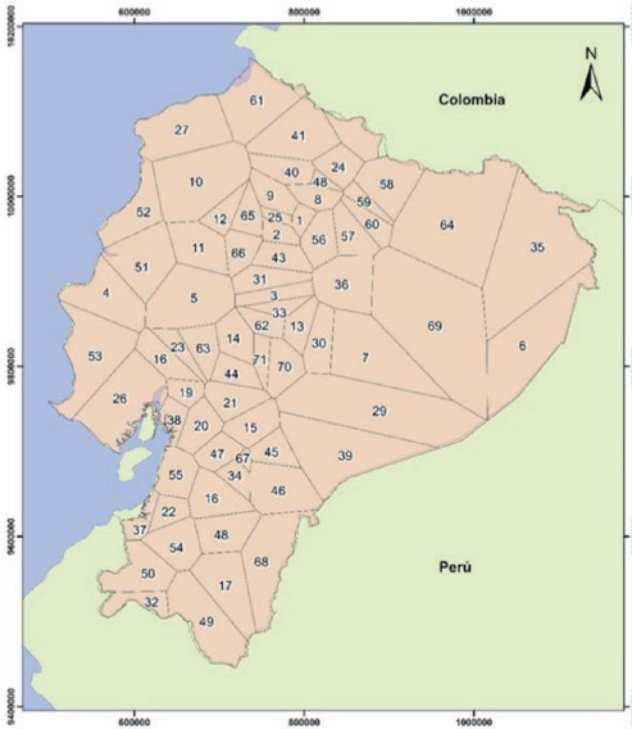
Los dos aspectos que son considerados en la obtención de la lluvia de diseño son: el período de retorno y su duración. El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS, 1973), recomienda para cálculos con fines agrícolas, un período de retorno de 5 a 10 años. La duración de lluvia se escoge de acuerdo con la sensibilidad del cultivo y se denomina tiempo de drenaje.

Para el cálculo de la lluvia de diseño, se utilizará las curvas intensidad – duración y frecuencia, definidas en el Estudio de Lluvias Intensas, desarrollado por el INAMHI en el 2015. En estos gráficos, se selecciona un valor de H (mm), para valores de duración D igual a t_d (hr), y período de retorno T (años), siendo la lluvia de diseño el valor de H seleccionado.

A continuación se detalla el proceso para la obtención de intensidad máxima de precipitación..

- i. Con las coordenadas geográficas del proyecto se identifica la zona de precipitación a la que pertenece, de acuerdo con el mapa elaborado por el INAMHI.

Figura 5. Zonificación de intensidades de precipitación



Fuente: INAMHI, 2015

- ii. A cada una de estas zonas le corresponde una ecuación del modelo de lluvia en función de la precipitación máxima en 24 horas, las mismas que se adjuntan en el ANEXO II de este documento.
- iii. El valor de IdTR correspondiente a la precipitación máxima en 24 horas definida para un período de retorno, se obtiene de los mapas elaborados por el INAMHI y que se encuentran en el ANEXO II de este documento.

La Escorrentía de diseño (E), es la lámina de exceso de agua superficial que se debe evacuar en el tiempo de drenaje (td). Para estimar la escorrentía, se utiliza el método del "Número de Curva" del Soil Conservation Service S.C.S. (1972), mediante la siguiente ecuación:

**Cuadro 18. Curvas Número (CN) para los complejos
suelo – cobertura en cuencas en condición de humedad media**

USO DE SUELO O CUBIERTA	TRATAMIENTO Ó PRACTICA	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	GRUPO DE SUELO HIDROLOGICO			
			A	B	C	D
Descuidado en descanso sin cultivo	Surco recto	Pobre	77	86	91	94
Cultivos en surcos	Surco recto	Pobre	72	81	88	91
	Surco recto	Buena	67	78	85	89
	Curvas de nivel	Pobre	70	79	84	88
	Curvas de nivel	Buena	65	75	82	86
	Curvas de nivel y en terrazas	Pobre	66	74	80	82
	Curvas de nivel y en terrazas	Buena	62	71	78	81
Pequeños Granos	Surco recto	Pobre	65	76	84	88
	Surco recto	Buena	63	75	83	87
	Curvas de nivel	Pobre	63	74	82	85
	Curvas de nivel	Buena	61	73	81	84
	Curvas de nivel y en terrazas	Pobre	61	72	79	82
	Curvas de nivel y en terrazas	Buena	59	70	78	81
Sembríos cerrados, legumbres o sembríos en rotacion	Surco recto	Pobre	66	77	85	89
	Surco recto	Buena	58	72	81	85
	Curvas de nivel	Pobre	64	75	83	85
	Curvas de nivel	Buena	55	69	78	83
	Curvas de nivel y en terrazas	Pobre	63	73	80	83
	Curvas de nivel y en terrazas	Buena	51	67	76	80
Pastizales o similares	sin especificar	Pobre	68	79	86	89
	sin especificar	Regular	49	69	79	84
	sin especificar	Buena	39	61	74	80

USO DE SUELO O CUBIERTA	TRATAMIENTO Ó PRACTICA	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	GRUPO DE SUELO HIDROLOGICO			
			A	B	C	D
Pastizales o similares	Curvas de nivel	Pobre	47	67	81	88
	Curvas de nivel	Regular	25	59	75	83
	Curvas de nivel	Buena	6	35	70	79
Praderas (permanente)	sin especificar	Buena	30	58	71	78
Bosques	sin especificar	Pobre	45	66	77	83
	sin especificar	Regular	36	60	73	79
	sin especificar	Buena	25	55	70	77
Parques, patios	sin especificar		59	74	82	86
Caminos de tierra	sin especificar		72	82	87	89
Caminos de superficie dura	sin especificar		74	84	90	92

El tipo hidrológico de suelo se define de acuerdo a su potencial de Escorrentía, y se clasifican cuatro grupos:

- Bajo potencial de Escorrentía: Tipo A.
- Moderadamente bajo potencial de Escorrentía: Tipo B.
- Moderadamente alto potencial de Escorrentía: Tipo C.
- Alto potencial de Escorrentía: Tipo D.

La definición de cada uno de los tipos hidrológicos de suelo, se presenta en la Tabla.

Cuadro 19. Grupos hidrológicos

GRUPO DE SUELO SEGÚN POTENCIAL DE ESCURRIMIENTO	
GRUPO	DESCRIPCIÓN
A	(Bajo potencial de escorrentía) Suelos que tienen altas tasas de infiltración aun cuando están bien mojados, consistentes principalmente en arenas o gravas profundas y bien a excesivamente drenados. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.
B	(Moderadamente bajo potencial de escorrentía) Suelos con tasas de infiltración moderadas cuando están bien mojados, moderadamente profundos a profundos, moderadamente bien a bien drenados, con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas. Estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua moderada.

GRUPO DE SUELO SEGÚN POTENCIAL DE ESCURRIMIENTO		
GRUPO		DESCRIPCIÓN
C	(Moderadamente alto potencial de escorrentía)	Suelos con tasas de infiltración lentas cuando están bien mojados, principalmente con una capa que impide el movimiento hacia abajo del agua, o de textura moderadamente fina a fina y una tasa de infiltración lenta. Estos suelos tienen una tasa lenta de transmisión de agua.
D	(Alto potencial de escorrentía)	Suelos que tienen tasas de infiltración muy lenta principalmente suelos arcillosos con un alto potencial de expansión; suelos con una napa subterránea permanente alta; suelos con claypan o capa arcillosa en la superficie o cercana a ella; y suelos poco profundos sobre materiales casi impermeables. Estos suelos tienen una tasa muy lenta de transmisión de agua.

La condición hidrológica, depende de la cobertura vegetal, de acuerdo a lo siguiente:

- Cobertura mayor al 75% → Condición hidrológica BUENA.
- Cobertura entre 50 y 75% → Condición hidrológica REGULAR.
- Cobertura menor al 50% → Condición hidrológica MALA.

4.6.1.4 Cálculo del caudal de diseño

El caudal de diseño se calcula mediante la Ecuación del Cypress Creek (Mc Crory, 1965):

$$Q = CA^{\frac{5}{6}}$$

Donde:

- Q = Caudal de diseño (l/s).
- C = Coeficiente de drenaje. (l/s/ha)
- A = Área a drenar (ha).

El Coeficiente C, se obtiene de una ecuación propuesta por Stephen y Mills (1965):

$$C = 4.573 + 1.63 \frac{24E}{t_d}$$

Donde:

- C = Coeficiente de drenaje, (l/s/ha).
- E = Escorrentía de diseño (cm).
- td = Tiempo de drenaje, (hr).

La fórmula anterior presenta la conveniencia de incorporar el efecto del aumento del área a drenar en el valor final del caudal de diseño.

Si el área a drenar fuese muy pequeña, el caudal de diseño para drenar esa superficie se calcularía multiplicando el coeficiente de drenaje por el área. Pero es

sabido que, a medida que el área de la cuenca de drenaje aumenta, el caudal de drenaje producido por unidad de área, disminuye por efecto del almacenamiento, pérdidas en la red colectora, y el tiempo de concentración.

4.6.1.5 Dimensionamiento

a) Cálculo de la Velocidad

Se considera que en los drenes se tendrá un flujo turbulento totalmente desarrollado y es posible aplicar la ecuación de Manning para la definición de los parámetros del movimiento uniforme. La velocidad media del flujo corresponde a la siguiente expresión:

$$V = \frac{R^{2/3} * I_0^{1/2}}{n}$$

En donde:

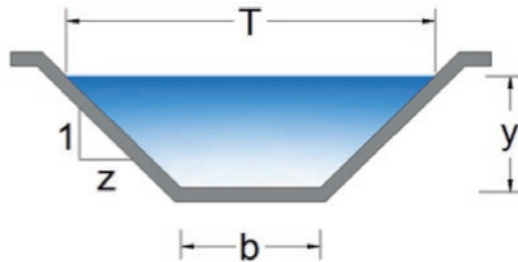
- V: Velocidad (m/s),
- I: Pendiente longitudinal del dren (m/m),
- Rh: Radio hidráulico igual al cociente entre el área hidráulica A y el perímetro mojado P: Rh=A/P, (m),
- n: Coeficiente de Manning

Cuadro 20. Coeficiente de rugosidad de Manning para canales abiertos excavados

Material	Calidad buena	Calidad regular
Tierra, limpio de vegetación	0.016	0.018
Tierra, con hierba corta y pocas malezas	0.022	0.027
Suelo con alto contenido de grava, limpio	0.022	0.025
Tierra, sección irregular y muchas malezas	0.030	0.035
Tierra, con lados limpios de vegetación y fondo de grava	0.025	0.030
Tierra, con lados limpios de vegetación y fondo de cantos rodados	0.030	0.035
Roca lisa y con pocas irregularidades	0.030	0.045
Roca dentada y con muchas irregularidades	0.040	0.045
Canales sin mantenimiento con maleza densa de la misma altura del agua o mayor	0.080	0.120
Canales sin mantenimiento con fondo limpio y rastrojo y matorrales en los lados. Gastos Altos	0.050	0.080
Canales sin mantenimiento con fondo limpio y rastrojo y matorrales en los lados. Gastos Bajos	0.070	0.110

Fuente: Bolinaga, J. J. "Drenaje Urbano" INOS 1979

Figura 6. Esquema del canal



b) Velocidad Mínima

La velocidad mínima, permitida para el diseño de los drenes o ramales auxiliares corresponde al movimiento bajo condiciones críticas. Para este caso se adopta como valor mínimo admisible $V_{\text{mín}} = 0,6$ m/s.

c) Velocidad Máxima

La velocidad máxima para evitar la abrasión, está definida en función del material del fondo del canal. Para los drenes se plantea el valor máximo admisible es igual a $V = 3.5$ m/s.

d) Pendientes Longitudinales

En el diseño se definirán las pendientes longitudinales que se requieran para garantizar la capacidad hidráulica en todo su recorrido, cumpliendo al mismo tiempo con los valores de velocidades máximas y mínimas. Siempre que sea posible se procurará ubicar los drenes con pendientes similares a las de terreno natural para minimizar las alturas de corte.

En general se puede establecer los siguientes criterios:

- Pendiente Mínima, el valor de la pendiente mínima del dren debe ser aquel que permita tener condiciones de autolimpieza, es decir, considerando que la velocidad en ningún instante sea menor a la velocidad mínima ($V_{\text{mín}} = 0.6$ m/s). Para secciones grandes no será menor de 0.1%.
- Pendiente Máxima, el valor de la pendiente máxima admisible es aquel para el cual se tenga una velocidad máxima real según lo expuesto en este documento en el literal de velocidad máxima ($V_{\text{máx}} = 3.5$ m/s).

4.6.2 DRENAJE SUBTERRÁNEO O SUBSUPERFICIAL

También conocido como subterráneo, se caracteriza por la presencia de un nivel freático cercano a la superficie del terreno que satura el perfil del suelo y propicia una humedad muy alta en la zona de desarrollo de las raíces de los cultivos.

Como se mencionó en apartados anteriores, cabe recalcar que el principal condicional para la implementación de un sistema de drenaje subsuperficial es que se cumpla con:

Evapotranspiración > Precipitación

Es decir, el drenaje subsuperficial es necesario cuando el agua de las lluvias no es suficiente para eliminar las sales, manteniendo el equilibrio salino adecuado en el suelo.

4.6.2.1 Clases de drenes

Dentro de la construcción de drenes Villón (2006) establece que, se pueden agrupar en dos clases:

- i. Zanjas abiertas, controlan el drenaje subterráneo y superficial.

En el drenaje subterráneo, por lo general las zanjas abiertas quedan sobre diseñadas para el caudal a evacuar, porque el dren se debe profundizar, a un valor mucho mayor que el tirante requerido, a fin de controlar el nivel freático.

- ii. Tuberías enterradas, dejan pasar el agua a través de perforaciones o por las uniones de cada dos drenes. En todos los cálculos de las fórmulas, se supondrá que el tirante de agua en las tuberías es el 50 % del diámetro, es decir, que el agua llena la mitad de la tubería.

4.6.2.2 Parámetros para el cálculo de espaciamiento de drenes

Algunos de los parámetros que se deben tomar en cuenta para el diseño de un sistema de drenaje subsuperficial son:

- El espaciamiento de drenes varía con el tipo de suelo (textura), la conductividad hidráulica (K) y la profundidad de los drenes
- Espaciamientos menores a 18 m son contraproducentes, por el área que se pierde, además este resultado puede denotar suelos muy malos, en los que no se deben sembrar
- En suelos con impermeable menor a 1.5 m, los drenes deben tener una profundidad que llegue apenas a la capa impermeable, a fin de no penetrar ni extraer tierra innecesaria
- Generalmente, los estratos de suelo son heterogéneos, por lo tanto en la realidad se encuentran combinados, es así que el criterio a usar es una mezcla según estratos y criterio práctico.
- Los suelos Franco arcillo limoso pesado son impermeables para efectos de drenaje
- El costo de un sistema con tuberías enterradas (costo de instalación alto más costo de los materiales moderado), es mayor que el de zanjas abiertas, pero si se tiene en cuenta el valor del terreno perdido por zanjas, los costos son similares.
- En los diseños de sistemas de drenaje, es fundamental el cálculo del espaciamiento de drenes (L), el cual, depende de los siguientes parámetros:

R: recarga o descarga normativa

PTA: profundidad de la tabla de agua, en el punto medio entre dos drenes paralelos, ó profundidad normativa

PD: profundidad del dren

PEI: profundidad del estrato impermeable

K: conductividad hidráulica del suelo

r: radio del dren o dimensiones del dren

h: carga del dren, se calcula como: $h = PD - (PTA + r)$

D: distancia desde el nivel de agua en los drenes, a la capa impermeable, se calcula como:

$$D = PEI - (PTA + h)$$

4.6.2.3 Criterios de drenaje

Los criterios de drenaje vienen establecidos por las reglas que se debe tomar en cuenta para analizar el problema, diagnosticarlo y emprender su solución.

i. Régimen del flujo

El punto de partida para establecer los criterios de drenaje es el conocimiento del régimen del flujo, el cual dependiendo de la velocidad de recarga y descarga, puede ser permanente o no permanente. Aun cuando ambos puedan existir, el régimen es en esencia no permanente, ya que para cierta capacidad de descarga existe una recarga que de hecho es variable.

ii. Recarga

La recarga o descarga normativa o específica Q , también denominada coeficiente de drenaje, es el exceso de agua que un sistema de drenaje debe extraer, adicionalmente a la salida natural de agua, para asegurar un nivel de la tabla de agua que no sea restrictivo para el crecimiento de los cultivos, este parámetro se expresa en mm/día.

La descarga específica, es uno de los datos inciertos cuando se diseña un sistema de drenaje. En general, puede expresarse que el único camino para lograr

valores verdaderos, es mediante la experiencia directa en proyectos, que detectan similares condiciones naturales y de manejo del agua.

A partir del cálculo del requerimiento hídrico neto para un área de cultivo, basado en los valores de precipitación y evapotranspiración, se considera al valor diario de requerimiento como el de recarga en mm/día.

iii. Profundidad normativa

Es la profundidad a la que se debe mantener la tabla de agua, de forma que el balance de agua y sales en la zona radicular sean favorable para los cultivos. Esta distancia se controla con la profundidad de los drenes. En los siguientes cuadros se indican profundidades normativas, adecuadas para cierto tipo de suelos y cultivos:

Cuadro 21. Nivel de tabla de agua, mediante tipo de suelo

Tipo de suelo	Profundidad del nivel freático (cm)
Textura fina	60- 80
Arenosos	40 - 60

Fuente: Máximo Villón Bejar, Costa Rica (2006)

Cuadro 22. Nivel de tabla de agua, mediante tipo de cultivo

Cultivo	Profundidad nivel freático (cm)
Maíz	80 - 100
Papa	40 - 50
Banano	100 - 120
Lechuga, fresas	40 - 50
Cebolla, zanahoria, col	60
Cacao	100 - 150
Caña de azúcar	30 - 50

Fuente: Máximo Villón Bejar, Costa Rica (2006); Manual de cultivo de cacao, Mendis Paredes, Perú (2003)

iv. Conductividad hidráulica

Uno de los parámetros básico del suelo que es imprescindible determinar en todo estudio de drenaje subterráneo, es la conductividad hidráulica del suelo, cabe recalcar que esta puede ser determinada mediante muestras de suelo, en laboratorio o en situ; o puede ser estimada en relación a ciertas características del suelo.

Se acostumbra clasificar la conductividad hidráulica en distintos rangos, según rapidez del movimiento de agua, la textura y estructura del suelo, es así, que se pueden estimar el valor de K dentro de valores que se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 23. Intervalos de magnitud de la conductividad hidráulica

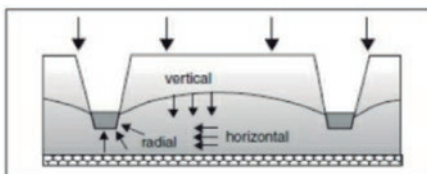
Rapidez de movimiento	Tipo de Suelo	Conductividad hidráulica (m/día)
Muy elevada	Arenoso con gravas y gravillas	>6
Elevada	Arenoso, Arenoso franco	3.00 - 6.00
Moderadamente elevada	Franco arenoso	1.56 - 3.00
Moderada	Franco, Franco limoso, Franco arcilloso	0.48 - 1.56
Moderadamente lenta	Franco arcillo limoso, Franco arcillo arenoso	0.12 - 0.48
Lenta	Arcilloso, Arcillo limoso	0.02 - 0.12
Muy lenta	Arcilloso densos	<0.02

Fuente: Servicio de Conservación de Suelos (SCS), USA (1994).

v. Tipos de flujos

En los sistemas de drenaje el flujo de agua se descompone en tres formas: flujo horizontal, flujo vertical y flujo radial.

Figura 7. Tipos de flujo

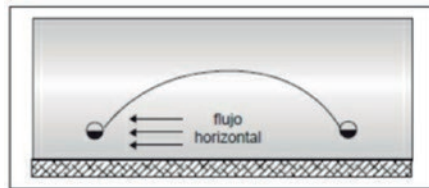


Fuente: Máximo Villón Bejar, Costa Rica (2006)

La predominancia de un flujo sobre otro, depende de la profundidad a la cual se encuentra la capa impermeable con respecto al nivel de drenes, el flujo vertical es despreciable con respecto a los otros flujos. Teniendo en cuenta la profundidad a la cual se encuentra la capa impermeable, existen tres casos:

Drenes apoyados en la capa impermeable ó esta se encuentra a pequeña profundidad por debajo del nivel de drenes

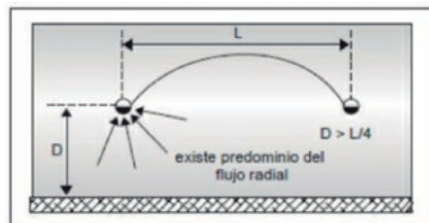
Figura 8. Flujo horizontal



Fuente: Máximo Villón Bejar, Costa Rica (2006)

En este caso existe una predominancia de flujo horizontal, el flujo radial puede ser considerado despreciable, por no existir una suficiente distancia por debajo de los drenes, para que este flujo ocurra. La capa impermeable se encuentra a gran profundidad con respecto a los drenes ($D > L/4$).

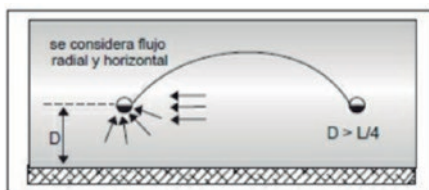
Figura 9. Flujo radial



Fuente: Máximo Villón Bejar, Costa Rica (2006)

En este caso se considera un sistema combinado de flujo horizontal y flujo radial.

Figura 10. Flujo horizontal y radial



Fuente: Máximo Villón Bejar, Costa Rica (2006)

4.6.2.4 Ecuaciones para el cálculo de espaciamiento de drenes

En el diseño de un sistema de drenaje subsuperficial, uno de los factores más importantes es el espaciamiento de los drenes. Basándose en los principios de flujo de agua subterránea, diversos investigadores han desarrollado métodos con ecuaciones de cálculo para este espaciamiento.

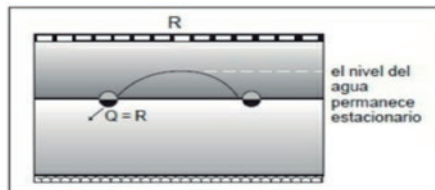
Según las hipótesis establecidas, las fórmulas de drenaje se pueden agrupar en las dos clases siguientes:

- Fórmulas de régimen permanente o estacionario
 - Fórmulas de régimen no permanente o no estacionario
- i. Régimen permanente

Las fórmulas de régimen permanente, suponen:

- La recarga de agua (R) a un área es constante.
- La salida de agua (Q) por el sistema de drenaje también es constante, e igual a la recarga; permaneciendo la tabla de agua en forma estacionaria, es decir que no asciende ni desciende de nivel.

Figura 11. Régimen permanente



Fuente: Máximo Villón Bejar, Costa Rica (2006)

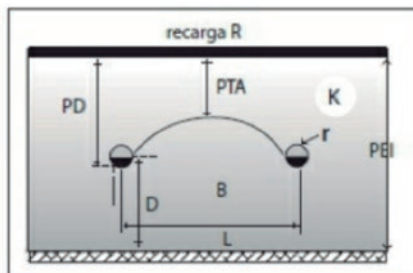
Este régimen ocurre generalmente en zonas húmedas, donde la precipitación es más o menos constante durante un largo período de tiempo y sus fluctuaciones no son amplias. En la práctica no se da esta situación, pero sin embargo, la aplicación de las correspondientes ecuaciones suelen dar resultados aceptables. En este trabajo se ha tomado como base las ecuaciones desarrolladas por Donnan y Hooghoudt.

a) Ecuación de Donnan

Donnan desarrolló la ecuación más sencilla para el régimen permanente. Los parámetros que se establecieron para su uso son:

- El flujo hacia los drenes es permanente
- La capa freática es constante
- El flujo es solamente horizontal
- El suelo es más o menos homogéneo en toda su profundidad hasta la capa impermeable
- Hay un sistema de drenes paralelos infinito en ambas direcciones
- La recarga es uniformemente distribuida

Figura 12. Ecuación de Donnan



Fuente: Máximo Villón Bejar, Costa Rica (2006)

La ecuación es la siguiente:

Figura 13. Ecuación de Hooghoudt

$$L = \sqrt{\frac{4K(B^2 - D^2)}{R}}$$

Donde:

- L: espaciamiento de los drenes (m)
- R: recarga por unidad de superficie (m/día)
- Q: descarga de los drenes por unidad de superficie (m/día)
- K: conductividad hidráulica del suelo (m/día)
- B: altura de la capa freática respecto a la capa impermeable, a media distancia entre dos drenes (m)
- D: altura del nivel del agua en los drenes respecto a la capa impermeable = espesor del acuífero por debajo del nivel de los drenes (m)

Fuente: Máximo Villón Bejar, Costa Rica (2006)

La ecuación de Donnan es utilizada en pocas situaciones en que se justifique, aunque debido a su sencillez, es útil para el entendimiento del cálculo del espaciamiento de drenes.

b) Ecuación de Hooghoudt

Los parámetros para la ecuación de Hooghoudt, son los siguientes:

$$L = \sqrt{\frac{8K_2hd}{R} + \frac{4K_1h^2}{R}}$$

Donde:

- L: espaciamiento de drenes (m)
- K_1 : conductividad hidráulica arriba del nivel de los drenes (m/día)
- K_2 : conductividad hidráulica abajo del nivel de los drenes (m/día) h = carga hidráulica en el punto medio entre drenes (m)
- d : espesor del estrato equivalente de Hooghoudt, que depende de L , D , y r (radio de los drenes) (m)
- R: cantidad de agua que hay que drenar, recarga o descarga normativa (m/día)

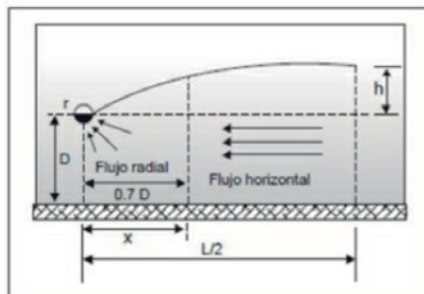
En la ecuación se puede establecer que el primer sumando, $8K_2hd/R$, representa al movimiento del agua por debajo de los drenes, y el segundo, $4K_1h^2/R$, al movimiento sobre ellos.

Al implementar la ecuación en un suelo homogéneo, en la ecuación, se tiene $K_1 = K_2 = K$.

El estrato equivalente (d), es el espesor del estrato equivalente, Hooghoudt introdujo en su ecuación el factor de la resistencia radial que ocurre en la zona cercana al dren.

Hooghoudt asume que los dos tipos de flujo, el horizontal y el radial, pueden ser considerados, asumiendo que el flujo en la región $r < x < x_1$ es radial y en la región $x_1 < x < 1/2 L$ es horizontal.

Figura 14. Flujo horizontal y radial



Fuente: Libro «Drenaje», Máximo Villón Bejar, Costa Rica (2006)

Hooghoudt demostró que:

$$x_1 = \frac{1}{2} \sqrt{2D} \approx 0.7D$$

Entonces en la zona ($r - 0.7D$), el flujo es considerado radial y la pérdida de altura de carga en esta región h , se debe calcular con una fórmula para flujo radial.

En la zona ($0.7D - 1/2 L$), el flujo es considerado horizontal y la pérdida de altura de carga en esta región, hh , se debe calcular con una fórmula para flujo horizontal.

La idea básica es considerar dos zonas de flujo específicamente delimitadas y resolverlas separadamente, para después sumar las pérdidas de carga parciales.

Así se podría obtener la diferencia de potencial h , de la fórmula de Hooghoudt.

$$h = h_n + h_r$$

Hooghoudt, sin embargo, usó un artificio para simplificar estos cálculos considerablemente. En la fórmula para el flujo horizontal, reemplazó el espesor del segundo estrato, D , por un factor d , llamado estrato equivalente, que es función de D , L , r . Para el cálculo del estrato equivalente d de Hooghoudt, se pueden usar siguiente ecuación aproximada:

$$d = \frac{D}{\frac{8}{\pi} \frac{D}{L} \ln\left(\frac{D}{p}\right) + 1}$$

Donde:

- d : espesor del estrato equivalente depende de L , D , y r
- D : espesor del segundo estrato ó altura drenes, respecto al estrato impermeable (m)
- L : espaciamiento de drenes (m)
- P : perímetro mojado del dren (m)

Para tuberías enterradas: $p = \pi r$

Para zanjas abiertas: $p = b + 2\sqrt{1 + Z^2}y$

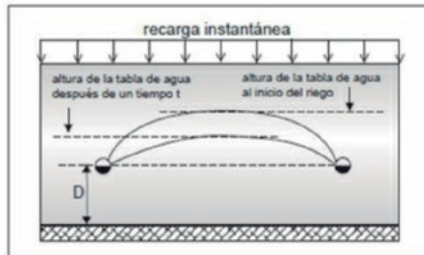
ii. RÉGIMEN NO PERMANENTE

Las fórmulas de régimen no permanente, suponen:

- La recarga de agua (R) a un área no es constante.
- La descarga de agua (Q) por el sistema de drenaje no es constante, e incluso siendo la descarga menor que la recarga, lo que ocasiona la elevación del nivel freático mientras dure la recarga, para luego ir descendiendo, y posteriormente volver a elevarse al comenzar el próximo riego o lluvia.

Ocurre en zonas con riego periódico, entre los principales investigadores que han desarrollado ecuaciones para el régimen no permanente, para la elaboración de este trabajo se ha tomado el método de Glover - Dumm, debido a su simplicidad.

Figura 15. Régimen permanente



Fuente: Máximo Villón Bejar, Costa Rica (2006)

En las fórmulas de régimen permanente, se supone que la recarga de agua (R) a una área es constante, e igual a la salida de agua (Q) por el sistema de drenaje, permaneciendo la tabla de agua en forma estacionaria, es decir que no asciende ni desciende de nivel.

En zonas regables y en aquellas en que las precipitaciones son de gran intensidad, no se justifica la suposición de una recarga constante.

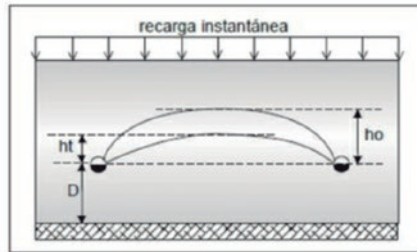
Para resolver el problema del flujo en estas condiciones, se deben utilizar soluciones para el régimen no permanente.

a) Fórmula de Glover – Dumm

Glover en forma conjunta con Dumm, plantean una ecuación para el régimen no permanente, con las siguientes consideraciones:

- El suelo es homogéneo.
- El flujo es horizontal y radial, haciendo uso del estrato equivalente de Hooghoudt.
- La fórmula se basa en la solución de la llamada ecuación del flujo de calor.
- Se considera que una recarga instantánea genera una superficie freática, de forma de una parábola de cuarto grado.
- La solución de la ecuación describe el descenso, de la capa freática, en función del tiempo, del espaciamiento entre drenes y de las propiedades del suelo.

Figura 16. Ecuación Glover - Dumm



Fuente: Máximo Villón Bejar, Costa Rica (2006)

La forma simplificada de la fórmula de Glover-Dumm, se expresa de la siguiente manera:

$$L = \sqrt{\frac{\pi^2 K \left(d + \frac{h_0 + h_t}{4} \right) t}{\phi \ln \left(1.16 \frac{h_0}{h_t} \right)}}$$

Donde:

- L: espaciamiento de drenes (m)
- K: conductividad hidráulica (m/día)
- D_h : espesor del estrato donde ocurre el flujo horizontal (m)

$$D_h = d + \frac{h_0 + h_t}{4}$$

- d: estrato equivalente de Hooghoudt

$$d = \frac{D}{\frac{8}{\pi} \frac{D}{L} \ln \left(\frac{D}{p} \right) + 1}$$

- D: profundidad desde el nivel de agua en los drenes hasta el estrato impermeable
- h_0 : altura inicial sobre el nivel de los drenes, producida por la recarga instantánea (m)
- h_t : altura sobre el nivel de los drenes, al cabo de un tiempo t (m)
- t: tiempo necesario, para que el agua baje de una posición h_0 , a la posición h_t , es función del cultivo (días)

- ϕ : espacio poroso drenable, porosidad drenable, porosidad efectiva, coeficiente de almacenamiento, producción específica (sin unidades, es decir en m/m_0)

$$\phi = \frac{R}{h}$$

Si no se conoce ϕ , se puede estimar como:

$$\phi = \sqrt{\frac{K}{100}}$$

Donde K, se expresa en m/día.

La descarga de drenes varía en función del tiempo, esto debido a que en un régimen no permanente, la carga h varía en función del tiempo.

La descarga en los drenes, se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$q_t = \frac{2\pi K D_h h_t}{L^2}$$

Ó

$$q_t = \frac{2\pi K \left(d + \frac{h_0 + h_t}{4} \right) h_t}{L^2}$$

Donde:

- q_t : descarga en los drenes en el tiempo t, m/día
- K: conductividad hidráulica, m/día
- D_h : espesor del estrato donde ocurre el flujo horizontal (m)

$$D_h = d + \frac{h_0 + h_t}{4}$$

- d: estrato equivalente de Hooghoudt
- h_0 : altura inicial sobre el nivel de los drenes, producida por la recarga instantánea (m)
- h_t : altura sobre el nivel de los drenes, al cabo de un tiempo t (m)
- L: espaciamiento de drenes, m

La ecuación de q_t , permite calcular el valor de la descarga para un determinado h.

i. Cálculo hidráulico de los drenes con tuberías

El primer paso para el diseño hidráulico de un lateral, es calcular el caudal que ha de descargar, mediante la siguiente ecuación:

$$Q_d = q \times A$$

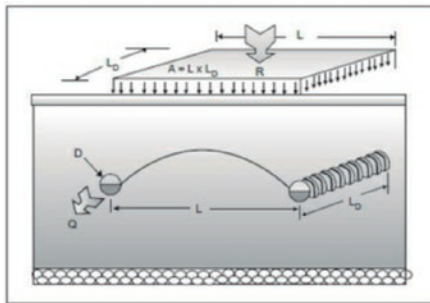
Donde:

- Q_d : caudal máximo de diseño, en $m^3/día$
- q : descarga específica máxima, en $m/día$
- A : $L \times L_d$ área drenada por cada lateral, en m^2
- L : espaciamiento entre drenes, en m
- L_d : longitud máxima del dren, en m

Si las condiciones del flujo de agua al dren, son de régimen permanente, la descarga específica máxima q , coincide con el valor de la descarga seleccionada de acuerdo a la norma de drenaje R , es decir:

$$q = R$$

Figura 17. Ecuación Glover - Dumm



Fuente: Máximo Villón Bejar, Costa Rica (2006)

Si el flujo es en un régimen no permanente (variable), la descarga específica máxima, debe corresponder con la posición más alta de la tabla de agua, es decir con la carga hidráulica máxima (h_0).

La longitud máxima de los drenes laterales, depende de:

- la pendiente del dren y su relación con la del terreno.
- la profundidad máxima de salida al colector.

- la dimensión del terreno.

En zonas llanas la longitud máxima no suele exceder 250 m, aunque pueden alcanzar hasta 1000 m, si no hay limitaciones de los factores anteriormente mencionados

La pendiente de diseño debe ser la máxima disponible, ya que para descargar el caudal máximo, a mayor pendiente menor es el diámetro requerido y por lo tanto menor el costo del sistema.

Si existe cierta pendiente y ésta es uniforme, el dren puede ir paralelo al terreno, con lo que la profundidad de drenaje es constante a lo largo del lateral. En zonas totalmente llanas la pendiente máxima depende de la profundidad de salida del lateral al colector y de la profundidad mínima del dren en su cabecera. Los valores más usuales varían del 1 al 3%.

La FAO sugiere como pendiente mínima el 0.5%, mientras que el Bureau of Reclamation US, limita la pendiente mínima al 1%.

Las ecuaciones de flujo uniforme se aplican para el transporte de una cantidad de agua que es constante a lo largo de toda la longitud del tramo de tubería.

Suponiendo que las tuberías están llenas, utilizando la ecuación de Darcy – Weisbach, reemplazando los coeficientes de rugosidad y simplificando, se encuentran las siguientes ecuaciones para el flujo uniforme:

Tuberías lisas:
$$Q = 50.5763 d^{2.714} S^{0.572}$$

Tuberías de plástico corrugado:
$$Q = 21.84 d^{2.67} S^{0.50}$$

Donde:

Q: caudal, m³/s
D: diámetro de tubería, m
S: pendiente, m/m

El cálculo de caudal de descarga en tuberías de drenaje con flujo no uniforme, se fundamenta en la variación del agua captada a lo largo de toda su longitud de forma que la intensidad del flujo Q aumenta gradualmente desde Q=0, en el extremo aguas arriba hasta Q=qxLxD en la salida.

Donde:

q: descarga específica
L: espaciamiento entre drenes
L_D: longitud del dren

A este tipo de flujo se le denomina flujo no uniforme.

Suponiendo que las tuberías están llenas, utilizando la ecuación de Darcy-Weisbach, reemplazando los coeficientes de rugosidad y simplificado se encuentran las ecuaciones para el flujo no uniforme.

Tuberías lisas: Seregen y Zuidema (1996), utilizando la ecuación de Manning obtuvieron las siguientes ecuaciones, para ser utilizadas para tuberías lisas (tuberías de barro, hormigón y de plástico), para tubos llenos:

$$d = 0.1913 Q^{0.3685} S^{-0.2108}$$

$$Q = 89 d^{2.714} S^{0.572}$$

Tubería de plástico corrugado: Wesseling y Homma (1967), utilizando la ecuación de Manning obtuvieron las siguientes ecuaciones, para ser utilizadas para tuberías corrugadas:

$$d = 0.2557 Q^{0.375} S^{-0.1875}$$

$$Q = 38 d^{2.667} S^{0.50}$$

Donde:

- Q: caudal, m³/s
- D: diámetro de tubería, m
- S: pendiente, m/m

Las ecuaciones están deducidas para trabajar con tuberías llenas. Para trabajar con tuberías no llenas, es decir, tuberías donde el tirante es menor que el diámetro, se consideran áreas corregidas y por ende caudales ficticios, dependiendo de la reducción de área considerada.

Existe una relación entre las fórmulas para el régimen uniforme y no uniforme, que se representa mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{uniforme} = 0.57 Q_{no\ uniforme}$$

4.7 DINÁMICAS PRODUCTIVAS

Las dinámicas productivas, son el conjunto de acciones que tienen como fin crear medios adecuados para la obtención de recursos a través del fortalecimiento de los sistemas productivos agropecuarios, llevando de por medio el desarrollo de la competencia de riego y drenaje.

Para realizar un análisis de dinámicas productivas se plantea la necesidad de abordar la multidimensionalidad (aspectos sociales, económicos, políticos, ambientales, culturales) y exige considerar la multiescalaridad de los procesos nacional y regional.

Además, pretenden inducir a los beneficiarios de un sistema de drenaje a poseer una cultura emprendedora, por medio de la adquisición de conocimientos, habilidades y destrezas que le permitan conformar diferentes estrategias.

Cuadro 24. Estrategia de estudio de dinámicas productivas

CONSIDERACIONES DE ESTUDIO	ESTRATEGIA DE ESTUDIO
Identificación de los distintos elementos de la zona de influencia del proyecto	<ol style="list-style-type: none"> 1. Definir y caracterizar el área del proyecto (elementos agroecológicos, técnicos, socioeconómicos, ambientales) 2. Caracterizar la estructura productiva agrícola del sector (estructura organizativa, vinculación con otras organizaciones) 3. Determinar la lógica de las familias campesinas al entender cómo se articulan los diferentes componentes de los sistemas de producción familiares
Sistema de producción:	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar los sistemas de cultivo, crianza, actividades no agrícolas • Definir el funcionamiento de los sistemas de producción, a través de información primaria mediante la realización de entrevistas, encuestas a los beneficiarios del sistema • Definir la red vial existente alrededor del sistema productivo
Conformación de PYMES (de ser necesario para la sostenibilidad del proyecto)	<ul style="list-style-type: none"> • Definir los sistemas y mecanismos de comercialización utilizados, especialmente entre productores pequeños y medianos • Detallar el sistema de precios de comercialización de productos del sistema productivo • Explicar si existiesen los mecanismos de acuerdos comerciales con empresas públicas y/o privadas, alianzas comerciales con zonas aledañas a la zona del proyecto

CONSIDERACIONES DE ESTUDIO	ESTRATEGIA DE ESTUDIO
Diversificación o intensificación de la producción agropecuaria	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer las características de infraestructura (centros de acopio, etc) para el manejo pos cosecha para conocer el impacto de la intensificación de la producción del proyecto • Fijar la diversificación de la producción agropecuaria del fomento de negocios inclusivos de las PYMES. • Detallar la articulación existente entre los mercados regionales y nacionales, con vinculación de los productos del sistema • Caracterizar los sistemas de comercialización externa e interna de los productos que se cultivan en la zona • Impulsar y promover el consumo de especies endémicas, desde Sucumbíos, hacia el interior del país

4.8 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

El análisis de precios unitarios es el costo de una actividad por una unidad de medida escogida; usualmente se compone de una valoración de materiales, mano de obra, equipos y herramientas.

Un precio unitario tiene dos componentes principales, el costo directo y el costo indirecto.

i. Costo Directo

Es una unidad básica de costos, ya que significa el costo de producción. Es también el costo calculado que es influenciado solo por la actividad en sí. Es el costo de producción de la actividad, sin beneficio, sin costos asociados por gestión, impuestos, etc.

ii. Costo Indirecto

Representa un porcentaje establecido para los gastos de Administración y Gastos Generales, se lo expresa en forma de %, y afecta al Costo Directo.

El análisis de un precio unitario se lo realiza de acuerdo a la tabla adjunta:

Cuadro 25. Conformación del análisis de precios unitario

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
MATERIALES	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD (A)	COSTO UNITARIO (B)	COSTO TOTAL (A x B)
	Material 1	U1	m1	s1	Costo material 1= m1 x s1
	Material 2	U2	m2	s2	Costo material 2= m2 x s2
	Material n	Un	mn	sn	Costo material n= mn x sn
					COSTO MATERIALES (M)
MANO DE OBRA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	COSTO HORA (B)	RENDIMIENTO O HORAS/HOMBRE (C)	COSTO TOTAL (A x B x C)
	Trabajador 1	t1	h1	r1	Costo trabajador 1= t1 x h1 x r1
	Trabajador 2	t2	h2	r2	Costo trabajador 2= t2 x h2 x r2
	Trabajador n	tn	hn	rn	Costo trabajador n= tn x hn x rn
EQUIPO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (A)	COSTO HORA (B)	RENDIMIENTO O HORAS/EQUIPO (C)	COSTO TOTAL (A x B x C)
	Equipo 1	e1	h1	r1	Costo equipo 1= e1 x h1 x r1
	Equipo 2	e2	h2	r2	Costo equipo 2= e2 x h2 x r2
	Equipo n	en	hn	rn	Costo equipo n= en x hn x rn
COSTOS DIRECTOS TOTAL					CD = M + MO + E
COSTOS INDIRECTOS					CI = % CD
COSTO TOTAL RUBRO					CD + CI

Cada uno de los elementos que conforman un Análisis de Precio Unitario se los define de la siguiente manera:

i. Materiales

- Descripción: Nombre y especificaciones de los materiales de acuerdo a su versión comercial.
- Unidad: Unidad bajo la cual se adquiere comercialmente el material (metros, unidades, kilogramos, etc.)
- Cantidad: Cantidad de material en unidades comerciales necesaria para ejecutar un rubro.

- Costo unitario: Costo por unidad comercial de material actualizado para la fecha de elaboración del Análisis de Precios Unitarios, esta información se lo puede encontrar en la información desarrollada por cada una de las Cámaras de la Construcción.
- Costo Total: Costo total en dólares del material requerido por unidad del Análisis de Precio Unitario.
- Costo Materiales: Sumatoria del costo total de los materiales requeridos para la ejecución del rubro.

ii. Mano de Obra

- Descripción: Descripción de los oficios de los trabajadores que se requieren para la ejecución del rubro (Peón, albañil, operador, etc.)
- Cantidad: cantidad de trabajadores por oficio que se necesitan para cumplir con la ejecución de una unidad de análisis y rendimiento indicado.
- Costo Hora: Remuneración por hora que recibe cada trabajador según el oficio que desempeña, esta información se lo puede encontrar en la información desarrollada por cada una de las Cámaras de la Construcción.
- Rendimiento: Es la medida de eficiencia que indica la cantidad de unidades del rubro que puede ejecutar un trabajador en una unidad de tiempo.
- Costo Total: Es el producto de la cantidad de trabajadores, el costo por unidad de tiempo y su rendimiento.
- Costo Mano de Obra: Sumatoria del costo total de los trabajadores requeridos para la ejecución de un rubro.

iii. Equipo

- Descripción: Nombre del equipo, maquinaria o herramienta que se requiere para ejecutar el trabajo.
- Cantidad: Número de equipos que se requieren para realizar los trabajos y lograr el rendimiento indicado en el Análisis de Precios Unitarios.

- Costo Hora: Es el costo de reposición del equipo por unidad de tiempo
- Rendimiento: Es la medida de eficiencia que indica el tiempo de trabajo de un equipo, maquinaria o herramienta requerido para eje-
Costo Total: Es el producto de la cantidad de equipos, maquinaria o herramientas, el costo por unidad de tiempo y su rendimiento.
- Costo Equipo: Sumatoria del costo total de los equipos, maquinarias o herramientas requeridos para la ejecución de un rubro

4.9 PRESUPUESTO DE OBRA

El presupuesto de obra consiste en la elaboración de una tabla de cantidades a las que se dan valores unitarios; dando un costo total del proyecto a construir. La valoración económica de la obra debe ser lo más cercana a la realidad, sin embargo el costo final puede no ser la estimación planteada inicialmente.

A través del presupuesto de obra conocemos la cantidad de los servicios, materiales y equipos necesarios a implementar; permitiéndonos controlar, distribuir y cuidar de manera más responsable el presupuesto. Cuando no se realiza un presupuesto de obra no se sabe cuánto dinero se debe invertir para construir un proyecto, llevando a cabo gastos innecesarios que nos impiden concluir con la obra.

Los principales beneficios que ofrece elaborar un presupuesto de obra son:

- i. Evitar gastos innecesarios, como comprar cantidades excesivas de materiales a precios elevados y desperdiciar recursos.
- ii. Conocer el valor más aproximado para construir un proyecto antes de empezar con la obra.
- iii. Planificar y controlar en relación a los gastos que se vayan realizando.
- iv. Ahorrar; al comprar o contratar en grandes cantidades, los materiales y servicios son más económicos.
- v. Evitar que la obra se paralice hasta quedar inconclusa.

Al elaborar un presupuesto de obra se deberán tener en cuenta los siguientes componentes:

- i. Listado de rubros

Antes de realizar el presupuesto se deben estudiar los planos y especificaciones para considerar los rubros y actividades que se necesitarán en la ejecución del proyecto.

ii. Tabla de cantidades

Al estudiarse los planos definitivos con sus especificaciones, se obtienen las cantidades de obra. Midiendo sobre los planos las proporciones correspondientes a cada actividad se determinan las medidas de materiales con sus respectivas unidades, metros cuadrados, metros cúbicos y metros lineales, necesarios para la ejecución de las actividades.

iii. Precios unitarios

Sirve para fijar el rendimiento de cada actividad en la obra, es decir, determina la cantidad de trabajos que se realizarán en un tiempo determinado. En éste proceso se hará un desglose del costo por unidad de medición de rubro en sus diferentes componentes básicos, como: materiales, mano de obra, equipos y costos indirectos; identificándose costos, cantidades y rendimientos de los materiales a usar.

El precio unitario final es la suma de gastos de material, mano de obra, equipos y herramientas, así como, subproductos para la realización de un proceso constructivo; esto puede contener como integrante uno o varios costos preliminares.

iv. Costo final.

Una vez que se tengan definidos los precios unitarios, se multiplicará cada cantidad por el precio unitario del rubro, obteniéndose el precio total del rubro. Finalmente se deben sumar todos los precios totales de cada rubro, dando como resultado el presupuesto final de la obra.

4.10 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Las especificaciones técnicas deben constar de tres partes:

- i. Identificación, contiene datos específicos del rubro como: código del rubro, nombre con el cual se identifica al rubro y puede contener datos adicionales que complementan la descripción del rubro.
- ii. Ejecución, en donde se manifiesta el conocimiento y experiencia del especificador en la tarea de la construcción, conocimiento de materiales, códigos y normas de obligado cumplimiento, alternativas y recomendaciones

- iii. Unidad de medida y forma de pago, el especificador fija la unidad de medida que servirá para el cálculo del precio unitario, así como la forma de mensura para el pago correspondiente.

4.11 PLAN DE MANTENIMIENTO

Las principales labores de mantenimiento en los sistemas de drenaje son:

- Extracción de sedimentos y/o colmatado
- Desbroce o eliminación de vegetación.
- Reparación de taludes.
- Desarenamiento de salidas al mar.

Las actividades de limpieza de sedimentos se deben efectuar cuando el material acumulado en la sección haya alcanzado una altura mayor a 0,30 m. Ello se determinara por diferencias de altura. Esta acción debe realizarse por lo menos dos veces al año.

La frecuencia de la eliminación de la vegetación depende del ciclo vegetativo de la planta y de las condiciones climáticas de la zona. Esta acción se realiza manualmente o con utilización de maquinaria pesada (retroexcavadoras, palas mecánicas). La vegetación del fondo de los drenes aumenta el tirante de agua y pone en peligro las estructuras -como alcantarillas y salidas de drenes subterráneos, por lo que debe realizarse dos veces al año, procurando extraerla de raíz. La vegetación de los taludes debe controlarse en forma sistemática con cortes periódicos; ello permitirá, en suelos arenosos, controlar la erosión y disminuir la resistencia al flujo de agua. En las salidas al mar deben realizarse acciones de desarenamiento cuando los drenes estén por debajo del nivel máximo de fluctuación del mar. Cuando se tenga estaciones de bombeo para drenaje, el mantenimiento consistirá en:

- Supervisión diaria.
- Lubricación periódica e inspección mecánica.
- Ajuste mecánico
- El personal de operación y mantenimiento debe ser especializado y con experiencia práctica.

5 ANEXO 1

ECUACIONES DE INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN

Cuadro 1. Zonificación de Intensidades de Precipitación

ZONAS ORIENTE	CÓDIGO	NOMBRE ESTACIÓN	DURACIÓN $t_1(\text{min}) < t_2(\text{min})$		ECUACIÓN
3	M0004	RUMIPAMBA-SALCEDO	5	48.11	$t_{TR}=216.58 * I_{d_{TR}} * t^{-0.578}$; ($R^2=0.9883$)
			48.11	1440	$t_{TR}=820.94 * I_{d_{TR}} * t^{-0.922}$; ($R^2=0.9998$)
6	M0007	NUEVO ROCAFUERTE	5	58.69	$t_{TR}=59.169 * I_{d_{TR}} * t^{-0.309}$; ($R^2=0.9493$)
			58.69	1440	$t_{TR}=399.9 * I_{d_{TR}} * t^{-0.818}$; ($R^2=0.9975$)
7	M0008	PUYO	5	38.6	$t_{TR}=49.982 * I_{d_{TR}} * t^{-0.339}$; ($R^2=0.991$)
			38.6	1440	$t_{TR}=192.36 * I_{d_{TR}} * t^{-0.708}$; ($R^2=0.9868$)
13	M0029	BAÑOS	5	1440	$t_{TR}=35.001 * I_{d_{TR}} * t^{-0.487}$; ($R^2=0.9994$)
15	M0031	CAÑAR	5	33.7	$t_{TR}=182.39 * I_{d_{TR}} * t^{-0.623}$; ($R^2=0.9948$)
			33.7	1440	$t_{TR}=330.41 * I_{d_{TR}} * t^{-0.792}$; ($R^2=0.9976$)
16	M0032	SANTA ISABEL INAMHI	5	48.77	$t_{TR}=165.84 * I_{d_{TR}} * t^{-0.561}$; ($R^2=0.997$)
			48.77	1440	$t_{TR}=540.63 * I_{d_{TR}} * t^{-0.865}$; ($R^2=0.9999$)

ANEXO 1

ZONAS ORIENTE	CÓDIGO	NOMBRE ESTACIÓN	DURACIÓN $t_1(\text{min}) < t_2(\text{min})$		ECUACIÓN
17	M0033	LA ARGELIA - LOJA	5	44.17	$h_{TR}=86.811 * Id_{TR} * t^{-0.447}$; ($R^2=0.9993$)
			44.17	1440	$h_{TR}=328.11 * Id_{TR} * t^{-0.798}$; ($R^2=0.9998$)
20	M0038	MANUEL J.CALLE(V.FORESTAL)	5	121.07	$h_{TR}=63.722 * Id_{TR} * t^{-0.459}$; ($R^2=0.9927$)
			121.07	1440	$h_{TR}=261.04 * Id_{TR} * t^{-0.753}$; ($R^2=0.9874$)
21	M0039	BUCAY	5	39.67	$h_{TR}=34.043 * Id_{TR} * t^{-0.286}$; ($R^2=0.9993$)
			39.67	1440	$h_{TR}=128.55 * Id_{TR} * t^{-0.647}$; ($R^2=0.9786$)
22	M0040	PASAJE	5	71.23	$h_{TR}=52.1335 * Id_{TR} * t^{-0.358}$; ($R^2=0.9531$)
			71.23	1440	$h_{TR}=316.81 * Id_{TR} * t^{-0.781}$; ($R^2=0.9921$)
29	M0062	MACAS AEROPUERTO	5	36.81	$h_{TR}=56.494 * Id_{TR} * t^{-0.288}$; ($R^2=0.9726$)
			36.81	1440	$h_{TR}=360.5 * Id_{TR} * t^{-0.802}$; ($R^2=0.9962$)
30	M0063	PASTAZA AEROPUERTO	5	59.4	$h_{TR}=41.724 * Id_{TR} * t^{-0.281}$; ($R^2=0.9605$)
			59.4	1440	$h_{TR}=356.01 * Id_{TR} * t^{-0.806}$; ($R^2=0.9973$)
31	M0064	LATACUNGA AEROPUERTO	5	45.7	$h_{TR}=135.67 * Id_{TR} * t^{-0.471}$; ($R^2=0.9967$)
			45.7	1440	$h_{TR}=718.11 * Id_{TR} * t^{-0.907}$; ($R^2=0.9997$)
32	M0065	MACARA AEROPUERTO	5	90.29	$h_{TR}=67.02 * Id_{TR} * t^{-0.431}$; ($R^2=0.9972$)
			90.29	1440	$h_{TR}=374.34 * Id_{TR} * t^{-0.813}$; ($R^2=0.9992$)
33	M0066	AMBATO AEROPUERTO	5	15.9	$h_{TR}=109.56 * Id_{TR} * t^{-0.345}$; ($R^2=0.9951$)
			15.9	1440	$h_{TR}=404.65 * Id_{TR} * t^{-0.817}$; ($R^2=0.9979$)

ZONAS ORIENTE	CÓDIGO	NOMBRE ESTACIÓN	DURACIÓN		ECUACIÓN
			$t_1(\text{min}) <$	$t_2(\text{min})$	
34	M0067	CUENCA AEROPUERTO	5	50.9	$t_{TR}=123.39 \cdot Id_{TR} \cdot t^{-0.452}$; ($R^2=0.9882$)
			50.9	1440	$t_{TR}=695.37 \cdot Id_{TR} \cdot t^{-0.892}$; ($R^2=0.9969$)
35	M0068	TIPUTINI AEROPUERTO	5	42.5	$t_{TR}=62.884 \cdot Id_{TR} \cdot t^{-0.308}$; ($R^2=0.9918$)
			42.5	1440	$t_{TR}=445.2 \cdot Id_{TR} \cdot t^{-0.83}$; ($R^2=0.9958$)
36	M0070	TENA - HCDA. CHAUPISHUNGO	5	25.11	$t_{TR}=31.951 \cdot Id_{TR} \cdot t^{-0.144}$; ($R^2=0.9621$)
			25.11	1440	$t_{TR}=209.9 \cdot Id_{TR} \cdot t^{-0.728}$; ($R^2=0.9968$)
39	M0079	SUCUA AEROPUERTO	5	77.5	$t_{TR}=135.1 \cdot Id_{TR} \cdot t^{-0.54}$; ($R^2=0.9987$)
			77.5	1440	$t_{TR}=550.62 \cdot Id_{TR} \cdot t^{-0.863}$; ($R^2=0.9955$)
43	M0120	COTOPAXI - CLIRSEN - IEE	5	1440	$t_{TR}=160.61 \cdot Id_{TR} \cdot t^{-0.703}$; ($R^2=0.9915$)
45	M0138	PAUTE	5	44.9	$t_{TR}=90.127 \cdot Id_{TR} \cdot t^{-0.398}$; ($R^2=0.9738$)
			44.9	1440	$t_{TR}=510.8 \cdot Id_{TR} \cdot t^{-0.854}$; ($R^2=0.9987$)
46	M0139	GUALACEO	5	51.88	$t_{TR}=125.44 \cdot Id_{TR} \cdot t^{-0.434}$; ($R^2=0.9935$)
			51.88	1440	$t_{TR}=892.87 \cdot Id_{TR} \cdot t^{-0.931}$; ($R^2=0.9992$)
47	M0141	EL LABRADO	5	41.97	$t_{TR}=130.19 \cdot Id_{TR} \cdot t^{-0.539}$; ($R^2=0.9835$)
			41.97	1440	$t_{TR}=351.79 \cdot Id_{TR} \cdot t^{-0.805}$; ($R^2=0.9998$)
48	M0142	SARAGURO	5	1440	$t_{TR}=135.59 \cdot Id_{TR} \cdot t^{-0.668}$; ($R^2=0.9958$)
49	M0146	CARIAMANGA	5	48.69	$t_{TR}=80.85 \cdot Id_{TR} \cdot t^{-0.399}$; ($R^2=0.9626$)
			48.69	1440	$t_{TR}=433.18 \cdot Id_{TR} \cdot t^{-0.831}$; ($R^2=0.9983$)

ANEXO 1

ZONAS ORIENTE	CÓDIGO	NOMBRE ESTACIÓN	DURACIÓN $t_1(\text{min}) < t_2(\text{min})$		ECUACIÓN
54	M0180	ZARUMA	5	72.71	$t_{TR}=71.544 * I d_{TR} * t^{-0.406}$; ($R^2=0.9685$)
			72.71	1440	$t_{TR}=448.05 * I d_{TR} * t^{-0.834}$; ($R^2=0.9945$)
55	M0185	MACHALA - UTM - PAGUA	5	39.17	$t_{TR}=41.377 * I d_{TR} * t^{-0.293}$; ($R^2=0.9831$)
			39.17	1440	$t_{TR}=190.3 * I d_{TR} * t^{-0.709}$; ($R^2=0.9867$)
56	M01880	PAPLLACTA	5	1440	$t_{TR}=76.491 * I d_{TR} * t^{-0.607}$; ($R^2=0.9823$)
57	M0201	EL CHACO INECEL	5	28.49	$t_{TR}=40.312 * I d_{TR} * t^{-0.181}$; ($R^2=0.9389$)
			28.49	1440	$t_{TR}=287.98 * I d_{TR} * t^{-0.768}$; ($R^2=0.9946$)
58	M0203	REVENTADOR	5	91.04	$t_{TR}=43.951 * I d_{TR} * t^{-0.387}$; ($R^2=0.995$)
			91.04	1440	$t_{TR}=199.21 * I d_{TR} * t^{-0.722}$; ($R^2=0.9903$)
59	M0205	SAN RAFAEL - NAPO	5	222.7	$t_{TR}=32.139 * I d_{TR} * t^{-0.33}$; ($R^2=0.9842$)
			222.7	1440	$t_{TR}=711.75 * I d_{TR} * t^{-0.903}$; ($R^2=1$)
60	M0208	RIO SALADO - INECEL	5	41.62	$t_{TR}=42.51 * I d_{TR} * t^{-0.329}$; ($R^2=0.9856$)
			41.62	1440	$t_{TR}=170.16 * I d_{TR} * t^{-0.701}$; ($R^2=0.9965$)
62	M0258	QUEROCHACA (UTA)	5	286.1	$t_{TR}=101.9 * I d_{TR} * t^{-0.571}$; ($R^2=0.9936$)
			286.1	1440	$t_{TR}=525.47 * I d_{TR} * t^{-0.861}$; ($R^2=1$)
64	M0293	PALMORIENTE - HUASHITO (PALMAR DEL RIO)	5	30	$t_{TR}=55.716 * I d_{TR} * t^{-0.26}$; ($R^2=0.9851$)
			60	1440	$t_{TR}=645.8 * I d_{TR} * t^{-0.886}$; ($R^2=0.9993$)
67	M0426	REICAURTE - CUENCA	5	38.11	$t_{TR}=135.57 * I d_{TR} * t^{-0.457}$; ($R^2=0.9878$)
			38.11	1440	$t_{TR}=618.67 * I d_{TR} * t^{-0.874}$; ($R^2=0.9948$)

ZONAS ORIENTE	CÓDIGO	NOMBRE ESTACIÓN	DURACIÓN $t_1(\text{min}) < t_2(\text{min})$		ECUACIÓN
68	M0502	EL PANGUI	5	47.27	$h_{TR}=62.854 * Id_{TR} * t^{-0.344}$; ($R^2=0.9944$)
			47.27	1440	$h_{TR}=386.42 * Id_{TR} * t^{-0.815}$; ($R^2=0.9987$)
69	M0710	CHOTA PUNTA	5	30	$h_{TR}=35.979 * Id_{TR} * t^{-0.17}$; ($R^2=0.8728$)
			60	1440	$h_{TR}=443.33 * Id_{TR} * t^{-0.828}$; ($R^2=0.9931$)
70	M0057	RIOBAMBA AEROPUERTO	5	39.38	$h_{TR}=168.81 * Id_{TR} * t^{-0.542}$; ($R^2=0.9911$)
			39.38	1440	$h_{TR}=541.86 * Id_{TR} * t^{-0.859}$; ($R^2=0.9977$)
71	M1036	RIOBAMBA POLITECNICA	5	34.81	$h_{TR}=147.31 * Id_{TR} * t^{-0.474}$; ($R^2=0.995$)
			34.81	1440	$h_{TR}=633.7 * Id_{TR} * t^{-0.885}$; ($R^2=0.9996$)

Donde:

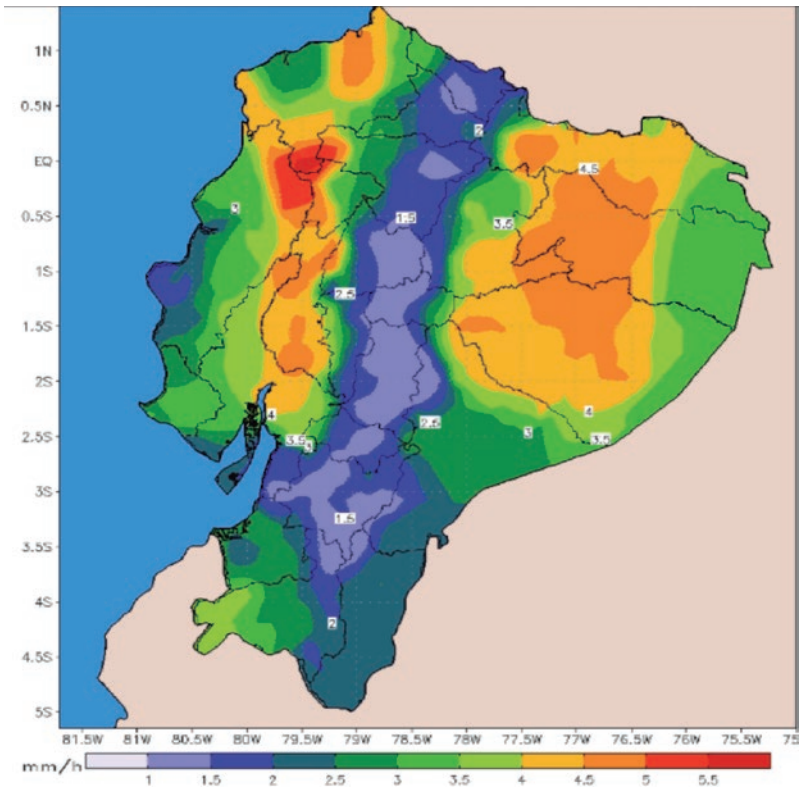
t: Tiempo de duración de lluvia

Id_{TR} : Precipitación máxima en 24 horas definida para un período de retorno, este valor se obtiene de los mapas elaborados por el INAMHI.

6 ANEXO 2

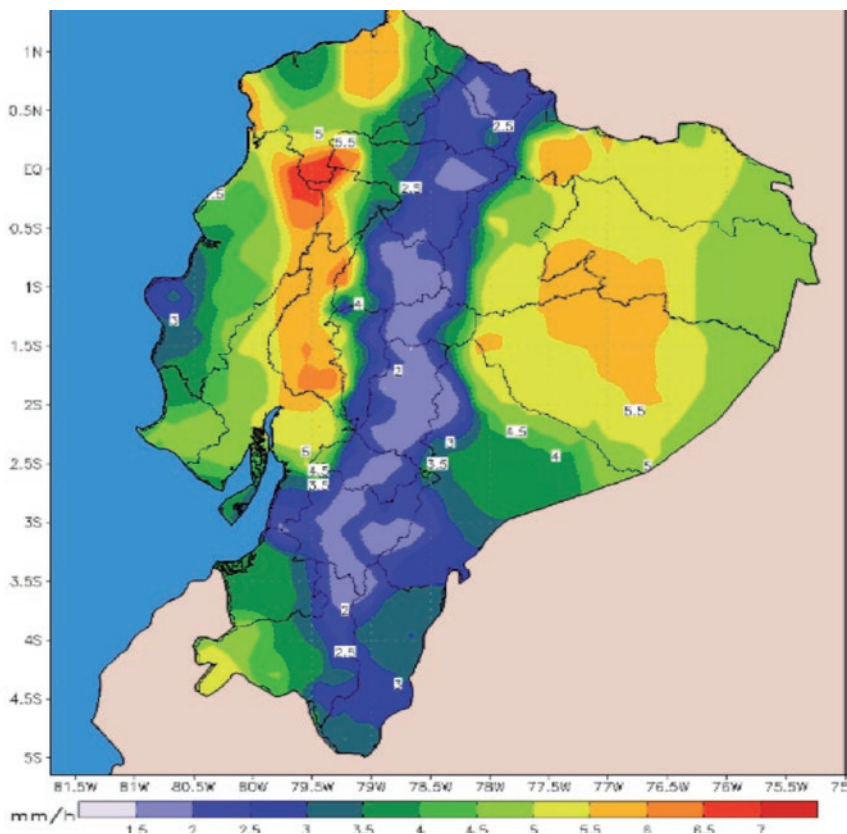
INTENSIDADES MÁXIMAS EN 24 HORAS

Figura 1. Mapa de Intensidades Máximas en 24 horas
(Período de retorno 2 años)



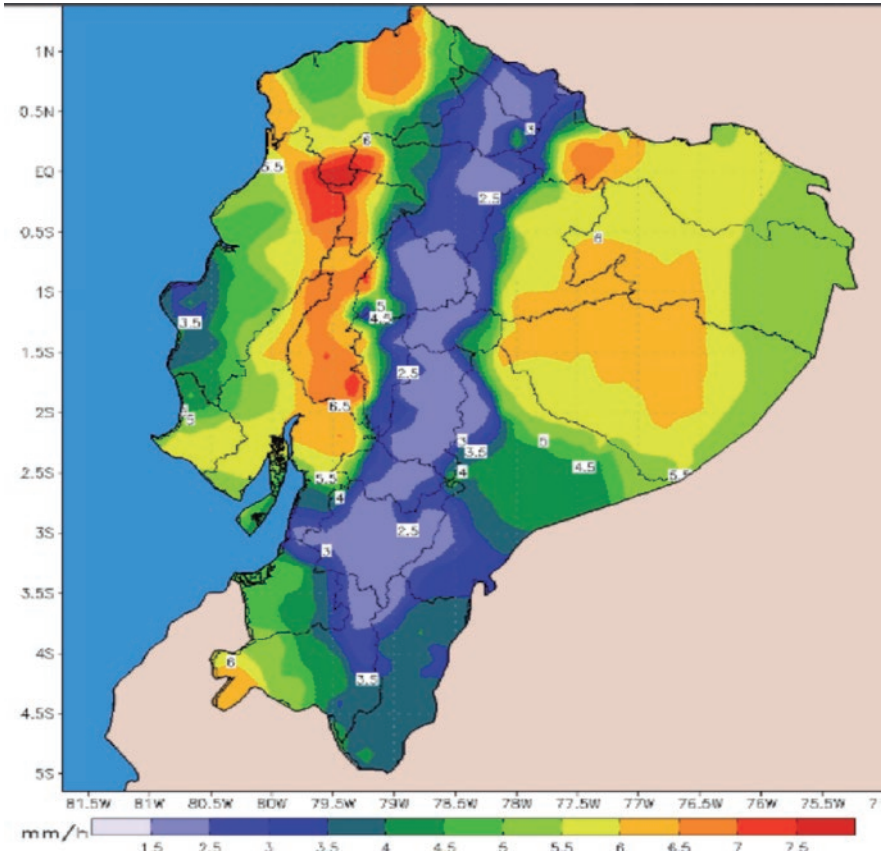
Fuente: INAMHI

**Figura 2. Mapa de Intensidades Máximas en 24 horas
(Período de retorno 5 años)**



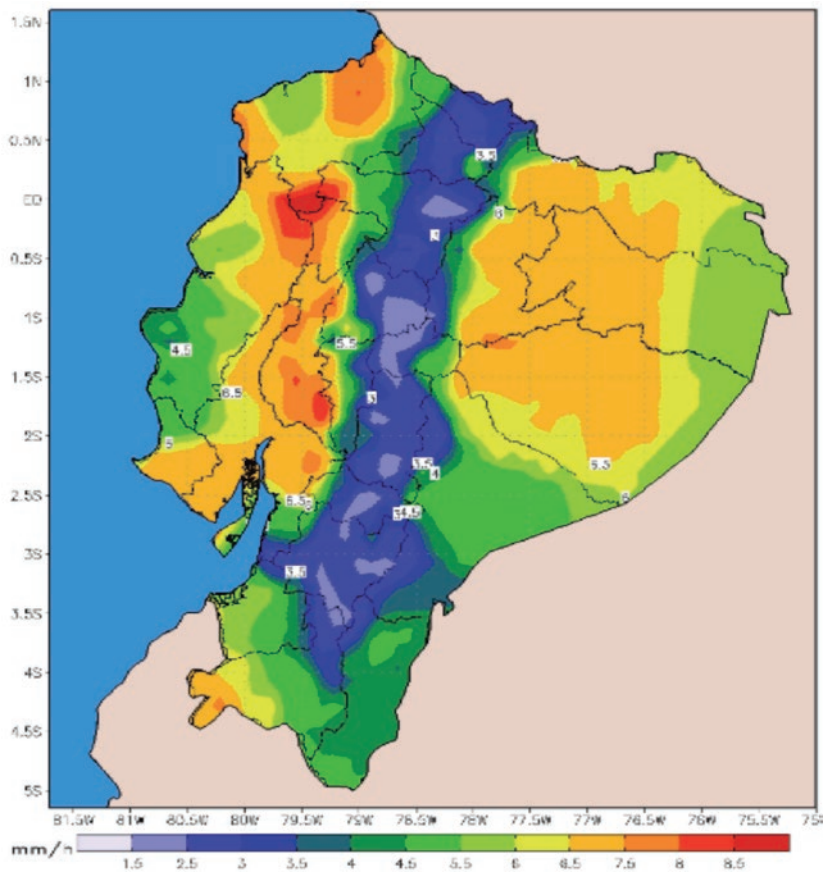
Fuente: INAMHI

**Figura 3. Mapa de Intensidades Máximas en 24 horas
(Período de retorno 10 años)**



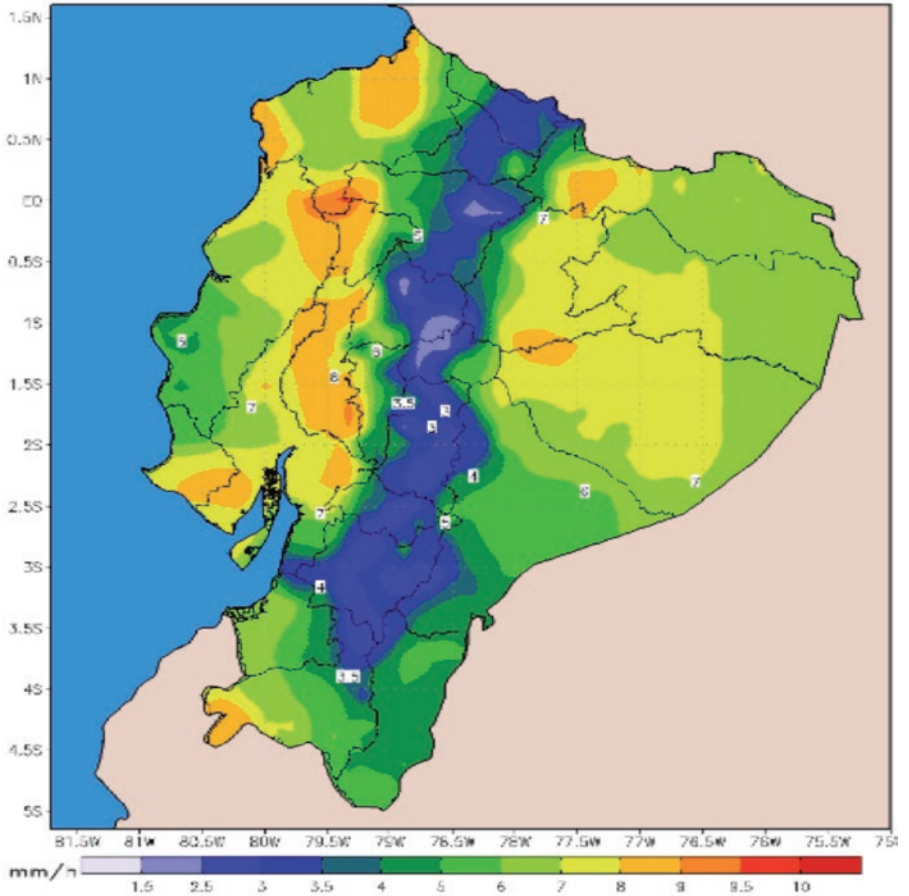
Fuente: INAMHI

**Figura 4. Mapa de Intensidades Máximas en 24 horas
(Período de retorno 25 años)**



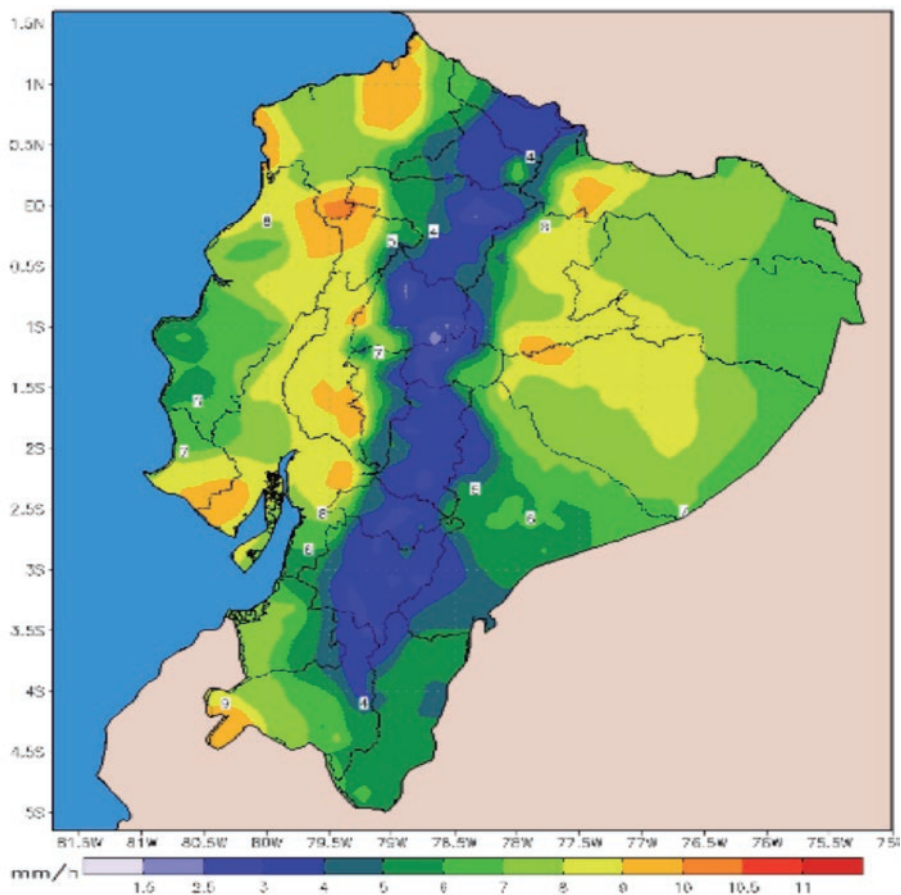
Fuente: INAMHI

**Figura 5. Mapa de Intensidades Máximas en 24 horas
(Período de retorno 50 años)**



Fuente: INAMHI

**Figura 6. Mapa de Intensidades Máximas en 24 horas
(Período de retorno 100 años)**



Fuente: INAMHI

7 BIBLIOGRAFÍA

- FAO, U. (1980). UNESCO. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. FAO y PNUMA: Roma.
- Liotta, M. (2015). Manual de capacitación: drenaje de suelos para uso agrícola. UCAR: Buenos Aires.
- Villón, M. (2007). Drenaje. Editorial Tecnologica: Costa Rica.
- Wesseling, J., Homma, F. (1967). Entrance resistance of plastic drain tubes.
- Paredes, M. (2003). Manual de cultivo de cacao. PROAMAZONIA: Perú.
- INAMHI, (2015). Determinación de las ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación. Ecuador.
- Ministerio de Agricultura, Metodología del mapa de aptitudes agrícolas para el Ecuador Continental, 2014.
- INAMHI, (2017). Boletín Agrometeorológico. Ecuador


CONGOPE

Consortio de Gobiernos
Autónomos Provinciales
del Ecuador

**CONVENIO ESPECÍFICO DE
COOPERACIÓN INTERINSTITUCIONAL
ENTRE EL CONSORCIO DE
GOBIERNOS AUTÓNOMOS
PROVINCIALES DEL ECUADOR Y EL
CONSEJO NACIONAL DE COMPETENCIAS**

MANUAL TÉCNICO PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE DRENAJE EN SUELOS AGRÍCOLAS DEL ECUADOR

Junio - 2018