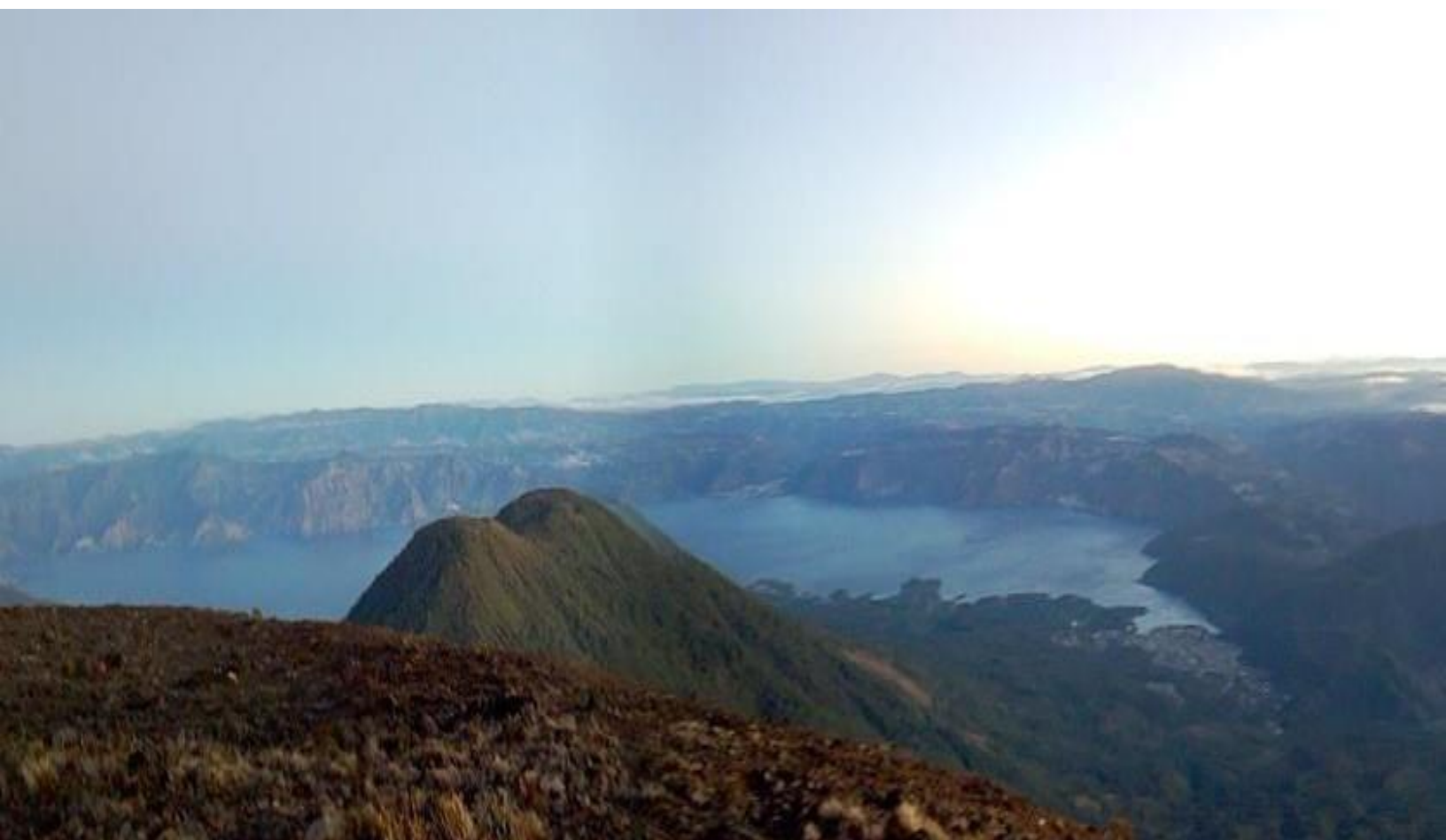




MANUAL LABORATORIO HIDROLOGIA Y METEOROLOGIA

UNIVERSIDAD RURAL DE GUATEMALA
LABORATORIO HIDROLOGIA Y
METEOROLOGIA INTENSIVO



Guatemala, sexto semestre 2026

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 5 (opcional): Morfometría de una cuenca hidrográfica
La evaluación virtual estará habilitada del 26 de octubre de 2026 a las 8:00 al 30 de octubre de 2026 a las 18:00 Para tener derecho al examen final y aprobar el curso es obligatorio asistir a las prácticas presenciales, realizar las tareas, hojas de trabajo y completar la evaluación en línea dentro del período establecido.	

Materiales necesarios y proporcionados por los estudiantes para las prácticas de hidrología y meteorología:

Instrumento por realizar	Equipo y materiales para la práctica 1
Termómetro	250 mL de alcohol al 70 % *
	Agua
	Un frasco cilíndrico transparente o una botella (el frasco tomar de referencia los de café, las botellas delgadas funcionan mejor) *
	Un sorbete para beber de plástico (pajilla)*
	Una barra de plastilina (masilla)*
	Un sobre de colorante para Alimentos o anilina*
	Hielo*
Veleta	Una etiqueta de cartón (una hoja tamaño carta 120 gramos) *
	Un alfiler*
	Tijeras y/o navaja de papel*
	Un botecito pequeño de pegamento tipo superglu
	Un lápiz que tenga el borrador nuevo*
	Un sorbete para beber de plástico (pajilla)*
	Una barra de plastilina*
Anemómetro	Un plato de plástico, desechable o de un material resistente que sirva de base*
	Cuatro vasos pequeños desechables o material similar, uno de diferente color o señalizado*
	Cuatro sorbetes para beber de plástico (pajilla)*
	Cinta adhesiva (masking tape) *
	Tijeras y/o navaja de papel*
	Un alfiler*
	Un lápiz con borrador nuevo*
	Engrapadora*
	Regla*
	Una regla*

Pluviómetro	Un envase de PET de 3 litros*
	Piedras pequeñas (que sean del mismo tamaño y grosor) *
	Tijeras y/o navaja de papel*
	Marcador permanente de punta fina*

Barómetro	Cinta adhesiva (masking tape) *
	Un frasco de vidrio con boca ancha. *
	Un globo*
	Una liga o hule*
	Tijera y/o navaja de papel*
	Un sorbete para beber de plástico (pajilla)*
	Tiras de cartulina o una hoja tamaño oficio 120 gramos*
	Un botecito pequeño de pegamento tipo superglu*
	Regla, lapicero o lápiz*
	Caja de cartón del tamaño de una caja de zapatos*

Equipo y materiales para la práctica 2	
Lapicero	
Tabla de apuntes	
Hojas en blanco	
Calculadora	
Equipo y materiales para la práctica 3	
4 estacas gruesas de 70 cm	
1 rollo de pita.	
2 lazos.	
Navaja o tijera	
Cronometro	
GPS o aplicación para celular	
Calculadora científica	
Pelota de plástico	
Marcador permanente de punta fina	
Una cubeta	
Cinta adhesiva (masking tape)	
Equipo y materiales para la práctica 4	
Lapicero	
Tabla de apuntes	
Hojas en blanco	
Calculadora	
Equipo y materiales para la práctica 5	
Lápiz	
4 hojas de acetato tamaño carta	
1 marcador negro	
1 marcador rojo	
1 marcador azul	
1 rollo de hilo	
3 hojas semilogarítmicas	

INSTRUCCIONES PARA REALIZAR LAS PRÁCTICAS

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 y/o compañeros.

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 **26 de octubre 2026 a las 8:00 al 30 de octubre de 2026 a las 18:00 horas.**

INFORME DE PRÁCTICA

Las secciones de las cuales consta un informe, el punteo de cada una y el orden en el cual deben aparecer son las siguientes:

- a) Resumen de la práctica
- b) Resultados
- c) Conclusiones

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

- a. **RESUMEN DE LA PRÁCTICA:** Esta sección corresponde al contenido del informe, aquello que se ha encargado realizar según las condiciones del laboratorio.
- b. **RESULTADOS:** Es la sección en la que se presentan de manera clara y objetiva los datos obtenidos a partir de la práctica realizada.
- c. **CONCLUSIONES:** Constituyen la parte más importante del informe. Son las decisiones tomadas, respuestas a interrogantes o soluciones propuestas a las actividades planteadas durante la práctica

DETALLES FÍSICOS DEL INFORME

- El informe 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 informe deben estar escritas a mano CON LETRA CLARA Y LEGIBLE, a menos que se indique lo contrario.
- Se deben utilizar ambos lados de la hoja.
- No debe traer folder ni gancho, simplemente engrapado.

IMPORTANTE:

Los informes se entregarán al día siguiente de la realización de la práctica al entrar al laboratorio SIN EXCEPCIONES. Todos los implementos que se utilizarán en la práctica se tengan listos antes de entrar al laboratorio pues el tiempo es muy limitado. Todos los trabajos y reportes se deben de entregar en la semana de laboratorio no se aceptará que se entregue una semana después.

PRÁCTICA No. 1

ESTACIÓN METEOROLÓGICA

1. Propósitos de la práctica

- 1.1** 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.
- 1.2** Observar, describir y registrar información relacionada con el tiempo.
- 1.3** Construir instrumentos para medir la dirección y velocidad de viento, temperatura, precipitación, y presión atmosférica.
- 1.4** Explicar y demostrar cómo cada instrumento es utilizado para medir el tiempo.

2. Marco 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 relacionan 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 atmósfera 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:

- 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 equinocciales y se acoplan a las ranuras centrales del soporte.
- Desde octubre hasta fin de febrero se utilizan bandas curvadas cortas, que se colocan en las ranuras superiores.
- 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 inscriptora. 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 periodos 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.

3. Instructivo de la Práctica

Fundamento Práctico

Construir una estación meteorológica

* Este material debe ser proporcionado por el estudiante.

Procedimiento Construye un Termómetro

- Quita la etiqueta del frasco o la botella si la tiene.
- Quita la tapa y haz un hueco pequeño en la tapa (apenas para que quepa un sorbete de plástico).
- Vierte la misma cantidad igual de agua fría y alcohol para fricciones en el frasco o la botella, y llene aproximadamente 1/4 del frasco o la botella.
- Añade dos o tres gotas de colorante para alimentos o anilina.
- Cierra herméticamente el frasco o la botella. Poner plastilina alrededor de la tapa para asegurar para que la tapa ajuste más al cierre.
- Coloca el sorbete de plástico 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 el sorbete de plástico quede derecho.
- 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?

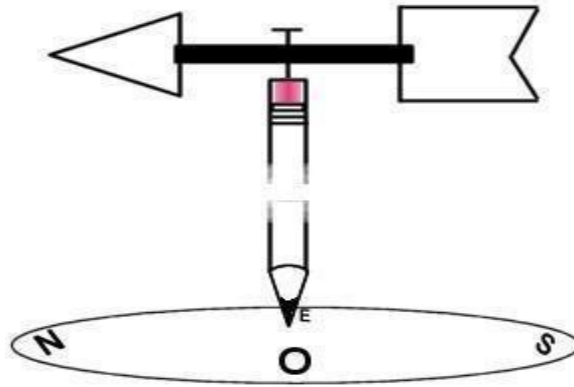


(Center for Innovation in Engineering and Science Education (CIESE), 2005)

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 sorbete.
- d. Mete la punta de flecha y la cola de la flecha en los cortes que hiciste en los sorbetes.
- e. Mete un alfiler que atraviese los sorbetes 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 plástico, desechable o de un material resistente que sirva de base.
- h. Coloca la base de plastilina en el plato de plástico, desechable o de un material resistente que sirva de base.
- i. resistente que sirva de base.
- j. Prueba tu Veleta: Sopla la veleta y asegúrate de que la flecha gira libremente.
- k. Coloque el plato de plástico, desechable o de un material resistente que sirva de base en una superficie plana y coloca la veleta sobre el plato.
- l. 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.
- m. 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.

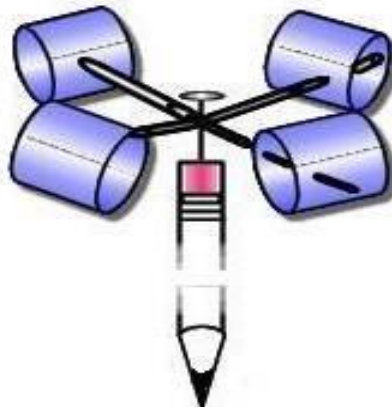
- n. Confirma la dirección en el plato de papel.



Construye un Anemómetro

- 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.
- Arregla cuatro (4) sorbetes de plástico para beber en forma de cruz y pégalas con cinta adhesiva en el centro.
- Engrapa la parte superior de un vaso, como los vasos pequeños de papel diseñados para dispensadores, a uno de los extremos de cada sorbete, de modo que los extremos abiertos de los vasos queden viendo en la misma dirección.
- Inserta un alfiler a través del centro de los sorbetes y prénselo en el borrador al extremo del lápiz. Esto funciona como eje.
- 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.**
- Sopla el anemómetro o enciende un abanico eléctrico en la velocidad más baja para asegurarte de que gira con facilidad.
- 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.**
- 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.
- Monte o sostenga el anemómetro en un lugar donde el viento tenga acceso completo desde todas las direcciones.
- Cuando el cronometrador diga "Ahora", el contador de cada grupo deberá contar cuántas veces pasa el vaso marcado por un punto y anotarlo.
- Si es posible, repita los cuatro (4) pasos anteriores y anote el número promedio de vueltas

- I. 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.
- NOTA: 1 milímetro (mm) de lluvia sobre la misma área equivale a 1 cm³ de agua por cada centímetro cuadrado de superficie de la boca. En una botella de plástico estándar, agregar 10 mililitros (ml) de agua suele representar una cantidad específica de lluvia. Para mayor precisión, mide el diámetro interior de tu botella (en centímetros) y calcula el volumen para 1 mm de lluvia con la fórmula: $Volumen = \pi \times r^2 \times 0.1$, donde r es el radio en centímetros. Por ejemplo, si tu botella tiene un radio de 5 cm, 1 mm de lluvia equivale a ≈ 7.8 ml.**
- Vacía el frasco después de cada uso.



Construye un Barómetro

- Corta un poco por debajo de la mitad de la parte angosta del globo.

- b. 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).
- c. 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 (hoja oficio de 120 gramos) 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 del sorbete 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

4. 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	156.000	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	160.000	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	2035.300
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	245.835	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 gráfico

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

1. Propósitos de la práctica

- 1.1 Distinguir los diferentes métodos, en la estimación de datos faltantes y evaluación de su consistencia.
- 1.2 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.
- 1.3 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.

2. Marco Teórico

Precipitación

Precipitación es cualquier agua meteórica recogida sobre la superficie terrestre. Esto incluye básicamente: lluvia, nieve y granizo. (También rocío y escarcha que en algunas regiones constituyen una parte pequeña pero apreciable de la precipitación total)

En relación con su origen, pueden distinguirse los siguientes tipos:

Las **precipitaciones ciclónicas** son las provocadas por los frentes asociados a una borrasca o ciclón. La mayor parte del volumen de precipitación recogido en una cuenca se debe a este tipo de precipitaciones.

Las **precipitaciones de convección** se producen por el ascenso de bolsas de aire caliente; son las tormentas de verano.

Las **precipitaciones orográficas** se presentan cuando masas de aire húmedo son obligadas a ascender al encontrar una barrera montañosa.

El estudio de las precipitaciones es básico dentro de cualquier estudio hidrológico regional, para cuantificar los recursos hídricos, puesto que constituyen la principal (en general la única) entrada de agua a una cuenca.

Intensidad de precipitación es igual a la precipitación/tiempo.

Podemos cuantificar las precipitaciones caídas en un punto mediante cualquier recipiente de paredes rectas, midiendo después la lámina de agua recogida. La unidad de medida es el milímetro. Es obvio que el tamaño del recipiente de medida no influye en el espesor de la lámina de agua recogida.

La intensidad de precipitación, aunque conceptualmente se refiere a un instante, suele expresarse en mm/hora.

El agua en la atmósfera existe en todas las tres fases (sólido, líquido, gas). El cambio de la fase depende de la temperatura y la presión. Como la mayoría de otros gases en la atmósfera, el vapor de agua es al ojo humano. A diferencia de la mayoría de otros gases en nuestra atmósfera, bajo las condiciones correctas, el vapor de agua puede cambiar de un gas a partículas sólidas o gotas líquidas.

Pluviómetro

Un pluviómetro es un instrumento que mide la cantidad de agua precipitada en un determinado lugar. La unidad de medida es en milímetros (mm). Una precipitación de 5 mm indica que, si toda el agua de la lluvia se acumulara en un terreno plano sin escurrir ni evaporarse, la altura de la capa de agua sería de 5 mm. Los milímetros (mm) son equivalentes a los litros por metro cuadrado. El pluviómetro recoge el agua atmosférica en sus diversos estados. El total se denomina precipitación. Para los estados sólidos, las mediciones se llevan a cabo una vez alcanzado el estado líquido.

Pluviógrafo

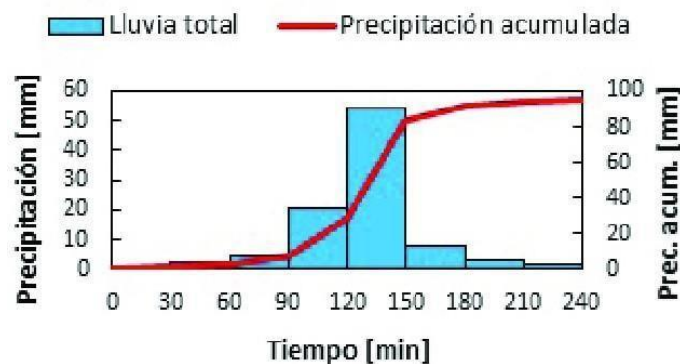
El pluviógrafo es un instrumento meteorológico utilizado en el estudio y análisis de las precipitaciones, su funcionamiento y uso está estrechamente relacionado con el pluviómetro. El pluviógrafo tiene por función registrar en un gráfico la cantidad de agua caída en un periodo de tiempo determinado, lo cual permite establecer la distribución e intensidad de las lluvias, ya que permite conocer la hora de comienzo y finalización de las precipitaciones, así como su intensidad en litros por metro cuadrado caídos en una hora.

Hietogramas

Un hietograma (del griego hietos, lluvia) es un gráfico que expresa la precipitación recogida en intervalos regulares de tiempo. A veces se utiliza la denominación yetograma.

Generalmente se representa como un histograma (gráfico de barras, figura adjunta), aunque a veces también se expresa como un gráfico de línea (como la figura de más arriba, que sería un hietograma anual). A veces un hietograma se refiere a un día o a una tormenta concreta (en el eje de abscisas, las horas que duró la tormenta); en otras ocasiones el periodo de tiempo representado en el eje horizontal puede ser más amplio: meses o años.

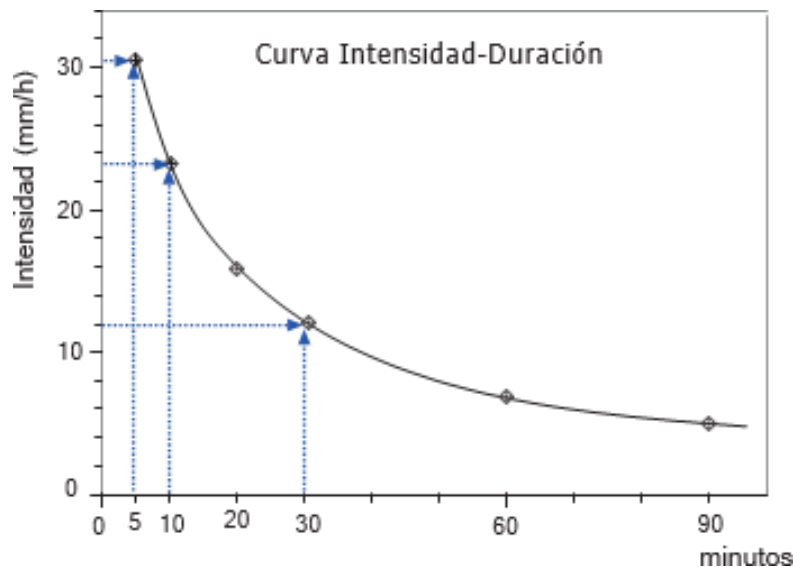
Para su elaboración, si se trata de un hietograma mensual o anual, bastará con disponer de datos diarios. Si se trata de un hietograma de un día o de unas horas de duración, necesitamos una banda de pluviógrafo, leyendo la precipitación caída en los intervalos elegidos, por ejemplo, de 15 en 15 minutos.



Curva intensidad-duración

La Curva Intensidad Duración, representa la intensidad (I) o magnitud de una lluvia fuerte expresada en milímetros por hora, para una duración determinada que usualmente puede ser 30, 60, 90, 120 o 360 minutos.

Es una curva que expresa la máxima intensidad de precipitación registrada en diversos intervalos de tiempo. Por ejemplo, en la figura adjunta podemos leer (líneas de puntos) que en los 5 minutos más lluviosos la intensidad era de 30 mm/hora, en los 10 minutos más lluviosos la intensidad es de 23 mm/hora y a los 30 minutos más lluviosos corresponden 12 mm/hora.



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 sí 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:

$$P_x = \frac{PA + PB + PC}{3}$$

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:

ESTACIÓN	PP(mm)	N (Precipitación Normal Anual) (mm)	Diferencia < 10%
A	100	1000	
B	90	950	
C	120	990	
D	x	910	

$$P_x = \frac{PA + PB + PC}{3} = \frac{100 + 90 + 120}{3} = 103.33mm$$

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:

$$Px = \frac{1}{n} \left(\frac{Nx}{N_A} P_A + \frac{Nx}{N_B} P_B + \frac{Nx}{N_C} P_C \right) \quad \text{ó} \quad Px = \frac{Nx}{n} \left(\frac{P_A}{N_A} + \frac{P_B}{N_B} + \frac{P_C}{N_C} \right)$$

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

N_A, N_B, y N_C = Precipitación normal anual de las estaciones índices.

P_A, P_B y P_C = 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 verificar 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

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

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

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

$$N_D = \frac{1300 + 963 + 1230 + 1320 + 940 + 1400 + 1100}{7} = 1179$$

$$P_{B(88')} = \frac{1}{3} \left(\left[\frac{1210.71}{1039.62} * 1,000 \right] + \left[\frac{1210.71}{1146.63} * 1,500 \right] + \left[\frac{1210.71}{1179} * 1,230 \right] \right) = 1337.16mm$$

$$P_{B(87')} = \frac{1}{3} \left(\left[\frac{1179}{1039.62} * 1,210 \right] + \left[\frac{1179}{1210.71} * 1,290 \right] + \left[\frac{1179}{1146.63} * 1,400 \right] \right) = 1356mm$$

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.

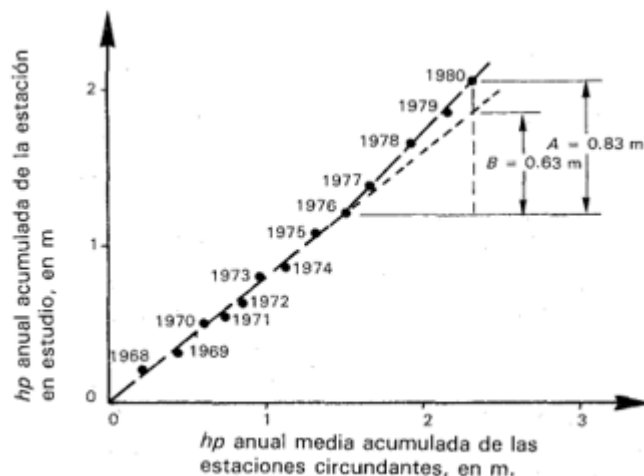
Con los datos del periodo común de mediciones para ambas variables se calcula, grafica, la línea o plano que mejor se ajuste a las condiciones. Una vez establecido el gráfico, los datos faltantes pueden calcularse a partir de datos existentes para el mismo periodo de tiempo.

Análisis doble masa

Cuando en una estación pluviométrica tiene lugar algún cambio en las condiciones de medición, como por ejemplo cambio de operador, de localización o de las condiciones adyacentes, las tendencias del registro sufren normalmente alteraciones que pueden llegar a ser importantes en cuanto a su no homogeneidad. Para detectar y corregir estas alteraciones se usa una técnica llamada curva masa doble, que se basa en observaciones hechas en el sentido de que la precipitación acumulada media para varias estaciones no es muy sensible a cambios en una de ellas, debido a que muchos de los errores se compensan, mientras que la lluvia acumulada de una estación particular se afecta de inmediato ante la presencia de cambios importantes.

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.

Así, si en una gráfica, utilizando un sistema cartesiano, se ubica en el eje de las abscisas la suma acumulada promedio de un conjunto de estaciones y en el eje de las ordenadas, la suma acumulada de la estación en estudio; se obtendrá una línea recta siempre que en ésta no hayan existido cambios o no sean importantes; en caso contrario, la línea cambia de pendiente en el año a partir del cual la estación comenzó a operar en condiciones diferentes. Por ejemplo, en la gráfica de la siguiente figura se observa que hubo algún cambio a partir de 1976. Entonces, para que los datos registrados en la estación en todos los años sean consistentes, los registros anteriores a 1976 se pueden "corregir" multiplicándolos por el factor de ajuste



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

$$P_{cx} = \frac{M1}{M2} * P_x$$

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 .

$M2$ = Pendiente de la curva para la estación x (el tramo donde se observa la inconsistencia)

$M1$ = 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 No.1

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 (Eje y)	Estación A (Eje x)
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 $m1$ la más larga en este caso, desde el año 1985 hasta el 1990, la pendiente $m2$ la más corta, desde 1990 hasta 1992.

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

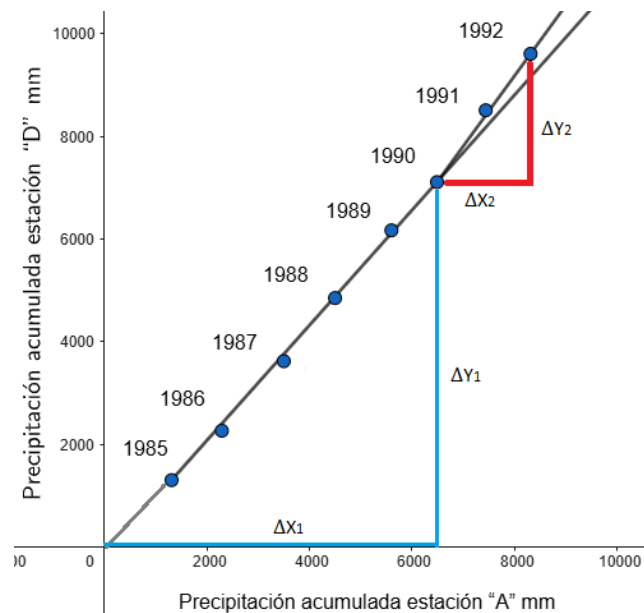
$$P_{ajustada} = \text{Factor de corrección} * P_{observada}$$

$$\text{Factor de corrección} = \frac{m1}{m2}$$

$$M1 = \frac{7109-0}{6492-0} = 1.095$$

$$M2 = \frac{(9609-7109)}{(8317-6492)} = 1.37$$

$$F_c = \frac{m1}{m2} = \frac{1.1}{1.37} = 0.8$$



Precipitaciones ajustadas para la estación "D"

$$P_{ajustada}(91') = 0.80 * 1400 = 1,120mm$$

$$P_{ajustada}(92') = 0.80 * 1100 = 880mm$$

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.

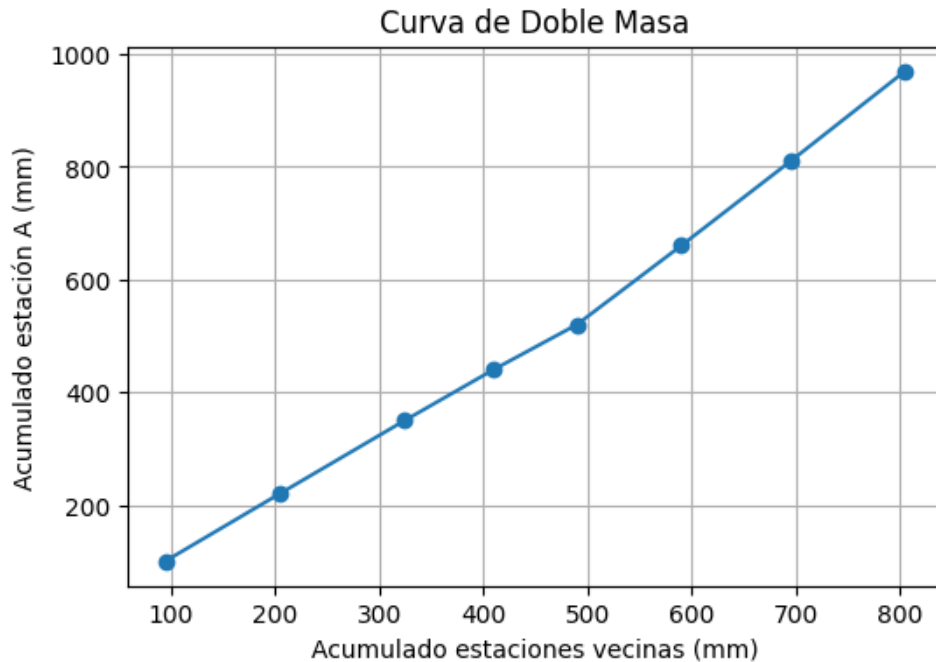
Estos nuevos valores de la estación "D", nos dan precipitaciones acumuladas de 8,229 mm (1991) y de 9,109 mm (1992), con lo que se tiene una recta a lo largo del periodo de 1985 a 1992, es decir, una distribución consistente.

Ejemplo No.2

Evaluar la consistencia de una serie de precipitación y corregir los datos inconsistentes.

Datos:

Año	Estación A	Promedio Est vecinas	Acumulado Est A	Acumulado Est Vecinas
1	100	95	100	95
2	120	110	220	205
3	130	120	350	325
4	90	85	440	410
5	80	80	520	490
6	140	100	660	590
7	150	105	810	695
8	160	110	970	805



La ruptura de pendiente observada después del quinto año indica una posible inconsistencia en los registros de precipitación.

Pendiente inicial $m_1 = \frac{520-0}{490-0} = 1.061$ Pendiente posterior $m_2 = \frac{970-520}{805-490} = 1.429$

Factor de corrección $FC = 1.061/1.429 = 0.743$

Precipitaciones ajustadas para la estación "A"

$$P_{ajustada}(6') = 0.743 * 140 = 104.02mm$$

$$P_{ajustada}(7') = 0.743 * 150 = 111.45mm$$

$$P_{ajustada}(8') = 0.743 * 160 = 118.88mm$$

3. Instructivo de la Práctica

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

AFOROS

1. Propósitos de la práctica:

- 1.1. Conocer la importancia de realizar aforos.
- 1.2. Conocer los tipos de aforos y su ejecución.
- 1.3. Tomar habilidad para realizar aforos.

2. Marco Teórico:

Aforos

Aforar es medir un caudal, el cual es un fluido en movimiento, se mide en unidades de volumen por unidad de tiempo (l/seg., m³/seg, gal/min); puede realizarse en pequeños manantiales hasta grandes ríos. El aforo puede ser directo al medir directamente el caudal o indirecto cuando se mide algún parámetro en el cauce y con este se calcula el caudal.

Existen diversos métodos para determinar el caudal de una corriente de agua, cada uno aplicable a diversas condiciones, según el tamaño de la corriente o la precisión con que se requieran los valores obtenidos. Los métodos más utilizados son: aforo con flotadores, aforos volumétricos, aforos con vertederos, aforos con molinete.

En los distritos de riego, se necesita medir los caudales para distribuir el agua. Frecuentemente se encuentran corrientes naturales, como son los ríos que aportan agua a las presas y los canales de derivación o tramos de río, que sirven para conducir el agua, desde las presas de almacenamiento hasta las presas derivadoras. Estos cauces naturales o artificiales operan con grandes gastos y tienen anchos que requieren puentes o el sistema cable canastilla, para realizar los trabajos de aforo. Generalmente las brigadas de hidrometría realizan los aforos en la red mayor de los distritos de riego, usando los métodos del molinete, secciones calibradas y estructuras, tales como compuertas (Pérez A., 1982).

Secciones de control de aforo

Se refiere al punto donde se efectúa la medición del caudal, en una sección transversal de un río. (Organización Meteorológica Mundial, 2011). Esta sección, además, debe cumplir con ciertas características importantes como:

- ✓ accesibilidad, es decir, que debe existir un poblado cercano o carretera de fácil acceso.
- ✓ ubicación del tramo de aforo, el cual debe ser estable para que no suceda sedimentación o erosión del mismo.
- ✓ rangos de velocidad del agua del río entre 0.1 a 2.5 m/s.
- ✓ sección homogénea a lo largo del tramo, tanto arriba como abajo del punto de aforo.
- ✓ ubicación donde el flujo de agua sea calmado con la menor influencia de turbulencia
- ✓ libre de malezas o cualquier otro obstáculo que pueda provocar imprecisiones en la medición, principalmente arriba del punto de medición. (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático ICC, 2017)

Métodos de aforo

Los métodos prácticos de aplicación más utilizados son: (OMM, 2011).

- Método volumétrico
- Medidor Parshall

- Método de vertederos y orificios
- Método de sección-velocidad calculando la velocidad con flotador o molinete

Método Volumétrico

Es usado para corrientes pequeñas como nacimientos de agua o riachuelos, siendo el método más exacto, a condición de que el depósito sea bastante grande y de que pueda medir su capacidad de forma precisa. Consiste en hacer llegar un caudal a un depósito impermeable cuyo volumen sea conocido y contar el tiempo total en que se llena el depósito, así se obtiene:

$$Q = \frac{V}{T}$$

Donde:

Q = es el caudal expresado en m³/s V = volumen dado en m³

T = Tiempo en segundos

Por lo tanto, este método es de utilización práctica, siempre que se trate de mediciones de pequeños caudales, en trabajos experimentales o para tener una idea rápida del caudal aportado por determinado riachuelo.

Metodología de múltiples aforos (Método Sección-Velocidad)

Este método es el más usado para aforar corrientes superficiales de agua. Consiste básicamente en medir la velocidad en varios puntos de la sección transversal de una corriente. Así mismo, en determinar la sección a través de la medición de profundidades en la sección transversal del río, para después calcular el gasto por medio de la ecuación de continuidad.

$$Q = A * V$$

Donde:

Q = Caudal del agua, en m³ /s

A = Área de la sección transversal, en m²

V = Velocidad media del agua, en m/s

Antes de estimar el área de la sección y la velocidad es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

a. Determinación del área de la sección.

El método para determinar el área de la sección depende de las condiciones del cauce del río o canales sin revestimiento. Para cauces variables donde el nivel de la corriente sufre cambios considerables mientras se hace el aforo, se recomienda medir sucesivamente las profundidades y las velocidades, conforme se avanza de un extremo a otro de la sección. Se utiliza un estadal o tubo graduado con escalas en metros para determinar las profundidades de la sección transversal.

(Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático ICC, 2017)

b. Determinación de la velocidad por medio de flotadores físicos.

Cuando no se cuenta con un molinete se puede medir la velocidad de la corriente por medio de flotadores físicos, los cuales pueden ser cualquier elemento que se quede en la superficie y sea fácilmente visible; al tener las secciones del río donde el régimen sea laminar se puede soltar un elemento flotador a una distancia conocida para que la corriente lo empuje; por medio de un cronómetro se calcula el tiempo necesario para recorrer esa distancia y se obtiene la velocidad dividiendo la distancia por el tiempo, por medio de la fórmula siguiente:

$$V = \frac{D}{T}$$

Donde:

V= velocidad en m/s.

D= distancia en metros

T= tiempo en segundos

(Programa de Pequeños Subsidios del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) , 2017)

3. Procedimiento.

Medición de caudal por método volumétrico.

- Determinar una fuente de agua entubada que sea factible medir.
- Usar un recipiente de volumen conocido.
- Abrir el grifo al máximo y colocar súbitamente el recipiente con el que se recibirá el agua e iniciar la toma de tiempo.
- Cronometrar el tiempo al obtener el volumen de agua previamente determinado y Calcular el caudal en litros por segundo.
- Repetir los pasos c. al d. con el 75%, 50% y 25% del grifo abierto.

Medición de caudal por método de múltiples aforos sección-velocidad.

- Ubicar un río o riachuelo.
- Encontrar un lugar adecuado para control de aforo.
- Mediante GPS averiguar su ubicación en coordenadas geográficas.
- Una vez determinada la zona donde se efectuará la medición se deberá colocar dos estacas, una en cada orilla para amarrar un lazo y fijándose que la línea que las une sea perpendicular a la dirección del río para determinar el ancho de éste.
- Dividir el ancho del cauce en tramos de acuerdo con el cuadro 2.

Cuadro 2. Espaciamientos de sondeo según el ancho del cauce.

Ancho de Cauce (m)		Espaciamiento(m)
De	A	
0	1	0.2
1	2	0.25
2	4	0.50
4	8	1.00
8	15	1.50
15	25	2.00
25	50	3.00
50	75	4.00
75	125	5.00

Fuente: ICC, Manual de medición de caudales

- A cada espaciamiento amarrar la punta de una pita de metro y medio para ubicar los lugares en donde se realizará la lectura de profundidad y velocidad.

- g. Obtener la profundidad al principio y al final de cada tramo como se muestra en siguiente y obtener la profundidad media y ancho de cada sección para generar el área por cada tramo medido de la sección transversal.

$$A1 = \frac{a+b}{2} * L + A2 = \frac{a+b}{2} * L \dots \dots \dots A10 = \frac{a+b}{2} * L$$

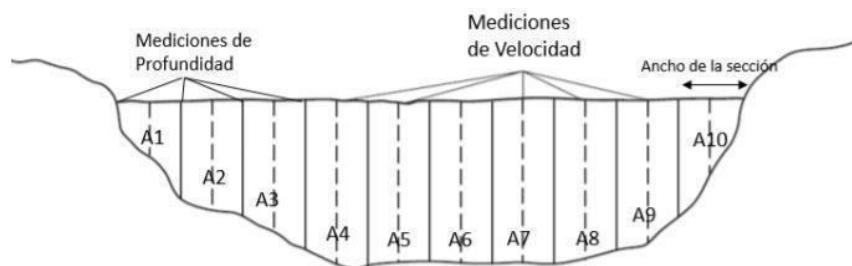
Donde:

A1: Es el área de la sección, en m²

a: profundidad inicial del tramo, en m

b: profundidad final del tramo, en m

L: Ancho de la sección, en m



Secciones parciales de un cauce.

$$Area\ total = \sum A1 + A3 \dots A9 + A10$$

Fuente: ICC, Manual de medición de caudales

- h. Medir desde las estacas anteriormente colocadas un metro y colocar otro par de estacas, pasar otro lazo perpendicularmente.
- i. Estirar las pitas y amarrar la otra punta al segundo lazo colocado.
- j. Una persona se ubicará en el segundo lazo y colocará la pelota en el primer esparcimiento para soltar la pelota, mientras que otra cronometrará el tiempo que le llevará a la pelota llegar de un lazo a otro; este proceso se repetirá como mínimo tres veces y se sacará el promedio de los datos.



- k. Se repetirá el paso j por cada esparcimiento.
- l. Con los datos obtenidos se calculará la velocidad de la corriente
- m. Se calculará el caudal por cada esparcimiento o sección y se sumarán los datos para encontrar caudal total del afluente.

(Programa de Pequeños Subsidios del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM), 2017)

HOJA DE REPORTE. PRÁCTICA No. 3 GRUPO NO. _____

No.	Apellidos, Nombres	Carnet	Sede
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Cuadros de resultados

Dejar constancia de los procedimientos matemáticos a mano.

MEDICIÓN DE CAUDAL POR MÉTODO VOLUMÉTRICO				
% de apertura	Volumen (ml)	Tiempo (seg)	Caudal (ml/s)	Caudal (L/h)
100				
75				
50				
25				

MEDICIÓN DE CAUDAL POR MÉTODO SECCIÓN-VELOCIDAD.

Lugar: _____ Hora inicio/final: _____ / _____
 Coordenadas: _____ Río: _____
 Cuenca: _____ Fecha: _____
 Observaciones: _____

No.	Profundidad (a)	Profundidad (b)	Sector (m)	Vel. (m/s)	Área (m2)	Caudal Q (m3/s)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Ancho de río:

Total m³/s:

Total gal/min:

HOJA DE TRABAJO PRACTICA No. 3

Complete el siguiente cuadro con la información faltante, Deje constancia del proceso matemático en el lado anverso de la hora.

No.	Profundidad (a)	Profundidad (b)	sector (m)	Vel. (m/s)	Área (m2)	Caudal Q (m3/s)
1	0.03	0.4	2	0.1		
2	0.4	0.45	2	0.07		
3	0.45	0.5	2	0.2		
4	0.5	0.8	2	0.3		
5	0.8	0.95	2	0.51		
6	0.95	1.2	2	0.6		
7	1.2	1.3	2	0.75		
8	1.3	1	2	0.7		
9	1	0.7	2	0.11		
10	0.7	0.4	2	0.1		
11	0.4	0.02	1.53	0.1		
Ancho de rio:						Total m3/s
						Total gal/m

No.	Profundidad (a)	Profundidad (b)	sector (m)	Vel. (m/s)	Área (m2)	Caudal Q (m3/s)
1	0.03	0.56		0.04		
2	0.56	0.95		0.3		
3	0.95	0.8		0.51		
4	0.8	0.52		0.27		
5	0.52	0.45		0.2		
6	0.45	0.02	1.03	0.06		
Ancho de rio: 8.53						Total m3/s
						Total gal/m

PRÁCTICA No. 4

DETERMINACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA

1. Propósitos de la práctica:

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

2. Marco 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 dimensión 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 en 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 presentan 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:

$$P_m = \frac{(P_1 + P_2 + \dots + P_n)}{n}; \text{ Donde:}$$

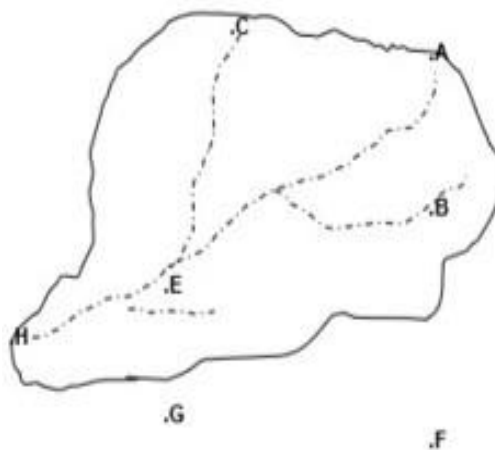
P_m = precipitación media

P_1, P_2, P_n = precipitación de los pluviómetros

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:



ESTACIÓ N	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.

$$P_m = \frac{(800 + 1000 + 1470 + 1750 + 2480)}{5} = 1,500mm$$

Método de los Polígonos de Thiessen:

Este método es aplicable a zonas con una distribución irregular de estaciones y donde los accidentes topográficos no juegan 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 (A1) de cada polígono, dándose por las siguientes fórmulas:

$$P_m = \frac{((P1 * A1) + (P2 * A2) + (P3 * A3) + \dots + (Pn * An))}{A}$$

T

Simplificando:

$i=n$

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

Donde:

P_m = Precipitación media

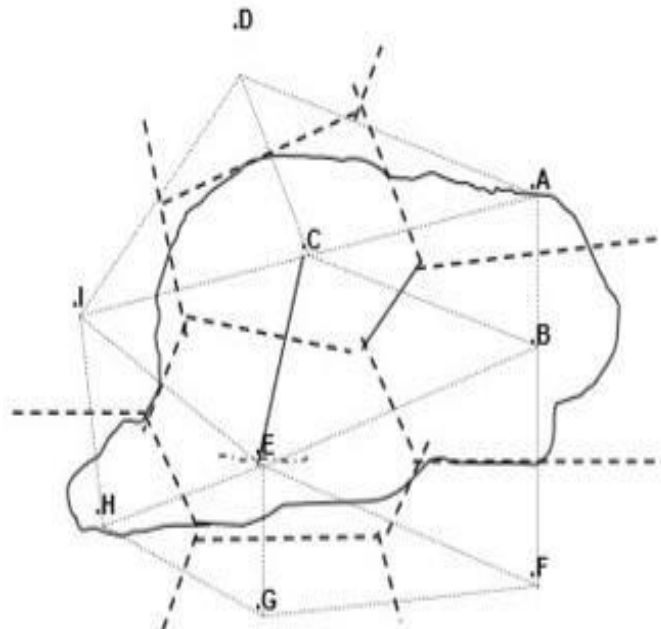
P_i = Precipitación de cada estación contenida en un polígono.

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) "Pi"	Area Parcial (Km²) "Ai"	% Area	Precipitación Ponderada (Pi * %A)	PP * Area (Pi * Ai)
A	800	14	18.54	14832	11,200
B	1000	14.5	19.21	19210	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	9.27	22989.6	17,360
I	2150	6.5	8.61	18511.5	13,975
Sumatoria		75.5	100%	146627.4	110,704

$$P_m = \frac{PP_{pnd}}{100} = \frac{146,627.4}{100} = 1466.3mm$$

$$P_m = \frac{\sum P_i * A_i}{A_T} = \frac{110,704}{75.5} = 1466.3mm$$

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 éste por el área total.

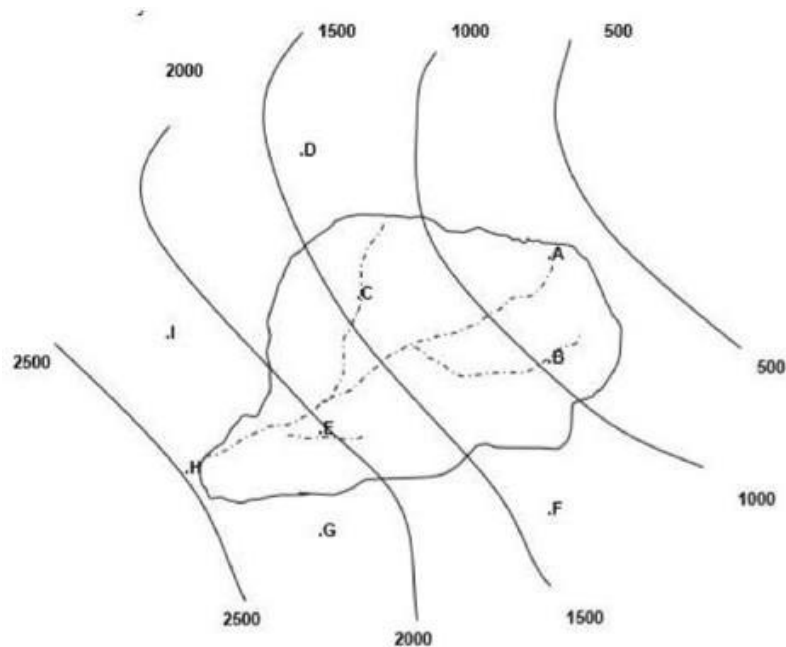
El cálculo de las áreas como ya se indicó puede realizar con el planímetro o pasando franjas de papel o superponiendo el mapa a un papel milimetrado (método de la cuadrícula).

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	Area Neta o Parcial (Km ²) Ai	Precipitación Media (mm) (Pi)	Area * Precip Media (Ai * Pi)
2000-2500	14	2,250	31,500
1500-2000	20	1,750	35,000
1000-1500	27	1,250	33,750
500-1000	14.5	750	10,875
Sumatoria	75.5		111,125

$$Pm = \frac{\sum_{i=1}^n Pi * Ai}{Ar}$$

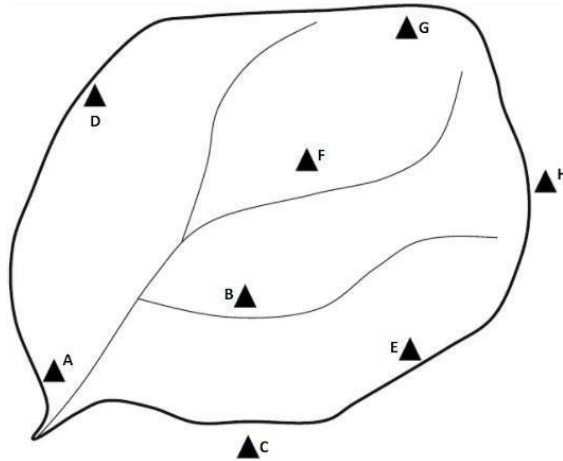
$$Pm = \frac{111,125}{75.5} = 1,471.85mm = 1,472mm$$

3. Instructivo de la Práctica

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

PRÁCTICA No. 5

MORFOMETRÍA DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA

1. Propósitos de la práctica:

- 1.1. Conocer los conceptos relacionados a la morfometría de una cuenca hidrográfica.
- 1.2. Delimitar una cuenca de manera correcta a partir de curvas a nivel.
- 1.3. Calcular las diferentes características morfométricas de una cuenca.

2. Marco Teórico:

Cuenca hidrográfica:

Las cuencas hidrográficas son espacios territoriales delimitados por un parteaguas (partes más altas de montañas) donde se concentran todos los escurrimientos (arroyos y/o ríos) que confluyen y desembocan en un punto común llamado también punto de salida de la cuenca, que puede ser un lago (formando una cuenca denominada endorreica) o el mar (llamada cuenca exorreica). En estos territorios hay una interrelación e interdependencia espacial y temporal entre el medio biofísico (suelo, ecosistemas acuáticos y terrestres, cultivos, agua, biodiversidad, estructura geomorfológica y geológica), los modos de apropiación (tecnología y/o mercados) y las instituciones (organización social, cultura, reglas y/o leyes).

Las cuencas hidrográficas permiten entender espacialmente el ciclo hidrológico, así como cuantificar e identificar los impactos acumulados de las actividades humanas o externalidades (sedimentos, contaminantes y nutrientes) a lo largo del sistema de corrientes o red hidrográfica, que afectan positiva o negativamente la calidad y cantidad del agua, la capacidad de adaptación de los ecosistemas y la calidad de vida de sus habitantes (ver figuras 1 y 2). Aforar es medir un caudal, el cual es un fluido en movimiento, se mide en unidades de volumen por unidad de tiempo (l/seg., m³/seg, gal/min); puede realizarse en pequeños manantiales hasta grandes ríos. El aforo puede ser directo al medir directamente el caudal o indirecto cuando se mide algún parámetro en el cauce y con este se calcula el caudal.

Cuenca

Sistema integrado por varias subcuencas o microcuencas.

Subcuencas

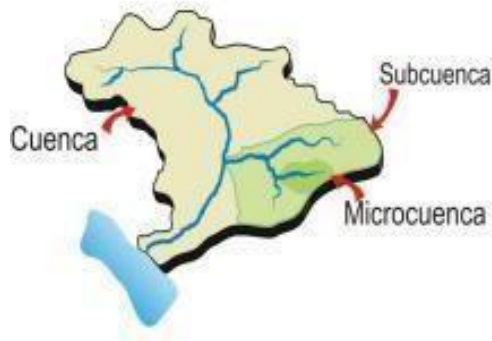
Conjunto de microcuencas que drenan a un solo cauce con caudal fluctuante pero permanente.

Microcuencas

Una microcuenca es toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una Subcuenca; es decir, que una Subcuenca está dividida en varias microcuencas.

Quebradas

Es toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una microcuenca.



Cuenca alta

Corresponde generalmente a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros, limitadas en su parte superior por las divisorias de aguas.

Cuenca media

Donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas y en donde el río principal mantiene un cauce definido.

Cuenca baja

O zonas transicionales donde el río desemboca a ríos mayores o a zonas bajas tales como estuarios y humedales.

Zona de Cabecera

Es la zona donde nacen las corrientes hidrológicas, por ende, se localizan en las partes más altas de la cuenca. Generalmente la rodean y por su función –principalmente de captación de agua presentan la mayor fragilidad hidrológica.

Zona de Captación

Transporte es la porción de la cuenca que en principio se encarga de captar la mayor parte del agua que entra al sistema, así como de transportar el agua proveniente de la zona de cabecera. Esta zona puede considerarse como de mezcla ya que en ella confluyen masas de agua con diferentes características fisicoquímicas.

Zona de Emisión

Se caracteriza por ser la zona que emite hacia una corriente más caudalosa el agua proveniente de las otras dos zonas funcionales.

Divisoria de aguas

La divisoria de aguas o divortium aquarum es una línea imaginaria que delimita la cuenca hidrográfica. Una divisoria de aguas marca el límite entre cuenca hidrográficas y las cuencas vecinas. El agua precipitada a cada lado de la divisoria desemboca generalmente en ríos distintos. También se denomina “parteaguas”.

Río principal

El río principal suele ser definido como el curso con mayor caudal de agua (medio o máximo) o bien con mayor longitud. Tanto el concepto de río principal como el nacimiento del río son arbitrarios, como también lo es la distinción entre el río principal y afluente. Sin embargo, la mayoría de las cuencas de drenaje presentan un río principal bien definido desde la desembocadura hasta cerca de la divisoria de aguas. El río principal tiene un curso, que es la distancia entre su nacimiento y su desembocadura.

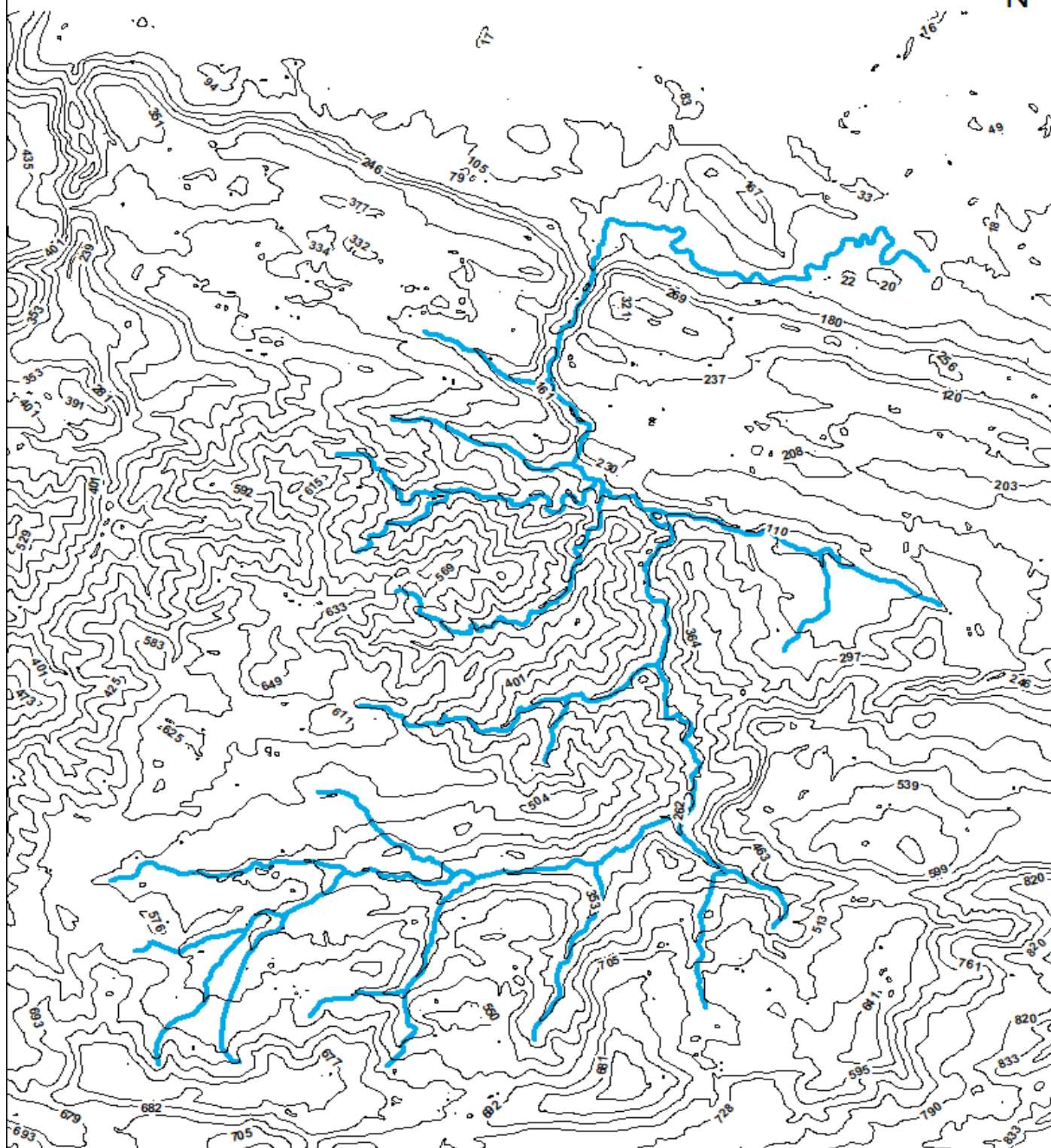
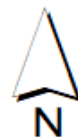
Afluentes

Corresponde a un curso de agua, también llamado tributario, que desemboca en otro río más importante con el cual se une en un lugar llamado confluencia. En principio, de dos ríos que se unen es considerado como afluente el de menor importancia (por su caudal, su longitud o la superficie de su cuenca).

Efluentes

Lo contrario de un afluente es un efluente o distributivo, es decir, una derivación (natural o artificial) que se desprende fuera de la corriente principal de un río mayor a través de otro menor. Los de origen natural se encuentran en su mayoría en los deltas fluviales. Son más frecuentes los efluentes de “origen artificial”, es decir, de una derivación, acequia o canal que se utiliza con fines de riego o de abastecimiento de agua en regiones relativamente alejadas del río principal.

Mapa Subcuenca Copón



Escala 1:200,000

Elaborado por: Ing. Agr. Javier Ruiz

3. Procedimiento.

Delimitación de la cuenca

- a. En base al mapa de curvas a nivel de la subcuenca copón se realizará la delimitación a lápiz sobre el mapa ubicado en la página 52.
- b. Se ubican los puntos altos que están definidos por las curvas de nivel en el plano (estas curvas son líneas que indican la elevación de los lugares por donde pasan y cuya elevación será igual al valor de la curva). La línea divisoria debe pasar por los puntos altos definidos cortando ortogonalmente las curvas de nivel.
- c. En cualquier punto del terreno la línea divisoria debe ser el punto de mayor altitud excepto cerros o puntos altos que se encuentran dentro de la cuenca.
- d. La línea divisoria nunca debe cortar un río, quebrada o arroyo.
- e. Trazar la delimitación toando en cuenta los criterios anteriores.

Perímetro de la cuenca

- a. Deberá superponer un hilo sobre la línea del perímetro de la cuenca y luego cortar donde se junten los dos hilos.
- b. Con una regla o con una cinta métrica deberá medir la longitud del hilo en cm.
- c. Calcular el perímetro de la cuenca en la vida real relacionando la longitud del hilo con la escala del mapa.

Área de la cuenca

- a. En un papel acetato realizar un cuadrículado de 1 cm X 1 cm.
- b. Se superpone el papel acetato cuadrículado en el mapa donde se delimitó la cuenca y pegar los bordes con cinta adhesiva para evitar el movimiento.
- c. Se contarán las cuadrículas que estén completamente cubiertas por el área en cuestión, estas recibirán un valor de uno cada una de ellas.
- d. Las cuadrículas que están parcialmente cubiertas por el área en cuestión se les asignará un valor de 0.5 o 0.25 dependiendo de cuanto abarque de la cuadrícula.
- e. Se procede a realizar la suma de los valores de las cuadrículas completas más los valores de las cuadrículas parciales y ese será el área de la cuenca en centímetros cuadrados.
- f. En base a la escala del mapa debe convertir el área en papel a área real.

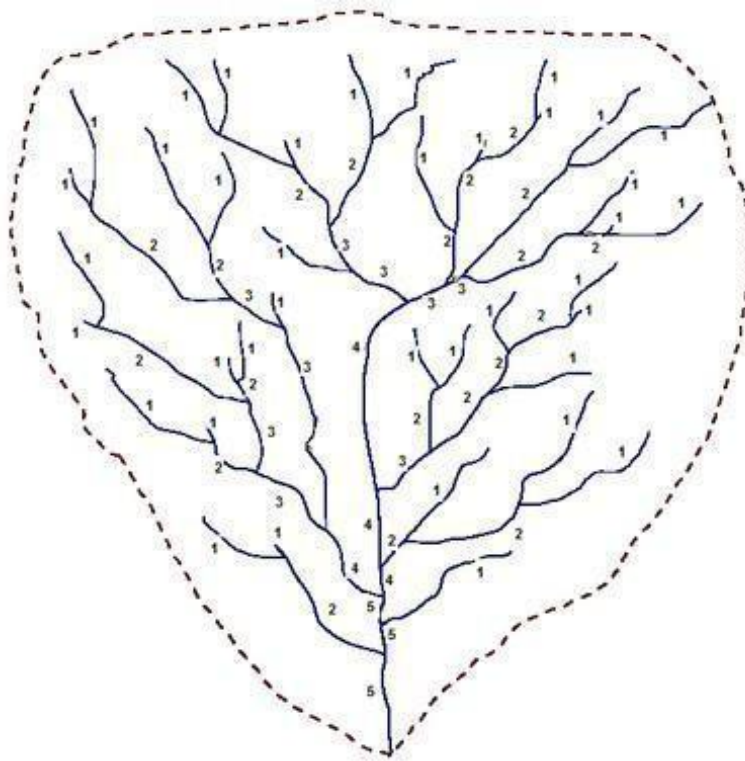
Mapa de clase de corrientes

- a. El mapa de la Subcuenca Copón le brinda las corrientes permanentes e intermitentes, en base a las curvas a nivel se deben trazar las corrientes efímeras sobre el mapa ubicado en la página 52.
- b. Al tener los tres tipos de corriente sobre el mapa ubicado en la página 52 debe colocar una hoja de acetato sobre la cual debe pasar con marcador negro la cuenca delimitada, con color azul las corrientes permanentes (corrientes que siempre transportan agua), con punteado azul las corrientes intermitentes (solo conducen agua en la época de lluvia) y de color rojo punteado o guines las cuencas efímeras (se presentan después de una lluvia).
- c. Agregar leyenda al mapa.

Mapa de orden de corrientes

ORDEN DE CORRIENTES	
Primer orden	Es un río sin ramificaciones.
Segundo orden	Es un río que posee ramificaciones únicamente de primer orden.
Tercer orden	Es un río que posee ramificaciones de primer y segundo orden.
Cuarto orden	Es un río que posee ramificaciones de primer, segundo y tercer orden.

- Deberá realizar la clasificación de orden de corrientes a lápiz colocando el orden de corriente al lado de cada una de estas en el mapa ubicado en la página 52, al tener el visto bueno del catedrático procederá a realizar el siguiente paso.
- En una hoja de acetato deberá pasar la delimitación de la cuenca con marcador de color negro y trazo punteado o guiones, todas las corrientes con color azul y el número de corrientes lo debe asignar con color negro como se muestra en la siguiente imagen de ejemplo.



Gráfica Log Nu vrs. U

- Esta gráfica se realiza para determinar si los órdenes de las corrientes y los números de cada uno, se definieron correctamente.
- La gráfica se plotea en papel semilogarítmico colocando en el eje de las abscisas el orden de corriente "u" y en el de las ordenadas el número de corrientes de orden o sea "Nu".
- Se puede plotear en papel aritmético el valor del logaritmo del número de corrientes.
- El gráfico tiene que coincidir con una recta de sentido negativo, si no es así, quiere decir que no se dio un buen conteo de orden de corrientes.

Longitud media de corrientes (Lu)

- Es indicador de pendientes, donde las cuencas con corrientes de longitudes cortas reflejan pendientes muy escapadas y las cuencas con corrientes de longitudes largas van a reflejar pendientes suaves o planas.
- Con el hilo se debe medir la longitud total de cada orden de corrientes del mapa de orden de corrientes.
- Aplicar la fórmula:

L_u = Longitud acumulada de corriente de orden U/ N_u

Longitud acumulada de corrientes (La)

- Calcular la longitud acumulada de corrientes mediante la fórmula:

$$La = \sum_{i=1}^{i=n} \underline{Lu} * Nu$$

Donde:

N = Número de corrientes de orden U

L_u = Longitud media de las corrientes de orden u

N_u = Número de corrientes de orden u

M = número de orden de corrientes

Forma de la cuenca (Rf)

- Calcular la relación de la forma (RF) mediante la siguiente fórmula:

$$R_f = \frac{A_k}{L_c^2}$$

Donde:

A_k = área de la cuenca

L_c^2 = Longitud del cauce principal desde el nacimiento del cauce hasta la salida de la cuenca.

Se tienen valores diferentes de relaciones de forma, según la forma geométrica de la cuenca, donde para un círculo es de 0.79, para un cuadrado con la salida en el punto medio de uno de los lados es de 1 y para un cuadrado con la salida en una esquina es de 0.5, por lo que generalmente las cuencas ovaladas tienen valor de 0.4-0.5 y en las cuencas largas valores menores a 0.3.

Densidad de drenaje (D)

- Es una característica física importante, valores de 0.5 km/km² Para cuencas con drenaje pobre, hasta 3.5 m/km² para cuencas bien drenadas.

- b. Se debe calcular mediante la siguiente fórmula $D = \frac{L_A}{A_k}$

Donde:

L_A =Longitud acumulada o total de las corrientes de agua en km

A_k = Área de la cuenca.

HOJA DE REPORTE. PRÁCTICA No. 4 GRUPO No. _____

No.	Apellidos, Nombres	Carnet	Sede
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Cuadros de resultados

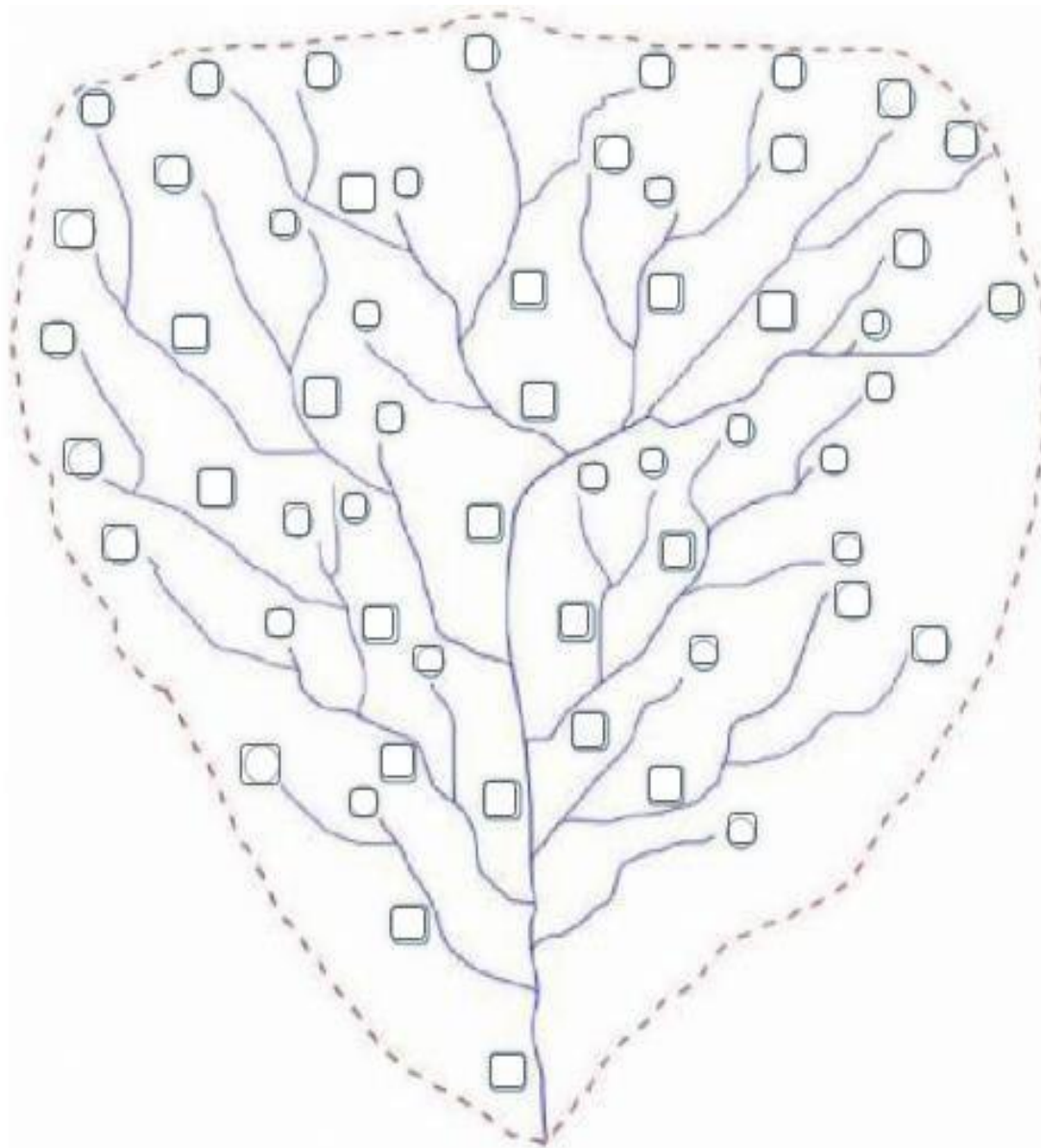
Dejar constancia de los procedimientos matemáticos a mano.

Morfometría Subcuenca Copón	
	Resultado
Perímetro (km)	
Área (km ²)	
Orden de cuenca	
Longitud media de corrientes (km)	
Longitud acumulada de corrientes (km)	
	Interpretación
Gráfica Log Un vrs. U	
Forma de la cuenca	

Densidad de drenaje	
---------------------	--

HOJA DE TRABAJO PRACTICA No. 5

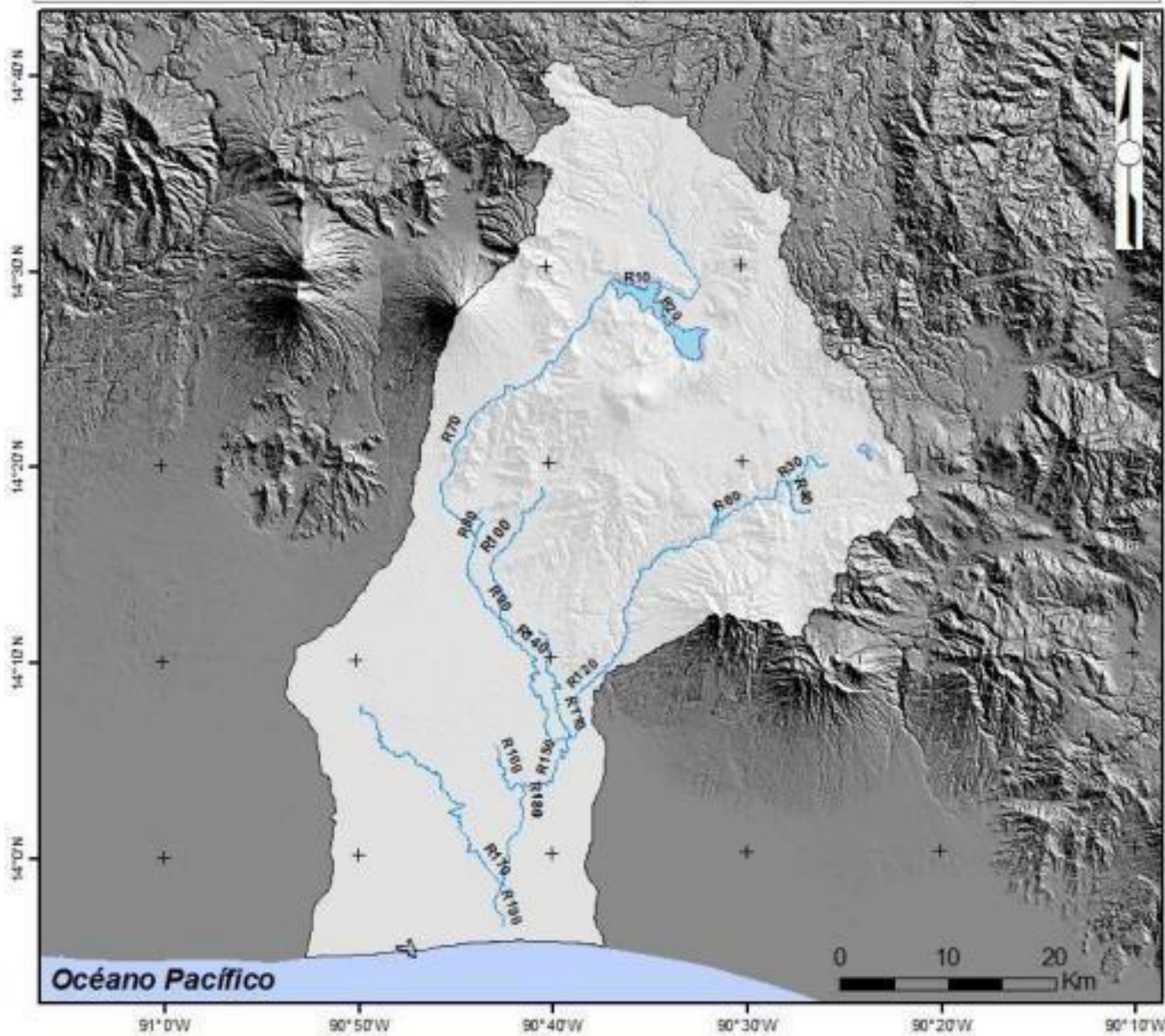
Determine el orden de la siguiente cuenca y corrobore que lo haya realizado de manera correcta



ORDEN DE LA CUENCA:

Mediante la gráfica de Log Nu vrs U

**TRAMOS DE ESTUDIO PARA EL MODELO,
CUENCA MARÍA LINDA, GUATEMALA, C. A.**



BIBLIOGRAFÍA

León, F. M., & Quirantes, J. A. (s.f.). *OBSERVACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE NUBES*.

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>

Acuña Valverde, D., & Robles Sánchez, D. (2015). *MANUAL DE METEOROLOGÍA Y DE GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN CLIMÁTICA*. CIAD-UNASAM.

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>

Chambers, L. (3 de 1 de 2017). *Atmósfera. Módulo de entrenamiento de nubes*. The Globe Program a Worldwide Science and Education Program.

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/): <http://climateengine.org/>

FAO. (23 de 1 de 2021). <http://www.fao.org/>. Obtenido de <http://www.fao.org/>: http://www.fao.org/tempref/fi/cdrom/fao_training/fao_training/general/x6706s/x6706s06.htm#top

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. (s.f.). *INSIVUMEH*. Obtenido de <https://insivumeh.gob.gt/>

Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático ICC. (2017). *Manual de medición de caudales*. Guatemala.

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.

Programa de Pequeños Subsidios del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) . (11 de Octubre de 2017). *Como medir el caudal de un río con el "Método del Flotador"*. Obtenido de <http://ppsd.org/>: <http://ppsd.org/como-medir-el-caudal-de-un-rio-con-el-metodo-del-flotador/>

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. Facultad 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