

## INDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Capítulo 1. Hidrología</b>  | <b>19</b> |
| 1.1. Definición  | 21        |
| 1.2. Ciclo hidrológico   |           |
| 1.2.1. Definiciones  | 21        |
| 1.2.2. Esquema del ciclo hidrológico                                       | 22        |
| 1.3. Distribución del agua total en la tierra de acuerdo con su naturaleza | 25        |
| 1.4. Ecuación fundamental de la hidrología                                 | 25        |
| 1.5. Historia de la hidrología   | 26        |
| 1.6. Aplicaciones de la hidrología   | 26        |
| 1.7. Varios  | 29        |
| <b>Capítulo 2. Cuencas Hidrográficas</b>                                   | <b>31</b> |
| 2.1. Generalidades   | 33        |
| 2.2. Regiones hidrológicas   | 33        |
| 2.2.1. Hoya hidrográfica   | 33        |
| 2.2.2. Divisorias  | 35        |
| 2.2.3. Clasificación de los cursos de agua                                 | 36        |
| 2.3. Características Físicas de una Hoya hidrográfica                      | 37        |
| 2.3.1. Área de drenaje (A)   | 37        |
| 2.3.2. Forma de la hoya  | 37        |
| 2.3.2.1. Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad ( $K_c$ )         | 37        |
| 2.3.2.2. Factor de forma ( $K_f$ )   | 38        |
| 2.3.3. Sistema de drenaje  | 38        |
| 2.3.3.1. Orden de las corrientes de agua                                   | 38        |
| 2.3.3.2. Densidad de drenaje ( $D_d$ )                                     | 39        |
| 2.3.3.3. Extensión media de la escorrentía superficial                     | 39        |
| 2.3.3.4. Sinuidad de las corriente de agua                                 | 40        |
| 2.3.4. Características del relieve de una hoya                             | 40        |
| 2.3.4.1. Pendiente de la hoya  | 40        |
| 2.3.4.2. Curva hipsométrica  | 44        |
| 2.3.4.3. Elevación media de la hoya  | 46        |
| 2.3.4.4. Pendiente de la corriente principal                               | 47        |
| 2.3.4.5. Rectángulo equivalente  | 50        |
| 2.3.5. Suelos  | 53        |
| 2.3.6. Hoyas representativas y experimental                                | 54        |
| 2.3.6.1. Hoya representativa   | 54        |
| 2.3.6.2. Hoya experimental   | 55        |
| <b>Capítulo 3. Precipitación</b>   | <b>57</b> |
| 3.1. Generalidades   | 59        |
| 3.2. Factores climáticos   | 59        |
| 3.2.1. Atmósfera   | 59        |
| 3.2.2. Circulación general de la atmósfera y vientos                       | 60        |
| 3.2.3. Humedad atmosférica   | 63        |
| 3.2.3.1. Distribución geográfica de la humedad                             | 70        |
| 3.2.3.2. Variación de la humedad en el tiempo                              | 70        |
| 3.2.4. Temperatura y transporte de energía en la atmósfera                 | 70        |
| 3.2.4.1. Distribución vertical de la temperatura                           | 73        |
| 3.2.4.2. Distribución geográfica de la temperatura                         | 77        |

|   |     |
|---|-----|
| 3.2.4.3. Variación de la temperatura con el tiempo            | 78  |
| 3.2.5. Viento   | 79  |
| 3.3. Precipitación, Formación y Tipos                         | 79  |
| 3.3.1. Formación de las precipitaciones                       | 79  |
| 3.3.2. Tipos de precipitaciones                               | 80  |
| 3.3.2.1. Precipitaciones convectivas                          | 80  |
| 3.3.2.2. Precipitaciones orográficas                          | 81  |
| 3.3.2.3. Precipitación por convergencia                       | 81  |
| 3.3.3. Distribución geográfica de la precipitación            | 82  |
| 3.4. Medidas Pluviométricas                                   | 83  |
| 3.4.1. Datos faltantes  | 84  |
| 3.4.2. Análisis de dobles masas                               | 84  |
| 3.5. Análisis estadísticos de datos hidrológicos              | 87  |
| 3.5.1. Presentación y análisis de datos                       | 87  |
| 3.5.2. Distribución de probabilidad de interés en hidrológica | 89  |
| 3.5.2.1. Normal o Gauss                                       | 89  |
| 3.5.2.2. Log – normal   | 94  |
| 3.5.2.3. Gumbel de calores extremos                           | 97  |
| 3.5.2.4. Log – Gumbel   | 101 |
| 3.5.2.5. Distribución log – Perason tipo III                  | 103 |
| 3.5.2.6. Distribución Pearson tipo III                        | 103 |
| 3.5.3. Frecuencia de lluvias                                  | 104 |
| 3.5.3.1. Frecuencia de lluvias totales anuales                | 104 |
| 3.5.3.. Frecuencia de lluvias máximas anuales                 | 104 |
| 3.5.4. Frecuencia de ocurrencia y riesgo                      | 104 |
| 3.6. Variación de la precipitación                            | 106 |
| 3.6.1. Variación geográfica                                   | 106 |
| 3.6.2. Variación temporal                                     | 106 |
| 3.7. Precipitación media sobre una hoya                       | 106 |
| 3.7.1. Método aritmético                                      | 106 |
| 3.7.2. Método de polígonos de Thiessen                        | 106 |
| 3.7.3. Método de isoyetas                                     | 107 |
| 3.8. Análisis de Lluvias Intensas                             | 108 |
| 3.8.1. Variación de la intensidad con la duración             | 108 |
| 3.8.2. Variación de la intensidad con la frecuencia           | 108 |
| 3.8.2.1. Serie anuales y serie parciales                      | 108 |
| 3.8.2.2. Relación intensidad – frecuencia                     | 109 |
| 3.8.3. Relación intensidad – duración – frecuencia            | 110 |
| 3.8.4. Estudio de intensidades                                | 114 |
| 3.8.4.1. Hietogramas  | 114 |
| 3.8.4.2. Estudio de intensidades de lluvia en una cuenca      | 115 |
| <b>Anexo Capítulo 3. Análisis de Frecuencias Hidrológicas</b> | 117 |
| I. Introducción   | 119 |
| II. Distribución normal                                       | 120 |
| III. Distribución logarítmico – normal (log - normal)         | 121 |
| IV. Distribución Pearson tipo III                             | 121 |
| V. Distribución log – Person tipo III                         | 123 |
| VI. Distribución Gumbel                                       | 126 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Capítulo 4. Infiltración</b>  | 129 |
| 4.1. Generalidades   | 131 |
| 4.2. Distribución de la precipitación en el suelo  | 131 |
| 4.3. Parámetros característicos de la infiltración   | 134 |
| 4.3.1. Capacidad de infiltración o tasa de infiltración  | 134 |
| 4.3.2. Velocidad de infiltración   | 134 |
| 4.4. Métodos de medición de la capacidad de infiltración   | 135 |
| 4.4.1. Infiltrómetros  | 135 |
| 4.4.2. Medida de la capacidad de infiltración en una hoyo por medio de la separación de las componentes del hidrograma | 137 |
| 4.5. Factores que intervienen en la capacidad de infiltración  | 137 |
| 4.6. Ecuación de la curva de capacidad de infiltración contra tiempo   | 139 |
| 4.7. Índice O de infiltración  | 140 |
| <b>Capítulo 5. Evaporación y Evapotranspiración</b>  | 143 |
| 5.1. Introducción  | 145 |
| 5.2. Definición y factores físicos   | 145 |
| 5.2.1. Definición  | 145 |
| 5.2.2. Interpretación del fenómeno   | 146 |
| 5.2.3. Explicación del fenómeno  | 146 |
| 5.2.4. Condiciones básicas para la ocurrencia del mecanismo de evaporación   | 147 |
| 5.3. Influencias meteorológicas  | 148 |
| 5.3.1. Temperatura de la superficie  | 148 |
| 5.3.2. Temperatura y humedad del aire  | 149 |
| 5.3.3. Viento  | 149 |
| 5.3.4. Otros   | 149 |
| 5.4. Definiciones básicas  | 149 |
| 5.4.1. Evaporación potencial   | 149 |
| 5.4.2. Transpiración   | 150 |
| 5.4.3. Evapotranspiración  | 150 |
| 5.4.3.1. Evapotranspiración potencial  | 150 |
| 5.4.3.2. Evapotranspiración real   | 150 |
| 5.5. Fórmula general de evaporación  | 150 |
| 5.6. Determinación de evaporación y evapotranspiración   | 151 |
| 5.6.1. Métodos de estimación   | 151 |
| 5.6.1.1. Método aerodinámico   | 151 |
| 5.6.1.2. Método de balance energético  | 152 |
| 5.6.1.3. Método de Penman  | 154 |
| 5.6.1.4. Método de Thornthwaite  | 166 |
| 5.6.1.5. Método de Blaney y Criddle  | 166 |
| 5.6.1.6. Fórmula de Turc   | 170 |
| 5.6.2. Métodos de medida   | 171 |
| 5.6.2.1. Aparatos  | 171 |
| 5.6.2.2. Método de balance hídrico   | 172 |
| <b>Capítulo 6. Escorrentía Superficial</b>   | 175 |
| 6.1. Generalidades   | 177 |
| 6.1.1. Factores que influyen en la escorrentía superficial   | 177 |
| 6.1.1.1. Factores climáticos   | 178 |
| 6.1.1.2. Factores fisiográficos  | 178 |

|   |     |
|---|-----|
| 6.1.1.3. Factores humanos   | 178 |
| 6.1.2. Variables que caracterizan la escorrentía superficial  | 179 |
| 6.1.2.1. Caudal, Q  | 179 |
| 6.1.2.2. Coeficiente de escorrentía superficial, C  | 179 |
| 6.1.2.3. Tiempo de concentración $t_c$  | 180 |
| 6.1.2.4. Período de retorno, T  | 180 |
| 6.1.2.5. Nivel de agua, h   | 180 |
| 6.2. Hidrogramas  | 180 |
| 6.2.1. Análisis de hidrogramas de creciente   | 180 |
| 6.2.2. Separación de los componentes del hidrograma   | 185 |
| 6.2.2.1. Forma del hidrograma de agua subterránea   | 185 |
| 6.2.2.2. Métodos más utilizados para la separación de las componentes del hidrograma  | 186 |
| 6.2.2.3. Determinación del punto E de inicio de la curva de agotamiento   | 188 |
| 6.2.3. Curva de agotamiento de agua de un acuífero  | 192 |
| 6.2.4. Clasificación de crecientes  | 192 |
| 6.3. Medidas de caudales  | 193 |
| 6.3.1. Vertederos   | 193 |
| 6.3.2. Molinetes  | 195 |
| 6.3.3. Curva de calibración de caudales líquidos  | 196 |
| 6.3.4. Establecimiento de estaciones hidrométricas  | 198 |
| 6.4. Estimación de la escorrentía superficial a través de los datos de lluvia   | 198 |
| 6.4.1. Fórmula racional   | 198 |
| 6.4.2. Fórmulas empíricas   | 200 |
| 6.4.3. Hidrograma unitario de una hoya  | 201 |
| 6.4.3.1. Definición   | 201 |
| 6.4.3.2. Generalidades  | 201 |
| 6.4.3.2.1. Teoría clásica de linealidad   | 201 |
| 6.4.3.2.2. Hidrogramas unitarios producidos por lluvias neta de 1 mm de altura  | 204 |
| 6.4.3.3. Duración de la lluvia neta   | 206 |
| 6.4.3.4. Tiempo de retardo de la hoya   | 206 |
| 6.4.3.5. Duración crítica de la lluvia neta adoptada en la definición del hidrograma unitario   | 206 |
| 6.4.3.6. Curvas S y la transformación de hidrogramas  | 207 |
| 6.4.3.6.1. Definición   | 207 |
| 6.4.3.6.2. Procedimiento  | 208 |
| 6.4.3.6.3. Determinación de la duración crítica de la lluvia neta por medio de la utilización de las curvas S   | 210 |
| 6.4.3.7. Ejemplos de cálculos analíticos de curvas S  | 210 |
| 6.4.3.7.1. Caso en que la duración de la lluvia neta $t_1$ es igual intervalo de tiempo $A_t$ para descripción del hidrograma unitario (Caso 1)               | 211 |
| 6.4.3.7.2. Caso en que la duración de la lluvia neta $t_1$ es diferente y mayor del intervalo de tiempo $A_t$ para descripción del hidrograma unitario (caso) | 212 |
| 6.4.3.8. Ejemplos de cálculos analíticos de hidrogramas unitarios   | 215 |
| 6.4.3.8.1. Ejemplo 1  | 215 |
| 6.4.3.8.2. Ejemplo 2  | 217 |

|   |     |
|---|-----|
| 6.4.3.9. Hidrograma unitario sintético – Método de Snyder                           | 219 |
| 6.4.3.10. Gráfica de distribución   | 222 |
| <b>Capítulo 7. Estimación de Crecientes</b>   | 223 |
| 7.1. Crecientes e inundaciones  | 225 |
| 7.1.1. Cálculo de una crecienta   | 225 |
| 7.1.2. Pronóstico de crecientes   | 225 |
| 7.2. Período de retorno T   | 226 |
| 7.3. Análisis de la naturaleza de los datos de caudal                               | 228 |
| 7.3.1. Diversos métodos de distribución de caudales máximos                         | 229 |
| 7.3.2. Método de Fuller   | 229 |
| 7.4. Método de pronóstico de crecientes basados en datos de lluvia                  | 231 |
| 7.4.1. Hidrograma unitario  | 231 |
| 7.4.2. Fórmula racional   | 231 |
| 7.4.2.1. General  | 231 |
| 7.4.2.2. Lluvia total crítica media sobre una hoya                                  | 232 |
| 7.4.2.3. Métodos para el cálculo del tiempo de concentración                        | 234 |
| 7.5. Fórmulas Empíricas para Cálculo de Caudales de Creciente                       | 235 |
| 7.5.1. Fórmula de Burkli – Ziegler  | 236 |
| 7.5.2. Fórmula de Kresnik   | 236 |
| 7.5.3. Fórmula de Creager   | 236 |
| 7.5.4. Fórmulas de Baird y McIlwraith   | 237 |
| 7.6. Control de las crecientes inundaciones   | 237 |
| 7.6.1. Introducción   | 237 |
| 7.6.2. Causas de las crecientes   | 237 |
| 7.6.3. Métodos de combate contra las crecientes                                     | 238 |
| 7.6.3.1. Construcción de embalses   | 238 |
| 7.6.3.2. Mejoramiento de canales  | 238 |
| 7.6.3.3. Desviación hacia otra hoya   | 239 |
| 7.6.4. Legislación adecuada en el control de crecimientos                           | 239 |
| 7.6.5. Sistema de alarma en el control de crecientes                                | 239 |
| <b>Capítulo 8. Propagación de Crecientes</b>  | 241 |
| 8.1. Generalidades  | 243 |
| 8.2. Propagación de crecientes a través de embalses                                 | 243 |
| 8.2.1. Consideraciones teóricas   | 243 |
| 8.2.2. Consideraciones prácticas  | 248 |
| 8.2.2.1. Análisis teórico   | 248 |
| 8.2.2.2. Análisis práctico  | 251 |
| 8.2.2.3. Rebosadero con compuertas  | 254 |
| 8.3. Propagación de Crecimiento en Ríos y Canales                                   | 255 |
| 8.3.1. Consideraciones teóricas   | 255 |
| 8.3.2. Método de Muskingum  | 256 |
| 8.3.2.1. Descripción  | 256 |
| 8.3.2.2. Formulación de la forma de trabajo de la ecuación de tránsito de Muskingum | 259 |
| 8.3.2.3. Estimaciones de k y X  | 261 |
| 8.3.2.4. Guías generales  | 265 |
| 8.3.2.5. Ejemplo de procedimiento de cálculo – método de Muskingum                  | 268 |
| <b>Capítulo 9. Régimen de Corrientes de Agua</b>                                    | 271 |

|   |     |
|---|-----|
| 9.1. Generalidades  | 273 |
| 9.1.1. Factores geológicos  | 274 |
| 9.1.2. Factores pluviométricos  | 274 |
| 9.1.3. Otros factores   | 275 |
| 9.1.3.1. Humedad del suelo  | 275 |
| 9.1.3.2. Temperatura  | 275 |
| 9.1.3.3. Topografía   | 275 |
| 9.1.3.4. Tipo de vegetación   | 275 |
| 9.1.3.5. Forma de la hoya   | 275 |
| 9.1.3.6. Dirección de la lluvia asociada a la forma de la hoya, cadenas de montañas, vientos predominantes, etc               | 275 |
| 9.2. Diagrama de frecuencias  | 275 |
| 9.3. Curva de duración o permanencia de caudales  | 278 |
| 9.3.1. Definición   | 278 |
| 9.3.2. Utilización de curvas de duración de caudales para deducción de características de cuencas hidrográficas               | 279 |
| 9.3.3. Extensión de curva de duración de caudales de período de registro corto período de registro largo                      | 281 |
| 9.3.4. Determinación de una curva de duración de caudales en una hoya hidrográfica en caso de inexistencia de datos de caudal | 282 |
| 9.4. Curva de utilización   | 283 |
| 9.5. Caudales y volúmenes perdidos y deficitarios   | 284 |
| 9.5.1. Caudal y volumen perdido promedio  | 285 |
| 9.5.2. Caudal y volumen deficitario promedio  | 285 |
| 9.5.3. Relaciones caudal derivable contra caudal medio utilizable, caudal medio perdido y caudal medio deficitario            | 286 |
| <b>Capítulo 10. Regulación de Caudales y Control de Sequías</b>   | 289 |
| 10.1. Generalidades   | 291 |
| 10.2. Cálculo del volumen de un embalse para atender a una ley de regulación  | 292 |
| 10.2.1. Método analítico  | 292 |
| 10.2.2. Diagrama de masas   | 294 |
| 10.3. Volúmenes actuales de embalse   | 297 |
| 10.3.1. Método analítico  | 297 |
| 10.3.2. Diagrama de masas   | 297 |
| 10.4. Regulación máxima   | 300 |
| 10.5. Control de sequías  | 301 |
| <b>Capítulo 11. Generación Sintética de Caudales</b>  | 305 |
| 11.1. Generalidades   | 307 |
| 11.2. Procedimiento de Monte – Carlo  | 307 |
| 11.3. Fenómeno de persistencia  | 309 |
| 11.4. Modelo de Thomas – Fiering  | 311 |
| 11.5. Otros modelos   | 312 |
| 11.6. Generación de números aleatorios  | 313 |
| 11.6.1. Números distribuidos uniformemente  | 313 |
| 11.6.2. Número normalmente distribuidos   | 313 |
| 11.7. Ejemplo de generación sintética de caudales anuales   | 314 |
| <b>Capítulo 12. Transporte de Sedimentos</b>  | 317 |
| 12.1. Introducción  | 319 |

|   |     |
|---|-----|
| 12.2. Hidráulica de canales erosionables  | 319 |
| 12.3. Transporte sólido   | 321 |
| 12.3.1. Transporte de sedimentos en suspensión  | 322 |
| 12.3.2. Transporte de sedimentos de fondo   | 325 |
| 12.3.3. Clasificación del transporte de sedimentos según mecanismo y según origen     | 325 |
| 12.3.4. Tasa de abastecimiento de sedimento y capacidad de flujo para transportarlo   | 329 |
| 12.3.5. Fórmulas de transporte de material de fondo                                   | 328 |
| 12.3.6. Fórmula de Laursen para transporte total                                      | 333 |
| 12.3.7. Conclusiones  | 334 |
| 12.4. Medidas de Concentración de Sedimentos  | 336 |
| 12.4.1. Muestreadores de sedimentos en suspensión                                     | 336 |
| 12.4.2. Muestreadores de sedimento depositado en el lecho de los ríos                 | 336 |
| 12.4.3. Medida de la carga total de sedimento por eliminación del sedimento del lecho | 336 |
| 12.5. Colmatación de embalses   | 336 |
| <b>Capítulo 13. Aguas Subterráneas</b>  | 341 |
| 13.1. Generalidades   | 343 |
| 13.2. Modos de ocurrencia de aguas subterráneas                                       | 344 |
| 13.2.1. Acuífero freático   | 344 |
| 13.2.2. Acuífero artesiano  | 344 |
| 13.3. Coeficiente que definen un acuífero   | 344 |
| 13.3.1. Coeficiente de transmisibilidad (T)   | 345 |
| 13.3.2. Coeficiente de almacenamiento (S)   | 346 |
| 13.4. Determinación de los Coeficientes de Almacenamiento (S) y Transmisibilidad (T)  | 347 |
| 13.4.1. Lineamientos teóricos   | 347 |
| 13.4.2. Ejemplo   | 349 |
| <b>Capítulo 14. Hidrometría e Instrumentación</b>                                     | 355 |
| Referencias bibliográficas  | 359 |