

# CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Michelle Vásconez, Andrea Mancheno, César Álvarez,  
Claudia Prehn, Carina Cevallos y Liliana Ortiz

Miguel Araque Arellano  
Coordinador

Universidad Politécnica Salesiana

# **Cuencas Hidrográficas**



*Michelle Vásquez, Andrea Mancheno, César Álvarez, Claudia Prehn,  
Carina Cevallos y Liliana Ortiz*

*Miguel Araque  
Coordinador*

# **Cuencas Hidrográficas**



2019

## Cuencas Hidrográficas

© Miguel Araque Arellano (Coordinador)  
Michelle Vásquez, Andrea Mancheno, César Álvarez,  
Claudia Prehn, Carina Cevallos y Liliana Ortiz

1era. Edición: Universidad Politécnica Salesiana  
Av. Turuhuayco 3-69 y Calle Vieja  
Casilla: 2074  
PB.X.: (+593 7) 2050000  
Fax: (+593 7) 4088958  
e-mail: rpublicas@ups.edu.ec  
www.ups.edu.ec  
Casilla: 2074  
PB.X.: (+593 7) 2050000  
Cuenca-Ecuador

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Derechos  
de autor: 056861  
ISBN: 978-9978-10-380-7  
Tiraje: 300 ejemplares

Diseño,  
Diagramación  
e Impresión: Editorial Abya-Yala  
Quito-Ecuador

Impreso en Quito-Ecuador, julio 2019

Publicación arbitrada de la Universidad Politécnica Salesiana

# Índice

Prefacio .....	13
----------------	----

## Capítulo 1

<b>1. Introducción</b> .....	15
1.1. Definiciones .....	15
1.2. Funciones de las cuencas hidrográficas .....	16
1.2.1. <i>Función ambiental</i> .....	16
1.2.2. <i>Función ecológica</i> .....	16
1.2.3. <i>Función hidrológica</i> .....	17
1.2.4. <i>Función socioeconómica</i> .....	17
1.3. Elementos .....	17
1.3.1. <i>Divisorio de aguas</i> .....	17
1.3.2. <i>Río principal</i> .....	18
1.3.3. <i>Afluentes</i> .....	20
1.4. Características .....	20
1.4.1. <i>Área de drenaje</i> .....	20
1.4.2. <i>Forma</i> .....	22
1.4.3. <i>Sistema de drenaje</i> .....	22
1.4.4. <i>Relieve</i> .....	23
1.4.5. <i>Tipo y uso del suelo</i> .....	26
1.4.6. <i>Vegetación</i> .....	27
1.5. Clasificaciones .....	27
1.5.1. <i>Por su tamaño</i> .....	27
1.5.3 <i>Por su uso</i> .....	30
1.6. Cuencas hidrográficas en el Ecuador .....	30

## Capítulo 2

<b>2. El ciclo hidrológico</b> .....	35
2.1. Precipitación .....	37
2.2. Evaporación .....	43
2.3. Escurrimiento o escorrentía .....	44
2.3.1. <i>Escorrentía superficial</i> .....	45

2.3.2. Escorrentía subsuperficial (Hipodérmica) . . . . .	45
2.3.3 Escorrentía subterránea . . . . .	45
2.4. Hidrogramas . . . . .	45
2.4.1. Partes del hidrograma . . . . .	47
2.4.2. Hidrograma unitario . . . . .	49
2.4.3. Hidrograma unitario sintético . . . . .	49
2.4.4. Hidrograma unitario triangular . . . . .	51
2.5. Infiltración . . . . .	55

### Capítulo 3

3.1. Calidad del agua . . . . .	57
3.1.1. Turbidez . . . . .	57
3.1.2. Parámetros sensoriales (color, olor y sabor) . . . . .	58
3.1.3. Temperatura . . . . .	60
3.1.4. Sólidos disueltos totales . . . . .	60
3.1.5. Dureza . . . . .	61
3.1.6. El pH . . . . .	62
3.1.7. Conductividad . . . . .	62
3.1.8. Corrosividad . . . . .	63
3.1.9. Calidad microbiana del agua . . . . .	63
3.2. Clima . . . . .	64
3.2.1. Elementos del clima . . . . .	65
3.2.2. Factores del clima . . . . .	69
3.3. Esferas ambientales . . . . .	72
3.3.1. Atmósfera . . . . .	72
3.3.2. Hidrósfera . . . . .	76
3.3.3. Geosfera . . . . .	79
3.3.4. Biosfera . . . . .	79
3.3.5. Antroposfera . . . . .	80
3.4. Pisos bioclimáticos de una cuenca hidrográfica . . . . .	80
3.4.1. Piso bioclimático cálido . . . . .	81
3.4.2. Piso bioclimático templado . . . . .	81
3.4.3. Piso bioclimático frío . . . . .	81

### Capítulo 4

4.1. Principios de la gestión ambiental . . . . .	85
4.1.2. Principios de la gestión en cuencas hidrográficas . . . . .	86
4.1.3. Principios de gestión a nivel de actividad productiva . . . . .	86
4.2. Instrumentos de gestión ambiental . . . . .	87

4.2.1. Instrumentos preventivos primarios . . . . .	88
4.2.2. Instrumentos preventivos secundarios . . . . .	88
4.3.1. Instrumentos correctores orientados a las actividades. . . . .	89
4.3.2. Instrumentos correctores orientados a los productos y servicios . . . . .	89
4.3.3. Instrumentos curativos . . . . .	90
4.3.4. Instrumentos potenciativos . . . . .	90
4.3.5. Otros instrumentos . . . . .	90
4.4. Mejorar la calidad ambiental . . . . .	90
4.5. Mejorar el comportamiento de los actores de la cuenca . . . . .	91
4.6. Las grandes líneas de acción . . . . .	92
4.7. El impacto ambiental como concepto sobre el que opera la gestión ambiental . . . . .	93
4.8. Complementariedad y sinergia entre instrumentos. . . . .	97
4.9. Actuar como equipo multidisciplinar . . . . .	98
4.10. Espacios degradados. . . . .	99

## Capítulo 5

5.1. Manejo de cuencas hidrográficas a partir de drones . . . . .	103
5.2. El dron . . . . .	103
5.3. Utilidad de los drones. . . . .	104
5.4. Fotogrametría . . . . .	104
5.4.1. Principio de la fotogrametría. . . . .	105
5.4.2. Plan de vuelo . . . . .	106
5.4.3. Modelo digital de superficie . . . . .	107
5.4.4. Modelo digital de terreno . . . . .	108
5.5. Ortofotografía . . . . .	108
5.6. Plano topográfico . . . . .	109
5.7. Fotogrametría digital de drones . . . . .	110
5.8. Procedimiento para la generación de productos fotogramétricos con drones . . . . .	112
5.8.1. Hardware requerido . . . . .	112
5.8.2. Software requerido . . . . .	113
5.9. Punto de control o apoyo fotogramétrico . . . . .	114

## Capítulo 6

6.1. Glosario de términos. . . . .	115
Bibliografía . . . . .	133

# Índice de Figuras

Figura 1. Cuenca hidrográfica . . . . .	15
Figura 2. Divisoria de aguas. . . . .	18
Figura 3. El río principal . . . . .	19
Figura 4. Delimitación de cuencas con mapas topográficos . . . . .	21
Figura 5. Orden de los ríos. . . . .	23
Figura 6. Relieve de la cuenca hidrográfica . . . . .	24
Figura 7. Pendiente de un río. . . . .	26
Figura 8. Cuenca endorreica . . . . .	29
Figura 9. Cuenca exorreica . . . . .	29
Figura 10. Balance nacional del agua. . . . .	31
Figura 11. Unidades hidrográficas . . . . .	34
Figura 12. Ciclo hidrológico. . . . .	35
Figura 13. Balance hídrico . . . . .	36
Figura 14. Tipos de precipitaciones . . . . .	37
Figura 15. Cuenca con estaciones . . . . .	39
Fuente: <a href="https://bit.ly/2KAZ5Wu">https://bit.ly/2KAZ5Wu</a> . . . . .	39
Figura 16. Método de Thiessen . . . . .	42
Figura 17. Tipos de escorrentía . . . . .	44
Figura 18. Hidrograma de caudales de cuatro años (enero de 1998-enero 2002) . . . . .	46
Figura 19. Hidrograma de una crecida. . . . .	46
Figura 20. Partes del hidrograma. . . . .	47
Figura 21. Área bajo el hidrograma . . . . .	49
Figura 22. Hidrograma Unitario Sintético . . . . .	50
Figura 23. Hidrograma triangular . . . . .	53
Figura 24. Representación de la precisión del tiempo . . . . .	65
Figura 25. Relación de altura y presión . . . . .	67
Figura 26. Vientos planetarios . . . . .	68
Figura 27. Inclinación de la tierra e influencia en el clima. . . . .	69
Figura 28. Corrientes en el mundo. . . . .	70
Figura 29. Pisos bioclimáticos . . . . .	80
Figura 30. Dron . . . . .	104
Figura 31. Estudio de fotogrametría . . . . .	105
Figura 32. Principio de la fotogrametría . . . . .	106
Figura 33. Ortografía digital del 0,5 m de resolución . . . . .	109
Figura 34. Plano topográfico a partir de un levantamiento fotogramétrico de Drones (UAV) . . . . .	110
Figura 35. Levantamiento fotogramétrico de Drones (UAV) Modelado 3D . . . . .	111

Sin confianza y amor no puede  
haber una buena educación.  
Eduquemos a los jóvenes para ser buenos  
cristianos y honrados ciudadanos

(Don Bosco, 1815-1888)



Michelle: *A mi padre Amid Vásconez y  
a mi madre Sandra Cruz*

Andrea: *A mis padres*

Claudia: *A mis padres y mi esposo*

Carina: *A Dios a toda mi familia Mary, Manuel, Cristina  
por estar siempre dispuestos a ayudarme, y en especial  
a mi hija Alice a quien amo infinitamente por ser mi  
fuerza para seguir avanzando*

Liliana: *A Dios por su amor infinito de  
siempre y a mi hijo Francisco Benjamín,  
ahora de ser de luz y ángel de mami y papi*

César: *A Dios que guía nuestros caminos.  
A mi esposa Pauly quien es mi fuerza, mi amor  
y mi soporte durante cada día. A mis pequeños hijos  
Naty y Feli quienes son mi alegría. A mis padres  
y mi hermano que me han dado la sabiduría  
para enmarcar un camino.*

Miguel: *A mis padres Alfredivo y Cecilita*



# Prefacio

Los autores de esta obra, considerando la importancia que tiene la Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas y su íntimo nexo que tiene con la calidad y cantidad del recurso agua, hemos producido esta recopilación basada en bibliografía seleccionada, así como nuestras experiencias profesionales y en el campo de la docencia en la Universidad Politécnica Salesiana.

En el primer capítulo de esta obra se relaciona con el marco teórico de cuencas hidrográficas y sus funciones. En el segundo capítulo se presenta el estudio integral de hidrología en cuencas hidrográficas y su aprovechamiento en proyectos de desarrollo integral.

En el tercer capítulo se realiza la descripción de los parámetros de calidad de agua en las cuencas y de las condiciones atmosféricas más favorables para su desarrollo. En el capítulo cuarto se presentan los instrumentos de gestión ambiental en cuencas hidrográficas. En el quinto capítulo se realiza una descripción pormenorizada del manejo de cuencas por medio del uso de drones. Finalmente, en el capítulo seis se presenta un glosario de términos ambientales enfocado a la Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas.

Expresamos nuestra gratitud a todas las personas que han colaborado en la culminación de la elaboración de este libro, efectuamos una mención especial a la Dra. Karina Pazmiño, Directora de Carrera de Ingeniería Ambiental. De igual forma, expresamos nuestro agradecimiento a las autoridades de la Universidad Politécnica Salesiana por darnos la oportunidad de publicarlo.



# Capítulo 1

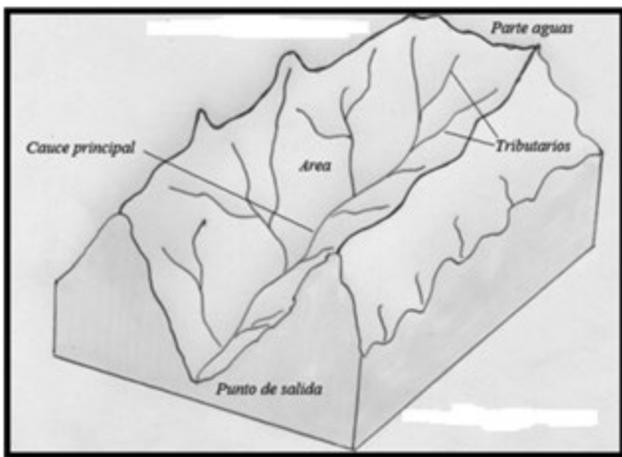
## 1. Introducción

La importancia del agua para la humanidad y el medioambiente es indiscutible. El agua dulce en especial, es la fuente de la vida en nuestro planeta. En este capítulo se presentan algunas definiciones y conceptos básicos de las cuencas hidrográficas.

### 1.1. Definiciones

Según (Harbaugh, 1972) la cuenca hidrográfica es un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, que dispone de una salida simple para que todo el caudal efluente sea descargado.

**Figura 1. Cuenca hidrográfica**



Elaboración:  
Michelle Vasconez

La cuenca hidrográfica suele ser utilizada como unidad de planificación para los recursos hídricos. Sin embargo, es importante notar que las cuencas hidrográficas de los ríos principales suelen estar conformadas por cuencas de menor tamaño (ríos tributarios). En Ecuador, se utiliza además el concepto de demarcación hidrográfica, que es definido por la Unión Europea como: “la zona marina y terrestre compuesta por una o varias cuencas hidrográficas vecinas y las aguas subterráneas y costeras asociadas”.

### 1.2. *Funciones de las cuencas hidrográficas*

Dentro de la cuenca, se tienen los componentes hidrológicos, ecológicos, ambientales y socioeconómicos, cuyas funciones a continuación se describen.

#### 1.2.1. *Función ambiental*

La función ambiental de una cuenca hidrográfica se puede identificar por las siguientes acciones:

- Constituyen sumideros de CO<sub>2</sub>.
- Alberga bancos de germoplasma.
- Regula la recarga hídrica.
- Conserva la biodiversidad.
- Mantiene la diversidad de los suelos.

#### 1.2.2. *Función ecológica*

La función ecológica de una cuenca hidrográfica se puede identificar por las siguientes acciones:

- Provee hábitat para la fauna.
- Provee hábitat para la flora.
- Tiene influencia sobre la calidad física y química del agua.

### 1.2.3. *Función hidrológica*

La función hidrológica de una cuenca hidrográfica se puede identificar por las siguientes acciones:

- Drena el agua de la precipitación.
- Recarga las fuentes de agua subterránea.
- Recarga las fuentes de agua superficial.

### 1.2.4. *Función socioeconómica*

La función económica de una cuenca hidrográfica se puede identificar por las siguientes acciones:

- Suministra recursos naturales renovables.
- Suministra recursos naturales no renovables.
- Provee espacio para el desarrollo social.
- Provee espacio para el desarrollo cultural.

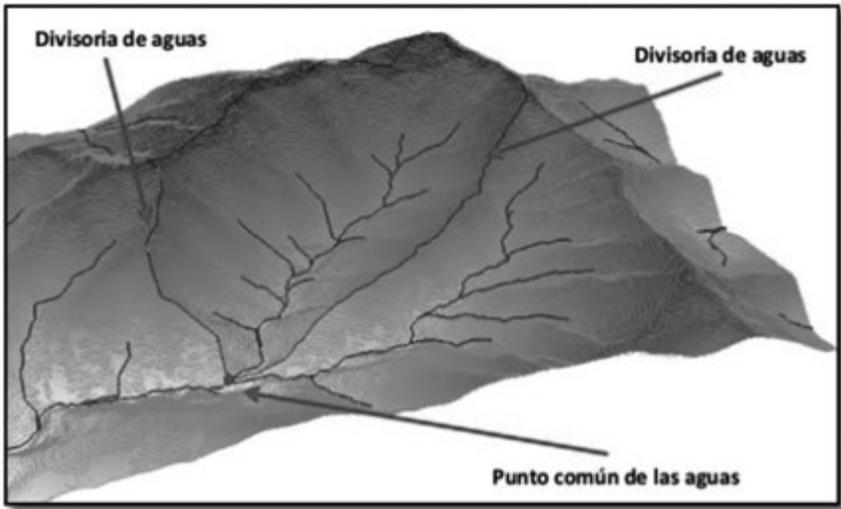
## 1.3. **Elementos**

A continuación, se describen los elementos que se consideran en el estudio de una cuenca hidrográfica.

### 1.3.1. *Divisorio de aguas*

Se define como la línea imaginaria que limita las vertientes hidrográficas continuas, se ubica en la parte más alta de las montañas que es el límite natural, es decir, es el límite en el cual al momento de presentarse una precipitación las aguas superficiales se dirigen hacia vertientes distintas.

Figura 2. Divisoria de aguas



Fuente: <https://bit.ly/2Jh5wLx>

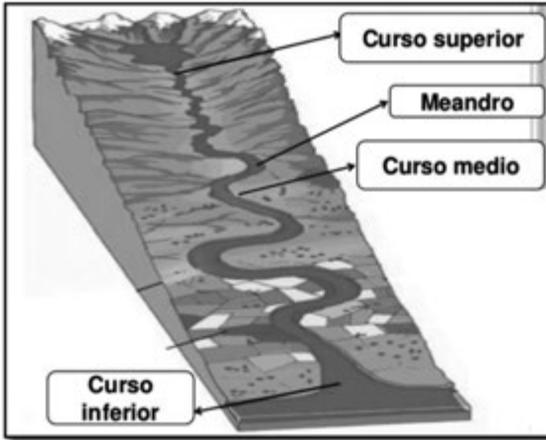
### 1.3.2. Río principal

Se define como el río que posee la mayor longitud y/o conduce el mayor caudal tanto en el tramo superior, medio e inferior. Las características del río principal se presentan a continuación:

*Curso superior:* Se caracteriza por tener pequeños caudales que provienen de deshielos, manantiales o aforamientos naturales de agua. Las características físico-químicas de las aguas captadas por el cauce natural son generalmente de buenas condiciones físico-químicas debido a que en las partes altas no se tienen fuentes de contaminación ya sean puntuales o difusas.

El recorrido del agua en este primer tramo se realiza por relieves montañosos que presentan pendientes fuertes, lo que implica que la velocidad de flujo en el cauce natural sea elevada y en consecuencia sea un flujo erosivo.

Figura 3. El río principal



Fuente: <https://bit.ly/2FsJGDC>

- *Curso medio*: Se caracteriza por tener unos valores de caudales constantes durante todo el año hidrológico debido a lo cual en este tramo del río se construyen obras hidráulicas para su aprovechamiento.
- Uno de los problemas recurrentes en este tramo del río es la presencia de aguas con niveles de contaminación medios y altos, debido a la contaminación con pesticidas y herbicidas que provienen de labores agrícolas y la contaminación por la entrega de aguas que provienen de alcantarillados sanitarios sin un tratamiento primario. Una de las ventajas para la construcción de obras hidráulicas para su aprovechamiento es que el régimen del río presente equilibrio dinámico, es decir, no presenta flujos erosivos ni flujos que inducen a la sedimentación.
- *Curso inferior*: En este tramo final del río se caracteriza por cauces naturales muy anchos y profundos, con valores de caudales muy altos y velocidades de flujo extremadamente bajas que inducen a la sedimentación en el fondo del cauce. El aprovechamiento del agua se realiza por obras hidráulicas ubicada en las orillas de los ríos, uno de los problemas es la presencia de inundaciones en épocas de invierno por lo cual se

recomienda la construcción de obras hidráulicas para control de inundaciones.

### 1.3.3. *Afluentes*

Los afluentes de una cuenca hidrográfica constituyen los ríos secundarios que vierten sus aguas al cauce principal, uno de los problemas de mayor recurrencia es la contaminación de sus aguas especialmente por laborar agrícolas y ganaderas. Se puede clasificar los ríos de acuerdo a su incidencia temporal:

- **Perennes:** son ríos que permanecen con agua durante todo el año. Son alimentados por aguas subterráneas en épocas de sequía.
- **Intermitentes:** son ríos que aparecen durante las estaciones lluviosas.
- **Efímeros:** son respuestas inmediatas a periodos de precipitación. Se forman debido al escurrimiento superficial.

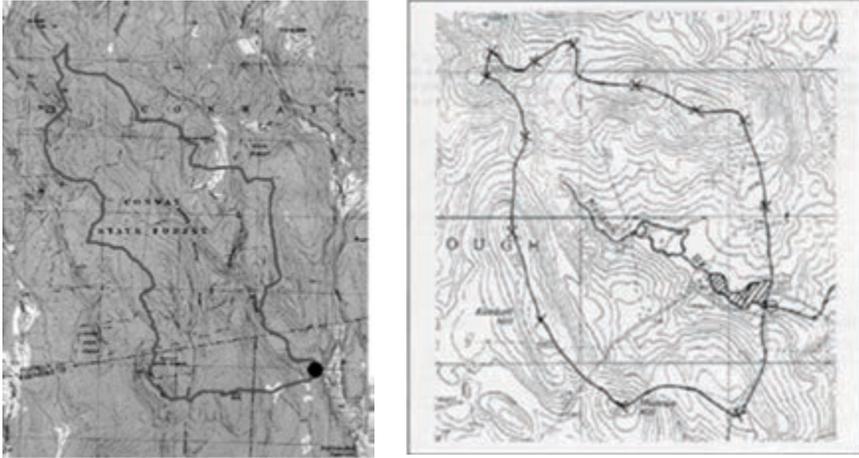
## 1.4. **Características**

Las características de las cuencas hidrográficas son importantes para poder prever el comportamiento de la cuenca ante eventos hidrológicos y poder planificar la reacción más adecuada.

### 1.4.1. *Área de drenaje*

Es la proyección horizontal limitada por la línea divisoria de aguas. Es importante diferenciar el área de la superficie de la cuenca y el área proyectada, puesto que en el área de drenaje no se considera la ladera de las montañas o colinas, pero sí su proyección. En Ecuador, las cuencas nacen en zonas montañosas, por lo que la diferencia en el valor de estas dos áreas es significativa.

**Figura 4. Delimitación de cuencas con mapas topográficos**



Fuente: <https://bit.ly/2N9n0P4>

El área de una cuenca se puede medir de diversas maneras. Debido al tamaño considerable de la mayoría de las cuencas, es necesario poseer una representación gráfica de la cuenca, sea esta una imagen satelital o un mapa topográfico.

Aunque actualmente existen recursos gratuitos online que permiten obtener imágenes satelitales, estas imágenes pueden poseer restricciones visuales (nubes, vegetación) que vuelve la delimitación de la cuenca más difícil. Esto se puede resolver parcialmente por medio de software especializado como los sistemas de información geográfica (SIG o GIS por sus siglas en inglés), aunque se requiere información del relieve para obtener datos exactos y esta puede estar incompleta dependiendo del lugar de análisis.

También es posible generar los datos requeridos por medio de fotografía aérea (drones), sin embargo, es necesario tomar en cuenta la posible distorsión por el efecto ojo de águila y determinar las escalas. Además, por medio de GPS se puede delinear la cuenca.

Sin embargo, el método más sencillo para determinar el área de drenaje es por medio de mapas de relieve (cartas topográficas).

En Ecuador, esta información puede ser obtenida por medio del Instituto Geográfico Militar (IGM).

#### 1.4.2. *Forma*

La forma de la cuenca es determinada por factores geológicos y es crucial por su incidencia en el tiempo de concentración. El cual, se define como el tiempo que una gota de lluvia se toma en recorrer la cuenca desde el punto más alejado dentro de la cuenca hasta el punto de salida.

La forma influye también en el índice de Gravelius que consiste en la relación del perímetro de la cuenca y el área de una circunferencia de área igual a la de la cuenca. Este índice refleja que tan circular es la cuenca y puede ser un indicador de la tendencia a inundaciones. Existen otros factores de forma como el de Horton que pretende estimar que tan cuadrada es la cuenca en vez de que tan circular.

En resumen, la forma de la cuenca tiene un gran impacto en la velocidad de respuesta del río ante un evento de precipitación, si la cuenca tiene una forma más circular, los puntos limítrofes están más cercanos del cauce que en una cuenca con forma ovalada. Esto se traduce en menos tiempo para que el agua llegue al río y mayor probabilidad de inundaciones. Sin embargo, es importante notar que otros factores como el tipo de suelo y el uso del suelo también influyen en el tiempo de concentración.

#### 1.4.3. *Sistema de drenaje*

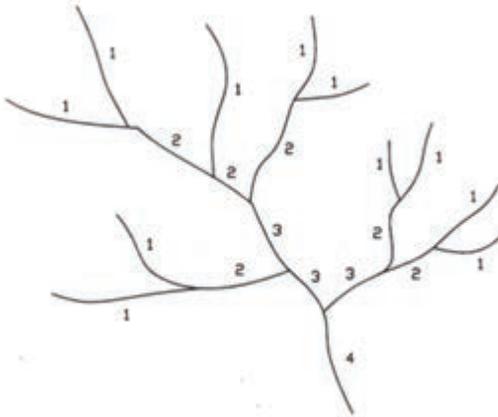
Se puede dividir el sistema de drenaje de una cuenca en dos factores:

- *Grado de ramificación*

Se define por medio del orden de los ríos en una cuenca. A las nacientes o ríos que no poseen tributarios se los denomina de orden 1. La unión de ríos de orden 1 se la clasifica como río de orden 2 (ver Figura 5), la unión de ríos de orden 2 se la denomina de orden 3 y así sucesivamente. La cantidad de ríos de cada orden indica el grado de ramificación de los ríos de la cuenca. El patrón de drenaje

depende de la estructura geológica del local, tipo de suelo, topografía y clima.

**Figura 5. Orden de los ríos**



Fuente:  
<https://bit.ly/2WpHwOC>

- *Densidad de drenaje*

Se define como la relación la longitud total de los cursos de agua de una cuenca y su área total. Representa la longitud de cauces por unidad de superficie. Depende principalmente de la permeabilidad del suelo, tipo de vegetación y el clima.

$$Dd = \frac{\sum L}{A}$$

Cuencas con drenaje pobre →  $Dd < 0,5 \text{ km/km}^2$

Cuencas con drenaje regular →  $0,5 \leq Dd < 1,5 \text{ km/km}^2$

Cuencas con drenaje bueno →  $1,5 \leq Dd < 2,5 \text{ km/km}^2$

Cuencas con drenaje muy bueno →  $2,5 \leq Dd < 3,5 \text{ km/km}^2$

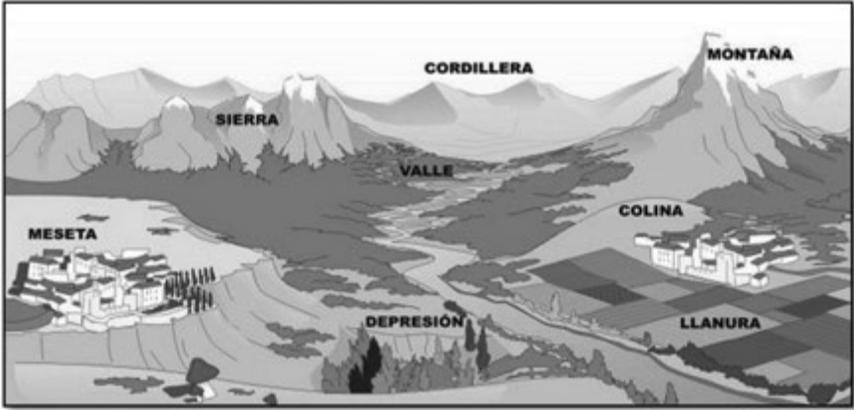
Cuencas excepcionalmente bien drenadas →  $Dd \geq 3,5 \text{ km/km}^2$

#### 1.4.4. *Relieve*

Se define como relieve de una cuenca hidrográfica a la forma que presenta la parte superficial de la corteza terrestre, su formación

se debe a fuerzas internas de compresión que a lo largo de millones de años han formado las cadenas montañosas y a fuerzas externas como es la acción del agua y del viento.

**Figura 6. Relieve de la cuenca hidrográfica**



Fuente: <https://bit.ly/31QXBNk>

Las principales formas de relieve son las siguientes:

- Llanuras: Son grandes extensiones de terreno con formas poco onduladas que se ubica generalmente a los 500 m.s.n.m., por lo general se encuentran rodeadas total o parcialmente por colinas o montañas. Se caracterizan por ser zonas de alta producción agrícola, avícola y ganadera. A lo largo de la historia el hombre ha seleccionado estos sitios para la construcción de grandes asentamientos humanos.
- Depresión: Son grandes superficies terrestres que se localizan a una profundidad inferior que las zonas circundantes, su formación puede atribuirse a varias causas.
- Colina: Se puede definir como una eminencia del terreno que se caracteriza por no superar los 300 metros de altura, su formación se debe a factores geomorfológicos debido a la presencia de fallas geológicas o accidentes del terreno.

- Valle: Es una llanura que se encuentra limitada por cadenas montañosas, generalmente poseen varios ríos en su interior que se encargan del drenaje de las aguas superficiales. Generalmente son destinados por sus características climáticas a la producción agrícola y ganadera.
- Montaña: Se puede definir como una eminencia del terreno que a diferencia de las colinas pueden alcanzar grandes alturas como por ejemplo el monte Everest que tiene 8848 metros sobre el nivel del mar. En las condiciones de temperatura en la parte superior se forman nevados.
- Cordillera: Se puede definir como una sucesión de montañas que se encuentran plegadas entre sí. En América las principales cordilleras son: cordillera de los Andes (América del sur), Montañas Rocosas (Estados Unidos), Apalaches (Estados Unidos), cordillera Central (República Dominicana), Sierra Madre (México), cordillera de la Costa (Chile y Perú).

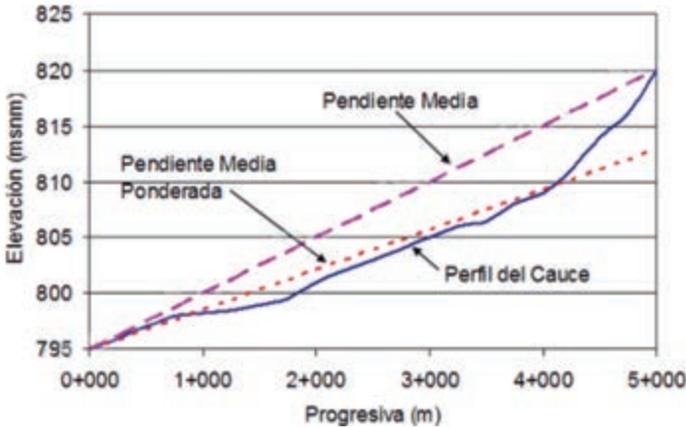
La pendiente de la cuenca tiene gran influencia en la respuesta de esta ante un evento de precipitación y es el principal indicador del relieve de una cuenca. Esta determina la velocidad de escurrimiento, una pendiente mayor corresponde a una velocidad mayor en los cauces, y consecuentemente un tiempo de concentración menor.

Por otro lado, la pendiente del cauce principal también tiene gran influencia en la velocidad con la que el agua sale de la cuenca. Para determinar la pendiente de un cauce se proponen tres métodos:

- Desnivel entre los extremos del cauce: es el método más sencillo, sin embargo, sobreestima la pendiente media. Se determina dividiendo la diferencia de nivel entre el inicio y el final del cauce y dividiendo por la longitud del mismo.
- Pendiente ponderada: como muestra la Figura 7, la pendiente ponderada se obtiene al trazar una línea junto al perfil del río que compense los puntos altos y bajos.

- Pendiente 15-85: es muy similar al primer método, sin embargo, se descarta 15% de los trechos inicial y final del curso de agua. Esto se debe a que la mayoría de cursos de agua tienen alta declividad próxima a la naciente y se vuelve prácticamente plano cerca de la desembocadura.

**Figura 7. Pendiente de un río**



Fuente: <https://bit.ly/2MDfRB1>

#### 1.4.5. Tipo y uso del suelo

El tipo de suelo de la cuenca influye en la cantidad de agua que se infiltra y percola, además de influir en la cantidad y calidad de las aguas subterráneas de una cuenca. El uso que se le dé a la cuenca puede influir en todos los puntos del ciclo hidrológico. Dependiendo si es una cuenca urbana, con mayor cantidad de pavimento y menor cantidad de vegetación, los procesos de infiltración e intercepción pueden variar. Por otro lado, las cuencas agrícolas tienden a contribuir con mayor evapotranspiración.

Además de los factores del ciclo hidrológico que se ven afectados, y consecuentemente la respuesta de la cuenca ante un evento, el riesgo que suponen eventos extremos es directamente relacionados al uso. Por ejemplo, una cuenca humana con un gran número de habitantes, es más difícil de evacuar que una cuenca que es para uso agrícola o un parque de preservación. Esto no quiere decir que

una cuenca sea más importante que otra, pero sí que las respuestas ante eventos extremos varían de acuerdo al uso.

#### 1.4.6. *Vegetación*

El tipo de vegetación (o la falta de) influyen significativamente en la respuesta de la cuenca a un evento de precipitación. Vegetaciones rastreras, como en los páramos ecuatorianos, suelen funcionar como una esponja y evitan que eventos extremos causen inundaciones aguas abajo.

### 1.5. **Clasificaciones**

Las cuencas hidrográficas se pueden clasificar de diferentes formas. A continuación, se presenta la clasificación de cuencas hidrográficas considerando los parámetros geomorfológicos más utilizados. Sin embargo, las clasificaciones se pueden modificar dependiendo del propósito de las mismas, una clasificación útil para un proyecto de abastecimiento de agua puede ser improductivo para un proyecto de preservación ambiental.

#### 1.5.1. *Por su tamaño*

De acuerdo al área superficial de la cuenca se puede agruparlas de diversas maneras. Para cuencas del Ecuador se propone la siguiente clasificación:

- Cuenca muy grande: Son cuencas hidrográficas que tienen una superficie mayor a 5000 km<sup>2</sup>, se encuentran dentro de estos parámetros las siguientes cuencas en nuestro país:
- Cuenca grande: Son cuencas hidrográficas que tienen una superficie en un rango de 2500 km<sup>2</sup> a 5000 km<sup>2</sup>, las cuencas que en nuestro país se encuentran en este rango se muestran en la Tabla No. 1, así como los demás ejemplos.
- Cuenca intermedia grande: Son cuencas hidrográficas que tienen una superficie en un rango de 500 km<sup>2</sup> a 2500 km<sup>2</sup>.

- Cuenca intermedia pequeña: Son cuencas hidrográficas que tienen una superficie en un rango de 250 km<sup>2</sup> a 500 km<sup>2</sup>.
- Cuenca pequeña: Son cuencas hidrográficas que tienen una superficie en un rango de 25 km<sup>2</sup> a 250 km<sup>2</sup>.
- Cuenca muy pequeña: Son cuencas hidrográficas que tienen una superficie en un rango menor de 25 km<sup>2</sup>.

**Tabla 1. Ejemplos de cuencas en el Ecuador por su tamaño**

Clasificación	Río	Superficie (km <sup>2</sup> )
Muy grande	Cayapas	6080
Muy grande	Guayllabamba	8232
Grande	Chone	2325
Grande	Quinindé	4134
Intermedia grande	San Juan	1185
Intermedia grande	Jama	1370
Intermedia pequeña	Estero Las Saibas	277
Intermedia pequeña	Milagro	342
Pequeña	Alao	108
Pequeña	Yanahurco	78
Muy pequeña	Marcos	23
Muy pequeña	Blanco	18

Elaboración: Miguel Araque

### 1.5.2. Por el sitio de desembocadura

Dependiendo si el río o cuerpo hídrico de la principal unidad hidrográfica desemboca en el océano o en un lago o laguna.

*Cuenca endorreica:* Son cuencas hidrográficas cuyo punto de salida de las aguas superficiales se encuentra dentro de la misma cuenca, pudiendo ser un lago o una laguna.

**Figura 8. Cuenca endorreica**

Elaboración: Miguel Araque

*Cuenca exorreica:* Son cuencas hidrográficas cuyo punto de salida de las aguas superficiales es un río principal que desemboca en el océano. En Ecuador, la mayoría de las cuencas son de este tipo y se dividen en dos vertientes: del Pacífico y del Amazonas. Como el nombre lo sugiere, las primeras son las que desembocan en el océano Pacífico y las segundas desembocan en el río Amazonas (que luego llegará al Atlántico).

**Figura 9. Cuenca exorreica**

Elaboración: Michelle Vásconez

*Cuenca arreica:* Es aquella cuya agua no desemboca en cuerpos de agua el agua se filtra en el subsuelo o se evapora. En Ecuador, un ejemplo de este tipo de cuenca son los páramos.

### 1.5.3 *Por su uso*

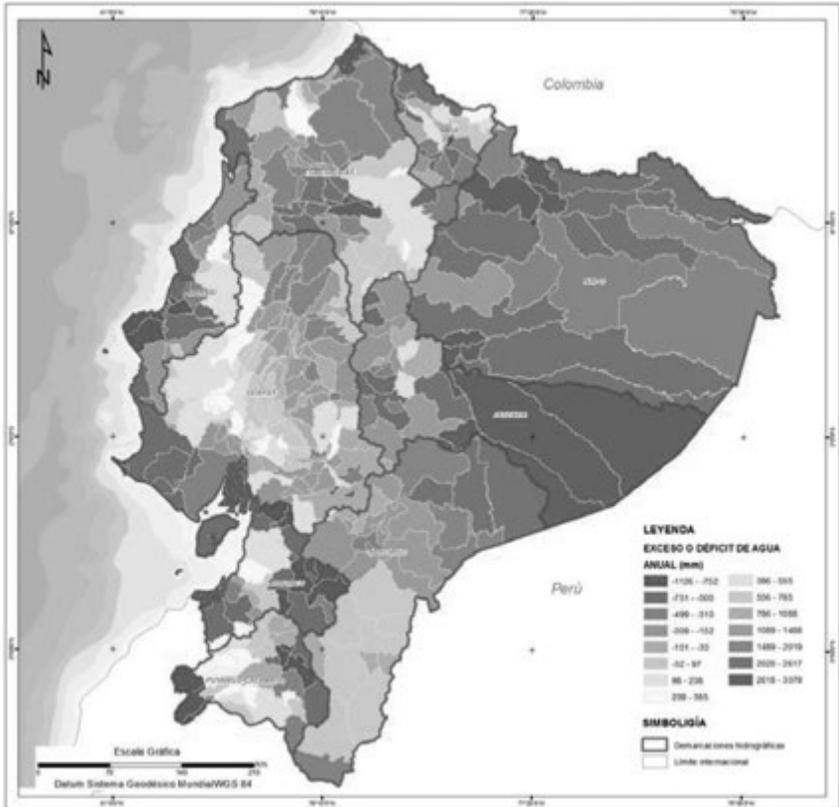
A pesar de que las cuencas hidrográficas ejercen varias funciones a la vez, se puede agrupar las cuencas de acuerdo a su principal función. Aunque la función principal puede variar de acuerdo a cada actor.

- Para abastecimiento de agua potable.
- Agua para riego.
- Agua para navegación.

## 1.6. **Cuencas hidrográficas en el Ecuador**

Los ríos ecuatorianos se pueden agrupar en ríos que fluyen hacia el océano Pacífico (al oeste de los Andes) y los ríos que fluyen hacia el río Amazonas (al este de los Andes). Alrededor del 88% de la población del país se asienta en el área de la cuenca del Pacífico, pero tiene solo el 11.5% del potencial hídrico. Esta disparidad genera regiones con estrés hídrico, especialmente en la estación seca, aunque parece que el país en general tiene suficientes recursos hídricos, ya que la precipitación promedio anual es de 2274 mm (Senagua, 2017). La figura No. 10 muestra la distribución del agua; los colores rojos representan déficit y los colores azules en exceso. La mayoría de los recursos hídricos de Ecuador provienen de aguas superficiales, con solo un 4% de agua subterránea.

Figura 10. Balance nacional del agua



Fuente: <https://bit.ly/2k4uKAv>

Como se ha mencionado anteriormente, las autoridades responsables del manejo de los recursos hídricos utilizan el concepto de demarcaciones hidrográficas (DH) como unidad de planificación regional. El país se divide en nueve demarcaciones:

- DH Vertiente del Pacífico: Mira, Esmeraldas, Manabí, Guayas, Jubones y Puyango Catamayo.
- DH Vertiente Amazónica: Napo, Pastaza y Santiago.

Tabla 2. Características de los principales ríos en Ecuador

Vertientes	Demarcación Hidrográfica	Características de los principales ríos en Ecuador			
		Nombre de los ríos	Área (km <sup>2</sup> )	Longitud (Km)	Esorrentía media Multianual (hm <sup>3</sup> )
Océano Pacífico	Mira	Río Mira	6532.7	198.5	7.34
		Río Carchi	283.3	43.6	252
		Río Chana	77.1	17.5	72
	Esmeraldas	Río Esmeraldas	21 673	235.8	28 677
		Río Cayapas	6173.1	150.5	8.51
		Río Verde	927.5	96.9	860
		Río Muisne	610.1	55.4	580
		Río Chone	2668.1	63.2	1932
		Río Portoviejo	2083.7	106	777
		Río Jama	1365.2	93.9	1102
Manabí	Río Cuaque	644.6	81.3	742	
	Río Guayas	37 572.4	168.4	36 859	
	Canal del Morro	2090.9	71.1	249	
Guayas	Río Zapotal	1014.6	62.8	101	
	Río Javita	831.2	21.6	84	

Vertientes	Demarcación Hidrográfica	Características de los principales ríos en Ecuador			
		Nombre de los ríos	Área (km <sup>2</sup> )	Longitud (km)	Escorrentía media Multianual (hm <sup>3</sup> )
Océano Pacífico	Jubones	Río Jubones	4280.6	84.2	2941
		Río Santa Rosa	1084.2	55.4	133
		Río Balao Grande	744.1	63.8	411
	Puyango-Catamayo	Río Naranjal	517.9	35	419
		Río Chira	7221.1	53.7	6164
		Río Puyango	3337.4	115.7	2898
Vertiente del Amazonas	Napo	Gda. Cazaderos	340	79.3	204
		Río Napo	42 964.7	422.8	91 129
	Pastaza	Río Curaray	8708.3	514.3	13 304
		Río Putumayo	5727.7	199	14 598
		Río Pastaza	21 777.3	321.8	32 544
Santiago	Río Conambo	7135.9	216.6	5407	
	Río Huasaga	1099.3	186.5	2689	
	Río Corrientes	1015.9	193.4	1676	
	Río Santiago	21 557.4	305.7	33 691	
		Río Morona	5850	236.2	15 957
		Río Chinchipe	3133.9	43.4	6646

Fuente: Cartografía base del Ecuador IGM (CISPDR, 2013)

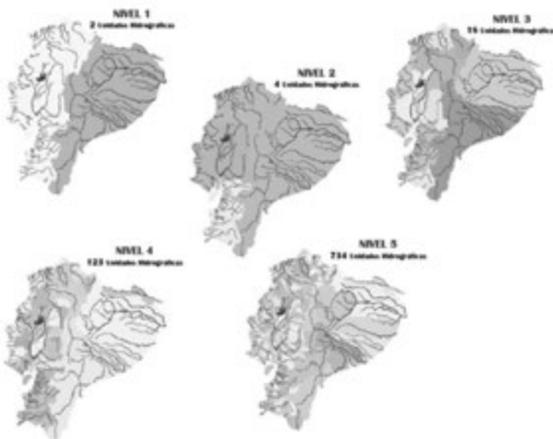
La Secretaría del Agua (Senagua) es el órgano gubernamental encargado de la gestión de los recursos hídricos y ha aprobado la metodología Pfafsteter para la codificación y división de las unidades hidrográficas. La metodología Pfafsteter es un sistema jerárquico que delinea a las cuencas hidrográficas a partir de uniones en una red fluvial. Esta metodología se basa en asignar identificadores (números) a unidades de drenaje basado en la topología de la superficie del terreno. El nivel 1 corresponde a la escala continental de unidades de drenaje. En el Ecuador estas son las cantidades de unidades hidrológicas de cada nivel:

**Tabla3. Unidades hidrográficas (Pfafsteter)**

Nivel	Vertiente del Pacífico	Vertiente del Amazonas	Total
I	1	1	2
II	3	1	4
III	16	2	18
IV	117	6	123
V	711	23	734

Elaboración: Claudia Prehn

**Figura 11. Unidades hidrográficas**



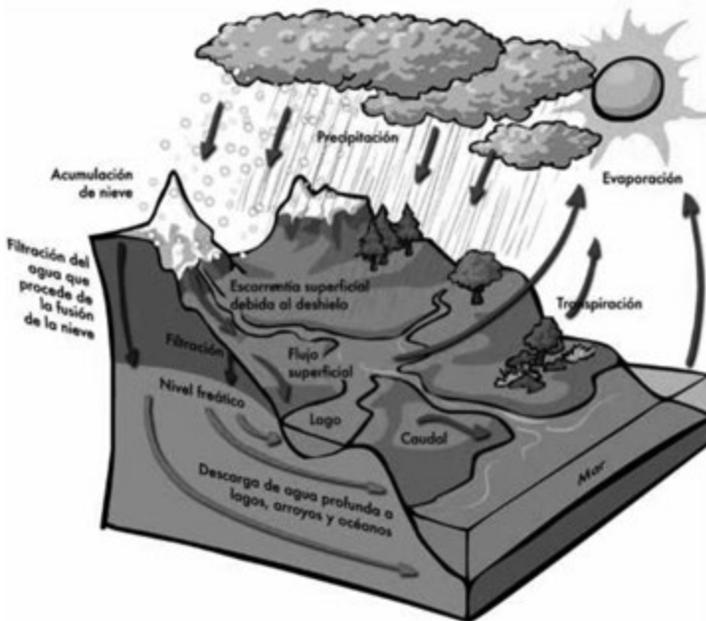
Fuente: <https://bit.ly/2WZDihQ>

# Capítulo 2

## 2. El ciclo hidrológico

Se define como un fenómeno global de circulación cerrada del agua entre la superficie terrestre y la atmósfera, impulsado por la energía solar asociada a la gravedad y la rotación terrestre. En otras palabras, el ciclo hidrológico representa el camino recorrido por el agua en sus tres estados físicos (sólido, líquido y gaseoso).

Figura 12. Ciclo hidrológico



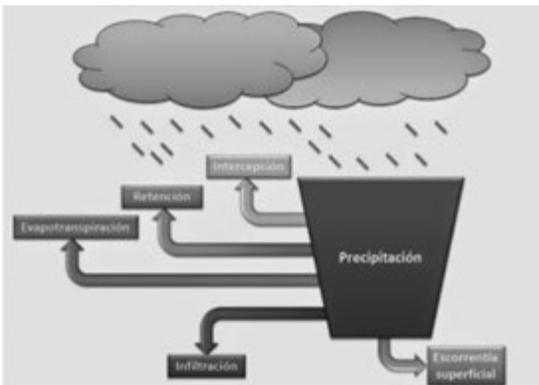
Las fases del ciclo hidrológico son:

- Evaporación (transpiración)
- Precipitación
- Intercepción
- Escurrimiento superficial
- Infiltración
- Percolación

Es importante notar que el balance hidrológico, o conservación de masa, se aplica a la totalidad del ciclo hidrológico. Es decir, dentro de un volumen de análisis la precipitación:

$$\text{Entrada} - \text{Salidas} = \text{Variación del almacenamiento}$$

**Figura 13. Balance hídrico**



Fuente:  
<http://aquaproombus.blogspot.com/2014/10/precipitacion-ii-perdidas.html>

En las siguientes secciones se define más afondo la precipitación, puesto que esta tiene gran influencia en la cantidad de recurso hídrico en la cuenca y afecta a los habitantes de la misma. Se debe tomar en consideración que cada fase conlleva un área de estudio compleja y que debería ser analizada cuando se determina la cantidad de recursos hídricos disponibles.

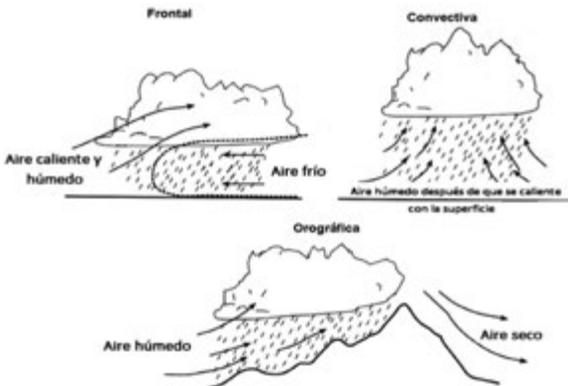
## 2.1. Precipitación

Fenómeno físico que consiste en la transferencia de volúmenes de agua en sus diferentes formas (lluvias, nieve, granizo, etc.) de la atmósfera a la superficie terrestre. El levantamiento de aire es el mecanismo más importante que resulta en la precipitación. Las masas de aire se elevan y, en condiciones adiabáticas, la temperatura desciende hasta cerca de su punto de rocío. La precipitación no solamente se manifiesta como agua en estado líquido (lluvia), pero puede presentarse en estado sólido (nieve, granizo, etc.). Es importante diferenciar las formas de condensación, como la neblina y el rocío, que no son formas de precipitación.

Las precipitaciones pueden ser clasificadas de acuerdo con las condiciones que producen movimiento vertical (ascensión) del aire:

- Convectiva o de verano: ocurren en días cálidos y se caracterizan por su alta intensidad y corta duración. Son concentradas en áreas reducidas.
- Orográfica: se relaciona con la presencia de una barrera topográfica (montañas). Son intensas, localizadas e intermitentes.
- Convergencia o frontal: son las resultantes de las frentes (ver sección 4.3). Son las más fáciles de prever. Poseen intensidad moderada, larga duración y abarcan grandes áreas.

**Figura 14. Tipos de precipitaciones**



Fuente:  
<https://bit.ly/1QZVm2n>

Las magnitudes que se deben determinar para caracterizar a la precipitación son:

- **Altura pluviométrica:** corresponde a la altura en mm de lluvia. Se obtiene por medio de un pluviómetro.
- **Duración:** periodo desde el inicio del evento hasta el fin, se puede expresar en horas o minutos.
- **Intensidad:** relación entre la altura pluviométrica y la duración de la lluvia.
- **Frecuencia:** se expresa como período de retorno, este es definido como el tiempo medido en años para que un evento sea igualado o superado con una probabilidad determinada.

### 2.1.1. *Precipitación media en una cuenca*

Partiendo de los datos de las estaciones pluviométricas y pluviográficas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología que se encuentran localizadas en todas las regiones de nuestro país, es posible realizar los cálculos de la precipitación media en una cuenca hidrográfica.

Por ejemplo, en la provincia de Pichincha el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología cuenta con cuatro estaciones agro meteorológicas, ocho estaciones climatológicas principal, tres estaciones climatológicas ordinarias, seis estaciones pluviométricas y una estación pluviográfica. Mientras mayor sea el número de estaciones y se tengan mayor número de años de registros, los cálculos de la precipitación media en cuencas se aproximarán aún más a la realidad.

Es necesario indicar que la meteorología y en el cálculo de la precipitación media se utilizan los modelos matemáticos determinísticos, debido a que se considera que a cada valor de la variable independiente le corresponde una variable dependiente. Además, este método considera que no existe incertidumbre en los datos seleccionados y los mismos reflejan la distribución del fenómeno en el área del proyecto.

#### 2.1.1.1. *Método de la media aritmética*

Para el cálculo de la precipitación media en una cuenca por este método considera las siguientes hipótesis:

- Es importante que en la cuenca hidrográfica existan suficientes estaciones pluviométricas.
- Las estaciones deben estar distribuidas uniformemente en la cuenca hidrográfica.
- En lo posible que la cuenca hidrográfica tenga una topografía sin accidentes geográficos.

La fórmula que se puede utilizar para determinar la precipitación media es la siguiente:

$$\text{Precipitación media} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Precipitación (i)}}{n}$$

En donde:

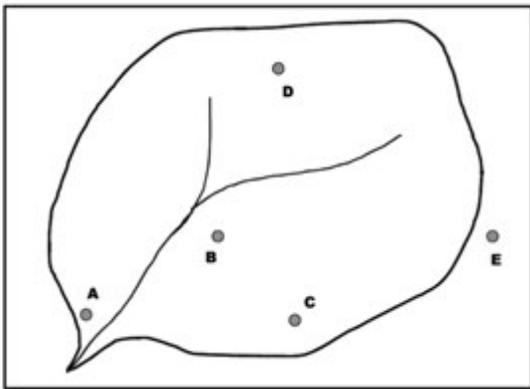
Precipitación (i) = Precipitación puntual en la estación (i)

n = número de estaciones dentro de la cuenca hidrográfica

*Ejemplo No.1:* Determinar la precipitación media en la cuenca hidrográfica considerando los siguientes datos:

- Dibujo en planta de la cuenca con las estaciones pluviométricas:

**Figura 15. Cuenca con estaciones**



Fuente: <https://bit.ly/2KAZ5Wu>

- Datos de precipitaciones en las estaciones en el mes de marzo del 2016

**Tabla 4. Datos de precipitación mes de marzo 2016**

Estación	Altitud (m.s.n.m.)	Precipitación (mm)
A	48	38,04
B	448	55,36
C	522	86,75
D	937	122,45
E	1298	102,35

Elaboración: Miguel Araque

Utilizamos la fórmula para calcular la precipitación media en el mes de marzo

$$\text{Precipitación media} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Precipitación } (i)}{n}$$

$$\text{Precipitación media} = \frac{38,04\text{mm} + 55,36\text{mm} + 86,75\text{mm} + 122,45\text{mm} + 102,35\text{mm}}{5}$$

Precipitación media en el mes de marzo 2016 = 80,99 mm

- Datos de precipitaciones anuales en las estaciones pluviométricas:

**Tabla 5. Datos de precipitación anuales en el 2016**

Estación	Altitud (m.s.n.m.)	Precipitación (mm)
A	48	1385,45
B	448	1566,34
C	522	997,65
D	937	1289,56
E	1298	1745,34

Elaboración: Andrea Mancheno

Utilizamos la fórmula para calcular la precipitación media en el mes de marzo

$$\text{Precipitación media} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Precipitación (i)}}{n}$$

$$\text{Precipitación media} = \frac{1385,45 + 1566,34 + 997,65 + 1289,56 + 1745,34}{5}$$

$$\text{Precipitación media anual} = 13896,87 \text{ mm}$$

### 2.1.2.2. Método de los polígonos de Thiessen

Para el cálculo de la precipitación media en una cuenca por el método de Thiessen se considera las siguientes hipótesis:

Se calcula una media ponderada considerando que el valor medio de la precipitación se encuentra en función del área de influencia.

El área de influencia de cada una de las estaciones pluviométricas se determina trazando mediatrices en el segmento que une las estaciones.

Dentro de lo posible las estaciones deben estar distribuidas uniformemente dentro de la cuenca hidrográfica.

La fórmula que se utiliza para calcular la precipitación media es la siguiente:

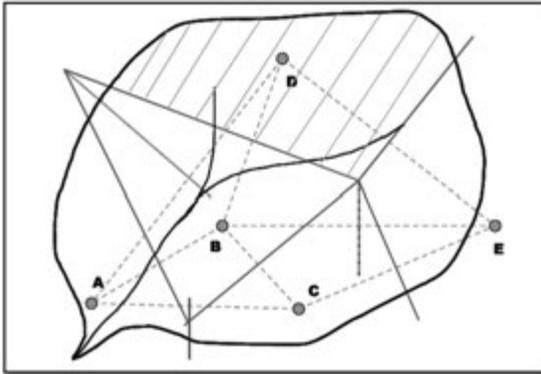
$$\text{Precipitación media} = \frac{1}{\text{Área total}} * \sum_{i=1}^n \text{Precipitación (i)} * \text{Área (i)}$$

En donde: Precipitación (i) = Precipitación puntual en la estación (i)  
A = Área de influencia de la estación.

*Ejemplo No. 2:* Determinar la precipitación media en la cuenca hidrográfica por el método de Thiessen basados en los siguientes datos:

Dibujo en planta de la cuenca con las estaciones pluviométricas:

Figura 16. Método de Thiessen



Fuente: <https://bit.ly/2KAZ5Wu>

- Datos de precipitaciones en las estaciones en el mes de marzo del 2016

Tabla 6. Datos de precipitación mes de marzo 2016

Estación	Altitud (m.s.n.m.)	Precipitación (mm)	Área de influencia (ha)
A	48	38,04	8,90
B	448	55,36	14,35
C	522	86,75	10,45
D	937	122,45	9,50
E	1298	102,35	7,65
		∑ área =	50,85

Elaboración: Michelle Vásquez

Se aplica la fórmula:

$$P \text{ media} = \frac{1}{50,85 \text{ Ha}} * \sum (38,04*8,90 + 55,36*14,35 + 86,75*10,45 + 122,45*9,50 + 102,35*7,65)$$

$$\text{Precipitación media} = \frac{3985,76 \text{ mm}\cdot\text{Ha}}{50,85 \text{ Ha}} = 78,38 \text{ mm}$$

## 2.2. Evaporación

Es el proceso por el cual las moléculas del agua en la superficie líquida o en la humedad del suelo, adquieren energía suficiente (a través de la radiación solar y otros factores climáticos) y pasan del estado líquido para el de vapor.

Existen diferentes tipos de evaporación en la naturaleza, algunos autores diferencian a la evapotranspiración como un proceso diferente de la evaporación, aunque aquí se considera como un tipo de evaporación indirecta. Los tipos de evaporación son:

- De aguas superficiales: este es el factor más representativo puesto a que incluye la evaporación de los océanos, así como la de los ríos y lagos.
- Del suelo: la humedad del suelo evapora dependiendo de la humedad del aire, la temperatura y el tipo de suelo.
- Por intercepción: es la evaporación derivada de las superficies húmedas luego de un evento de precipitación (hojas de la vegetación, estructuras como techos y carreteras).
- Por nieve y hielo: es la evaporación que ocurre en lugares nevados. En Ecuador los picos nevados contribuyen a este tipo de evaporación.
- Transpiración (evapotranspiración): es el agua que liberan las plantas en forma de vapor por medio de sus hojas. Gran parte del agua absorbida por la vegetación se devuelve a la atmósfera por medio de este proceso.

Todos los demás tipos de evaporación se consideran directas, solamente la evapotranspiración es considerada indirecta.

Las magnitudes típicas de la evaporación se muestran a seguir:

- Pérdida por evaporación (E): es el volumen de agua evaporada por humedad de área horizontal (se expresa en mm) durante un cierto período de tiempo.

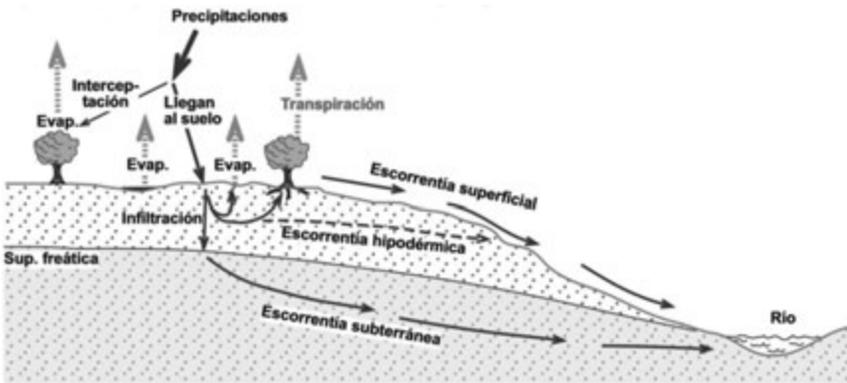
- Intensidad de evaporación (mm/h): es la velocidad con que se procesa las pérdidas por evaporación.

Los factores que más influyen en la evaporación son: temperatura, presión atmosférica, presión de vapor, humedad relativa, viento, tipo de superficie y radiación solar.

### 2.3. Esgurrimiento o escorrentía

Se define como agua procedente de la precipitación que llega a alimentar a las corrientes superficiales de una cuenca. Se puede identificar tres componentes de la escorrentía, como se muestra en la Figura 17.

Figura 17. Tipos de escorrentía



Fuente: <https://bit.ly/2A547DK>

#### 2.3.1. Escurrentía superficial

Porción más rápida de la escorrentía, no se infiltra en ningún momento y llega a la red de drenaje moviéndose por la superficie del terreno por acción de la gravedad. Sumada a la escorrentía sub-superficial rápida, se denomina escorrentía directa.

### 2.3.2. *Escorrentía subsuperficial (Hipopodérmica)*

Parte de la escorrentía que se infiltra y que se mueve por medio de la capa más superficial del suelo, reapareciendo en la superficie en forma de manantiales. Se puede dividir en dos flujos: lento y rápido.

### 2.3.3. *Escorrentía subterránea*

Porción más lenta de la escorrentía, se infiltra y alcanza el nivel freático. Posteriormente llega a la red principal de drenaje. En conjunto con la escorrentía subsuperficial lenta, se denomina la escorrentía base.

El indicador más común para considerar la escorrentía en modelos hidrológicos es el coeficiente de escurrimiento. Este es definido como la relación entre el volumen total escurrido y el volumen total precipitado. Generalmente, este coeficiente puede encontrarse en tablas, dependiendo de la pendiente, cobertura vegetal y tipo y uso del suelo.

Para analizar o evaluar el escurrimiento superficial producido por una precipitación intensa, en una cuenca, es importante elaborar el hidrograma, que consiste en un gráfico que muestra la evolución del caudal a lo largo del tiempo. En el siguiente capítulo se detalla el estudio de estos gráficos.

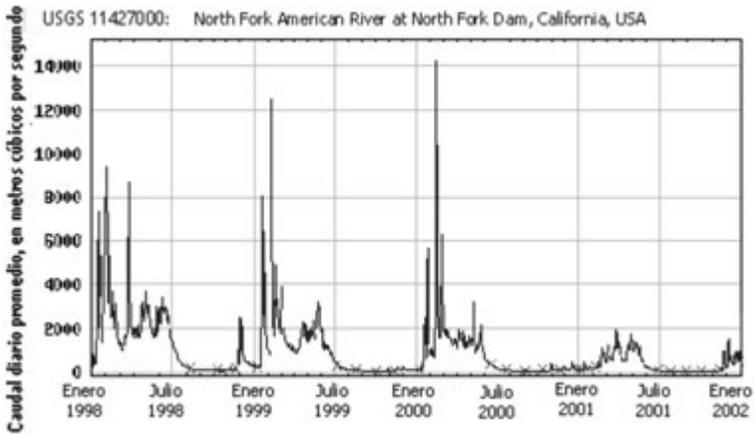
## 2.4. **Hidrogramas**

Se define como hidrograma de la zona de estudio a la representación gráfica de las variaciones de caudal con respecto al tiempo considerando la secuencia cronológica en que se ha producido.

En el hidrograma el eje de las abscisas corresponde al tiempo que puede estar cuantificado en segundos, minutos u horas, mientras que el eje de las ordenadas corresponde al caudal cuyas unidades de medida pueden ser litros/segundos o metros cúbicos/segundo. Esta gráfica puede hacer referencia a la representación de caudales medios diarios de un determinado año hidrológicos, o un periodo de tiempo mayor, o puede representar la curva de caudales versus tiempo obser-

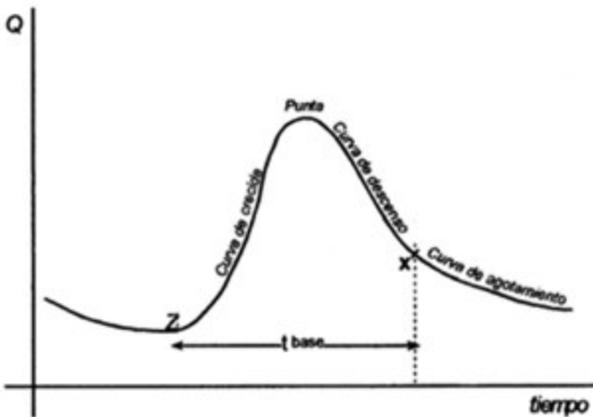
vada durante una crecida, como muestran las Figuras 18 y 19, éste último es conocido como Hidrograma de crecida.

**Figura 18. Hidrograma de caudales de cuatro años (enero de 1998-enero 2002)**



Fuente: <https://on.doi.gov/2IHUPT8>

**Figura 19. Hidrograma de una crecida**



Fuente: <https://bit.ly/2Fvey6d>

Se trabaja con más detalle el hidrograma de crecida debido a su gran importancia en los estudios de obras hidráulicas relacionadas con avenidas e inundaciones y, en particular, en el diseño de canales, embalses, vertederos y alcantarillas.

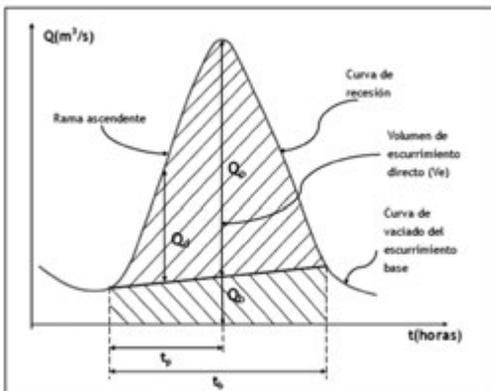
Existe un largo del camino que el agua precipitada debe recorrer hasta alcanzar una determinada sección del río principal en una cuenca, en este recorrido intervienen otras etapas del ciclo hidrológico, como evaporación, transpiración, infiltración, etc. Por lo que, el comportamiento del caudal a lo largo del tiempo es el resultado de todos los procesos y etapas del ciclo hidrológico que ocurren en la cuenca hidrográfica en estudio, desde la ocurrencia de la precipitación hasta la formación de ese caudal.

Si consideramos la cuenca hidrográfica como un sistema donde la entrada es la precipitación y la salida es el caudal en su desembocadura, se entiende que el hidrograma representa una respuesta de la cuenca, en la zona considerada, a la precipitación que ocurre en su área de contribución. La forma como se da esta respuesta, es decir el formato del hidrograma, es el reflejo directo de las características de cada cuenca, que ya se trató en el Capítulo 1.

#### 2.4.1. Partes del hidrograma

A continuación, se presenta el marco conceptual de las partes características de un hidrograma:

**Figura 20. Partes del hidrograma**



Elaboración: Miguel Araque

- *Curva de concentración:* Es la parte ascendente del hidrograma en la cual se observa que se incrementa al caudal de escorrentía a medida que transcurre el tiempo.
- *Pico del hidrograma:* Corresponde al caudal máximo de escorrentía superficial registrada en la zona del proyecto.
- *Curva de descenso:* Es la parte descendente del hidrograma en la cual se observa el descenso del caudal de escorrentía a medida que transcurre el tiempo.
- *Punto de inicio de la curva de agotamiento:* Este punto representa que la escorrentía superficial ha terminado y el volumen de agua de escorrentía tiene su origen en la escorrentía subterránea.
- *Curva de agotamiento:* el volumen de agua de escorrentía tiene su origen en la escorrentía subterránea.
- *Tiempo de concentración:* Es el tiempo que demora el viaje de una gota de agua desde la parte más alejada de la cuenca hidrográfica hasta el sitio de medida de caudal o punto de aforo.

La fórmula recomendada para calcular el tiempo de concentración es la de Kirpich

$$T_c = 0,0195 * \left(\frac{L^3}{H}\right) 0.385$$

Dónde:  $T_c$ : tiempo de concentración calculada en minutos

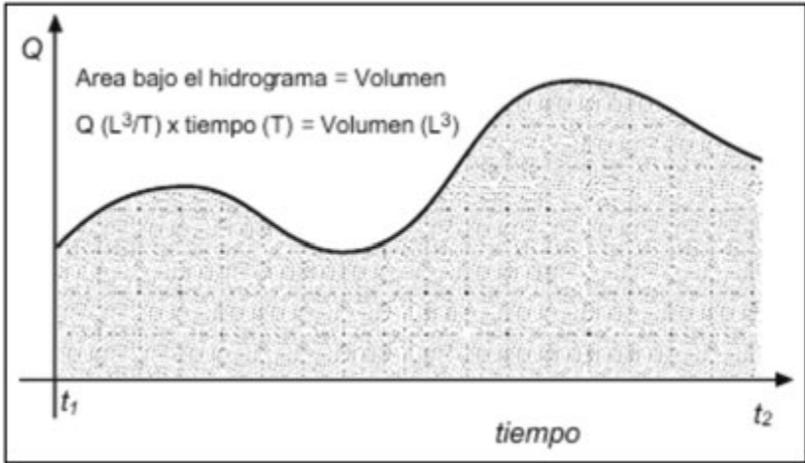
L: longitud máxima de recorrido calculada en metros

H: Incremento de cotas entre puntos extremos del cauce principal

- *Tiempo pico:* Es el tiempo que demora en llegar la escorrentía superficial a su caudal máximo.
- *Tiempo base:* Es el tiempo que transcurre desde que inicia la escorrentía superficial en la cuenca hidrográfica hasta el fin del mismo.
- *Tiempo de retardo:* Es el tiempo medido desde el centro de gravedad del hidrograma hasta el centro de gravedad del hidrograma.

El área bajo el hidrograma representa el volumen de agua que escurrimiento considerado en el intervalo de  $t_1$  a  $t_2$ .

**Figura 21. Área bajo el hidrograma**



Fuente: <https://bit.ly/2RtGgFe>

Los factores climáticos que afectan directamente al hidrograma de crecida son:

- La intensidad de la lluvia.
- La duración de la precipitación.
- La distribución espacial de la lluvia.
- El temporal existente en la cuenca hidrográfica.

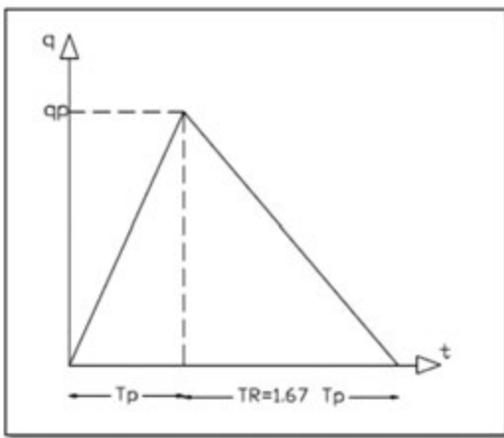
#### 2.4.2. Hidrograma unitario

Se define como el hidrograma de escurrimiento directo que se produce por una lluvia efectiva o en exceso de una lámina unitaria (generalmente de 1mm, aunque puede ser 1cm, 1 pulgada, etc.), duración *de* y repartida uniformemente en la cuenca.

2.4.3. *Hidrograma unitario sintético*

El hidrograma unitario sintético puede ser considerado como una representación gráfica de la relación que existe en una cuenca hidrográfica entre la lluvia generada y el escurrimiento superficial.

**Figura 22. Hidrograma Unitario Sintético**



Fuente: Guía Práctica H. U. S.

Las fórmulas utilizadas para el cálculo del hidrograma son las siguientes:

- Fórmula para obtener el caudal pico:

$$q_p = 0,208 * \frac{A * Q}{T_p}$$

En donde:  $q_p$  = caudal pico calculado en  $m^3/seg$   
 $A$  = área de aporte calculada en  $km^2$   
 $Q$  = volumen de escurrimiento en  $mm$   
 $T_p$  = tiempo hasta que se presente el caudal pico

- Fórmula para calcular el tiempo pico:

$$T_p = 0,70 * T_c$$

En donde:  $T_p$  = tiempo pico calculado en horas  
 $T_c$  = tiempo de concentración calculado en hora

- Fórmula para calcular el tiempo de concentración:

$$T_c = \left( \frac{11,9 \cdot L^3}{H} \right) 0,385$$

En donde: L = longitud del curso más largo calculada en millas  
H = diferencia de elevación calculada en pies.

#### 2.4.4. Hidrograma unitario triangular

El hidrograma triangular fue desarrollado su por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los Estados Unidos de Norte América, se utiliza en el estudio hidrológico de cuencas hidrográficas pequeñas.

A continuación, se presentan los principios teóricos que se toman en cuenta en el hidrograma triangular:

- *Primer principio:* Al momento que se presenta la precipitación en la cuenca hidrográfica, base del estudio, se supone que la escorrentía superficial que se genera tiene igual duración y distribución espacial que la precipitación efectiva, no se considera la duración de la precipitación en el periodo de tiempo comprendido entre el 1/3 y 1/5 del tiempo de concentración que se calcule en la cuenca hidrográfica.
- *Segundo principio:* Las ordenadas de los hidrogramas que se presentan en la cuenca hidrográfica corresponden a precipitaciones unitarias, las mismas que tienen distribución temporal y espacial idénticas son directamente proporcionales a sus intensidades.
- *Tercer principio:* Al momento que se presenta la precipitación en la cuenca hidrográfica se supone que las precipitaciones de larga duración se pueden obtener como una sucesión de precipitaciones unitarias y sumando las ordenadas correspondientes a las mismas.

Las fórmulas que son utilizadas en el hidrograma unitario triangular son las siguientes: El caudal pico unitario se obtiene con la siguiente expresión:

$$qp = 0,208 * \frac{A}{tP}$$

En donde: qp = caudal de escorrentía medido en m<sup>3</sup>/seg/mm  
 A = área de la cuenca hidrográfica medida en km<sup>2</sup>.  
 tp = tiempo pico medida en horas

El tiempo de recesión se determina con la siguiente expresión:

$$tr = 1,67 * tp$$

El tiempo pico se calcula con la siguiente fórmula:

$$tp = \sqrt{tc} + 0,6 * tc$$

El tiempo de concentración se puede calcular con las siguientes formulas:

- *Formula de Kirpich:*

$$tc = 0,0195 * \left(\frac{L^3}{H}\right) 0,385$$

Donde: tc: tiempo de concentración calculada en minutos

L: longitud máxima de recorrido calculada en metros

H: Diferencia de cotas entre puntos extremos del cauce principal

- *Fórmula de Témez:*

$$tc = 0,30 * \left(\frac{L}{S^{0,25}}\right) 0,75$$

Donde: tc = tiempo de concentración calculada en horas

L = longitud máxima del recorrido calculada en kilómetro

S = pendiente media del cauce principal calculada en %

- *Fórmula de California Culvert Practice:*

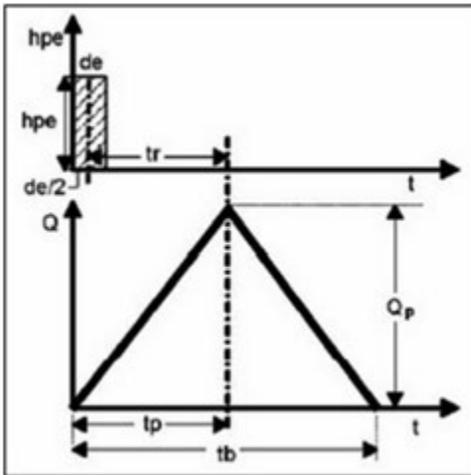
$$t_c = 0,30 * \left(\frac{L^3}{H}\right) 0,385$$

Donde:  $t_c$  = tiempo de concentración calculada en horas

L = longitud máxima del recorrido calculada en kilómetros

H = Diferencia de cotas entre puntos extremos del cauce principal en m.

**Figura 23. Hidrograma triangular**



Fuente: Villón Béjar Máximo (2012);  
Hidrología.

Con la información sustentada en los párrafos anteriores desarrollemos en siguiente ejercicio: Determinar el caudal pico en una cuenca hidrográfica que tiene las siguientes características:

Área de la cuenca =  $58,60 \text{ km}^2 = 58,600 \text{ m}^2$

Longitud del cauce principal =  $15,8 \text{ km} = 15,800 \text{ m}$

Desnivel total del cauce =  $900 \text{ m}$

- a) Procedemos a calcular el tiempo de concentración por los diferentes métodos:

$$\text{Fórmula de Kirpich: } tc = 0,0195 * \left(\frac{L^3}{H}\right) 0,385$$

$$tc = 0,0195 * \left(\frac{15800^3}{900}\right)$$

$$tc = 100,48 \text{ minutos}$$

$$tc = 1,67 \text{ horas}$$

$$\text{Fórmula de Témez: } tc = 0,30 * \left(\frac{L}{S^{0,25}}\right) 0,75$$

$$tc = 0,30 * \left(\frac{15,8}{\left(\frac{900}{15800 * 100}\right)^{0,25}}\right) 0,75$$

$$tc = 1,71 \text{ horas}$$

Fórmula de California Culvert Practice:

$$tc = 0,30 * \left(\frac{L^3}{H}\right)$$

$$tc = 0,30 * \left(\frac{15800^3}{900}\right)$$

$$tc = 0,53 \text{ horas}$$

Una vez que se ha calculado el tiempo de concentración realizamos un promedio entre los valores más cercanos, es decir, los valores obtenidos con las fórmulas de Kirpich y Témez dando un promedio de:

$$tc = \frac{(1,67 \text{ horas} + 1,71 \text{ horas})}{2}$$

$$tc = 1,69 \text{ horas}$$

- b) Se calcula el tiempo pico del hidrograma triangular

$$tp = \sqrt{tc} + 0,6 * tc$$

$$tp = \sqrt{1,69 \text{ horas}} + 0,6 * (1,69 \text{ horas})$$

$$tp = 2,31 \text{ horas}$$

- c) Se calcula el caudal pico unitario generado en la cuenca hidrográfica

$$qp = 0,208 * \frac{A}{tP}$$

$$qp = 0,208 * \frac{58,60 \text{ km}^2}{2,31 \text{ horas}}$$

$$qp = 5,27 \text{ m}^3/\text{seg}/\text{mm}$$

## 2.5. Infiltración

También conocidas como pérdidas, son los procesos en los cuales el agua sale de la unidad de análisis. La intercepción se define como la porción de la precipitación que no llega al suelo. Es decir, la parte que se mantiene en las hojas de la vegetación, techos de las viviendas, carreteras, etc. Depende principalmente de la intensidad de la precipitación, vegetación y uso del suelo.

Se diferencia de la escorrentía puesto que esta no llega a entrar en contacto con el suelo de la cuenca. Luego del evento de precipitación, el agua interceptada se evapora, esta cantidad y capacidad de almacenaje solía ser ignorada en modelos hidrológicos antiguos, pero dependiendo de las condiciones puede ser significativa.

La infiltración es un proceso en el que el agua de un evento de precipitación atraviesa el suelo debido a la fuerza de la gravedad. Está directamente relacionada al tipo de suelo y su porosidad. La entrada del agua al suelo se denomina infiltración y el movimiento del agua dentro de este se denomina percolación.

Los factores que más influyen en la infiltración son: cobertura vegetal, intensidad de la precipitación, humedad inicial del suelo, tipo de suelo y pendiente de la cuenca.



# Capítulo 3

## 3.1. Calidad del agua

Se define como el conjunto de características químicas, físicas y biológicas del agua. Se puede dividir la calidad del agua en diversos parámetros que tienen mayor o menor importancia de acuerdo al uso que se pretende dar a la misma. Por ejemplo, si se pretende utilizar el agua para riego, los parámetros de turbidez pueden presentar límites más permisibles en comparación a cuando el agua se pretende utilizar para consumo humano. Es importante notar que la calidad del agua no es estática, y cambia durante el ciclo hidrológico e incluso durante el proceso de dotación de agua.

En este capítulo se presentan los parámetros de calidad más comunes y los límites cuando se considera agua para consumo humano.

### 3.1.1. Turbidez

Se define como la pérdida de transparencia del agua por la presencia de partículas en suspensión, las unidades de medida de turbidez son las Unidades Nefelométricas de Turbidez conocidas por sus siglas UNT.

Las partículas en suspensión se pueden clasificar de acuerdo a su tamaño:

- Cuando las partículas en suspensión tienen tamaños menores a 10 micras se trata de átomos, iones y compuestos químicos.
- Cuando las partículas en suspensión tienen un tamaño entre 10 micras a 1 micra se trata de partículas muy pequeñas

las mismas que no pueden ser removidas por procesos de sedimentación.

- Cuando las partículas en suspensión tienen un tamaño mayor a 1 micra se trata de partículas muy grandes que pueden ser removidas por procesos de sedimentación.

Por medio del turbidímetro se puede establecer la turbidez del agua y en soluciones acuosas, es un aparato de precisión que se utiliza en plantas de tratamiento de agua potable. El trabajo de este aparato es por medio del método infrarrojo y del método USEPA.

En función de las Unidades Nefelométricas de Turbidez NTU se puede clasificar los proyectos de distribución de agua potable:

- Apta para el consumo humano según normas INEN UNT < 5.
- Sistemas de distribución de agua potable en proyectos urbanos UNT < 0.5.
- Sistemas de distribución de agua potable en proyectos rurales UNT < 5.

### 3.1.2. *Parámetros sensoriales (color, olor y sabor)*

Los parámetros sensoriales de la calidad del agua son importantes para la comodidad y satisfacción de los usuarios. A pesar de que normalmente no generan riesgos de salud, la percepción de los consumidores se ve afectada y pierden confianza en la seguridad del agua.

*Color:* El método estandarizado Platino Cobalto es el más utilizado para determinar el color del agua que ingresa a las plantas de tratamiento de agua potable, este método se basa en una comparación visual del color del agua.

La unidad platino cobalto es la que produce al disolver 1 gr de platino por litro en forma del ion cloroplatinato. Las normas nacionales de calidad de agua permiten hasta un límite máximo de 15 unidades de color aparente, la determinación de este parámetro

se la realiza de forma visual en el laboratorio de agua de la planta de tratamiento.

Con la finalidad de determinar de comparar los colores de las muestras de agua se debe preparar las siguientes soluciones desde 2.5 hasta 100 unidades Platino Cobalto.

**Tabla 7. Unidades de Platino Cobalto**

<b>Mililitros de disolución estándar diluida en 50 mililitros de agua</b>	<b>Color de unidades Platino Cobalto</b>
0,50	5
1,00	10
1,50	15
2,00	20
2,50	25
3,00	30
3,50	35
4,00	40
4,50	45
5,00	50
5,50	55
6,00	60
6,50	65
7,00	70
7,50	75
8,00	80
8,50	85
9,00	90
9,50	95
10,00	100

Elaboración: Miguel Araque

El olor y el sabor del agua en la naturaleza se encuentra influenciado por la presencia de minerales y sustancias orgánicas en disolución. La presencia de compuestos químicos y materia orgánica influyen en su olor y sabor y presentamos a continuación:

- Fenoles
- Diversos hidrocarburos
- Cloro
- Materia orgánica en descomposición
- Algas
- Hongos
- Sales de Magnesio
- Sales de Hierro

### 3.1.3. *Temperatura*

La temperatura ideal para el agua potable apta para el consumo humano está en el rango de los 10°C a 14°C, temperaturas mayores contribuyen al incremento de la solubilidad de los gases como el oxígeno y permite la mayor concentración de sales disueltas. Desde el punto de vista del medio ambiente aguas con temperaturas cercanas a los 25°C afecta considerablemente a las especies acuáticas, aumentando su metabolismo.

### 3.1.4. *Sólidos disueltos totales*

Se define como sólidos disueltos totales equivalente a su traducción al inglés Total Dissolved Solids “TDS” es la suma de las concentraciones de minerales, sales, metales, cationes y aniones disueltos en el agua. Las especies químicas que se encuentran con más frecuencia en el agua son: calcio, fosfato, nitratos, sodio, potasio y cloruros.

Una manera de medir la presencia de “TSD” en el agua es determinando la conductividad de la misma, tomando en cuenta

que el agua pura tiene conductividad igual a cero. La conductividad del agua se puede definir como la capacidad de conducir corriente eléctrica a través de la masa de agua, las unidades de medida con Siemens/centímetro o micro Siemens/centímetro.

Conductividad del agua:

- Agua pura: 0.055 micro Siemens/centímetro
- Agua destilada: 0.5 micro Siemens/centímetro
- Agua de montaña: 1 micro Siemens/centímetro
- Agua pura de uso doméstico: 500 a 800 micro Siemens/centímetro
- Agua potable: < 10.055 micro Siemens/centímetro

Además, se presenta la siguiente clasificación del agua en función a los sólidos disueltos totales “SDT” que nos permite conocer si el agua es apta para el consumo humano:

- Agua apta para el consumo humano SDT < 600 mg/litro
- Agua no apta para el consumo humano SDT > 1000 mg/litro
- Agua que produce incrustaciones en tuberías SDT > 1000 mg/litro
- Agua apta para potabilizarle SDT < 2000 mg/litro

### 3.1.5. Dureza

La dureza del agua se produce por la presencia de iones de Calcio  $Ca^{2+}$  e iones de Magnesio  $Mg^{2+}$  disueltos en agua, sin dejar de mencionar otros cationes como el Aluminio  $Al^{3+}$  y Hierro  $Fe^{3+}$  que puede contribuir con la dureza del agua.

Los principales problemas causados por la dureza del agua son los siguientes:

- En proceso de lavado de ropa no se genera la suficiente espuma lo que implica el uso de mayor cantidad de jabón.

- Los jabones fabricados con grasa animal con la presencia de aguas duras reaccionan con el ion y Magnesio formando un precipitado que puede irritar la piel.
- El sarro generado por las aguas duras taponan las tuberías de desfogue.

A continuación, se presenta un cuadro de resumen donde se observa la clasificación de las aguas de acuerdo a su dureza:

**Tabla 8. Dureza del agua**

Tipo de agua	Rango de dureza del agua como $CaCO_3$
Blanda	50 mg/litro
Moderadamente blanda	50 a 100 mg/litro
Dura	100 a 150 mg/litro
Muy dura	Mayor a 150 mg/litro

### 3.1.6. El pH

El pH del agua es un parámetro químico utilizado para conocer la alcalinidad o acidez del agua, indica las concentraciones del ion hidronio [ $H_3O^+$ ] presentes en determinadas sustancias.

El pH que se recomienda en el tanque de distribución de las plantas de tratamiento de agua potable fluctúa entre 6.5 a 8.5; el nivel óptimo de pH en la unidad de cloración es 7.5. En la naturaleza aguas superficiales con bajo pH impide el normal desarrollo de la vida acuática y es muy corrosiva, mientras que las aguas con elevados niveles de pH facilitan precipitaciones de Ca, Fe, Mn, Al y P.

### 3.1.7. Conductividad

En el agua se define la conductividad como la propiedad que tiene para conducir el paso de corriente a través del mismo. Esta propiedad que tiene el agua se facilita con los electrones que pueden atravesarlos.

### 3.1.8. Corrosividad

La corrosividad se produce en metales como consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno. Además, puede definirse como una reacción química (óxido-reducción) en la cual intervienen tres factores muy bien definidos que son: al material a ser corroído, el medio ambiente y el agua.

A continuación, se mencionan algunos efectos de la corrosividad:

- Reduce la vida útil de las tuberías.
- Deteriora el sabor del agua dándole un sabor a sales de hierro.
- Deteriora el aspecto del agua dándole una coloración castaña.
- Los tipos de corrosión pueden ser: galvánica, atmosférica, industriales, marinas, rurales y por altas temperaturas.

### 3.1.9. Calidad microbiana del agua

Al hablar de la calidad microbiana del agua nos tenemos que referir a la cantidad de organismos patógenos que se encuentran en su seno y son los causantes de las enfermedades al ser humano, ya sea por la ingestión de agua no potable o por consumir productos alimenticios los mismos que no cumplen las normas básicas de higiene y asepsia.

Las enfermedades patológicas de origen hídrico pueden ser causadas por:

- Virus: De tamaño microscópico es un agente infeccioso que no tiene celular y para reproducirse es necesario encontrarse en otra célula. El ciclo reproductivo de los virus contempla las siguientes etapas: la adhesión, la penetración, el despojo, la replicación, el ensamblaje y la liberación de los virus. Se caracterizan por tener tamaños entre 20 micras hasta 300 micras.
- Bacterias: Por lo general de tamaños entre 0,5 a 5 mmicras son microorganismos procariotas que constituye una célula. Las

formas de las bacterias son: alargadas, esféricas, helicoidal y filamentosa. El medio en las cuales se desarrollan son aerobio y anaerobio.

- **Parásitos:** Son organismos microscópicos que constituyen una célula con núcleo, su forma de reproducción es sexual y asexual (división celular), su tamaño se encuentra en el rango de 3mmicras a 200 mmicras.
- **Helmintos:** Son organismos multicelulares que se reproducen por vía sexual, su tamaño se encuentra en el rango de 1 a 2 milímetros

**Tabla 9. Enfermedades hídricas**

<b>Enfermedad</b>	<b>Agente</b>
Brucelosis	Brucella
Carbunco	Basillus anthracis
Cólera	Vibrio cholerae
Difteria	Corynebacterium
Escarlatina	Streptococcus
Fiebre tifoidea	Salmonella typhi
Tuberculosis	Bacterium tuberculosis

Elaboración: Andrea Mancheno

### 3.2. Clima

El clima se define como el conjunto condiciones atmosféricas típicas de una región específica, registrado durante un determinado período de tiempo por lo general de varias décadas. Es importante diferenciar este concepto del tiempo atmosférico, que es el estado momentáneo de la atmósfera en un punto fijo y un momento exacto.

**Figura 24. Representación de la precisión del tiempo**



Fuente: <https://bit.ly/2Fp9LU3>

Aunque el tiempo atmosférico influye en las cuencas hidrográficas, su efecto es momentáneo. El clima, por otro lado, afecta considerablemente diferentes aspectos de las cuencas hidrográficas como la vegetación, fauna e incluso las actividades humanas. En este capítulo se presentan elementos y factores del clima. Es importante notar que ningún factor o elemento influye por separado, el clima es un resultado de todos estos elementos y factores actuando a la vez.

### 3.2.1. Elementos del clima

Los elementos del clima se constituyen por fenómenos meteorológicos y su función es formar el clima de una región. En esta sección se explica brevemente cada uno de los siguientes elementos:

- Temperatura del aire
- Humedad atmosférica
- Presión atmosférica

- Vientos
- Precipitación

#### 3.2.1.1. *Temperatura del aire*

Se puede definir a la temperatura como un indicador de la cantidad o grado de calor en la atmósfera. Es decir, corresponde a la cantidad de energía absorbida por la atmósfera después de la propagación del calor absorbido por el planeta en las porciones sólidas y líquidas. La temperatura atmosférica varía de un lugar a otro, y puede presentar variaciones en el recurrir del tiempo, pues varios factores están relacionados a su distribución o variación.

La cantidad de calor es determinada por el proceso de irradiación, el cual es un proceso indirecto. El sol calienta la tierra, que por su vez irradia calor, el cual es absorbido por el aire. Las escalas de temperaturas más comunes son la escala Celsius (°C) y Fahrenheit (°F).

#### 3.2.1.2. *Humedad atmosférica*

La humedad atmosférica es la cantidad de vapor de agua que contiene una cantidad de aire determinada. Cuando el aire no puede contener más vapor de agua, se dice que está saturado, y si se supera empieza a llover. La cantidad de vapor de agua que puede contener una determinada cantidad de aire depende de la temperatura, de forma que resulta mucho más elevada en las masas de aire caliente que en las de aire frío.

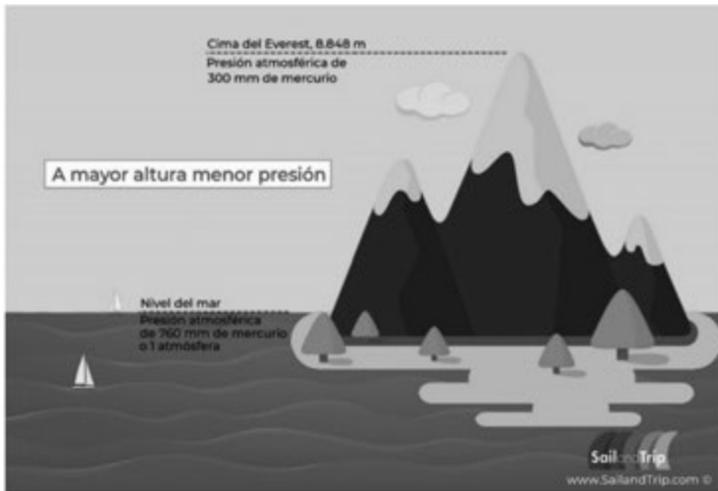
La fuente principal de la humedad del aire es la superficie de los océanos, de donde se evapora el agua de forma constante. Sin embargo, también contribuyen a su formación el agua evaporada de los lagos, glaciares, ríos, superficies nevadas. Además de la evaporación del agua que se encuentra en el suelo, las plantas y los animales.

La humedad absoluta se expresa en kg de vapor de agua/m<sup>3</sup> de aire. Sin embargo, comúnmente se mide la humedad relativa del aire en lugar de la humedad absoluta. La humedad relativa se define como el porcentaje de vapor de agua en el aire, considerando como 100% el máximo vapor de agua que el aire podría contener. Se mide por medio de un higrómetro.

### 3.2.1.3. Presión atmosférica

La presión atmosférica es la fuerza que ejerce la masa de aire de la atmósfera como consecuencia de la gravedad sobre la superficie terrestre o sobre una de sus capas de aire. La presión atmosférica es máxima a nivel del mar y a medida que aumenta el relieve, la presión atmosférica disminuye, puesto a que la cantidad de aire actuando disminuye. Se puede medir la presión de diferentes maneras, aunque la más común es mediante un barómetro. La presión atmosférica puede ser medida en atm (atmósferas), las cuales equivalen a cero a nivel del mar, también puede ser medida en otras unidades de presión como bares y pascales.

**Figura 25. Relación de altura y presión**



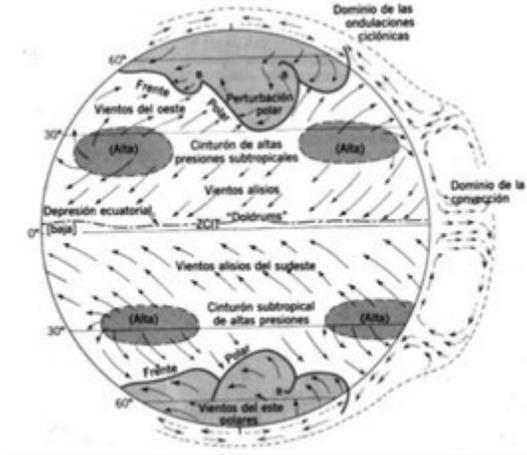
Fuente: <https://bit.ly/2XzjK3j>

### 3.2.1.4. Vientos

Se definen como aire en movimiento, y son generados por las diferencias en la presión atmosférica, temperatura y la rotación de la tierra.

Se pueden clasificar en tres tipos:

Figura 26. Vientos planetarios



Fuente: <https://bit.ly/2Kynz2A>

- Planetarios: se originan del movimiento de rotación de la tierra y se caracterizan por mover grandes cantidades de energía y abarcar grandes porciones de la superficie terrestre. A pesar de tener una dirección constante, la velocidad puede variar.
- Regionales: son generalmente cíclicos y alteran el clima de algunas regiones. Este tipo de vientos varía en intensidad y dirección. Ejemplos de este tipo de vientos son: monzones y ciclones.
- Locales: se limitan a regiones pequeñas y pueden variar en dirección y velocidad. Ejemplos de este tipo de viento son brisas marinas y brisas del valle.

Los vientos son caracterizados por su dirección, que se mide mediante la veleta, y su velocidad.

### 3.2.1.5. Precipitación

La precipitación es el agua que retorna a la superficie terrestre en diversos estados. En la sección 2.1 se explica detalladamente este fenómeno.

### 3.2.2. Factores del clima

Son las condiciones presentes en una región que modifican el clima.

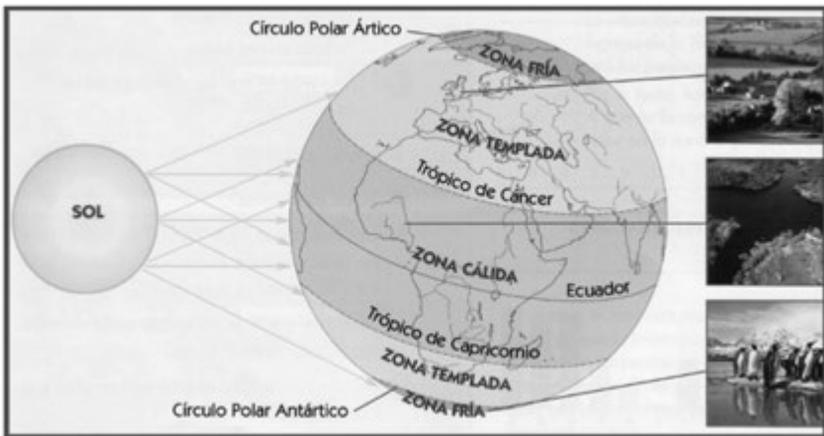
#### 3.2.2.1. Altitud (relieve)

El relieve de una región tiene gran influencia en el clima. Además de que la altitud afecta a la temperatura y a la presión atmosférica, el relieve influye en factores como la precipitación.

#### 3.2.2.2. Latitud

La mayor consecuencia de la latitud es la cercanía al sol. Debido a la inclinación del sol, la zona del Ecuador permanece a la misma distancia del sol durante el año, sin embargo, las zonas polares sufren grandes alteraciones en su distancia al sol dependiendo de la posición traslacional de la tierra (momento del año). La Figura 28 muestra la diferencia entre la zona Ecuatorial y polar respecto a la distancia al sol.

**Figura 27. Inclinación de la tierra e influencia en el clima**



Fuente: <https://bit.ly/2NbhX0w>



La principal influencia de las corrientes marítimas en el clima es indirecta, el contacto de la atmósfera con el océano genera un intercambio de energía calorífica. Si la corriente es fría, ésta enfría el aire en contacto con ella. Este cambio de temperatura puede generar cambios en los vientos, humedad del aire y precipitación.

En rasgos generales se puede dividir a las corrientes marítimas en dos grupos:

- Corrientes cálidas: fluyen del ecuador hacia las latitudes altas (corriente del golfo).
- Corrientes frías: fluyen desde altas latitudes hacia el ecuador (corriente de Humboldt).

La corriente de Humboldt influye de manera importante en el clima del Ecuador. Además, está relacionada al fenómeno del Niño, el cual puede provocar inundaciones y daños en la región costera del país.

#### 3.2.2.5. *Masas de aire*

Se define como una masa uniforme de aire que posee características físicas similares. Se pueden clasificar de acuerdo a su temperatura:

- Ártico y antártico: se originan en los polos y, además de sus bajas temperaturas, poseen bajo contenido de humedad.
- Polar continental: es una masa fría y seca. Se produce en la zona subpolar (entre 50 y 70 grados de latitud).
- Polar marítimo: se genera en la misma zona subpolar, sin embargo, es una masa fría y húmeda.
- Tropical continental: se genera en las zonas continentales de altas presiones en los trópicos. Se caracteriza por ser cálida y seca.

- Tropical marítimo: se produce sobre los océanos, en las zonas conocidas como anticiclones. Se caracteriza por su humedad y calor.
- Ecuatorial: la identificación de estas masas es más complicadas que las demás. Posee elevadas temperaturas y un alto contenido de humedad.

### 3.3. Esferas ambientales

El medio ambiente en general ha sufrido un proceso continuo y progresivo de degradación debido a la acción del hombre en su afán de aprovechar los recursos naturales sin tener en cuenta el aprovechamiento sustentable.

Desde el punto de vista de la Química Ambiental se pretende estudiar los efectos y consecuencias de la degradación del medio ambiente teniendo en cuenta las siguientes esferas ambientales: atmósfera, hidrosfera, geosfera, biosfera y antroposfera. En este capítulo se presenta detalladamente cada una de las cinco esferas ambientales con el objetivo de las conocer cada una de ellas, sus características y los aspectos más relevantes.

#### 3.3.1. Atmósfera

La atmósfera es la capa de nuestro planeta que cumple las siguientes funciones: protege la vida en nuestro planeta, la capa de ozono absorbe la radiación solar ultravioleta, regula la temperatura en nuestro planeta y nos protege de la presencia de meteoritos.

La atmósfera presenta la siguiente composición química: el Nitrógeno constituye un 78% del volumen del aire, el Oxígeno constituye el 21% del volumen del aire, el argón que se considera un gas noble debido a que no reacciona con ninguna sustancia se encuentra constituye el 0.9%, el Dióxido de Carbono CO<sub>2</sub> se encuentra en un porcentaje de 0.03%, el Ozono es un gas que se encuentra en porcentajes despreciables en la atmósfera, vapor de agua que constituye el origen de las nubes y la niebla y partículas sólidas en suspensión.

### 3.3.1.1. Capas atmosféricas

Las capas de la atmósfera son las siguientes: exosfera hasta los 500 km de altura, termosfera hasta los 80 km de altura, mesosfera hasta los 50 km de altura, estratosfera hasta los 10 km de altura y troposfera constituye la capa final. La exosfera está compuesta de gases extremadamente livianos como el hidrógeno y el helio. La atracción de la gravedad de nuestro planeta es tan baja que estos gases escapan del campo gravitacional.

La termosfera está compuesta por un 80% por moléculas de Nitrógeno  $N_2$  y el 20% por moléculas de Oxígeno  $O_2$ . En esta capa es la encargada de retener la radiación ultravioleta y los rayos gamma y rayos X que provienen del sol. La mesosfera contiene gases que se caracterizan por tener una baja densidad, los principales son el Nitrógeno, el Oxígeno y el Dióxido de Carbono.

Una de las características de esta capa atmosférica constituye la formación de nubes sobre los polos terrestres denominadas nubes noctilucen. La estratosfera contiene el 95% de esta capa constituye el ozono. En esta capa se produce la fotosíntesis de la luz del sol por lo cual se rompen los enlaces de la molécula de oxígeno, otros gases presentes en esta capa son óxido nitroso  $N_2O$ , metano  $CH_4$  y clorofluorocarburos CFC. Finalmente, la troposfera es la capa más próxima a la superficie de nuestro planeta, está compuesta por Nitrógeno en sus 4/5 partes, además del metano y el Dióxido de Carbono. Algo fundamental de la troposfera es un regulador térmico de nuestro planeta.

### 3.3.1.2. Gases de efecto invernadero

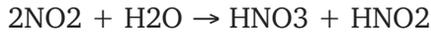
Los gases que se encuentran rodeando nuestro planeta tienen como objetivo principal la regulación térmica del ambiente y absorben o emiten radiación dentro de un rango infrarrojo.

El proceso de absorber y emitir radiación es la principal causa del efecto invernadero. Los gases de efecto invernadero son: vapor de agua, Dióxido de Carbono  $CO_2$ , Metano  $CH_4$ , Óxido Nitroso  $N_2O$ , Clorofluorocarbonos CFC, Ozono  $O_3$ , Hexafluoruro de azufre  $SF_6$ .

### 3.3.1.3. La lluvia ácida

La lluvia ácida se produce en el momento que la humedad del aire se combina químicamente con los óxidos cuya procedencia son fábricas, centrales eléctricas y la emisión de hidrocarburos por los vehículos. Los óxidos más frecuentes son el óxido de Nitrógeno y el dióxido de Azufre.

La reacción química que produce la lluvia ácida es:



Los efectos de la lluvia ácida sobre el ambiente son los siguientes:

- En lagos provoca el descenso del pH ocasionando la muerte de las especies acuáticas.
- Provoca la acidificación de los suelos causando mayor desertificación.
- Ha provocado la deforestación de la mata Atlántica.

Los efectos de la lluvia ácida sobre los seres humanos se presentan a continuación:

- La acumulación de ambiente ácido causa daños irreversibles en los pulmones.
- Un ambiente ácido tiene efectos sobre la piel del ser humano.

### 3.3.1.4. Contaminantes atmosféricos

La contaminación atmosférica se define como la presencia de partículas material o formas energéticas que inciden en la calidad de vida de la población pudiendo poner en riesgo su salud o afectar a los bienes de la naturaleza.

Existen dos grupos de contaminantes atmosféricos, los primarios que son aquellos que se emiten directamente a la atmosfera y los secundarios que se generan a partir de procesos químicos atmosféricos.

En la naturaleza los contaminantes más perjudiciales son los secundarios entre los que podemos citar: ácido sulfúrico, dióxido de nitrógeno y el ozono. Dado la importancia que tienen los contaminantes secundarios se presentan alguna de sus características:

### **Ácido sulfúrico:**

Propiedades físicas:

- Apariencia líquido aceitoso incoloro.
- Inodoro.
- Densidad =  $1.83 \text{ gr/cm}^3$
- Masa molecular =  $98.08 \text{ gr/mol}$
- Punto de fusión =  $10^\circ\text{C}$
- Punto de ebullición =  $337^\circ\text{C}$
- Presión de vapor =  $0.001 \text{ mm Hg}$

Riesgos:

- La ingestión provoca la irritación de la garganta y erosión dental.
- La inhalación provoca la irritación de la nariz y bronquitis.
- El contacto con la piel provoca irritación y dermatitis.
- En contacto con los ojos quemaduras, irritación y conjuntivitis.

### **Dióxido de nitrógeno:**

Propiedades físicas:

- Densidad =  $1.449 \text{ kg/cm}^3$
- Masa molecular =  $46.1 \text{ gr/mol}$
- Punto de fusión =  $-11.2 \text{ }^\circ\text{C}$

- Punto de ebullición = 21,2 °C
- Presión de vapor = NFPA 704

Riesgos:

- Exposición a altos niveles provoca disminuir de la función pulmonar.
- Aumenta la mucosidad de las vías respiratorias.
- Es causante de bronquitis.

### Ozono:

Propiedades físicas:

- Apariencia azul pálido
- Densidad = 2.14 gr/cm<sup>3</sup>
- Masa molecular = 47.99 gr/mol
- Punto de fusión = -192°C
- Punto de ebullición = -112°C
- Índice de refracción = 1.222

Riesgos:

- Irritación de la garganta.
- Inflamación estomacal.
- Efectos en la piel.
- Puede causar lesiones oculares.

### 3.3.2. *Hidrosfera*

La hidrosfera es una ciencia que se encarga del estudio integral del agua que se encuentra ocupando los océanos, mares, lagos, ríos y demás cuerpos de agua que constituye la fuente se sostenibi-

lidad de la vida. En nuestro planeta el 3% es agua dulce y el 97% es agua salada.

El agua dulce en nuestro planeta se distribuye de la siguiente manera:

- El 68.7% se encuentra en los cuerpos de hielo y en los glaciales.
- El 30.1% constituyen las aguas subterráneas.
- El 0.9% es el agua dulce superficial.

La distribución del agua dulce superficial en nuestro planeta se resume de la siguiente forma:

- El 87% en lagos.
- El 11% en pantanos.
- El 2% en los ríos.

Los cinco océanos con sus extensiones son los siguientes: océano Pacífico con una extensión de 200.7 millones de km<sup>2</sup>; océano Atlántico con una extensión de 106.4 millones de km<sup>2</sup>; océano Índico con una extensión de 73.6 millones de km<sup>2</sup>; océano Antártico con una extensión de 20.3 millones de km<sup>2</sup>, y océano Ártico con una extensión de 14 millones de km<sup>2</sup>.

Las aguas de los océanos presentan la siguiente composición química: Cloruro de Na con un porcentaje de 77.8; Cloruro de Mg con un porcentaje de 10.9; Sulfato de Mg con un porcentaje de 4.7; Sulfato de Ca con un porcentaje de 3.6; Sulfato de K con un porcentaje de 2.5, y Carbonato de Ca con un porcentaje de 0.5.

Los productos químicos con mayor frecuencia utilizados en labores agrícolas son el fósforo y el nitrógeno, cuando estos productos son utilizados en grandes cantidades la mayor parte de ellos son conducidos por las lluvias a los ríos y luego desembocan en los océanos.

Las consecuencias de estos químicos en el agua de los océanos es el aumento descontrolado de poblaciones de fitoplancton un fenómeno conocido como floración; la floración de algas marinas

nocivas que al ser consumidas por los peces transmiten toxinas las mismas que pueden causar efectos no deseados al ser consumidas por el ser humano.

Los convenios internacionales para la protección de los océanos que han sido promovidos por la Organización de las Naciones Unidas son los siguientes:

- Convenio internacional para proteger los océanos de hidrocarburos.
- Convenio internacional para prevención de los océanos del vertido de desechos.
- Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques.
- Convenio de las Naciones Unidas sobre el derecho del mar.
- Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes.
- Convenio de Barcelona para la protección del mar Mediterráneo.
- Convenio para la conservación de recursos vivos marinos Antárticos.
- Convenio internacional para la protección del mar Rojo y el mar de Adén.
- Convenio para la protección y desarrollo del medio marino en el Gran Caribe.
- Convenio para la protección del medio ambiente marino del Atlántico.

Las acciones que los gobiernos deberían llevar a cabo con la finalidad de proteger la flora y fauna de los océanos deberían ser: reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>; realizar compras seguras de productos del mar; reducir el uso de plásticos; ayudar a cuidar las playas; no consumir productos que aprovechan la vida marina; respetar los convenios internacionales relacionado con el cuidado de océanos.

### 3.3.3. Geosfera

La geosfera se puede definir como la parte sólida de nuestro planeta, es decir, sustenta los continentes, el cauce de los ríos y el fondo marino. Las partes de la geosfera son: la corteza, el manto y el núcleo.

La corteza terrestre sustenta la infraestructura de las ciudades y tiene un espesor de 4 a 40 km, la parte gruesa se ubica en el fondo marino. El manto aproximadamente tiene una extensión de 2290 kilómetros debido a sus altas temperaturas presenta rocas fundidas. El núcleo es la capa interna en la cual se tiene las temperaturas más elevadas.

### 3.3.4. Biosfera

La biosfera se encuentra formada por todos los seres vivos que habitamos en nuestro planeta y estudia las iteraciones existentes entre ellos, de acuerdo a investigaciones científicas la vida en nuestro planeta tuvo su origen hace 3500 millones de años. La biosfera es de suma importancia en las siguientes ciencias:

- Astronomía
- Geología
- Climatología
- Paleogeografía
- Biogeografía
- La ciencia que estudia la evolución de las especies

A lo largo de la historia se han desarrollado varias investigaciones sobre la biosfera y su contribución al desarrollo de la vida, entre los científicos destacados podemos mencionar a Eduard Suess, Vladimir Vernadsky y el químico inglés James Lovelock.

### 3.3.5. Antroposfera

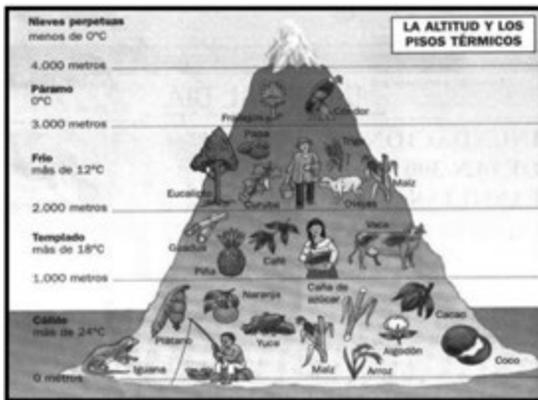
Se puede definir como el espacio físico en el cual se desarrolla la vida del hombre, es decir, constituye todo el espacio físico que se encuentra sometido a un cambio continuo con la finalidad de mejorar el hábitat y el ecosistema.

### 3.4. Pisos bioclimáticos de una cuenca hidrográfica

Se entiende por piso bioclimático cada uno de los espacios que se suceden altitudinalmente, con las consiguientes variaciones de temperatura. Las unidades bioclimáticas se delimitan en función de las temperaturas, de las precipitaciones y de la distribución de ambas a lo largo del año.

A cada piso bioclimático le corresponden, una serie de comunidades vegetales que varían en función de las regiones biogeográficas, pero que mantienen grandes rasgos en común. Cada región presenta una serie de pisos definidos por la temperatura y por los taxones vegetales que los caracterizan (Rivas Martínez, 1983).

**Figura 29. Pisos bioclimáticos**



Fuente: <https://bit.ly/2KG1dMC>

#### 3.4.1. Piso bioclimático cálido

El piso climático cálido comprende desde los 0 m.s.n.m. hasta los 1000 m.s.n.m. La temperatura media es de 24 grados centígrados. En la producción agrícola podemos mencionar los siguientes productos característicos como: plátano, naranja, yuca, caña de azúcar, maíz, arroz, algodón, caña de azúcar, cacao y coco. La producción económica principalmente es en actividades portuarias, pesca, agricultura, ganadería, sector industrial, comercio, sector de servicios y sector turístico.

### 3.4.2. *Piso bioclimático templado*

El piso bioclimático templado comprende desde los 1000 m.s.n.m. hasta los 2000 m.s.n.m. La temperatura media alcanza los 18 grados centígrados. En la producción agrícola podemos mencionar los siguientes productos característicos como: café, zanahoria, fréjol, alverja, cebada, trigo, pastos, porotos, maní, caña de azúcar, maíz, habas, frutas, limón, toronja, palmito, naranjas y naranjillas. La producción económica principalmente es en actividades portuarias, pesca, agricultura, ganadería, sector industrial, comercio, sector de servicios y sector turístico.

### 3.4.3. *Piso bioclimático frío*

El piso bioclimático frío comprende desde los 2000 m.s.n.m. hasta los 3000 m.s.n.m. La temperatura media es de 12 grados centígrados. En la producción agrícola podemos mencionar los siguientes productos característicos como: trigo, maíz, papa, pastos, eucalipto, cebada, fréjol, cebolla y alguna clase de frutas. La producción económica principalmente es en actividades portuarias, pesca, agricultura, ganadería, sector industrial, comercio, sector de servicios y sector turístico.

#### 3.4.3.1. *Páramo*

El páramo se define como un ecosistema que se desarrolla en la alta montaña tropical humedad cuyos límites físicos son el bosque natural y las nieves eternas de los nevados. Etimológicamente, la palabra páramo significa lugar con bajas temperaturas en áreas abiertas.

El páramo se considera un ecosistema muy especial debido a su íntima relación con el agua superficial proveniente de las lluvias y de la niebla existente en la zona. Además, el páramo es considerado el sitio de acumulación del agua dulce que es originaria de los ríos, los mismos que en los tramos iniciales reciben en nombre de riachuelos.

El clima predominante en los páramos es frío, húmedo y nublado; la temperatura se encuentra generalmente bajo los 10 grados centígrados y en las noches fácilmente llega a los cero grados

y en ocasiones de producen las temibles heladas que afecta a los cultivos; los valores de precipitación en los páramos son bastante altos, en páramos húmedos su valor es de 1500 mm de precipitación media anual y los páramos secos su valor alcanza los 700 mm de precipitación media anual.

El piso bioclimático páramo comprende desde los 3000 m.s.n.m. hasta los 4000 m.s.n.m. Se caracteriza por la presencia de abundante vegetación tipo matorral (arbustos). Los páramos presentan la siguiente clasificación:

- *Subpáramo*: Durante todo el año posee una temperatura promedio de 10 grados centígrados, se localiza por sobre el bosque montano. Su flora está compuesta por musgos, pajonales y arbóreas, mientras su fauna está compuesta por conejos, comadrejas, águilas y el cóndor andino.
- *Páramo propiamente dicho*: Durante todo el año posee una temperatura promedio de 5 grados centígrados, se localiza sobre el subpáramo. Su flora está compuesta por musgos, pajonales y pastizales, mientras su fauna está compuesta por águilas y el cóndor andino.
- *Superpáramo*: Durante todo el año posee una temperatura promedio de 2 grados centígrados, se localiza sobre el páramo propiamente dicho. Su flora está compuesta por musgos, pajonales y arbóreas, mientras su fauna está compuesta por conejos, comadrejas, águilas y el cóndor andino.

#### 3.4.3.2. Nieves perpetuas

El piso bioclimático glaciar comprende desde los 4000 m.s.n.m. La superficie se encuentra recubierta de nieve la misma que no se derrite con los rayos solares debido a que la temperatura es bajo los 15 grados centígrados.

Su flora está compuesta por musgos, líquenes, frailejones, piedra pómez y orquídeas. Su fauna está compuesta por el cóndor andino, el colibrí, el gavián y dentro de los mamíferos cusumbos, osos de anteojos, el puma, el venado y armadillos.

Las nieves permanecen durante todo el año debido a que los rayos solares por la altitud a la que se encuentran no las logran derretirles, las de mayor importancia a nivel mundial son las del nevado Kilimanjaro, Everest e Himalaya.

El monte Everest es el nevado más alto del mundo cuyo pico se encuentra a una altura de 8850 metros sobre el nivel del mar, se localiza en la frontera entre Nepal y China en el continente asiático.

Una de las particularidades de esta cordillera radica es la localización de los ocho picos que sobrepasan los 8000 metros de altura son los siguientes:

- Monte K2 (8611 m.s.n.m.)
- Kanchenjunga (8586 m.s.n.m.)
- Lhosle (8516 m.s.n.m.)
- Makalu (8481 m.s.n.m.)
- Cho Oyu (8201 m.s.n.m.)
- Dhaulagiri (8167 m.s.n.m.)
- Manasly (8156 m.s.n.m.)
- Nanga Parbat (8126 m.s.n.m.), y
- Annapurna (8091 m.s.n.m.).



# Capítulo 4

## 4.1. Principios de la gestión ambiental

### 4.1.1. *Nuevo paradigma*

Los problemas de gestión ambiental en las cuencas hidrográficas pueden plantearse desde dos paradigmas, el primero el determinista que se basa en los siguientes postulados:

- Simplicidad
- Uniformidad
- Independencia
- Estabilidad
- Control
- Alta entropía del sistema

El segundo paradigma de la incertidumbre que se basa en los siguientes postulados:

- Complejidad
- Diversidad
- Interdependencia
- Dinamismo
- Riesgo
- Baja entropía del sistema

#### 4.1.2. Principios de la gestión en cuencas hidrográficas

Realizando una retrospectiva histórica de la gestión ambiental en cuencas hidrográficas inicia a finales de la década de los años 60, desde entonces han ido apareciendo una serie de principios que es importante tomarlos en cuenta en el momento de plantear un Plan de Gestión Ambiental los mismos que a continuación se exponen:

- Lo económico es ecológico y lo ecológico es económico.
- Responsabilidad compartida.
- Agentes con responsabilidad ambiental.
- Es mejor prevenir que curar.
- Sostenibilidad de las actividades.
- El que contamina, paga.
- El que conserva, cobra.
- Internacionalizar los costos ambientales.
- Integración ambiental de las actividades.
- Lo verde vende.
- Pensar globalmente, actuar individualmente y localmente.

#### 4.1.3. Principios de gestión a nivel de actividad productiva

Cada empresa que se encuentre localizada dentro de la zona del proyecto de Gestión Ambiental en cuencas hidrográficas tendrá su propia política ambiental la misma que deberá estar basada en los siguientes principios:

- La mejora continua en toda la línea de producción.
- La sensibilización a todo el personal de la empresa.
- Conocer el estado de la empresa y su evolución.
- Comunicar y sociabilizar la política ambiental de manera fluida y fidedigna.
- Participación de todos los niveles de responsabilidad.

- Planificación y flexibilidad a la hora de tomar medidas y controlar su aplicación.

#### 4.2. *Instrumentos de gestión ambiental*

Seguidamente se presentan la clasificación de los instrumentos de la gestión ambiental disponibles y que pueden ser utilizados en el trabajo en cuencas hidrográficas. Una panorámica estructurada entre ellos puede ayudar a comprender su alcance y uso en la gestión ambiental.

- Preventivos.
- Primarios.
- Secundarios.
- De gestión propiamente dicha.
- Correctores.
- Orientados a las actividades productivas.
- Orientados a los productos.
- Curativos.
- De recuperación.
- De restauración.
- Reformación.
- Rehabilitación.
- Puesta de valor a recursos ociosos.
- Potenciativos.
- Orientados a los ecosistemas.
- Orientados a los factores ambientales.
- Económicos.

##### 4.2.1. *Instrumentos preventivos primarios*

Son aquellos instrumentos cuya función es el impedir que se produzcan impactos ambientales dentro de las cuencas hidrográficas y se pueden clasificar de la siguiente manera:

- De formación
- De sensibilización
- De educación

#### 4.2.2. *Instrumentos preventivos secundarios*

Son aquellos instrumentos cuya función es el impedir que se produzcan impactos ambientales dentro de las cuencas hidrográficas y se pueden clasificar de la siguiente manera:

- La normativa
- La investigación
- La información
- Los indicadores de calidad ambiental

Son aquellos instrumentos cuya función es el impedir que se produzcan impactos ambientales dentro de las cuencas hidrográficas y se pueden clasificar de la siguiente manera:

- La planificación
- La concepción de proyectos de desarrollo
- La evolución del impacto ambiental
- La calificación ambiental
- El compromiso ambiental

#### 4.3.1. *Instrumentos correctores orientados a las actividades*

Estos instrumentos de la Gestión Ambiental en las cuencas hidrográficas están orientados a modificar las acciones que originan impactos ambientales con la finalidad de reducirlos o evitarlos y son los siguientes:

- Auditorías ambientales
- Plan de prevención de riesgos laborales

#### 4.3.2. Instrumentos correctores orientados a los productos y servicios

Estos instrumentos de Gestión Ambiental en las cuencas hidrográficas están orientados a mejorar las actividades de la línea de producción de las empresas que se encuentran dentro del área del proyecto, y son los siguientes:

- El etiquetado ecológico
- El análisis del ciclo de vida de los productos
- El etiquetado relativo de los productos
- La agricultura ecológica

#### 4.3.3. Instrumentos curativos

Se dirigen a los factores ambientales una vez alterados en la cuenca hidrográfica con el fin de:

- Restaurarlos
- Reformarlos
- Rehabilitarlos
- Poner en valor los recursos ociosos

#### 4.3.4. Instrumentos potenciativos

En la gestión integral de las cuencas hidrográficas es necesario trabajar con instrumentos los cuales permitan que los ecosistemas incrementen considerablemente tanto la homeostasia y la resiliencia.

Se entiende por homeostasia a la característica de los ecosistemas que poseen para reaccionar ante la amenaza de influencias externas, es decir, los ecosistemas de las cuencas hidrográficas incrementan la reversibilidad de su sistema. Un ecosistema muy extenso y vigoroso reacciona con fuerza y eficacia ante las probables alteraciones externas y las absorbe con mucha rapidez.

A su vez, se entiende por resiliencia a la capacidad de los ecosistemas de las cuencas hidrográficas para soportar las alteraciones externas. Por ejemplo, una masa vegetal continua y sana es más

resistente a la contaminación que se produce por factores externos con relación a una masa vegetal compartimentada y enferma.

#### 4.3.5. *Otros instrumentos*

Otros instrumentos de la Gestión Ambiental en cuencas hidrográficas se indican a continuación:

- Impuestos
- Regulaciones legales
- Garantías financieras para asegurar el cumplimiento
- Subsidios y ayudas financieras

#### 4.4. **Mejorar la calidad ambiental**

Uno de los objetivos de la Gestión Ambiental en cuencas hidrográficas es el de planificar un sinnúmero de actividades con la finalidad de que la sociedad que reside en la zona del proyecto tenga la oportunidad de beneficiarse de una elevada calidad ambiental.

Para conseguir lo presentado en el párrafo anterior es indispensable tomar en cuenta dos elementos implicados en los problemas ambientales, es decir, es el elemento activo y el elemento pasivo. Se entiende por elemento activo a todas las actividades que desarrolla el ser humano que se encuentran en la causa, el elemento pasivo es los factores ambientales que reciben los efectos.

Se presentan las siguientes actividades que contribuyen el mejoramiento de la calidad ambiental en las cuencas hidrográficas:

- Intervención en las grandes industrias.
- Intervención para la gestión de residuos industriales.
- Intervención para la gestión de residuos urbanos.
- Intervención en los polígonos industriales.
- Intervención en las instalaciones portuarias.
- Intervención en el medio natural.
- Actuaciones complementarias.

#### 4.5. Mejorar el comportamiento de los actores de la cuenca

Al momento de plantear los planes, programas o proyectos para una cuenca hidrográfica, debemos tomar en cuenta que los mismos tendrán los resultados esperados siempre y cuando los actores y agentes que residen en la zona del proyecto colaboren efectivamente para su realización.

Los actores y agentes a los cuales nos referimos se pueden clasificar en tres grupos bien definidos y muy relacionados entre ellos, estos son:

- Las empresas productoras.
- Los consumidores o población en general.
- Las autoridades.

Los planes, programas o proyectos que deben llevar a cabo en forma conjunta serían los siguientes:

- Insostenibilidad biológica ecológica.
- Insostenibilidad físico biótica.
- Insostenibilidad agropecuaria.
- Corrección de torrentes.
- Restauración hidrológico forestal.
- Sistemas de producción sustentables con el medio ambiente.
- Manejo integrado de los recursos naturales.
- Manejo integrado de los recursos hídricos.
- Diagnóstico integrado de cuencas hidrográficas.
- Planes de ordenamiento territorial.
- Rehabilitación de espacios degradados.
- Programas socioeconómicos en las cuencas.
- Manejo integral del recurso agua.
- Manejo integral del recurso suelo.

#### 4.6. Las grandes líneas de acción

Las grandes líneas de acción que se debe tener en cuenta en la gestión de las cuencas hidrográficas contemplan los siguientes aspectos:

- Prevenir la degradación ambiental.
- Recuperar, reformar y rehabilitar factores ambientales degradados.
- Recuperar, reformar y rehabilitar espacios degradados.
- Fortalecer el medio ambiente y los factores que lo forman.
- Potenciar los recursos naturales ociosos.
- Gobernanza del recurso agua y suelo.

#### 4.7. El impacto ambiental como concepto sobre el que opera la gestión ambiental

Con la finalidad de implementar planes, programas o proyectos como parte de la gestión ambiental en una cuenca hidrográfica, se debe partir de los resultados del estudio de evaluación del impacto ambiental y su diagnóstico. Se define como impacto ambiental a toda actividad humana que provoca alteraciones al medio ambiente y la magnitud de los impactos ambientales está en función de la naturaleza, localización y el tamaño de las actividades.

La preocupación de las alteraciones de los impactos ambientales surge a finales de la década de los años 1940 cuando se crea la Organización de las Naciones Unidas, debido a que predominan los impactos negativos. Los impactos ambientales pueden ser:

- Positivos
- Negativos
- Reversibles
- Irreversibles
- Directos
- Inducidos

- Permanentes
- Temporales
- Simples
- Acumulativos
- Sinérgicos
- A corto plazo
- A mediano plazo
- A largo plazo

Por lo expuesto en los párrafos anteriores la gestión ambiental en cuencas hidrográficas puede ser por la vía preventiva, correctora o curativa. El diagnóstico de un impacto ambiental significa conocer, entender todas las facetas que intervienen en el proceso de degradación del medio ambiente. Se presenta a continuación una síntesis de ellos:

- La *manifestación* del impacto se considera como el grado de afectación al medio ambiente, por ejemplo, convertirle un lugar en un botadero de escombros y de basura sin ser un lugar apto para ello.
- Las *causas* que han desencadenado el impacto ambiental sobre el medio ambiente, siguiendo con nuestro ejemplo se considera la carencia de infraestructura adecuada para el vertido de los escombros y basura. Una de las causas más probables es el desinterés de las autoridades en el control de este tipo de actividades
- Los *efectos* sobre el espacio de la cuenca hidrográfica, sus ecosistemas, paisaje degradado o riesgos de contaminación por materiales descontrolados.
- Los *agentes* que se encuentran directamente involucrados en las causas como en los efectos, por lo general dichos agentes son las personas que residen en el área del proyecto.
- La *localización* del impacto está relacionado a la zona total del proyecto o a una parte limitada del mismo.

- La *gravedad* del impacto ambiental en la cuenca hidrográfica tiene relación con los efectos positivos o negativos que se puedan generar.
- La *evolución* que tiene el impacto ambiental relacionado con la atenuación o agravamiento del mismo.
- La *sensibilidad* de todos los actores que residen en la cuenca hidrográfica con la finalidad de conseguir su compromiso de prevención de los impactos ambientales.
- La *percepción* del problema que conlleva los impactos ambientales y la disposición de los actores a participar en la solución del problema.
- La *relación* del impacto en la cuenca hidrográfica con la flora y fauna nativa de la misma.
- Las *posibilidades de intervención* de carácter preventivo, curativo o compensatorio sobre las causas y efectos de los impactos ambientales sobre las cuencas hidrográficas.
- El *nivel de responsabilidad* que demuestran las autoridades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados en las cuencas hidrográficas.

A continuación, se presentan ejemplos del diagnóstico de un impacto ambiental en cuencas hidrográficas:

Impacto:	Pérdida de vegetación
Manifestación:	Pérdida de encinas
Causas:	Talas encinas, cultivos, naves ganaderas
Agentes:	Propietario, animales
Localización:	Bosque de encina
Gravedad:	Muy alta
Evolución:	Progresivo empeoramiento
Relación con otros impactos:	Erosión, alteración del paisaje
Percepción	
sensibilidad:	Positivo en relación a la mano de obra

Posibles soluciones:	Reducción de la carga ganadera y explotación agrícola
Oportunidad de aplicación:	Urgente
Impacto:	Contaminación de los ríos en la cuenca hidrográfica
Manifestación:	Olor, turbidez
Causas:	Vertidos efluentes de aguas servidas
Agentes:	Propietarios y animales
Localización:	Cauces naturales
Gravedad:	Alta
Evolución:	En función de la pluviometría
Relación con otros impactos:	Pérdida de vegetación
Percepción sensibilidad:	Impide la pesca deportiva
Posibles soluciones:	Depuración de aguas, control de vertidos
Oportunidad de aplicación:	Urgente
Impacto:	Efecto barrera
Manifestación:	Reducción de movilidad animal
Causas:	Construcción de vías de comunicación
Agentes:	Propietario, animales
Localización:	Zona ganadera
Gravedad:	Media
Evolución:	Estable
Relación con otros impactos:	Reducción de la población
Percepción sensibilidad:	Circulación de mano de obra
Posibles soluciones:	Construir pasos para la fauna nativa
Oportunidad de aplicación:	Urgente

Impacto:	Efecto renta
Manifestación:	Aumento de la calidad de vida
Causas:	Explotación de las fincas en la cuenca hidrográfica
Agentes:	Empresario, empleados
Localización:	Finca
Gravedad:	Efecto positivo
Evolución:	Variable
Relación con otros impactos:	Contaminación de agua
Percepción	
sensibilidad:	Positivo

#### 4.8. Complementariedad y sinergia entre instrumentos

Los instrumentos citados son complementarios en la Gestión Ambiental de cuencas hidrográficas y, además, generan sinergias positivas, es decir que se refuerzan entre ellos, cuando los mismos se utilizan de forma coordinada y conjunta. Por tanto, hacer Gestión Ambiental en cuencas hidrográficas significa:

- Sensibilizar a los agentes implicados.
- Investigar las bases de datos.
- Planificar y proyectar con sensibilidad ambiental.
- Aplicar la evaluación del impacto ambiental y verificar el cumplimiento de las medidas de mitigación.
- Incorporar sistemas de gestión ambiental a la fase de operación.
- Realizar auditorías ambientales.
- Practicar el marketing ecológico.
- Restaurar los espacios degradados.
- Aplicar subvenciones, ayudas e impuestos a la gestión ambiental de las actividades económicas.

#### 4.9. Actuar como equipo multidisciplinar

En la aplicación de los sistemas de gestión integral en el manejo de cuencas hidrográficas en donde se puede encontrar sectores o campos temáticos determinados, que cortan transversalmente a muchos temas. En primer lugar, debemos reflexionar sobre el instrumento o los instrumentos más adecuados para afrontarlos. Para afrontarlos de la manera más adecuada es indispensable contar con un grupo de especialistas que se encuentren coordinados por un técnico generalista, cuyo papel fundamental además de coordinar al grupo es identificar los temas en los cuales es necesario mayor profundidad en la identificación del problema y su solución.

Los temas en los cuales debe trabajar el equipo multidisciplinar es muy variado y aquí se presenta algunos tópicos de importancia en el manejo de cuencas hidrográficas:

- Sistemas de información geográfica.
- Manejo y conservación de recursos naturales.
- Gestión ambiental.
- Estudios rurales.
- Evaluación de recursos.
- Manejo de subcuencas.
- Medio físico.
- Biodiversidad de cuencas.
- Ordenamiento territorial.
- Gestión de proyectos para el desarrollo.
- Cultura ambiental.
- Energías renovables.
- Producción alternativa en cuencas.

Considere además que en cada una de las áreas de trabajo pueden identificarse algunas líneas de investigación considerando su importancia actual y la existencia de fondos no reembolsables para dichos fines.

#### 4.10. Espacios degradados

Se define como espacio degradado al lugar o lugares de la cuenca hidrográfica que presentan un aspecto indeseable con respecto a otro lugar que se considera satisfactorio. Este aspecto indeseable que presenta la zona de estudio tiene incidencia directa en los aspectos socioeconómico y ambiental.

Los espacios degradados se asocian con dimensiones de valor:

- Ecológico
- Paisajístico
- Científico
- Productivo
- Funcional

En las cuencas hidrográficas podemos encontrar lugares que pueden ser considerados paradigmáticos en cuanto a la degradación de los terrenos, únicamente con nombrarlos ya podemos darnos cuenta el grado de degradación de los mismos, así por ejemplo:

– *Espacios sobreexplotados:*

- Espacios agrícolas marginales en la cuenca hidrográfica
- Espacios erosionados
- Espacios deforestados

– *Espacios agotados:*

- Espacios dedicados a minería
- Botaderos de basura colmatados

– *Espacios afectados por la construcción de infraestructura pública:*

- Autopistas
- Obras hidráulicas de riego
- Parques eólicos

- Espacios ubicados bajo líneas de transmisión de energía de alta tensión
  - *Espacios históricos en abandono:*
    - Antiguas estaciones de ferrocarril
    - Núcleos rurales
    - Zonas agrícolas abandonadas
    - Espacios urbanos abandonados
    - Áreas industriales abandonadas
    - Espacios afectados por la contaminación:
      - Humedales contaminados
      - Manglares contaminados
      - Espacios marítimos afectados por la contaminación
      - Playas contaminadas por la evacuación de aguas servidas
      - Espacios degradados por el uso:
        - Espacios degradados por la presencia de turistas
        - Espacios degradados por agricultura intensiva
      - Ríos convertidos en botaderos de basura
      - Lagos contaminados por la presencia de aguas servidas

Además, se puede conocer el estado de erosión de los terrenos mediante los siguientes indicadores que han sido formulados por estudios realizados por F.A.O. a nivel internacional, los factores son:

- Movimiento del suelo
- Residuos orgánicos en la superficie
- Afloramientos rocosos
- Formación de pedestales
- Regueros
- Líneas de escorrentía de flujo
- Barrancos

A continuación, se presenta las posibles alternativas que se puede considerar para recuperar un espacio degradado, tomando en cuenta que la puesta en marcha de estos proyectos se aconseja realizar en varias etapas con la finalidad de disminuir la incidencia en la economía de la obra. Son las siguientes:

– *Regeneración de la naturaleza:*

- Hábitat con características espaciales para especies faunísticas
- Creación de modernos paisajes
- Regeneración de bosques protectores
- Espacios para actividades culturales
- Espacios para estudios científicos
- Deportes al aire libre:
  - Senderismo
  - Contemplación
  - Escalada
  - Baño
  - Pesca
  - Caza
  - Motocross
  - Campos de golf
  - Cuadras de caballos
  - Bicicross
  - Canchas múltiples

– *Actividades didácticas o culturales:*

- Aulas en la naturaleza
- Granjas
- Granjas escuela
- Jardín botánico
- Jardines temáticos

- Auditorios al aire libre
- Parques zoológicos
- *Actividades de carácter agrícola:*
  - Agricultura extensiva
  - Ganadería extensiva
  - Construcción de viveros
  - Huertos
  - Huertos familiares
  - Piscicultura
  - Establos
- *Urbanización:*
  - Parques
  - Jardines
  - Áreas de camping
- *Infraestructura y servicios:*
  - Centros de apoyo comunitario
  - Centros de compostaje
  - Cementerios
  - Aparcamiento vehicular



# Capítulo 5

## 5.1. Manejo de cuencas hidrográficas a partir de drones

Dentro del manejo de cuencas hidrográficas, las tecnologías de la información espacial han permitido una revolución para la obtención de datos con precisión. El uso de vehículos aéreos no tripulados o drones continúa en auge en algunos campos donde la generación de información cartográfica base a partir de la fotogrametría digital permiten que se pueda obtener un dato con un tiempo menor de respuesta a otras técnicas de generación de cartografía, pudiendo así lograrse el objetivo de manejar y tomar decisiones a corto tiempo.

Dentro de este libro, se realiza una compilación rápida general del uso de drones para la generación de información en el manejo de cuencas hidrográficas.

## 5.2. El dron

Un dron es un objeto o vehículo aéreo no tripulado (VANT o UAV) capaz de ser manejado a una cierta distancia de su control de mando o puede trazar rutas con el GPS. Según Pike (2018), un dron es todo aquello que se encuentra en el aire y no tiene piloto quien lo maneje. Los drones pueden llegar a tener varias formas y ser utilizados por medio de control remoto o incluso volar solo mediante el sistema de posicionamiento global (GPS). Se puede llegar a identificar dos tipos de drones. Uno en forma de avión o ala fija y los multirrotor como los cuadricópteros (permanecer estáticos en el aire) (Mesa & Izquierdo, 2015). Un tipo de UAV multirrotor de la marca DJI, modelo Inspire 1 se presenta en la figura 30.

**Figura 30. Dron**



Fuente: Estudios Integrales Geográficos

### **5.3. Utilidad de los drones**

En la actualidad los drones tienen diferentes usos. Sirven como herramientas que permite el control en áreas como incendios forestales, geología, agricultura, construcción, además del control y análisis de tráfico en las grandes ciudades. El análisis topográfico para diversas aplicaciones como el manejo de cuencas hidrográficas y la generación de cartografía de breve respuesta. Algunas de las ventajas de esto son los valores económicos que representan durante su etapa de operación y no ponen en peligro a quien lo pilotea. Existen dos tipos generales de UAV denominado ala fija y el otro multirotor.

A partir de los mismos existen varios modelos en función de tamaño, peso y tipo de sensores que llevan en su interior, lo que dependerá del uso que se le dé al dron (Tecnología Informática, 2019) y del costo de este.

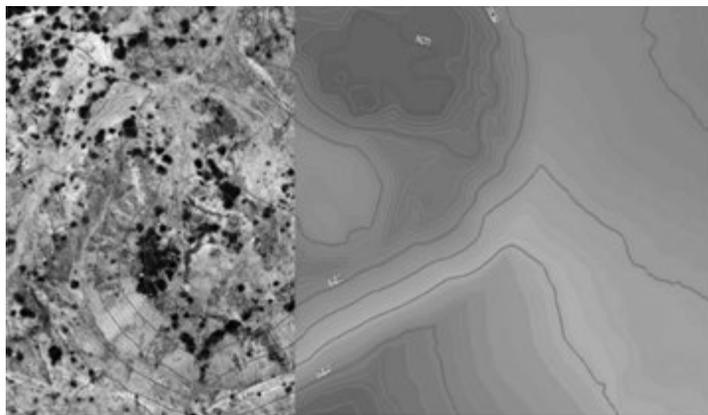
### **5.4. Fotogrametría**

La fotogrametría permite modelar una superficie en 3D para generar cartografía. Esta técnica es muy precisa considerando que permite determinar la forma, dimensión y posición del objeto en el espacio por medio de datos obtenidos de fotografías (Heliceo, 2019). La topografía es una de las principales aplicaciones dentro de este

método pues permite la medición de coordenadas en tres dimensiones, dando como resultado un objeto en un documento de fácil manejo, agilizando el proceso de información frente a la topografía clásica.

Algunas de las ventajas frente a la topografía clásica es el permitir la accesibilidad a terrenos de difícil acceso. Un ejemplo puede enfocarse en tener la forma del terreno de un área protegida donde no existe aún intervención. La fotogrametría puede ser terrestre (punto de vista fijo por lo que se conocen las coordenadas y la orientación del foco) y aérea (punto de vista móvil por que se tiene una gran amplitud de captación, pero no se conoce la posición ni orientación al momento del disparo). Dentro de las aplicaciones se encuentra la topografía, cartografía digital, ortofotografía, medio ambiente, agricultura, manejo de cuencas hidrográficas y otros (Global Mediterránea, 2018). En la figura 31 se puede observar el levantamiento fotogramétrico para una cantera con el ánimo de obtener la topografía y el cálculo de volúmenes de explotación.

**Figura 31. Estudio de fotogrametría**



Fuente: Estudios Integrales Geográficos Ecuador, 2019

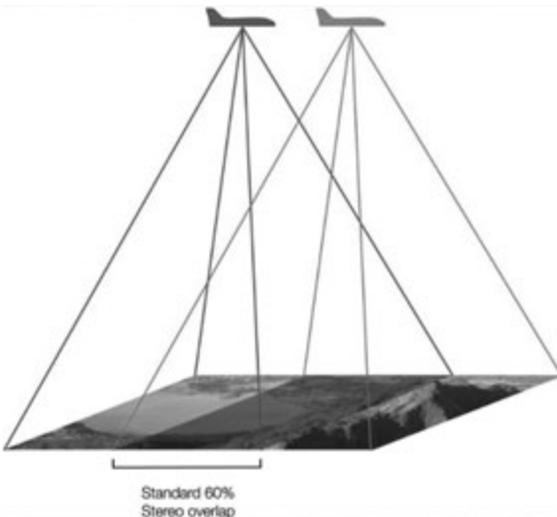
#### 5.4.1. Principio de la fotogrametría

El principio de la fotogrametría se basa en el desplazamiento radial que sufre un punto en el fotograma como consecuencia a

su altitud. Para ello se consideran aspectos como la fotografía del objeto en donde se planifica el vuelo y la toma de fotografías a ser realizadas con el fin de tener una buena programación y condiciones necesarias. Además de verificar los puntos de control terrestre por fotogrametría (Global Mediterránea & Geomática, 2018); seguido del procesamiento de imágenes en donde las fotografías obtenidas deben ser procesadas de forma correcta; y, la orientación de imágenes que mediante fotogramas son colocados de acuerdo como fueron registradas con sus respectivas marcas alineadas (Figura 32).

Para construir el sistema se tiene sistemas de restitución donde se aplican giros, traslaciones y escalas para trabajar con medidas reales; y, rectificación que, por medio de la orientación de un haz de luz, se consigue la interacción entre la luz y el modelo digital del terreno a ser determinado. Estos sistemas actualmente han sido desarrollados en sistemas que permiten este procedimiento.

**Figura 32. Principio de la fotogrametría**



Fuente: Satpalda Geospatial Services, 2019

#### 5.4.2. Plan de vuelo

Cuando se requiere realizar un levantamiento fotogramétrico, el plan de vuelo por donde navegará la aeronave permitirá tener una

idea clara del área que se requiere levantar. Las exigencias de los planes de vuelo se han ido cambiando momentáneamente, para esto los técnicos deben plantear nuevas técnicas de vuelo utilizando parámetros que consideran de importancia, entre los que están el aspecto geométrico, distancia focal de la cámara, escala de foto y modelo, formato de la foto, superficie de área por fotografía, altura de vuelo, velocidad del avión, tiempo entre el disparo y el vuelo total, localización (Otero, Ezquerro, Rodríguez, & Mar, 2019). Sin embargo, se debe considerar que el vuelo fotogramétrico es el idóneo cuando el avión a una altura determinada recorra el terreno en estudio disparando el obturador de la cámara a intervalos regulares con el fin de que los dos fotogramas consecutivos tengan el recubrimiento adecuado y distribuya sus pasadas por el terreno de forma paralela.

En el inicio del plan de vuelo, se debe tomar datos como la escala del mapa a levantar, disposición de hojas, características y dimensiones del terreno, precisión altimétrica y planimétrica e información de la calidad fotográfica deseada.

La altura nominal del vuelo como parámetro a ser considerado debe tomar en cuenta los márgenes operativos del equipo, relieve del terreno y variaciones de la altura, con el fin de asegurar que el margen de seguridad sea suficiente para todas las tomas. Por otra parte la orientación está dada por el tamaño y forma del área a volar y la orientación de modelos estereoscópicos en relación con fotografía y la posición del sol (Otero, Ezquerro, Rodríguez, & Mar, 2019).

#### 5.4.3. *Modelo digital de superficie*

El modelo digital de superficie (DSM), hace referencia a la superficie de la tierra, en la que se presentan las elevaciones sobre el nivel del mar tomando en cuenta los objetos que contiene como: vegetación, edificaciones, árboles, otros (IMASGAL, 2019). El tipo de mapa que en este se forma es por medio de muestras puntuales localizadas en algún punto o lugar como por ejemplo el modelo de elevaciones (MDE), que por medio de datos puntuales obtenido entre ellos puntos altimétricos y curvas de nivel de un cierto lugar se permite recrear el relieve de la zona en estudio (Habitat sensores remotos aerotransportadores, 2019).

Entre los sistemas utilizados está el LiDAR (Light Detection and Ranging), que permite obtener una gran nube de puntos llena de valores diferentes de elevación, sin embargo, no considera la altura de los objetos (Franz, 2018) y la fotogrametría digital. En contexto el DSM permite la modelación en 3D de estudios a realizarse como en la planificación urbana por medio del manejo de vegetación con la línea de transmisión se pueden ver dónde y cuánta vegetación está invadiendo la zona o el alto de los edificios en sí con respecto al suelo.

#### 5.4.4. *Modelo digital de terreno*

Un modelo digital del terreno (DTM) es el conjunto que representa distintas características de la superficie terrestre lo que deriva en una capa de elevaciones que es el modelo digital de elevación (MDE). Por lo tanto, es una representación tridimensional de la superficie del terreno donde las coordenadas existentes son X, Y, Z; incluyendo alturas, elevaciones, elementos geográficos y características naturales (Tecnología Informática, 2019).

El DTM constituye la base para un gran número de aplicaciones en ciencias de la Tierra, ambientales e ingenierías de diverso tipo. A partir del DTM se pueden generar los planos topográficos con respecto al suelo. La diferencia con el DSM resulta en que el uno visualiza la altura de los objetos y el DTM visualiza la altura de la base o terreno de los mismos (Figura 33).

### 5.5. **Ortofotografía**

La ortofotografía u ortofoto es un producto cartográfico generado a partir de fotografías aéreas corregidas en sus deformaciones o desplazamientos, para ser adaptadas a la forma del terreno mediante un sensor de tal manera que el punto de vista de la cámara no afecte la posición real del objeto (Institut Cartogràfic i Geològic, 2019). La ortofoto tiene elementos en la misma escala, libre de errores y deformaciones con características de una carta topográfica a diferencia de una fotografía aérea simple, que presenta deformaciones por la cámara, altura o velocidad con la que se mueve la cámara.

Al proceso de corrección digital de una foto se denomina ortorrectificación, por tanto, una ortofoto combina detalles de fotografía aérea y propiedades geométricas del plano (IECA, 2014). En la Figura 33 se observa una Ortofoto digital de 0,5 m de resolución realizada a partir de un vuelo 1:30 000 presentado por Arozarena & Villa (2014)

**Figura 33. Ortografía digital del 0,5 m de resolución**



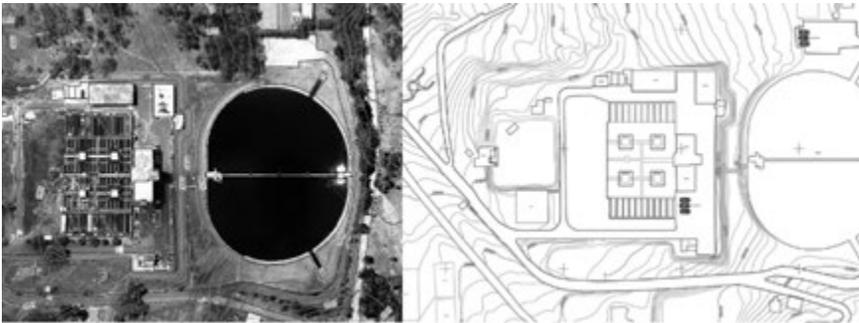
Fuente: Arozarena & Villa, 2014

## 5.6. Plano topográfico

Un plano topográfico es una representación gráfica reducida y generalizada donde se muestra principales características físicas de la superficie del terreno tales como edificios, cercas, caminos, ríos, lagos, bosques, así también las diferentes alturas que existentes en valles y colinas denominados relieves verticales que son representados con la planimetría, altimetrías (curvas de nivel). Los planos son gráficas a gran escala y depende ella para ser dibujados; tienen la finalidad de diseñar la estructura necesaria por otra parte ayuda a colocar puntos en el suelo a fin de construir correctamente las estructuras previstas (ESTOP, 2019).

Tradicionalmente el uso de estaciones totales y GPS de alta precisiones ha permitido realizar planos topográficos, sin embargo, en la actualidad el uso de drones es una práctica muy utilizada debido a las altas cámaras de resolución y representación detallada en 2D y 3D, para ello es fundamental una planificación de vuelos con suficientes imágenes (FAO, 2018). Algunas de las ventajas es el incremento de la productividad reduciendo el costo por hectárea y obteniendo resultados en menos tiempo, además de la precisión en centímetros del área sobrevolada (Figura 34).

**Figura 34. Plano topográfico a partir de un levantamiento fotogramétrico de Drones (UAV)**



Fuente: Estudios Integrales Geográficos Ecuador, 2017

## 5.7. Fotogrametría digital de drones

La fotogrametría digital permite el uso de computadora y software aplicados dando origen a modelos digitales en 3D, permitiendo desde las imágenes se extraiga información para generar modelos digitales sobre la elevación del terreno, ortofotos, estéreo-fotos, visualizar terrenos tridimensionales u otros. Así, simplificando el formato digital y la facilidad del proceso de restitución de las imágenes, las mismas que son ingresadas al computador y se visualizan por medio de la pantalla en donde se ubican los puntos de forma matemática (Centro de Geociencias Aplicadas, 2016). Esto permite al operador realizar la restitución o ser la misma realizada de manera automática (Pérez, 2018).

El ingreso de datos inicia por la toma de imágenes de cualquier origen (fotografías aéreas desde vehículos tripulados, fotografías satelitales con sensores o fotografías con drones), seguido del proceso de orientación interna en donde se considera el cambio de coordenadas píxel a coordenadas imagen. La orientación externa se la realiza entre fotogramas identificando y localizando puntos de apoyo o control y homólogos (coordenadas  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) en el terreno.

Por último, la generación del modelo digital 3D (Figura 7) es la relación entre los puntos de apoyo, homólogos y control, realizado por el software. Obteniendo los modelos digitales de terreno, elevación, superficie, otros (Centro de Geociencias Aplicadas, 2016).

La cantidad de superficie sobrevolada y la resolución del resultado final determinan el tiempo de vuelo necesario, tomando en consideración ciertas características del dron e incluso es probable que se realicen varios vuelos, como por ejemplo un dron multirrotor estima un vuelo de 20-30 minutos cubriendo decenas de hectáreas, mientras que SenseFly de ala fija puede cubrir centenares de hectáreas en 40-60 minutos. Durante el vuelo, el dron captura varias de imágenes de la zona de estudio, por sí solas las imágenes no aportan demasiado por lo que es necesario procesarlas con software de fotogrametría (Recursos para Geo-Ingeniería, 2019)

**Figura 35. Levantamiento fotogramétrico de Drones (UAV)  
Modelado 3D**



Fuente: Estudios Integrales Geográficos Ecuador, 2017

## 5.8. Procedimiento para la generación de productos fotogramétricos con drones

El procedimiento de manera general involucra dos etapas, las cuales deben ser sigilosamente seguidas con el objetivo de obtener productos con alta precisión. Las etapas se resumen a continuación:

Etapa de campo

1. Logística
2. Realización del Plan de Vuelo
3. Toma de fotografía aérea
4. Toma de puntos de control o apoyo fotogramétrico con GPS de precisión

Etapa de gabinete

1. Descarga de fotografías desde dron
2. Descarga de archivos desde GPS
3. Procesamiento en software fotogramétrico
4. Exportación y verificación de calidad de productos en software de Sistemas de Información Geográfica (SIG) o de diseño asistido por computador (CAD)

### 5.8.1. Hardware requerido

Dentro de los elementos de hardware requerido, se recomienda los siguientes para la realización de un vuelo fotogramétrico con drones.

- Drone DJI Series Phantom, Mavic, Inspire o Matrice con cámara de 12 megapíxeles y GPS incluido.
- Tablet exclusiva para el manejo de dron. Se recomienda de la marca Apple IPAD.

- Computador para postprocesamiento de fotografías y generación de productos.
- GPS diferencial de precisión. Se recomiendan modelos como Trimble Series R, Topcon Series Hiper, Leica, Sokkia.

### 5.8.2. *Software requerido*

En la planificación de vuelos se debe tomar en cuenta la precisión milimétrica, que en ocasiones es difícil conseguir, por tal razón se consideran tecnologías como aplicaciones que brindan una ayuda para planificar los vuelos, logrando obtener una mejor precisión (Betancourth, 2017). Se puede encontrar aplicaciones para un determinado tipo o marca de dron como:

- **Free Flight pro:** para drones marca Parrot, detecta automáticamente el tipo de dron que se está pilotando y permite programar rutas sencillas y pilotar desde la aplicación.
- **Breeze cam app:** para drones de la marca Yuneec, que permite varias opciones de vuelo automático o pilotado desde un móvil/tablet.
- **DJI Go:** conecta la cámara de tu dron DJI con el móvil/ Tablet, con la app se puede configurar la cámara y realizar grabaciones.
- **DroneDeploy - Pix4D capture:** utilizado por drones Phantom, Inspire, ebee, 3DR Solo, Parrot Bebop2, permite crear modelados 3D y otro tipo de mapeo.
- **eMotion Sensefly:** para dron SenseFly (ebbe) de la fija, puede configurar vuelos para este tipo de dron en específico, sus datos son procesados por softwares más potentes como Pix4D.
- **DJI GS Pro:** utilizado para dron DJI, puede generación mapeos 2D y 3D, así como vuelos de agricultura de precisión.
- **Misión Planner:** una estación de control compatible con Windows permite planificar, cargar y guardar, descargar y analizar

registros del vuelo, además de configurar el UAV para óptimo rendimiento.

- **Mdcockpit:** para drones de la marca Microdrones, permite planificar el vuelo, la recepción de telemetría y el análisis de vuelo.

En lo que respecta al procesamiento de fotografías se puede utilizar el software Pix4D, Agisoft, MicMac, entre otros.

Otro recurso utilizado durante el vuelo es el SIG como apoyo cartográfico especialmente en trabajos de topografía. El procesamiento de los datos dependerá del tipo de datos generados (imágenes, videos o datos masivos) en el vuelo (ACG Drone, 2017).

### 5.9. Punto de control o apoyo fotogramétrico

Los puntos de control son una referencia tomada con el GPS de alta precisión, colocados de forma física en el contorno del área de estudio y son fotografiados desde el aire, es decir que el piloto debe colocar por cada punto de control una referencia (objeto, marca de pintura, otro), misma que debe ser visible desde el aire. Esta es una etapa más del plan de vuelo por lo que debe ser considerada durante su proceso (Perdomo, & otros, 2015).

# Capítulo 6

## 6.1. Glosario de términos

No.	Término	Definición
4.1	<i>Abastecimiento de agua</i>	<p>Son las diferentes fuentes de agua dulce que el hombre puede aprovechar para satisfacer sus necesidades, las fuentes pueden ser: lagos, lagunas, embalses, manantiales, ríos o agua subterránea.</p> <p>Consideremos que el 97% de agua en el planeta es agua salada, únicamente el 3% es agua dulce. De este 3% el 68,7% se encuentra en las capas de hielo y en los glaciales, el 30,1% se encuentra formando las aguas subterráneas y tan solo el 0,9% es agua dulce. De este último porcentaje el 87% se encuentra formado los lagos y lagunas, el 11% se encuentra en los pantanos y el 2% como agua superficial en los ríos.</p>
	<i>Water supply</i>	<p>They are the different sources of fresh water that the human being can take advantage of to satisfy his needs, the sources can be: lakes, lagoons, reservoirs, springs, rivers or groundwater.</p> <p>Consider that 97% of water on the planet is salt water, only 3% is fresh water. Of this 3%, 68.7% is found in the ice and glacial layers, 30.1% is found in groundwater and only 0.9% is fresh water. Of this last percentage, 87% is formed by lakes and lagoons, 11% is found in wetlands and 2% is surface water in rivers.</p>

4.2	<i>Abiótico</i>	<p>Son factores que en la naturaleza se encuentran íntimamente ligados a los factores bióticos debido que ellos hacen posibles que los segundos puedan desarrollarse en su entorno natural.</p> <p>A continuación se presentan algunos ejemplos de factores abióticos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua</li> <li>• Luz infrarroja</li> <li>• Radiación ultra violeta</li> <li>• Atmósfera</li> <li>• Temperatura</li> <li>• Aire</li> <li>• Luz visible</li> <li>• Calcio</li> <li>• Cobre</li> <li>• Nitrógeno</li> <li>• Oxígeno</li> <li>• Altitud</li> </ul>
	<i>Abiotic</i>	<p>They are factors that in nature are intimately linked to the biotic factors due that they make possible that the latter can develop in their natural environment.</p> <p>Below are some examples of abiotic factors:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Water</li> <li>• Infrared light</li> <li>• Ultra violet radiation</li> <li>• Atmosphere</li> <li>• Temperature</li> <li>• Air</li> <li>• Visible light</li> <li>• Calcium</li> <li>• Copper</li> <li>• Nitrogen</li> <li>• Oxygen</li> <li>• Altitude</li> </ul>
3	<i>Abundancia</i>	<p>Especialmente en estudios ambientales se refiere al número total de individuos de una especie que se encuentran en el área de estudio.</p> <p>En los estudios biológicos, botánica y zoología de igual manera se refiere al número total de individuos de una especie que se encuentran en un área pre-determinada.</p>
	<i>Abundance</i>	<p>Epecially in environmental studies it refers to the total number of individuals of a species that are in the study area.</p> <p>In biological studies, botany and zoology also it refers to the total number of individuals of species that are in a pre-determined area.</p>

4	Agua	<p>El agua es primordial para garantizar la vida de la humanidad en nuestro planeta, es un líquido que se encuentra formado por un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno dispuestos los átomos a 104,5 grados. En las civilizaciones que han surgido a los largo de la historia se le ha conocido por diferentes nombres como por ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acu en idioma Latín</li> <li>• Ak en idioma Maya</li> <li>• Xudig en idioma Pima</li> <li>• Hidro en idioma Griego</li> <li>• Ba-a en idioma Yaqui</li> </ul> <p>Las características del agua se presentan a continuación: en grandes acumulaciones de agua por ejemplo en los embalses adquiere una tonalidad verdosa; una de las propiedades mejor aprovechadas en la disolución de sustancias; se solidifica en ambientes con temperaturas menores a los cero grados centígrados y se evapora a temperaturas mayores a 100 grados centígrados.</p> <p>Los lugares naturales en los cuales podemos aprovechar el agua para proyectos multipropósitos son los manantiales, embalses y ríos.</p> <p>Los átomos que componen el agua se caracterizan de establecer un enlace, es decir, se establece una atracción entre el oxígeno de una molécula con el hidrógeno de otra molécula de tal forma que pueden estar asociadas hasta cuatro moléculas de agua, tal cual sucede en la formación del hielo.</p>
	Water	<p>Water is essential to guarantee the life of humanity on our planet, it is a liquid that is formed by an oxygen atom and two hydrogen atoms arranged at 104.5 degrees atoms. In the civilizations that have emerged throughout history it has been known by different names such as:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acu in Latin language</li> <li>• Ak in Mayan language</li> <li>• Xudig in Pima language</li> <li>• Hidro in Greek language</li> <li>• Ba-a in Yaqui language</li> </ul> <p>The characteristics of the water are presented below: in large accumulations of water, for example in reservoirs, it acquires a greenish hue; one of the properties best used in the dissolution of substances; It solidifies in environments with temperatures below zero degrees centigrade and evaporates at temperatures higher than 100 degrees centigrade.</p>

	<i>Water</i>	<p>The natural places in which we can take advantage of water for multipurpose projects are the springs, reservoirs and rivers.</p> <p>The atoms that make up the water are characterized by establishing a bond, that is to say, an attraction is established between the oxygen of one molecule with the hydrogen of another molecule in such a way that up to four water molecules can be associated, as it happens in the formation of ice.</p>
5	<i>Agua ácida</i>	<p>El pH de cualquier líquido es una medida de su acidez o alcalinidad, es decir, nos indica la concentración de los iones de hidrógeno que contiene la sustancia. Los valores desde 0 a 6.99 nos indica que el agua es ácida, si el valor es igual a 7 nos indica que el agua es neutra y si tenemos valores entre 7,01 a 14 nos indica que el agua es básica.</p> <p>Este parámetro para determinar la concentración de iones de hidrógeno en el agua fue determinado por P. Sorensen en el año de 1909, científico que definió este parámetro como el opuesto del logaritmo negativo de base 10 de la actividad de los iones.</p> <p>En las plantas de tratamiento de agua potable es indispensable que el agua almacenada en la última unidad de tratamiento (tanque de distribución) se encuentre con un pH entre 6.5 a 8, con la finalidad que en el cloro gas que se agrega para su desinfección tenga los efectos deseados. Si el valor del pH del agua es menor que 6.5 o mayor a 8 por más cantidad de cloro que se añada para su desinfección este no tendrá ningún efecto relacionado con la desinfección.</p>
	<i>Acid water</i>	<p>The pH of any liquid is a measure of its acidity or alkalinity, it means that it indicates the concentration of the hydrogen ions contained in the substance. Values from 0 to 6.99 indicate that water is acid, if the value is equal to 7 it suggests that the water is neutral and if we have values between 7.01 to 14 it shows that the water is basic.</p> <p>The parameter to determine the concentration of hydrogen ions in water was determined by P. Sorensen in the year 1909, a scientist who defined this parameter as the opposite of the negative logarithm of base 10 of the activity of the ions.</p> <p>In drinking water treatment plants it is essential that the water stored in the last treatment unit (distribution tank) is at a pH between 6.5 and 8, in order that in the chlorine gas that is added for disinfection it has the desired effects. If the pH value of the water is less than 6.5 or greater than 8 by more amount of chlorine added for disinfection, it will not have any effect related to disinfection.</p>

6	Agua de fondo	<p>Es el agua que proviene de la superficie terrestre por infiltración, debido a que esta agua pasa por diferentes capas de suelos por infiltración y lo realiza de una forma muy lenta por lo general es agua que posee excelentes parámetros de pureza de la misma.</p> <p>Los parámetros físicos para determinar la calidad del agua son:</p> <p><b>Sabor y olor:</b> el agua tiene un sabor salado cuando presenta 300 ppm de cloro; un sabor salado y amargo cuando presenta 450 ppm de del ion sulfato y presenta un sabor y olor desagradable cuando existe la presencia de fenoles.</p> <p><b>Color:</b> El agua posee una tonalidad amarillenta cuando contiene ácidos húmicos; una tonalidad rojiza cuando tiene la presencia de hierro y una tonalidad color negro cuando tiene la presencia de manganeso.</p> <p><b>Turbidez:</b> Es la propiedad que tiene el agua de impedir al paso de la luz solar debido a materiales insolubles en suspensión. Los procesos de eliminar la turbidez del agua es por medio de coagulación, decantación y filtración.</p> <p>Debido a que el agua es un disolvente universal los parámetros químicos se encuentran relacionados con la capacidad que posee el agua de disolver sustancias. Los parámetros químicos que se deben considerar son los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ph del agua</li> <li>• Alcalinidad</li> <li>• Acidez mineral</li> <li>• Residuo seco</li> <li>• Bicarbonatos y carbonatos</li> <li>• Coloides</li> <li>• Sólidos disueltos</li> <li>• Sólidos en suspensión</li> <li>• Fluoruros</li> <li>• Metales tóxicos</li> </ul> <p>Los parámetros biológicos del agua se relacionan a la contaminación orgánica y biológica que pueda existir en la misma. Y los parámetros son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Demanda bioquímica de oxígeno</li> <li>• Demanda química de oxígeno</li> <li>• Carbón orgánico total</li> </ul>
	Groundwater	<p>It is the water that comes from the land surface by infiltration, because this water passes through different layers of soil by infiltration and it does it very slowly, it is usually water that has excellent purity parameters.</p>

	<p><i>Groundwater</i></p>	<p>The physical parameters to determine the water quality are:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Taste and smell:</b> water tastes salty when it has 300 ppm chlorine; a salty and bitter taste when it presents 450 ppm of the sulfate ion and has an unpleasant taste and smell when there is the presence of phenols.</li> <li>• <b>Color:</b> The water has a yellowish hue when it contains humid acids; a reddish hue when it has the presence of iron and a black color when it has the presence of manganese.</li> </ul> <p>Because water is a universal solvent chemical parameters are related to the capacity of water to dissolve substances. The chemical parameters that must be considered are the following:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alkalinity</li> <li>• Water Ph.</li> <li>• Mineral acidity</li> <li>• Dry residue</li> <li>• Bicarbonates and carbonates</li> <li>• Colloids</li> <li>• Dissolved solids</li> <li>• Suspended solids</li> <li>• Fluorides</li> <li>• Toxic metals</li> </ul> <p>The biological parameters of water are related to the organic and biological contamination that may exist in it. And the parameters are:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Biochemical oxygen demand</li> <li>• Chemical oxygen demand</li> <li>• Total organic carbon</li> </ul>
<p>7</p>	<p><i>Agua dulce</i></p>	<p>El agua dulce es la principal fuente de abastecimiento para el consumo del ser humano, esta agua se caracteriza por tener muy bajos niveles de concentración de sales disueltas y de sólidos totales disueltos.</p> <p>En nuestro planeta las fuentes de agua dulce las encontramos en las capas de hielo eternas, glaciales, iceberg, lagunas, humedales, lagos, ríos y arroyos.</p>
	<p><i>Fresh water</i></p>	<p>Fresh water is the main source of supply for human consumption, this water is characterized by having very low levels of concentration of dissolved salts and total dissolved solids.</p> <p>In our planet, the sources of fresh water are found in the eternal ice sheets, glaciers, iceberg, lagoons, wetlands, lakes, rivers and streams.</p>

8	<i>Agua dura</i>	<p>Cuando una cantidad de agua dulce contiene importantes cantidades de calcio y magnesio es un agua dura. Químicamente, el agua se considera dura si la concentración de <math>\text{CaCO}_3</math> sobrepasa los 120 mg.</p> <p>Los problemas que causa el agua dura en el sistema de distribución de agua potable son: acumulación de sarro en el interior de las tuberías y accesorios del sistema; no forma suficiente espuma cuando se utiliza productos de limpieza y como consecuencia no cumple su función específica; un consumo prolongado afecta a la salud humana por alta concentración de calcio y magnesio.</p>
	<i>Hard water</i>	<p>When a quantity of fresh water contains important amounts of calcium and magnesium it is hard water. Chemically, water is considered hard if the concentration of <math>\text{CaCO}_3</math> exceeds 120 mg.</p> <p>The problems caused by hard water in the drinking water distribution system are: accumulation of scale in the interior of the pipes and system accessories; does not form enough foam when using cleaning products and as a consequence does not fulfill its specific function; the prolonged consumption affects human health due to a high concentration of calcium and magnesium.</p>
9	<i>Agua estancada</i>	<p>Son aguas que se encuentran en zonas determinadas de ríos, embalses, lagos, estanques o acuíferos que no tienen movimiento lo cual implica que no tengan oxígeno disuelto, es decir, provocando la no presencia de vida subacuática.</p> <p>Esta agua estancada provoca un impacto ambiental significativo especialmente es una fuente de contaminación por desechos humanos, animales o químicos.</p> <p>Las enfermedades que pueden provocar la presencia de este tipo de aguas son: cólera, fiebre, tifoidea, hepatitis, diarrea y meningitis.</p>
	<i>Stagnant water</i>	<p>It is water that is found in certain areas of rivers, reservoirs, lakes, ponds or aquifers that have no movement which implies that they do not have dissolved oxygen, which is causing the absence of underwater life.</p> <p>This stagnant water causes a significant environmental impact especially is a source of contamination by human, animal or chemical waste.</p> <p>The diseases that can cause the presence of this type of water are: cholera, typhoid fever, hepatitis, diarrhea and meningitis</p>

10	<i>Agua freática</i>	<p>Son las aguas subterráneas que debido a su gran volumen se presentan en las capas próximas a la superficie terrestre, pueden ser aprovechadas realizando pequeños pozos para su extracción.</p> <p>La principal fuente de recarga de las aguas freáticas son las aguas lluvias por lo que el nivel de las mismas es variable, es decir, en invierno sube su nivel y en verano baja considerablemente su nivel.</p> <p>Para garantizar las condiciones físicas químicas de estas aguas, es necesario que el área circundante al sitio de aprovechamiento no se encuentre una fuente de contaminación, la misma que podría ser puntual o no puntual.</p> <p>Se entiende por fuente de contaminación puntual aquella en la cual se localiza exactamente el sitio de contaminación; y la fuente no puntual es aquella que no se puede identificar en sitio exacto de la contaminación.</p>
	<i>Phreatic water</i>	<p>They are the subterranean waters that due to their great volume they appear in the next layers to the terrestrial surface, can be taken advantage of doing small wells for their extraction.</p> <p>The main source of recharge of groundwater is rainwater, so the level of water is variable, that is, in winter its level rises and in summer its level decreases considerably</p> <p>In order to guarantee the chemical physical conditions of these waters, it is necessary that the area surrounding the site of use is not a source of contamination, which could be punctual or not punctual.</p> <p>Punctual contamination is understood as the source in which the contamination site is located exactly; and the not punctual source is the one that cannot be identified in the exact site of the contamination.</p>
11	<i>Agua meteórica</i>	<p>Es aquella agua que proviene del proceso de enfriamiento de la atmósfera, es decir, siendo parte del ciclo hidrológico se presenta en la superficie terrestre en forma de lluvia, nieve o granizo.</p> <p>Es importante tener en cuenta que en las zonas áridas este tipo de agua pueden ser recolectada para satisfacer las necesidades básicas de la población. Además, se caracterizan por tener poca cantidad de sales de Ca y Mg.</p>
	<i>Meteoric water</i>	<p>It is water that comes from the cooling process of the atmosphere that is, being part of the hydrological cycle it appears in the earth's surface in the form of rain, snow or hail.</p> <p>It is important to bear in mind that arid zones can collect this type of water to satisfy the basic needs of the population. In addition, they are characterized by having a low amount of Ca and Mg salts.</p>

12	<i>Agua potable</i>	<p>Se denomina como agua potable aquella agua que puede ser consumida por el hombre y utilizada para la preparación de sus alimentos.</p> <p>Esta agua se caracteriza por no poseer gérmenes patógenos, su pH debe estar en el rango de 6.5 a 9.5. De acuerdo a normativas de la Organización Mundial de la Salud OMS establece límites máximos y mínimos de diferentes iones como por ejemplo: arsénico, fosfato, magnesio, calcio, amonio, nitratos, nitritos y cloruros.</p> <p>Los indicadores de calidad del agua potable son los siguientes: oxígeno disuelto, solidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto.</p>
	<i>Drinking water</i>	<p>Drinking water is water that can be consumed by the human being and used for the preparation of food.</p> <p>This water is characterized for not having pathogenic germs, its pH must be in the range of 6.5 to 9.5. According to the World Health Organization regulations OMS establishes maximum and minimum limits of different ions such as: arsenic, phosphate, magnesium, calcium, ammonium, nitrates, nitrites and chlorides.</p> <p>The quality indicators of drinking water are the following: dissolved oxygen, total suspended solids, chemical oxygen demand, electrical conductivity, pH, dissolved oxygen.</p>
13	<i>Agua subterránea</i>	<p>Se define al agua subterránea como aquella que se encuentra presente bajo la superficie terrestre, la misma que puede ser aprovechada por el hombre para su beneficio de distintas maneras como por ejemplo: pozos, galerías de drenaje o simplemente aflora en los manantiales.</p> <p>El reservorio más grande de aguas subterráneas es el acuífero guaraní que se extiende por Brasil, Argentina, Paraguay y Uruguay. Es considerada la reserva de agua dulce más grande de nuestro planeta. Su extensión alcanza el millón doscientos mil kilómetros cuadrados.</p>
	<i>Underground water</i>	<p>Groundwater is defined as that which is present under the earth's surface, the same that can be used by man for its benefit in different ways such as: wells, drainage galleries or simply outcrops in the springs.</p> <p>The largest reservoir of groundwater is the Guarani aquifer that extends through Brazil, Argentina, Paraguay and Uruguay. It is considered the largest fresh water reserve on our planet. Its extension reaches one million two hundred thousand square kilometers.</p>

14	<i>Acuífero</i>	<p>Se denomina como acuífero a las capas subterráneas de nuestro planeta que son capaces de acumular agua que proviene del ciclo hidrológico específicamente de la infiltración de las aguas lluvias.</p> <p>Hay que tomar en cuenta que el agua acumulada en un acuífero se encuentra en constante movimiento a través de las grietas y la porosidad de su estructura.</p> <p>Una de las funciones de los acuíferos es la recarga de agua dulce tanto de los ríos como de los humedales. Debido a que el agua se encuentra en constante movimiento pasando por su manto el agua por lo general presenta condiciones físico químicas favorables para el consumo humano.</p> <p>Desde el punto de vista ambiental estas fuentes de agua deben ser aprovechadas de manera sustentable con la finalidad de que las nuevas generaciones no sufran escases de este líquido vital para la vida.</p>
	<i>Aquifer</i>	<p>It is known as an aquifer the underground layers of our planet that are capable of accumulating water that comes from the hydrological cycle specifically from the infiltration of rainwater.</p> <p>It must be taken into account that the water accumulated in an aquifer is constantly moving through the cracks and the porosity of its structure.</p> <p>One of the functions of aquifers is the recharge of fresh water from both rivers and wetlands. Because water is constantly moving through its mantle, water usually presents favorable physical and chemical conditions for human consumption.</p> <p>From the environmental point of view, these water sources must be used in a sustainable way so that the new generations do not suffer from liquidity shortage of this vital liquid for life.</p>
15	<i>Río de curso superior</i>	<p>Este tipo de ríos se caracterizan por localizarse en la parte más alta de las cuencas hidrográficas, es decir, en la zona donde tienen origen los ríos.</p> <p>La característica principal es su alto poder erosivo debido a dos factores, las pendientes fuertes y la velocidad media en cauce principal.</p>
	<i>Upper course river</i>	<p>This type of river is characterized by being located in the highest part of the river basins, that is, in the area where the rivers originate.</p> <p>The main feature is its high erosive power due to two factors, the steep slopes and the average velocity in the main channel.</p>

16	<i>Río de curso medio</i>	<p>Este tipo de ríos se caracterizan por localizarse por lo general en el intervalo de cotas de 1000 m.s.n.m. a 3000 m.s.n.m.; su característica principal es que presenta un equilibrio entre su poder erosivo y la sedimentación.</p> <p>Por el equilibrio mencionado en el párrafo anterior es en esta zona del río donde se localizan las obras hidráulicas de aprovechamiento.</p>
	<i>Middle course river</i>	<p>This type of rivers are characterized by being located generally in the range of elevations of 1000 m.s.n.m. at 3000 m.s.n.m.; Its main characteristic is that it presents a balance between its erosive power and sedimentation.</p> <p>For the mentioned balance in the previous paragraph is in this area of the river where the hydraulic works of exploitation are located.</p>
17	<i>Río de curso inferior</i>	<p>Este tipo de ríos se localizan bajo los 1000 m.s.n.m.; debido a que presentan velocidades de flujo relativamente bajas producen excesiva cantidad de sedimentos los mismos que disminuyen el área de flujo y la consecuencia directa es la presencia de inundaciones en las épocas invernales.</p> <p>En este tramo se forman los delta, considerando que existen tres tipos que son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Delta de flujo homopícnico en donde las aguas afluentes y receptoras presentan similar densidad;</li> <li>• Delta de flujo hiperpícnico en donde las aguas afluentes son de mayor densidad que las receptoras y;</li> <li>• Delta de flujo hipopícnico en donde las aguas afluentes son de menor densidad que las receptoras.</li> </ul>
	<i>River bottom course</i>	<p>These types of rivers are located below 1000 m.m. Due to the fact that they present relatively low flow velocities, they produce an excessive amount of sediments that decrease the flow area and the direct consequence is the presence of floods in the winter seasons.</p> <p>In this section deltas are formed, considering that there are three types that are:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Delta of homopícnico flow where the affluent and receiving waters have a similar density;</li> <li>• Delta hyperpícnico it is where the affluent water is of greater density than the receiving water and;</li> <li>• Delta hypopícnico flow where the affluent water are of lower density than the receiving water.</li> </ul>

18	<i>Ríos perennes</i>	<p>Este tipo de ríos presenta bajas fluctuaciones de caudal a nivel del año debido a que se encuentran localizados en zonas de alta pluviosidad.</p> <p>Incluso cuando los mismos se localizan en zonas semi-áridas presentan abundante cantidad de agua durante todo el año debido a la recarga de las aguas subterráneas.</p>
	<i>Perennial rivers</i>	<p>This type of river presents low flow fluctuations in the year because they are located in areas of high rainfall.</p> <p>Even when they are located in semi-arid areas, they present abundant amounts of water throughout the year due to the recharge of groundwater.</p>
19	<i>Ríos estacionales</i>	<p>Este tipo de ríos responde su caudal está directamente influenciado por las épocas estacionales, es decir, invierno y verano. En invierno presenta la mayor cantidad de agua y por lo general provoca inundaciones en las zonas aledañas, mientras que en épocas de verano disminuye considerablemente su caudal.</p>
	<i>Seasonal rivers</i>	<p>This type of river responds to its flow is directly influenced by the seasonal time, that is, winter and summer. In winter, it presents the largest amount of water and usually causes flooding in the surrounding areas, while in summer times its flow decreases considerably.</p>
20	<i>Ríos transitorios</i>	<p>Generalmente se localizan en zonas de poca pluviosidad, tienen un comportamiento en función de las épocas estacionales, es decir, en verano desaparecen totalmente por la falta de lluvia y recarga subterráneas; mientras que en invierno vuelven a presentarse en el cauce natural con crecienta súbitas y en ocasiones peligrosas.</p>
	<i>Transient rivers</i>	<p>Generally they are located in areas of little rainfall, they have a behavior according to the seasonal time, that is, in summer they disappear completely due to the lack of rain and underground recharge; while in winter they reappear in the natural channel with sudden and sometimes dangerous floods.</p>
21	<i>Ríos alóctonos</i>	<p>Son ríos que se caracterizan por tener recargas de zonas aledañas o colindantes.</p>
	<i>Aloctonos rivers</i>	<p>They are rivers that are characterized by having recharges from surrounding or adjoining areas.</p>

22	<i>Ríos jóvenes</i>	<p>Este tipo de ríos se localiza en los orígenes, es decir en cuencas hidrográficas altas, presentan dos características la primera es que sus cauces geoméricamente describen la forma de V; y la segunda, que tienen gran poder erosivo lo cual implica que sus velocidades de flujos son altas.</p> <p>Al realizar un análisis físico químico de sus aguas se puede encontrar que presentan parámetros con valores aceptables, lo que implica que en algunos proyectos de distribución de agua potable únicamente se deba construir una unidad de cloración.</p>
	<i>Young rivers</i>	<p>This type of river is located in the origins that means in high watersheds, they have two characteristics. The first is that their courses geometrically describe the shape of V; and the second, which has great erosive power which implies that their flow velocities are high.</p> <p>When performing a physical chemical analysis of its waters, it can be found that they present parameters with acceptable values, which implies that in some projects of drinking water distribution, only one chlorination unit must be built.</p>
23	<i>Ríos maduros</i>	<p>La característica principal de los ríos maduros es su ubicación en valles muy amplios en donde su pendiente longitudinal es muy baja permitiendo la sedimentación de sus partículas en suspensión.</p> <p>Desde el punto de vista del diseño hidráulico no es aconsejable diseñar obras de aprovechamiento debido a la presencia de abundantes sedimentos; además en fondo de los ríos presentan excesiva inestabilidad.</p>
	<i>Mature rivers</i>	<p>The main characteristic of mature rivers is their location in very wide valleys where their longitudinal slope is very low allowing the sedimentation of their suspended particles.</p> <p>From the point of view of the hydraulic design it is not advisable to design exploitation works due to the presence of abundant sediments; also in the bottom of the rivers they present excessive instability</p>
24	<i>Ríos viejos</i>	<p>Se localizan en valles, su pendiente longitudinal es excesivamente baja lo cual implica tener velocidades cercanas a cero. Este tipo de ríos presentan meandros en todo su recorrido lo que impide diseñar y construir obras de aprovechamiento.</p>
	<i>Old rivers</i>	<p>They are located in valleys, their longitudinal slope is excessively low, which implies having speeds close to zero. This type of river presents meanders in all its route which prevents from designing and building works of use.</p>

<p>25</p>	<p><i>Clasificación de ríos por tramos</i></p>	<p>A continuación se presenta la clasificación de los ríos por tramos, el parámetro tomado en cuenta es el número de Froude que se define como la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas de gravedad de actúan en los flujos de los ríos.</p> <table border="0"> <tr> <td>Tipo de cauce</td> <td>Número de Froude</td> </tr> <tr> <td>Alta montaña</td> <td>&gt; 1</td> </tr> <tr> <td>Montana</td> <td>0.7 a 1.0</td> </tr> <tr> <td>Falda de montaña</td> <td>0.45 a 0.7</td> </tr> <tr> <td>Intermedio</td> <td>0.2 a 0.45</td> </tr> </table>	Tipo de cauce	Número de Froude	Alta montaña	> 1	Montana	0.7 a 1.0	Falda de montaña	0.45 a 0.7	Intermedio	0.2 a 0.45
Tipo de cauce	Número de Froude											
Alta montaña	> 1											
Montana	0.7 a 1.0											
Falda de montaña	0.45 a 0.7											
Intermedio	0.2 a 0.45											
	<p><i>Classification of rivers by sections</i></p>	<p>Below it's shown the classification of the rivers by sections, the parameter taken into account is the number of Froude that is defined as the relationship between the forces of inertia and the forces of gravity acting on the flows of the rivers.</p> <table border="0"> <tr> <td>Type of channel</td> <td>Number of Froude</td> </tr> <tr> <td>High mountain</td> <td>&gt; 1</td> </tr> <tr> <td>Mountain</td> <td>0.7 a 1.0</td> </tr> <tr> <td>Mountain skirt</td> <td>0.45 a 0.7</td> </tr> <tr> <td>Intermediate</td> <td>0.2 a 0.45</td> </tr> </table>	Type of channel	Number of Froude	High mountain	> 1	Mountain	0.7 a 1.0	Mountain skirt	0.45 a 0.7	Intermediate	0.2 a 0.45
Type of channel	Number of Froude											
High mountain	> 1											
Mountain	0.7 a 1.0											
Mountain skirt	0.45 a 0.7											
Intermediate	0.2 a 0.45											
<p>26</p>	<p><i>Lago glaciar</i></p>	<p>Al momento del retroceso de un glaciar se produce un impacto ambiental al momento de erosionar los terrenos, cuando dichos terrenos erosionados son ocupados por el agua da la formación del lago glaciar.</p> <p>Si nos remontamos a la historia estos lagos se formaron en la era Cenozoica, específicamente en el periodo Cuaternario en la época Pleistoceno hace 2,59 millones de años.</p> <p>La gran mayoría de estos lagos se localizan en los Alpes y en los montes Pirineos.</p>										
	<p><i>Glacial lake</i></p>	<p>At the time that the retreat of a glacial process, an environmental impact at the time of eroding the land, when the eroded land is occupied by water gives the formation of the glacial lake.</p> <p>If we go back to history these lakes were formed in the Cenozoic era, specifically in the Quaternary period in the Pleistocene epoch 2.59 million years ago.</p> <p>The great majority of these lakes are located in the Alps and in the Pyrenees mountains.</p>										

27	<i>Lago proglaciar</i>	Este tipo de lagos se han formado por procesos geológicos que se han producido por el congelamiento del agua en las grietas del terreno. Este tipo de lagos los podemos encontrar en los Andes, específicamente en la cordillera Blanca.
	<i>Proglacier Lake</i>	This type of lakes have been formed by geological processes that have been produced by the freezing of water in the cracks of the land. We can find these types of lakes in the Andes, specifically in the Cordillera Blanca.
28	<i>Lago subglaciar</i>	La característica de estos lagos se refiere a que en su parte superior se tienen una gruesa capa de hielo producto de los grandes glaciales. El lago más representativo de este tipo es el lago Vostok ubicado en la Antártida.
	<i>Subglacial lake</i>	The characteristic of these lakes refers to the fact that in their upper part there is a thick layer of ice produced by the great glaciers. The most representative lake of this type is Lake Vostok located in Antarctica.
29	<i>Fiordo</i>	Estos lagos se formaron al final de la época del Cuaternario, es decir, hace 10 000 años antes de la época cristiana. Su característica radica que se formaron por la presencia de agua dulce en grandes depresiones cerca de los océanos. Uno de los fiordos más visitados a nivel mundial se encuentra localizado en la región de Lombardia Italia su nombre es Lago Como.
	<i>Fjord</i>	These lakes were formed at the end of the Quaternary period, that is, 10 000 years before the Christian era. Its characteristic is that they were formed by the presence of fresh water in large depressions near the oceans. One of the most visited fjords in the world is located in the Lombardy region of Italy, its name is Lake Como.
30	<i>Lago tectónico</i>	Los lagos tectónicos se han formado por la acumulación de agua dulce durante miles en años en depresiones o fallas tectónicas. Su característica principal en la profundidad de los mismos un ejemplo de aquello ocurre en el lago Baikal ubicado en la región Sur de la Siberia Rusa que tiene una profundidad de 1600 metros.
	<i>Tectonic lake</i>	Tectonic lakes have been formed by the accumulation of fresh water for thousands of years in depressions or tectonic faults. Its main feature in the depth of the same an example of that occurs in Lake Baikal located in the South region of Russian Siberia that has a depth of 1600 meters.

31	<i>Oasis</i>	<p>Los oasis son extensiones de terrenos que generalmente se localizan en los desiertos en los cuales se puede encontrar agua dulce y abundante vegetación.</p> <p>Los oasis más grandes del mundo son los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erg Awbari localizado en el Sahara de Libia</li> <li>• Timia localizado en las montañas Air</li> <li>• Lago Maranhenses localizado en Brasil</li> <li>• Huacachina localizado en Perú</li> <li>• Lago de la Media Luna localizado en China</li> <li>• Chebika localizado en Túnez</li> <li>• Ein Guedi localizado en Israel</li> <li>• Qatif localizado en Arabia Saudi</li> <li>• Tinerhir localizado en Marruecos</li> <li>• Al Hasa localizado en Arabia Saudi</li> </ul>
	<i>Oasis</i>	<p>Oases are extensions of land that are usually located in deserts where you can find fresh water and abundant vegetation.</p> <p>The largest oases in the world are the following:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Erg Awbari located in the Sahara of Libya</li> <li>• Timia located in the mountains Air</li> <li>• Maranhenses Lake located in Brazil</li> <li>• Huacachina located in Peru</li> <li>• Crescent Lake located in China</li> <li>• Chebika located in Tunisia</li> <li>• Ein Gedi located in Israel</li> <li>• Qatif located in Saudi Arabia</li> <li>• Tinerhir located in Morocco</li> <li>• Al Hasa located in Saudi Arabia</li> </ul>
32	<i>Pantano</i>	<p>Se define como pantano a una acumulación de agua ya sea dulce o salada poco profunda que se encuentra sin movimiento en la cual prolifera vegetación acuática y el terreno por lo general es poco compacto.</p>
	<i>Swamp</i>	<p>Swamp is defined as an accumulation of water, either sweet or shallow salt that is without movement in which aquatic vegetation proliferates and the land is usually not very compact.</p>
33	<i>Marisma</i>	<p>Marisma se caracteriza por tener agua salobre, es decir, una mezcla entre agua dulce y agua salada. Ecosistema húmedo que tiene plantas herbáceas.</p>
	<i>Marsh</i>	<p>Marsh is characterized by having brackish water, that is, a mixture of fresh water and salt water. Wet ecosystem that has herbaceous plants.</p>
34	<i>Estero</i>	<p>Si nos referimos a términos ecológicos y ambientales los esteros son pantanos los mismos que se caracterizan por tener una gran biodiversidad, razón por la cual son áreas protegidas a nivel mundial.</p>

	<i>Estero</i>	If we refer to ecological and environmental terms, estuaries are swamps that are characterized by having a great biodiversity, which is why they are protected areas worldwide.
35	<i>10 lagos más grandes del mundo</i>	A continuación se presenta los 10 lagos más grandes a nivel mundial, tomando en cuenta la importancia de estas fuentes de agua para el consume del hombre. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mar Carpio, extensión 371 000 km<sup>2</sup></li> <li>• Lago Superior, extensión 82 000 km<sup>2</sup></li> <li>• Lago Victoria, extensión 69 462 km<sup>2</sup></li> <li>• Lago Huron, extensión 59 570 km<sup>2</sup></li> <li>• Lago Michigan, extensión 57 800 km<sup>2</sup></li> <li>• Lago Tanganica, extensión 32 892 km<sup>2</sup></li> <li>• Lago Baikal, extensión 31 500 km<sup>2</sup></li> <li>• Gran Lago del Oso, extensión 31 153 km<sup>2</sup></li> <li>• Lago Nyasa, extensión 29 604 km<sup>2</sup></li> <li>• Gran Lago del Esclavo, extensión 28 570 km<sup>2</sup></li> <li>• Lago Erie, extensión 25 667 km<sup>2</sup></li> </ul>
	<i>10 largest lakes in the world</i>	Below is the list of the 10 largest lakes worldwide, taking into account the importance of these water sources for human consumption. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mar Carpio, extension 371 000 km<sup>2</sup></li> <li>• Lake Superior, extension 82 000 km<sup>2</sup></li> <li>• Lake Victoria, extension 69 462 km<sup>2</sup></li> <li>• Lake Huron, extension 59 570 km<sup>2</sup></li> <li>• Lake Michigan, extension 57 800 km<sup>2</sup></li> <li>• Lake Tanganyika, extension 32 892 km<sup>2</sup></li> <li>• Lake Baikal, extension 31 500 km<sup>2</sup></li> <li>• Great Bear Lake, extension 31 153 km<sup>2</sup></li> <li>• Lake Nyasa, extension 29 604 km<sup>2</sup></li> <li>• Great Slave Lake, extension 28 570 km<sup>2</sup></li> <li>• Lake Erie, extension 25 667 km<sup>2</sup></li> </ul>
36	<i>Caudal</i>	Es la cantidad de agua que circula a través de un cauce natural, su cantidad está en función del tamaño de la cuenca hidrográfica.
	<i>Flow</i>	It is the amount of water that circulates through a natural channel, its quantity is a function of the size of the river basin.
37	<i>Caudal ambiental</i>	Es la cantidad de agua mínima en un cauce natural con la finalidad de garantizar la flora y fauna que acoge el río.
	<i>Environmental flow</i>	It is the minimum amount of water in a natural channel with the purpose of guaranteeing the flora and fauna that the river welcomes.
38	<i>Caudal del estiaje</i>	Es la cantidad de agua en los cauces naturales de los ríos que se presentan en épocas de verano. En veranos muy prolongados algunos cauces llegan a secarse totalmente.

	<i>Drainage flow</i>	It is the amount of water in the natural channels of the rivers that occur in times of summer. In very prolonged summers some channels come to dry completely.
39	<i>Caudal mínimo remanente</i>	Es el caudal mínimo continuo que se tiene en el cauce de un río el mismo que no puede ser aprovechable por proyectos de infraestructura y que garantiza la sustentabilidad de la flora y fauna acuática.
	<i>Minimum flow remaining</i>	It is the minimum continuous flow in the riverbed, which can not be used by infrastructure projects and that guarantees the sustainability of the aquatic flora and fauna.
40	<i>Caudal natural</i>	Se refiere a la cantidad de agua que tiene el cauce de un río bajo condiciones hidrológicas normales. Además, en época de invierno se considera como normales a caudales elevados sin que los mismos provoquen el desbordamiento de las aguas del cauce natural.
	<i>Natural Flow</i>	It refers to the amount of water that has the bed of a river under normal hydrological conditions. In addition, in winter season, they are considered normal at high flows without causing them to overflow the waters of the natural channel.

# Bibliografía

- ACG Drone (1 de febrero de 2017). *Las 10 mejores apps para planificar vuelos con tus drones*. Obtenido de <https://bit.ly/2KCrawF>
- Arozarena, A., & Villa, G. (2014). Presentación del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea de España (PN.O.A). *VIII Congreso Nacional de Topografía y Cartografía*. Madrid.
- Betancourth, J. (19 de Julio de 2017). *Planificación Vuelos Drones*. Obtenido de <https://bit.ly/2Llx6JV>
- Centro de Geociencias Aplicadas (2016). *Principios de Fotogrametría*. Argentina: Universidad Nacional del Nordeste.
- ESTOP. (2019). *Planos topográficos*. Obtenido de <https://bit.ly/2XbavXD>
- Estudios Integrales Geográficos Ecuador (2017).
- FAO (2018). *Planos y mapas topográficos*. Obtenido de <https://bit.ly/2TYF7tj>
- Franz, P. (09 de 01 de 2018). *DSM, DEM & DTM*. Obtenido de <https://bit.ly/2XdgTOj>
- Global Mediterránea & Geomática (2018). *Fotogrametría*. Obtenido de <https://bit.ly/2Jd6ZCr>
- Global Mediterránea (10 de 08 de 2018). *Fotogrametría*. Obtenido de <https://bit.ly/2Jd6ZCr>
- Habitat sensores remotos aerotrasportadores (2019). *Modelo digital de superficies (MDS)*. Obtenido de <https://bit.ly/2XaQ5ya>
- Heliceo (2019). *Geomatic Innovation & Technology*. Obtenido de *Fotogrametría por drones*: <https://bit.ly/2XbNfcb>
- IECA (12 de noviembre de 2014). *Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía*. Obtenido de <https://bit.ly/2RBQUdc>

- IMASGAL (27 de 02 de 2019). *Análisis de modelos digitales del terreno (MDT) y modelos digitales de superficie (MDS)* . Obtenido de <https://bit.ly/2KGr9rE>
- Institut Cartogràfic i Geològic (2019). *Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya*. Obtenido de <https://bit.ly/2IQMj48>
- Mesa, V., & Izquierdo, L. (18 de 05 de 2015). *Universidad de la laguna*. Obtenido de Los Drones y su aplicación en el mundo de la comunicación: <https://bit.ly/2Nddni5>
- Otero, I., Ezquerro, A., Rodríguez, R., & Mar, L. (2019). *Fotogrametría*. Buenos Aires.
- Perdomo, C., Caicedo, J., Núñez, N., Machado, D., García, J., & Corina, M. (2015). Establecimiento de puntos de control terrestre para la corrección planialtimétrica de imágenes tomadas por drones. *1er Congreso de Geomática, VI Jornada de Geomática*. Caracas.
- Pérez, C. (2018). *El Modelo Digital de Terreno (MDT)*. Guayaquil.
- Pike, H. (2018). *Drone journalism: worth exploring*. Obtenido de <https://bit.ly/2FAMI8P>
- Recursos para Geo-Ingeniería (2019). *Los pasos para generar un mapa utilizando drones*. Obtenido de <https://bit.ly/2INVwKt>
- Rivas Martínez, S. (1983). Pisos bioclimáticos en España. En S. Rivas Martínez, *Pisos bioclimáticos en España* (pp. 33-43). Madrid: Lazaroa.
- Tecnología Informática (05 de 02 de 2019). *Tecnología de la Información*. Obtenido de Drone: <https://bit.ly/2oXZHc1>

Considerando la importancia que tiene la Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas y su íntimo nexo que tiene con la calidad y cantidad del recurso agua, los autores han producido esta recopilación basada en bibliografía seleccionada, así como en experiencias en el campo de la docencia en la Universidad Politécnica Salesiana.

La obra está compuesta por seis capítulos en los que se incluyen: el marco teórico de cuencas hidrográficas y sus funciones; el estudio integral de hidrología en cuencas hidrográficas y su aprovechamiento en proyectos de desarrollo integral; la descripción de los parámetros de calidad de agua en las cuencas y de las condiciones atmosféricas más favorables para su desarrollo; los instrumentos de gestión ambiental en cuencas hidrográficas. Además, una descripción pormenorizada del manejo de cuencas por medio del uso de drones. En el capítulo final se presenta un glosario de términos ambientales enfocado a la Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas.

