

HIDROLOGÍA Y METEOROLOGÍA



**LABORATORIO INTENSIVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Segundo Semestre 2024**

Elaborado por: Ing. Mario Roberto González González

DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA

La Hidrología tiene un papel muy importante en el planeamiento del uso de los recursos hidráulicos, y ha llegado a convertirse en parte fundamental de los proyectos de Ingeniería que tienen que ver con suministro de agua, drenaje, protección contra la acción de ríos y recreación, entre otros.

En el laboratorio, el estudiante conoce los procedimientos para obtener información relacionada al campo de la hidrología. Reconociendo la importancia de los mismos y su aplicación a los proyectos de Ingeniería Civil.

OBJETIVOS

GENERAL

- Proporcionar al estudiante ejercicio guiado del aspecto cuantitativo de la materia y observación objetiva de los fenómenos, técnicas e instrumentos.

ESPECÍFICO

- Desarrollar problemas fundamentales típicos de hidrología a través de operaciones de campo y laboratorio, visitas, reportes e investigaciones.
- Familiarizar a los estudiantes con los distintos dispositivos utilizados para estudiar los diferentes fenómenos hidrológicos.

INSTRUCCIONES PARA REALIZAR LAS PRÁCTICAS

Para la realización adecuada de las prácticas deberán atenderse las siguientes indicaciones:

1. Presentarse puntualmente a la hora del inicio del laboratorio y permanecer durante la duración de este.
2. Realizar las actividades y hojas de trabajo planteadas durante la práctica.
3. Participación y cuidado de cada uno de los integrantes del grupo en todo momento de la práctica.
4. Conocer la teoría, (leer el manual antes de presentarse a cada práctica).
5. **No se permite el uso de teléfono celular dentro del laboratorio**, Si tiene llamadas laborales deberá atender las mismas únicamente en el horario de receso.
6. Si sale del salón de clases sin la autorización del docente perderá el valor de la práctica.
7. No puede atender visitas durante la realización de la práctica.
8. El horario de receso es únicamente de 15 minutos.
9. **Respeto dentro del laboratorio hacia los catedráticos o compañeros (as).**

La falta a cualquiera de los incisos anteriores será motivo de una inasistencia.

Considere que se prohíbe terminantemente comer, beber y fumar. Éstos también serán motivos para ser retirado de la práctica.

Recuerde que para tener derecho al punteo y aprobar el curso deberá presentarse a las prácticas y realizar las evaluaciones en línea, las cuales estarán habilitadas del **28 de octubre 2024 a las 8:00 al 1 de noviembre 2024 a las 18:00.**

CONTENIDO DEL REPORTE DE INVESTIGACIÓN

Descripción	Puntos
Caratula	00 puntos
Objetivos	5 puntos
Marco Teórico	10 puntos
Resumen	25 puntos
Resultados	30 puntos
Interpretación de Resultados	10 puntos
Conclusiones	15 puntos
Bibliografía	05 puntos
Total	100 puntos

En caso de no concordar entre la hoja de datos originales y los datos u observaciones citados dentro del reporte automáticamente se anulará el reporte.

Por cada falta de ortografía o error gramatical, se descontará un punto sobre cien, todas las mayúsculas se deben de tildar. Es importante dirigirse al lector de una manera impersonal, de manera que expresiones tales como “obtuvimos”, “hicimos”, “observé”, serán sancionadas.

Si se encuentran dos reportes parcial o totalmente parecidos se anularán automáticamente dichos reportes.

a. **OBJETIVOS:** Son las metas que se desean alcanzar en la práctica. Se inician generalmente con un verbo, que guiara a la meta que se desea alcanzar, los verbos finalizan en AR, ER o IR, ejemplo: reconocer, determinar, etc. Deben ser verbos cuantificables, únicamente se utiliza un verbo por cada objetivo, deben estar en concordancia con las conclusiones.

b. **RESUMEN:** Es una síntesis de lo que se realizó en la práctica de investigación explicando ¿qué se hizo?, ¿cómo se hizo? y ¿a qué se llegó? El contenido debe ocupar media página como mínimo y una página como máximo.

c. **RESULTADOS:** En esta sección deben incluirse todos los datos obtenidos al final de la práctica.

d. **INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:** Esta sección corresponde a una demostración, explicación y análisis de todo lo que ocurrió y resultó de la práctica, interpretando de una manera cuantitativa y cualitativa, tanto los resultados como los pasos seguidos para la obtención de los mismos. Aun cuando la discusión se apoya en la bibliografía, no debe ser una transcripción de la misma, ya que el estudiante debe explicar con sus propias palabras y criterio lo que sucede en la práctica. Cuando se haga uso de la teoría en alguna parte de la discusión debe indicarse colocando al final de párrafo (que debe ir entre comillas),

la bibliografía de donde se obtuvo la información. La forma de colocarlo es la siguiente: (Ref. 1 Pág. 5). En cuando a los resultados propiamente dichos, deben explicarse el porqué de los mismos. Debe hacerse una comparación entre el resultado del aparato y el resultado medido directamente.

e. **CONCLUSIONES:** Constituyen la parte más importante del reporte. Las conclusiones son “juicios críticos razonados” a los que ha llegado el autor, después de una cuidadosa consideración de los resultados de la práctica y que se infieren de los hechos. Deberán ser lógicos, claramente apoyados y sencillamente enunciados. Esta sección deberá ser extraída de la interpretación de resultados ya que allí han sido razonados y deben de ir numeradas. Se redacta una conclusión por cada objetivo planteado.

f. **BIBLIOGRAFÍA:** Esta sección consta de todas aquellas referencias (libros, revistas, documentos) utilizados como base bibliográfica en la elaboración del reporte. Deben citarse, como mínimo 3 referencias bibliográficas (**EL INSTRUCTIVO NO ES UNA REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA**), las cuales deben ir numeradas y colocadas en orden alfabético según el apellido del autor. Todas deben estar referidas en alguna parte del reporte. La forma de presentar las referencias bibliográficas es la siguiente:

1. KOENING, Luis A.; ZEHNPFFENNING, María A. *Fundamentos de Topografía*. 7ª ed. Panamá, 2012. 102 p.

DETALLES FÍSICOS DEL REPORTE

- El reporte debe presentarse en hojas de papel bond tamaño carta.
- Cada sección descrita anteriormente, debe estar debidamente identificada y en el orden establecido.
- Todas las partes del reporte deben estar escritas a computadora.
- Se deben utilizar ambos lados de la hoja.
- No debe traer folder, simplemente engrapado o con gancho.

IMPORTANTE:

- Los reportes se entregarán al día siguiente de la realización de la práctica, al entrar a recibir la parte teórica, SIN EXCEPCIONES.
- Es importante tener listo todos los implementos que se utilizarán en la práctica, pues el tiempo es muy limitado.
- Cada grupo tendrá un máximo de 5 estudiantes.

PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES

DÍA	ACTIVIDAD
Lunes	Práctica 1: Estación Meteorológica.
Martes	Práctica 2: Estimación de datos faltantes y establecimiento de la consistencia de registros de precipitación pluvial.
Miércoles	Práctica 3: Aforo (Incluye visita de campo)
Jueves	Práctica 4: Determinación de la precipitación media.

PRÁCTICA No. 1: ESTACIÓN METEOROLÓGICA

Objetivo de la práctica

- Familiarizar al estudiante con los distintos aparatos con que se cuenta para la medición de los parámetros meteorológicos, así como conocer su mecanismo de funcionamiento y como calcular esos cambios a través de gráficas.
- Observar, describir y registrar información relacionada con el tiempo.
- Construir instrumentos para medir la dirección y velocidad de viento, temperatura, precipitación, y presión atmosférica.
- Explicar y demostrar cómo cada instrumento es utilizado para medir el tiempo.

Fundamento Teórico

Es importante conocer las estaciones meteorológicas que se usan en nuestro planeta tierra, ya que como seres humanos necesitamos conocer y prepararnos ante cualquier situación climatológica que pueda sufrir. Se conocerán algunos instrumentos que se usan actualmente a nivel mundial para conocer las precipitaciones de lluvias, como el tiempo y la cantidad de la radiación solar, la temperatura del suelo, como instrumentos que sirven para conocer la velocidad y dirección del viento, así también aparatos que se usan para medir la humedad del ambiente como la evaporación del mismo.

Tiempo meteorológico

Conocido también como tiempo atmosférico, viene a ser el estado de la atmósfera en un instante determinado. El tiempo va a determinar los cambios y variaciones de la atmósfera para un lugar y momento preciso. Se define por las condiciones de temperatura y precipitación en un momento específico.

Meteorología

Es la ciencia que estudia las propiedades y estructura de la atmósfera; así como los procesos y fenómenos que ocurren dentro de ella.

Clima

El clima es el estado promedio de la atmósfera en lapsos de tiempo muy grandes y es modulado por un conjunto de fenómenos que caracterizan el estado medio atmosférico de un lugar.

Climatología

Es la ciencia que busca describir y explicar la naturaleza del clima, su variabilidad de un lugar a otro y la forma como se relaciona distintas actividades humanas.

La temperatura

La temperatura es la condición que determina la dirección del flujo resultante de calor entre dos cuerpos, se dice que el cuerpo que libera calor al otro está a una temperatura más elevada.

La temperatura se mide con un termómetro que generalmente está hecho con un tubo de vidrio que contiene alcohol teñido. Conforme el aire se calienta, el nivel del líquido sube, y conforme el aire se enfría, el nivel baja. La temperatura del aire siempre está cambiando. La temperatura del aire es una parte muy importante de la medición del tiempo.

Dirección de viento

La dirección del viento se indica en grados, a partir del norte verdadero en sentido horario. Se toma como dirección del viento, la dirección desde la cual proviene.

PUNTOS CARDINALES	AZIMUT
N (Norte)	0°
E (Este)	90°
S (Sur)	180°
W (Oeste)	270°

El conocer la dirección del viento es una parte importante de la predicción del tiempo porque el viento nos trae el clima. Una veleta es una herramienta para medir la dirección del viento y probablemente fue uno de los primeros instrumentos meteorológicos que se usó. Para determinar la dirección del viento, la veleta gira y apunta en la dirección desde la que viene el viento y generalmente tiene dos partes o extremos: uno que generalmente tiene la forma de una flecha y que voltea hacia el viento y otro extremo que es más ancho para que atrape la brisa. La flecha apuntará hacia la dirección desde la que sopla el viento, así que, si está apuntando hacia el este, significa que el viento viene del este. Además, la dirección del viento es desde donde sopla el viento. Por lo tanto, un viento del oeste sopla desde el oeste. Para usar una veleta, debes saber dónde está el norte, el sur, el este y el oeste.

Velocidad de viento

La velocidad de viento viene a ser una magnitud escalar que da una idea de se mueve el viento. El viento es el movimiento horizontal del aire. El instrumento que se usa para medir la velocidad del viento se llama anemómetro, que es un dispositivo que gira con el viento. El anemómetro rota a la misma velocidad del viento. Proporciona una medida directa de la velocidad del viento.

Precipitación

Se denomina precipitación al agua de la atmosfera que cae en forma líquida, sólida, desde las nubes hasta la superficie de la tierra. El tamaño de las gotas de lluvia apenas tiene 0.1 mm de diámetro. La precipitación se puede presentar en las formas siguientes: Lluvia, nieve, granizo.

¿Qué representa 1 mm de lluvia caída? Ese milímetro equivale al agua caída colectada en un recipiente que tiene como superficie 1 m cuadrado, y como altura 1mm o lo que es lo mismo a 1 litro de agua.

Presión atmosférica

Es simplemente el peso de la columna de aire de base unidad sobre ese punto.

La presión atmosférica depende de muchas variables, sobre todo de la altitud. Cuanto más arriba en la atmósfera nos encontremos, la cantidad de aire por encima de nosotros será menor, lo que hará que también sea menor la presión que éste ejerza sobre un cuerpo ubicado allí.

Los meteorólogos miden estos cambios en el aire para predecir el tiempo y la herramienta que usan es un barómetro. Las unidades de medición comunes que usan los barómetros son los hectopascales (hPa)

Descripción del Equipo y Uso

El Heliógrafo

La radiación solar es la principal fuente de energía transmitida a la tierra y tiene siempre una influencia directa o indirecta en el desarrollo de los fenómenos físicos que se producen en la atmósfera.

El estudio de la radiación global que alcanza la superficie de la tierra supone un cierto número de medidas y, principalmente, la medida de la duración de la insolación. Estas medidas se efectúan por medio de un heliógrafo, que permite determinar la duración total de la insolación cada hora o cada día. Las lecturas deben ser hechas con aproximación de la décima de hora.



El heliógrafo es un aparato meteorológico que mide la duración de la insolación diaria.

La duración de la insolación se halla concentrando los rayos solares sobre una banda de cartulina teñida de azul que se quema en el punto en que se forma la imagen del Sol. Se utiliza como focalizador una esfera de cristal, de forma que no es necesario mover este foco constantemente debido al movimiento aparente del Sol a lo largo del día y del estacionario.

La banda se fija por medio de ranuras a un soporte curvo y concéntrico con la esfera y tiene impresa una escala de 30 minutos. Si el Sol luce durante todo el día sobre la banda se forma una traza carbonizada continua y la duración de la insolación se determina midiendo la longitud de la traza carbonizada. Si el Sol brilla de forma discontinua, dicha traza es intermitente. En este caso, la insolación se determina sumando la longitud de las trazas resultantes

Según la época del año se utilizan tres tipos distintos de bandas, para el hemisferio norte:

- a. Desde comienzos de marzo hasta mediados de abril y desde comienzos de septiembre hasta mediados de octubre (alrededor de cada equinoccio) se utilizan bandas rectas. Son llamadas bandas equinociales y se acoplan a las ranuras centrales del soporte.
- b. Desde octubre hasta fin de febrero se utilizan bandas curvadas cortas, que se colocan en las ranuras superiores.
- c. El resto del año, de abril hasta agosto, se usan bandas curvadas medianas, colocadas entre las ranuras inferiores.

En el hemisferio sur se invierte el uso de las bandas en los períodos definidos arriba.

Para que los rayos de Sol alcancen el aparato sin impedimento alguno durante todo el día, éste se debe colocar orientado a mediodía.

Se colocará con su base completamente firme y nivelada con una altura de un metro, sin alteración por influjo de temperatura, humedad, viento y trepidación.



Se recomienda la sustentación de piedra fija, obras de fábrica fijas o metal.

La esfera está montada concéntricamente dentro de un casquete esférico, sobre la que se coloca la cartulina. Las dimensiones del casquete y la esfera son tales que los rayos formen un foco muy intenso sobre la cartulina. La esfera se fija en un soporte cóncavo, hacia arriba, de forma esférica por medio de un par de tornillos.

A la hora de colocar el aparato en su soporte hay que tener en cuenta dos ajustes:

- a. El casquete se debe colocar de forma que la línea media en sentido longitudinal de la banda equinoccial se halle en el plano del ecuador celeste. Para ello, haremos coincidir la latitud del lugar donde nos encontramos en la escala de latitudes de su montura con la marca situada a tal efecto.
- b. El plano vertical que contiene al centro de la esfera y a la señal de mediodía debe coincidir con el plano meridiano geográfico. Para comprobar este ajuste debemos comprobar que la imagen del Sol al mediodía verdadero coincide con la marca de las 12 horas de la banda.

Pluviógrafo

El pluviógrafo, es el aparato que mide la cantidad de agua caída y el tiempo en que ésta ha caído. Lo más importante de una precipitación no es sólo la cantidad de agua recogida sino el tiempo durante el cual ha caído. Así, el pluviógrafo sirve para realizar una grabación automática de la precipitación.



El pluviógrafo de sifón consta de un depósito cilíndrico, que recibe a través de un tubo de goma el agua de lluvia recogida por un embudo exterior de 200 cm² de sección. Dentro del depósito se encuentra un flotador prolongado por un tallo vertical, que soporta directamente el brazo que lleva la plumilla inscriptor. A medida que el depósito se llena, el flotador va subiendo y la plumilla con él. Casi desde el fondo del depósito sale un tubo curvado en forma de sifón, en que la rama ascendente llega justo al nivel más alto que se quiere llegar, que se corresponde con una cantidad de lluvia de 10 mm. Cuando el agua del depósito llega a este nivel se vacía completamente, es decir que cuando el flotador ha llegado hasta el extremo superior de su carrera, baja automáticamente hasta el fondo. Si entonces sigue lloviendo, vuelve a empezar de nuevo la subida. La curva obtenida en este aparato tiene forma zig-zag, con sus ramas ascendentes curvas e inclinadas, y las descendientes rectas y verticales. Para medir la lluvia, sólo hay que tener en cuenta las ramas

ascendentes. El agua que sale del depósito cae en un recipiente.

La instalación del pluviógrafo debe guardar las mismas precauciones que las del pluviómetro tratando de que el agua recogida represente lo mejor posible la presentación caída en el área

circundante. El emplazamiento ha de estar especialmente protegido de los efectos del viento. La lectura del pluviógrafo es válida para un área de 3km a la redonda de donde está ubicado el pluviógrafo.

La altura de la boca del pluviógrafo será de 1m 50 cm, sobre el suelo, y su superficie quedará perfectamente horizontal, es muy importante la nivelación del aparato, para que su funcionamiento sea correcto. Las bandas o gráficas que se ajustan al tambor pueden ser diaria, semanal o mensual. Las diarias se usan más en periodos o zonas lluviosas, la semanal en lugares donde la lluvia no es diaria y las mensuales en períodos de estación seca o verano.

Su lectura se hará especialmente a las 7:00 A.M. La utilización del pluviógrafo es importante porque determina la intensidad de las precipitaciones, que es el factor fundamental para su clasificación en débil, moderado o fuerte.

Pluviómetro

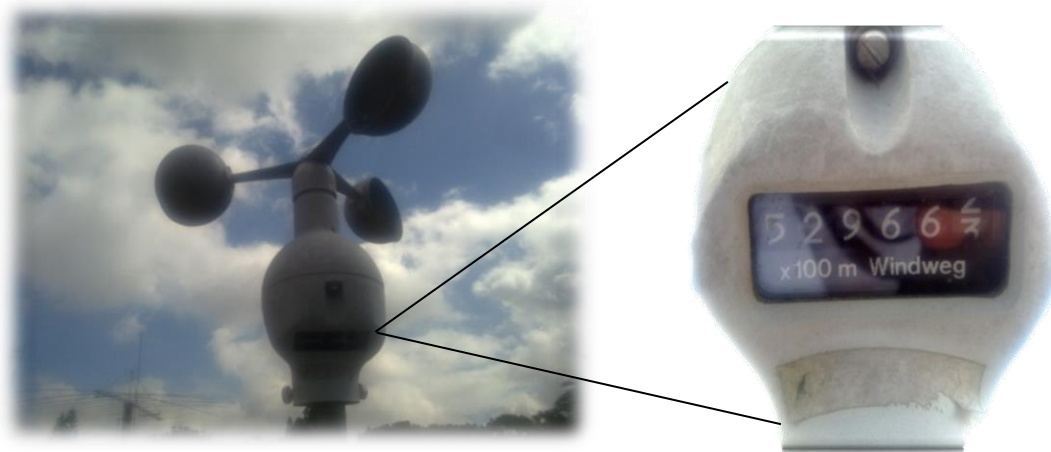
El pluviómetro es un instrumento que se emplea en las estaciones meteorológicas para la recogida y medición de la precipitación.

La cantidad de agua caída se expresa en milímetros de altura. El diseño básico de un pluviómetro consiste en una abertura superior (de área conocida) de entrada de agua al recipiente, que luego es dirigida a través de un embudo hacia un colector donde se recoge y puede medirse visualmente con una regla graduada o mediante el peso del agua depositada. Normalmente la lectura se realiza cada 12 horas. Un litro caído en un metro cuadrado alcanzaría una altura de 1 milímetro.



Anemómetro de Recorrido De Viento

Constituido por un molinete de tres o cuatro brazos, con su eje vertical; cada brazo de la cruz lleva en su extremo una cazoleta semiesférica o cónica, preferiblemente, hueca, dispuesta de modo que su borde circular se encuentra en un plano vertical, siendo el brazo su diámetro horizontal. Las cazoletas deben presentar su concavidad dirigida a un mismo sentido, a través de sus engranajes actúa un contador de vueltas que marca el recorrido total del viento.



Anemocinemógrafo

Este instrumento mide la velocidad y la dirección del viento, y está constituido por un anemómetro, anemógrafo y una veleta registradora



Veleta registradora: Indica la dirección del viento, lleva en un extremo un contrapeso terminado generalmente en punta de flecha, la cual apunta la dirección de donde viene el viento; en el otro extremo lleva dos paletas verticales que obligan a situarse al aparato en forma que la resistencia al flujo del aire sea mínima, esto es paralelamente a su dirección.

Anemógrafo: Constituido por un anemómetro de cazoleta y una veleta que van conectados a un mecanismo que registra la velocidad y dirección del viento.

Para la instalación de este aparato es en un terreno descubierto y libre de obstáculos, a 10 mts de la superficie del suelo.

Instructivo de la Práctica

Equipo

- Laptop

Material

- Lapicero
- Hojas en blanco
- Calculadora

Nota: Los materiales y equipo debe ser proporcionado por el estudiante.

Fundamento Práctico

Construir una estación meteorológica

Instrumento por realizar	Equipo y materiales
Termómetro	Alcohol al 70 % *
	Agua
	Un frasco cilíndrico transparente o una botella (las botellas delgadas funcionan mejor) *
	1 sorbete para beber*
	Plastilina (masilla)*
	Colorante para Alimentos o anilina*
	Hielo*
	Estufa eléctrica.
Veleta	Una etiqueta de cartón o una carpeta de papel manila*
	Un alfiler*
	Tijeras y/o navaja de papel*
	Goma*
	Un lápiz que tenga el borrador nuevo*
	Un sorbete para beber de plástico*
	Plastilina*
	Un plato de papel o de un material que sirva de base*
	Brújula

Anemómetro	4 vasos pequeños de papel, uno de diferente color o señalizado*
	4 sorbetes plásticas para beber*
	Cinta adhesiva*
	Tijeras y/o navaja de papel*
	Alfileres*
	Un lápiz con borrador nuevo*
	Engrapadora*
	Regla*
Pluviómetro	Una regla*
	Un envase de PET de 3 litros. *
	Piedras pequeñas*
	Tijeras y/o navaja de papel*
	Marcador permanente de punta fina*
	Cinta adhesiva transparente*
Barómetro	Un frasco de vidrio con boca ancha. *
	Un globo*
	Una liga o hule*
	Tijeras y/o navaja de papel*
	Un sorbete para beber*
	Tiras de cartulina*
	Pegamento fuerte*
	Regla y lapicero o lápiz*
	Caja de cartón del tamaño de una caja de zapatos*

* Este material debe ser proporcionado por el estudiante.

Procedimiento Construye un Termómetro

- Quita la etiqueta del frasco si la tiene.
- Quita la tapa y haz un hueco pequeño en la tapa (apenas para que quepa un sorbete).
- Vierte la misma cantidad igual de agua fría y alcohol para fricciones en el frasco o la botella, y llene aproximadamente 1/4 del envase.
- Añade dos o tres gotas de colorante para alimentos o anilina
- Cierra herméticamente el frasco. Si es necesario, puedes poner plastilina alrededor del cuello para asegurar para que la tapa ajuste más al cierre.
- Coloca la pajilla en el frasco o la botella de modo que el extremo del sorbete quede sumergido en el líquido pero que no toque el fondo del envase.
- Sella la parte superior de la botella con la plastilina de modo que tenga un sello hermético y que la pajilla quede derecha.
- Prueba tu termómetro:

- ✓ Recoge el frasco o la botella con tus manos y sostenlo por aproximadamente cinco (5) minutos. ¿Qué sucede?
- ✓ Coloca tu termómetro en un envase con agua fría. ¿Qué sucede?
- ✓ Coloca tu termómetro en un envase con agua caliente. ¿Qué sucede?

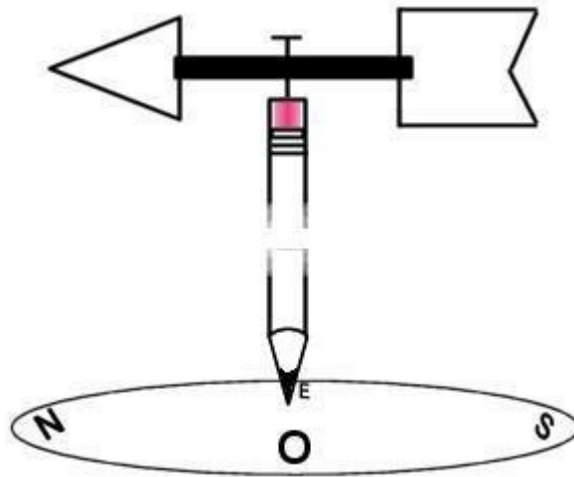


(Center for Innovation in Engineering and Science Education (CIESE), 2005)

Construye una Veleta

- a. Corta una punta de flecha de aproximadamente 4-5cm de largo.
- b. Corta una cola para la flecha de aproximadamente 7-8cm de largo.
- c. Haz cortes de 1cm en los extremos de cada pajilla.
- d. Mete la punta de flecha y la cola de la flecha en los cortes que hiciste en la pajilla.
- e. Mete un alfiler que atraviese la pajilla por la mitad; mete el extremo que sobresale en el borrador del lápiz.
- f. Mete la punta del lápiz en una base de plastilina.
- g. Marca las palabras norte, sur, este y oeste en el plato de papel.
- h. Coloca la base de plastilina en el plato de papel.

- i. Prueba tu Veleta: Sopla la veleta y asegúrate de que la flecha gira libremente.
- j. Coloque el plato de papel en una superficie plana y coloca la veleta sobre el plato.
- k. Use la brújula para mostrar dónde está el norte para que puedan colocar sus platos apuntando hacia esa dirección. Si tienen acceso a una superficie bituminosa, marque los puntos cardinales para que sea más fácil leer la dirección del viento.
- l. Observar la veleta. Si está haciendo mucha brisa, un estudiante debe sostener el plato de papel mientras que otro anota la dirección del viento. La flecha apuntará hacia la dirección desde la cual sopla el viento.
- m. Confirma la dirección en el plato de papel.



Construye un Anemómetro

- a. Este anemómetro tiene cuatro vasos que atrapan el viento y hacen que el anemómetro gire. La curva interna de los vasos recibe la mayor parte de la fuerza del viento. Esto es lo que hace que los vasos se muevan. Entre más vueltas da por minuto, mayor será la velocidad del viento.
- b. Arregla cuatro (4) pajillas de plástico para beber en forma de cruz y pégalas con cinta adhesiva en el centro.
- c. Engrapa la parte superior de un vaso, como los vasos pequeños de papel diseñados para dispensadores, a uno de los extremos de cada pajilla, de modo que los extremos abiertos de los vasos queden viendo en la misma dirección.
- d. Inserta un alfiler a través del centro de las pajillas y prénselo en el borrador al extremo del lápiz. Esto funciona como eje.

- e. Marca uno de los vasos; este será el que usen para contar las vueltas del anemómetro.
NOTA: Cuando usen este anemómetro, 10 vueltas por minuto significa que la velocidad del viento es de casi dos kilómetros por hora.
- f. Sopla el anemómetro o enciende un abanico eléctrico en la velocidad más baja para asegurarte de que gira con facilidad.
- g. Calcule la circunferencia del giro que da en una vuelta un vaso, esto se hace midiendo desde los centros de dos vasos en extremos opuestos; La fórmula es: $C = \pi d$, donde "C" representa la circunferencia del círculo y "d" representa su diámetro. En otras palabras, puedes hallar la circunferencia de un círculo simplemente multiplicando su diámetro por pi.
- h. Organícense en los siguientes papeles (opcional)
 - Un cronometrador, será responsable de cronometrar un minuto para cada prueba.
 - Un "contador" oficial para el día. Los otros pueden contar por su propia cuenta, pero las lecturas del contador serán las que se anotarán.
 - Un portador que sostendrá el anemómetro mientras cuenta las vueltas; el portador debe asegurarse de sostener el anemómetro de modo que el viento sople sin obstrucciones.
- i. Monte o sostenga el anemómetro en un lugar donde el viento tenga acceso completo desde todas las direcciones.
- j. Cuando el cronometrador diga "Ahora", el contador de cada grupo deberá contar cuántas veces pasa el vaso marcado por un punto y anotarlo.
- k. Si es posible, repita los cuatro (4) pasos anteriores y anote el número promedio de vueltas
- l. Multiplicaremos el número de vueltas por la circunferencia (en cm) y tendremos la velocidad del viento en centímetros por minuto.



Construye un Pluviómetro

- Quita la etiqueta del frasco.
- Empezamos cortando la parte superior de la botella, rellenamos unos centímetros la base de la botella con las piedrecitas de río. El objetivo es darle peso para evitar que vuelque.
- Sobre las piedras, echamos un poco de agua hasta el punto en el que termina la capa de piedras (este nivel será nuestro nivel 0 del registro de agua).
- Ahora, sobre la base colocamos la parte superior de la botella, pero invertida a modo de embudo, y la pegamos a la parte
- Finalmente, con la ayuda de la regla y el rotulador, hacemos unas marcas en la parte exterior de la botella, marcando los diferentes niveles. Partimos del nivel 0, que como dijimos será el borde donde acaban las piedras, y el resto de los niveles los marcaremos cada medio centímetro.
- Coloca el frasco afuera bajo la lluvia. Nota: el pluviómetro no debe colocarse cerca o debajo de un árbol o muy cerca de edificios que puedan bloquear la lluvia.
- Lee hasta donde llegó para determinar cuenta lluvia se recogió.
- Vacía el frasco después de cada uso.



Construye un Barómetro

- Corta un poco por debajo de la mitad de la parte angosta del globo.
- Cubre la parte superior del frasco con la parte cortada el globo de modo que quede herméticamente sellado y plano y usa la liga para mantenerlo en su lugar. **IMPORTANTE:** El sello debe ser hermético (si usa plástico para envolver, debes asegurarte de formar un sello hermético alrededor del borde del frasco)
- Ponga una pequeña cantidad de pegamento en el centro del globo. Con cuidado coloque de manera horizontal una punta del sorbete sobre el globo de modo que el

otro extremo sobresalga del borde del frasco. Sosténgalo hasta que el pegamento seque.

- d. Mientras se seca la goma, dobla un pedazo de cartón de modo que pueda sostenerse solo.
- e. Con cuidado, marca líneas dejando 0.5 cm entre ellas y escribe "Baja Presión" en la parte inferior y "Alta Presión" en la parte superior.
- f. Cuando termines, coloca el barómetro y la escala dentro de la caja de cartón del tamaño de una caja de zapatos de modo que el extremo de la pajilla con plastilina apenas llegue a la escala, pero sin tocarla. Pega con cinta el barómetro y la escala en su lugar para que no se muevan.
- g. Coloca el barómetro terminado y la escala en un lugar con sombra donde no haya cambios de temperatura (o sea, no lo pongas cerca de una ventana pues la luz solar afectará negativamente los resultados del barómetro).
- h. En tu cuaderno o en la tabla que está abajo, anota la fecha actual, la hora, las condiciones del tiempo y la presión atmosférica (o sea, el nivel al que apunta el extremo de la pajita en la escala)



(S. Seara, 2012), (Center for Innovation in Engineering and Science Education (CIESE), 2005)

Ejercicio

Haciendo uso del anemómetro llenar los siguientes datos:

No.	Intervalo de Tiempo	Número de Vueltas	Cm/min	Km/h
1				
2				
3				
4				
Promedio				

Haciendo uso del Barómetro llenar el siguiente cuadro:

Fecha	Hora	Condiciones del Tiempo*	Presión Atmosférica*

* Lluvioso, nublado, soleado, etc.

**usar el numero ubicado en el barómetro

Reportar

- **Registra tus medidas:** Por favor sigue las siguientes instrucciones.
 1. Temperatura: _____
(Solo colocar muy frio, frio, templado o cálido, según las observaciones)
 2. Viento: _____
(Calmado, ligero, etc.)
 3. Dirección del Viento: _____
(Norte, Noroeste, Oeste, Suroeste, etc.)
 4. Velocidad del Viento: _____
(Colocar el promedio de las observaciones; expresarlo en cm/min y en km/h)
 5. Tipo de Precipitación: _____
(Incluir el tiempo de compilación de la información - lluvia, llovizna, nieve, nada, etc.)
 6. Cantidad de Precipitación: _____ mm
(En la última hora)
 7. Presión atmosférica: _____ unidades
(Registra tus descubrimientos en las unidades marcadas en tu barómetro preparado en la clase)
 8. Condiciones del cielo: _____
(Observa afuera y utiliza uno de los términos comunes para describir la condición del cielo. Por ejemplo, claro, parcialmente nublado, cerrado, encapotado, etc.)

Desarrollo de la Práctica

Calcular los cambios climáticos máximos o mínimos que tiende el medio ambiente en la **Estación Flores, Aeropuerto Mundo Maya del Departamento de Petén**, a través de gráficas.



GRAFICO 1: PRECIPITACIÓN [mm]

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1990	143.300	13.400	22.300	111.600	195.000	207.400	136.000	139.600	237.100	141.200	260.800	114.400	1782.100
1991	71.000	21.500	0.400	59.400	74.300	88.000	81.800	209.200	287.400	177.200	157.700	227.100	1455.000
1992	119.900	55.400	17.400	58.200	51.700	87.200	113.900	191.600	422.000	312.000	99.000	118.600	1646.900
1993	62.600	13.700	22.600	133.000	27.800	69.300	120.800	151.300	230.500	304.300	160.700	71.200	1367.800
1994	105.300	24.800	27.400	80.800	60.000	112.800	163.000	165.600	204.600	112.600	78.900	23.400	1159.200
1995	72.000	7.200	0.400	175.000	4.000	204.900	212.200	167.400	299.800	313.700	54.900	123.300	1634.800
1996	24.500	5.300	41.600	164.600	75.400	195.300	334.600	170.200	64.200	192.400	233.500	108.900	1610.500
1997	97.600	93.200	19.000	103.600	107.000	203.200	277.200	124.700	242.200	65.000	217.000	59.800	1609.500
1998	66.400	6.000	3.000	28.800	202.400	108.600	114.200	195.300	167.800	240.400	216.000	107.400	1456.300
1999	22.400	57.600	9.200	71.700	38.600	206.800	374.600	180.000	218.200	251.100	209.300	---	1619.500
2000	22.200	5.900	27.000	24.000	212.000	190.900	199.100	408.900	421.100	389.300	58.500	215.300	2174.200
2001	26.900	38.600	156.800	117.400	182.800	271.100	163.400	180.400	331.900	321.100	107.200	152.400	2050.000
2002	106.500	186.200	90.000	10.000	54.800	413.600	154.600	278.300	323.100	221.000	151.400	114.800	2104.300
2003	34.500	6.200	56.900	5.200	128.400	371.000	202.400	262.100	241.000	292.100	437.700	47.500	2085.000
2004	82.900	99.900	69.700	33.000	286.900	266.300	297.500	185.900	255.600	199.300	166.600	91.700	2033.300
2005	47.500	---	75.800	86.800	98.200	252.200	204.900	310.700	346.000	125.100	107.300	10.800	1665.300
2006	51.700	1.800	---	24.000	---	---	270.800	386.500	322.000	---	---	---	1056.800
2007	117.100	9.600	44.400	13.000	45.000	286.700	173.200	264.800	306.800	252.000	171.600	44.000	1728.200
2008	71.100	15.400	61.300	67.200	291.100	284.200	180.400	120.200	451.700	741.100	8.000	40.500	2332.200
2009	156.200	54.500	33.200	0.000	111.800	161.200	206.000	268.600	229.400	106.600	224.400	0.000	1551.900
2010	53.400	85.800	86.100	90.600	268.600	433.200	224.700	432.800	397.000	159.200	233.800	66.000	2531.200
PROMEDIO	74.048	40.100	43.225	69.424	125.790	220.695	201.205	228.290	286.638	245.855	167.715	91.426	1745.524

Resumen precipitación por mes

Mes	Precipitación [mm]
Ene	74.048
Feb	40.100
Mar	43.225
Abr	69.424
May	125.790
Jun	220.695
Jul	201.205
Ago	228.290
Sep	286.638
Oct	245.835
Nov	167.715
Dic	91.426

Mayor: 286.638 mm en septiembre

Menor: 40.100 mm en febrero



Descripción del grafico

Precipitación

Con los datos obtenidos, y sacando promedio de los 20 años que tenemos de datos, podemos concluir que, con respecto a la precipitación, tenemos que el mes con más precipitación es en septiembre y donde hay menos precipitación es en febrero. El periodo que comprende de mayo a noviembre, se podría decir que es la época de lluvia, habiendo una caída entre junio y agosto. La época seca estaría dada en el periodo de enero a abril, con muy baja precipitación.

Ejercicio

Calcular los cambios climáticos máximos o mínimos que tiende el medio ambiente en la **Estación Flores, Aeropuerto Mundo Maya del Departamento de Petén**, a través de gráficas.

Ver en **Anexo** las siguientes tablas:

- **Temperatura Máxima**
- **Temperatura Mínima**
- **Temperatura Máxima Absoluta**
- **Temperatura Mínima Absoluta**

Reportar

1. Tablas, cálculos, gráficas y descripción de cada una.
2. Descripción sobre funcionamiento y finalidad de los siguientes aparatos meteorológicos:
 - Actinógrafo
 - Abrigo meteorológico
 - Higrómetro
 - Aspiropsicrómetro
 - Evaporímetro
 - Termohigrógrafo
 - Tanque de Evaporación
 - Geotermómetros

Esquemas de cada aparato meteorológico, donde se muestre con claridad cada uno de los componentes del mismo (**A mano**)

PRÁCTICA No. 2: ESTIMACIÓN DE DATOS FALTANTES Y ESTABLECIMIENTO DE LA CONSISTENCIA DE REGISTROS DE PRECIPITACIÓN PLUVIAL

Objetivo de la práctica

- Distinguir los diferentes métodos, en la estimación de datos faltantes y evaluación de su consistencia.
- Utilizar las metodologías específicas y conocer los criterios de uso de cada método para estimar datos faltantes: Promedio Aritmético, Proporción o Relación Normal, Correlación Lineal.
- Determinar e interpretar la gráfica de “ajuste de los valores de precipitación”, mediante el Análisis de Doble Masa para establecer la consistencia de los datos de precipitación.

Fundamento Teórico

Los datos de precipitación pluvial deben ser analizados y verificados antes de ser usados para un proyecto específico. Los datos faltantes también deben ser calculados y todos ellos deben extenderse a un periodo base de diseño.

Muchas estaciones de precipitación tienen intervalos cortos en los cuales, por uno y otro factor no tiene la información por faltas en la observación o por desperfectos de los aparatos registradores.

Por lo anterior, es necesario completar estos registros, para el periodo básico de diseño, por medio de la estimación de los datos faltantes; existiendo varios métodos para el cálculo de estos datos, como: Promedio Aritmético, proporción o Relación Normal, correlación Lineal, Análisis Doblemente Acumulativo o Curva de Doble Masa.

Adicionalmente a esto, se debe establecer la consistencia de los datos de precipitación, es decir, determinar si la distribución es adecuada para estimar posteriormente parámetros hidrológicos.

Promedio aritmético

Este método toma en cuenta el procedimiento utilizado por U.S. Weather Bureau de los Estados Unidos, que consiste en que las cantidades de precipitación se estiman a partir de las observaciones realizadas por lo menos en tres estaciones cercanas, espaciadas en lo posible, y situadas uniformemente alrededor de la estación cuyo registro no existe. Si la precipitación normal anual de cada una de las estaciones índice está dentro de un 10% de la estación para la cual el registro no existe, un promedio aritmético simple de la precipitación en las estaciones índice da un estimativo adecuado.

Las estaciones índices, mencionadas, no son nada más que las estaciones que si tienen sus datos completos de precipitación y que se encuentran dentro de la cuenca.

Las estaciones A, B, y C son denominadas índices, para su uso en la determinación de los datos faltantes de la estación X. En el caso en que la precipitación normal anual de las estaciones índices (promedios anuales en un periodo de 10 o más años), difieren solamente de un 10% con relación a la estación bajo estudio X, entonces la precipitación P_x , para un periodo dado, puede obtenerse mediante un simple promedio aritmético, así:

$$P_x = \frac{P_A + P_B + P_C}{3}$$

Cuando la variación es mayor de 10% este método no debe usarse y en su defecto, el dato faltante puede calcularse por uno de los otros métodos.

Ejemplo:

ESTACION	PP (mm)	N (PRECIPITACIÓN NORMAL ANUAL) mm	} Diferencia < de 10%
A	100	1000	
B	90	950	
C	120	990	
D	x	910	

$$P_x = \frac{P_A + P_B + P_C}{3}$$

$$P_x = \frac{100 + 90 + 120}{3} = \frac{310}{3} = 103.33 \text{ mm}$$

Por lo tanto, el DATO FALTANTE (PX) es: 103.33 mm

Método de proporción o relación normal

En este método el índice de precipitación estará sopesado por los valores de las relaciones entre la precipitación normal en cada estación y la estación x a considerar, es decir:

$$PX = \frac{1}{n} \left[\frac{NX}{NA} PA + \frac{NX}{NB} PB + \frac{NX}{NC} PC \right]$$

ó:

$$PX = \frac{NX}{n} \left[\frac{PA}{NA} + \frac{PB}{NB} + \frac{PC}{NC} \right]$$

Dónde: PX = Dato faltante de precipitación que se desea obtener.

NA, NB, y NC = Precipitación normal anual de las estaciones índices.

PA, PB y PC = Precipitación en las estaciones índices durante el mismo periodo de tiempo del dato faltante.

Nx= Precipitación normal anual de la estación en estudio.

N: número de estaciones vecinas

Cuando se va a usar esta fórmula, es conveniente verificarla primero para algunos periodos de tiempo donde existen valores de precipitación para la estación X, antes de adoptarla sin reserva.

Ejemplo:

En un área se tiene cuatro estaciones pluviométricas, de las cuales no existen datos para las estaciones B y D para los años 1988 y 1987 respectivamente. Por lo tanto, determinar los datos de lluvia o rellenar el registro de la Tabla.

ESTACIÓN	PRECIPITACIÓN ANUAL (mm)								
	AÑO	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
A		1312	980	1210	1000	1100	890	950	875
B		1400	1240	1290	X	1285	1000	1175	1085
C		1100	888	1400	1500	1300	900	1190	895
D		1300	963	X	1230	1320	940	1400	1100

$$N_A = \frac{1312 + 980 + 1210 + 1000 + 1100 + 890 + 950 + 875}{8} = 1039.62$$

$$N_B = \frac{1400 + 1240 + 1290 + 1285 + 1000 + 1175 + 1085}{7} = 1210.71$$

$$N_C = \frac{1100 + 888 + 1400 + 1500 + 1300 + 900 + 1190 + 895}{8} = 1146.63$$

$$N_D = \frac{1300 + 963 + 1230 + 1320 + 940 + 1400 + 1100}{7} = 1179.0$$

$$PP_B (88') = \frac{1}{3} \left[\left[\frac{1210.71}{1039.62} \times 1000 \right] + \left[\frac{1210.71}{1146.63} \times 1500 \right] + \left[\frac{1210.71}{1179.00} \times 1230 \right] \right]$$

$$PP_B (88') = 1337.16 \text{ mm.}$$

$$PP_B (87') = \frac{1}{3} \left[\left[\frac{1179.00}{1039.62} \times 1210 \right] + \left[\frac{1179.00}{1210.71} \times 1290 \right] + \left[\frac{1179.00}{1146.63} \times 1400 \right] \right]$$

$$PP_B (87') = 1356 \text{ mm}$$

Método de correlación lineal

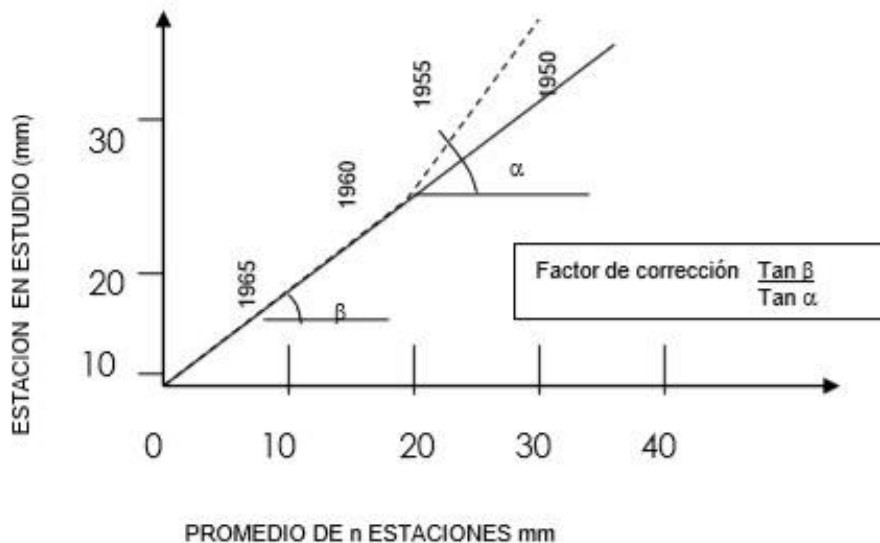
Este método permite el cálculo de los datos faltantes estableciendo una relación entre una estación y otra, o entre una estación y un grupo de ellas o su promedio, requiriéndose para ello el trazado de la línea o plano que mejor se ajuste a los datos existentes, para un periodo común de registro para ambas variables.

Con los datos del periodo común de mediciones para ambas variables se calcula, grafica, la línea o plano que mejor se ajuste a las condiciones. Una vez establecido el gráfico, los datos faltantes pueden calcularse a partir de datos existentes para el mismo periodo de tiempo.

Análisis doble masa

Los cambios en la localización de un pluviómetro, exposición, instrumentación, o procedimiento observacional, pueden con llevar un cambio relativo en la cantidad captada por el pluviómetro. Frecuentemente estos cambios no son claros en los registros publicados. El análisis de doble masa es un método usado en muchos tipos de datos hidrológicos para determinar la consistencia de los mismos, mediante la comparación de los datos de la estación o grupo de estaciones que se toman como patrón. Compara la precipitación acumulada bien sea anual o estacional, con valores concurrentes acumulados de precipitación media para un grupo de estaciones localizadas en los alrededores.

El análisis de doble masa, es un método usado en muchos tipos de datos hidrológicos para determinar la consistencia de los mismos, mediante la comparación de los datos de la estación bajo estudio, con aquellos de otra estación o grupo de estaciones que se toman como patrón. Para ello se hace un gráfico cartesiano, llevando sobre un eje los valores acumulados de la estación en estudio y sobre el otro los valores acumulados del patrón. Se observa que los datos se alinean en una recta, pero a veces puede producirse un cambio de pendiente que es lo que constituye una inconsistencia de los datos. Para poder asimilar los datos recogidos después del quiebre con los del periodo más reciente, se ajusta el periodo más antiguo según la razón de las pendientes como se observa en la figura siguiente.



Como los puntos generalmente presentan ondulaciones periódicas respecto a la recta media, un cambio de pendiente solo debe aceptarse cuando queda bien evidente. Cuando este ocurre, deben hacerse mayores investigaciones, a fin de conocer la verdadera razón de la inconsistencia y poder así evaluar su efecto sobre los datos de la estación en estudio. Si el cambio de pendiente no está acorde con el resultado de los estudios de la investigación, no se harán ajustes a los datos observados.

Este análisis también puede hacerse relacionando caudales con precipitaciones. En este caso, las inconsistencias pueden resultar por el comienzo del funcionamiento de una obra de derivación o por un cambio en el uso de los suelos. También puede aplicarse relacionando caudales de una estación con el promedio de los caudales de otras estaciones. Aquí las inconsistencias pueden resultar por un cambio en el régimen de escurrimiento o de las características del lecho fluvial.

El estimado de un dato inconsistente puede llevarse a cabo usando la siguiente ecuación:

$$P_{cx} = \frac{M_a}{M_x} * P_x$$

Dónde: P_{cx} = Precipitación corregida en cualquier tiempo t_1 en la estación X.

P_x = Registro original de la estación X en el tiempo t_1 .

M_x = Pendiente de la curva para la estación x.

M_a = Pendiente de la curva para la estación A.

Está claro que las pendientes de las dos curvas necesarias para el cálculo se obtienen de graficar cada una de las estaciones contra un grupo de estaciones adyacentes.

Ejemplo:

Como ejemplo se tiene el análisis de consistencia de datos de la estación D que se presenta en la Tabla, con años de registro desde 1985 hasta 1992, ya que se cree que en los últimos años el pluviógrafo se dañó y ha estado reportando datos falsos.

En primer lugar, se tiene que acumular los datos de precipitación de la estación problema (Estación D) y los de la estación patrón, que en este caso es la Estación A, ya que es una estación confiable, en donde se tiene un pluviógrafo y un observador calificado.

Año	Precipitación Observada (mm)		Precipitación acumulada (mm)	
	ESTACIÓN D	ESTACIÓN A	ESTACIÓN D	ESTACIÓN A
1985	1300	1312	1300	1312
1986	963	980	2263	2292
1987	1356	1210	3619	3502
1988	1230	1000	4849	4502
1989	1320	1100	6169	5602
1990	940	890	7109	6492
1991	1400	950	8509	7442
1992	1100	875	9609	8317

En la figura se observa la inconsistencia de los registros a partir del año 1991. Siendo la pendiente correcta m_1 la más larga en este caso, desde el año 1985 hasta el 1990, la pendiente m_2 la más corta, desde 1990 hasta 1992.

A continuación, se muestra el ajuste de los datos a las condiciones actuales:

$P_{ajustada} = \text{Factor de corrección} * P_{observada}$

$\text{Factor de corrección} = m_1/m_2$

$F_c = 1.10 / 1.37 = 0.80$

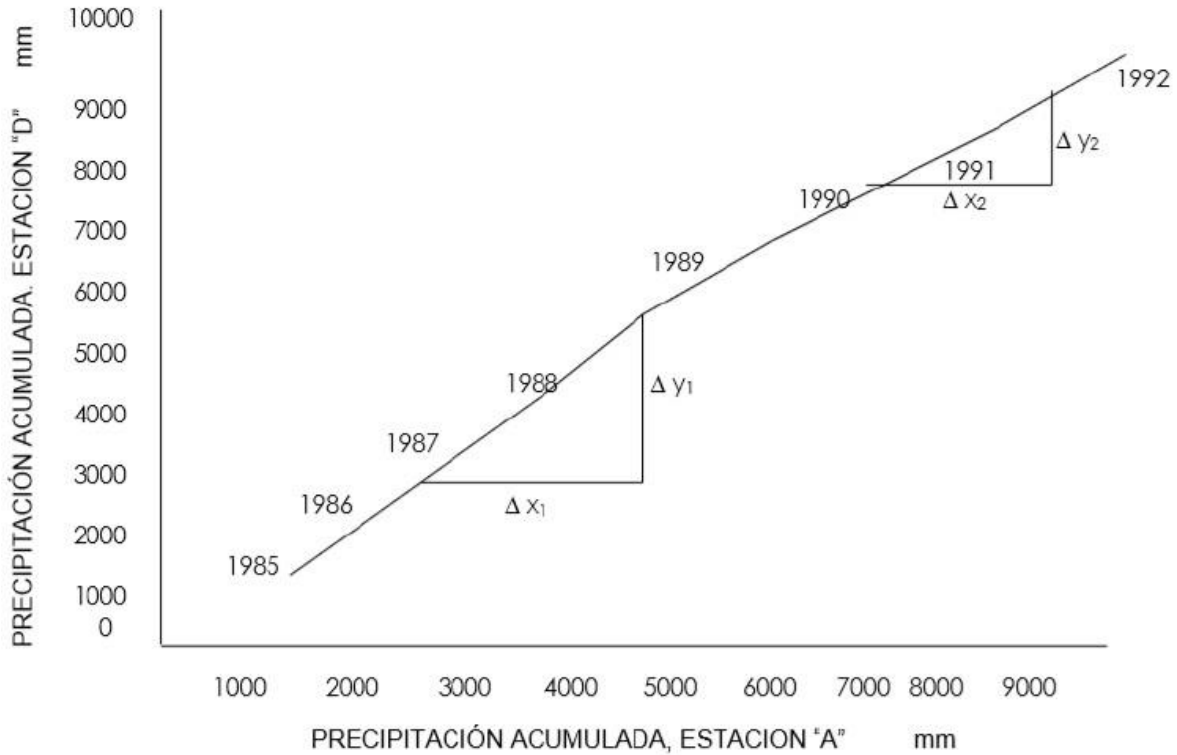
$M_1 = 7109 / 6492 = 1.095$

$M_2 = (9609 - 7109) / 8317 - 6492 = 1.37$ 1992 9000

$F_c = m_1/ m_2 = 1.1/1.37 = 0.8$

$P_{ajustada} (91') = 0.80 \times 1400 = 1,120$

$P_{ajustada} (92') = 0.80 \times 1100 = 880$



Precipitaciones ajustadas para la estación "D"

$$P \text{ ajustada } (91') = 0.80 \times 1400 = 1,120 \text{ mm}$$

$$P \text{ ajustada } (92') = 0.80 \times 1100 = 880 \text{ mm}$$

Por lo tanto, los nuevos valores anuales de precipitación pluvial de la estación "D" son para el año 1991: 1,120 mm y no 1,400 mm; mientras que para el año 1992: 880 mm y no 1,100 mm.

Estos nuevos valores de la estación "D", nos dan precipitaciones acumuladas de 8,229 mm (1991) y de 9,109 mm (1992), con lo que se tiene una recta a lo largo del periodo de 1985 a 1992, es decir, una distribución consistente.

Instructivo de la Práctica

Equipo

- Laptop
- Mouse

Material

- Lapicero
- Tabla para apuntes
- Hojas en blanco
- Calculadora

Nota: Los materiales y equipo debe ser proporcionado por el estudiante.

Desarrollo de la Práctica

En un área se tiene cuatro estaciones pluviométricas, de las cuales no existen datos para las estaciones A y D para los años 1987 y 1989 respectivamente. Por lo tanto, determinar los datos de lluvia o rellenar el registro de la tabla por el método de proporción (relación normal)

ESTACIÓN								
PRECIPITACIÓN ANUAL (mm)								
AÑO	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
A	1212	890	X	1021	1100	980	955	857
B	1250	1390	1280	1254	1295	1000	1187	1098
C	1150	987	1350	1550	1200	800	1290	859
D	1355	936	1414	1257	X	940	1400	1164

Reportar

- Tabla
- Memoria de cálculo por el método de proporción

PRÁCTICA No. 3: AFORO

Objetivo de la práctica

- Determinar el caudal de un canal por el método de “**velocidad superficial**”

Fundamento Teórico

La elección de la fuente de abastecimiento de agua ya sea superficial, subterránea o de aguas lluvias, debe cumplir requisitos mínimos de cantidad, calidad y localización.

Cantidad

En el caso de una fuente de abastecimiento no regulada, ésta debe tener un caudal superior al caudal de diseño en cualquier época del año, de manera que se pueda garantizar un suministro continuo. Se debe, entonces, realizar estudios hidrológicos que permitan establecer las curvas de duración de caudales para corrientes superficiales, o pruebas de equilibrio para fuentes subterráneas.

Calidad

En la naturaleza no se encuentra por lo general agua con una calidad aceptable para el consumo humano y se hace necesario su tratamiento. Se debe procurar que la calidad física, química y bacteriológica del agua cruda permita un tratamiento relativamente económico.

Localización

La fuente debe estar ubicada en un punto tal que su captación y conducción resulten técnica y económicamente factibles. Adicionalmente se debe tener en cuenta para su localización los dos factores anteriores.

Evaluación de la cantidad de agua

Para evaluar el caudal de una corriente superficial, se debe acudir a los registros hidrométricos de la cuenca o hacer mediciones directas en el campo. En el caso de aguas subterráneas se deben hacer pozos de prueba y pruebas de bombeo y equilibrio para determinar la capacidad del acuífero y del pozo. Para la realización de mediciones directas en corrientes superficiales se utiliza cualquiera de los métodos citados a continuación que se ajuste a las características de la corriente:

1. Medidor Parshall
2. Vertederos
3. Velocidad superficial
4. Correntómetros
5. Estaciones de aforo
6. Trazadores químicos

Velocidad Superficial

Este método puede ser empleado en canales o corrientes superficiales de sección más o menos constante en un tramo recto, donde es posible suponer un flujo uniforme.

Al soltar el flotador en la sección 1 indicada en la figura (a) y medir el tiempo necesario para llegar a la sección 2, se puede calcular la velocidad superficial mediante la siguiente expresión:

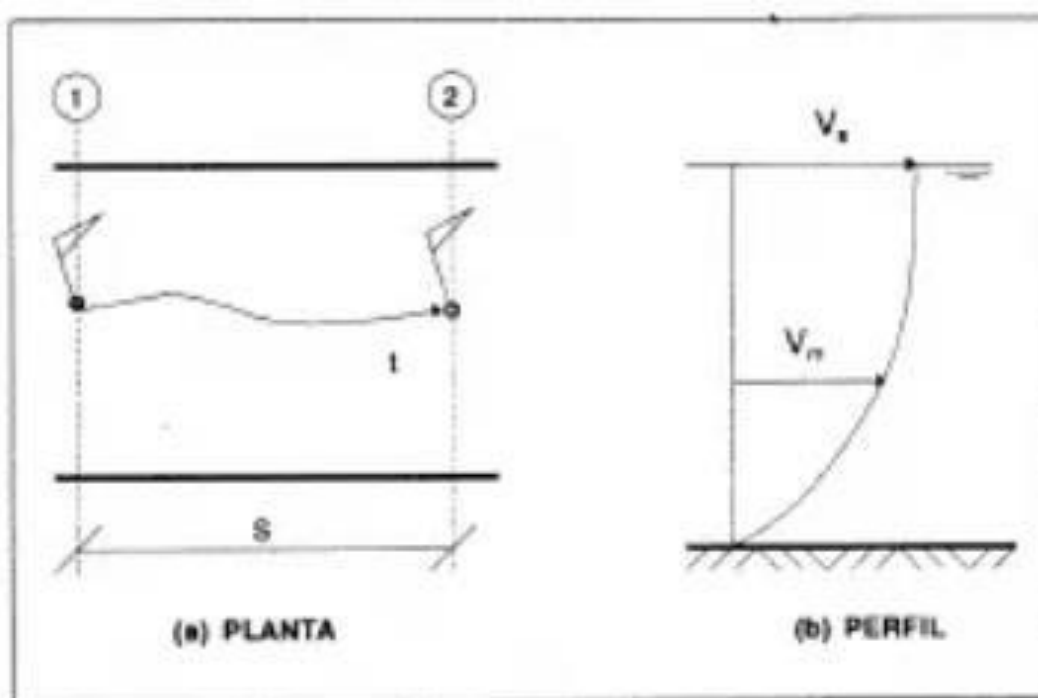
$$V_s = S/t$$

La velocidad media se encuentra por debajo de la superficie libre (ver figura (b)), y vale aproximadamente el 80% de la velocidad superficial.

$$V_m = 0.8 V_s$$

Conocida la sección hidráulica del canal, se calcula el caudal a partir de la ecuación de continuidad. Este método está sujeto a errores debido a la velocidad del viento a secciones no uniformes de la corriente.

Figura. (a) Medición de la velocidad superficial. (b) Distribución de velocidades en la vertical



Instructivo de la Práctica

Equipo

- Flotador
- Cinta Métrica
- Cronómetro

Material

- Lapicero
- Tabla para apuntes
- Hojas en blanco
- Calculadora

Nota: Los materiales y equipo debe ser proporcionado por el estudiante.

Desarrollo de la Práctica

- Calcular el caudal de un canal por el método de velocidad superficial en L/s.
 - $Q_{\text{fuente}} = \text{Área} * \text{Velocidad}$
 - $\text{Área} = \text{Ancho (sección del canal)} * \text{Tirante (y)}$



Reportar

- Cálculo del caudal del canal por el método de velocidad superficial.

PRÁCTICA No. 4: DETERMINACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA

Objetivo de la práctica

- Reconocer la forma de aplicación y uso de los diferentes métodos de determinación de la precipitación media.
- Presentar los métodos y la forma de cálculo de cada uno de ellos: el Promedio Aritmético, Polígonos de Thiessen, Curvas de Isoyetas
- Describir las limitantes de uso de cada uno de los métodos para el cálculo de la precipitación media.

Fundamento Teórico

En muchos tipos de problemas hidrológicos es necesario determinar la precipitación promedio sobre un área específica, para una tormenta específica o para un periodo de tiempo dado por ejemplo en base anual. Y después de conocer el valor correcto de la precipitación media en el área, se pueden realizar determinaciones importantes como, balances y modelos hidrológicos, muy necesarios en el manejo de cuencas hidrográficas.

La precipitación media, se determina específicamente para un área determinada o en el mejor de los casos para una cuenca hidrográfica específica, procurando tomar los datos de precipitación lo más correctamente posible para que no se tengan datos falsos, es decir, que debe establecer previamente la consistencia de los registros de precipitación.

Posteriormente, utilizando el método más adecuado a las condiciones de topografía y distribución de pluviómetros. Los cuales pueden ser factores limitantes para el buen funcionamiento de algunos métodos, se podrá estimar la precipitación media en un área en particular.

Existen varios métodos para calcular la lluvia media caída sobre un área conocida, dentro de los cuales están los siguientes:

- A. La Media Aritmética o Promedio Aritmético
- B. El Método de Thiessen o Polígonos de Thiessen
- C. El Método de las Isoyetas o Curvas Isoyetas

Estos métodos dan un resultado que puede ser expresado en mm, cm o pulgadas de lluvia caída por un área específica, siendo los mm la dimensional más usada en los países latinoamericanos.

Promedio Aritmético

Este método es el más simple pero el más inseguro de todos, que da unos buenos estimativos en áreas planas, si los pluviómetros están distribuidos uniformemente y el valor captado por cada uno de los pluviómetros no varía mucho a partir de la media. Estas limitaciones se pueden prever si las influencias topográficas y la representatividad del área se consideran en la selección de los sitios en los cuales se van a ubicar los pluviómetros.

El método de Promedio Aritmético consiste sencillamente en igualar la precipitación media caída sobre una cuenca al promedio aritmético de las lluvias registradas en los pluviómetros de la zona, o mejor dicho como su nombre lo indica, es el resultado obtenido al dividir la suma de las profundidades de agua caída de los registros de todas las estaciones pluviométricas, por el número de estaciones.

Por lo tanto, se deben considerar los valores de precipitación pluvial de las estaciones dentro y en límite de un área analizada o de una cuenca y no tomar en cuenta los valores de las estaciones circundantes que no caigan dentro del área considerada.

Si las estaciones están uniformemente distribuidas en la cuenca y la lluvia varía de una manera regular, el resultado obtenido por este método no difiere gran cosa del resultado obtenido por otro cualquiera. Sin embargo, como esta condición rara vez se cumple, el uso de este método no se recomienda, excepto para cálculos muy preliminares.

Por lo anterior, este método solo es aplicable a zonas planas donde las estaciones presenten una distribución uniforme y donde las lluvias registradas por cada pluviómetro no difieran mucho entre sí. También se necesitan condiciones homogéneas, donde no haya variabilidad de altura y diferencias de precipitaciones significativas.

La fórmula general de este método, es la siguiente:

$P_m = (P_1 + P_2 + \dots + P_n) / n$ Donde:

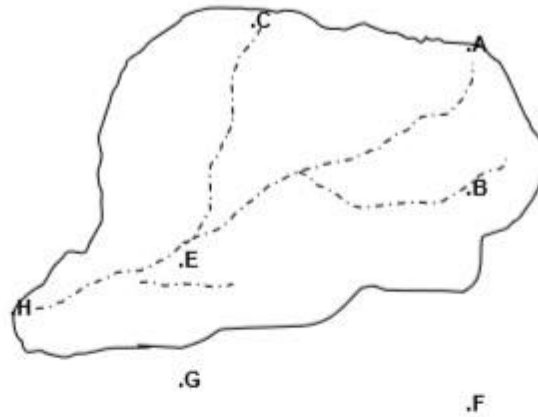
P_m = Precipitación Media

P_1, P_2, P_n = Precipitación de los pluviómetros n

n = Cantidad de pluviómetros con lecturas.

Ejemplo:

Determinar la precipitación media, de acuerdo con los valores de precipitación sobre una cuenca, como se muestran en la figura y el cuadro siguiente:



ESTACIÓN	PRECIPITACIÓN NORMAL ANUAL (mm)
A	800
B	1000
C	1470
D	1500
E	1750
F	1400
G	2000
H	2480
I	2150

Para el cálculo de la precipitación media hay que recordar que solo deben tomarse en cuenta los valores de precipitación de las estaciones que se encuentran dentro y en el límite de la cuenca o sea en este caso, las estaciones: A, B, C, E y H.

$$P_m = (800 + 1000 + 1470 + 1750 + 2480) / 5$$

$$P_m = 7,500 / 5$$

$$P_m = 1,500 \text{ mm}$$

Método de los Polígonos de Thiessen:

Este método es aplicable a zonas con una distribución irregular de estaciones y donde los accidentes topográficos no jueguen un papel importante en la distribución de las lluvias.

El método de Thiessen trata de tener en cuenta la no uniformidad en la distribución de los pluviómetros mediante un factor de ponderación para cada uno de ellos.

La precipitación media se determina como sigue:

- A. Se dibuja la zona en estudio con la ubicación exacta de las estaciones que contiene las circunvecinas.
- B. Se trazan las mediatrices (líneas perpendiculares bisectrices a las líneas de unión) de todos los lados, con lo que se formarán unos polígonos alrededor de cada estación se mide el área de otro método, y se expresa como un porcentaje del área total y su relación con el área total produce un coeficiente de ponderación para cada estación. Para el trazo de las mediatrices, existe una regla: "Tienen prioridad las mediatrices de las líneas de unión más cortas", por lo tanto, las mediatrices de las líneas de unión más largas se consideran a veces.
- C. La lluvia media resulta de la sumatoria de los productos de las lluvias registradas en cada estación por el coeficiente de ponderación correspondiente, o como un promedio aritmético ponderado de acuerdo con las Áreas (A_i) de cada polígono, dándose por las siguientes formulas:

$$P_m = ((P_1 \times A_1) + (P_2 \times A_2) + (P_3 \times A_3) + \dots + (P_n \times A_n)) / A_T$$

Simplificando:

$$i=n$$

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_i \times A_i}{A_T}$$

Donde:

P_m = Precipitación media

P_i = Precipitación de cada estación contenida en un polígono.

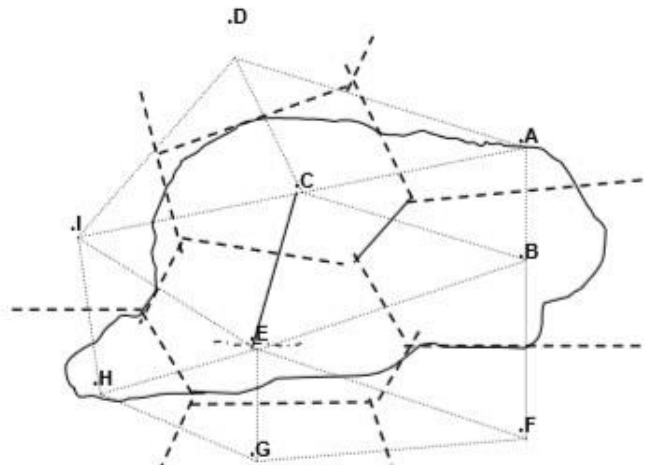
A_i = Áreas parciales de cada polígono

A_T = Área total de la cuenca

La superficie de cada uno de estos polígonos, forman los factores A_i de ponderación de la fórmula y se mantienen invariables para una determinada cuenca mientras todas las estaciones aporten ininterrumpidamente sus datos. De esta manera se facilita el cálculo, pues basta multiplicar la precipitación caída durante un cierto intervalo de tiempo en un punto por el factor de ponderación de este punto o estación y sumarla a las estaciones restantes dividiendo finalmente la suma de estos productos por la superficie total de la cuenca. Para la determinación de los polígonos se aprovechan también las estaciones que están fuera de la cuenca, pero cerca de ella. Cuando en este caso se extienden los polígonos fuera del área considerada, se ocupa solo la parte del polígono que queda dentro de la cuenca.

Los resultados son por lo general más exactos que aquellos obtenidos por un simple promedio aritmético. La mayor limitación del método de Thiessen es su poca flexibilidad, puesto que se requiere un nuevo diagrama cada vez que hay un cambio en la red. El método tampoco tiene en cuenta influencias orográficas. En realidad, el procedimiento de Thiessen simplemente supone una variación lineal de la precipitación entre las estaciones y asigna un segmento del área a la estación más cercana.

Ejemplo: Determinar la precipitación media por el método de los polígonos de Thiessen, para la cuenca estudiada.



ESTACIÓN	PRECIPITACIÓN NORMAL ANUAL (mm) "P _i "	AREA PARCIAL (Km ²) "A _i "	% AREA	PRECIPITACIÓN PONDERADA (P _i x %A)	PP X AREA (P _i x A _i)
A	800	14.0	18.54	14832.0	11,200
B	1000	14.5	19.21	19210.0	14,500
C	1470	17.7	23.44	34456.8	26,019
E	1750	15.8	20.93	36627.5	27,650
H	2480	7.0	9.27	22989.6	17,360
I	2150	6.5	8.61	18511.5	13,975
SUMATORIA		75.5	100%	146627.4	110,704

$$P_m = PP \text{ pnd.} / 100 = 146,627.4 / 100 = 1466.3 \text{ mm}$$

$$P_m = \sum P_i \times A_i / AT = 110,704 / 755 = 1466.3 \text{ mm}$$

Método de las Curvas Isoyetas:

Es el método más exacto para promediar la precipitación sobre un área, donde la localización de las estaciones y las cantidades de lluvia se grafican en un mapa adecuado y sobre este se dibujan las líneas de igual precipitación (isoyetas).

Este método consiste en trazar curvas de igual precipitación para un periodo elegido. Los intervalos de profundidad de precipitación y de incremento de tiempo se toman de acuerdo con la necesidad del problema.

Las curvas isoyetas son líneas que unen puntos de igual cantidad de lluvia. Estas líneas se trazan interpolando los datos puntuales dados por los distintos pluviómetros con una técnica similar a la utilizada en topografía, y de acuerdo a las condiciones locales de la cuenca.

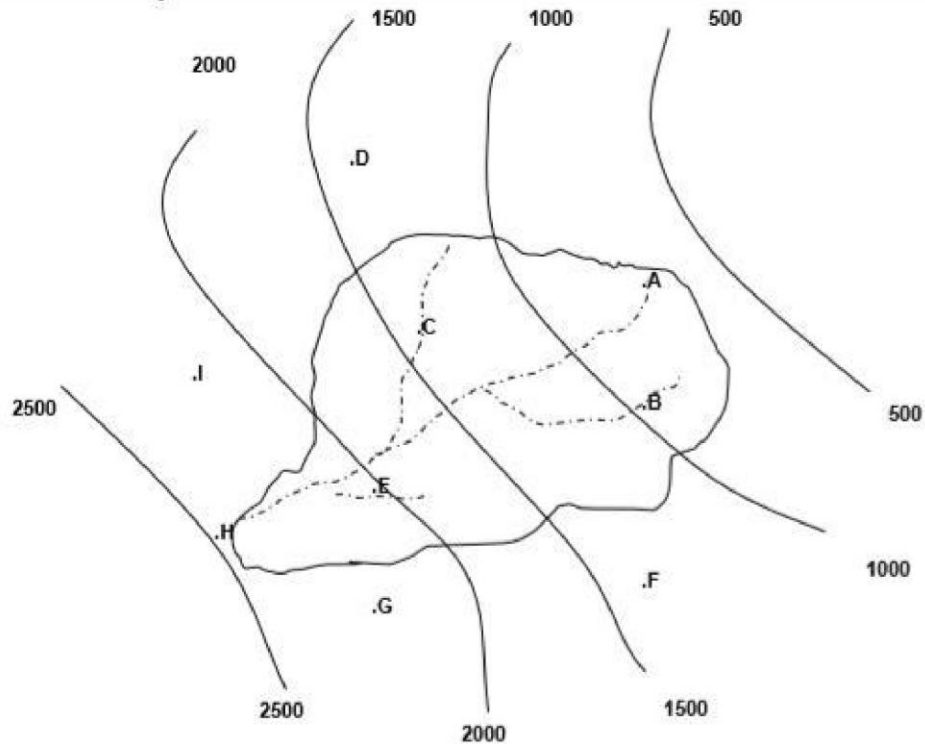
El trazado de las isoyetas debe considerar la variación de la precipitación con la altura y las condiciones sinópticas de la zona. Por medio de la planimetría se determina el área entre dos curvas isoyetas contiguas, y multiplicando por el valor de la isoyeta intermedia se define la cantidad de lluvia entre las dos isoyetas contiguas. La precipitación media para el área se calcula ponderando la precipitación media para el área se calcula ponderando la precipitación entre isoyetas sucesivas (por lo general tomando el promedio de dos valores de las isoyetas) por el área de las isoyetas, totalizando estos productos y dividiendo este por el área total.

El cálculo de las áreas como ya se indicó puede realizarse con el planímetro o pasando franjas de papel o superponiendo el mapa a un papel milimetrado (método de la cuadrícula).

Para trazar las isoyetas, se recomienda superponer la cuenca a un mapa con curvas de nivel, para tener en cuenta el efecto de la orografía, pues de otra forma no se diferencia mayormente de recurrir a interpolaciones lineales, sobre todo cuando se trabaja en zonas montañosas. Este método es el más preciso cuando el análisis de las curvas se hace debidamente.

El método de las isoyetas permite el uso y la interpretación de toda la información disponible y se adapta muy bien para discusión. En la construcción de un mapa de isoyetas, el analista puede utilizar todo su conocimiento sobre los posibles efectos orográficos y la morfología de la tormenta: en este caso el mapa final debe representar un patrón mucho más real de la precipitación que aquel que se puede obtener utilizando únicamente las cantidades medidas. La exactitud del método de las isoyetas depende en gran parte de la habilidad del analista. Si se utiliza una interpolación lineal entre estaciones, el resultado será esencialmente el mismo que se obtiene utilizando el método de Thiessen. Además, un análisis inadecuado puede conducir a errores considerables.

Ejemplo: Determinar la precipitación media de la cuenca en estudio por el método de las Isoyetas.



ISOYETAS	ÁREA NETA o PARCIAL (Km ²) A _i	PRECIPITACIÓN MEDIA (mm) (P _i)	AREA x PRECIP. MEDIA (A _i x P _i)
2000 – 2500	14.0	2,250	31,500
1500 – 2000	20.0	1,750	35,000
1000 – 1500	27.0	1,250	33,750
500 – 1000	14.5	750	10,875
SUMATORIA	75.5		111,125

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \times P_i}{\sum A_i}$$

$$P_m = \frac{111,125}{75.5}$$

$$P_m = 1,471.85 \text{ mm} = 1,472 \text{ mm}$$

Instructivo de la Práctica

Equipo

- Laptop
- Mouse

Material

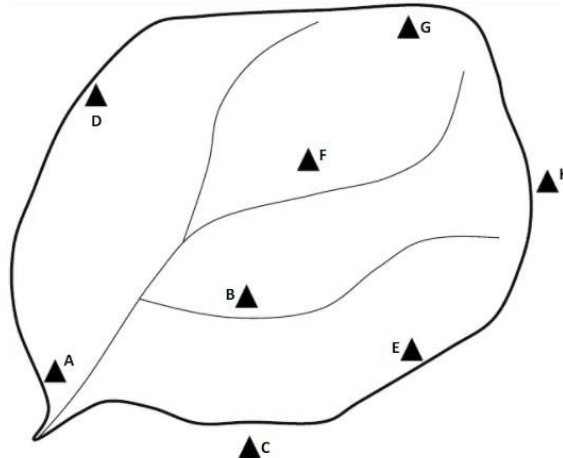
- Lapicero
- Tabla para apuntes
- Hojas en blanco
- Calculadora

Nota: Los materiales y equipo debe ser proporcionado por el estudiante.

Desarrollo de la Práctica

Determinar la distribución de la precipitación media de la cuenca en estudio por el método de las Isoyetas (cada 10 mm)

Estaciones	Altitud (msnm)	Precipitación anual (mm)
A	35	10
B	350	60
C	500	40
D	950	80
E	1250	90
F	2500	120
G	3500	150
H	4500	130



Mapa de las cuencas con sus estaciones pluviométricas

BIBLIOGRAFIA

- ABATZOGLOU, J. S. (2018). *Terraclimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015*. Obtenido de <http://www.climatologylab.org/> : <http://www.climatologylab.org/terraclimate.html>
- APARICIO MIJARES, Francisco Javier, Fundamentos de Hidrología de Superficie, Editorial Limusa.
- Center for Innovation in Engineering and Science Education (CIESE). (2005). *Cielo Azul*. Obtenido de <http://www.ciese.org/>:
<http://www.ciese.org/curriculum/weatherproj2/es/index.shtml>
- Desert Research Institute, University of Idaho; University of California Merced; Google Faculty Research award White House Climate Initiative. (s.f.). *climateengine*. Obtenido de climateengine: <http://climateengine.org/>
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. (s.f.). *INSIVUMEH*. Obtenido de <https://insivumeh.gob.gt/>
- LINSLEY RAY, Kohler Max y Paulus Joseph, Hidrología para Ingenieros, Editorial McGraw-Hill.
- LOPEZ CUALLA, Ricardo Alfredo; Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados. Centro Editorial, Escuela Colombiana de Ingeniería, 1995.
- MONSALVE SÁENZ, Germán, Hidrología en la Ingeniería, Editorial Alfaomega S.A.
- REYES TRUJILLO, Ulises Fabián y Carvajal Yesid, Guía básica para la caracterización de cuencas hidrográficas. Santiago de Cali: Programa editorial Universidad del Valle, 2010.
- SOTO TOCK, Carlos José, Manual de Laboratorio de Hidrología, Tesis de graduación año 1993. Faculta de Ingeniería, USAC.
- Organización Meteorológica Mundial, Guía de Prácticas Hidrológicas, OMM-No 168.

ANEXO

PRÁCTICA No. 1: ESTACIÓN METEOROLÓGICA

GRAFICO 2: TEMPERATURA MAXIMA [°C]

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1990	28.8	30.4	31.6	34.7	35.2	32.3	32.7	32.5	32.3	30.9	28.1	27.8
1991	29.1	30.1	34.9	36.0	36.7	35.3	34.1	33.1	32.0	31.2	28.0	27.7
1992	27.6	29.4	32.6	33.8	33.9	34.8	32.9	32.7	32.0	30.5	29.8	28.6
1993	29.2	30.0	32.8	34.5	35.1	34.4	33.2	32.3	32.0	31.5	29.1	28.2
1994	28.0	30.4	31.9	34.4	35.7	33.7	33.6	33.2	31.6	32.4	30.1	29.3
1995	29.5	31.1	34.2	35.5	37.6	33.8	32.5	33.2	32.1	30.3	30.0	28.2
1996	27.9	30.1	31.8	34.0	32.3	34.5	32.5	32.6	34.3	30.6	28.7	28.5
1997	28.8	30.8	33.4	35.7	35.2	34.2	32.2	32.8	32.7	32.2	30.8	28.0
1998	29.3	33.0	32.8	36.1	38.0	36.2	34.2	34.7	35.0	30.0	30.3	29.0
1999	30.0	28.4	33.6	36.3	36.9	33.8	32.6	33.6	31.3	30.5	27.7	23.2
2000	29.1	31.0	35.1	36.3	32.9	32.9	33.3	32.6	33.1	30.5	31.1	27.6
2001	28.1	30.7	33.7	35.2	34.3	33.9	33.9	33.5	33.4	31.8	30.3	29.5
2002	29.2	29.0	32.2	35.9	36.2	34.8	34.5	34.5	33.8	32.7	30.0	28.4
2003	26.5	32.3	35.9	35.7	38.0	35.6	34.1	34.0	33.9	33.1	30.1	27.1
2004	28.6	29.7	32.2	34.8	34.3	34.1	33.3	34.5	33.9	32.6	30.9	28.2
2005	29.3	32.1	35.9	35.2	36.0	35.7	34.6	---	---	---	---	34.7
2006	34.3	34.4	---	35.3	---	---	33.3	34.1	34.4	---	---	---
2007	29.0	31.9	33.1	36.3	37.2	35.5	34.9	33.8	33.2	31.5	29.8	30.0
2008	29.1	33.0	32.9	35.6	36.8	33.3	33.8	35.1	33.4	30.0	30.1	29.1
2009	28.2	30.1	32.9	36.3	36.4	35.4	34.9	34.3	34.8	34.2	30.4	---
2010	28.1	29.8	31.9	36.1	35.5	34.8	33.8	32.0	33.6	31.7	30.7	28.1

GRAFICO 3: TEMPERATURA MINIMA [°C]

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1990	18.8	18.2	19.1	20.1	21.7	22.2	21.6	21.4	21.4	21.0	20.2	19.3
1991	18.8	17.9	19.3	21.2	22.4	23.3	21.8	21.4	22.0	21.5	19.5	19.8
1992	19.1	18.1	19.4	20.9	20.9	22.8	21.9	21.6	20.5	21.0	20.8	19.0
1993	18.6	17.5	18.0	21.0	22.1	22.9	21.7	21.7	22.0	21.7	20.0	18.5
1994	19.0	18.7	18.2	20.2	21.8	22.3	21.1	21.6	21.8	21.2	20.0	18.9
1995	18.0	16.5	18.1	22.2	22.5	23.4	22.2	22.8	22.5	22.1	20.2	19.8
1996	16.5	17.1	17.1	21.0	20.7	22.5	21.9	21.7	21.8	22.2	20.2	18.7
1997	17.6	18.9	19.5	21.5	21.4	22.5	22.0	23.1	22.6	22.0	21.9	18.8
1998	19.3	17.6	20.1	21.8	22.1	24.3	22.7	22.5	23.1	22.0	21.4	19.3
1999	17.5	16.9	18.0	19.8	21.8	22.2	21.6	22.0	22.7	21.6	17.0	15.4
2000	16.1	16.2	18.1	19.1	22.1	22.1	21.2	22.0	22.6	21.4	20.1	18.4
2001	16.3	19.4	17.9	20.2	22.0	22.1	21.3	22.0	21.7	21.5	19.3	19.2
2002	17.4	18.4	18.2	18.6	21.4	22.6	22.2	21.6	22.4	21.4	19.8	19.0
2003	17.2	18.3	19.7	20.3	22.7	23.2	22.3	21.8	21.8	22.2	20.7	17.1
2004	18.2	18.9	19.4	20.2	22.0	22.1	21.4	21.4	22.5	21.7	19.9	18.0
2005	16.6	17.0	21.2	21.0	22.4	23.4	22.7	---	---	---	---	20.7
2006	20.6	20.3	---	20.7	---	---	22.5	22.1	21.7	---	---	---
2007	19.6	18.1	18.9	21.0	22.7	22.9	22.1	22.0	22.0	22.0	19.5	17.6
2008	17.7	18.5	19.0	19.9	21.7	22.8	22.1	21.6	22.6	21.7	17.0	17.3
2009	17.2	17.1	17.0	20.6	22.5	22.7	22.1	21.8	22.2	21.2	19.5	---
2010	17.5	18.4	18.2	21.1	22.8	23.4	23.0	22.9	29.7	20.3	18.6	34.4

GRAFICO 4: TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA [°C]

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1990	32.0	34.8	37.6	37.4	38.4	34.6	34.6	36.6	34.4	33.6	32.0	33.0
1991	33.0	34.4	39.4	41.4	39.0	38.6	37.0	32.6	35.6	33.6	32.6	31.4
1992	32.0	34.0	35.8	38.6	37.4	38.6	36.0	34.6	34.0	33.0	34.6	32.4
1993	33.0	34.0	38.0	39.6	38.0	38.2	35.6	35.0	35.0	35.6	33.0	31.0
1994	30.6	34.0	38.6	36.6	38.4	35.8	35.4	35.6	34.6	34.4	33.4	31.4
1995	33.4	35.6	38.6	40.4	40.4	39.4	35.6	36.0	34.0	35.0	33.0	32.8
1996	33.0	36.0	37.6	37.6	36.6	36.0	35.4	34.6	36.6	34.6	32.8	30.6
1997	31.4	34.0	37.0	38.6	38.6	37.0	35.6	35.4	34.0	36.6	35.4	33.4
1998	33.6	38.6	41.0	40.0	41.8	40.0	37.4	37.0	37.0	36.0	32.6	32.0
1999	32.6	34.0	38.0	41.6	39.6	39.0	36.2	36.0	35.6	33.6	31.6	29.2
2000	32.4	34.4	40.6	40.2	35.0	35.0	35.4	34.8	35.4	34.6	35.6	31.0
2001	33.0	34.2	38.4	37.0	39.0	36.4	37.0	36.4	36.0	36.4	33.8	32.4
2002	33.4	32.6	36.4	38.4	39.6	39.2	36.6	37.4	36.6	34.8	35.6	32.4
2003	30.6	36.8	40.2	41.2	42.6	39.6	37.0	36.0	36.4	36.4	34.0	32.0
2004	34.4	35.6	36.0	39.0	37.8	36.0	36.0	36.6	36.4	34.8	35.6	32.4
2005	33.0	38.0	42.0	41.0	41.0	41.0	36.8	---	---	---	---	36.0
2006	36.4	36.0	---	38.0	---	---	36.4	36.0	36.4	---	---	---
2007	33.0	36.4	37.0	42.0	39.4	38.6	37.6	36.0	35.4	36.0	32.4	33.4
2008	33.6	36.2	37.4	39.0	41.0	36.0	36.4	37.4	37.0	34.6	34.0	34.2
2009	33.4	33.6	40.0	42.0	40.0	38.2	36.6	36.4	37.6	36.4	34.0	---
2010	37.0	35.4	37.6	41.8	39.8	39.0	37.6	36.4	36.6	26.4	34.4	35.0

GRAFICO 5: TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA [°C]

ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1990	15.4	13.6	15.0	16.0	19.0	20.0	19.4	20.0	19.8	16.0	16.0	13.4
1991	16.0	12.4	11.6	17.4	19.6	21.0	20.0	19.6	19.0	19.2	12.8	16.4
1992	17.0	13.4	16.6	17.0	14.6	20.6	19.6	18.6	18.8	19.0	18.0	13.0
1993	11.6	13.4	12.2	16.6	19.0	20.6	18.8	19.6	20.0	20.4	15.6	14.4
1994	14.4	16.6	11.6	18.0	18.0	24.0	18.0	20.0	20.4	18.6	16.4	14.4
1995	14.4	12.6	11.6	19.6	19.4	21.0	20.2	20.8	20.0	19.4	15.4	14.8
1996	10.0	11.0	10.0	16.0	29.4	19.6	20.2	20.0	20.4	19.0	17.0	15.4
1997	11.0	16.8	16.0	18.0	18.8	21.0	20.4	21.0	21.0	21.0	18.6	10.4
1998	13.4	11.4	12.6	17.6	17.0	21.0	20.0	21.6	20.4	20.0	18.4	15.0
1999	11.6	14.0	13.0	16.2	19.0	21.0	19.8	18.6	21.4	17.4	15.0	10.0
2000	12.4	11.4	14.0	15.2	19.6	19.6	18.0	20.4	21.0	19.0	18.0	13.0
2001	9.8	16.0	12.4	17.0	19.8	20.0	18.4	20.0	19.4	19.0	15.8	16.0
2002	9.6	14.6	14.6	15.6	19.4	21.0	20.0	19.8	21.0	20.0	10.4	14.4
2003	13.0	16.0	13.4	15.4	20.0	20.8	19.6	19.8	20.4	19.6	16.6	12.0
2004	15.0	15.0	16.6	14.2	19.8	20.4	19.8	20.0	21.0	17.4	14.6	14.4
2005	11.0	11.6	16.0	14.8	19.0	21.0	21.2	---	---	---	---	19.0
2006	19.0	19.0	---	19.0	---	---	21.0	19.4	20.2	---	---	---
2007	17.6	12.0	14.6	17.0	19.8	21.0	20.6	20.0	20.2	17.4	15.0	14.0
2008	13.0	16.0	13.6	15.6	18.2	21.8	20.2	19.0	21.6	16.2	10.4	13.0
2009	11.0	11.6	11.4	15.0	20.4	20.8	20.0	20.0	20.6	17.6	14.8	---
2010	9.4	12.4	13.0	16.6	18.6	21.8	21.4	21.4	21.8	16.2	12.8	10.6