

la estimación de la evapotranspiración potencial (ETP) se consideran los factores climáticos. Los factores de cultivo se utilizan para calcular la evapotranspiración real (ETR) a partir de la evapotranspiración potencial (ETP). Los factores de cultivo son influenciados por la etapa de crecimiento, por el porcentaje de cobertura, altura de la planta y la superficie foliar. La evapotranspiración puede ser limitada por la humedad disponible dentro de la zona radicular, por las enfermedades de los cultivos o por otras razones. En resumen, la ETR es el uso potencial del agua bajo condiciones favorables.

Precipitación confiable o dependiente (PD)

Es la precipitación que tiene una cierta probabilidad de ocurrencia basada en los análisis de la estadística de la precipitación de un largo período de años. Para el desarrollo del riego se ha determinado una probabilidad de 75%, o la lluvia que puede esperarse que ocurra 3 por cada 4 años. Para algunos cultivos sensibles a la sequía, o de alto valor económico o condiciones especiales, puede ser más apropiado un mayor nivel de probabilidad.

El índice de disponibilidad de humedad (MAI) indica la proporción del suministro de agua aprovechable para el cultivo de la precipitación dependiente.

$$MAI = PD / ETP$$

Índice de disponibilidad de humedad (MAI)

Es una medida relativa de la adaptación de la precipitación al suministrar los requerimientos de humedad. Se obtiene dividiendo la precipitación dependiente por la evapotranspiración potencial ($MAI = PD / ETP$). Indica la proporción del suministro de agua aprovechable para el cultivo de la precipitación dependiente.

Déficit de humedad (ETDF)

Es la diferencia entre la evapotranspiración potencial y la precipitación dependiente. Un exceso de humedad es indicado por un déficit negativo ($ETDF = ETP - PD$).

4.5 La fórmula de Hargreaves y ETP

La fórmula de Hargreaves calcula la evapotranspiración potencial, utilizando un pasto como cultivo de referencia. La fórmula (Hargreaves y Samani 1985) utilizada en estas normas es:

$$Eto = 0.0023 \times Ra \times (Tmax - Tmin)^{0.5} \times (Tmed + 17.8)$$

Donde:

Eto = Evapotranspiración Potencial del cultivo de referencia en mm / día
Ra = Radiación extraterrestre en equivalente de milímetros (mm) de agua evaporados por día.

Tmax = Temperatura máxima diaria en grados centígrados (°C)

Tmin = Temperatura mínima diaria en grados centígrados (°C)

Tmed = Temperatura media diaria en grados centígrados (°C)

Ejemplo de diseño:

Datos: $T_{max} = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$
 $T_{min} = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$
 $R_a = 16.8\text{ mm / día}$

Solución:

$$T_{med} = (35 + 22) / 2 = 28.5$$

$$E_{to} = 0.0023 \times 16.8 (35 - 22)^{0.5} \times (28.5 + 17.8)$$

$$E_{to} = 6.45\text{ mm / día}$$

Concepto de coeficiente de cultivo (K_c)

La evapotranspiración de otros cultivos puede relacionarse a la evapotranspiración del cultivo de referencia por medio de un coeficiente de cultivo (K_c) de manera que no sea necesario determinar la E_t calibrada para todos los cultivos.

- Coeficientes estacionales: son los coeficientes que relacionan los valores anuales de E_t a valores anuales de E_{to} ; son satisfactorios si se necesitan datos aproximados de uso consuntivo en diseños preliminares de proyectos.
- Coeficientes mensuales: son los que relacionan E_{to} y E_t mensualmente y son adecuados para diseñar sistemas de riego por superficie, y programar el riego en sistemas de riego por superficie y por aspersión.
- Coeficientes de cultivos

E_t puede calcularse de E_{to} utilizando la siguiente fórmula:

$$E_t = K_c \times E_{to}$$

Existen tablas donde se dan los valores mensuales de K_c recomendados para utilizarse en la fórmula de Penman modificada por la FAO. También pueden utilizarse con la fórmula de Hargreaves. Otros valores de K_c pueden encontrarse en la tabla publicadas por manuales de riegos.

Limitaciones del uso de la fórmula de Hargreaves

Se requiere la adaptación local de los coeficientes anteriores por personal competente porque:

- Las fórmulas están calibradas y diseñadas para cultivos y condiciones climáticas fuera de Honduras.
- Los coeficientes de cultivo que son utilizados deben ajustarse a la fórmula y al período de crecimiento de cada cultivo.
- Cualquier aproximación debe ser hecha por aquellos que puedan evaluar el efecto de dichas aproximaciones sobre la utilidad de los valores resultantes.

4.6 La precipitación

Sin duda alguna, la precipitación es uno de los elementos del clima que reviste mayor importancia en lo que a explotación agrícola de verano se refiere. Es bien sabido que una vez conocidas las condiciones pluviales de una determinada región, se podrá definir qué tipo de práctica agrícola se debe realizar para una adecuada explotación.

Generalmente, lo primero que se analiza al iniciar un estudio agroclimático es la precipitación, de la misma se obtienen valores promedios o probabilísticos. El conocimiento de la precipitación promedio se basa, principalmente, en los registros de datos que existen en las diferentes estaciones meteorológicas en la región bajo estudio.

La precipitación promedio da una idea de cómo es o puede ser el comportamiento de la misma en una región. Una vez obtenidos los datos promedio se pueden desarrollar un sinnúmero de actividades dependiendo de la orientación del trabajo; entre estas actividades se pueden mencionar las siguientes:

- Elaboración de mapas de isolíneas de precipitación anual, mensual, decadal o estacional, con la finalidad de saber el comportamiento que presenta de una región a otra.
- Cálculo de balances hídricos para conocer la disponibilidad hídrica que existe en una determinada región.
- Estudios sobre la iniciación y finalización de la temporada lluviosa.
- Determinación de las mejores fechas de siembra y cosecha de los principales cultivos de la región.

4.7 Valores probabilísticos

Los valores probabilísticos de precipitación se calculan de acuerdo con las finalidades y se pueden calcular mensual, decadal, anual o estacionalmente.

La probabilidad de ocurrencia de ciertos valores de lluvia permite realizar estudios agro meteorológicos más a fondo, con mayor detalle y precisión. Los niveles en que pueden calcularse las probabilidades son del orden del 25%, 50% y 75% generalmente, aunque puede llegarse a niveles más altos, como un 90%, según sea el interés y orientación del estudio.

Las probabilidades pueden calcularse mediante el método de WEIBULL que consiste en lo siguiente:

Estación:	Marale
Probabilidad a calcularse:	75%
Mes considerado:	Octubre
Período (años) comprendido	1972 - 1984

Registros de precipitación

Años	Milímetros (mm)
1972	135.1
1973	152.7
1974	179.4
1975	143.0
1976	163.0
1977	70.8
1978	192.7
1979	193.0
1980	111.7
1981	130.6
1982	76.9
1983	105.6
1984	232.1

Seguidamente, estos registros se ordenan de mayor a menor, asignándoles un número correlativo y se aplica la fórmula de distribución introducida por Weibull de la siguiente manera:

$$F = M / (N + 1)$$

Donde:

F = Probabilidad

M = Número correlativo

N = Número de datos

Ejemplo para el uso de la fórmula

$$F = 5 / (13 + 1) = 0.36$$

Nº	mm	F
1	232.1	0.07
2	193.0	0.14
3	192.0	0.21
4	179.4	0.28
5	163.0	0.36
6	152.7	0.43
7	143.8	0.50
8	135.1	0.57
9	130.6	0.64
10	111.7	0.71
11	105.6	0.78
12	76.9	0.86
13	70.8	0.93

El ejemplo consiste en calcular la precipitación al 25% probabilidad

$13 \times 0.25 = 3.25$ o sea, que el valor en milímetros de esta probabilidad está entre 3 y 4, 192.0 mm y 179.4 mm respectivamente, para lo cual tenemos que hacer una interpolación lineal resultando 182.55 mm.

Calcular la precipitación al 75% de probabilidad

$13 \times 0.75 = 9.75$, o sea que está entre los números 9 y 10 con 130.6 mm y 111.7 mm respectivamente, haciendo la interpolación lineal, resulta de 122.09 mm.

4.8 El balance hídrico

La metodología del balance hídrico permite elaborar mayores planeaciones en los proyectos donde el factor climático constituye el elemento más importante en el desarrollo y ejecución de los mismos.

El balance hídrico es uno de los elementos más importantes en la caracterización agroclimática y es a partir de este cálculo de donde se originan una serie de recomendaciones orientadas a las diversas áreas para las cuales se realizan los respectivos estudios ya sean de Ingeniería, Climatología, Agrometeorología o Agronomía.

El balance hídrico permite conocer las ofertas de humedad aportadas por la precipitación y las demandas hídricas atribuidas a la evapotranspiración potencial, establecida esta relación en conjunto con la capacidad de retención de agua del suelo, para conocer así las fechas más favorables para una adecuada explotación agrícola.

Mediante el método del balance hídrico se pueden desarrollar las siguientes actividades:

- Predicción de inundaciones.
- Determinación de las necesidades de agua de los cultivos.
- Estudios sobre rendimientos de cultivos y pronósticos de cosecha.
- Calendarios de actividades agrícolas.
- Manejo adecuado de los recursos hídricos de una región determinada.
- Planificación y operación adecuada del riego y drenaje.

Los balances hídricos se pueden realizar a nivel diario, decadal o mensual y para fines operativos, a corto o mediano plazo a nivel diario o decadal y a largo plazo a nivel mensual, dependiendo de las necesidades y exigencias del caso.

Elementos del balance hídrico

Los principales elementos del balance hídrico son, entre otros, los siguientes:

- La precipitación.
- La evapotranspiración potencial o real.
- Fracción volumétrica de agua aprovechable por el suelo.
- Cambio de humedad dentro del perfil del suelo.
- Deficiencia hídrica.
- Exceso hídrico.

Ejemplo de un balance hidrocológico

Con promedios mensuales de Evapotranspiración y precipitación a un 90% de probabilidades.

Etp = Evapotranspiración en mm

P90% = precipitación a 90% de probabilidad (tomado de los registros de lluvias)

Def = Déficit

Exc. = Exceso

Balance hidrológico

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Tot
Etp.	123	106	95	99	105	111	107	106	122	196	157	168	1445
P90%	105	11	10	2	33	66	219	216	197	167	154	132	
Def	18	95	85	97	72	45				29	3	36	
Exc							112	110	75				

EVALUACIÓN

1. Definir:

- Climatología
- Principales elementos del clima
- Límites de las zonas climáticas
- Meteorología
- Estación pluviométrica
- Estación termo pluviométrica

2. ¿Qué instrumentos debe tener una estación HMO (Hidrometeorológica ordinaria)?

3. Para qué sirve el instrumento:

- Pluviómetro
- Pluviógrafo
- Termómetro de máxima
- Termómetro de mínima
- Aspiro psicrómetro
- Higrotermógrafo
- Tanque de evaporación tipo A
- Anemómetro totalizador
- Geotermómetros
- Actinógrafo
- Heliógrafo
- Anemocinemógrafo

4. Definir:

- Evapotranspiración
- Evapotranspiración potencial

- c. Evapotranspiración real
- d. Precipitación confiable o dependiente
- e. Índice de disponibilidad de humedad, ETDF
- f. Coeficiente de cultivo (Kc)

5. ¿Cuáles son las limitaciones de los usos del Kc?

6. ¿Qué actividades se pueden desarrollar con la información de la precipitación media?

7. Usando la fórmula de Hargreaves calcular la ETR(evapotranspiracion real) con los datos siguientes:

$$T_{\max} = 38^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\min} = 20^{\circ}\text{C}$$

$$R_a = 15.3 \text{ mm / día}$$

$$K_c = 1.15$$

Solución:

$$T_{\text{med}} = (38 + 20) / 2 = 29$$

$$E_{to} = 0.0023 * R_a * (T_{\max} - T_{\min})^{0.5} * (T_{\text{med}} + 17.8)$$

$$E_{to} = 0.0023 * 15.3 (38 - 20)^{0.5} * (29 + 17.8)$$

$$E_{to} = 6.99 \text{ mm / día}$$

$$ETR = 6.99 \text{ mm / día} \times 1.15 = 8.04 \text{ mm / día}$$

8. Con el siguiente registro, calcular las probabilidades a 25% , 50% 75% y 90%

Nº	mm	F (promedio)
1	216.3	0.07
2	182.0	0.14
3	178.0	0.21
4	155.2	0.28
5	145.0	0.36
6	137.5	0.43
7	122.5	0.50
8	118.1	0.57
9	115.4	0.64
10	107.5	0.71
11	105.6	0.78
12	55.6	0.86
13	49.6	0.93

9. Del siguiente cuadro, obtener los déficits y los excesos.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Tot
Etp.	131	116	102	99	112	118	114	113	127	203	163	174	1572
P90%	100	13	1	2	31	61	201	211	195	160	169	137	
Def	31	103	101	97	81	57				43		37	
Exc							87	98	68		6		

Bibliografía

- Zúñiga A. Edgardo. La estructura y el comportamiento de la atmósfera.
- Linsley, Kohler, Paulhus. Hidrología para ingenieros.
- Almendarez, Hugó. Zonificación agroclimática de Honduras región central. Tomo VI.

5. TOPOGRAFÍA

En el presente trabajo se señalan los principios básicos que conforman la ciencia de la topografía y resultados que de ellos proceden. Asimismo se establece una nueva relación entre el alumno y el docente, mediante la incorporación de nuevos términos técnicos para la comprensión de esta disciplina donde la asimilación y retención de las definiciones ayudará a comprender mejor los problemas teórico-prácticos que el alumno enfrentará.

Se presentan los principios básicos de trigonometría y geometría como herramientas indispensables para el acceso y comprensión del tema. Se continúa con la descripción de los instrumentos más usados para la medida de tierras, como razón fundamental de este trabajo y se describen detalladamente con ejemplos numéricos y reales los procedimientos para la obtención de áreas, mediante poligonales cerradas y la nivelación de una línea.

Finalmente, se proponen ejercicios que sirven para evaluar el grado de asimilación por parte de los estudiantes y como un desafío a sus aptitudes frente a esta disciplina.

Objetivos

- Presentar el arte de la topografía básica de manera sencilla y accesible tanto para el instructor como para el alumno.
- Brindar una guía de apoyo al profesor en el estudio de los principios elementales de la topografía y sus respectivos soportes matemáticos de geometría y trigonometría.
- Preparar a los alumnos con una base técnica para que puedan enfrentar y resolver problemas de topografía y agrimensura, tanto teóricos como prácticos, cuando no se requiera de una especialización avanzada.
- Despertar el interés en aquellos jóvenes que se sientan atraídos por esta disciplina más allá del deber que les impone el requisito académico.

Actividades del docente

- Desarrollar dos temas como mínimo por clase, ilustrándolos con láminas, mapas, dibujos y/o bosquejos afines.
- En la siguiente clase hacer una evaluación teórica de los temas tratados en la clase anterior, para obligar al alumno a memorizar y retener las definiciones de los temas tratados.
- Reforzar los tópicos en que se denote debilidad en los alumnos, volviendo sobre el tema con mayor énfasis e ilustración. Reevaluar los conceptos.
- Visitas de campo con el objetivo de ilustrar in situ los conceptos teóricos y compararlos con la realidad (práctica).

- Cuando el círculo está graduado de 0° a 360° en ambos sentidos, leer equivocadamente la escala en las cercanías de los 180° .

El nivel

El nivel es un aparato empleado para nivelar por alturas (nivelación directa); consta esencialmente de una línea de mira y de un nivel de aire o de otro tipo, que permite dirigir visuales horizontales.

Otros instrumentos usados para nivelar en topografía son: niveles de precisión, nivel de anteojo corto, nivel de mano (hand level), clinómetro, tránsito (eventualmente), barómetro y el altímetro.

El nivel de burbuja

El nivel de burbuja es un tubo de vidrio con su superficie superior curvada y lleno con un líquido como alcohol o éter y con suficiente espacio vacío para formar una burbuja de aire. Un radio de curva muy pequeño hace que la burbuja se mueva lentamente y por lo tanto sea menos sensitiva, un radio grande hace que la burbuja se mueva más rápido y por lo tanto que sea más sensitiva.

La parte superior del tubo tiene una escala cuyo punto central es el punto cero de la burbuja y hay puntos simétricos hacia un lado y otro. Por acción de la gravedad la burbuja se moverá hacia la parte mas alta del tubo, y por lo tanto, estará en el centro cuando el tubo es horizontal.

Nivel de anteojo corto (europeo)

Estos niveles son de anteojo corto (6 a 9 pulgadas) y la mayoría del tipo de "Y", tiene además un prisma para observar la burbuja al mismo tiempo que la lectura es tomada. También usualmente tienen tres tornillos de nivelación en lugar de cuatro.

El nivel de burbuja va montado a un lado del telescopio, pero en la mayoría de los modelos el nivel queda en su lugar al levantar el telescopio y darle una vuelta de 180° (en los modelos de "Y").

Si se toma una vista con el anteojo normal y otra con el anteojo invertido y la burbuja está centrada cuando se toman ambas, está referido al eje principal del tubo del nivel y está libre de cualquier error debido a la posición incorrecta de la retícula, porque si la primera línea se encuentra inclinada hacia abajo, la segunda estará inclinada hacia arriba en la misma cantidad.

Algunos modelos tienen un tornillo de inclinación debajo del ocular para una mejor nivelación después de que se ha hecho una nivelación aproximada por medio de un nivel circular o de "ojo de buey".

Otros modelos tienen dos objetivos, uno en cada extremo, y el ocular es removible y puede ser colocado en cualquiera de los objetivos. En la superficie de los objetivos hay líneas grabadas que sirven como retícula. Sólo es visible la retícula del objetivo opuesto a donde está el ocular, pues la del otro objetivo está fuera de foco. Esta característica permite observar una lectura con la

retícula en un objetivo y luego en el otro y eliminar así los errores de ajuste de la retícula y del nivel de burbuja, todo con una sola centrada del aparato, pues tiene un sistema de enfoque interno.

Usos del nivel y la mira

Para determinar la diferencia de elevación entre dos, se debe mantener la mira aplomada sobre el primer punto y tomar una lectura con el nivel. Después se repite la operación con la mira sobre el segundo punto. La diferencia en las lecturas es la diferencia de elevación entre los dos puntos. Una manera fácil de obtener una lectura correcta sobre la mira, consiste en que el portamira mueva la mira lentamente hacia atrás y adelante y tomar la menor lectura observada durante la operación.

5.5 Mensura de tierras

La mensura de tierras se hace generalmente con uno de los siguientes propósitos:

- Tener una exacta determinación de los límites.
- Determinar el área.
- Tener datos para hacer un plano.

Usualmente, en la práctica se comienzan las mediciones desde una esquina del terreno desde donde se toman las distancias y ángulos en el orden que ocurren. Estas líneas y ángulos se llaman una poligonal. Una poligonal es abierta, cuando no se regresa al mismo punto y cerrada cuando se regresa. En esta última, la posición del último punto debe coincidir con la del primero.

Debido a los errores en la medida, hay una diferencia que se llama **error de cierre**, que es igual a la distancia real entre el primero y el último punto, dividido entre el perímetro medido, que se reduce a un quebrado con numerador 1.

Medida con tránsito y cinta

En la medida de un terreno con tránsito y cinta se pueden representar los siguientes casos:

1. Centrar el tránsito en las esquinas y medir directamente los ángulos y distancias.
2. Si las líneas de la propiedad están obstruidas por obstáculos naturales o artificiales, en tal forma que no se pueden medir los ángulos en las esquinas, pero sí se pueden medir directamente las distancias, se deben medir los ángulos formados por paralelas exactas a los lados.
3. Si no se pueden medir directamente los lados ni los ángulos, se traza una poligonal aproximadamente paralela a los lados de la propiedad y se conecta con ellos por medio de ángulos y distancias.

Medida de un límite irregular

Si uno de los límites es irregular o curvado se corre una línea recta cerca del límite, inclusive cruzándolo una o más veces y se toman distancias perpendiculares o tramos regulares, o en los puntos donde el límite cambia de dirección. Ya que estas distancias perpendiculares son cortas, es suficientemente exacto trazarlas al ojo.

Para calcular la superficie comprendida dentro de un límite irregular se puede aplicar la **regla del trapecio** que es:

"Se suma la media de las ordenadas extremas a las ordenadas intermedias y se multiplica por el intervalo constante".

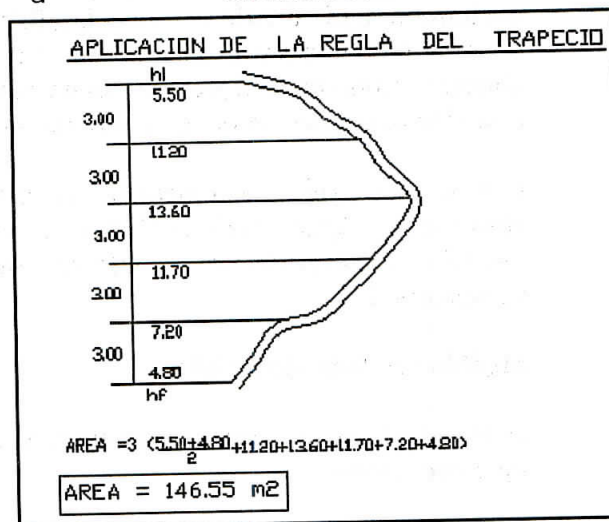
Regla del trapecio:
Para calcular la superficie dentro de un límite regular se suma la media de las ordenadas extremas a las ordenadas intermedias y se multiplica por el intervalo constante.

La fórmula correspondiente es:

$$S = d \frac{(h_i + h_f + h_2 + h_3 + h_{n-1})}{2}$$

Donde,

h_i = Ordenada Inicial
 h_f = Ordenada Final
 d = Distancia Constante



Medida de un terreno con una sola centrada del tránsito

Este medio se usa cuando es necesario economizar tiempo a expensas de la exactitud. El tránsito es centrado en un punto cerca del centro, desde el cual se pueden ver todas las esquinas comprendidas. De allí se calculan los terceros lados de la propiedad y los ángulos internos entre los lados.

Este método se recomienda como una comprobación de los otros métodos para casos de emergencia.