



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**“BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE UNA UNIDAD HIDROLOGICA DE LA SUBCUENCA
I DE LA CUENCA SUR DE MANAGUA”.**

Para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado por

Br. María Belén Pravia Pascua

Br. Ilce Eleonor Montes Sampson

Br. Harry Stevens Aguilar Ruiz

Tutor

M.Sc. Ing. Marco Palma Cerrato

Managua, Agosto 2021

CONTENIDO

1.1. INTRODUCCION	1
1.2. ANTECEDENTES	2
1.3. JUSTIFICACIÓN	4
1.4. OBJETIVOS	6
1.4.1. Objetivo general.....	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
1.5. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	7
1.5.1. Macrolocalización	7
1.5.2. Macrolocalización	8
2.1. Características naturales	11
2.1.1. Hidrología	11
2.1.2. Geomorfología	12
2.1.3. Clima	14
2.1.4. Uso potencial del suelo	15
2.1.5. Flora y fauna	16
2.2. Sector productivo	17
2.2.1. Producción agropecuaria.....	17
2.2.2. Otros ingresos económicos	18
3.1. Parámetros y conceptos hidrológicos	19
3.1.1. El ciclo hidrológico	19
3.1.2. Cuenca Hidrográfica.....	21
3.1.3. El Ciclo Hidrológico en una Cuenca	22
3.2. Parámetros y conceptos climáticos	27
3.2.1. Radiación solar	27
3.2.2. Temperatura, presión y humedad.....	28
3.2.3. Humedad Atmosférica	32
3.2.4. Evaporación y evapotranspiración.....	34
3.3. Caracterización Climática	37
3.3.1 Clasificación Climática de Köppen.....	37
3.3.2. Precipitación Media Anual	40
3.3.3. Aspectos Hidrográficos.....	40

3.4. Fisiografía y geomorfología de la unidad de cuenca	41
3.4.1. Área de la unidad de la cuenca.....	41
3.4.2. Coeficiente de Compacidad (Kc).....	44
3.4.3. Rectángulo equivalente	45
3.4.4. Factor de Forma.....	46
3.4.5 Relieve	47
3.4.6. Elevaciones.....	47
3.4.7. Pendiente media	47
3.4.8. Curva hipsométrica.....	48
3.4.9. Polígonos de Frecuencia Altitudes	50
3.4.10. Red de Drenaje	50
3.4.11. Densidad de Drenaje	50
3.4.12. Longitud del cauce Principal	52
3.4.13. Numero de escurrimiento	52
3.4.14. Pendiente media del rio principal	53
3.4.15. Tiempo de concentración	54
3.5. Balance hídrico	55
3.5.1. Sistemas de información geográficos	55
3.5.2. Información hidrometeorológica.....	56
3.5.3. Cálculo del balance hídrico	56
3.5.4. Parámetros del balance hídrico.....	57
3.5.5. Métodos para el cálculo de la evapotranspiración potencial	64
4.1. Recopilación de Información	68
4.2. Parámetros morfométricos de la unidad de cuenca	68
4.3. Caracterización climática de la unidad de cuenca	69
4.4. Cálculo del balance hídrico	69
4.4.1. Estimación de la Evapotranspiración Potencial	69
4.4.2. Estimación del balance hídrico.....	70
5.1. Determinación de los parámetros morfométricos	71
5.1.1. Area y perímetro	71
5.1.2. Densidad de Drenaje	71
5.1.3. Pendiente Media de la cuenca	72
5.1.4. Pendiente Media del Río	74

5.1.5. Tiempo de Concentración.....	75
5.1.6. Índice de Gravelius o Compacidad.....	76
5.1.7. Factor de Forma.....	77
5.1.8. Curva Hipsométrica	78
5.1.9. Polígonos de Frecuencia de Altitudes.....	79
5.1.10. Perfil Longitudinal del río.....	80
5.1.11. Numero de Escurrimiento.....	81
5.2. Caracterización climática de la zona de estudio.....	82
5.2.1. Clasificación de Köppen.....	82
5.2.2. Precipitación Media	83
5.2.3. Temperatura media mensual y anual.....	86
5.2.4. Humedad Relativa	87
5.3. Cálculo del Balance Hídrico.....	89
5.3.1. Cálculo de la Evapotranspiración.....	89
5.3.2. Balance hídrico	92
6. Conclusiones y Recomendaciones.....	97
6.1. Conclusiones	97
6.2 Recomendaciones.....	98
BIBLIOGRAFÍA	99

CAPITULO 1: GENERALIDADES.

1.1. INTRODUCCION

Hidrológicamente, la cuenca funciona como un gran colector que recibe las precipitaciones y las transforma en escurrimiento. Esta acción es función de las características físicas que influyen en el comportamiento hidrológico de la cuenca. A la fecha se ha comprobado que algunos índices y características tienen influencia en la respuesta hidrológica de la misma y por ello, son puntos de partida de los análisis hidrológicos que se realizan en la cuenca. Existe una estrecha correspondencia entre el régimen hidrológico y las características físicas de una cuenca, por lo cual el conocimiento de éstos reviste una gran utilidad práctica, ya que al establecer relaciones y comparaciones de generalización de ellos con datos hidrológicos conocidos, pueden determinarse indirectamente valores hidrológicos en secciones de interés práctico, donde falten datos o donde por razones de índole fisiográfica o económica no sea posible la instalación de estaciones hidrométricas.

La unidad hidrológica está ubicada en la parte correspondiente a la Región del Pacífico de Nicaragua, al Oeste de la cabecera departamental de Managua, en las coordenadas $12^{\circ}00'28''$ - $12^{\circ}13'56''$ Latitud Norte y $86^{\circ}19'22''$ - $86^{\circ}24'28''$ Longitud Oeste (Ver figura No. 1). Esta unidad hidrológica es tributaria de la cuenca No. 69 Río San Juan, tiene un área de 120.01 km^2 y un perímetro de 66.26 km ; contiene parte de los municipios de Ciudad Sandino, Managua, El Crucero y Mateare; pertenece a la subcuenca I y se delimitó siguiendo el área de drenaje a como está en el mapa de micro localización

El presente estudio se realiza dentro del contexto de trabajo de tesis de grado para optar al título de Ingeniero Civil. La finalidad del mismo fue estimar el Balance Hídrico Superficial en de una unidad hidrológica de la subcuenca I de la cuenca sur de Managua para cuantificar los aportes y salidas, y así valorar la oferta y demanda de la unidad hidrográfica.

1.2. ANTECEDENTES

Todos los elementos y fenómenos que conforman la hidrología están gobernados por la naturaleza, y los distintos eventos y/o sucesos que ésta genera tienen componentes puramente aleatorias con un escaso sesgo determinístico, por lo que las hipótesis de ocurrencia de los distintos eventos están condicionadas por las leyes de la probabilidad, entonces se debe incluir el concepto de riesgo. En síntesis, el estudio de la hidrología no se presta a los rigurosos y exactos análisis de la mecánica clásica. Al estar íntimamente relacionada con las ciencias naturales hay una superposición con otras ciencias como la meteorología, metodología y agronomía, que generan distintos puntos de vista al abordar la conceptualización. La infiltración de una fracción de agua en el transcurso de una tormenta, es una pérdida desde el punto de vista del análisis del escurrimiento para el dimensionado de una alcantarilla; pero desde el punto de vista agronómico es una ganancia ya que disminuye la cantidad de agua que hay que incorporar artificialmente para satisfacer a los cultivos.

El estudio de balance de agua permite cuantificar el volumen de escurrimiento en la cuenca y en base a los resultados ofertar información que permita plantearse nuevas estrategias de planificación sobre el recurso hídrico; más aún cuando existen periodos prologados de sequía en la zona e impacto del cambio climático a nivel regional.

La investigación técnica y científica sobre el potencial, características y calidad de las aguas subterráneas en Nicaragua empezó desde la década de los sesenta, con el inventario de pozos y establecimiento de una red de monitoreo en la Región del Pacífico y los principales valles de la Región Central del País, así como la elaboración de mapas temáticos. Posteriormente, en los años setenta se realizaron estudios de acuíferos y un Plan Maestro de Desarrollo de los Recursos Hídricos.

El Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) en la década de los ochenta contaba con información completa y algunos mapas temáticos de los recursos hídricos subterráneos de la Región del Pacífico. Estos tenían previsto continuar los estudios en todo el país, sin embargo, por la situación socioeconómica que se vivió en el país en esa época, no fue posible editar y publicar estos estudios y sus mapas correspondientes; como tampoco se contaba con los recursos suficientes para continuar los estudios en las otras regiones del país.

Los balances hídricos a nivel mensual en Nicaragua son muy poco estudiados, y con este trabajo se pretende desarrollar una metodología para estimar los volúmenes de agua de la unidad hidrológica de la subcuenca I de la cuenca sur de Managua, que dispone de poca información hidrométrica (mediciones de caudales).

1.3. JUSTIFICACIÓN

En las últimas décadas se ha venido manifestando la necesidad de determinar con mayor exactitud las disponibilidades de los recursos naturales, las técnicas más adecuadas para su aprovechamiento, como así también las normas para su conservación y utilización racional. En el caso de los Recursos Hídricos, la justificación de estudios de evaluación de los recursos hídricos deriva de la escasez del agua en ríos de la costa, del uso desmedido del mismo y del incremento de la demanda. La planificación y gestión de los recursos hídricos a nivel de cuenca exige conocer no solo el medio físico y la cantidad de agua disponible, sino también el balance hídrico integral de la cuenca. En las ciencias de la tierra ha sido reconocida la dependencia de la geomorfología en la interacción de la geología, el clima y el movimiento del agua sobre la tierra. Esta interacción es de gran complejidad y puede ser simulada a través de la modelación hidrológica. La cuenca, vista como un sistema hidrológico, utiliza ecuaciones que gobiernan el flujo de agua, las cuales relacionan variables de estado, de entrada/salida y parámetros físicos de la cuenca. Los modelos hidrológicos necesitan información fisiográfica, las cuales influyen profundamente en el comportamiento hidrológico de la cuenca y por ello, son punto de partida de los análisis hidrológicos que se realicen en la cuenca.

Los ríos de la vertiente del Pacífico del país, se caracterizan por presentar una variabilidad estacional marcada, entre los meses de verano e invierno; siendo los meses de invierno, período de avenidas, donde se presentan los mayores caudales de agua, mientras que, en períodos de verano, período de estiaje, se presentan los menores caudales. Por otro lado, el comportamiento hidrológico de las cuencas del Pacífico durante el Fenómeno El Niño/Oscilación Sur (ENOS), ha sido muy variable respecto a su intensidad. Los Niños Extraordinarios del 82/83 y 97/98 si tuvieron un impacto generalizado en toda la vertiente, creando condiciones de exceso hídrico que provocaron desastres, y siendo estos más

acentuados en la zona norte. Asimismo, conforme al Artículo 119º de la Ley 29338, la Autoridad Nacional del Agua, conjuntamente con los Consejos de Cuenca respectivos, fomentan programas integrales de control de avenidas, desastres naturales o artificiales y prevención de daños por inundaciones o por otros impactos del agua y sus bienes asociados, promoviendo la coordinación de acciones estructurales, institucionales y operativos necesarias. Es así, que se vuelve de gran importancia, el conocimiento del comportamiento hidrológico, en los períodos de avenidas, a fin de promover las medidas preventivas necesarias, delimitar los cauces de los ríos, fajas marginales, y como línea base para evaluar los posibles efectos del cambio climático sobre los eventos extremos. En este sentido, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) viene implementando, la elaboración de Estudios de Evaluación de Máximas Avenidas con el objeto de evaluar el comportamiento de estos procesos, a fin de plantear los programas de prevención y mitigación por estos fenómenos.

El presente trabajo, referente a la una unidad hidrológica de la subcuenca I de la cuenca sur de Managua, es importante para ser empleada como información básica para la gestión de proyectos de desarrollo productivo, manejo de recursos hídricos, conservación y mantenimiento de las infraestructuras hidráulicas.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Realizar el Balance hídrico superficial de una unidad hidrológica de la subcuenca I de la cuenca sur de Managua, con el fin de valorar la disponibilidad del recurso hídrico, que sirva como herramienta en la toma de decisiones de instituciones y consumidores del recurso agua.

1.4.2. Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar los parámetros morfométricos de la unidad hidrológica.
- ✓ Caracterizar los parámetros climáticos de la zona de estudio.
- ✓ Calcular el Balance Hídrico superficial de la unidad hidrológica.

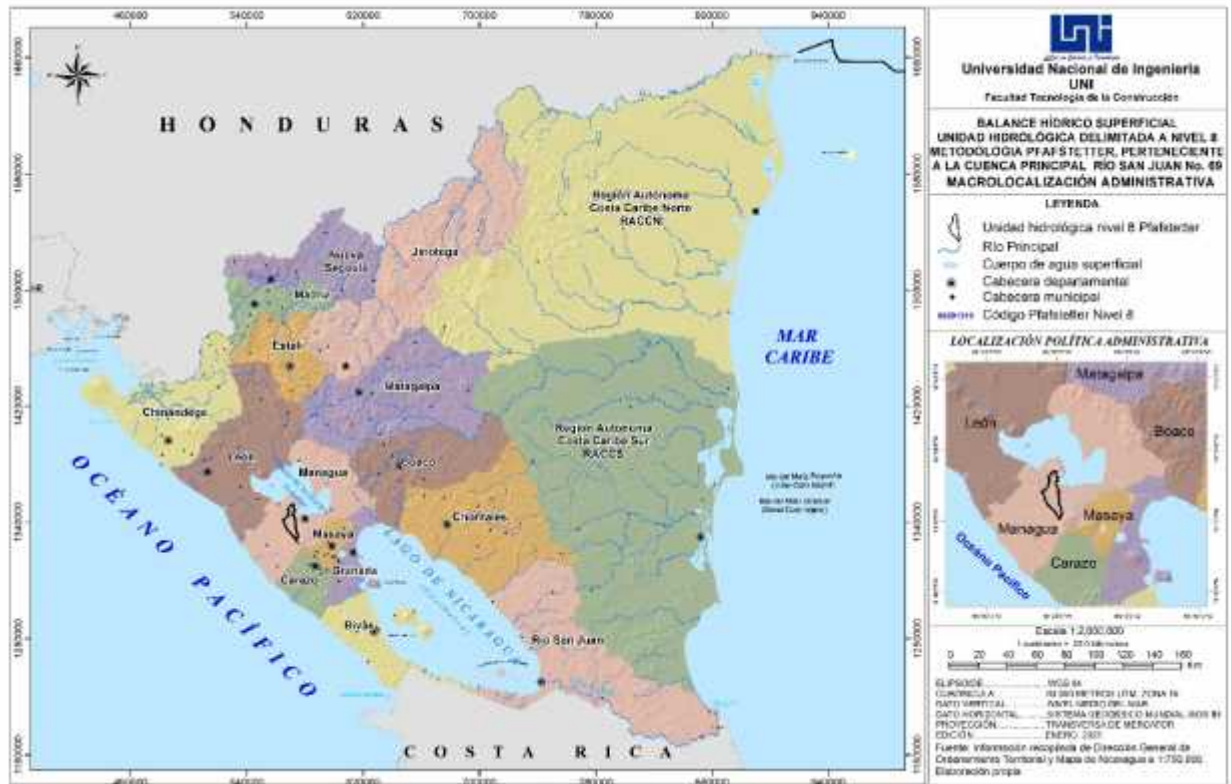
1.5. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.5.1. Macrolocalización

La subcuenca seleccionada para la realización del balance hídrico se ha delimitado a nivel 8, continuando con la delimitación y codificación mediante el método Pfafstetter. Para representar las unidades hidrográficas se le antepone el código del PHCA 70, que por acuerdo regional de Centro América se acordó establecer esta codificación para las cuencas hidrográficas. Acordando que las cuencas pares descargan sus aguas al Océano Pacífico y los impares al Mar Caribe.

La unidad hidrológica está ubicada en la parte correspondiente a la Región del Pacífico de Nicaragua, al Oeste de la cabecera departamental de Mangua, en las coordenadas 12°00'28" - 12°13'56" Latitud Norte y 86°19'22" - 86°24'28" Longitud Oeste (Ver figura No. 1.1). Esta unidad hidrológica es tributaria de la cuenca No. 69 Río San Juan, tiene un área de 120.01 km² y un perímetro de 66.26 km; contiene en parte a los municipios de Ciudad Sandino, Managua, El Crucero y Mateare; pertenece a la subcuenca I y se delimitó siguiendo el área de drenaje a como está en el mapa de micro localización

Figura No. 1.1: Macro localización de la unidad de unidad hidrológica



Fuente: Ubicación propia, mapa de INETER

1.5.2. Macrolocalización

Administrativamente, la unidad hidrológica contiene a los municipios pertenecientes al departamento de Managua. Siendo estos: municipio de Mateare que tiene un área municipal de 296.27 km², la unidad hidrológica contiene un 25.06 km² y representa el 8.55 % del área total del municipio, el municipio de Ciudad Sandino que tiene un área de 48.43 km² y tiene de contenido en la unidad hidrológica un área de 41.79 km² representando el 86.29 % del municipio, al municipio de Managua que tiene un área municipal de 268.64 km² y está contenido en la unidad hidrológica con 34.16 km² lo que representa el 12.72 % del área total del municipio y finalmente el municipio de El Crucero que tiene un área de 223.55 km² y está contenido con un área de 19.0 km², lo que representa el 8.33 % del municipio; de acuerdo a los datos referido a la división

política administrativa en que está dividido el país, proveniente de la Dirección General de Ordenamiento Territorial. Ver Figura N°. 1.2.

Figura No. 1.2: Micro localización de la unidad de la unidad hidrológica



Fuente: Ubicación propia, mapa de INETER

En referencia a los porcentajes que representan las áreas parciales de estos municipios en relación al área total de la unidad hidrológica se muestran en el cuadro No. 1.1. Siendo el municipio de Ciudad Sandino el que tiene mayor área y porcentaje de la cuenca.

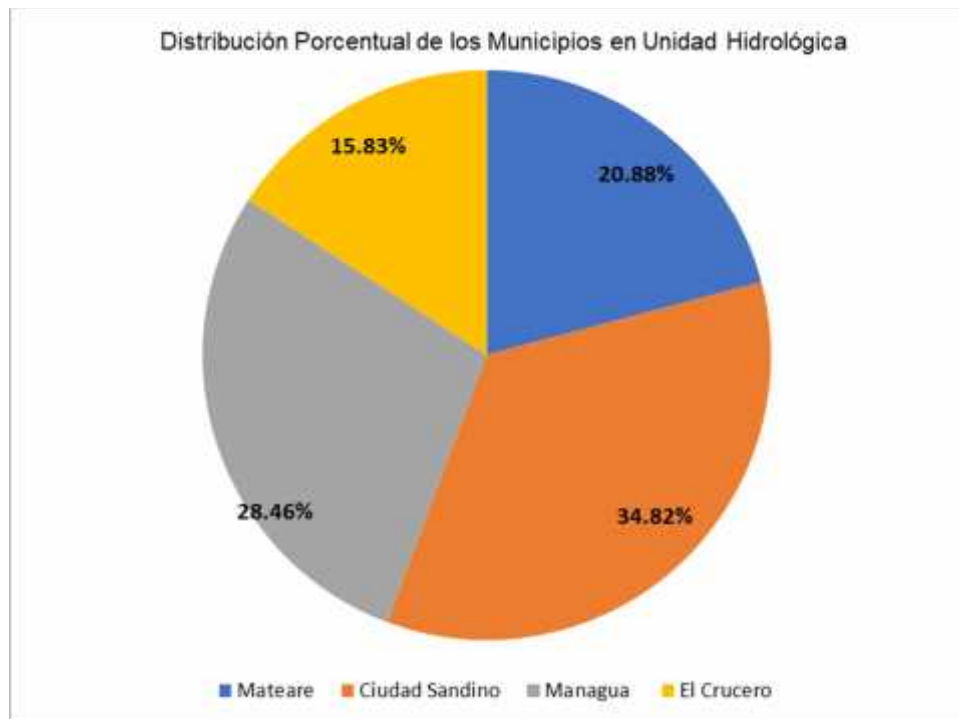
Cuadro No. 1.1: Distribución municipal en la cuenca hidrológica

Departamento	Municipios	Áreas en km ² y porcentajes (%) de municipios en Cuenca	
Managua	Mateare	25.06	20.88
	Ciudad Sandino	41.79	34.82
	Managua	34.16	28.46
	El Crucero	19.00	15.83
	Total	120.01 km²	100 (%)

Fuente: Elaboración propia, con información de INETER

A continuación, se muestra la relación de áreas parciales de los municipios en la subcuenca, según el cuadro No. 1.1. Ver gráfico No. 1.1.

Gráfico No. 1.1: Áreas parciales de los municipios en la subcuenca



Fuente: Elaboración propia, con información de INETER

CAPITULO 2: CARACTERISTICAS DEL AREA DE ESTUDIO

2.1. Características naturales

2.1.1. Hidrología

La precipitación anual en el área de estudio oscila entre 1.200 y 2.000 mm por año. La precipitación media anual en la estación de lluvia en el aeropuerto es de 1301.2 mm. La cuenca hidrográfica sur del lago Managua se clasifican en cuatro subcuencas (es decir, I, II, III y IV), basadas en características geomorfológicas, ambientales y de desarrollo urbano. La mayor parte del Municipio de Managua se encuentra en la subcuenca II, que abarca una superficie de 217 km². No hay río a gran escala en el área de estudio, pero los ríos pequeños (cauces) tienen la función de drenar el agua superficial dentro de las subcuencas. Sin embargo, el flujo del agua del río en el área de estudio no es confiable como recurso hídrico de la zona, ya que todos los cauces se secan durante la estación seca.

ENACAL extrae agua para suministro de agua doméstica en el área de estudio, de 149 pozos y de la Laguna de Asososca. La cantidad anual de agua extraída en 2015 fue de 177.1 millones de m³, de los cuales 16.7 millones de m³ (9.4%) de la cantidad total, fue tomada de la Laguna de Asososca. En los últimos cinco años, la cantidad promedio de agua extraída diariamente de la Laguna de Asososca oscila entre 61,736 m³ en 2011 a 45,657 m³, en 2015.

En la parte alta de la Cuenca se da la Recarga de las Aguas Subterráneas. El área forestal representa el 5,42% del área de estudio (en la zona de Managua). No hay bosque nacional en las cuencas de los ríos que fluyen en el Municipio de Managua. Los bosques naturales en la zona aguas arriba a menudo se queman para cambiar a área de cultivo. Las áreas de cultivo y las tierras de cultivo a menudo no tienen obras de construcción, ni se les da mantenimiento adecuado por parte de los propietarios. INAFOR, ALMA y otras organizaciones han implementado un programa de reforestación para recuperar la condición natural del área de recarga del acuífero, donde una vez se desarrolló como campo quemado y tierra de cultivo desde 2007.

Dentro de los límites del Municipio de Ciudad Sandino se localiza el área de almacenamiento de las cuencas Chiltepe - Los Brasiles, los que debido a sus características hidráulicas y condiciones de ocurrencia se consideran entre los mejores acuíferos. Estudios realizados por Catastro y Procónsul, revelan que al acuífero tiene una disponibilidad de 30 MMC (en la zona de Ciudad Sandino). El rendimiento del agua subterránea está siendo explotada en un 90% del volumen estimado.

2.1.2. Geomorfología

El municipio de Ciudad Sandino se ubica en la llamada Provincia Geomorfológica Cordillera Volcánica del Pacífico, que comprende, los centros volcánicos de La Península de Chiltepe, en lo cual se incluyen cráteres, lagunas y materiales volcánicos que se localizan en la Cordillera de los Maribios y Cuestas de Diriamba. La Cordillera de los Maribios la integran los Volcanes inactivos de Apoyeque y Chiltepe, las Lagunas de Nejapa, Asososca y Tiscapa y las estribaciones de las Sierras de Managua constituida por materiales volcánicos.

El municipio de Ciudad Sandino pertenece a la Provincia Geológica del Pacífico de Nicaragua, según Hogdson, G.2000 e INETER, 1995. Estructuralmente se encuentran una serie de lineamientos fotogeológicos principales con orientación Noroeste –Sureste y Noreste-Suroeste que atraviesan en el municipio. Asimismo, en el extremo este se ubica una estructura volcánica Alineamiento Volcánico Nejapa-Asososca-Acahualinca con orientación Norte-Sur.

Regionalmente la geología del área está conformada por depósitos aluviales (Qal), reciente (Qr), volcánico (Qv) de edad cuaternaria; y Grupo Las Sierras (TQps) que se describen del más reciente al antiguo.

Depósitos aluviales (Qal):

Son sedimentos consolidados (más antiguos y recientes) como los guijarros, gravas, cantos rodados.

Depósitos recientes (Qr):

Este depósito lo conforman suelos arenosos, arcillas, arenas y guijarros, cantos rodados.

Depósitos volcánicos (Qv):

Corresponden a rocas volcánicas entre estas las lavas, tobas, cenizas, escorias basálticas, y andesitas-basálticas.

Grupo Las Sierras (TQps):

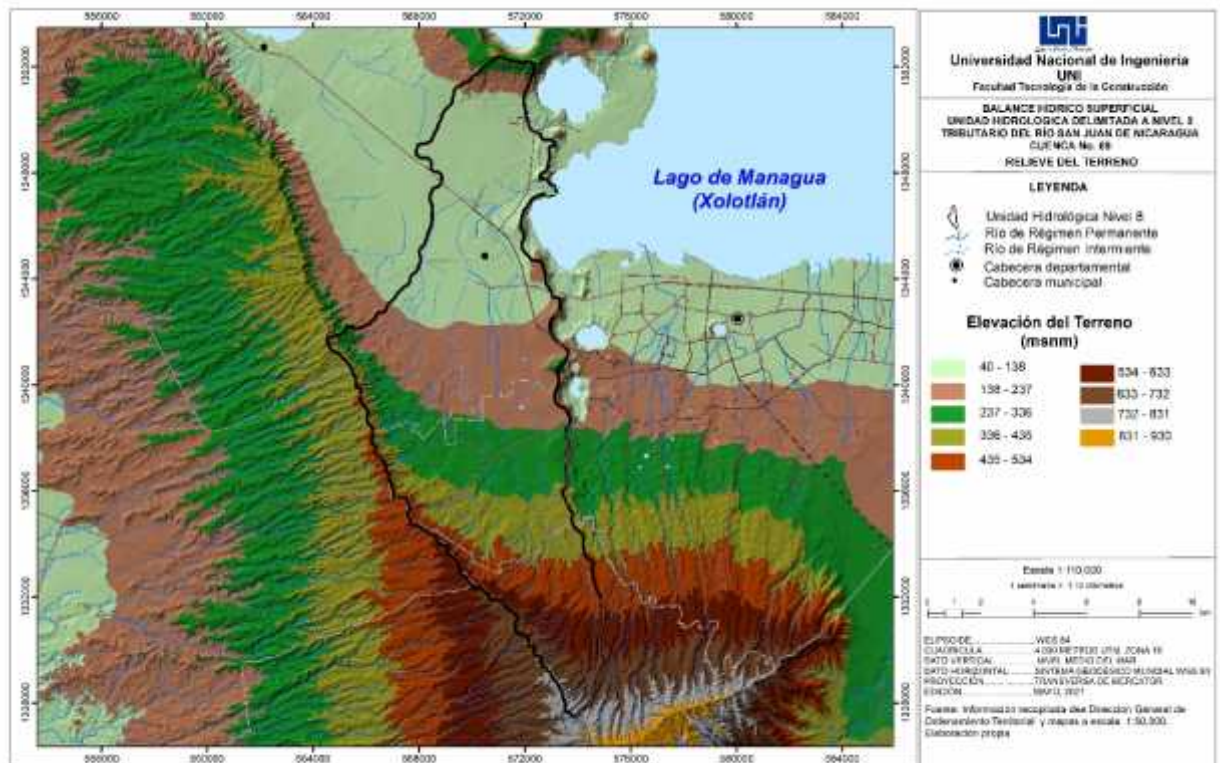
Los materiales que conforman La Sierra son predominantemente básicos en la parte superior, mientras en la parte inferior son ácidas, entre estos tenemos tobas y aglomerados andesíticos, andesito-dacíticos, riodacíticos: tobas pomáceas, areniscas tobáceas.

El drenaje superficial de las cuencas hidrográficas del Municipio Ciudad Sandino forma parte de la cuenca sur de Managua y corresponde a la cuenca N° 69. A esta última parte corresponde el drenaje de la parte más alta de la cordillera que da origen a dos torrentes efímeros que se juntan para formar el cauce de Miraflores. Las corrientes bajan a velocidad a la planicie y provocan inundaciones y exposiciones de sedimentos en las riveras afectando a Ciudad Sandino y a otros asentamientos.

Por lo antes expuesto, el sector se encuentra rodeado de un conjunto de formaciones naturales que le confieren características particulares como es la separación física del resto de la Ciudad. Estos elementos forman a su vez una barrera natural impidiendo el crecimiento urbano del sector en zonas no aptas para el desarrollo urbano, teniendo en el costado sureste la laguna de Asososca y el Cerro Motastepe, al suroeste por las sierras de Managua, al Este por las serranías de la cuenca del plomo y al noreste por el lago Xolotlán.

En el área de Ciudad Sandino el relieve es relativamente plano con pendientes, con valores de 0 al 2% en las áreas urbanizadas; lo que permite tener una zona apta para el desarrollo urbano, tomando en cuenta un plan de manejo de aguas pluviales para las zonas más bajas con riesgos de circundantes a las zonas urbanizadas. En la figura No. 2.1.1 se observa el relieve de la zona de estudio,

Figura No. 2.1.1: Relieve de la zona de estudio



Fuente: INETER

2.1.3. Clima

El entorno natural es parte del trópico seco que se extiende a lo largo de la costa del pacífico de Nicaragua. Las condiciones predominantes son regimenes estacionales determinados por una estación seca y una estación lluviosa. El clima en esta zona es tropical de sabana con variaciones a subtropical semihúmedo, con

temperatura entre los 25 y 27 grados centígrados, con vientos variables de 12 a 15 Km/h y la humedad relativa del 63%.

El clima cálido predomina todo el año, a excepción de las zonas altas ubicadas al oeste de la zona. El régimen de precipitación es estacional, iniciándose el invierno a mediados de mayo, terminándose a fines de octubre; manifestándose dos picos de mayor precipitación en los meses de mayo a octubre, durante el cual cae el 99% de la lluvia anual, con descenso drástico de lluvias entre los meses de julio a agosto, dándose el fenómeno de canícula o veranillo.

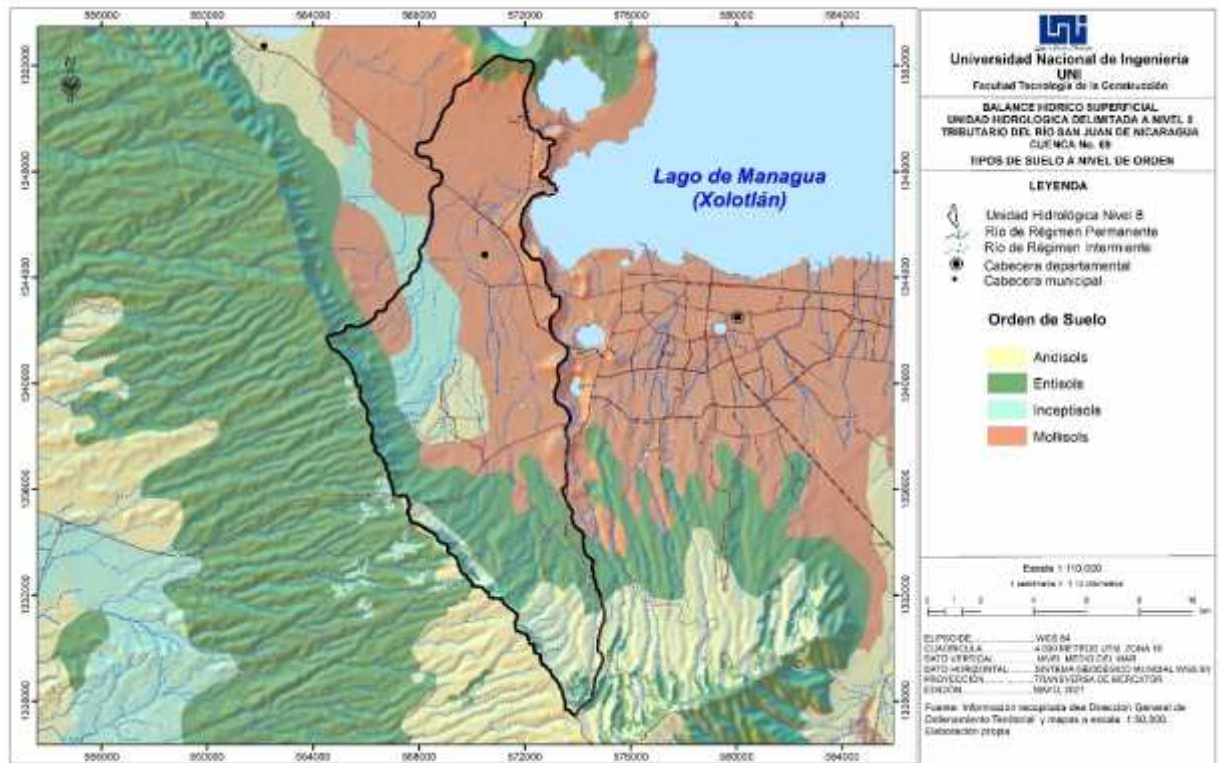
2.1.4. Uso potencial del suelo

En la zona de estudio existe un relieve accidentado y de planicie, donde se presentan suelos de influencia volcánica. Los factores y procesos formadores que han modelado estos suelos son: vulcanismo, tectonismo, erosión y sedimentación.

Las diferencias textuales dependen del piroclasto del que provienen, de su grado de desarrollo y de su posición geográfica en el área. Estas texturas varían desde la arenosa franca, proveniente de piroclastos más recientes a las arcillosas derivadas del componente volcánico. Por sus características morfogénicas y taxonómicas, se puede mencionar como suelos jóvenes poco desarrollados, los que se localizan alrededor del cerro Motastepe; se caracterizan por presentar un perfil de poco espesor, con texturas totalmente gruesas (arena franca) en todo el perfil.

Otros suelos que se localizan en la parte plana de la zona, presentan un grado de desarrollo un poco más evolucionado. Taxonómicamente son suelos Inseptisoles derivados de cenizas volcánicas, se caracterizan por presentar contenidos de 60% o más de cenizas volcánicas, lapillis o piroclásticos vítreos en la fracción de lino, arena o grava. En la figura No. 2.1.2 se observa los tipos de suelos del área de estudio.

Figura No. 2.1.2: Tipos de suelos del área de estudio



Fuente: INETER

2.1.5. Flora y fauna

En lo que se refiere a la flora, el municipio del Crucero fue muy rico en maderas preciosas, las que debido al despale indiscriminado se encuentran en proceso de extinción, tales como cedro real, pochote, caoba, laurel, roble y genízaro. Sin embargo, existen una serie de árboles que han sobrevivido a los despales, entre los que se puede mencionar guanacaste, madero, chilamate, tempisque y níspero; que además son de mucha importancia porque generan la sombra que necesita el cultivo del café de la zona.

La fauna en las zonas boscosas del Crucero, está compuesta principalmente por aves y animales pequeños cuadrúpedos y reptiles, entre los que podemos

mencionar: entre las aves se tiene chocoyos, guardabarranco, urracas, salta piñuela, pájaro carpintero, zanates y zopilotes; entre los animales pequeños se tiene armadillos, zorros, guatusas, conejos y ardillas; entre los reptiles se tiene garrobos, lagartijas y diversos tipos de víboras y serpientes. En la zona existen especies en peligro de extinción, tales como venados, monos, iguanas, tucanes, loras y sahinós.

El Municipio de Ciudad Sandino se cuenta con las siguientes especies de fauna: zorra cola pelada, ardilla común, guardatinaja, mapachín, tigrillo, urracas, chocoyos, loras, zanates, carpinteros, guardabarranco, salta piñuelas, cenizotes, zopilotes y gavilanes.

2.2. Sector productivo

2.2.1. Producción agropecuaria

En el municipio de Mateare se identificaron 4 zonas; La Zona I, alta e irregular de granos básicos, predomina el sistema agrícola con rubros como maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), sorgo (*Sorghum bicolor*); estos productos son utilizados para el autoconsumo familiar. Además, se practica la crianza de especies de animales menores de patio. En la Zona II la producción es de tipo agropecuario, utilizando pocas técnicas en el manejo de los cultivos y animales, la ganadería existente es de doble propósito. El área turística es geográficamente accidentada, comprende la parte alta de la península.

De conformidad con un estudio para establecer el uso actual del suelo en la zona de Ciudad Sandino, efectuado por la Dirección de Edafología del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) en Diciembre de 1994 en apoyo a la realización al Estudio Agroecológico del Departamento de Managua; revela que la mayor parte de la gran planicie del Municipio está clasificada como V2, o sea que trata de un área humanizada (poblada), asociada a la producción de maíz,

sorgo (millón y escobero), caña, frutales, café y vegetación herbácea. Las zonas intermedias de lomas y quebradas están localizadas alrededor del cerro Buena Vista al extremo noreste del Municipio, presentan un uso predominante de VA, (vegetación arbústica). La zona más extrema al occidente del Municipio y la de mayor altura se caracteriza por la presencia de un bosque ralo.

2.2.2. Otros ingresos económicos

El entorno natural constituye la base física de donde la población extrae los recursos naturales que le sirven para el desarrollo de su base económica. En el caso del municipio de Ciudad Sandino, la base natural presenta un potencial y diversidad de recursos de agua, suelos, paisajes, vegetación, que bajo un adecuado manejo y administración pueden contribuir al bienestar de su sociedad. La zona boscosa del sector urbano, ha disminuido con el transcurso del tiempo, siendo más obvio en las áreas perimetrales o circundante al área urbana, esto debido a la sobre explotación de suelos, la disminución de la infiltración del agua pluvial y la capacidad de los acuíferos.

CAPITULO 3: MARCO TEORICO

3.1. Parámetros y conceptos hidrológicos

3.1.1. El ciclo hidrológico

El ciclo del agua en la naturaleza, comúnmente denominado Ciclo Hidrológico, es algo elemental y por ello ha sido ampliamente tratado por diversos autores según distintas ópticas, dando como resultado una gran cantidad de definiciones y esquemas; por tal motivo se seleccionó un conjunto de elementos claros y sencillos de fácil interpretación.

Tomando como marco de referencia el planeta tierra, donde se encuentra el agua en los tres estados posibles: sólido, líquido y gaseoso; se entiende por Ciclo Hidrológico al movimiento que el agua realiza con o sin cambio de estado, conservando la masa total. En la figura No. 3.1 se esquematizan las componentes del ciclo hidrológico.

Figura No. 3.1. Esquema del ciclo hidrológico



Fuente: Juan Bautista Sciortino

En el ciclo hidrológico intervienen diversos factores ambientales y fuerzas intra y extra planetarias, como el viento y la luz solar, respectivamente. Como todo ciclo, no inicia realmente en ningún punto determinado, sino que se trata de una continuidad de procesos que se repiten sucesivamente, movilizand o cantidades de energía. La Radiación Solar constituye la principal fuente de energía del planeta y es la que moviliza el ciclo hidrológico.

Los procesos meteorológicos que intervienen en el ciclo hidrológico se desarrollan en la Tropósfera, desde la superficie del mar hasta, aproximadamente, a 10 km en los Polos y 17 km en el Ecuador, donde se concentra casi las tres cuartas parte del aire y contiene casi todo el vapor de agua,

Desde el punto de vista de la hidrología, la atmósfera es:

- ✓ Un enorme depósito de agua en forma de vapor, que según las condiciones meteorológicas se pueden convertir en microgotas de agua líquida o ínfimas partículas de hielo y formar nieblas o nubes; que, a su vez, según el estado termodinámico del medio se evaporan o aglutinan para precipitar.
- ✓ Un sistema de transporte y distribución de agua atmosférica en el planeta por medio de un complejo y fluctuante red de vientos.
- ✓ Un almacén de calor absorbiendo una pequeña parte de la radiación solar directa más una amplia fracción de radiación calórica indirecta o reflejada y emitida por la tierra.

La hidrosfera o hidrósfera abarca la totalidad del agua de nuestro planeta; incluye el agua de la superficie, la que se encuentra bajo tierra y la que circula en el aire como vapor de agua.

El ciclo del agua, a nivel global es cerrado, la cantidad que participa en el mismo es constante, esto permite que el ciclo sea estable, que la cantidad de agua que se encuentra en los océanos, en la atmósfera, en los polos y en todos los demás emplazamientos donde tiene la posibilidad de almacenarse es siempre la misma. Esto no impide que se produzcan variaciones importantes, tanto temporales como geográficas, en el modo en que se distribuye esta agua, lo que da lugar a sequías regionales o inundaciones.

3.1.2. Cuenca Hidrográfica

A partir del esquema global del ciclo hidrológico previo, se puede realizar una focalización hacia la parte continental, disminuyendo la escala de observación y fijando un sistema de referencia, espacio o área a los efectos de explicitar, relacionar y computar las distintas componentes del ciclo hidrológico; este marco de referencia recibe el nombre de cuenca hídrica o hidrográfica. La cuenca hidrográfica o de aporte, correspondiente a una determinada sección de un curso de agua, es la superficie del terreno delimitada topográficamente (divisoria de aguas) en la cual, los excesos de lluvia caída son conducidos superficialmente por medio de afluentes hasta la sección del curso predefinido. Este concepto hace referencia únicamente al escurrimiento superficial, y por lo tanto carece de un elemento muy importante como lo es el flujo subterráneo, puesto que esta es la componente del escurrimiento que mantiene con agua la mayor parte de los ríos, durante el lapso de tiempo que transcurre entre precipitaciones. Por lo tanto, se deben incorporar aquella superficie del terreno delimitada geológicamente en la que una parte de la precipitación infiltrada llega al almacenamiento subterráneo y escurre lentamente hacia algún curso de agua afluente a la sección considerada”.

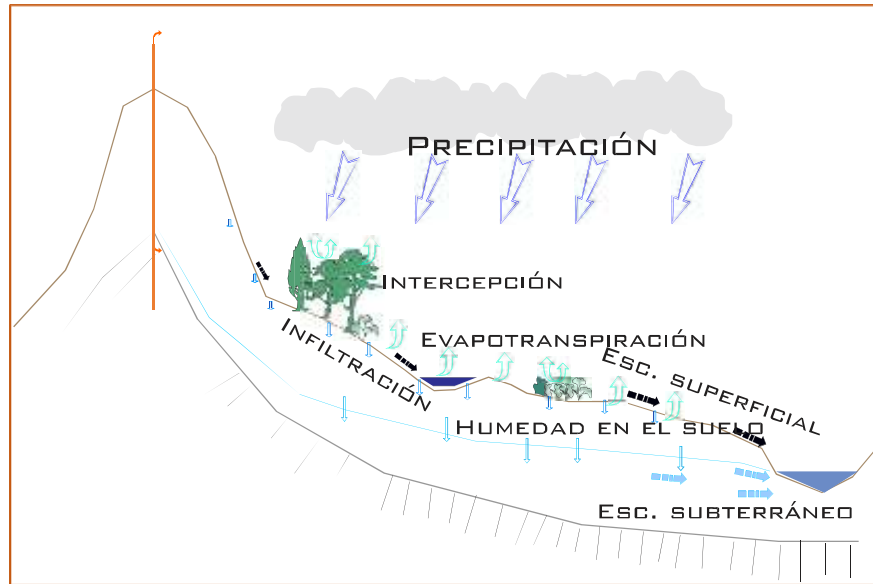
De esta forma se define Cuenca Hidrológica como una unidad morfológica integral que, además de incluir todo el concepto de cuenca hidrográfica, abarcan en su contenido, toda la estructura hidrogeológica subterránea del acuífero como un todo. Puede ocurrir que no coincidan ambas divisorias de aguas, superficial y subterránea; en este caso no es posible definir una sola cuenca, ya que puede recibir los aportes subterráneos de cuencas vecinas y/o que parte del agua infiltrada y almacenada como agua subterránea escurra hacia otros cursos de agua que integran otra cuenca. En este caso de no coincidencia, el escurrimiento global en la cuenca está fuertemente afectado cuando se realiza un análisis a largo plazo; mientras que, si el estudio requerido lleva implícito un intervalo de tiempo pequeño, como ser una tormenta, interesa únicamente la divisoria de agua superficial, dado que, es mucho mayor la escala de tiempo necesaria para el arribo del aporte subterráneo de cuencas vecinas.

3.1.3. El Ciclo Hidrológico en una Cuenca

El ciclo hidrológico referido a una cuenca tiene distintas representaciones, se han seleccionado para una fácil interpretación dos modelos muy simples:

Esquema Físico: Se toma una porción del terreno donde se indica un relieve, cobertura vegetal, perfil del suelo, acuíferos, un estado atmosférico y como condición de borde un curso de agua (Figura No. 3.2).

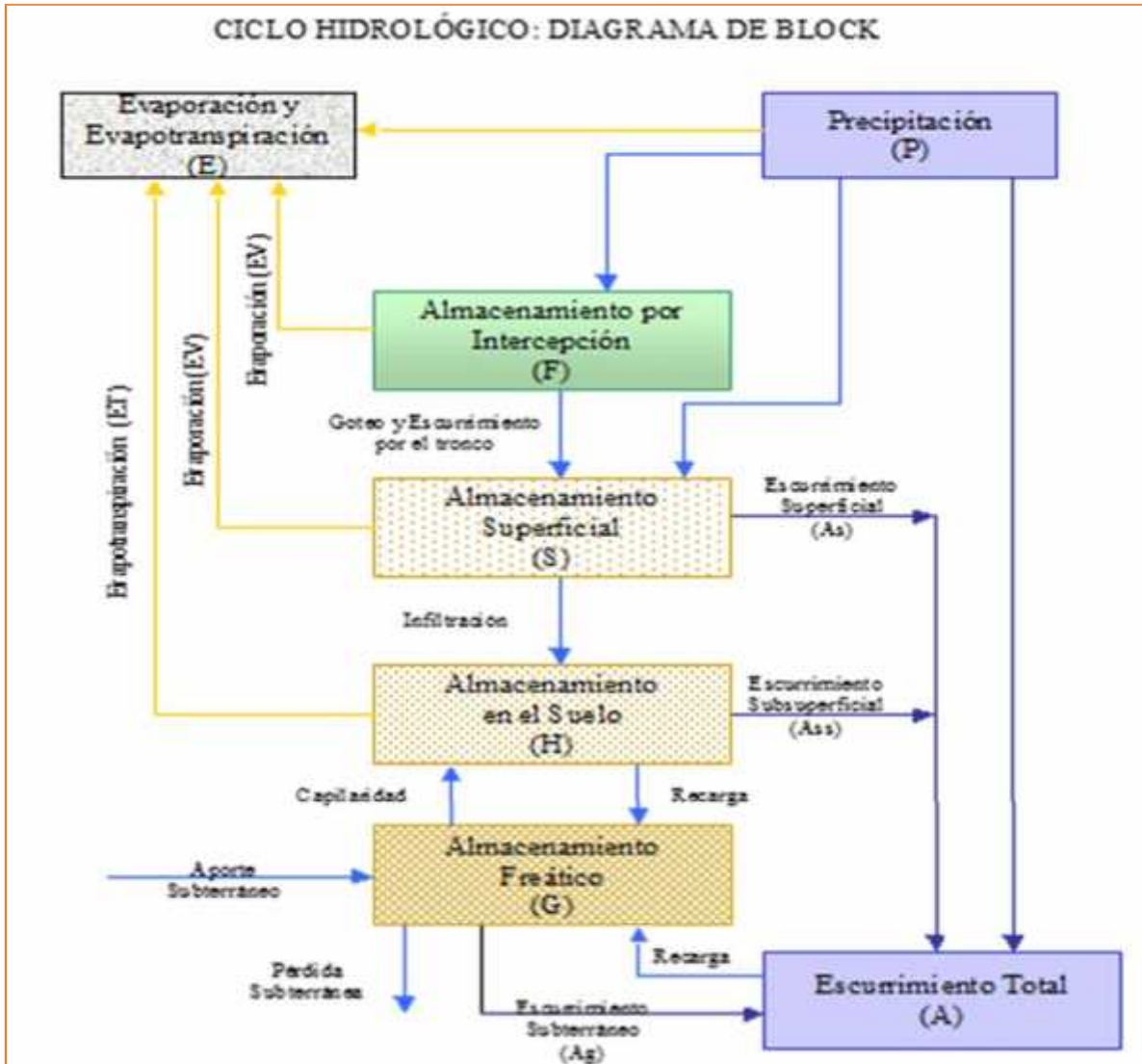
Figura No. 3.2. Esquema físico del ciclo del agua en una cuenca



Fuente: Juan Bautista Sciortino

Diagrama de Block: Explica el comportamiento del sistema individualizando las variables y niveles de almacenamiento vinculando esquemáticamente las relaciones que existen entre todos los procesos (Figura No. 3.3).

Figura No. 3.3: Diagrama de Block del ciclo hidrológico



Fuente: Juan Bautista Sciortino

La precipitación, en sus diferentes formas, es la variable de entrada al sistema. Una parte del volumen que precipita se evapora en la atmósfera antes de ingresar al sistema, esto es una función de la temperatura ambiente y vientos locales, en síntesis, de la avidéz de agua de la atmósfera. La cantidad de agua que precipita directamente sobre el suelo y la que llega a este desde el primer nivel de almacenamiento se denomina Precipitación Efectiva.

La cobertura vegetal es el primer nivel de almacenamiento (Intercepción), es la cantidad de agua que puede retener la vegetación en el transcurso de una lluvia y hasta poco tiempo después de ocurrida la misma; constituye una variable transitoria de almacenamiento que depende de la densidad de cobertura y de las distintas especies que conforman la masa vegetal. Ya sea por efecto del viento o de que se colma la capacidad del almacenamiento, el agua llega al suelo porque escurre por las ramas y el tronco o bien gotea desde el follaje. El agua que queda definitivamente almacenada se evapora hacia la atmósfera luego de terminada la tormenta.

La superficie del suelo constituye un segundo nivel de almacenamiento (*Superficial*), es el volumen de agua que se acumula sobre el terreno hasta lograr un tirante suficiente para iniciar el escurrimiento en forma de lámina, también se incluye el agua que queda retenida en cavidades y hondonadas del terreno. El volumen almacenado en este nivel depende de la pendiente del terreno, rugosidad, relieve topográfico; luego del paso de una tormenta, una fracción del agua que queda almacenado en las hondonadas se evapora reincorporándose a la atmósfera.

Se llama Infiltración al movimiento del agua desde la superficie del suelo hacia el interior del mismo; cuando la precipitación efectiva supera a la capacidad de infiltración del suelo se forma una lámina de agua que puede escurrir superficialmente sobre el terreno hasta alcanzar algún curso de agua (Esguerrimiento Superficial). El agua que se infiltra alimenta el tercer nivel de almacenamiento (Almacenamiento en el Suelo) que está sometido a continuos procesos de humedecimiento y secado.

Durante una tormenta el agua que se infiltra puede encontrarse con capas de suelo muy próximas a la superficie con menor permeabilidad relativa que

acumula el agua y ésta, favorecida por la pendiente, comienza a escurrir muy lentamente por el subsuelo en forma casi paralela al suelo hasta que vuelve a la superficie en cambios de pendiente, quiebres bruscos del relieve o cuando el estrato de menor permeabilidad aflora en superficie; este fenómeno se denomina Escurrimiento Subsuperficial o Hipodérmico y que conjuntamente con el Escurrimiento Superficial, forman el denominado Escurrimiento Directo. El agua infiltrada se desplaza hacia abajo (Percolación o Filtración), formando un frente de humedad, parte de ese volumen de agua queda retenido entre las partículas del suelo conformando el Almacenamiento en el suelo o Almacenamiento de Humedad en el suelo.

La capa superficial de suelo se ve afectada por un proceso de evaporación por incidencia directa de la radiación solar, mientras que en la zona donde se extienden las raíces de la vegetación, estas toman el agua quedando una parte incorporada a los tejidos de las plantas y el resto pasa a la atmósfera como vapor de agua (Transpiración). Como es muy difícil distinguir la parte correspondiente a cada proceso de extracción de humedad del suelo se introduce un concepto que engloba a ambos: Evapotranspiración.

El agua que continúa percolando llega a una zona saturada que constituye el cuarto nivel de almacenamiento denominado Almacenamiento Freático; si el nivel freático está cerca de la superficie del suelo, por efecto del ascenso capilar puede realimentar el Almacenamiento de Humedad en el suelo. El agua que se acumula en el Almacenamiento Freático se mueve lentamente, conforme a las leyes del escurrimiento en medios porosos. Cuando este flujo intercepta un curso de agua y el nivel superior del almacenamiento es más alto que el nivel del agua que escurre por el citado curso se produce la descarga del almacenamiento, este movimiento del agua se denomina Escurrimiento Base o Subterráneo, que, sumado al Escurrimiento Directo, forma el Escurrimiento Total de la cuenca. Cuando el nivel del agua superficial es más alto que el nivel superior del

almacenamiento freático se produce la recarga del acuífero, se trata de un pasaje del Escurrimiento Superficial o Directo hacia el Almacenamiento Freático. El Escurrimiento Directo constituye el aporte instantáneo que llega a los cursos, elevando el nivel de agua y provocando las crecidas; el Flujo Base es el que aporta agua a los cursos durante los períodos no lluviosos.

3.2. Parámetros y conceptos climáticos

3.2.1. Radiación solar

La mayor parte de la energía que proviene de la radiación solar comprende una franja muy angosta del espectro electromagnético, aproximadamente el 50%, con una longitud de onda que va de 0,4 a 0,7, denominado "luz visible", el resto proviene de las zonas adyacentes: ultravioleta e infrarroja. La atmósfera es como una ventana transparente a la luz visible, mientras que resulta opaca, tanto para la radiación ultravioleta por efecto de la capa de ozono (longitud de onda menor a 0,25), como para la radiación infrarroja, puesto que esta es absorbida por el vapor de agua, dióxido de carbono e impurezas en general (longitud de onda mayor a 0,8); esta ventana es transparente para longitudes de onda comprendida en el intervalo 0,3 a 0,8.

Una parte de la radiación solar que llega a los niveles superiores de la atmósfera es dispersada y absorbida en la atmósfera, otra parte es reflejada por las nubes y por la superficie de la tierra. La radiación dispersada por las partículas del aire es, principalmente para longitudes de onda muy corta, se estima que esta promedia el 8% de la radiación solar incidente. Las nubes reflejan al espacio gran cantidad de radiación solar, esto depende de la cantidad y tipos de nubes; la superficie de la tierra también refleja una parte de la radiación dependiendo de la altitud del sol, ángulo de incidencia y tipo de superficie. La porción de energía reflejada al espacio se llama *Albedo*, es un índice de luminosidad del planeta y, aunque es variable se estima que, en promedio, es del 43%.

La tierra actúa como un Cuerpo Negro, puesto que absorbe la radiación incidente en todas las longitudes de onda (la mayor parte corresponde a radiación de pequeña longitud de onda), se calienta y emite energía calórica de gran longitud de onda, esta es fácilmente absorbida por el vapor de agua, gas carbónico, polvos en suspensión, etc., y otra parte regresa al espacio por la denominada ventana infrarroja. De esta forma el aire es transparente a las radiaciones de pequeña longitud de onda, mientras que la baja atmósfera es calentada por efecto de la emisión secundaria de onda larga de la superficie de la tierra manteniendo así un balance calórico (Efecto invernadero); de no ser por este efecto la temperatura media de la tierra sería de -40°C .

3.2.2. Temperatura, presión y humedad

Para determinar, tanto el tiempo meteorológico de un momento concreto como, el clima de una zona de la tierra, se pueden considerar como esenciales un reducido grupo de variables: la temperatura, la humedad y la presión del aire. El clima está directamente relacionado con el ciclo hidrológico, cualquier cambio en alguna de estas variables en una región genera una alteración climática que modifica el balance zonal del Ciclo Hidrológico.

Temperatura del aire:

Se define como temperatura al grado de sensibilidad al calor de una sustancia, mientras que, desde el punto de vista físico, es un índice de energía cinética media de las moléculas de la sustancia; en la meteorología interesa la temperatura del aire, por lo tanto, refiere al nivel de calor que tiene el aire en un sitio determinado y en un momento específico. La temperatura no es constante en todo el planeta, puesto que son varios los factores que influyen en la transmisión del calor, a continuación se detallan los elementos más importantes:

Influencia de la latitud: La temperatura media tiende a descender desde el Ecuador hacia los polos, puesto que disminuye el ángulo de incidencia de los rayos a la superficie de la tierra; en el Ecuador la radiación es casi vertical por lo tanto el suelo recibe mayor cantidad de radiación por cm^2 , en cambio, en los Polos, donde la radiación es oblicua, los rayos se distribuyen en mayor superficie. Esta gran diferencia se ve parcialmente compensada por el transporte de calor de una zona a otra por las masas de aire y corrientes marinas.

Influencia de continentes y océanos: Si la superficie terrestre sería un continuo de tierra, homogéneo y sin relieves, la temperatura media sería constante siguiendo la línea de cada paralelo; esto no es así, hay importantes diferencias de temperatura debidas principalmente a la distribución de tierras y mares, esto porque: la tierra, el agua y el aire tienen diferente capacidad conductora del calor. En los continentes el calor penetra y se transmite por procesos moleculares, en cambio en el agua y el aire es la agitación térmica el proceso de transmisión del calor. En el agua, el calor se propaga a grandes profundidades por movimientos convectivos de las masas de agua, y en el aire pese a que exista una calma aparente, siempre existe una turbulencia que permite la mezcla y calentamiento en altura. Con estas diferentes capacidades de transmisión el calor penetrará a una menor distancia en la tierra que en el agua y esta a su vez mucho menor que en el aire.

Influencia de la vegetación: La vegetación provoca que llegue al suelo una menor cantidad de energía solar, además una parte de calor es absorbido por la evapotranspiración, de esta forma una región boscosa tiene un promedio de 1 a 2°C menos que la misma región talada, esta diferencia es mucho mayor cuando se trata de una zona urbana. En general hay distintos tipos de complejos suelo - vegetación: Los terrenos pantanosos, húmedos y las áreas con vegetación espesa tienden a atenuar los cambios de temperatura, en tanto que las regiones desérticas o áridas permiten grandes amplitudes térmicas.

Influencia de la altura: Durante el día las capas inferiores de aire se calientan por la radiación del suelo; este aire se dilata, disminuye su densidad y se produce el ascenso de esa masa que se va enfriando a medida que se eleva. Cuando se expande un volumen de aire, gasta parte de su calor en el trabajo de expansión por lo cual disminuye la temperatura; en cambio, cuando un volumen de aire se comprime, el trabajo mecánico de compresión se convierte en calor y aumenta la temperatura. Al ascender una masa de aire, la presión disminuye, esta se expande y se enfría; si una masa de aire desciende se encontrará sometida a presiones mayores, por lo tanto, se comprime y aumenta su temperatura.

La temperatura media diaria es la ordenada media de un diagrama de temperatura, en la práctica se realizan tres lecturas diarias con el termómetro común (8, 14 y 20 h) por lo que, la temperatura media diaria es el promedio de estos tres valores; algunos consideran que puede adoptarse como el promedio entre el máximo y el mínimo del día. La temperatura media mensual es el promedio de las temperaturas medias diarias del mes en consideración, mientras que la temperatura media anual es el promedio de todas las temperaturas medias diarias del año o el promedio de las doce temperaturas medias mensuales del año. La temperatura media máxima y/o mínima de un mes es el promedio de las temperaturas máximas y/o mínimas registradas en el transcurso del mes; la temperatura máxima absoluta y/o mínima absoluta de un mes es el máximo y/o mínimo registrado en ese período de tiempo.

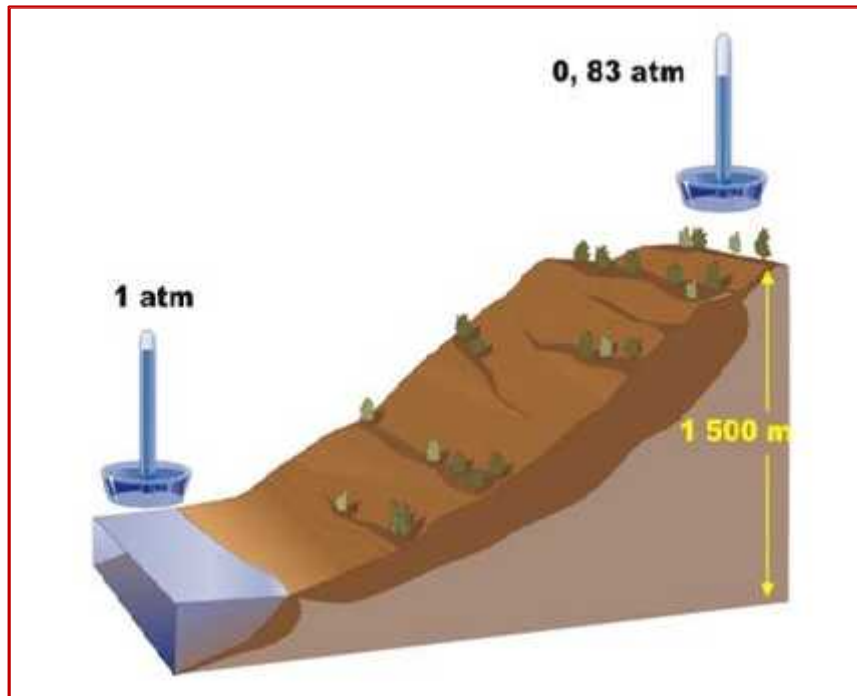
Los valores representativos para una determinada zona corresponden a períodos de al menos 10 años, en los que la temperatura media mensual del período, para un mes en particular, es el promedio de las temperaturas medias mensuales de dicho mes en el conjunto de años de observación, de la misma forma se trabaja para calcular la temperatura media anual.

Presión Atmosférica:

Se define como presión atmosférica al peso de una columna de aire que se extiende desde un plano horizontal ubicado en la superficie del suelo, hasta el límite exterior de la atmósfera; es la fuerza por unidad de superficie que la atmósfera hace sobre todo los objetos que se hallan en su interior. El peso de una columna de aire al nivel del mar, a 45° de latitud y a una temperatura de 0°C, está equilibrada por una columna de mercurio de 760 mm de altura, denominado 1 atmósfera como unidad de referencia. La equivalencia de unidades es: 1 atmósfera = 760 mm de mercurio = $1,033 \text{ kg/cm}^2$ = 1013,3 mb = 1013,3 hPa.

De la definición se puede deducir que la presión varía según la altitud del plano horizontal, cuanto más alto se encuentre una zona con respecto al nivel del mar esta va a estar sometida a una menor presión, puesto que, la columna de aire menor altura que la considerada con respecto al nivel del mar, además las capas inferiores de la atmósfera son más densas que las superiores. La presión atmosférica no disminuye de manera proporcional en la altura ya que el aire es un fluido compresible, por lo que, el aire más cercano a la superficie del suelo está comprimido por el propio peso del aire, o sea que las primeras capas de aire cercanas al suelo contiene más cantidad de aire al estar presionado por el aire superior (el aire en superficie es más denso, ya que hay más cantidad de aire por unidad de volumen), por lo tanto la presión es mayor en superficie y no va disminuyendo de manera proporcional ya que la densidad del aire no disminuye de manera constante en altura (Figura No. 3.4). Por ejemplo: Al tener el aire siempre la misma proporción de oxígeno, si una persona se eleva a una altura de 5000 metros, respira el mismo volumen de aire, pero, como la presión parcial es la mitad, la sangre recibirá la mitad de oxígeno. La presión varía también con la temperatura, un aumento de temperatura está asociado con la dilatación y disminución de la densidad del aire, por lo tanto, con la disminución de la presión intermolecular. Un volumen de aire que se calienta al nivel del suelo pierde densidad y tiende a ascender hasta una zona en la que la densidad del aire caliente se iguala con las del aire circundante.

Figura No. 3.4: Relación de presión y altura



Fuente: Juan Bautista Sciortino

3.2.3. Humedad Atmosférica

El vapor de agua es uno de los gases que componen la mezcla denominada aire. La humedad atmosférica es el contenido de vapor de agua que se halla en la atmosfera. La atmósfera terrestre contiene cantidades variables de agua en forma de vapor, la mayor parte se encuentra en los cinco primeros kilómetros del aire, dentro de la troposfera, y procede de diversas fuentes terrestres gracias al fenómeno de la evaporación, el cual es ayudado por el calor solar y la temperatura propia de la Tierra.

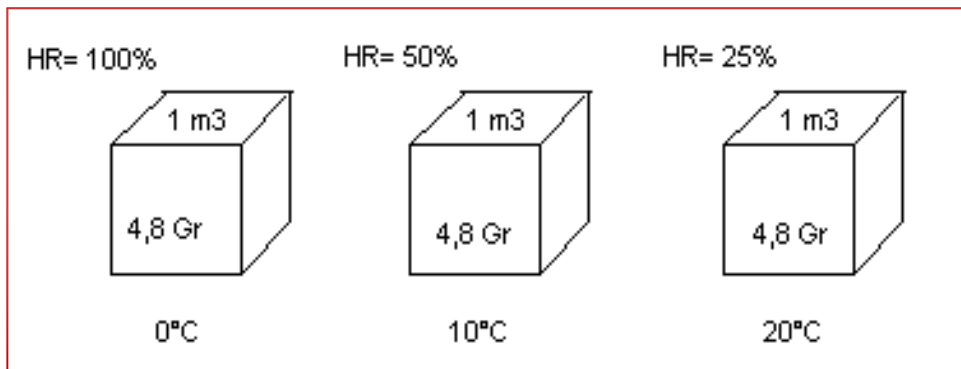
El vapor de agua, que es un cuerpo gaseoso invisible y puede existir bajo todas las temperaturas normales. Este se condensa con frecuencia en agua líquida, la cual, puede pasar al estado sólido (nieve o hielo), como consecuencia que, la condensación y la congelación, se producen a temperaturas que están en el orden de magnitud de temperaturas atmosféricas. La evaporación de los mares y océanos

y las acumulaciones del agua en los continentes constituye la principal fuente de humedad atmosférica, debiéndose agregar la procedente de la transpiración de las plantas y la respiración de los animales.

Para definir en forma completa la humedad es necesario enunciar una serie de conceptos:

- a) Tensión del Vapor:** En cualquier mezcla de gases, cada gas ejerce una presión parcial independiente de los otros, la presión parcial ejercida por el vapor de agua se denomina Presión o Tensión del Vapor y se simboliza con la letra “e”. La máxima cantidad de vapor de agua que puede contener un volumen de aire depende de la temperatura, si un dado volumen de aire contiene el máximo posible de vapor de agua para una temperatura determinada, dicho volumen está saturado, si se excede en esa cantidad de vapor, este exceso no permanece como vapor, se condensa en pequeñas gotas líquidas o en cristales diminutos de hielo según sea la temperatura ambiente.
- b) Humedad Absoluta:** Es la masa del vapor de agua contenida en un determinado volumen de aire.
- c) Humedad Relativa:** Es la relación entre la tensión de vapor “e” realmente contenido en un volumen de aire y la tensión de saturación “es” de ese volumen de aire a la misma temperatura: $HR = 100 e / es$ (%). Este valor crece desde el suelo hasta alcanzar el 100% en el nivel de base de la capa de nubes, si esta existe; decrece por encima de los 6 o 7 km de altitud hasta llegar a pequeños porcentajes en la estratosfera inferior. En la figura No. 3.5 se presenta la dependencia de la humedad relativa de la temperatura.

Figura No. 3.5: Relación de la humedad relativa y la temperatura



Fuente: Juan Bautista Sciortino

d) **Humedad Específica:** Es la relación que existe entre la masa del vapor de agua de un volumen determinado de aire y la masa total del aire húmedo (mezcla de aire y de vapor de agua) [g/kg de aire húmedo].

3.2.4. Evaporación y evapotranspiración

Evaporación (Ev):

Es el proceso físico mediante el cual el agua cambia del estado líquido al gaseoso, retornando a la atmósfera en forma de vapor. La Sublimación es el cambio de estado del agua de sólido (hielo y nieve) a gaseoso. La evaporación del agua se origina en:

- ✓ La superficie del suelo y cobertura vegetal, luego de una lluvia.
- ✓ La superficie libre de agua: ríos y cuerpos de agua.
- ✓ La humedad retenida en la capa superficial del suelo.

La evaporación es una magnitud difícil de medir, debido principalmente a que experimenta considerables variaciones de carácter local y no puede encontrarse un proceso suficientemente representativo de las condiciones medias de un lugar determinado. La evaporación es distinta en un terreno seco que en otro

con charcos, en un río que en un bosque, etc.; influyendo también notoriamente las condiciones meteorológicas del aire.

Los instrumentos para medir la evaporación desde superficies de agua libre se denominan en forma genérica atmómetros o evaporímetros y se clasifican en cuatro tipos, de los cuales sólo el primero resulta de interés en hidrología: Tanques de Evaporación, Evaporímetros de balanza, Evaporímetros con papel húmedo y Evaporímetros con porcelana porosa.

Transpiración:

Las plantas toman agua del suelo por medio de sus raíces, una parte queda incorporada a sus tejidos y el excedente pasa por las estomas de las hojas al medio circundante (atmósfera) en forma de vapor de agua; el proceso físico biológico de evaporación de agua a través de las plantas se denomina transpiración.

Evapotranspiración:

La evapotranspiración (Evt) engloba el proceso de transferencia de agua a la atmósfera tanto por acción de las plantas como por evaporación directa a partir del suelo. Este concepto nace de la dificultad de evaluar ambas componentes por separado y también porque, en la mayor parte de los estudios hidrológicos, interesa la pérdida total de agua de un sistema determinado hacia la atmósfera.

Evapotranspiración Potencial (Evtp)

Es un concepto introducido por Thornthwaite para definir la máxima evapotranspiración posible, en una superficie con cobertura vegetal completa y disponibilidad continua de agua al alcance de las plantas, para una zona determinada.

La Evapotranspiración Real (Evtr) es la que realmente se produce en las condiciones existentes en cada caso (disponibilidad de agua, cobertura vegetal no siempre completa, es diferente para las distintas especies y para las diferentes fases del ciclo vegetativo de los cultivos, etc.). La Evtp es el límite superior de la Evtr. En agricultura se busca que la diferencia $Evtp - Evtr = 0$ para que la planta tenga una disponibilidad continua de agua para su desarrollo óptimo; cuando esa diferencia es mayor que 0 se debe incorporar agua para suplir el déficit (riego).

Escurrimiento Superficial:

En el transcurso de una tormenta el volumen de agua que escapa de la retención de la vegetación llega al suelo y, a menos que la intensidad de lluvia supere la capacidad de infiltración del suelo, es absorbido por este mediante la infiltración. La precipitación que llega al suelo, superando el almacenamiento por intercepción, se denomina Precipitación Efectiva, la parte de esta que supera la capacidad de infiltración se llama Precipitación Eficaz y la fracción de esta última, que supera la capacidad de infiltración, se denomina

Cuando la tormenta no abarca toda la cuenca, el escurrimiento en lámina puede llegar a sectores donde no ha habido precipitación, en este caso, gran parte del flujo se infiltra, porque la capacidad de infiltración del área sin lluvias se mantiene elevada, esto hace que merme considerablemente el escurrimiento superficial; lo mismo ocurre cuando el flujo encuentra en su camino sectores de mayor permeabilidad con respecto a la correspondiente al lugar donde se ha generado.

3.3. Caracterización Climática

3.3.1 Clasificación Climática de Köppen

Los elementos que componen el clima son los factores más influyentes en el modelaje del paisaje, en las características del suelo, en la fisonomía de la vegetación y en el potencial productivo de una región.

Al efectuar la descripción de una zona o región, se tiene que tener en cuenta las condiciones del tiempo atmosférico, considerando las características climáticas a mediano y a largo plazo del tiempo. La descripción del clima de una región o lugar, generalmente es de gran importancia debido a que toma en cuenta las condiciones del tiempo atmosférico, consideradas en sus características medias a través de un período suficientemente largo de años.

Para la Clasificación Climática, se utiliza las Modificaciones del Sistema de Köppen hecha por la MSc. Enriqueta García, consultora proyecto FINNIDA /OMM/CRRH/INETER-Dirección de Meteorología, 1994.

Las designaciones originales correspondientes a los grupos climáticos A, B, C, D y E se conservan iguales. El clima (Af) que Köppen llama “Clima de Selva”, es designado como “Clima Caliente Húmedo con lluvias todo el año”. El clima (Aw), designado por Köppen “Clima de Sabana” es designado como “Clima caliente y subhúmedo con lluvias en verano.

Las designaciones que utiliza Köppen para definir el régimen de precipitación se cambiaron por otras equivalentes que indican la ubicación de la estación lluviosa, con relación a la estación cálida o la fría; en vez de usar como lo hace Köppen, la época seca con el mismo fin, por ejemplo, para el clima que Köppen denomina “Clima con invierno seco” w por lo menos diez veces mayor la cantidad de lluvia en el mes

más húmedo de la mitad caliente del año (mayo -octubre) que en el mes más seco; se adoptó la designación de “Clima con lluvias en verano”.

Köppen utilizó tres criterios diferentes para delimitar los climas de acuerdo a la temperatura, para tal fin y en algunos casos, usa las temperaturas medias de los meses más fríos y más calientes, en otros, el promedio anual de las temperaturas y por último, un período del año con cierta temperatura, según Köppen, la temperatura de 18°C para el mes más frío, separa a los climas templados húmedos “C”, de los calientes húmedos “A”.

Los límites térmicos que se usan en la clasificación de Köppen, no son comparables entre sí, puesto que no se emplea el mismo criterio para todos, por lo que en el presente estudio se utiliza el criterio de la temperatura media anual.

Para designar a los lugares con climas pertenecientes a este grupo, conservando los símbolos originales de Köppen, cuando una estación con las características del subgrupo resulte incluida en el grupo C, se colocará antes de esa letra el símbolo (A) (entre paréntesis, para iniciar su tendencia hacia condiciones climáticas del grupo A.

Por el contrario, si una estación con características semicálidas resulta dentro de grupo A Köppen, se le agregará la letra (C) inmediatamente después de la letra A, para indicar su tendencia hacia condiciones climáticas del grupo C.

De lo anterior se puede establecer lo siguiente (Ver cuadro 3.1):

Cuadro No. 3.1: Clasificación del clima según Köppen

Climas Húmedos	Simbolos	Temperatura Media Anual
Cálidos	A	Sobre 22 °c
Semicalidos grupo A	A (C)	Entre 18 °c y 22 °c
Semicalidos grupo C	(A) C	Bajo 18 °c

Fuente: INETER

Los climas con escasa oscilación térmica se consideran isotermales (i), ya que la oscilación media anual de las temperaturas medias es inferior a 5°C. Los que tienen oscilaciones mayores, comprendidas entre 5° y 7°C se les denomina con el símbolo (i').

Modificaciones al Grupo de Climas A, tropicales lluvioso:

Tipos de climas Af de Köppen, con precipitación del mes más seco de 60 mm.

<u>Símbolo</u>	<u>% de lluvia invernal con respecto a la anual</u>
Am(+)	(mayor de 10.2%)
Am	(entre 5 y 10.2%)
Am (w)	(menor de 5%)

Tipos de clima Am de Köppen. No necesariamente debe tener por lo menos diez veces mayor cantidad lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año, que en el mes más seco.

Tipos de climas Aw de Köppen (subhúmedo con lluvias en verano). Por lo menos diez veces mayor cantidad de lluvias en el mes más húmedo de la mitad caliente del año, que en el mes más seco.

<u>Símbolo</u>	<u>Cociente P/T</u>	<u>Designaciones</u>
Awo	43.2	(el más seco de los subhúmedos)
Aw1	entre 43.2 y 55.3	(intermedio entre Aw0 y Aw2)
Aw2	55.3	(el más húmedo de los Subhúmedos).

De acuerdo a la clasificación de Köppen el clima predominante en la zona en estudio es de Clima Caliente y Sub-húmedo con lluvia en el periodo seco (AW1), (AW2). Este clima predomina en toda la Región del Pacífico y en mayor parte en la Región Norte. Se caracteriza en una marcada estación seca durante seis meses, desde noviembre hasta abril y un período lluvioso que inicia en mayo y finaliza en octubre.

3.3.2. Precipitación Media Anual

El comportamiento de la precipitación en Nicaragua tiene como principal característica la de disminuir de Este a Oeste y su distribución media anual es variada, con rangos comprendidos entre 800 mm que se registran en los valles intramontanos en el Norte del país, hasta más de 5000 mm en el Sureste del país.

La distribución de la precipitación interanual presenta importantes variaciones espaciales y temporales que son el resultado de complejas interacciones entre la circulación general de la atmósfera, los sistemas meteorológicos, la orografía, la orientación y forma de las costas, así como las influencias de los flujos de humedad provenientes del Mar Caribe y el Océano Pacífico.

La distribución de la precipitación media anual, se puede obtener por el método de los Polígonos de Thiessen, esto con el objetivo de tener una mejor distribución espacial de la lluvia.

3.3.3. Aspectos Hidrográficos

Dada la importancia de la configuración de las cuencas, se trata de cuantificar las características por medio de índices o coeficientes, los cuales relacionan el movimiento del agua y las respuestas de la cuenca a tal movimiento (hidrogramas). Parece claro que existe una fuerte componente probabilística en la determinación de una cuenca mediante sus parámetros y las características de la red de drenaje. Por esta razón se han buscado relaciones de similitud geométrica entre las características medias de una cuenca y de su red de canales, con otras cuencas.

Una cuenca hidrográfica o cuenca de drenaje de un río es el área limitada por un contorno al interior del cual las aguas de la lluvia que caen se dirigen hacia un mismo punto, denominado salida de cuenca. El área de captación de aguas de un río está delimitado por el parteaguas.

La cuenca hidrográfica actúa como un colector natural, encargada de evacuar parte de las aguas de lluvia en forma de escurrimiento. En esta transformación de lluvias en escurrimiento se producen pérdidas, o mejor, desplazamiento de agua fuera de la cuenca debido a la evaporación y la percolación.

Para este tipo de estudios no solamente interesa saber el volumen total a la salida de la cuenca, sino también su distribución espacial y temporal, para lo cual se necesita tener un buen conocimiento de sus características morfométricas. El movimiento del agua en la naturaleza es una función compleja en la cual intervienen diversos factores, entre los cuales se pueden resaltar su clima y sus características fisiográficas

La caracterización morfométrica abarca los aspectos fisiográficos y geomorfológicos más relevantes de la cuenca tales como: pendiente, relieve, escurrimiento, uso del suelo, cobertura vegetal, entre otros, a fin de evaluar e interpretar las características o fenómenos que ocurren en ésta y conocer la variación en el espacio de los elementos del régimen hidrológico.

Esta actividad nos permite conocer la variación espacial de los aspectos que definen su régimen hidrológico, tales como elongación, forma de la cuenca, compacidad y otras, que influyen directamente en la retención superficial e infiltración.

3.4. Fisiografía y geomorfología de la unidad de cuenca

3.4.1. Área de la unidad de la cuenca

El área de la cuenca es probablemente la característica geomorfológica más importante para el diseño. Está definida como la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural.

Es de mucho interés hacer referencia sobre la determinación de la línea de contorno o de divisoria de la cuenca. Realmente la definición de dicha línea no es clara ni única, pues puede existir dos líneas de divisoria: una para las aguas superficiales que sería la topográfica y otra para las aguas sub-superficiales, línea que sería determinada en función de los perfiles de la estructura geológica, fundamentalmente por los pisos impermeables.

Frecuentemente se desea analizar una cuenca de gran tamaño y muchas veces es necesario dividirla en subcuencas o subsistemas, dependiendo de las metas del estudio del proyecto determinado. El área es un parámetro geomorfológico muy importante. Su importancia radica en las siguientes razones:

- a) Es un valor que se utiliza para muchos cálculos en varios modelos hidrológicos.
- b) Para una misma región hidrológica o regiones similares, se puede decir que a mayor área mayor caudal medio.
- c) Bajo las mismas condiciones hidrológicas, existen cuencas con áreas mayores que producen hidrogramas con variaciones en el tiempo más suaves y más llanas. Sin embargo, en cuencas grandes, se pueden dar hidrogramas picudos cuando la precipitación es intensa y en las cercanías, aguas arriba de la estación de aforo.

Estadísticamente se ha demostrado que el factor "área" es el más importante en las relaciones entre esorrentía y las características de una cuenca. Esto se puede afirmar por el alto valor de los coeficientes de correlación cuando se grafica esorrentía respecto al área. Pero hay otros parámetros que también tienen su influencia en la esorrentía como la pendiente del canal, la pendiente de la cuenca, la vegetación y la densidad de drenaje.

En hidrología, además del cálculo del área, se utiliza también el planímetro. Actualmente se usan más y más los computadores para hallar este parámetro. La divisoria de la cuenca se puede delimitar indicando la longitud y latitud de los puntos a lo largo de ésta, asumiendo que entre ellos la línea que los une es una línea recta. El área será entonces, la encerrada por la serie de segmentos así

obtenidos y es calculada por la mayoría de los softwares existentes en el mercado usando los principios de la trigonometría.

La longitud de la cuenca puede estar definida como la distancia horizontal del río principal entre un punto aguas abajo (estación de aforo) y otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca.

El perímetro de la cuenca o la longitud de la línea de contorno de la cuenca es un parámetro importante, que vinculado con el área refleja información sobre la forma de la cuenca. El ancho de la cuenca se define como la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L).

El área es el tamaño de la superficie de la cuenca en km². Se puede obtener a partir de la digitalización por medio el software de Sistema de Información Geográfica (ArcGis), pudiéndose extraer estos parámetros de forma directa de mapas cartográficos.

Se ha comprobado que la relación del área con la longitud de la misma es proporcional y también que está inversamente relacionada a aspectos como la densidad de drenaje y el relieve relativo. Si el área es pequeña, tendrá menor capacidad de captación de aguas y menor volumen (ver cuadro No. 3.2).

Cuadro No. 3.2: Clasificación del tamaño de Cuenca

Tamaño de la cuenca (km ²)	Descripción
< 25	Muy pequeña
25 a 250	pequeña
250 a 500	Intermedia-pequeña
500 a 2,500	Intermedia-grande
2,500 a 5,000	grande
>5,000	Muy grande

Fuente: INETER

3.4.2. Coeficiente de Compacidad (Kc)

La índice de Compacidad puede ser calculada mediante la fórmula siguiente:

$$K_c = \frac{P \text{ (Km)}}{A \text{ (Km}^2\text{)}^{0.5}} * 0.28 \quad (3.5)$$

Donde:

Kc: Índice de Gravelius

P: Perímetro de la cuenca (km)

A: Área de la cuenca (km²)

Este valor adimensional, independiente del área estudiada tiene por definición un valor de 1 para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Los valores de Kc nunca serán inferiores a 1.

El grado de aproximación de este índice a la unidad (1) indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano sea a la unidad, lo cual quiere decir que entre más bajo sea Kc, mayor será la concentración de agua. En el siguiente cuadro (No. 3.3) se muestra las clases de compacidad de cuenca según sea el valor de Kc.

Cuadro No. 3.3: Clases de valores del Índice de Compacidad

Clases de valores de Compacidad	
Rangos de Kc	Clases de Compacidad
1.25	Redonda a oval redonda
1.25 – 1.50	De oval redonda a oval oblonga
1.50 - más	De oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: INETER

3.4.3. Rectángulo equivalente

Supone la transformación geométrica de la cuenca real en una superficie rectangular de lados LM (mayor) y Lm (menor) del mismo perímetro, de tal forma que las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas a los lados menores del rectángulo (lm). Esta cuenca teórica tendrá el mismo Coeficiente de Gravelius y la misma distribución actitudinal de la cuenca original.

El cálculo del lado mayor y lado menor del rectángulo equivalente se realiza con las siguientes ecuaciones:

$$LM = (Kc \cdot \bar{A} / 1.12) \cdot [1 + \sqrt{1 - (1.12/Kc)^2}] \quad (3.6)$$

$$Lm = (Kc \cdot \bar{A} / 1.12) \cdot [1 - \sqrt{1 - (1.12/Kc)^2}] \quad (3.7)$$

Donde:

LM= Lado mayor del rectángulo en km

L_m = Lado menor del rectángulo en km

K_c = coeficiente de Gravelius

A = superficie de la cuenca en km^2

3.4.4. Factor de Forma

El factor de forma relaciona la forma de la cuenca con la de un cuadrado, correspondiendo un $F_c = 1$ para regiones con esta forma fácilmente, que es imaginaria. Un valor de F_c superior a la unidad nos proporciona el grado de achatamiento de la cuenca o de un río principal corto. En consecuencia, con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas. (Ver cuadro No. 3.4).

Cuadro No. 3.4: Clases de valores de Factor de Forma

Clases de Valores de Factor de Forma	
Rangos de F_c	Clases de forma
0.01 – 0.18	Muy poco achatada
0.18 – 0.36	Ligeramente achatada
0.36 – 0.54	Moderadamente achatada

Fuente: INETER

3.4.5 Relieve

El relieve de la cuenca es variado. Está formado por las montañas y sus flancos por las quebradas, valles y mesetas. El relieve es el comportamiento accidentado del terreno. Las cuencas pueden denominarse: Cuencas planas, cuencas de alta montaña y cuencas accidentadas o quebradas.

El relieve es un factor importante en el comportamiento de la cuenca, ya que cuantos mayores son los desniveles en la cuenca, mayor es la velocidad de circulación y menor el tiempo de concentración, lo que implica un aumento del caudal de punta.

3.4.6. Elevaciones

Mediante las elevaciones presentes en la subcuenca, el área entre curvas se puede obtener apoyados con el programa ArcGIS On Mapa de la elevación. Así mismo el determinar las áreas entre curvas de niveles permite calcular el coeficiente de compacidad, la pendiente media de la cuenca, la curva hipsométrica y los polígonos de frecuencia.

3.4.7. Pendiente media

La elevación promedia en una cuenca tiene especial interés en zonas montañosas, porque puede dar una idea de la climatología de la región, basándonos en un patrón general climático de la zona. La elevación promedia está referida al nivel del mar. Este valor puede ser encontrado usando la curva hipsométrica o el histograma de frecuencias altimétricas. La estimación por una media aritmética ponderada en el caso del histograma, o de la curva hipsométrica calculando el área bajo la curva y dividiéndola por el área total.

La altura media es la elevación promedia referida al nivel de la estación de aforo de la desembocadura de la cuenca. Este parámetro es de importancia pues da un índice de la velocidad media de la escorrentía y su poder de arrastre y de la erosión sobre la cuenca.

Uno de los métodos más representativos para el cálculo es el muestreo aleatorio por medio de una cuadrícula; llevando las intersecciones de la cuadrícula sobre el plano topográfico y calculando la pendiente para todos puntos arbitrariamente escogidos. Con todos estos valores se puede construir un histograma de pendientes que permite estimar el valor medio y la desviación estándar del muestreo de las pendientes.

Las pendientes para los puntos dados por las intersecciones de la cuadrícula se calculan teniendo en cuenta la diferencia de las dos curvas de nivel entre las cuales el punto queda ubicado y dividiéndola por la distancia horizontal menor entre las dos curvas de nivel, pasando por el punto ya determinado.

La pendiente media de la subcuenca se obtiene partir de las áreas de las curvas. Para ellos se obtiene la pendiente de cada área entre curvas, las cuales se suman y forman la pendiente media de la subcuenca.

3.4.8. Curva hipsométrica

Esta curva representa el área drenada variando con la altura de la superficie de la cuenca. También podría verse como la variación media del relieve de la cuenca.

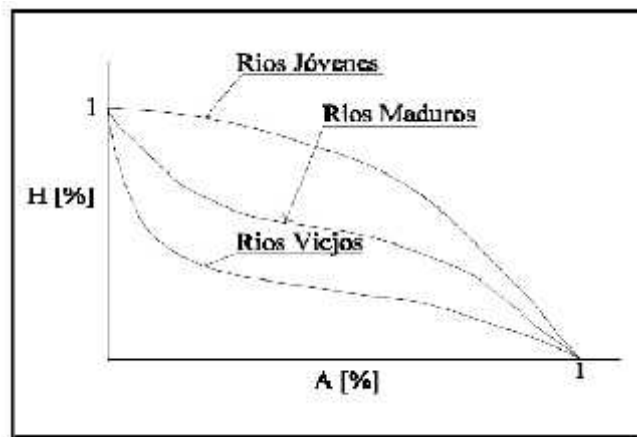
La curva hipsométrica se construye llevando al eje de las abscisas los valores de la superficie drenada proyectada en km^2 o en porcentaje, obtenida hasta un determinado nivel, el cual se lleva al eje de las ordenadas, generalmente en metros (ver gráfico No. 3.1). Normalmente se puede decir que los dos extremos de la curva tienen variaciones abruptas. La función hipsométrica es una forma conveniente y objetiva de describir la relación entre la propiedad altimétrica de la cuenca en un plano y su elevación.

Es posible convertir la curva hipsométrica en función adimensional usando en lugar de valores totales en los ejes, valores relativos: dividiendo la altura y el área por sus respectivos valores máximos.

La curva hipsométrica es la representación gráfica de la variación altitudinal de una cuenca y se obtiene a partir de un plano topográfico, tomándose los valores en porcentajes del área que están por debajo de una determinada altura, que inicialmente serán la del punto más bajo de la cuenca e irá aumentando de acuerdo a los valores de las cotas de la curva de nivel que encierra las franjas de terreno por ellas definidas y el punto de salida que es generalmente el sitio más bajo de la cuenca. Se divide en tres zonas

- 1.-Zona donde predomina la producción de sedimentos y aguas (Ríos jóvenes).
- 2.- Zona donde predomina el transporte de ambos (Ríos maduros)
- 3.- Zona caracterizada por la deposición de sedimentos (Ríos en etapa de vejez).

Gráfico No. 3.1: Curva Hipsométrica



Fuente: INETER

3.4.9. Polígonos de Frecuencia Altitudes

Se obtiene representando sobre el eje de las ordenadas el porcentaje de superficie total de la cuenca comprendida entre las dos curvas de nivel consecutivas.

3.4.10. Red de Drenaje

La forma en que estén conectados los canales en una cuenca determinada, influye en la respuesta de ésta a un evento de precipitación. Se han desarrollado una serie de parámetros que tratan de cuantificar la influencia de la forma del drenaje en la escorrentía superficial directa. El orden de los canales es uno de ellos. Uno de los criterios para determinar el orden de los canales en una cuenca es el definido por el modelo de STRAHLER. Según este modelo se toman como canales de primer orden todos aquellos que no tengan afluentes. Cuando se unen dos canales de primer orden forman un canal de segundo orden y así sucesivamente

Se denomina parte aguas a la línea imaginaria que delimita una cuenca, subcuenca o micro cuenca. Red de drenaje es el conjunto de cuerpos de agua que se encuentran dentro del parte agua. Entre los elementos que forman parte de la red son las corrientes efímeras e intermitentes, lagos, lagunas, zonas húmedas y canales.

3.4.11. Densidad de Drenaje

La densidad de drenaje, es un parámetro que indica la posible naturaleza de los suelos, que se encuentran en la unidad hidrológica. También da una idea sobre el grado de cobertura que existe en ella. Valores altos de drenaje, representan zonas

con poca cobertura vegetal, suelos fácilmente erosionables o impermeables. Por el contrario, valores bajos, indican suelos duros, poco erosionables o muy permeables y coberturas vegetales densas.

La vegetación en las cuencas hidrográficas tiene una fuerte influencia en el régimen hidrológico de la misma, pues está relacionado con la erosión, temperatura y evaporación de la región.

El coeficiente de cubrimiento de bosques se refiere al porcentaje de la superficie de la cuenca ocupada por bosques o por otro tipo de vegetación. Este valor es importante pues en la comparación de cuencas no es lo mismo cuencas urbanas o agrícolas o de bosques naturales densos o claros.

Aunque el coeficiente mencionado en último término no se podría denominar como un parámetro geomorfológico, sí es interesante citarlo por la importancia que tiene en el manejo de una cuenca.

La Densidad de drenaje (Dd) varía inversamente con la extensión de la cuenca. Con el fin de catalogar una cuenca bien o mal drenada, analizando su densidad de drenaje, se puede considerar que valores de Dd próximos a 0.5 km/km² o mayores indican la eficiencia de la red de drenaje. Valores altos de densidad de drenaje indican mayor eficiencia de transporte y mayor velocidad de transporte. La densidad de drenaje se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$Dd = \frac{Li (Km)}{At (Km^2)} \quad (3.8)$$

Donde:

Li: Longitud total de todos los ríos y/o cursos (km)

At: Área total de la cuenca (km²)

En el cuadro siguiente se orienta la clasificación de la densidad de drenaje según sea el rango.

Cuadro No. 3.5: Clases de Densidad de Drenaje

Clases de Densidad de Drenaje	
Rangos de densidad	Clases
0.1 - 1.8	Baja
1.9 - 3.6	Moderada
3.7 - 5.6	Alta

Fuente: INETER

3.4.12. Longitud del cauce Principal

La longitud del cauce principal es la distancia entre la desembocadura y el nacimiento del río. La longitud máxima o recorrido principal de la cuenca es la distancia entre el punto de desagüe y el punto más alejado de la cuenca, siguiendo la dirección de drenaje. El recorrido principal, es la máxima distancia recorrida por el flujo de agua dentro de la cuenca.

3.4.13. Numero de escurrimiento

Es la cantidad de afluentes naturales de la cuenca. Constituye una medida de la energía de la cuenca, de la capacidad de captación de aguas y de la magnitud de la red fluvial. Un mayor número de escurrimiento proporciona un mejor drenaje de la cuenca y por lo tanto, favorece el escurrimiento.

Los valores del número de escurrimiento se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro No. 3.6: Clases de valores del número de Escurrimiento

Clases de valores del número de Escurrimiento	
Rangos de escurrimiento	Clases
0 – 170	Bajo
171 – 340	Medio
341 – 510	Alto

Fuente: INETER

El número de escurrimiento de la se obtiene con la siguiente ecuación.

$$Es = \frac{\text{Area (Km}^2\text{)}}{4 * Li (Km)} \quad (3.9)$$

Donde:

A: Área de drenaje de la cuenca (km²)

Li: Longitud de todos los ríos que comprende la cuenca (km)

3.4.14. Pendiente media del rio principal

La pendiente media del cauce se puede estimar por diferentes métodos, uno de ellos es el de los valores extremos, el cual consiste en determinar el desnivel entre los puntos más elevado y más bajo de rio en estudio y luego dividirlo entre la longitud del mismo cause. El siguiente cuadro muestra las clases de pendiente según sea el valor de esta.

Cuadro No. 3.7: Clases de valores de pendiente

Clases de valores de pendiente (m/m)	
Rangos de Pendiente.	Clases
0.01 – 0.05	Suave
0.06 – 0.11	Moderada
0.12 – 0.17	Fuerte

Fuente: INETER

3.4.15. Tiempo de concentración

El tiempo que demora en viajar una partícula de agua desde el punto más remoto hasta el punto de interés. Corresponde al lapso entre el final de la lluvia y el momento en que cesa el escurrimiento superficial. A mayor tiempo de concentración, mayor es el volumen de agua. También puede indicar un mayor escurrimiento. El cuadro No. 3.9 muestra las clases de tiempo de concentración según sea el valor de este último.

Cuadro No. 3.8: Clases de Tiempo de Concentración

Clases de Tiempo de Concentración (min)	
Rangos de Tc	Clases
0 – 41.7	Rápido
41.6 – 83.2	Moderado
83.3 – 125.1	Lento

Fuente: INETER

El tiempo de concentración se determina mediante el desarrollo de la siguiente ecuación, su resultado estará en minutos.

$$T_c = 0.0041 * K t^{0.77} \quad (3.10)$$

$$K_t = 3.28 * (L_r/S^{0.5}) \quad (3.11)$$

Donde:

L: Longitud del cauce principal en m

T_c: tiempo de Concentración en minutos.

S: pendiente

3.5. Balance hídrico

Para realizar un balance hídrico superficial es necesario conocer no solo los procesos o caminos que sigue el agua en el suelo, sino también las características fisiográficas, edafológicas y biológicas del lugar en los cuales ellos se desarrollan; por eso, una evaluación precisa del balance hídrico está estrechamente ligada con la cantidad y calidad de la información disponible y, en particular, de la red de estaciones y número de años de sus registros.

3.5.1. Sistemas de información geográficos

La información cartográfica comprende la convencional obtenida en el campo, y los derivados de la percepción remota (fundamentalmente cobertura del terreno, relieve y suelos, acuíferos), también verificados en campo. La cartografía de los recursos naturales se ve estrechamente ligada al desarrollo de las tecnologías de prospección e inventario mediante la percepción remota (o teledetección) y de posicionamiento global satelital; que hoy en día con el avance de la tecnología se ve favorecida con el uso de la plataforma de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que agilizan el proceso de ingreso, almacenamiento, cálculo y

análisis de datos geográficos para generar información temática adecuada y precisa; con el propósito de convertir datos en información apta para la toma de decisiones.

3.5.2. Información hidrometeorológica

El período para el cálculo del balance de agua está directamente condicionado por la superficie y topografía del área, los parámetros hídricos que se deciden analizar para tipificar el fenómeno, los datos realmente factibles de obtener en las redes de estaciones y la disponibilidad de información simultánea en toda el área.

Un balance puede ser realizado para distintos períodos (horas, días, meses, estaciones del año, años). Los balances medios de agua se realizan en forma anual, permitiendo de esta manera minimizar el cálculo del término de variación de almacenamiento, reduciendo la ecuación general del Balance Hídrico.

La evaluación de los recursos hídricos de una cuenca requiere de una estimación correcta del balance hidrológico, es decir, comprender el ciclo en sus diferentes fases, la forma en que el agua que se recibe por precipitación y se reparte entre el proceso de evapotranspiración, escorrentía e infiltración.

3.5.3. Cálculo del balance hídrico

La ecuación de Balance Hidrológico es una expresión muy simple, aunque la cuantificación de sus términos es normalmente complicada por la falta de mediciones directas y por la variación espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas (en acuíferos) y de las variaciones del agua almacenada en la cuenca (Llorens, 2003).

En general podemos afirmar que del agua que cae en un determinado sitio (P), una parte vuelve a la atmósfera ya sea por evaporación directa o por transpiración de la vegetación (ETR) y otra parte escurre por la superficie de la cuenca (ES).

Este escurrimiento, fluye a través de la red de drenaje hasta alcanzar los cauces principales y finalmente el mar, y el resto se infiltra en el terreno y se incorpora al sistema de aguas subterráneas o acuífero (I).

Estas magnitudes intervienen en la siguiente ecuación que se conoce con el nombre de Balance Hidrológico (La fórmula general del Balance Hidrológico):

$$P = ETR + ES + I \quad (3.12)$$

Donde:

P: Precipitación (mm)

ETR: Evapotranspiración Real (mm)

ES: Escorrentía (mm)

I: Infiltración (mm)

Del Balance Hidrológico, podemos conocer el estado de humedad de la cuenca, la cual está asociado al aporte de precipitación recibida y descontando las pérdidas generadas y permite la condición de clasificar el tipo de año (húmedo, normal o seco). Esto permitirá planificar el recurso hídrico, en base a las demandas.

3.5.4. Parámetros del balance hídrico

Precipitación:

La precipitación constituye la principal entrada de agua dentro del Ciclo Hidrológico, y varía tanto espacial como temporalmente en una cuenca y subcuenca. Es el agua que cae en una zona determinada que se delimita como

cuenca o subcuenca y puede ocurrir como lluvia, neblina, nieve, rocío, etc. La medición de la lluvia se realiza en las estaciones climáticas a través de instrumentos llamados pluviómetros y es uno de los datos necesarios para el balance que con mayor frecuencia se encuentran disponibles, si bien puede variar la periodicidad y confiabilidad de éstos dependiendo del método de medición y de la permanencia de las estaciones climáticas a través del tiempo.

Se elaboran las isoyetas de precipitación promedio anual característico para la cuenca, así como también se hace un análisis de la relación entre precipitación y temperatura promedio mensual a través del año. La información de los mapas de isoyetas mensuales y anuales, permite calcular la precipitación media areal de las cuencas, con los que se inicia el cálculo de los parámetros del Balance Hídrico.

Temperatura:

Esta variable juega un papel importante, ya que interviene en todos los métodos empíricos y por lo general junto con la precipitación son las únicas que podemos encontrar en las estaciones meteorológicas con plena seguridad. Su análisis contempla su homogenización y caracterización térmica de la zona en estudio.

Evapotranspiración:

La evapotranspiración es la cantidad de agua que retorna a la atmósfera, tanto por transpiración de la vegetación como por evaporación del suelo. Su magnitud depende del agua realmente disponible, es decir la que el suelo ha logrado retener para el consumo de la vegetación, así como la que ha sido interceptada por ésta.

Los valores de interceptación de la precipitación por la cobertura vegetal, varían en función de la composición del bosque, sus características y ubicación. Un rango de valores medios de interceptación expresada como porcentaje de la lluvia total, generalmente aceptado para los bosques 15% a 40%.

La determinación de este parámetro, es de difícil cuantificación, sobre todo por la ausencia de estaciones que permitan medir este parámetro en el campo, por lo que resulta necesario deducir, en primer lugar, el valor de la evapotranspiración potencial (ETP) mediante fórmulas empíricas.

Aunque la evapotranspiración es el segundo término en importancia en un balance hidrológico, después de la precipitación, o el primero en zonas áridas y semiáridas; en la actualidad no existe una metodología para medirla a escala de cuenca, por lo que se estima a partir de la utilización de diferentes modelos. La dificultad de la modelación de la evapotranspiración radica en representar los procesos y factores que la determinan de una manera simple.

Evapotranspiración Real:

El suministro de humedad a la superficie de evaporación es un factor determinante en la evapotranspiración. A medida que el suelo se seca, la tasa de evaporación cae por debajo del nivel que generalmente mantiene en un suelo bien humedecido. Es esta evapotranspiración que depende de la cantidad de humedad existente en el suelo, la que se denomina Evapotranspiración Real.

La evapotranspiración real es inferior a la evapotranspiración potencial para los siguientes factores:

- ✓ Falta de agua en algunos períodos;
- ✓ Variación de la evapotranspiración según el desarrollo de la planta;
- ✓ Variaciones de las condiciones atmosféricas como la humedad, la temperatura, etc.

Infiltración:

La infiltración es el volumen de agua procedente de las precipitaciones que atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo y del subsuelo.

Entre los factores que afectan la capacidad de infiltración tenemos:

- ✓ Entrada superficial: La superficie del suelo puede estar cerrada por la acumulación de partículas que impidan o retrasen la entrada de agua al suelo.
- ✓ Transmisión a través del suelo: El agua no puede continuar entrando en el suelo con mayor rapidez que la de su transmisión hacia abajo, dependiendo de los distintos estratos.
- ✓ Acumulación en la capacidad de almacenamiento: El almacenamiento disponible depende de la porosidad, espesor del horizonte y cantidad de humedad existente.
- ✓ Características del medio permeable: La capacidad de infiltración está relacionada con el tamaño del poro y su distribución, el tipo de suelo (arenoso, arcilloso), la vegetación, la estructura y capas de suelos.
- ✓ Características del fluido: La contaminación del agua infiltrada por partículas finas o coloides, la temperatura y viscosidad del fluido, y la cantidad de sales que lleva.

Para determinar el cálculo de la precipitación que se infiltra mensualmente (P_i) al suelo, viene dado por la expresión algebraica siguiente:

$$P_i = (C_i) * (P - Ret) \quad (3.13)$$

Donde:

Pi: Precipitación que infiltra mensualmente al suelo (mm/mes)

Ci: Coeficiente de infiltración (adimensional)

P: Precipitación mensual en (mm/mes)

Ret: Retención de lluvia mensual por follaje en (mm/mes)

Por lo general, en la ecuación del Balance Hídrico, y dependiendo de la escala temporal del análisis (anual), este valor se asume que su variabilidad es mínima y puede ser considerada cero.

Escorrentía superficial o caudal:

Para el aprovechamiento del recurso hídrico, es necesario conocer en un punto dado o en la salida de la cuenca, el caudal disponible a partir de las precipitaciones. El problema es aparentemente simple en su presentación, pero de una solución en muchos casos compleja, para ello se han ideado una serie de metodologías que van desde las más simples a las más complejas, como: isolíneas de escorrentía caudales específicos generación por modelos de simulación precipitación – escorrentía, etc.

Para cuencas con características fisiográficas, cobertura vegetal y comportamiento hidrológico similar, se puede estimar el caudal específico en función de la siguiente expresión:

$$Q = A \times P \quad (3.14)$$

Donde:

Q: Caudal a estimar en la cuenca en m³/s

A: Área de la cuenca en Km²

P: Precipitación en mm

Para el análisis y estimación de caudales en las subcuencas se ha tenido en cuenta esta ecuación, la cual se considera como la más adecuada, ya que no solo relaciona área y caudal, sino que también relaciona el aporte pluviométrico de las cuencas.

El agua de las precipitaciones que no es evaporada ni infiltrada, escurre superficialmente en forma de escorrentía directa que es el agua que llega directamente a los cauces superficiales en un periodo corto de tiempo tras la precipitación, y que engloba la escorrentía superficial y la sub-superficial (agua que tras un corto recorrido lateral sale a la superficie sin llegar a la zona freática). Escorrentía basal que es la que alimenta a los cauces superficiales en época de estiaje.

Una vez estimados los volúmenes de agua que se infiltran mensualmente en cada subcuenca, se establece que el agua restante es la que va a escurrir superficialmente, lo que denominamos caudal o escurrimiento superficial.

Para el cálculo de la escorrentía anual (mm) en las subcuencas y cuenca total se utiliza la expresión matemática que relaciona el caudal y el área de drenaje.

Su fórmula es:

$$E = \frac{31,536 * Q}{A} \quad (3.15)$$

Donde:

E: Escorrentía en mm

Q: Caudal en m³/s

A: Área de drenaje km²

Con la cuantificación de cada una de las variables identificadas en la ecuación del Balance Hídrico y dependiendo de la escala temporal de análisis, tendríamos así las expresiones siguientes:

Cuando el balance hídrico superficial se realiza a nivel mensual y multianual, el término correspondiente al cambio de almacenamiento (S) se considera que toma el valor de 0, debido a que la variabilidad del agua almacenada en la cuenca en períodos largos no experimenta cambios significativos.

Teniendo en consideración la aseveración anterior, la expresión algebraica del Balance Hídrico queda como:

$$Es = P - ETR \quad (3.16)$$

Donde:

Es: Escorrentía superficial en mm.

P: Precipitación media del período en mm.

ETR: Evapotranspiración real media del período en mm.

Para áreas con control hidrométrico, se utiliza la siguiente expresión:

$$P = Es + ETR \quad (3.17)$$

Donde:

P: Precipitación media del período en mm.

Es: Escorrentía del período en mm.

ETR: Evapotranspiración real media del período en mm.

En áreas sin control hidrométrico, el Balance hídrico es determinado mediante la siguiente ecuación:

$$E_s = P - ETR \quad (3.18)$$

3.5.5. Métodos para el cálculo de la evapotranspiración potencial

Método de Thornthwaite:

Thornthwaite introdujo el término evapotranspiración potencial (ETP) para expresar "la cantidad de agua que perderá una superficie completamente cubierta de vegetación en crecimiento activo si en todo momento existe en el suelo humedad suficiente para su uso máximo por las plantas".

Para el cálculo de la ETP de un mes determinado, se debe corregir la ETP mediante un coeficiente que tenga en cuenta el número de días del mes y horas de luz de cada día, en función de la latitud. Para lo cual se introduce el índice de iluminación mensual en unidades de 12 horas, que deberá multiplicar a la ETP para obtener la ETP final o corregida, según Thornthwaite (mm/mes).

Cálculo de la ETP Evapotranspiración potencial mensual (mm):

$$ETP = 16 \times (10 T / I)^a \quad (3.19)$$

Donde:

I: índice de calor anual, (suma de los 12 valores del índice de calor mensual, i)

$$I = (T / 5)^{1.514} \quad (3.20)$$

T: temperatura media mensual en °C.

a: función del índice de calor anual (I), que simplificado equivale a 0,016 elevado a 0,5

a, se calcula como:

$$a = 0,000000675 \times I^3 - 0,0000771 \times I^2 + 0,01792 \times I + 0,49239 \quad (3.21)$$

$$\text{ETP (corregida)} = \text{ETP} \times L \text{ (mm/mes)} \quad (3.22)$$

Donde:

ETP: Evapotranspiración mensual en mm

L: Factor de corrección del número de días del mes (Ndi) y la duración astronómica del día Ni (horas de sol)

$L_i = N_{di}/30 \times N_i/12$ (Tablas de L mensuales por latitud).

Método de Hargreaves:

La fórmula de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985) para evaluar la Evapotranspiración Potencial necesita solamente datos de temperaturas y de radiación solar.

La expresión general es la siguiente:

$$\text{ETP} = 0,0135 (t_{med} + 17,78) R_s \quad (3.23)$$

Donde:

ETP: Evapotranspiración potencial diaria, mm/día

Tmed: Temperatura media, °C

Rs: Radiación solar incidente, convertida en mm/día

La radiación solar incidente, R_s , se evalúa a partir de la radiación solar extraterrestre R_o , cuyos datos se extraen de tablas en función de la latitud del lugar y del mes. Para la determinación de la R_s , Samani propuso la siguiente fórmula:

$$R_s = R_o * K_T * (t_{max} - t_{min})^{0.5} \quad (3.24)$$

Donde:

R_s : Radiación solar incidente

R_o : Radiación solar extraterrestre (tabulada)

K_T : Coeficiente

T_{max} : Temperatura diaria máxima

T_{min} : Temperatura diaria mínima

Puesto que los valores de R_o están tabulados y las temperaturas máximas y mínimas son datos empíricos relativamente fáciles de obtener, la dificultad para aplicar esta sencilla expresión se encuentra en el coeficiente K_T .

Para evaluar la Radiación Solar Extraterrestre (R_o) existen varias tablas, todas ellas en función de la latitud y del mes.

El coeficiente K_T es un coeficiente empírico que se puede calcular a partir de datos de presión atmosférica, pero Hargreaves recomienda $K_T = 0,162$ para regiones del interior y $K_T = 0,19$ para regiones costeras.

Fórmula simplificada:

Sustituyendo del valor de R_s en la expresión inicial, y tomando para el coeficiente K_T el valor medio de 0.17, resulta la expresión citada con más frecuencia en la bibliografía:

$$ETP = 0.0023 (t_{med} + 17.78) R_o * (t_{max} - t_{min})^{0,5} \quad (3.25)$$

Donde:

ETP: Evapotranspiración potencial diaria, mm/día

t_{med} : Temperatura media diaria, °C

R_o : Radiación solar extraterrestre, en mm/día (tabulada)

t_{max} : Temperatura diaria máxima

t_{min} : Temperatura diaria mínima

CAPITULO 4: METODOLOGIA

4.1. Recopilación de Información

La etapa preliminar consiste en la recopilación de información de estudios realizados por instituciones: INETER, ALCALDIA, ENACAL y MAGFOR; información bibliográfica y exploración en INTERNET. Los datos que se investigaron están relacionados con la hidrodinámica, climatología, hidrología y geomorfología de la subcuenca en estudio.

El software Arcview GIS, es un sistema que provee las herramientas de escritorio necesarias para manejar la información geográfica de una manera fácil y dinámica, para un mejor análisis. Dicho programa permite la posibilidad de visualizar datos de formato Arc/Info (Coberturas, Grid) e importar datos en formato de tablas para unirlos a una vista y poder visualizarlos en forma geográfica.

4.2. Parámetros morfométricos de la unidad de cuenca

La caracterización de los aspectos hidrográficos y morfológicos de la subcuenca se hará mediante el cálculo y valorización de los siguientes parámetros:

- ✓ Area de la subcuenca,
- ✓ Perímetro,
- ✓ Forma de la cuenca,
- ✓ Índice de compacidad o de Gravelius,
- ✓ Índice de pendiente,
- ✓ Altitud media,

- ✓ Rectángulo equivalente,
- ✓ Densidad de drenaje,
- ✓ Polígono de frecuencia,
- ✓ Número de escurrimiento,
- ✓ Curva hipsométrica,
- ✓ Longitud del río principal y su altitud media,
- ✓ Tiempo de concentración.

4.3. Caracterización climática de la unidad de cuenca

Para la caracterización de los parámetros climáticos de la zona de estudio se utilizarán estadísticas de INETER sobre parámetros de precipitación, temperatura y humedad, obtenidas de estaciones meteorológicas existentes en la zona de estudio.

4.4. Cálculo del balance hídrico

4.4.1. Estimación de la Evapotranspiración Potencial

El método de Thornthwaite es el que se aplicará para obtener la evapotranspiración Potencial (ETP); este método utiliza valores medios en función de las variables climatológicas de precipitación, temperatura y humedad relativa. Primero se calcula la Evapotranspiración potencial no corregida ETPnc de cada mes, la cual se corrige y se suman para obtener el valor anual.

4.4.2. Estimación del balance hídrico

Partiendo de la ecuación de continuidad, que es el fundamento para realizar un balance hídrico, que permite estimar la disponibilidad de agua en unidades hidrológicas, y conociendo previamente las componentes de precipitaciones y evapotranspiración mensual, se estimará la escorrentía superficial, a partir de la aplicando la ecuación general:

$$P = ETR + I + E + S$$

Estas variables son las siguientes:

P: Precipitación en mm

ETR: Evapotranspiración Real en mm

I: Infiltración en mm

E: Escorrentía en mm

S: Cambio en el almacenamiento

Tomando en cuenta que el cambio en el almacenamiento y la Infiltración, son despreciables; para períodos bastantes largos. Simplificando la ecuación queda de la siguiente manera:

$$P = ETR + E$$

CAPITULO 5: CALCULOS Y RESULTADOS

5.1. Determinación de los parámetros morfométricos

5.1.1. Area y perímetro

La unidad hidrológica tiene una superficie de 120.01 km² y un perímetro 66.26 km; estos parámetros se delimitaron con el software ArcGIS 10.3 y la herramienta Archydro Tools y el uso del modelo digital del terreno DEM 12 m, obteniéndose de forma directa el área en km² y el perímetro en km.

5.1.2. Densidad de Drenaje

La densidad de drenaje se determina median la aplicación de la siguiente ecuación:

$$Dd = \frac{Li (Km)}{A (Km^2)}$$

$$Dd = \frac{146.02 \text{ km}}{120.01 \text{ km}^2}$$

$$Dd = 1.22 \text{ km/km}^2$$

Donde:

Dd = Densidad de drenaje (km/km^2)

L_i = Longitud total de todos los cursos tramos de ríos (km)

A = Área de la cuenca (km^2)

El patrón de drenaje es del tipo detrítico, compuesta por corrientes de ríos de régimen permanentes e intermitentes. La longitud total de todos los tramos de ríos de la unidad hidrológica es de 146.02 km. Tomando en cuenta el área de drenaje 120.01 km^2 , se obtiene un valor de densidad de drenaje de 1.22 km/km^2 , de acuerdo a los rangos de valores de densidades de drenajes se clasifica como un drenaje “bajo” (Según cuadro No. 3.5).

5.1.3. Pendiente Media de la cuenca

Para el cálculo de la pendiente media (I_p) de la cuenca se obtiene primero la pendiente de cada área entre curvas de nivel dentro de la unidad de cuenca (S_i), las cuales posteriormente se suman ($\sum S_i$), (ver cuadro No. 5.1.1).

$$I_p = \sum S_i = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 + S_7 + S_8 + S_9$$

$$I_p = \sum S_i = 0.0220 + 0.0163 + 0.0152 + 0.0150 + 0.0143 + 0.0134 + 0.0120 + 0.0111$$

$$+ 0.0097$$

$$I_p = 0.13$$

$$I_p = 0.13 \times 100 = 13\%$$

Tabla No. 5.1.1: Cálculo de la pendiente media de la unidad de cuenca

Altitud		Elev _m	Área (A)	A acum	AT-A	Bi=A/AT	Bi	Ip
Max	Min	(m)	km ²	km ²	km ²	(%)	Acum. (%)	
			2	3	4	5	6	7
0	0	0	0.00		120.01	0.00	100.00	
112	40	76	25.81	25.81	94.20	21.51	78.49	0.0220
170	113	142	19.55	45.36	74.65	16.29	62.20	0.0163
230	171	201	15.72	61.08	58.93	13.10	49.10	0.0152
290	231	261	13.38	74.46	45.55	11.15	37.95	0.0150
355	291	323	12.48	86.95	33.06	10.40	27.55	0.0143
424	356	390	10.56	97.51	22.50	8.80	18.75	0.0134
499	425	462	8.63	106.14	13.87	7.19	11.56	0.0120
585	500	543	6.17	112.31	7.70	5.14	6.41	0.0111
676	586	631	4.87	117.18	2.83	4.06	2.36	0.0097
817	677	747	2.83	120.01	0.00	2.36	0.00	0.0000
	Area Total	(AT)	120.01			100.00		0.13

Fuente: Elaboración propia, con mapa de INETER

Este parámetro es de suma importancia, ya que es uno de los factores que controla el tiempo de escurrimiento y concentración de la lluvia en los canales de drenaje y tiene una importancia directa en relación a las crecidas, según los procesos de cálculos determinados. La pendiente media para la unidad de estudio es de 0.13 m/m (13 %), indicando que el escurrimiento es de moderado a rápido (con tipo de relieve medianamente accidentado).

5.1.4. Pendiente Media del Río

Tiene gran importancia debido a que condiciona la respuesta de la cuenca ante las precipitaciones. Se obtiene de forma directa con el apoyo del ArcGis y mediante la siguiente ecuación:

$$Ic = 100 * \frac{\text{Elev Máx} - \text{Elev Mín}}{L * 1000}$$

$$L * 1000$$

$$Ic = 100 * \frac{820.00 - 40.00}{25.19 \text{ km} * 1000}$$

$$25.19 \text{ km} * 1000$$

$$Ic = 3.1 \%$$

Donde:

Ic: Pendiente media del río principal, %

ElevMax: Altura máxima del río, m

ElevMin: Altura mínima del río, m

L: Longitud del río principal, km

En la subcuenca se encuentran elevaciones máximas de 820 msnm y mínimas de 40 msnm respectivamente, con una pendiente media del río de 0.031 m/m (3.1%), indicando que el escurrimiento se clasifica como “suave” (Según cuadro No. 3.7).

5.1.5. Tiempo de Concentración

Para el cálculo del tiempo de concentración se utiliza la ecuación sugerida del PHCA 1970, la cual se adecua a nuestro país. El Tiempo de concentración es indicativo de la respuesta que tendrá la unidad hidrográfica ante la ocurrencia de las precipitaciones. En el cálculo se consideran los parámetros de pendiente y longitud del río, como se determina en la siguiente ecuación.

$$T_c = 0.0041 \times k^{0.77}$$

Calculo de k

$$k = 3.28 \times (L_r / S)^{0.5}$$

Donde:

T_c: Tiempo de Concentración (Horas)

L_r: Longitud del curso principal (km)

S: Pendiente media del río (%)

$$T_c = ((0.0041 * (3.28 * (C_4 * 1000)) / ((L_3 - O_3) / (C_4 * 1000))^{0.5})^{0.77}) / 60$$

$$T_c = ((0.0041 * (3.28 * 25.19 (*1000)) / ((820.0 - 40.0) / (25.19 * 1000))^{0.5})^{0.77}) / 60$$

$$T_c = 1.59 \text{ hr}$$

Este tiempo de concentración de 1.59 horas (95.4 minutos) se clasifica como "lento" (Según cuadro No. 3.8).

5.1.6. Índice de Gravelius o Compacidad

El cálculo de este parámetro se hace mediante la siguiente ecuación:

$$Kc = \frac{P \text{ (km)}}{A \text{ (km}^2\text{)}^{0.5}} \times 0.28$$

$$Kc = \frac{66.26 \text{ (km)}}{120.01 \text{ (km}^2\text{)}^{0.5}} \times 0.28$$

$$Kc = 1.69$$

Donde:

Kc: Índice de Gravelius

P: Perímetro de la cuenca (km)

A: Área de la cuenca (km²)

El Coeficiente de Compacidad o índice de Gravelius de la unidad hidrológica es de 1.69, es decir que se clasifica como “oval oblonga a rectangular oblonga” (Según cuadro No. 3.3).

5.1.7. Factor de Forma

Este valor de factor de forma se obtiene con la siguiente ecuación:

$$Ff = \frac{A \text{ (km}^2\text{)}}{L^2 \text{ (km)}}$$

Donde:

Ff: Factor de forma (adimensional)

A: Área de la cuenca (km²)

L: Longitud del río principal (km)

$$Ff = \frac{A \text{ km}^2}{(L \text{ km})^2}$$

$$(L \text{ km})^2$$

$$Ff = \frac{120.01 \text{ km}^2}{(25.19 \text{ km})^2}$$

$$(25.19 \text{ km})^2$$

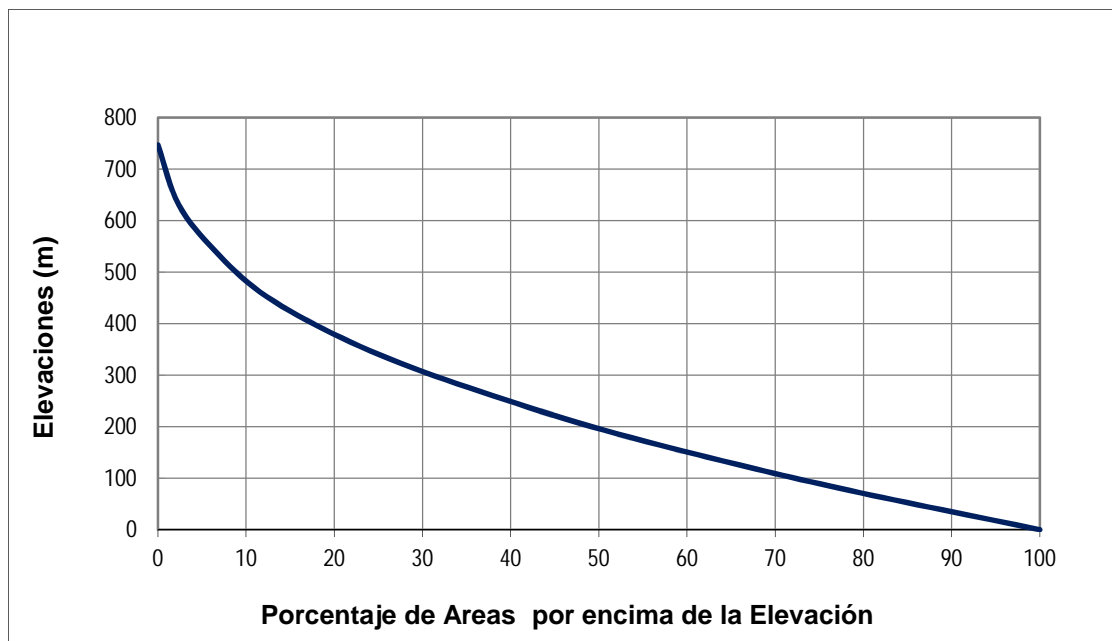
$$\mathbf{Ff = 0.19}$$

La forma de la subcuenca es “ligeramente achatada” por presentar un factor de forma que oscila en valores comprendido entre 0.18 y 0.36 (Según cuadro No. 3.4).

5.1.8. Curva Hipsométrica

En el gráfico No. 5.1.1 de la Curva Hipsométrica se observa que entre las altitudes de 700 msnm y 350 msnm la curva se presenta en general cóncava hacia arriba. Entre las altitudes de 300 msnm y 50 msnm la curva presenta un equilibrio que refleja un relieve natural más homogéneo. En este gráfico de la curva hipsométrica de la unidad hidrológica se presenta un descenso marcado del río principal a partir de la cota 750 msnm hasta la cota de los 400 msnm.

Gráfico No. 5.1.1: Curva Hipsométrica

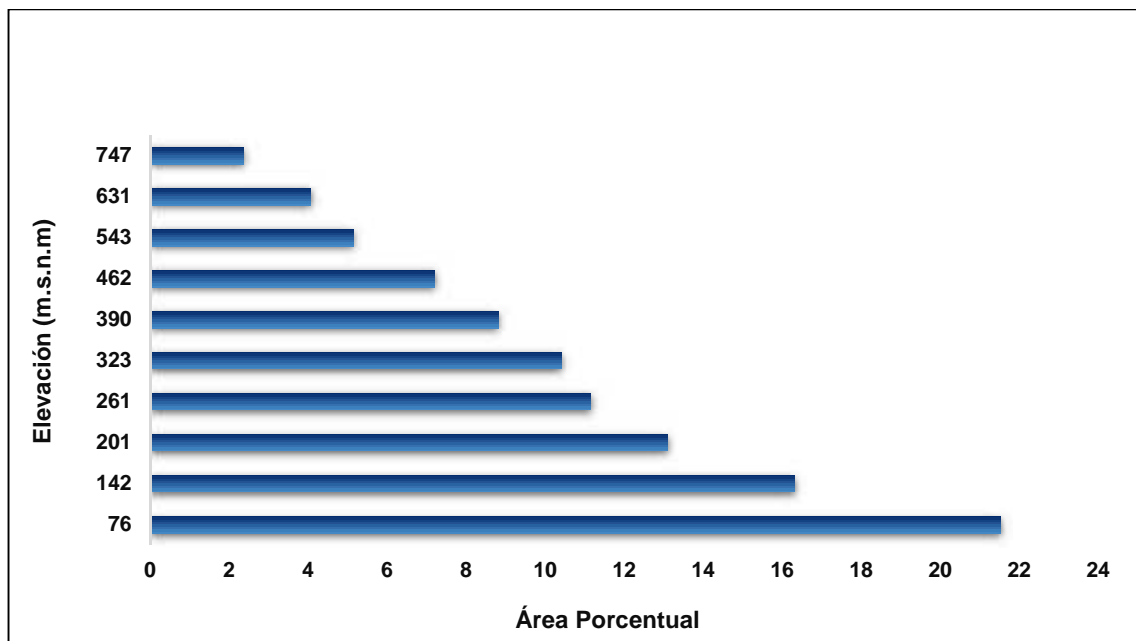


Fuente: Elaboración propia, con información de mapas de INETER

5.1.9. Polígonos de Frecuencia de Altitudes

Los polígonos de frecuencia de altitudes se obtienen representando sobre el eje de las ordenadas el porcentaje de superficie comprendida entre dos curvas de nivel consecutivas con respecto al área total de la cuenca. En este caso se puede apreciar que la mayoría del área de la subcuenca del Sauce se encuentra en su parte baja, es decir entre las elevaciones 76 y 261 msnm con aproximadamente el 62 % del área total de la unidad hidrográfica (Ver gráfico No. 5.1.2).

Gráfico No. 5.1.2: Polígono de Frecuencias de Altitudes



Fuente: Elaboración propia, con información de mapas de INETER

5.1.10. Perfil Longitudinal del río

El perfil longitudinal de un río muestra como éste va perdiendo cota a lo largo de su recorrido. En el gráfico No. 5.1.3 se observa la elevación (msnm) en cada tramo. Los perfiles longitudinales de los ríos suelen presentar forma cóncava y su pendiente disminuye desde las zonas más erosivas (zonas de cabecera), a las zonas donde predomina la sedimentación (zonas de desembocadura o bajas). De este gráfico se obtiene que desde la cota 750 msnm a la cota 300 msnm comienza a perder velocidad la corriente, debido a la pérdida de elevaciones; de la cota 300 a la cota 50 msnm son los cambios de elevaciones de menores magnitudes.

La longitud del cauce principal es de 25.19 km, orienta sus aguas provenientes hasta descargar el lago de Managua.

Gráfico No. 5.1.3: Perfil Longitudinal



Fuente: Elaboración propia, con información de mapas de INETER

5.1.11. Numero de Esgurrimiento

El número de esgurrimento se obtiene con la siguiente ecuación:

$$Es = \frac{\text{Area (km}^2\text{)}}{4 * Li \text{ (km)}}$$

$$Es = \frac{120.01 \text{ (km}^2\text{)}}{4 * 146.02 \text{ (km)}}$$

$$Es = 0.21 \text{ km}^2/\text{km}$$

Donde:

A = Área de drenaje de la cuenca (km²)

Li = Longitud de todos los ríos que comprende la cuenca (km)

Es = Esgurrimiento Superficial (km²/km)

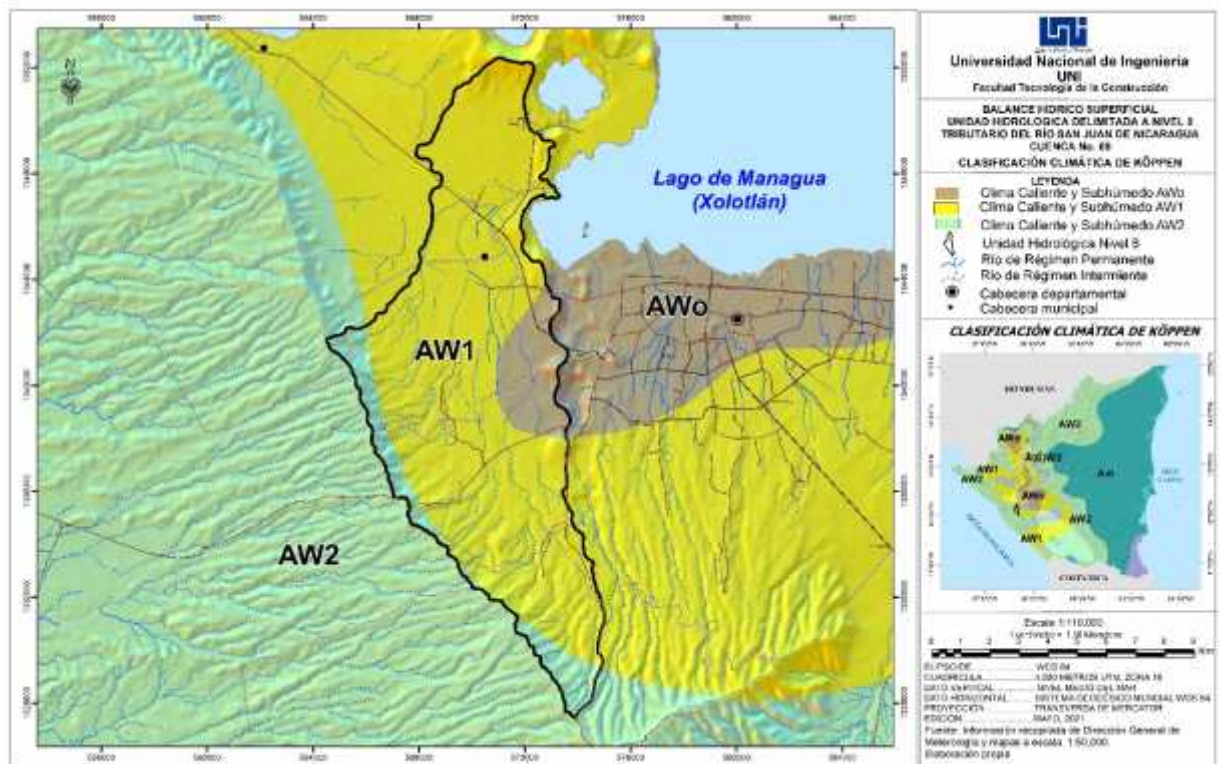
El total de afluentes existentes es de 146.02, lo que caracteriza el esgurrimento de la subcuenca como “medio” (según cuadro 3.6), el cual proporciona un buen drenaje y por lo tanto favorece al esgurrimento de la misma.

5.2. Caracterización climática de la zona de estudio

5.2.1. Clasificación de Köppen

De acuerdo al Sistema de Köppen Modificado, el clima predominante de la zona de la unidad hidrológica Clima Caliente y Subhúmedo, AW1. Este clima es Sabana Tropical de Altura, caracterizándose por ser cálido en la mayor parte del territorio. En la figura 5.2.1 se presentan los de clima de la unidad hidrológica y su entorno.

Figura No. 5.2.1: Clasificación Climática por Köppen



Fuente: Elaboración propia, con datos de INETER

5.2.2. Precipitación Media

Se recopilaron datos e informaciones de los parámetros meteorológicos de las estaciones que inciden directamente en la unidad hidrológica, tomando de éstas los datos de precipitación, los datos de temperatura y humedad relativa. Para el Balance Hídrico se tomaron los datos de la estación hidrometeorológica principal de Managua, por ser la estación principal más cercana y registrar estos parámetros de suma importancia. Se determinó un período en común para todas las estaciones, siendo éste de 2000 – 2017 (ver cuadro No. 5.2.1). En este cuadro se presentan las estaciones meteorológicas consideradas para el cálculo de la precipitación areal media anual de la unidad de cuenca, con sus códigos respectivos y la representación en área que tiene cada estación dentro de cuenca.

Cuadro No. 5.2.1: Estaciones meteorológicas de la unidad de cuenca

CÓDIGO	ESTACION	REPRESENTACION	
		AREA (km ²)	PESO
69046	La Primavera	6.52	0.05
69048	San Isidro de La Cruz Verde	68.98	0.57
69139	El Campbell (INETER)	44.51	0.37
		120.01	1.0

Fuente: Elaboración propia, con datos de INETER

En el cuadro No. 5.2.2 se presentan la precipitación media mensual en la zona de estudio.

Cuadro No. 5.2.2: Precipitación media mensual

Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic
La Primavera	9.83	4.37	10.44	28.94	238.16	222.37	179.06	189.85	329.81	330.62	69.33	15.53
San I. de La Cruz V.	2.33	0.68	2.81	25.52	191.50	169.70	131.90	168.30	273.08	225.68	58.42	6.39
El Cambell (INETER)	2.05	0.49	2.73	14.33	183.74	161.48	128.62	145.80	241.66	228.08	51.59	7.56
PROMEDIO	4.74	1.85	5.32	22.93	204.47	184.51	146.53	167.98	281.52	261.46	59.78	9.83

Fuente: Elaboración propia, con datos de INETER

Para el cálculo de la precipitación areal se utilizó el método de los polígonos de Thiessen, tomando en cuenta la distribución espacial de la precipitación y todas las estaciones que inciden en el área de la subcuenca. Este método consiste en asignar un factor de peso a los totales de precipitación en cada estación proporcional al área de influencia de cada pluviómetro. Una vez determinado el peso de las estaciones que tienen influencia en la subcuenca, se calculó la precipitación media areal mensual y anual, tomando como referencia los registros mensuales y el valor del peso obtenido para las estaciones seleccionadas. Considerando los valores del cuadro No. 5.2.1 y el No. 5.2.2 se procedió al cálculo de la precipitación areal media mensual y anual (peso multiplicado por la precipitación del mes). Los resultados se muestran en el cuadro No. 5.2.3, en el cual se observa que el valor anual calculado es de 1229.7 mm

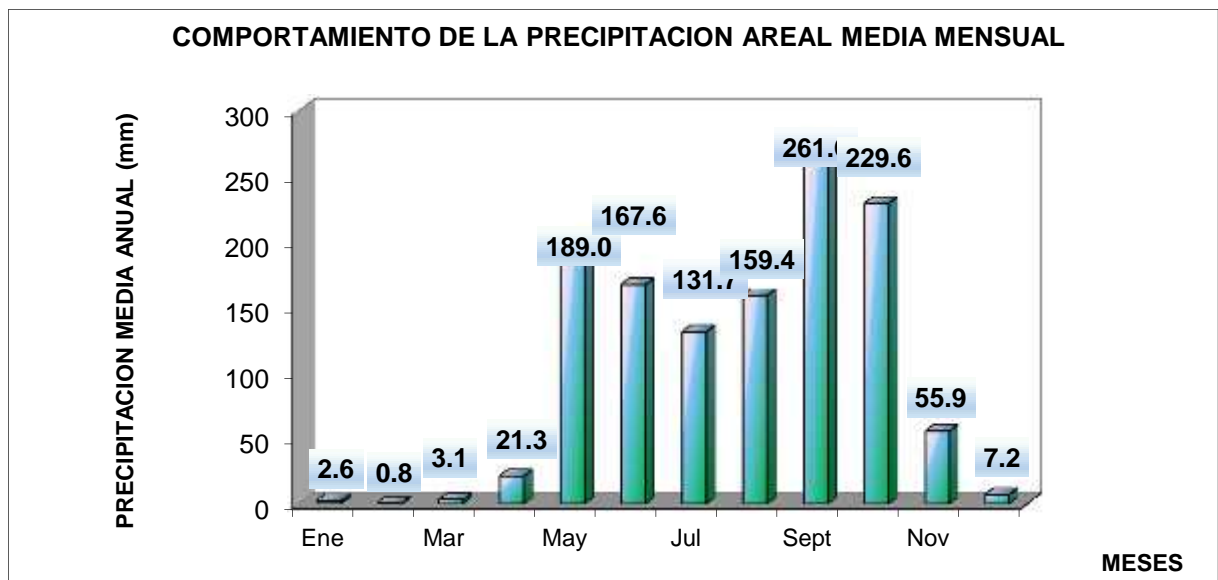
Cuadro No. 5.2.3: Precipitación areal media mensual y media anual

Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic	ANUAL
La Primavera	0.49	0.22	0.52	1.45	11.91	11.12	8.95	9.49	16.49	16.53	3.47	0.78	81.4
San Isidro de La Cruz Verde	1.33	0.39	1.60	14.55	109.16	96.73	75.18	95.93	155.66	128.64	33.30	3.64	716.1
El Cambell (INETER)	0.76	0.18	1.01	5.30	67.98	59.75	47.59	53.95	89.42	84.39	19.09	2.80	432.2
PROMEDIO	2.6	0.8	3.1	21.3	189.0	167.6	131.7	159.4	261.6	229.6	55.9	7.2	1229.72

Fuente: Elaboración propia, con datos de INETER

El comportamiento de la precipitación areal media mensual se observa en el siguiente gráfico (No. 5.2.1). en los meses de septiembre y octubre se observan los mayores valores de precipitación, siendo de 261.6mm y 229.6mm respectivamente. Los valores mínimos se encuentran en los meses de enero y febrero, siendo de 20.6mm y 0.8mm respectivamente

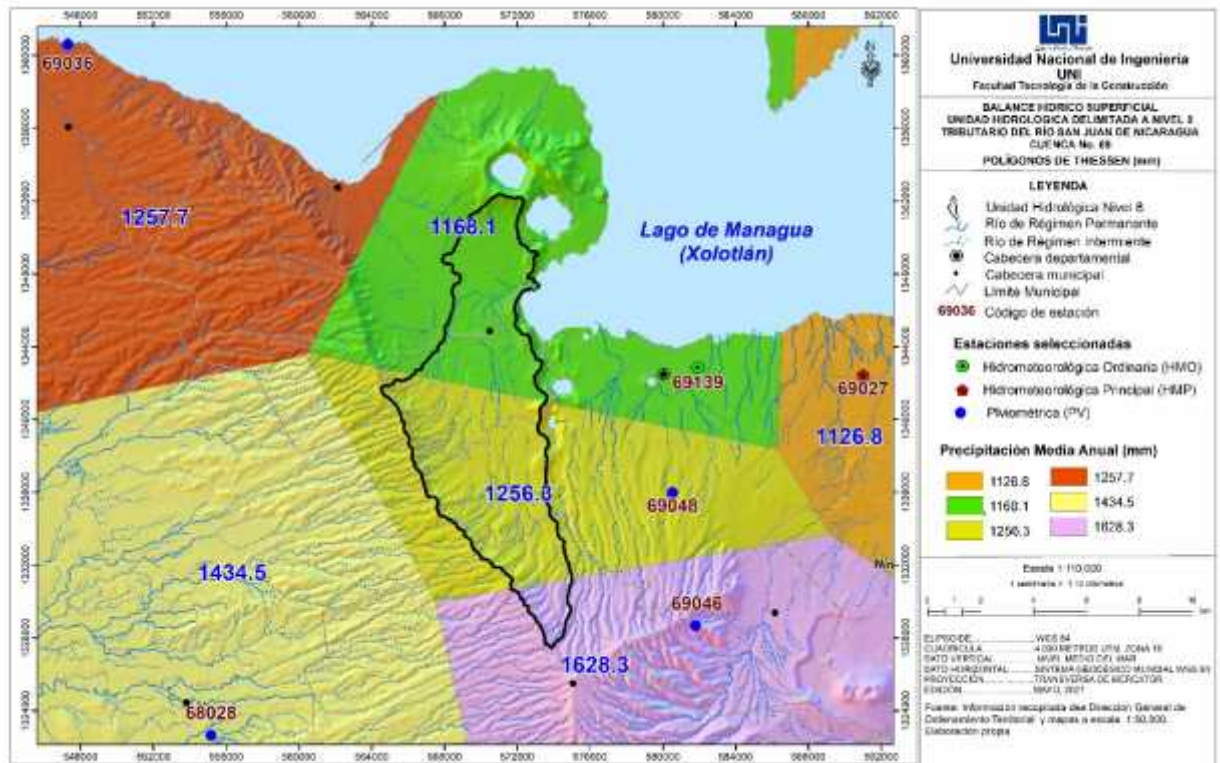
Figura No. 5.2.1: Precipitación areal media mensual



Fuente: Elaboración propia, con datos de INETER

En la figura No. 5.2.2 se presentan la distribución espacial de la precipitación media anual de la zona de estudio.

Figura No. 5.2.2: Precipitación areal media anual de la unidad hidrológica



Fuente: Elaboración propia, con información de INETER

5.2.3. Temperatura media mensual y anual

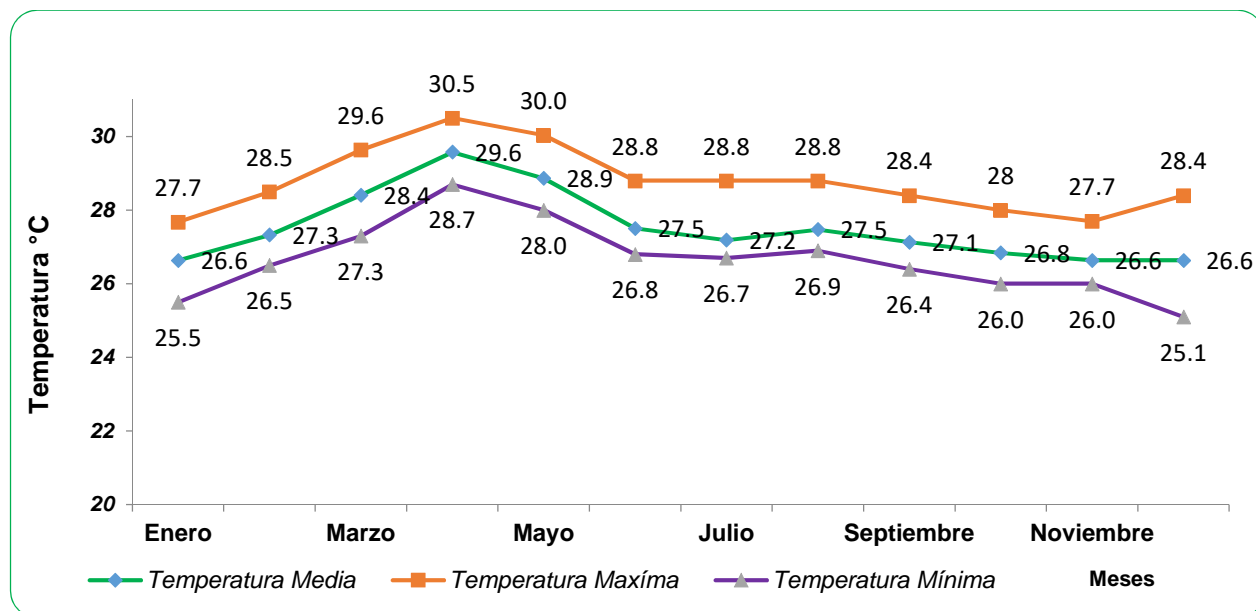
Para lograr determinar la temperatura media anual, se utilizó la estación Hidrometeorológica Principal ubicada en León. Conceptualmente la temperatura es inversamente proporcional con la altitud, es decir, que a mayor altitud existe una menor temperatura.

El comportamiento de la temperatura media anual corresponde a los 27.5°C., la cual muestra que dentro de la región se puede observar contrastes significativos, provocados por el efecto del relieve y otras condiciones locales. Los rangos de temperaturas mínimos y máximos absolutos oscilan en entre 25.1°C y 30.5°C.

Los valores medios mensuales de las temperaturas más elevadas se registran en los meses de abril y mayo, precisamente a finales del período seco con valores de 29.6 y 28.9°C. Los valores de las temperaturas medias más bajas, ocurren entre diciembre y enero con magnitudes que oscilan entre 25.1°C y 25.5°C respectivamente.

En el gráfico No.5.2.2 se muestra las tendencias medias mensuales, tomando como referencia la estación principal de Managua.

Gráfico No. 5.2.2: Temperatura Media Mensual



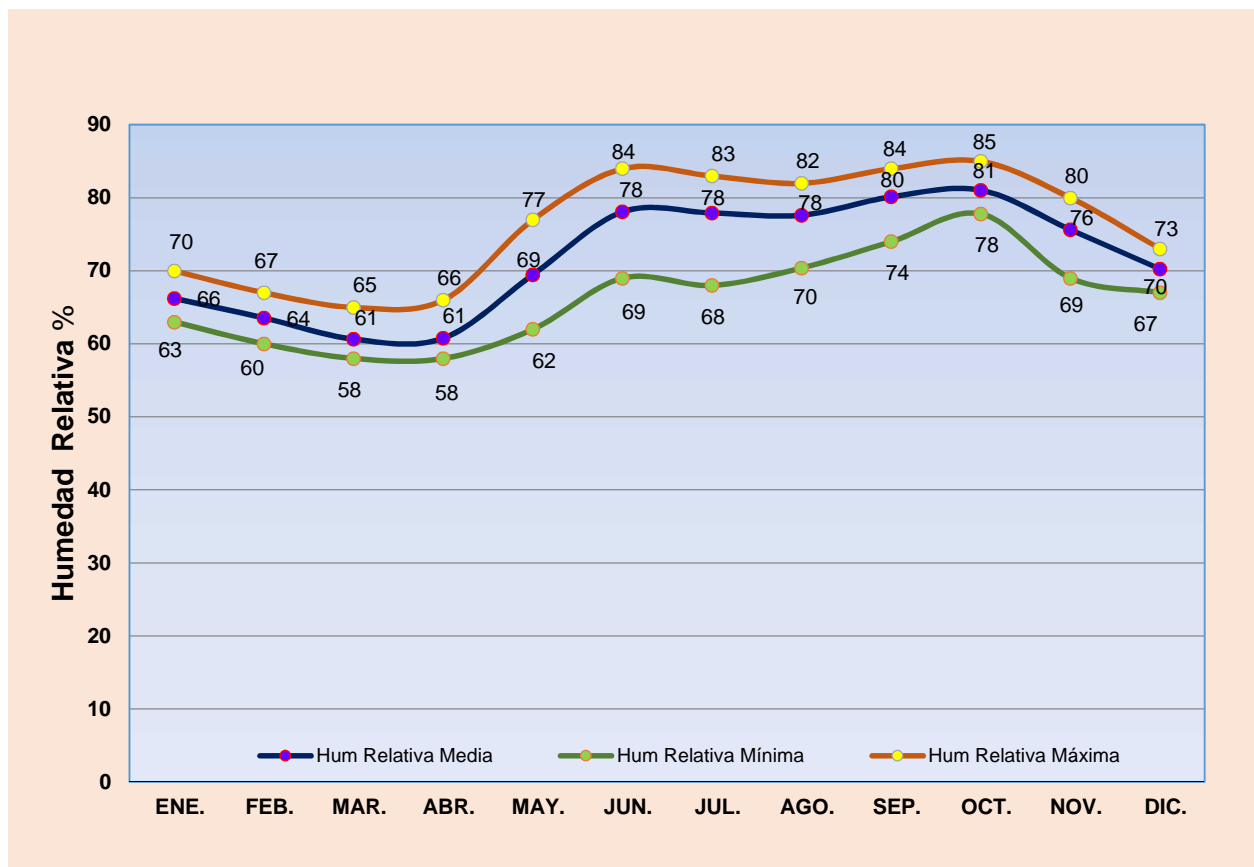
Fuente: Elaboración propia, con datos de INETER

5.2.4. Humedad Relativa

La humedad relativa media anual para el área de estudio es de 77%, los valores mínimos de la humedad relativa en las diferentes localidades dentro de la unidad hidrológica, tienen lugar en el mes de marzo y abril con 61% respectivamente. En el gráfico No.5.2.3 se muestra el comportamiento de los valores anuales de la

humedad relativa media, en los cuales se observa que los valores máximos mensuales se registran en los meses de septiembre y octubre, dichos valores son de 80% y 81% respectivamente. La humedad mínima es de 58% y la máxima es de 85%.

Gráfico No.5.2.3: Humedad Relativa Mensual (Aeropuerto, León)



Fuente: Elaboración propia, con datos de INETER

5.3. Cálculo del Balance Hídrico

5.3.1. Cálculo de la Evapotranspiración

Una vez seleccionado el período para el cálculo de los parámetros climatológicos de precipitación, temperatura, humedad relativa, se determinó la evapotranspiración potencial para el área de estudio. Los datos meteorológicos utilizados corresponden a la estación hidrometeorológica principal (HMP) ubicada en la ciudad de Managua (Aeropuerto Augusto C. Sandino), es una estación meteorológica del tipo principal, con los medios y/o aparatos medidores de los diferentes parámetros atmosféricos. Esta estación posee datos de alta confiabilidad del período comprendido de 2000-2017 equivalentes a 17 años de registros para la evaluación del Balance Hídrico Superficial (Ver cuadro 5.3.1).

Cuadro No. 5.3.1: Estación meteorológica Augusto Cesar Sandino

Estación	Coordenadas		Elevación (msnm)	Código	Tipo
	Lat. Norte	Long. Este			
Aeropuerto Internacional	12°08'36"	86°09'49"	56	69027	HMP

Fuente: INETER

Los datos de precipitación a utilizarse en el cálculo de la evapotranspiración son los calculados con las estadísticas obtenidas de INETER, en el capítulo de datos climáticos. Los valores promedio mensuales areales de las estaciones La primavera, San Isidro de la Cruz verde y El Cambell calculados son los siguientes (Cuadro No. 5.3.2):

Cuadro No. 5.3.2: La precipitación areal promedio mensual

Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic	ANUAL
La Primavera	0.49	0.22	0.52	1.45	11.91	11.12	8.95	9.49	16.49	16.53	3.47	0.78	81.4
San Isidro de La Cruz Verde	1.33	0.39	1.60	14.55	109.16	96.73	75.18	95.93	155.66	128.64	33.30	3.64	716.1
El Cambell (INETER)	0.76	0.18	1.01	5.30	67.98	59.75	47.59	53.95	89.42	84.39	19.09	2.80	432.2
PROMEDIO	2.6	0.8	3.1	21.3	189.0	167.6	131.7	159.4	261.6	229.6	55.9	7.2	1229.72

Fuente: Elaboración propia, con datos de INETER

Para el cálculo de la Evapotranspiración potencial (ETP) se utiliza la fórmula de Thornthwaite. La Evapotranspiración potencial no corregida ETPnc de cada mes está dada por la expresión:

$$ETP_{nc} = \left(\frac{10 * T}{I} \right)^a$$

Donde:

T: temperatura media mensual en °C

I: Índice térmico mensual

$$I = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

El coeficiente (a) se expresa de la siguiente forma:

$$a = 6.75 * 10^{-7} * I^3 - 7.71 * 10^{-5} * I^2 + 1.79 * 10^{-2} * I + 0.4923$$

Para obtener los valores corregidos de la Evapotranspiración potencial ETP se multiplican los valores mensuales ETPnc por un coeficiente de corrección F_c, que

tiene en cuenta la latitud, o sea, la duración de la insolación teórica y del número de días de cada mes; por lo tanto, para cada mes se tendrá:

$$ETP_c = F_c * ETP_{nc}$$

La Evapotranspiración potencial anual será igual a la suma de los valores mensuales, o sea:

$$ETP = \sum_{i=1}^{12} ETP_c$$

En el cuadro No. 5.3.3 se muestra los resultados del cálculo de la Evapotranspiración potencial de la unidad de cuenca de estudio.

Cuadro No. 5.3.3: Evapotranspiración potencial de la unidad cuenca de la subcuenca I de la cuenca sur de Managua.

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL SEGUN THORNTHWAITE													
ESTACION:	AEROPUERTO A. SANDINO							LATITUD :	12°08'36" N				
CODIGO :	69027							LONGITUD :	86°09'49" W				
PERIODO :	2000 -2017							ELEVACION:	56 mm				
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
T	26.6	27.3	28.4	29.6	28.9	27.5	27.2	27.5	27.1	26.8	26.6	26.6	27.34
i	12.6	13.1	13.9	14.8	14.2	13.2	13.0	13.2	12.9	12.7	12.6	12.6	158.76
ETPm	133	148	173	204	185	152	145	151	143	137	133	133	1836
Fc	0.99	0.91	1.03	1.03	1.09	1.07	1.10	1.07	1.02	1.02	0.97	0.98	
ETP	132	134	178	210	201	162	159	161	146	140	129	130	1884

Fuente: Información estadística de INETER y elaboración propia de la tabla

5.3.2. Balance hídrico

Para obtener la Evapotranspiración Real (ETR) que servirá para calcular el Balance Hídrico, se establecen ciertas hipótesis basadas en efectuar al balance mes a mes. Las hipótesis son:

a) Si la precipitación mensual P es superior a ETR y (UH) es la humedad disponible, entonces:

$$ETR = ETP$$

$$UH = P - ETR$$

b) Si la precipitación P es inferior a ETP, entonces la Evapotranspiración Real es la suma de P y parte o de toda la reserva de agua del suelo suponiendo que:

- Si la reserva de humedad del suelo es grande entonces:

$$ETR = ETP$$

Y entonces las reservas del suelo se reducen en:

$$UH = ETP - P$$

- Si la reserva de humedad del suelo es insuficiente para satisfacer la ETP, entonces la ETR será menor a ésta e igual a P , más humedad disponible (ΔH), o sea:

$$\text{ETR} = \text{P} + \text{UH}$$

La suma de la ETR mensual será la Evapotranspiración Real anual.

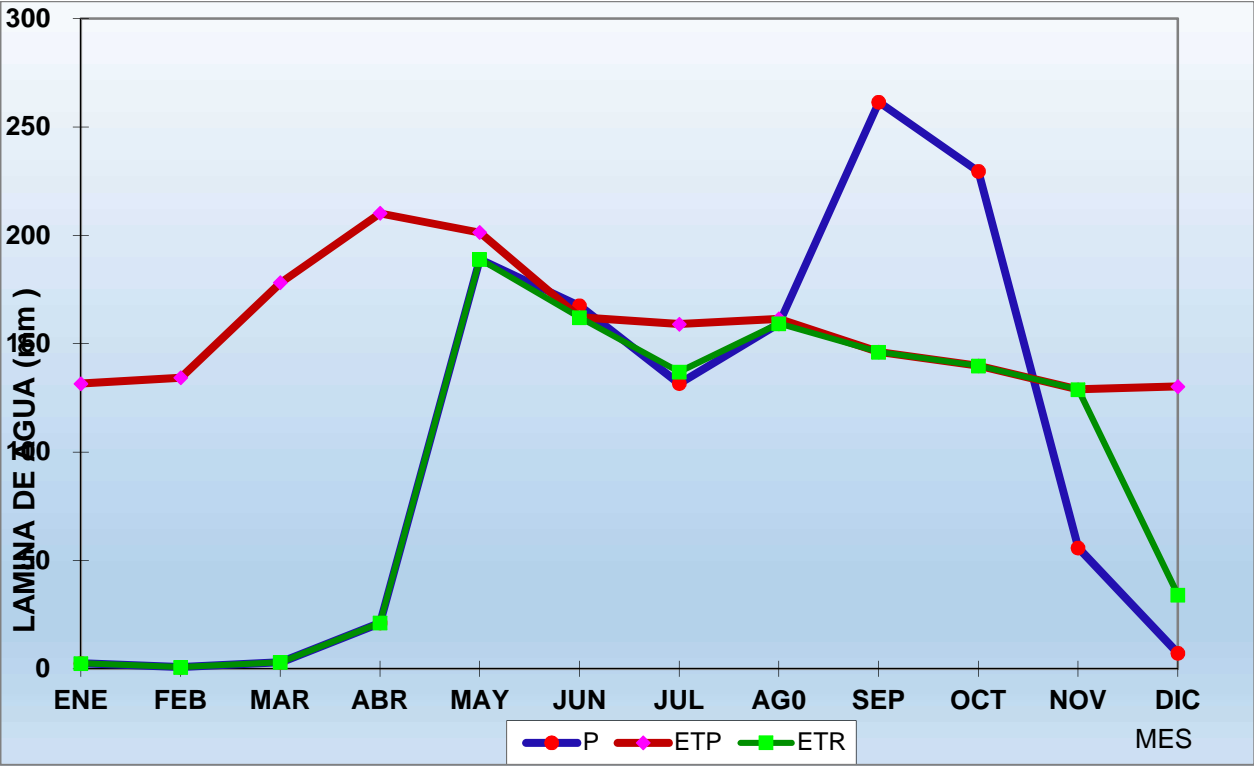
En el cuadro No. 5.3.4 y en gráfico 5.3.1 y 5.3.2 se refleja el comportamiento de la precipitación, la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración real. Se puede observar que entre los meses de mayo a noviembre existe una utilización o disponibilidad de agua, ya que la precipitación no es superada por la evapotranspiración durante ese período. Mientras que entre los meses de diciembre y abril no existe posibilidad de utilización de agua porque la evapotranspiración es superior a la precipitación durante ese período; en este período lo que existe es un déficit de precipitación. Entre mediados de agosto y mediados de noviembre se observa un período de restitución de agua, debido a que la precipitación es superior a la evapotranspiración. Durante este tiempo se incorpora más humedad al suelo.

Cuadro No. 5.3.4: Evapotranspiración Real de la unidad cuenca

CALCULO DEL BALANCE HIDRICO SEGUN THORNTHWAITE														
ESTACION:	AEROPUERTO A. SANDINO							LATITUD :	12°08'36" N					
CODIGO :	69027							LONGITUD :	86°09'49" W					
PERIODO :	2000 -2017							ELEVACION:	56 msnm					
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
ETP	132	134	178	210	201	162	159	161	146	140	129	130	1884	
P	3	1	3	21	189	168	132	159	262	230	56	7	1230	
P-ETP	-129	-134	-175	-189	-12	5	-27	-2	115	90	-73	-123	-654	
ALMA	0	0	0	0	0	5	0	0	100	100	27	0	232	
D.ALMA	0	0	0	0	0	5	-5	0	100	0	-73	-27		
ETR	3	1	3	21	189	162	137	159	146	140	129	34	1125	
EXCESO	0	0	0	0	0	0	0	0	15	90	0	0	105	
DEFICIT	129	134	175	189	12	0	22	2	0	0	0	96	759	

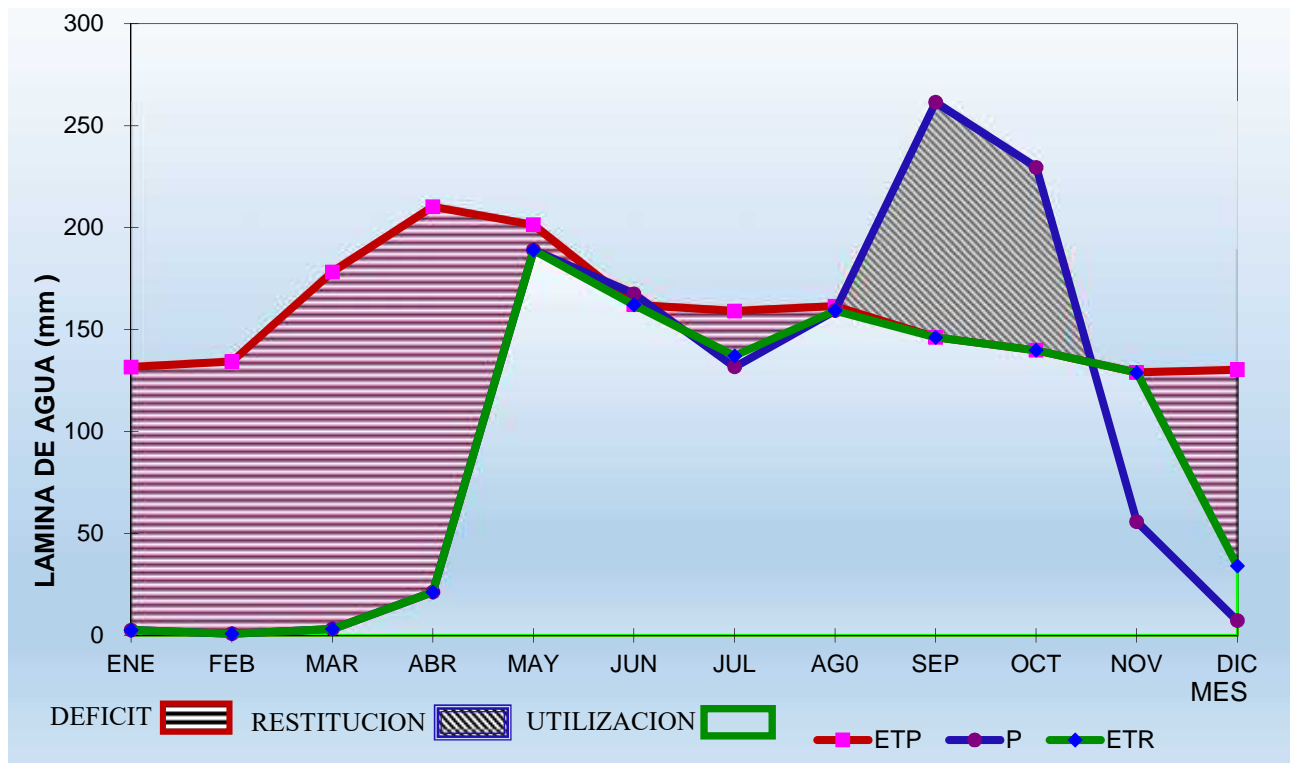
Fuente: Información estadística de INETER y elaboración propia de la tabla

Gráfico No. 5.3.1: Comportamiento de la Precipitación, Evapotranspiración Potencial y Evapotranspiración Real de la unidad de cuenca



Fuente: Información estadística de INETER y elaboración propia del gráfico

Gráfico No. 5.3.2: Balance hídrico superficial de la unidad de cuenca



Fuente: Información estadística de INETER y elaboración propia del gráfico

CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Según los datos estimados en este estudio, se concluye que la unidad hidrográfica ubicada dentro de la subcuenca I de la Cuenca sur de Managua Sauce, tiene un área de 120.01km² y un perímetro 66.26 km. El clima predominante de la zona de estudio es Caliente y Subhúmedo (AW1), que corresponde al clima de Sabana Tropical de Altura. De acuerdo a las estadísticas obtenidas de las estaciones seleccionadas se obtuvo una precipitación media anual de 1229.7 mm. El comportamiento de la temperatura media anual corresponde a los 27.5°C, y la humedad relativa media anual para el área de estudio es de 77%.

Considerando los tramos de ríos de la unidad hidrológica y el área de drenaje se obtiene un valor de densidad de drenaje de 1.22 km/km², el cual se clasifica como un drenaje “bajo”. El Coeficiente de Compacidad o índice de Gravelius de la unidad hidrológica es de 1.69, el cual se clasifica como “oval oblonga a rectangular oblonga”. El tiempo de concentración de 1.59 horas (95.4 minutos) se clasifica como “lento”. La forma de la subcuenca es “ligeramente achatada”.

La pendiente media para la unidad de estudio es de 0.13 m/m (13 %), indicando que el escurrimiento es de “moderado a rápido”. La pendiente media del río es de 0.031 m/m (3.1%), indicando que el escurrimiento se clasifica como “suave”. La Curva Hipsométrica presenta entre las altitudes de 700 msnm y 350 msnm una forma cóncava hacia arriba. Entre las altitudes de 300 msnm y 50 msnm la curva presenta un equilibrio que refleja un relieve natural más homogéneo.

Entre los meses de mayo a noviembre existe una utilización o disponibilidad de agua, ya que la precipitación no es superada por la evapotranspiración durante

este período. Mientras que entre los meses de diciembre y abril no existe posibilidad de utilización de agua porque la evapotranspiración es superior a la precipitación durante este período; en este período lo que existe es un déficit de precipitación. Entre mediados de agosto y mediados de noviembre se observa un período de restitución de agua, debido a que la precipitación es superior a la evapotranspiración. Durante este tiempo se incorpora más humedad al suelo.

6.2 Recomendaciones

La disminución de las fuentes de agua por causa de la deforestación y el mal uso de los suelos, requiere programas permanentes de reforestación, con lo cual se va a garantizar una mayor retención de agua en la superficie y por lo tanto mayores incrementos del proceso de infiltración. Las prácticas productivas inadecuadas deben de ir acompañadas de asistencia técnica para evitar una mayor degradación de los suelos y su impacto en las fuentes de agua.

Para garantizar el monitoreo de buenas prácticas agrícolas y el manejo de los recursos naturales deben ser involucradas las instituciones de gobierno y las organizaciones locales que trabajan en la zona de la unidad de cuenca. El proceso de protección de los recursos naturales debe ser de carácter permanente y por lo tanto incluido en los procesos de planificación.


BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Juan Bautista Sciortino. 2019. Elementos de hidrología. Apuntes Cátedra Hidráulica Aplicada. Modulo Hidrología Ing. Rec. Hídricos. Facultad de Ingeniería. UNSa.
- ✓ Aparicio Mijares, Francisco Javier. 2007. Fundamentos de hidrología de superficie. Limusa, México, D. F. 303 pp.
- ✓ Farías Marina. 2005. "Apuntes de Hidrología Módulo I: Variables hidrológicas". Facultad de Ingeniería. Universidad de Piura.
- ✓ UNESCO.1982. Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur. Montevideo 117 pp.
- ✓ Stowhas L. 2015. Fundamentos de Hidrología Aplicada. Universidad Técnica Federico Santa María. Chile.
- ✓ CEDEX. 2013. "Manual del usuario CHAC" (cálculo hidrometeorológico de aportaciones y crecidas), CEDEX. Madrid, 76pp. Página. Enero.
- ✓ Chow, V.T. 1994. "Hidrología Aplicada". Mc. Graw Hill, Colombia.
- ✓ Máximo Villón Béjar. 2001. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Hidrología Estadística, Cartago Costa Rica.
- ✓ Ceirano E. et al. 1990. Actualización en Técnicas de Simulación en Hidrología. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe.
- ✓ Linsley Kohler Paulus. 1988. Hidrología para ingenieros.
- ✓ Monsalve Sáenz G. 1999. "Hidrología en la Ingeniería". Alfaomega. Colombia.
- ✓ Enriqueta García. 1988. Modificaciones al sistema de Köppen.
- ✓ Sánchez San Román J. 2003. "Tránsito de Hidrogramas". Dpto. de Geología. Universidad de Salamanca. España.


- ✓ Fernando F. 2000. Evaluación de tres modelos Precipitación – Escorrentía (Budyko, Turc-Pire y Pizarro), en la cuenca del río Achibueno, Chile.

ANEXOS


Cuadro 1: Precipitación media mensual de la estación meteorológica de El Campbell, Managua

 INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA													
Estación:	Campbell						Código:	69139					
Departamento:	Managua						Municipio:	Managua					
Latitud:	12°14'08"						Longitud:	86°13'50"					
Años:	2000 - 2017						Elevación:	60 msnm					
Parámetro:	Precipitación (mm)						Tipo:	HMO					
Año	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
2000	3.9	3.5	0.0	0.0	62.8	86.6	68.3	63.7	507.0	85.0	11.0	7.6	899.4
2001	2.8	2.2	0.0	3.9	137.1	91.6	90.8	160.4	350.2	192.0	95.0	0.0	1126.0
2002	0.9	0.6	0.0	0.0	422.1	191.9	114.7	121.9	237.7	132.3	24.1	0.0	1246.2
2003	0.0	0.0	20.8	16.9	157.6	389.2	92.7	84.6	144.0	215.9	126.1	0.6	1248.4
2004	5.5	0.3	0.8	1.8	143.2	88.7	120.6	83.3	125.0	215.1	27.8	0.0	812.1
2005	0.0	0.0	7.1	28.6	330.8	233.0	92.7	176.2	148.3	305.5	81.7	0.0	1403.9
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	108.2	108.7	138.2	60.9	130.7	129.8	33.3	0.0	709.8
2007	0.0	0.0	0.0	12.1	314.8	98.6	146.9	192.3	325.2	352.4	51.5	18.5	1512.3
2008	1.7	0.2	0.5	1.4	258.1	151.7	275.3	173.6	217.1	435.6	1.8	0.5	1517.5
2009	3.3	0.2	2.1	4.9	163.9	198.3	117.9	86.8	100.0	148.2	56.2	15.0	897.1
2010	1.5	0.2	2.1	83.2	202.0	186.3	243.4	303.3	338.6	108.1	43.0	9.6	1521.4
2011	1.0	0.2	2.2	4.8	135.5	182.8	203.3	313.9	271.7	252.9	37.4	16.0	1421.6
2012	2.7	0.4	2.7	10.5	259.3	183.3	72.5	222.1	194.6	178.6	28.1	13.0	1168.0
2013	1.6	0.2	2.3	3.7	77.0	178.0	170.7	103.8	326.2	321.0	65.1	11.4	1261.1
2014	1.6	0.2	1.8	6.4	83.5	43.3	37.9	113.1	296.5	352.8	16.9	6.8	960.8
2015	4.9	0.2	2.1	30.9	45.6	185.0	90.8	49.3	210.3	138.4	51.9	6.6	816.1
2016	2.4	0.2	2.3	35.4	132.3	165.3	89.8	116.8	166.0	227.8	116.1	18.2	1072.7
2017	3.0	0.2	2.2	13.3	273.5	144.2	148.6	198.3	260.7	313.9	61.5	12.3	1431.8
Suma	36.8	8.9	49.1	257.9	3307.4	2906.6	2315.1	2624.4	4349.9	4105.4	928.6	136.1	21026.2
Promedio	2.0	0.5	2.7	14.3	183.7	161.5	128.6	145.8	241.7	228.1	51.6	7.6	1168.1
Máximo	5.5	3.5	20.8	83.1707	422.1	389.2	275.3	313.9	507	435.6	126.1	18.5	1521.4
Minima	0.0	0.0	0.0	0.0	45.6	43.3	37.9	49.3	100.0	85.0	1.8	0.0	709.8

Cuadro 2: Precipitación media mensual de la estación meteorológica de San Isidro de la Cruz Verde, Managua

 INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA														
Estación:	San Isidro de la Cruz Verde							Código:	69048					
Departamento:	Managua							Municipio:	Managua					
Latitud:	12°05'06"							Longitud:	86°15'36"					
Años:	2000 - 2017							Elevación:	290 msnm					
Parámetro:	Precipitación (mm)							Tipo:	PV					
Año	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Total	
2000	0.0	0.0	0.0	6.6	96.7	258.5	138.0	123.6	546.1	99.8	26.9	0.0	1296.2	
2001	0.0	0.0	0.0	0.0	125.5	190.4	155.3	272.5	657.3	261.1	318.6	0.0	1980.7	
2002	0.0	0.0	0.0	0.0	572.7	142.4	166.0	72.9	199.6	117.9	31.4	0.4	1303.3	
2003	1.0	0.0	24.2	104.7	179.9	217.9	94.2	94.6	133.9	153.1	93.4	3.8	1100.7	
2004	0.0	0.0	0.0	0.0	162.5	134.0	128.3	55.1	181.7	107.6	40.8	0.0	810.0	
2005	0.0	0.0	18.2	52.0	211.7	257.5	82.4	189.0	214.0	199.3	0.0	5.5	1229.6	
2006	7.4	0.0	0.0	0.0	56.6	223.6	227.0	98.7	179.5	196.8	15.0	0.0	1004.6	
2007	0.0	0.0	0.0	13.5	114.1	141.8	56.6	323.9	176.4	248.2	56.4	18.9	1149.8	
2008	8.8	0.0	0.0	13.6	264.8	28.0	259.7	225.5	298.1	505.1	0.5	0.0	1604.1	
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	211.5	169.3	47.4	60.9	64.6	218.3	58.7	8.5	839.2	
2010	0.0	0.0	0.0	149.2	307.8	184.5	191.1	395.4	413.0	53.4	21.6	0.0	1716.0	
2011	2.6	1.9	1.2	4.9	152.1	178.6	207.4	303.4	283.7	288.0	41.4	13.0	1478.4	
2012	2.7	2.2	1.5	12.6	303.9	183.1	67.0	235.7	191.7	196.5	24.4	13.8	1235.1	
2013	2.5	1.7	1.2	4.7	84.7	187.4	172.7	106.3	355.5	316.8	67.7	10.3	1311.3	
2014	2.5	1.6	0.9	8.2	100.1	45.7	40.3	109.7	329.7	382.7	16.6	6.7	1044.7	
2015	5.6	1.4	1.1	34.9	51.8	197.0	104.1	42.5	224.4	137.5	52.8	6.6	859.6	
2016	3.9	1.7	1.2	41.5	148.9	166.0	95.8	123.0	177.7	257.7	124.5	16.4	1158.3	
2017	4.9	1.7	1.1	13.1	301.6	148.8	140.8	196.8	288.5	322.4	60.9	11.3	1492.0	
Suma	42.0	12.2	50.6	459.4	3447.0	3054.6	2374.1	3029.4	4915.5	4062.2	1051.5	115.1	22613.6	
Promedio	2.3	0.7	2.8	25.5	191.5	169.7	131.9	168.3	273.1	225.7	58.4	6.4	1256.3	
Máximo	8.8	2.2	24.2	149.2	572.7	258.5	259.7	395.4	657.3	505.1	318.6	18.9	1980.7	
Mínima	0	0	0	0	51.8	28.0	40.3	42.5	64.6	53.4	0	0	810	

Cuadro 3: Precipitación media mensual de la estación meteorológica de La Primavera, Managua

 INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA													
Estación:		La Primavera						Código:		69046			
Departamento		Managua						Municipio:		Ticuanatepe			
Latitud:		12°01'08"						Longitud:		86°14'55"			
Años:		2000 - 2017						Elevación:		600 msnm			
Parámetro:		Precipitación (mm)						Tipo:		PV			
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
2000	23.5	1.7	0.0	4.0	111.9	177.3	107.2	120.1	663.5	160.6	77.2	16.1	1463.1
2001	1.5	10.9	0.0	0.0	193.4	136.5	201.1	179.3	345.0	159.8	125.7	5.1	1358.3
2002	15.7	11.5	1.5	3.5	693.0	299.6	213.6	132.9	450.4	239.1	64.9	6.2	2131.9
2003	0.0	4.7	21.6	18.1	160.0	417.7	164.8	163.9	171.8	376.6	57.8	38.1	1595.1
2004	32.0	4.5	12.6	96.3	299.7	255.4	352.0	100.2	272.2	250.5	94.6	6.7	1776.7
2005	1.3	3.0	99.3	111.7	392.9	403.0	306.3	301.2	519.9	700.7	110.7	14.3	2964.3
2006	47.6	12.4	11.7	0.0	101.5	321.4	190.6	97.5	147.5	282.0	47.9	14.5	1274.6
2007	4.8	3.4	0.0	21.8	280.2	168.7	139.9	327.8	280.6	555.2	76.5	55.5	1914.4
2008	19.9	0.0	11.0	23.6	369.0	223.0	286.2	259.5	436.6	732.8	10.2	11.6	2383.4
2009	4.8	0.3	0.0	0.0	258.7	227.7	126.9	96.0	78.8	273.6	101.1	16.7	1184.6
2010	0.0	3.0	0.0	81.8	297.8	236.2	295.9	500.9	602.7	146.5	87.3	5.2	2257.3
2011	2.2	3.4	4.3	10.1	139.7	188.9	222.4	323.1	330.3	286.1	44.1	16.9	1571.6
2012	4.4	4.6	5.3	24.1	304.9	186.1	78.3	234.7	200.6	205.0	28.5	13.3	1289.9
2013	2.4	3.2	4.5	7.2	78.9	192.1	173.2	104.7	360.9	346.6	65.0	11.6	1350.4
2014	2.4	3.0	3.5	9.7	97.5	47.0	38.0	112.0	334.0	415.7	17.1	7.9	1087.7
2015	2.4	2.5	4.0	41.2	53.9	200.0	94.7	42.6	233.9	157.4	57.0	7.6	897.2
2016	3.8	3.3	4.4	51.5	153.3	174.3	91.4	116.7	192.5	303.4	120.6	19.3	1234.4
2017	8.2	3.2	4.2	16.3	300.6	147.7	140.6	204.2	315.2	359.4	61.7	13.0	1574.4
Suma	176.9	78.6	187.9	520.9	4286.8	4002.6	3223.1	3417.2	5936.5	5951.1	1248.0	279.6	29309.3
Promedio	9.8	4.4	10.4	28.9	238.2	222.4	179.1	189.8	329.8	330.6	69.3	15.5	1628.3
Máximo	47.6	12.4	99.3	111.7	693.0	417.7	352.0	500.9	663.5	732.8	125.7	55.5	2964.3
Mínima	0.0	0.0	0.0	0.0	53.9	47.0	38.0	42.6	78.8	146.5	10.2	5.1	897.2

Cuadro 4: Humedad relativa media mensual de la estación meteorológica de Managua

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA														
Estación:	AEROPUERTO AUGUSTO CESAR SANDINO							Código:	69027					
Departamento:	MANAGUA							Municipio:	MANAGUA					
Latitud:	12°08'36"							Longitud:	86°09'49"					
Años:	1957-2017							Elevación:	56 msnm					
Parámetro:	Humedad Relativa Media (%)							Tipo:	HMP					
Año	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Media	
2000	65	61	64	64	70	76	76	76	84	80	75	68	72	
2001	64	64	60	60	67	75	78	77	81	81	74	69	71	
2002	66	64	59	58	69	79	79	75	81	80	76	71	71	
2003	63	62	65	62	70	83	79	79	79	82	78	70	73	
2004	69	65	61	60	71	78	80	80	81	81	75	68	72	
2005	63	60	61	60	73	84	80	81	83	85	80	73	74	
2006	70	65	62	61	69	79	79	77	77	82	78	72	73	
2007	67	64	59	64	70	77	79	80	81	83	75	71	73	
2008	67	65	62	59	68	77	79	78	81	83	73	69	72	
2009	69	64	60	60	68	77	77	77	74	78	77	71	71	
2010	65	64	61	66	77	82	83	82	83	78	76	67	74	
2011	67	64	60	60	71	80	82	79	81	82	76	72	73	
2012	69	67	62	64	74	79	77	79	79	80	69	69	72	
2013	67	64	59	59	65	77	79	77	82	80	78	72	72	
2014	67	63	58	58	62	69	68	76	81	83	76	68	69	
2015	63	60	59	59	64	74	73	70	75	78	74	69	68	
2016	65	65	60	59	67	78	74	74	78	81	74	72	71	
2017	66	63	60	60	76	81	81	80	81	83	77	73	73	
Suma	1192.0	1143.8	1091.5	1093.9	1250.6	1405.5	1402.9	1397.2	1442.5	1458.9	1361.3	1264.4	1292.0	
Media	66.2	63.5	60.6	60.8	69.5	78.1	77.9	77.6	80.1	81.0	75.6	70.2	71.8	
Max	70.0	67.0	65.0	66.0	77.0	84.0	83.0	82.0	84.0	85.0	80.0	73.0	73.7	
Min	63.0	60.0	58.0	58.0	62.0	69.0	68.0	70.4	74.0	77.8	69.0	67.0	68.3	

Cuadro 5: Temperatura media mensual de la estación meteorológica de Managua

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA													
Estación:		AEROPUERTO INTERN. AUGUSTO CESAR SANDINO						Código:		69027			
Departamento:		MANAGUA						Municipio:		MANAGUA			
Latitud:		12°08'36"						Longitud:		86°09'49"			
Años:		1957-2017						Elevación:		56 msnm			
Parámetro:		Temperatura Media Anual (C°)						Tipo:		HMP			
Año	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Media
2000	25.5	26.5	27.3	28.7	28.3	27.4	27.0	27.5	26.4	26.3	26.6	26.4	27.0
2001	26.2	26.6	27.7	29.2	29.2	27.3	26.9	27.5	26.6	27.0	26.4	27.2	27.3
2002	26.9	27.1	28.3	29.1	28.5	27.5	27.0	27.4	27.1	26.7	26.3	26.7	27.4
2003	26.9	28.0	28.5	29.6	28.8	26.8	26.9	27.0	27.3	26.9	26.8	26.3	27.5
2004	26.3	27.1	28.3	29.4	28.3	27.2	26.7	27.3	27.1	27.0	26.5	26.5	27.3
2005	26.6	27.0	29.5	30.1	28.5	27.0	27.4	27.1	26.7	26.0	26.3	26.4	27.4
2006	26.4	26.7	27.9	29.4	29.2	27.6	27.5	28.0	27.7	27.4	26.4	27.2	27.6
2007	27.1	27.8	29.1	29.6	28.8	27.8	27.1	27.0	26.6	26.2	26.4	26.2	27.5
2008	26.4	27.0	28.1	29.3	28.6	27.1	26.7	27.0	26.9	26.3	26.4	26.4	27.2
2009	26.6	27.0	27.8	29.3	29.0	27.5	27.3	27.4	28.1	27.4	26.8	27.1	27.6
2010	27.0	28.5	29.0	29.7	28.0	27.3	26.9	26.9	26.6	27.2	26.0	25.1	27.4
2011	26.5	27.5	28.0	29.3	28.8	27.3	26.7	27.5	27.1	26.3	26.4	26.1	27.3
2012	25.8	26.8	28.0	29.1	28.4	27.7	27.0	27.4	27.0	26.8	26.7	27.1	27.3
2013	27.2	27.6	28.6	30.1	29.4	27.6	26.9	27.3	26.8	27.0	26.8	26.6	27.7
2014	26.6	27.3	28.8	30.0	30.0	28.8	28.8	27.8	27.2	26.7	27.0	26.9	28.0
2015	27.2	27.7	28.4	30.0	29.4	28.4	28.0	28.8	28.4	28.0	27.7	28.4	28.4
2016	27.7	28.2	29.6	30.5	30.0	27.4	27.7	28.3	27.5	27.1	27.0	26.7	28.1
2017	26.6	27.5	28.4	30.0	28.4	27.3	27.0	27.4	27.3	26.8	26.9	26.2	27.5
Suma	479.5	491.9	511.3	532.4	519.6	495.1	489.4	494.5	488.4	483.1	479.5	479.5	495.3
Media	26.6	27.3	28.4	29.6	28.9	27.5	27.2	27.5	27.1	26.8	26.6	26.6	27.5
Max	27.7	28.5	29.6	30.5	30.0	28.8	28.8	28.8	28.4	28.0	27.7	28.4	28.4
Min	25.5	26.5	27.3	28.7	28.0	26.8	26.7	26.9	26.4	26.0	26.0	25.1	27.0