



UNIVERSIDAD NACIONAL INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LA SUBCUENCA RÍO OJOCUAPA

Para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado por

Br. Arliet de los Angeles Rizo Cuba

Br. Carlos Andrés Blandón Ríos

Br. Manuel Ernesto Sobalvarro Carrillo

Tutor

M.Sc. Ing. Marco Palma Cerrato

Managua, Nicaragua

Febrero 2021

RESUMEN

Se presente el estudio se realiza dentro del contexto de trabajo de tesis para optar al título de Ingeniero Civil. La finalidad del mismo fue el estimar el Balance Hidrológico en la subcuenca Ojocuapa para contabilizar los aportes y salidas de la subcuenca. Los balances hídricos a nivel mensual en Nicaragua son muy poco estudiados, y con este trabajo se pretendió desarrollar una metodología para estimar los volúmenes de agua en la cuenca hidrográfica de Ojocuapa, que dispone de poca información hidrométrica (mediciones de caudales). Este estudio servirá de consulta a los estudiantes e ingenieros para estudios posteriores; así como a los tomadores de decisiones de los diferentes actores que trabajan en la zona de la unidad de cuenca.

Según los datos estimados en este estudio, se concluye que la unidad hidrográfica del Río Ojocuapa, tiene un área de 599.63 km² y un perímetro 180.36 km. El tipo de clima que predomina es el caliente y subhúmedo. De acuerdo a las estadísticas obtenidas de las estaciones seleccionadas se obtuvo una precipitación media anual arial de 1433.9 mm. El comportamiento de la temperatura media anual corresponde a los 27 °C. La humedad relativa media anual para el área de estudio es de 77%. La altitud media de la unidad de cuenca tiene un valor 190.76 msnm. En la subcuenca se encuentran elevaciones máximas de 935 msnm y mínimas de 30 msnm respectivamente, la longitud del cauce principal es de 62.53 km con una pendiente media del río de 0.0145 m/m (1.45%), indicando que el escurrimiento se clasifica como suave. La pendiente media para la unidad de estudio es de 0.07 m/m (7 %), la cual es considerada de suave a moderada.

En el período comprendido entre el mes de noviembre y el mes de mayo los valores de la evapotranspiración son mayores que los de la precipitación, lo cual genera un déficit de agua, mientras que entre los meses de junio y octubre la precipitación es mayor que la evapotranspiración, lo cual genera valores positivos de agua.

Contenido

CAPITULO I: GENERALIDADES.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. ANTECEDENTES.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	5
1.5.1. Macro localización.....	5
1.5.2. Micro localización.....	6
CAPITULO II: CARACTERISTICAS DEL AREA DE ESTUDIO DE ESTUDIO	8
2.1. INFORMACIÓN GENERAL SOBRE LA ZONA DE ESTUDIO	8
2.1.1. Ubicación y límites del municipio.....	8
2.1.2. Población	8
2.1.3. Educación	9
2.1.4. Salud.....	9
2.1.5. Agua Potable.....	9
2.1.6. Vivienda	10
2.1.7. Telecomunicaciones.....	10
2.1.8. Energía Domiciliar	11
2.1.9. Transporte.....	11
2.1.10. Economía del municipio	11
2.2. CARACTERÍSTICAS NATURALES.....	12
2.2.1. Topografía.....	12
2.2.2. Flora y fauna	12
2.2.3. Ríos de la Jurisdicción.....	12
2.2.4. Clima de la zona.....	13
2.2.5. Suelos.....	14
CAPITULO III: MARCO TEORICO.....	15
3.1. EL CICLO HIDROLÓGICO, LA CUENCA HIDROGRÁFICA Y EL CLIMA	15
3.1.1. Conceptos y definiciones.....	15

3.1.2. El Ciclo hidrológico.....	19
3.1.3. La cuenca hidrográfica	23
3.1.4. Tipos de cuencas hidrográficas	26
3.1.5. Clasificación climática de Köppen	29
3.2. FISIOGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA DE LA UNIDAD DE CUENCA	33
3.2.1. Área de la subcuenca.....	33
3.2.2. Coeficiente de Compacidad (Kc)	36
3.2.3. Rectángulo equivalente	37
3.2.4. Factor de Forma.....	38
3.2.5 Relieve	38
3.2.6. Elevaciones.....	39
3.2.7. Pendiente media	39
3.2.8. Curva hipsométrica	40
3.2.9. Polígonos de Frecuencia Altitudes	41
3.2.10. Red de Drenaje	41
3.2.11. Densidad de Drenaje.....	42
3.2.12. Longitud del cauce Principal.....	43
3.2.13. Numero de escurrimiento	44
3.2.14. Pendiente media del rio principal.....	44
3.2.15. Tiempo de concentración	45
CAPITULO IV: METODOLOGIA	47
4.1. Análisis de la información	47
4.2. Caracterización de los parámetros morfométricos	47
4.3. Caracterización climática de la zona de estudio	48
4.4. Estimación del balance hídrico.....	48
4.4.1. Estimación de la Evapotranspiración Potencial	48
4.4.2. Balance hídrico.....	48
CAPITULO V: CALCULOS Y RESULTADOS	51
5.1. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS MORFOMETRICOS DE LA UNIDAD DE CUENCA	51
5.1.1. Area y perímetro.....	51
5.1.2. Densidad de Drenaje.....	51
5.1.3. Indice de pendiente	52

5.1.4. Pendiente Media del Río	53
5.1.5. Tiempo de Concentración	54
5.1.6. Índice de Gravelius o Compacidad	55
5.1.7. Factor de Forma.....	56
5.1.8. Curva Hipsométrica	56
5.1.9. Polígonos de Frecuencia Altitudes	57
5.1.10. Perfil Longitudinal del río	58
5.1.11. Numero de Escurrimiento	58
5.1.12. Rectángulo equivalente	59
5.1.13. Altitud media de la cuenca.	60
5.2. Caracterización climática de la zona de estudio	61
5.2.1 Clasificación de Köppen	61
5.2.2. Precipitación.....	62
5.2.3. Temperatura.....	65
5.2.4. Humedad Relativa.....	66
5.3. CALCULO DEL BALANCE HÍDRICO	67
5.3.1. Cálculo de la Evapotranspiración	67
5.3.2 Cálculo del balance hídrico	71
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
6.1. CONCLUSIONES	73
6.2. RECOMENDACIONES	75
BIBLIOGRAFIA	76
ANEXOS	77

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

El aumento del uso del agua a escala mundial para satisfacer las demandas del ser humano, plantea la necesidad de estudiar y valorar la calidad y volúmenes disponibles de este recurso, el cual se agota cada vez más. De ahí la importancia de implementar procesos de gestión integrada, manejo y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, tales como: agua, suelo y los ecosistemas vinculantes, con el fin de incrementar el bienestar social y económico de la población de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales.

La realización de los estudios de balance hídrico con un enfoque integrador son vital importancia para la implementación de políticas de planificación sobre el uso las fuentes de agua disponibles en una región determinada, ya que a partir de esta se puede definir su uso y manejo para los diferentes propósitos (riego, abastecimiento de agua, potenciales hidroeléctricos, etc.).

La valoración del recurso hídrico, su disponibilidad y aprovechamiento son aspectos importantes a evaluar para enfrentar las diversas demandas actuales y futuras, así como las implicaciones ambientales con respecto a la sostenibilidad de este recurso. Además, con estos estudios se obtienen las herramientas necesarias para elaborar los instrumentos de la gestión y la planificación territorial del recurso hídrico en la unidad de cuenca del Río Ojocuapa.

Con la realización del balance hidrológico del Río Ojocuapa, se pretende evaluar la variación espacial y temporal de las reservas de agua de esta unidad de cuenca. Esto debe incluir las entradas y salidas superficiales, que nos permite realizar un análisis de las condiciones reales del recurso hídrico en la esta unidad de cuenca.

Para la realización de esta investigación para para valorar los resultados del balance hidrológico superficial, se ha apoyado en información existente en el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales.

1.2. ANTECEDENTES

Una de las herramientas más usadas para el estudio de las cuencas hidrográficas ha sido la del balance hídrico, a través del cual se cuantifican las entradas y salidas de flujos de agua en el área de estudio. En Nicaragua se han realizado diferentes estudios de balance hídrico; siendo el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales la institución que mayormente ha realizado dichos estudios. También se han realizado este tipo de estudio en las universidades que tienen Carreras relacionadas con los recursos naturales.

En Nicaragua existen diversos estudios de cuencas y sub cuencas usando el balance hídrico superficial. Estos estudios se encuentran en INETER, Universidades y demás instituciones de investigación. Para la realización de estos estudios se requiere de datos estadísticos de clima (Precipitación, evaporación, evapotranspiración, humedad, temperatura, escorrentía).

1.3. JUSTIFICACIÓN

Para la toma de decisiones de las instituciones públicas y privadas se hace necesario determinar el estado de la oferta y disponibilidad del recurso hídrico de una cuenca determinada, considerando la distribución espacial y temporal, que permita establecer lineamientos a seguir para su aprovechamiento sostenible, y que sirva de base a los usuarios del recurso y planificadores en la implementación de proyectos de abastecimiento de agua.

En el marco de consideraciones relacionadas a los fenómenos de variabilidad climática y el cambio climático, se observa que el comportamiento espacial y temporal de la precipitación, temperatura y caudal, vienen sufriendo alteración en su régimen que hacen prever la probabilidad de ocurrencias de eventos extremos, asociados a una deficiencia o exceso de agua. En ambos casos, es importante cuantificar el recurso hídrico superficial, para buscar los equilibrios entre las necesidades antrópica y del ecosistema natural.

La valoración de los diferentes parámetros hidrológicos de la cuenca permite conocer la importancia y valor de cada uno de ellos en el balance de entrada y salida de agua a la misma (Recarga y Descarga).

Este trabajo de investigación servirá como una herramienta para el manejo y la planificación del uso del recurso hídrico de la unidad de cuenca del Río Ojocuapa; aportando elementos técnicos con el propósito de contribuir a la conservación, protección y manejo de la unidad de cuenca; considerando las condiciones económicas, naturales y productivas de la zona de estudio.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Realizar el Balance hidrológico de la unidad de cuenca del Río Ojocuapa, 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

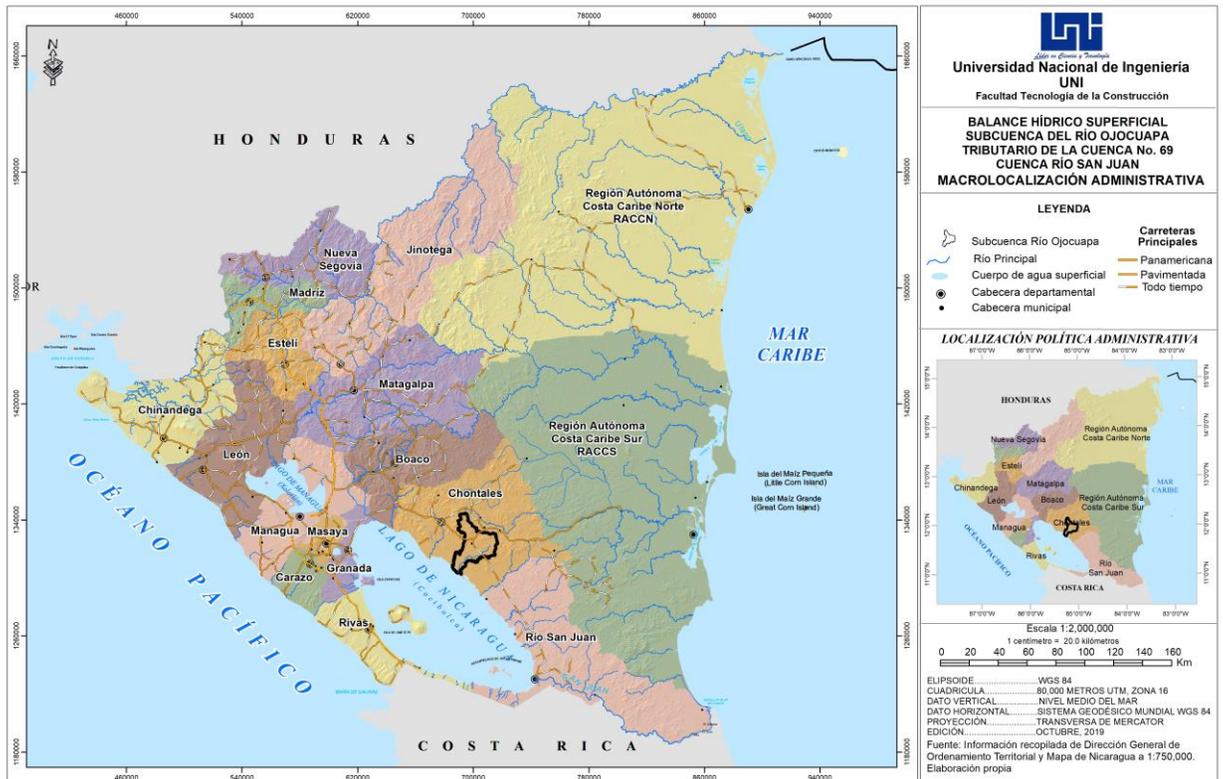
- ✓ Caracterizar los parámetros morfométricos de la unidad de cuenca.
- ✓ Caracterizar los parámetros climáticos de la zona de estudio.
- ✓ Calcular el Balance Hídrico superficial de la subcuenca del Río Ojocuapa.

1.5. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.5.1. Macro localización

La subcuenca del Río Ojocuapa tiene un área de 599.63 km² y un perímetro de 180.36 km. Es un tributario de importancia de la cuenca No. 69 Río San Juan. Contiene a los municipios de Acoyapa con 363.88 km² lo que representa el 26.38 % del municipio de Acoyapa que tiene un área municipal de 1,376.39 km². Así mismo contiene al municipio de San Pedro del Lóvago con 127.33 km² (27.64 %); el municipio tiene 460.59 km². Al Municipio de Santo Tomás lo contiene con 100.70 km² (20.31%) del área municipal que tiene 495.76 km². Finalmente, contiene en menores áreas a los municipios de Villa Sandino 1.9 km², La Libertad con 5.33 km² y Juigalpa con 0.40 km². La subcuenca del Río Ojocuapa se encuentra delimitada a nivel 6 por la metodología Pfafstetter con código 69-952536. En la figura No. 1.1 se presenta la Macrolocalización de esta unidad de cuenca.

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

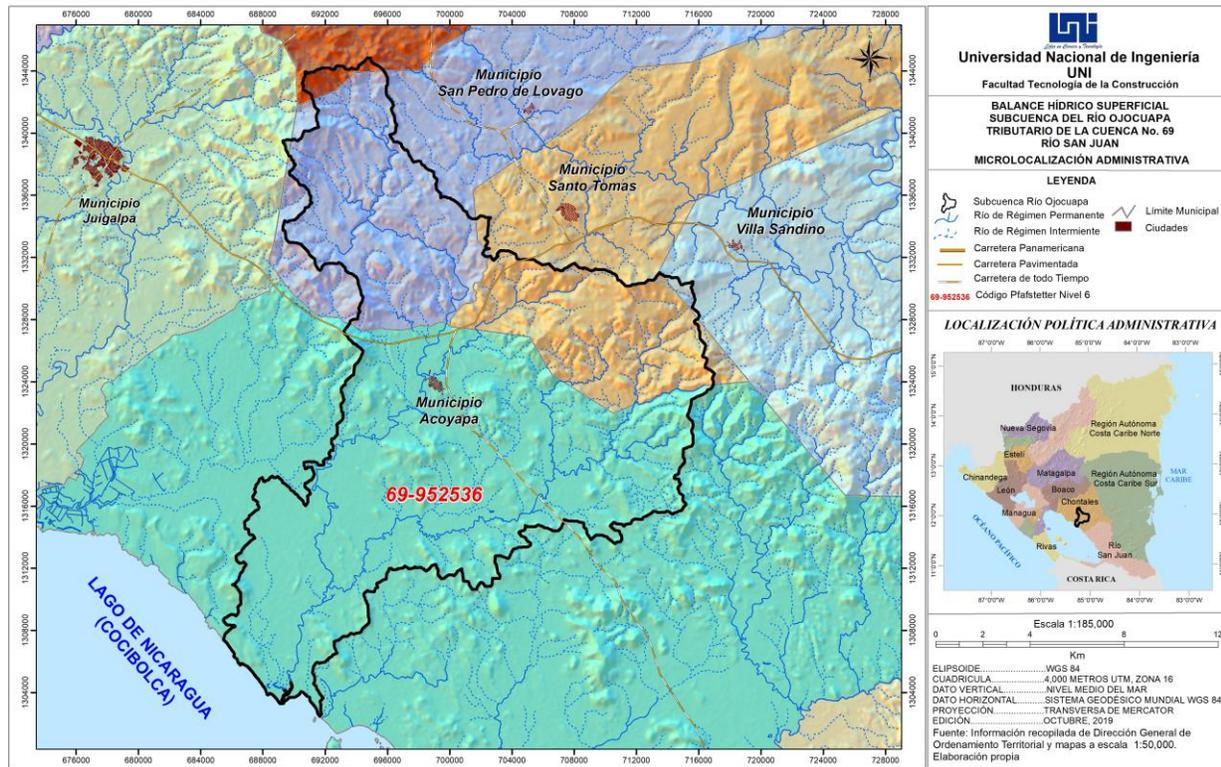


Fuente: INETER

1.5.2. Micro localización

En la Figura No. 1.2 se presenta la micro localización de la unidad hidrográfica en estudio Río Ojocuapa.

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



Fuente: INETER

CAPITULO II: CARACTERISTICAS DEL AREA DE ESTUDIO DE ESTUDIO

2.1. INFORMACIÓN GENERAL SOBRE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1.1. Ubicación y límites del municipio

El Municipio de Acoyapa, se encuentra ubicado al Sur-Oeste del departamento de Chontales, a 170 Km. de Managua, capital de la República entre las coordenadas 11° 58' latitud norte y 85° 10' longitud oeste. Limita al norte con los Municipios de San Pedro de Lóvago y Juigalpa; al sur con el municipio de Morrito; al este con el Municipio de Santo Tomás y Villa Sandino y al oeste con el Gran Lago de Nicaragua. La extensión territorial es de 1,376.39 km². El municipio de Acoyapa ocupa el segundo lugar por su extensión en el departamento de Chontales.

2.1.2. Población

La población es de 19,820 habitantes, según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, INEC, con una tasa anual de crecimiento de 3.09 %. Del total de la población, el 49% vive en la zona urbana y el 51% en el área rural, lo que significa que para la zona urbana se tiene una población de 10,108 y en la zona rural 9,712 habitantes. Esta población, está conformada mayoritariamente por habitantes mayores de 15 años, las que representan al 51.5% del total de la misma. La población rural en su mayoría es dispersa distribuida en un total de nueve comarcas, con una población aproximada de 9,307 habitantes. La población urbana es concentrada con aproximadamente 7,575 habitantes. Este municipio ocupa el segundo lugar en cantidad de población y en Tasa Anual de Crecimiento (TAC) dentro del departamento de Chontales. Atendiendo a la estructura poblacional según sexo, se tiene que el 50.47% (8,522 hab.) está representado por mujeres y el 49.53 % (8,360 hab.) son hombres.

2.1.3. Educación

El estado físico de las escuelas o centros de estudio urbanos es regular, en lo que respecta a las escuelas rurales multigrados el estado físico es malo, las que en realidad no cuentan con las condiciones adecuadas y funcionan en espacios abiertos. Cabe señalar que del total de escuelas multigrados, existen 7 que funcionan en viviendas privadas. Hacen falta de medios de movilización para supervisión de 50 escuelas y se necesita de personal administrativo.

2.1.4. Salud

Según el Ministerio de Salud - SILAIS, el municipio de Acoyapa cuenta con 7 unidades de salud, distribuidas en un Centro de Salud sin camas; ubicado en el área urbana y seis puestos médicos ubicados en el área rural (Pikín Guerrero, La Palma, Empalme de Lóvago, El Zapote, El Vecindario y San Felipe). El personal de salud del municipio es de 2 médicos generales, 9 auxiliares de enfermería y 1 odontólogo, 3 enfermeras técnicas, 1 responsable de enfermedades vectoriales, 1 responsable de higiene y epidemiología y responsable de estadísticas, 1 responsable de farmacia. De esto se tiene un promedio de 1 médico por cada 8,441 habitantes, 1 odontólogo por 16,882 habitantes, 1 auxiliar por cada 1,875.77 habitantes y 1 enfermera por cada 5,627 habitantes. El índice de desnutrición reportado por el MINSa es de 265 niños por año. - No existen de medios para movilizarse hasta las áreas rurales y brindar atención a esta población, no se cuenta con suficiente recurso humano para atender el área rural. - Falta de abastecimiento de medicinas.

2.1.5. Agua Potable

Las conexiones domiciliarias de agua potable, corresponden al sistema de abastecimiento, administrado por la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL). Por su parte ENACAL, reportó que en el municipio, un total de 1,184 viviendas cuentan con servicio de agua potable a través conexiones domiciliarias, todas ubicadas en las áreas urbanas y que corresponden a un 98.9% de las mismas, quedando desabastecidas de este vital

líquido el 1.1 % (12 viviendas). Para el caso de la zona rural no existen redes ni conexiones domiciliarias, abasteciéndose ésta a través de pozo, ríos y por medio de puestos de agua. El nivel de cobertura para todo el municipio es de 21.8% y tomando en consideración de que en el municipio habitan 6.3 personas por vivienda, nos da una población servida de 7,459 habitantes. En relación a la eliminación de excretas, mayoritariamente se hace uso de letrinas corrientes en un 90% del total de viviendas urbanas (1076 viviendas), no así en el área rural, donde se reportó que el uso de letrinas es de aproximadamente un 30% del total de viviendas rurales (395 viviendas).

2.1.6. Vivienda

De acuerdo al censo elaborado por INEC en abril de 1995, el Municipio de Acoyapa cuenta con un total de 2,649 unidades habitacionales, de las cuales el 47.6% corresponden al área urbana y el 52.3% al área rural. En cada vivienda del municipio habitan 6.34 personas en promedio, lo que nos da un índice de hacinamiento bastante alto, tomando en consideración de que la vivienda en términos generales es muy pequeña. Este índice de ocupación en el municipio es un poco más alto que el del departamento y del país. El déficit de viviendas por el estado físico de las construcciones en el municipio es considerable, tomando en cuenta que muchas de estas viviendas son construidas de ripio, taquezal, adobe, concreto, sobre todo en el área rural, existiendo además construcciones modernas y en buen estado físico mayoritariamente en el área urbana.

2.1.7. Telecomunicaciones

El municipio de Acoyapa cuenta con servicio público de Teléfonos y Correos, cuya administración está a cargo de la Empresa Nicaragüense de Telecomunicaciones (ENITEL). Según esta institución, el servicio que se presta es a través de magneto, cuenta con un total de 364 abonados, lo que nos arroja un promedio de 1 teléfono por cada 20.81 habitantes del área urbana. También se cuenta en el municipio con servicio de telefonía pública, telégrafos y correos y agencia postal

2.1.8. Energía Domiciliar

La infraestructura de Energía Eléctrica en general, comprende circuitos independientes para el servicio domiciliar y para alumbrado público. El municipio de Acoyapa cuenta con servicio domiciliar de Energía Eléctrica, cuya administración está a cargo de la Empresa Nicaragüense de Energía Eléctrica (ENEL), que según reportes de la institución abastece al 54.36% de las viviendas del municipio (1,440 conexiones domiciliarias) y 3 especiales (pozos).

2.1.9. Transporte

El transporte colectivo del municipio es bueno, existe una ruta de vehículos que hace su recorrido de forma regular, desde la ciudad de Juigalpa hasta este municipio (3 unidades) cuya distancia es de 31 km. Una ruta de Acoyapa a Santo Tomas (2 unidades), una ruta de ACOYAPA a Guasimal (1), una de Acoyapa a La Horqueta (1), además se cuenta con el servicio de taxis urbanos (8 unidades).

2.1.10. Economía del municipio

Las actividades económicas predominantes en el municipio son la ganadería y la agricultura. La Ganadería ha sido el rubro de mayor importancia económica. La actividad Agrícola ha sido una actividad de carácter secundario en relación a la ganadería; está destinada fundamentalmente al consumo interno. La comercialización del queso y productos lácteos se realiza principalmente en la ciudad de Managua, la venta de ganado es otra actividad importante para el municipio. La explotación de madera ha sido muy importante en la economía de este municipio; pero cabe señalar que actualmente no se consigue madera para construcción ya que el aprovechamiento de los bosques se ha hecho de forma irracional y la ley forestal en este lugar no tiene presencia. En este Municipio se reportó la existencia de un total de 3 Cooperativas Agrícolas ubicadas en las comarcas de El Zapote, Monte Alto, y Aurelio Miranda.

2.2. CARACTERÍSTICAS NATURALES

2.2.1. Topografía

El territorio Municipal, se considera en su totalidad irregular y quebrado, con cordilleras en la parte central y este del municipio. Además cabe señalar que existe en la parte occidental un sector llano. Entre las formaciones naturales que encierra el municipio, se encuentran las cuevas de Santa Marta, en la comarca del mismo nombre y las cuevas de las Ventanas en el cerro del mismo nombre, cuya altura y diámetro permiten al turista penetrar a ellas a caballo sin menor peligro. Las alturas montañosas principales de la región municipal son: Las Pavas y Las Mangas. Los llanos o sabanas, ricas en pastos naturales que encierra el área municipal son: La Guayaba, El Aceitunal, Guanacastal, San Agustín y Santa Rosa.

2.2.2. Flora y fauna

Las especies más comunes en este municipio son: venados, coyotes, sahinós, dantos, tigrillos, reptiles y gran variedad de aves. Entre la flora se cuenta con caoba, cedro, pochote, roble, níspero, jícaro, ceibo, jiñocuabo, tigüilote, jocote jobo, espavel y una gran variedad de plantas ornamentales y medicinales. Actualmente existe un vivero, coordinado por MARENA y jóvenes ambientalistas de la alcaldía, no existen Proyectos de Reforestación en este Municipio.

2.2.3. Ríos de la Jurisdicción

Los principales ríos que cruzan el municipio son: Río Acoyapa, Ojocuapa, Río de Agua, El Cacao, Río Oyate, que sirve de frontera entre Río San Juan y Chontales. Cabe señalar que los ríos antes mencionados son ríos y mantienen su caudal durante todo el año. Además existen en Acoyapa dos fuentes termales, la de aguas calientes en el mismo valle de San Ignacio y la de la Esperanza en la comarca de San Pablo. En el municipio existen dos pequeñas lagunas que llevan los nombres de San Nicolás, en el valle de San Ignacio y la laguna de la Vainilla en el cerro de ese nombre.

Los ríos y efluentes Acoyapa vierten sus aguas a la cuenca hidrográfica del río San Juan, a través del Lago Cocibolca. Los principales ríos que conforman la red hidrográfica son las siguientes:

Río Acoyapa: es uno de los ríos principales que cruzan el municipio, nace en el cerro La cuchilla en el municipio de Santo Tomás por la unión de los ríos Tierra blanca (nace en el cerro Santa Inés) y el río El Chancho que nace en el cerro Tierra Blanca. Los afluentes del río Acoyapa son los ríos Manota, Chiriquí, Lóvago, El Carmen, San Agustín. Este río desemboca en el río Ojocuapa.

El Río Ojocuapa nace en el cerro Santa Clara en el municipio de Santo Tomás. Sus afluentes son los ríos El castillo, El madroñal, Las Mananas, Los Montecillos, El Murciélagos, El Jicarito, El Corozal, Río La Pita, El Tule, Quebrada de Laja, El Rosario (Se forma de la unión de los ríos San Benito, Jengibril, La Joya), Amapa, Güisoyolar, Pan Duro, Acoyapa, Estero Oropotente, Ciego. Finalmente desemboca en el Lago de Nicaragua.

El Río Estero Oropotente nace en la parte baja de la loma El Alcarabán, en Llano Guácimo Solo. Su único afluente es el río La Pizota; desemboca en el río Ojocuapa.

El Río Coyolito nace en la loma Coyolito; sus afluentes son el Monote San Juan (Nace en el cerro El Haragán). Este desemboca en el Lago de Nicaragua.

2.2.4. Clima de la zona

El municipio presenta un clima de sabana en la parte sur y al este con un clima tropical húmedo. Existe una marcada estación seca entre los meses de noviembre y abril. El período lluvioso comprende los meses de mayo a octubre.

En el municipio de Acoyapa, la distribución espacial del agua disponible es bastante uniforme. Existe un registro de dos (2) zonas en las que en unas precipita más que en otras escasa. Esto se debe generalmente a la posición geográfica en que están asentadas las regiones, y a la variación espacial de la

lluvia. El conocimiento de este fenómeno es muy importante en el diseño de caminos, por los efectos erosivos que producen las corrientes de agua a la plataforma de una carretera, al extremo que lo puede volver no funcional, lo que debe traducirse en obras de infraestructura como drenaje menor que son las alcantarillas, cunetas y contra cunetas; drenaje mayor que son las cajas puentes y puentes.

Para el municipio de Acoyapa, se registra una precipitación mínima de 1400 mm en el extremo oeste y una máxima de 1800 mm en el extremo este. Para el municipio de Acoyapa, se presentan los valores de las isolíneas de humedad relativa: 75% - 85%.

2.2.5. Suelos

Los suelos son generalmente desarrollados a partir de rocas volcánicas en la zona montañosa (provenientes de basaltos y andesitas), y en las planicies corresponden a sedimentos aluviales. La profundidad varía desde muy superficiales (menores de 25 cm), hasta profundos (mayores de 100 cm). El conocimiento de los tipos de suelos en cada región del estudio, está relacionada con la aplicación del coeficiente de escorrentía que deba usarse en las diferentes zonas donde se ubican los caminos o carreteras, asociado con cobertura vegetal y geografía.

CAPITULO III: MARCO TEORICO

3.1. EL CICLO HIDROLÓGICO, LA CUENCA HIDROGRÁFICA Y EL CLIMA

3.1.1. Conceptos y definiciones

Caudal:

Volumen de agua que pasa por una determinada sección transversal en la unidad de tiempo, generalmente se expresa en m^3/s .

Caudal máximo instantáneo:

Para la determinación del caudal máximo instantáneo (q_{max}) ocurrido en una sección de control, en un lapso determinado, generalmente durante el transcurso del pasaje de una onda de avenida, debe disponerse de un instrumento registrador.

Hidrograma:

Un hidrograma de caudal es una gráfica o una tabla que muestra la tasa de flujo como función del tiempo en un lugar dado de la corriente. En efecto el hidrograma es una expresión integral de las características fisiográficas y climáticas que rigen las relaciones entre la lluvia y escorrentía de una cuenca de drenaje particular. El hidrograma, está en función del aporte de precipitaciones que puedan ocurrir en la superficie de la cuenca y de las características físicas de ella.

Subcuenca:

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

Microcuencas:

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

Quebrada:

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

Cuenca alta:

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

Cuenca media:

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

Cuenca baja o zonas transicionales:

Donde el río desemboca a ríos mayores o a zonas bajas tales como estuarios o humedales.

Precipitación:

Se denomina precipitación, a toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (llovizna, lluvia, etc.) y sólida (nieve, granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (rocío, la helada blanca, etc.). Ellas son provocadas por un cambio de la temperatura o de la presión. La precipitación constituye la única entrada principal al sistema hidrológico continental (Musy, 2001). Para la formación de la precipitación se requiere la condensación del vapor de agua atmosférico. La saturación es una condición esencial para desbloquear la condensación. Los varios procesos termodinámicos son convenientes para realizar la saturación de las partículas atmosféricas inicialmente no saturadas y causar su condensación. Existen diferentes tipos de precipitación:

precipitación convectiva, precipitación orográfica y precipitaciones frontales, tal como se puede apreciar en la siguiente.

Evaporación:

La evaporación es el fenómeno físico que permite a un fluido, convertirse en vapor o sea, en gas e incorporarse al aire. Es un fenómeno no conocido exhaustivamente y forma parte del ciclo hidrológico.

Transpiración:

Es la evaporación a través de las hojas. El proceso fisiológico de alimentación de las plantas se efectúa mediante el paso de ciertas cantidades de agua, portadoras de los alimentos, por el interior de ellas y ese tráfico solamente es posible gracias a la transpiración.

Intercepción:

Es la parte de la precipitación que es interceptada por objetos superficiales como la cubierta vegetal o los tejados, en general, parte de esta agua interceptada nunca alcanza al suelo porque se adhiere y humedece estos objetos y se evapora.

Evapotranspiración:

Es el total de agua convertido en vapor por una cobertura vegetal; incluye la evaporación desde el suelo, la evaporación del agua interceptada y la transpiración por las estomas de las hojas.

La evapotranspiración, es la combinación de dos procesos separados que originan pérdida de agua:

Evaporación:

Este es el proceso por el cual el agua líquida es convertida en vapor de agua (vaporización). La energía requerida para cambiar el estado de las moléculas de agua a vapor es la radiación solar directa, la temperatura ambiental del aire.

Transpiración:

Esta Consiste en la vaporización del agua líquida contenida en las plantas y el vapor removido a la atmósfera. La pérdida del agua es a través de las estomas de las plantas.

La transpiración, depende de la energía radiante, gradiente de presión de vapor y viento, radiación, temperatura del aire, humedad del aire y viento. La razón de la transpiración también está influenciada por, la característica de la vegetación, aspecto del ambiente y práctica de cultivo.

Los factores que influyen en la Evaporación son los siguientes:

- ✓ Radiación Solar
- ✓ Temperatura
- ✓ Humedad del aire: menos humedad, más evaporación
- ✓ Presión Atmosférica: la altitud, la latitud y longitud
- ✓ Viento: más viento, más evaporación

La evaporación desde un suelo sin cobertura depende de:

- ✓ El poder evaporante de la atmósfera
- ✓ El tipo de suelo (textura, estructura, etc.)
- ✓ El grado de humedad del suelo

La transpiración está en función de:

- ✓ El poder evaporante de la atmósfera
- ✓ El grado de humedad del suelo
- ✓ El tipo de planta
- ✓ Variaciones estacionales

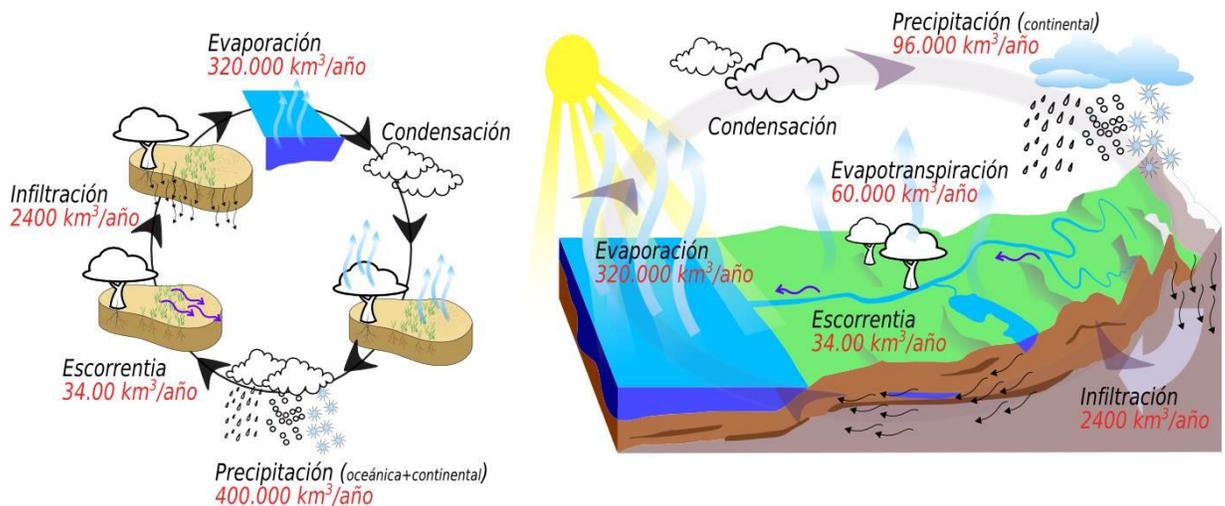
✓ Variaciones interanuales

La evaporación y transpiración ocurren simultáneamente que no es fácil de distinguirlos. Cuando la planta es pequeña, el agua perdida es por evaporación del agua en el suelo, pero cuando la planta va desarrollándose paulatinamente, la transpiración va cobrando mayor importancia en este proceso.

3.1.2. El Ciclo hidrológico

El agua, aunque se encuentra en un movimiento cíclico continuo, es cuantificable y debido a los requerimientos actuales del hombre, es necesario conocer con exactitud ese movimiento y definirlo, para aprovechar de forma racional de los recursos hídricos y que no se modifiquen de forma irreversible. Los componentes que intervienen en el ciclo del agua se pueden observar en la figura No. 3.1.

Figura No. 3.1: Parámetros del ciclo del agua



Fuente: Fernanda Hernández (Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria)

El balance hídrico tiene por objeto cuantificar los recursos y volúmenes de agua del ciclo hidrológico de acuerdo con el axioma de Lavoisier: “nada se crea ni se destruye, sólo se transforma”. Este axioma en dinámica de fluidos se conoce como la Ecuación de Continuidad. También permite establecer relaciones entre las distintas variables hidrológicas. En la figura No. 3.2 y No. 3.3 se observan las diferentes variables que forman parte del balance hídrico.

Figura No. 3.2: Variables del balance hídrico



Fuente: Fernanda Hernández (Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria)

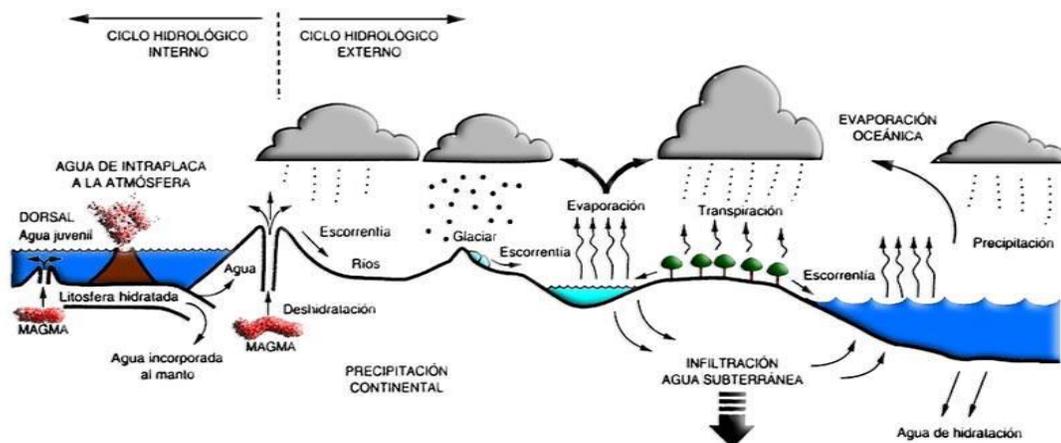
El establecimiento del balance hídrico en una cuenca o en una región determinada permite obtener información sobre:

- ✓ El volumen anual de escurrimiento o excedentes.
- ✓ El periodo en el que se produce el excedente y por tanto la infiltración o recarga del acuífero.
- ✓ Periodo en el que se produce un déficit de agua o sequía y el cálculo de demanda de agua para diferentes tipos de consumo en ese periodo.

El establecimiento de un balance supone la medición de flujos de agua (caudales) y almacenamientos de la misma (niveles). Se pueden establecer balances de forma general, incluyendo aguas superficiales y subterráneas y parciales de solo aguas superficiales, de un acuífero, del agua del suelo, etc. En cualquier caso, a la hora de establecer el balance se examinarán las entradas y las salidas al sistema analizado.

La propia idea de balance supone la medida independiente de los términos que intervienen en la ecuación de balance. Como toda medida física está sujeta a error, que, en algunos casos es grande debido a las diversas circunstancias. Por ello ha de actuarse con gran prudencia a la hora de obtener datos del balance.

Figura No. 3.3: Componentes del ciclo hidrológico

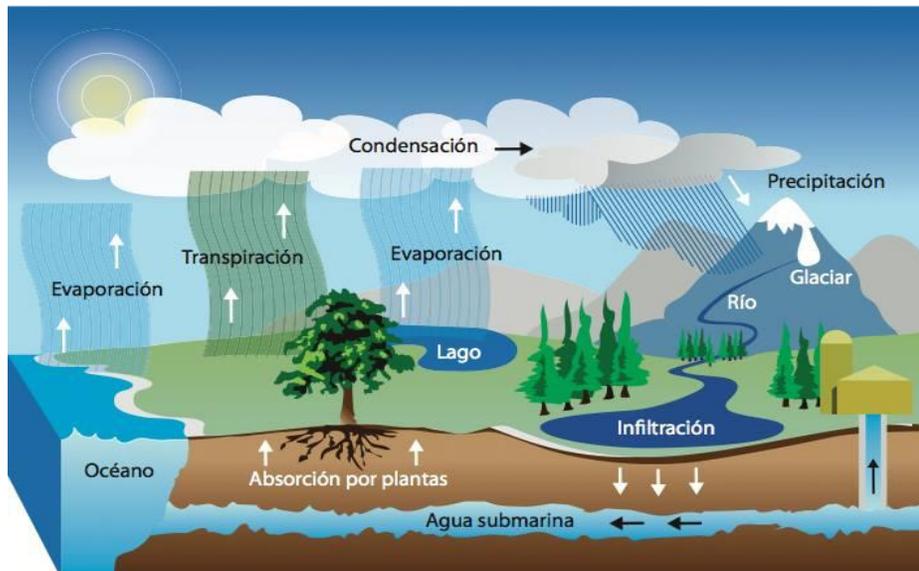


Fuente: Fernanda Hernández (Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria)

Por medio de las precipitaciones atmosféricas (P), llega agua a la superficie de la tierra. Parte de estas precipitaciones se evapora en contacto con el aire o es absorbida por las plantas y después transpirada por las mismas, fenómenos que denominaremos de forma general como evapotranspiración (E). El agua entonces sigue dos caminos: una parte fluye por la superficie de la corteza terrestre y otra parte se infiltra en el terreno. El agua de infiltración aún puede ser captada por el suelo y las plantas, sufriendo entonces fenómenos de evapotranspiración o puede circular hipodérmicamente junto con las aguas que circulan en la superficie, denominándose el conjunto de aguas de escurrimiento

(R). La parte de agua infiltrada que alcanza una zona más profunda constituye la verdadera agua de infiltración (I) que se junta con las aguas subterráneas alimentando el acuífero (ver figura No. 3.4).

Figura No. 3.4: El agua subterránea en el ciclo hidrológico



Fuente: Fernanda Hernández (Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria)

La ecuación de Continuidad se basa en que la diferencia que se produce entre las entradas y las salidas de agua y se traduce en el agua que queda almacenada.

Entradas – Salidas – Variación de Almacenamiento

Aplicando estos conceptos, se expresa la precipitación como:

$$P = E_t + R + I$$

Siendo E la evapotranspiración, R el escurrimiento e I la infiltración.

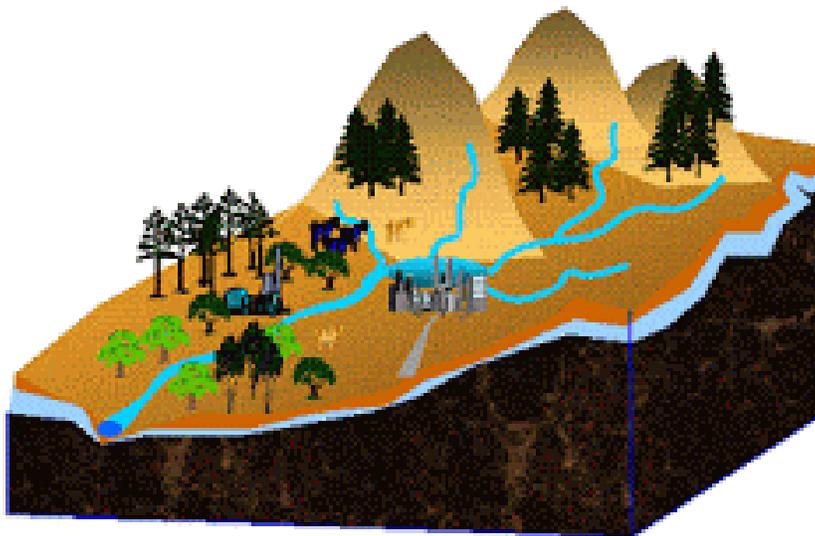
Para poder aplicar esta ecuación hay que tener en cuenta dos condiciones importantes:

- ✓ Unidad hidrogeológica. Es decir, que todas las aguas que miden y comparan pertenezcan al mismo acuífero.
- ✓ Periodo de tiempo. El periodo de medición deberá de ser de al menos un año.

3.1.3. La cuenca hidrográfica

Partiendo de una definición básica, una cuenca es el territorio que aporta el agua al río que contiene, o sea, es el área total que desagua en forma directa o indirecta en un arroyo o en un río. Suele recibir el nombre de la corriente pluvial a la que alimenta. Completando el concepto, una cuenca es un área natural en la que el agua proviene de la precipitación pluvial forma un curso principal de agua, hasta que llega al mar, lago u otro río mayor. La cuenca es una unidad hidrográfica, conformada por el conjunto de sistemas de curso de aguas y delimitada por las cumbres, o el relieve que la comprende, siendo sus límites la división de aguas (ver figura No. 3.5).

Figura No. 3.5: Esquema de una Cuenca Hidrográfica



Fuente: Fernanda Hernández (Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria)

La cuenca hidrográfica es una Unidad natural definida por la existencia de la divisoria de las aguas en un territorio dado. Las cuencas hidrográficas son unidades morfológicas superficiales. Sus límites quedan establecidos por la divisoria geográfica principal de las gráficas de las precipitaciones; también conocido por “parteaguas”. El parteaguas, teóricamente, es una línea imaginaria que une los puntos de máximo valor de altura relativa entre dos laderas adyacentes pero de exposición opuesta; desde la parte más alta de la cuenca

hasta su punto de emisión, en la zona hipsométricamente más baja. Al interior de las cuencas se puede delimitar subcuencas o cuencas de orden inferior. Las divisorias que delimitan las subcuencas se conocen como parteaguas secundarias (ver figura No. 3.6).

Figura No. 3.6: Subcuenca de una Unidad Geográfica

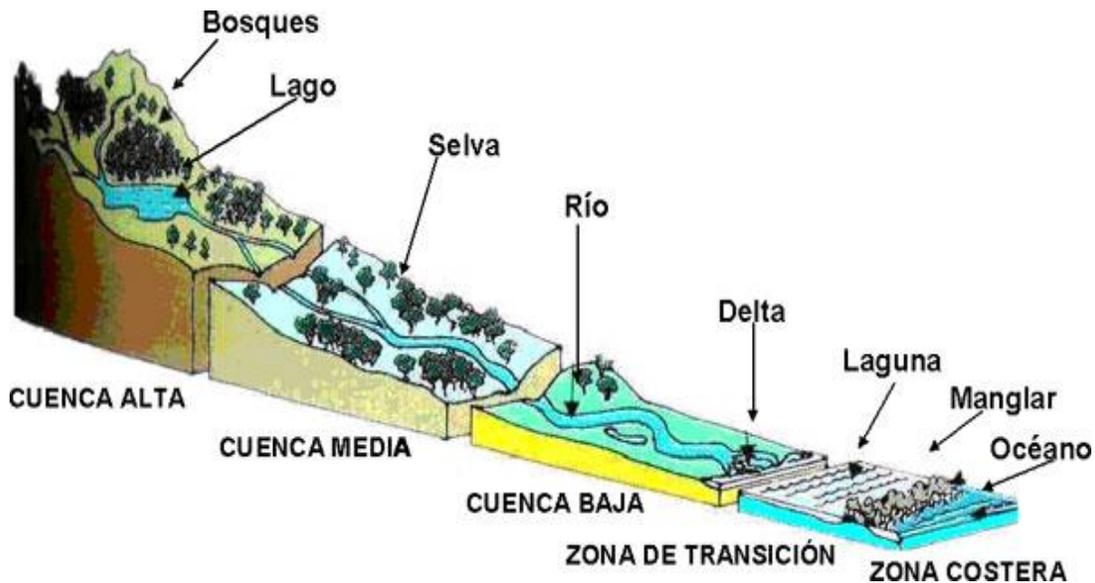


Fuente: Fernanda Hernández (Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria)

Para efectos prácticos, una cuenca hidrográfica puede ser dividida en las siguientes secciones (ver figura No. 3.7):

- ✓ Cuenca alta, que corresponde con las áreas montañosas limitadas en su parte superior por las líneas divisorias de aguas.
- ✓ Cuenca media, que comprende las zonas de pie de monte y valles bajos, donde el río principal mantiene un cauce definido.
- ✓ Cuenca baja o zonas transicionales.

Figura No. 3.7: Componentes de una Cuenca Hidrográfica



Fuente: Fernanda Hernández (Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria)

Las cuencas hidrográficas se pueden subdividir en tres zonas de funcionamiento hídrico principales.

Zona de cabecera de las cuencas hidrográficas.- garantizan la captación inicial de las aguas y el suministro de las mismas a las zonas inferiores durante todo el año.

Zonas de cabecera y captación.- transporte en condiciones de cuencas semiáridas.

Zonas de emisión de los acuíferos.- las lagunas costeras regulan el funcionamiento de los ecosistemas marinos adyacentes. Los manglares están considerados entre los ecosistemas más productivos y la actividad socioeconómica asociada a las mismas abarca actividades forestales, pesqueras, turístico-recreativos y otras.

La cuenca constituye la principal unidad territorial donde el agua, proveniente del ciclo hidrológico, es captada, almacenada y disponible como oferta de agua. Con frecuencia las cuencas hidrográficas poseen no solo integridad edafo-biógena e hidroclimática si no que, además, ostentan diversidad cultural y socioeconómica, dada por la misma historia del uso de los recursos naturales. En el ámbito de una

cuenca se produce una estrecha interdependencia entre los sistemas biofísicos y el sistema socio-económico, formada por los habitantes de las cuencas, lo cual genera la necesidad de establecer mecanismos de gobernabilidad.

3.1.4. Tipos de cuencas hidrográficas

Por su tamaño geográfico:

Las cuencas hidrográficas pueden ser:

- ✓ Grandes
- ✓ Medianas o
- ✓ Pequeñas

Los conceptos de pequeñas cuencas o microcuencas, pueden ser muy relativos cuando se desarrollen acciones, se recomienda entonces utilizar criterios conjuntos de comunidades o unidades territoriales manejables desde el punto de vista hidrográfico.

Por su ecosistema:

Según el medio o el ecosistema en la que se encuentran, establecen una condición natural así se tiene (ver No. figura 3.8):

- ✓ Cuencas áridas
- ✓ Cuencas tropicales
- ✓ Cuencas frías
- ✓ Cuencas húmedas

Figura No. 3.8: Tipos de cuencas según el ecosistema



Fuente: Fernanda Hernández (Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria)

Por su objetivo:

Por su vocación, capacidad natural de sus recursos, objetivos y características, las cuencas pueden denominarse:

- ✓ Hidroenergéticas
- ✓ Para agua poblacional
- ✓ Agua para riego
- ✓ Agua para navegación
- ✓ Ganaderas y
- ✓ De uso múltiple

Por su relieve:

Considerando el relieve y accidentes del terreno, las cuencas pueden denominarse (ver figura No. 3.9):

- ✓ Cuencas planas
- ✓ Cuencas de alta montaña
- ✓ Cuencas accidentadas o quebradas

Figura No. 3.9: Tipos de cuencas según el relieve



Fuente: Fernanda Hernández (Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria)

Por la dirección de la evacuación de las aguas:

Existen tres tipos de cuencas (ver figura No. 3.10):

- ✓ Exorreicas o abiertas. Drenan sus aguas al mar o al océano.
- ✓ Endorreicas o cerradas. Desembocan en lagos, lagunas o salares que no tienen comunicación fluvial al mar.
- ✓ Arreicas. Las aguas se evaporan o se filtran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje.

Figura No. 3.10: Tipos de cuencas según la evacuación del caudal

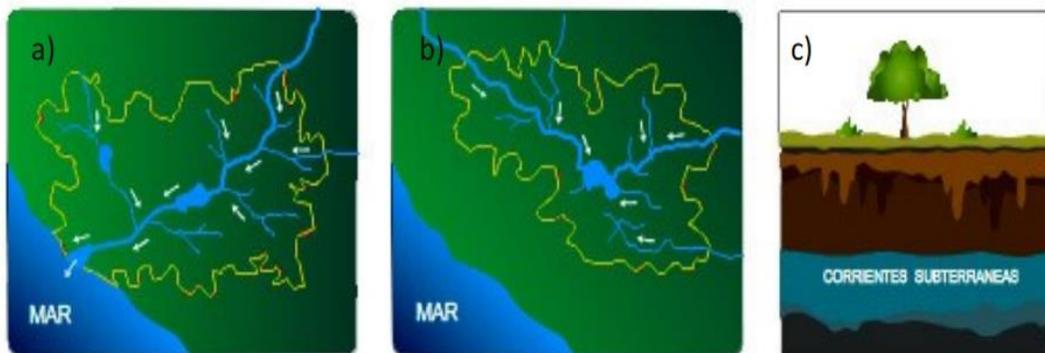


Figura 4.7. Tipos de cuencas: a) Exorreicas, b) Endorreicas y C) Arreicas.
Fuente: <http://recuperapatzcuaro.com/lacuena.php#>

3.1.5. Clasificación climática de Köppen

Para la Clasificación Climática, se utilizó 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” y Caliente Húmedo con Lluvias todo el año”. El clima Aw, designado por Köppen “Clima de Sabana” es designado como “Clima caliente y sub-húmedo 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”**. No importa que a veces el mes más lluvioso no se haya incluido exactamente en esta estación, pues en el caso que no lo esté, ello puede indicarse usando los símbolos de Köppen:

“w” mes más lluvioso desplazado hacia el otoño

“w” dos estaciones lluviosas separadas por una temporada seca corta en el verano y una larga en la mitad fría del año (noviembre-abril).

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 utilizó 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 incluido en el grupo C, se colocará antes de esa letra el símbolo (A) (entre paréntesis), para indicar 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.

El sistema de clasificación de Köppen utiliza formulas empíricas y valores derivados de las variaciones de ciertos elementos climáticos para determinar e identificar cinco grandes grupos de clima (ver cuadro No. 3.1). Dichas formulas y valores fueron calculadas y escogidos por estar en relación con importantes características del clima que determinan la distribución sobre la Tierra de las principales agrupaciones de plantas superiores y de otros seres vivientes.

Las modificaciones y adaptaciones al sistema se realizaron sin apartarse de los lineamientos generales de la clasificación original, de modo que en la clasificación modificada se siguen empleando todos los símbolos y fórmulas de Köppen. Cabe destacar que las nuevas designaciones a que nos referimos fueron establecidas con base a formaciones vegetales ubicadas en zonas latitudinales tropicales.

Cuadro No. 3.1: Clasificación Climática según Köppen

Grupo	Denominación	Criterio de clasificación	Características
A	Climas tropicales	Temperatura media superior a 18 °C todos los meses.	Ausencia de invierno.
B	Climas secos o áridos	Evaporación superior a la precipitación como media anual.	No existen cursos permanentes de agua (ríos).
C	Climas templados (mesotérmicos)	Temperatura media del mes más frío entre - 3 °C y 18 °C y del mes más cálido superior a 10 °C.	Presentan verano e invierno.
D	Climas fríos o de nieve (microtérmicos)	Temperatura media del mes más frío inferior a - 3 °C y del mes más cálido superior a 10 °C	Isoterma de 10 °C que coincide con el límite septentrional de crecimiento de bosque.
E	Climas de hielo	Temperatura media del mes más cálido inferior a 10 °C	Carecen de verdadero verano.

Fuente: Dra. Enriqueta García, 1988.

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>
Aw0	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.

El comportamiento de la precipitación en Nicaragua tiene como principal comportamiento 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.

3.2. FISIOGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA DE LA UNIDAD DE CUENCA

3.2.1. Área de la subcuenca

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 escurrimiento y las características de una cuenca. Esto se puede afirmar por el alto valor de los coeficientes de correlación cuando se grafica escurrimiento respecto al área. Pero hay otros parámetros que también tienen su influencia en la escurrimiento 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: Clases de tamaño de Cuencas

Clases de Tamaño de Cuencas (Km²)	
Rangos de áreas	Clases de tamaño
12.5 – 35	Muy pequeña
35.5 – 58	Pequeña
58.8 - -81	Mediana
81.5 - -103.5	Grande

Fuente: INETER

De acuerdo al cuadro anterior, la subcuenca río Ciudad Antigua; según esta referencia; se cataloga como subcuenca grande por lo que presenta gran capacidad de coleccionar agua. Conociendo el área de la subcuenca podemos hablar de su forma a través del Coeficiente de Compacidad (Kc) y el Factor de forma (Kf).

De acuerdo a la salida del flujo se clasifica de tipo exorreica, lo que indica que sus aguas son vertidas a otro río o cuerpo superficial para finalmente desembocar al mar u océano. En este caso el río de Ojocuapa drena sus aguas

hacia el Lago Cocibolca de forma permanente y presencia de escurrimiento todo el año; la red de drenaje se caracteriza por ríos de régimen permanente, intermitente y presencia de canales.

3.2.2. Coeficiente de Compacidad (Kc)

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

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

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) indicara 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

3.2.3. 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:

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

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

Donde:

LM= Lado mayor del rectángulo en km

Lm = Lado menor del rectángulo en km

Kc = coeficiente de Gravelius

A= superficie de la cuenca en km²

3.2.4. 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

3.2.5 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.

3.2.6. 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.

3.2.7. 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.

3.2.8. 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.

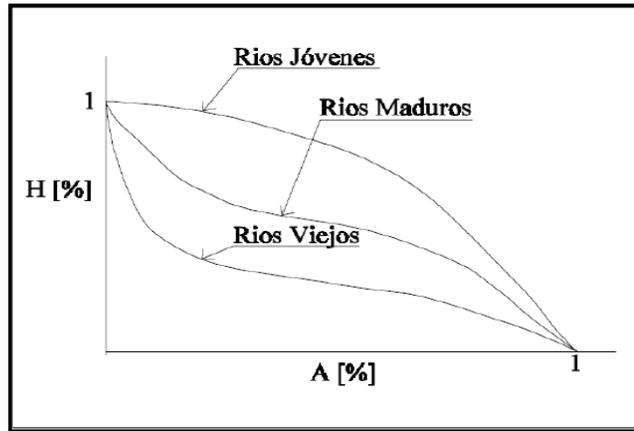
La curva hipsométrica se construye llevando al eje de las abscisas los valores de la superficie drenada proyectada en km^2 o en porcentaje, obtenida hasta un determinado nivel, el cual se lleva al eje de las ordenadas, generalmente en metros (ver gráfico No. 3.5). Normalmente se puede decir que los dos 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. 3.5: Curva Hipsométrica



Fuente: NETER

3.2.9. 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.

3.2.10. 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.

3.2.11. 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/km^2 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

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

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

3.2.12. 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.

3.2.13. 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.

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

Donde:

A: Área de drenaje de la cuenca (km²)

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

3.2.14. 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 río 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

3.2.15. 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.

$$T_c = 0.0041 * K t^{0.77}$$

$$K_t = 3.28 * (Lr/S^{0.5})$$

Donde:

L: Longitud del cauce principal en m

Tc: tiempo de Concentración en minutos.

S: pendiente

CAPITULO IV: METODOLOGIA

4.1. Análisis de la información

La etapa preliminar consistió 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 relacionado con la hidrodinámica, climatología, hidrología y geomorfología de la subcuenca en estudio.

Se establecieron reuniones técnicas durante todo el proceso de elaboración del proyecto. Esta etapa sirvió para establecer la etapa de recolección de información y datos de campo sobre diferentes parámetros hidrológicos de la subcuenca

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. Caracterización de los parámetros morfométricos

La caracterización de los parámetros morfométricos 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,
- ✓ Índice de alargamiento,
- ✓ Curva hipsométrica,
- ✓ Longitud del río principal y su altitud media,
- ✓ Tiempo de concentración.

4.3. Caracterización climática de la zona de estudio

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. Estimación del balance hídrico

4.4.1. Estimación de la Evapotranspiración Potencial

El método de Hargreaves es el que se aplicará para obtener la evapotranspiración Potencial (ETP), este método utiliza valores medios en función de las variables climatológicas de temperatura y humedad relativa, duración del día en función de la latitud. Se considera que este método es adecuado y fue adaptado para zonas de Clima Tropical, y se adapta a las condiciones climáticas de nuestro país.

4.4.2. 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:

$$\mathbf{P = ETR + I + E + \Delta S}$$

Estas variables son las siguientes:

P: Precipitación en mm

ETR: Evapotranspiración Real en mm

I: Infiltración en mm

E: Escorrentía en mm

ΔS : 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:

$$\mathbf{P = ETR + E}$$

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, El balance hídrico se establecerá en función de la precipitación y la evapotranspiración potencial que se genera en el área de la cuenca en estudio. Conociendo previamente las componentes de precipitaciones y evapotranspiración mensual, se estimará la escorrentía superficial, a partir de la ecuación general:

$$\mathbf{P = ETR + I + E + \Delta S}$$

Estas variables son las siguientes:

P = Precipitación en mm

ETR = Evapotranspiración Real en mm

I = Infiltración en mm

E = Escorrentía en mm

ΔS = 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:

$$P = ETR + E$$

Despejando, queda la escorrentía:

$$E = P - ETR$$

CAPITULO V: CALCULOS Y RESULTADOS

5.1. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS MORFOMETRICOS DE LA UNIDAD DE CUENCA

5.1.1. Area y perímetro

La unidad hidrológica tiene una superficie de 599.63 km² y un perímetro 180.36 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:

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

$$Dd = \frac{603.20 \text{ km}}{599.63 \text{ km}^2}$$

$$Dd = 1.01 \text{ km/km}^2$$

Donde:

Dd = Densidad de drenaje (km/km²)

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

A = Área de la cuenca (km²)

El patrón de drenaje es del tipo detrítico, compuesta por corrientes de ríos de régimen permanentes e intermitentes. El total de cauces o números de ríos de la unidad hidrológica es de 603.20 km. Tomando en cuenta el área de drenaje 599.63 km² se obtiene un valor de densidad de drenaje de 1.01 km/km², 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. Índice de pendiente

El Índice de pendiente es el valor medio de las pendientes de la cuenca entre curvas de nivel consecutivas o pendiente media de la unidad de cuenca y está dado por la siguiente ecuación:

$$I_p = (1/\sqrt{L}) * \sum \sqrt{(\Delta H_i * B_i)/1000}$$

En donde:

I_p : Índice de pendiente (m/m, %)

L : Lado mayor del rectángulo equivalente (m)

ΔH_i : Diferencia de altura entre dos curvas de nivel consecutivas (m)

B_i : Tanto por ciento de la superficie comprendida entre dos curvas de nivel consecutivo, respecto a la superficie total de la cuenca. En el cuadro No. 5.1 se muestra el cálculo del índice de pendiente, las altitudes y las áreas entre dos curvas consecutivas en la unidad de cuenca.

Según los cálculos el índice de pendiente de la subcuenca I_p es de 0.07 m/m (7%).

Cuadro No. 5.1: Índice de pendiente, altitudes y áreas

Alti. Max	Alt. Min	Elev. media	Área Ai	Ai acum	Atotal-Ai	Bi=Ai/Atotal	Atotal-Bi	Ip
m.s.n.m	m.s.n.m.	m	km ²	km ²	km ²	%	%	
0	0	0	0.00	0.00	599.63	0.00	100.00	
120	30	75	280.50	280.50	319.13	46.78	53.22	0.0227
211	121	166	107.71	388.21	211.41	17.96	35.26	0.0111
301	212	256.5	68.04	456.25	143.38	11.35	23.91	0.0123
392	302	347	83.35	539.60	60.03	13.90	10.01	0.0086
482	393	437.5	41.00	580.60	19.02	6.84	3.17	0.0044
573	483	528	10.68	591.28	8.35	1.78	1.39	0.0030
663	574	618.5	5.02	596.30	3.33	0.84	0.55	0.0023
754	664	709	2.80	599.10	0.53	0.47	0.09	0.0009
844	755	799.5	0.47	599.57	0.06	0.08	0.01	0.0003
935	845	890	0.06	599.63	0.00	0.01	0.00	0.0000
			599.63			100.00		0.07

Fuente: Mapa de INETER, elaboración propia

$$I_p = 0.07\text{m/m} = 7\%$$

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 0.07 m/m (7 %), la cual es considerada de suave a moderada.

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:

$$Ic = 100 * \frac{\text{Elev Max} - \text{Elev Min}}{L * 1000}$$

$$Ic = 100 * \frac{935 - 30}{62.53 \text{ km} * 1000}$$

$$Ic = 0.0145\text{m/m} = 1.45 \%$$

Donde:

Ic: Pendiente media del río principal, %

Elev Max: Altura máxima del río, m

Elev Min: Altura mínima del río, m

L: Longitud del río principal, km

En la subcuenca se encuentran elevaciones máximas de 935 msnm y mínimas de 30 msnm respectivamente, con una pendiente media del río de 0.0145 m/m (1.45%), indicando que el escurrimiento se clasifica como suave, según cuadro 3.7).

5.1.5. Tiempo de Concentración

Para el cculo 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 cculo se consideran los parámetros de pendiente y longitud del río, como se determina en la siguiente ecuación.

$$Tc = 0.0041 * k \wedge 0.77$$

Calculo de k

$$k = 3.28 * (Lr / S \wedge 0.5)$$

$$((0.0041 * (3.28 * (62.53 * 1000)) / ((935 - 30) / (62.53 * 1000)) \wedge 0.5) \wedge 0.77) / 60$$

$$\mathbf{Tc = 4.3 \text{ hr}}$$

Donde:

Tc: Tiempo de Concentración (Horas)

Lr: Longitud del curso principal (km)

S: Pendiente media del río (%)

Este tiempo de concentración de 4.3 horas (258 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:

$$Kc = \frac{P \text{ (Km)}}{A \text{ (Km}^2\text{)} \wedge 0.5} * 0.28$$

$$Kc = \frac{180.36 \text{ km} * 0.28}{599.63 \text{ km}^2 \wedge 0.5}$$

$$\mathbf{Kc = 2.06}$$

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 2.06, es decir que se clasifica como redonda a oval redonda (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)

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

$$Ff = \frac{599.63 \text{ km}^2}{(62.53 \text{ km})^2}$$

$$Ff = 0.153$$

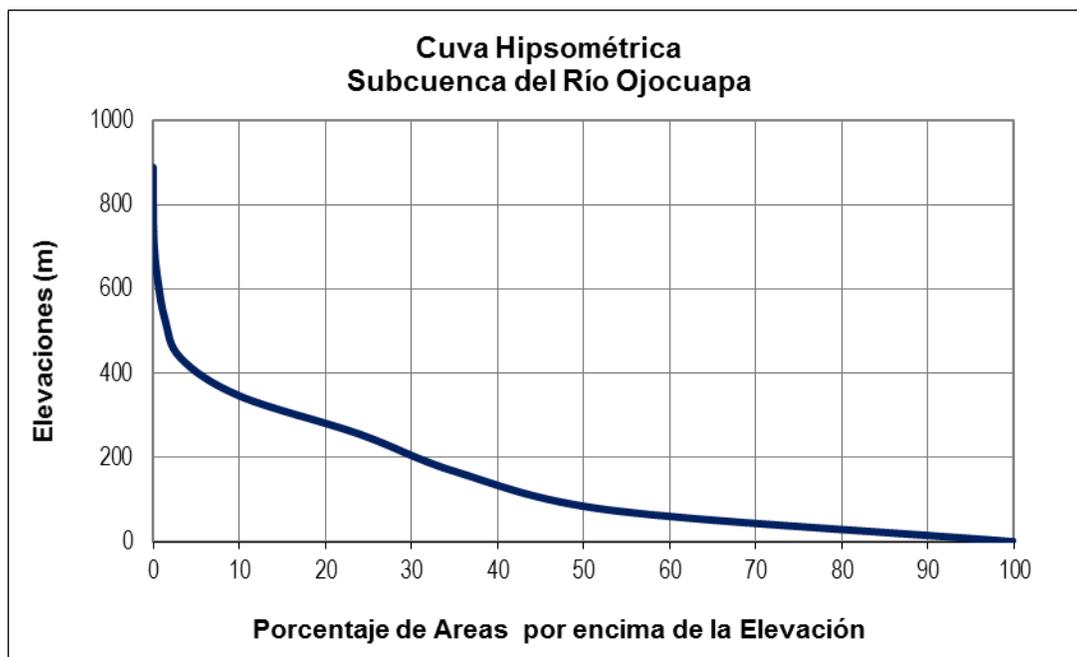
La forma de la subcuenca es muy poca achatada por presentar un factor de forma de 0.153 que oscila en valores comprendido entre 0.01 y 0.18 (Según cuadro No. 3.4).

5.1.8. Curva Hipsométrica

En el gráfico No. 5.1 de la Curva Hipsométrica se observa que entre las altitudes de 500 msnm y 300 msnm la curva se presenta en general cóncava hacia arriba.

Entre las altitudes de 200 msnm y 10 msnm la curva presenta un equilibrio que refleja un relieve natural más homogéneo.

Gráfico No. 5.1: Curva Hipsométrica

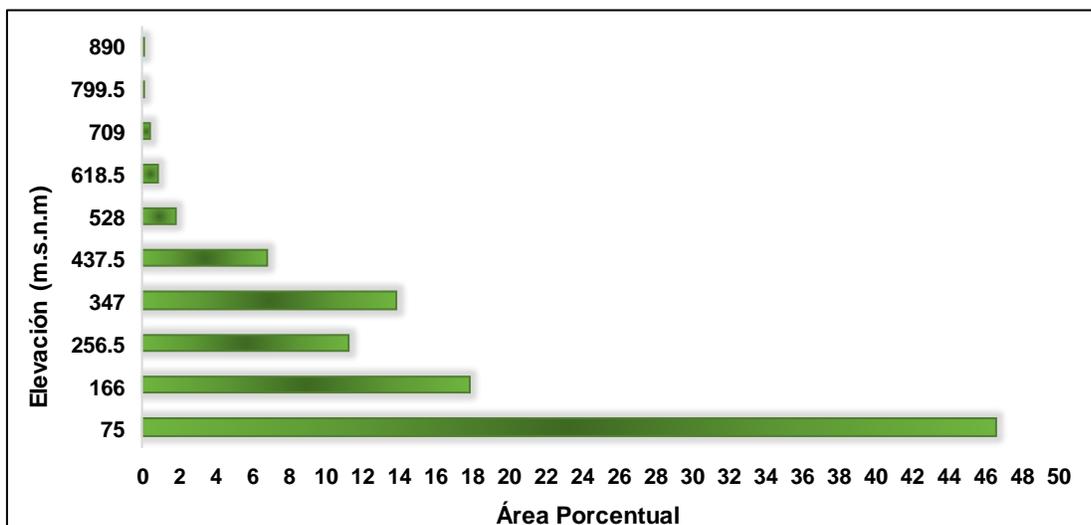


Fuente: Elaboración propia

5.1.9. Polígonos de Frecuencia 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 Río Ojocuapa se encuentra en su parte media a baja, es decir entre las elevaciones 347 msnm y 75 msnm, lo que representa cerca del 90 % del área total de la unidad hidrográfica (gráfico No. 5.2).

Gráfico No. 5.2: Polígono de frecuencia de altitudes



Fuente: Elaboración propia, con información de mapas de INETER

5.1.10. Perfil Longitudinal del río

La longitud del cauce principal es de 62.53 km, orienta sus aguas provenientes de las partes altas, drenando sus aguas hacia el Lago de Nicaragua. En la subcuenca se encuentran elevaciones máximas de 935 msnm y mínimas de 30 msnm respectivamente, con una pendiente media del río es de 1.45% (0.0145 m/m), indicando que el escurrimiento se caracteriza como suave. El número de ríos de primer orden es de 187.

5.1.11. Numero de Escurrimiento

El número de escurrimiento se obtiene con la siguiente ecuación:

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

$$Es = \frac{599.63 \text{ (km}^2\text{)}}{4 * 603.20 \text{ (km)}}$$

$$Es = 0.25 \text{ km}^2/\text{km}$$

Donde:

A = Área de drenaje de la cuenca (km²)

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

Es = Número de Escurrimiento (km²/km)

El total de afluentes existentes es de 603.20, lo que caracteriza el escurrimiento de la subcuenca como medio (según cuadro 3.6), el cual proporciona un buen drenaje y por lo tanto favorece al escurrimiento de la misma.

5.1.12. Rectángulo equivalente

Para el cálculo del rectángulo equivalente se utiliza el coeficiente de Gravelius y la superficie de la cuenca mediante la siguiente ecuación:

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

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

Donde:

LM= Lado mayor del rectángulo en km

Lm = Lado menor del rectángulo en km

Kc = coeficiente de Gravelius

A= superficie de la cuenca en

$$LM = [(2.06 \cdot \sqrt{599.63}) / 1.12] \cdot [1 + \sqrt{1 - (1.12 / 2.06)^2}]$$

$$LM = 82.95 \text{ km}$$

$$Lm = [(2.06 \cdot \sqrt{599.63}) / 1.12] \cdot [1 - \sqrt{1 - (1.12 / 2.06)^2}]$$

$$Lm = 7.23 \text{ km}$$

Las transformaciones geométricas de la cuenca real en una superficie rectangular tienen como de lado mayor de 82.95 km y lado menor de 7.23 km, conservando el mismo perímetro de tal forma que las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas a los lados menores del rectángulo y con el mismo Coeficiente de Gravelius.

5.1.13. Altitud media de la cuenca.

La altitud media de la unidad de cuenca se calcula con la siguiente ecuación (ver cuadro 5.2):

$$E_m = (\sum(H_i * A_i)) / A_{Total}$$

En donde:

E_m : Altitud media de la cuenca

H_i : Altura media entre dos curvas de nivel consecutivas

A_i : Superficie entre dos curvas de nivel consecutivo

Cuadro 5.2: Altitud media de la unidad de cuenca

Hi (m)	Ai (Km ²)	Hi x Ai
75	280.50	21,038
166	107.71	17,880
256.5	68.04	17,451
347	83.35	28,922
437.5	41.00	17,939
528	10.68	5,637
618.5	5.02	3,106
709	2.80	1,984
799.5	0.47	375
890	0.06	53
0	0.00	0

0	0.00	0
0	0.00	0
suma	599.63	114,385.54
Em =	190.76m	

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

La altitud media de la unidad de cuenca tiene un valor 190.76 msnm.

5.2. Caracterización climática de la zona de estudio

5.2.1 Clasificación de Köppen

Para determinar la Clasificación Climática de la cuenca se utilizó las Modificaciones al sistema de Köppen hechas por la MSc. Enriqueta García, consultora proyecto FINNIDA/OMM/CRRH/INETER-Dirección de Meteorología, 1994.

Los tipos de climas **Aw** de Köppen (subhúmedo con lluvias en verano) se clasifican porque caen al menos diez veces mayor cantidad de lluvias en el mes más húmedo de la mitad caliente del año, que en el mes más seco.

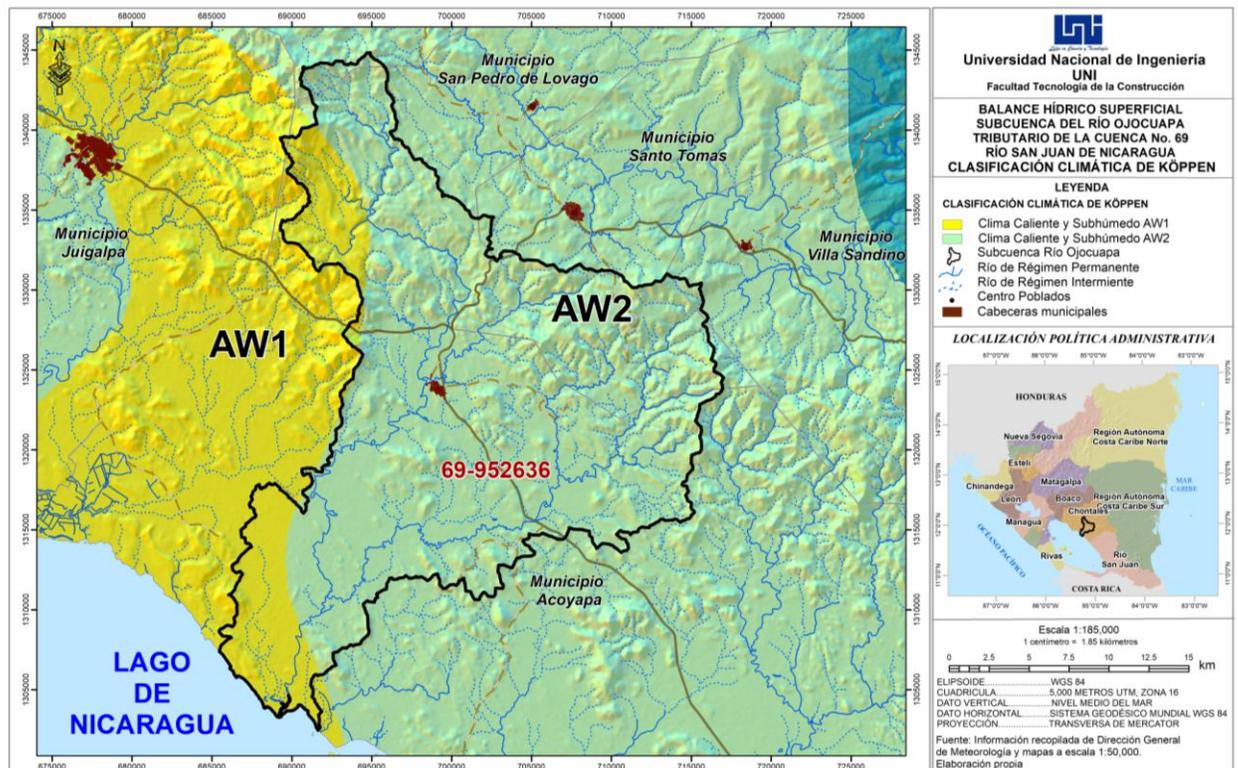
<u>Símbolo</u>	<u>Cociente P/T</u>	<u>Designaciones</u>
Awo	43.2	(el más seco de los subhúmedos)
Aw1	entre 43.2 y 55.3	(intermedio entre Aw0 y Aw2)
Aw2	55.3	(el más húmedo de los Subhúmedos)

De acuerdo al Sistema de Köppen Modificado, en Nicaragua se presenta los siguientes tipos o categorías de climas:

Clima Caliente y Subhúmedo Tropical, con lluvia en verano (**AW1, AW2**): este clima predomina en todo la Región del Pacífico y en la mayor parte de la región Norte, se caracteriza por presentar una estación seca (noviembre - abril). La precipitación varía desde un mínimo de 600 mm, hasta un máximo de 2,000 mm.

En área de la unidad hidrológica de estudio se presenta el clima caliente y subhúmedo AW1 y el clima caliente y subhúmedo AW2. En la figura No. 1.1 se muestra en la zona de estudio la distribución espacial de estos dos tipos de clima.

Figura 1.1: Distribución espacial del clima en la unidad hidrológica



Fuente: Elaboración propia, con información de mapas de INETER

5.2.2. Precipitación

Se recopilaron las informaciones meteorológicas de precipitación, temperatura y humedad relativa, en series a niveles medios mensuales. Posteriormente se analizó la consistencia y la homogeneidad de los registros históricos de los datos.

Se seleccionaron 6 estaciones meteorológicas para el análisis de la distribución espacial de la precipitación en la unidad hidrológica de la Subcuenca del río

Ojocuapa que incidieran directamente y adyacente, las cuales se localizan en la parte alta, media y baja de la unidad hidrológica respectivamente.

Cabe destacar que se tomaron los datos de la estación principal ubicada en Juigalpa (69034) para la evaluación climática de los parámetros de temperatura y la humedad relativa por ser la única estación principal que tiene estos registros para la zona. Se tomó en cuenta para evaluar la precipitación media el registro de las estaciones meteorológicas que inciden en el régimen y comportamiento de la precipitación en la unidad hidrológica. Esta situación se logra constatar con el cálculo de la precipitación media por el método de Thiessen. Del procedimiento se logra obtener las precipitaciones basadas en la incidencia arial y asignación de peso y/o porcentaje con referencia a la superficie total de la unidad hidrológica. Las estaciones consideradas en este estudio, incluyendo su peso o porcentaje, son las siguientes:

Cuadro No. 5.3: Estaciones y su porcentaje o peso de la unidad hidrológica

Nombres	Estaciones	Porcentaje o peso
Santo Tomás	61008	0.08
La Libertad	61021	0.03
Villa Sandino	61025	0.08
Lóvago	69024	0.18
La Palma	69053	0.09
Acoyapa	69206	0.53

Fuente: Elaboración propia, estadísticas de INETER

Si se consideran en el cálculo de las precipitaciones mensuales la representatividad del área que tiene una estación meteorológica con respecto al área total de la zona de estudio (usando el método de Thiessen), se observa entonces que la precipitación va a variar en dependencia del tamaño del área que represente esa estación pluviométrica y de los datos registrados. En el Cuadro No. 5.4 y en el gráfico No. 5.3 se presenta la precipitación media anual arial con un valor de 1433.9 mm (usando el método de Thiessen). En estos resultados se observa que el período lluvioso abarca los meses de Mayo a

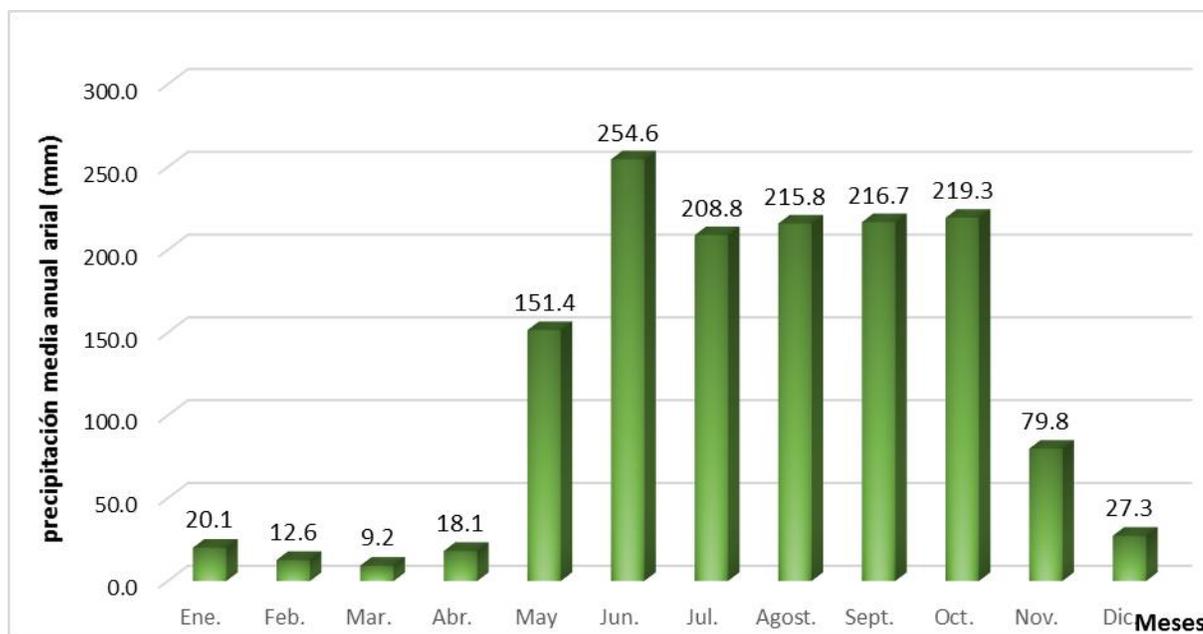
Octubre, iniciándose en mayo con un promedio de precipitación de 151.4 mm y finalizando con 219.3 mm en Octubre; el mes más lluvioso es junio, seguido del mes de agosto. Los meses con precipitaciones más bajas son febrero y marzo, con 12.6 mm y 9.2 mm respectivamente.

Cuadro No. 5.4: Precipitación media anual arial

Nombres	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May	Jun.	Jul.	Agost.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	ANUAL
Santo Tomás	3.664	2.3	0.9	2.0	13.8	24.7	21.0	15.8	13.9	16.2	7.3	4.4	122.3
La Libertad	1.866	1.1	0.8	0.8	3.6	7.9	9.3	6.0	5.7	5.7	3.8	1.9	48.5
Villa Sandino	4.33	3.1	1.2	1.2	12.7	27.0	23.8	20.8	14.9	18.1	9.6	7.3	144.0
Lóvago	3.946	2.3	1.0	4.3	30.6	56.7	40.7	44.3	49.0	51.0	16.2	3.5	303.5
La Palma	1.009	0.6	0.4	1.2	14.5	18.3	18.2	20.3	21.8	21.1	4.4	0.9	122.5
Acoyapa	5.3	3.4	5.0	8.6	76.3	120.1	95.9	108.6	111.4	107.3	38.5	9.2	689.5
Promedio	20.1	12.6	9.2	18.1	151.4	254.6	208.8	215.8	216.7	219.3	79.8	27.3	1433.9

Fuente: Elaboración propia, estadísticas de INETER

Gráfico No. 5.3: precipitación media anual arial



Fuente: Elaboración propia, estadísticas de INETER

5.2.3. Temperatura

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 27.0 °C, ver cuadro No. 5.5 y gráfico No. 5.3.

Cuadro No. 5.5: Valores de Temperatura mensual (Juigalpa/Chontales)

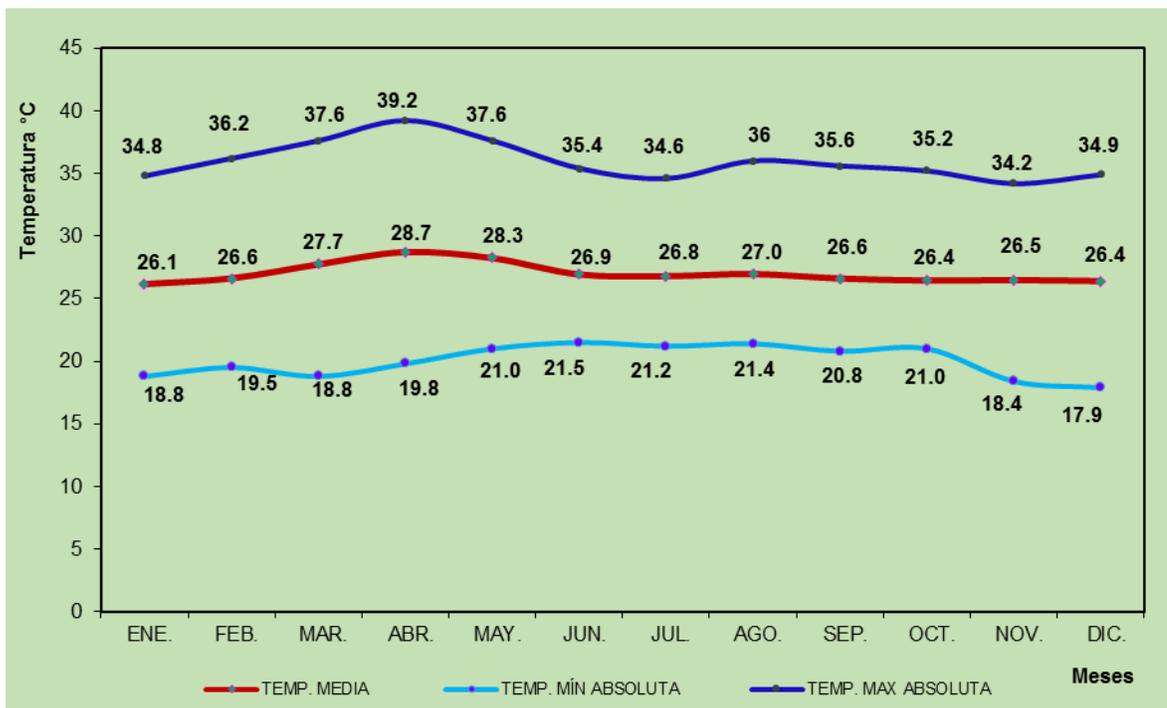
TEMPERATURA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	MEDIA
TEMP. MEDIA	26.1	26.6	27.7	28.7	28.3	26.9	26.8	27.0	26.6	26.4	26.5	26.4	27.0
TEMP. MÍN ABSOLUTA	18.8	19.5	18.8	19.8	21.0	21.5	21.2	21.4	20.8	21.0	18.4	17.9	20.0
TEMP. MAX ABSOLUTA	34.8	36.2	37.6	39.2	37.6	35.4	34.6	36	35.6	35.2	34.2	34.9	35.9

Fuente: Elaboración propia, estadísticas de INETER

Esta temperatura 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 rangos de 17.9 °C, (ocurrido en el mes de diciembre) a 39.2 °C, en el mes de abril.

En el gráfico No. 5.5 se muestra las temperaturas, tomando como referencia la estación de Juigalpa, Chontales.

Gráfico No. 5.3: Comportamiento de la Temperatura (Juigalpa/Chontales)



Fuente: Elaboración propia, estadísticas de INETER

5.2.4. Humedad Relativa

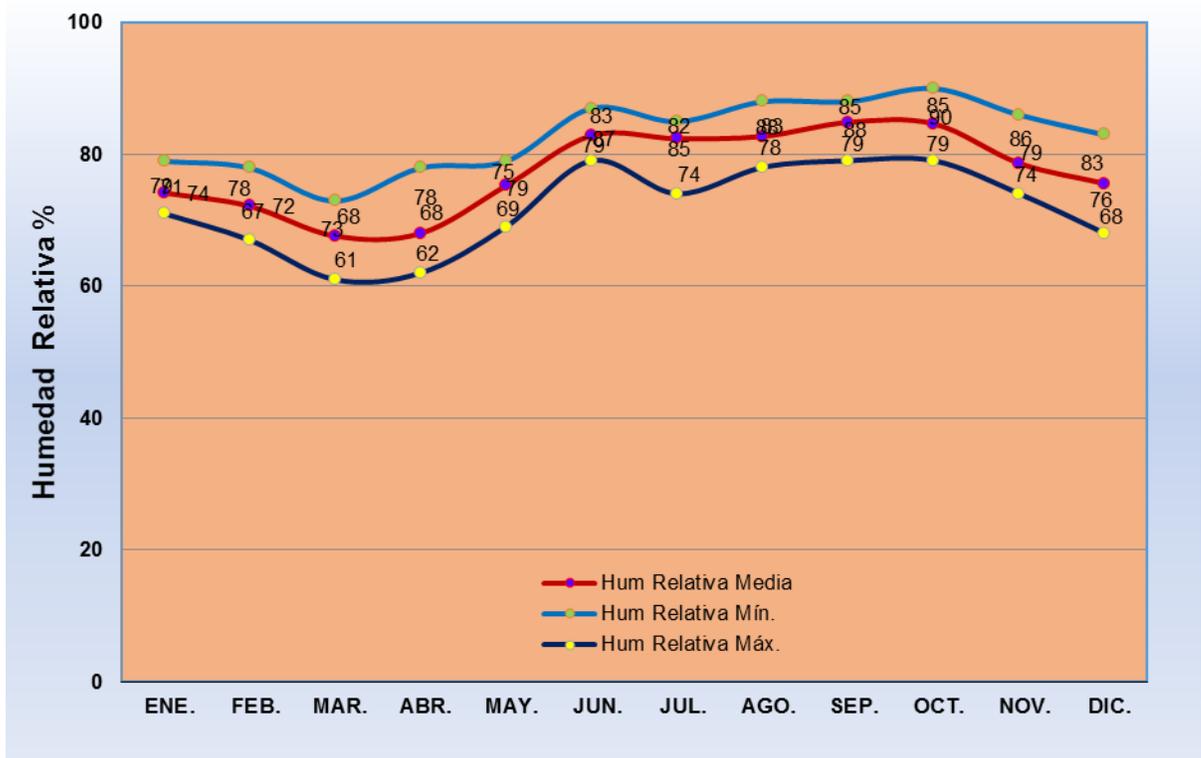
La humedad relativa media anual para el área de estudio es de 77%; los valores mínimos de la humedad relativa media mensual en las diferentes localidades dentro de la unidad hidrológica, tienen lugar en el mes de marzo y abril con 61%, y los máximos de la humedad relativa media en octubre, con 90%; ver cuadro No. 5.6 y gráfico No. 5.4.

Cuadro No. 5.6: Valores de la humedad media mensual y anual (Juigalpa/Chontales)

HUMEDAD (%)	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	MEDIA
Hum Relativa Media	74	72	68	68	75	83	82	83	85	85	79	76	77
Hum Relativa Max.	79	78	73	78	79	87	85	88	88	90	86	83	83
Hum Relativa Min.	71	67	61	62	69	79	74	78	79	79	74	68	72

Fuente: Elaboración propia, estadísticas de INETER

Gráfico No. 5.4: Valores mensuales de la humedad relativa (Juigalpa/Chontales)



Fuente: Elaboración propia, estadísticas de INETER

5.3. CALCULO 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. Se tomó en cuenta la altitud de la estación meteorológica de Juigalpa/Chontales 90 msnm, y se utilizó el método de George Hargreaves, en el cual se utilizan valores medios de temperatura y humedad relativa.

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial por la fórmula de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985) solo se requiere de datos de temperaturas y de radiación solar; y se calcula mediante la siguiente expresión.

$$ET_0 = 0,0135 (t_{med} + 17,78) R_S$$

Donde:

ET_0 = Evapotranspiración potencial diaria, mm/día

t_{med} = Temperatura media, °C

R_S = Radiación solar incidente, convertida en mm/día

La radiación solar incidente, R_S , se evalúa a partir de la radiación solar extraterrestre (la que llega a la parte exterior de la atmósfera, que sería la que llegaría al suelo si no existiera atmósfera); ésta última aparece según diferentes autores como R_0 o R_a , y se encuentra en tablas en función de la latitud del lugar y del mes del año (ver las tablas en anexo).

Los valores de la humedad relativa y de la temperatura se obtienen de datos y/o mediciones estadísticas, en este caso de información de INETER. Para la consideración de la radiación solar se requieren los siguientes parámetros climáticos:

- ✓ Factor de duración por latitud (Fd Latitud),
- ✓ Factor de corrección por latitud (Fc Latitud),
- ✓ Humedad relativa al medio día (Hn),
- ✓ Factor de duración de resplandor solar (Fc duración R.S.),
- ✓ Porcentaje mensual de horas luz (d),
- ✓ Factor de corrección por elevación (Fc Elevación),
- ✓ Corrección del factor de duración del resplandor solar, % (tabla), (Corrección RS),

En las ecuaciones siguientes se presentan las expresiones para el cálculo de factores climáticos y la Evapotranspiración para el área de estudio para el período de un año.

$$d = 0.12 * Fc. \text{ Fc se encuentra en tabla.}$$

$$Hn = 1 + 0.4 * (HR) + 0.004 * (HR^2)$$

$$Fc\text{-Elevación} = (Elevación / 150) * 0.01$$

$$Fc\text{-Duración R.S} = (Fd\text{-Latitud} / 24) * 100$$

$$\text{Corrección-RS} = Fd\text{-Latitud} / Fc\text{-duración R.S}$$

$$ETP = 17.37 * (d) * (T) * (1 - 0.01 * Hn)$$

$$\text{Corrección-RS} * ETP = \text{Corrección-RS} * ETP$$

$$ETP_{\text{correg}} (ETP_o) = ETP - \text{Corrección-RS} * ETP / Fc \text{ Elevación} * ETP$$

En el cuadro No. 5.7 se presentan los resultados del cálculo de la evapotranspiración potencial para el primer año de la serie de años seleccionados para este estudio, usando los procedimientos el método de Hargreaves; dichos procedimientos se aplican para los demás años de la serie histórica para determinar éste parámetro para todo el período de datos seleccionados en esta investigación.

Cuadro No. 5.7: Procedimiento del cálculo de la Evapotranspiración potencial

Estación: Juigalpa Grado decimales Código: 69034 Tipo: HMP Latitud: 12° 06' 00" N =13.61666667 Longitud 85° 22' 00" W Años: 2000-2015 Elevación msnm 90													
Parámetros	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic	Prom.
Temperatura	26.19	26.66	27.84	28.84	28.29	27.04	26.94	27.05	26.61	26.47	26.53	26.47	27.08
Fc Latitud	8.08	7.40	8.44	8.43	8.84	8.64	8.90	8.78	8.27	8.28	7.85	8.05	
d	0.97	0.89	1.01	1.01	1.06	1.04	1.07	1.05	0.99	0.99	0.94	0.97	
Humedad relativa	74.20	72.20	67.67	68.07	75.27	82.87	82.40	82.73	84.87	84.64	78.67	75.60	77.43
Hn	52.70	50.73	46.38	46.76	53.77	61.61	61.12	61.47	63.76	63.51	57.22	54.10	
Fc Elevac.	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
Fd Latitud	11.56	11.77	12.00	12.01	12.68	12.82	12.72	12.48	12.14	11.80	11.46	11.46	
Fc durac.RS	48.17	49.04	50.00	50.04	52.83	53.42	53.00	52.00	50.58	49.17	47.75	47.75	
Correc RS	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	
ETP	208.65	202.60	262.61	269.81	241.03	186.93	194.31	190.70	166.27	166.69	185.68	203.83	2479.12
Correc RS * ETP (1)	50.08	48.62	63.03	64.75	57.85	44.86	46.64	45.77	39.91	40.01	44.56	48.92	
ETP - (1)	158.57	153.98	199.58	205.05	183.18	142.06	147.68	144.93	126.37	126.68	141.12	154.91	
Fc Elev * ETP	1.25	1.22	1.58	1.62	1.45	1.12	1.17	1.14	1.00	1.00	1.11	1.22	
ETP corg (ETPo)	157.3	152.8	198.0	203.4	181.7	140.9	146.5	143.8	125.4	125.7	140.0	153.7	1,869

Fuente: Elaboración propia. Estadísticas de INETER

En el cuadro No. 5.8 se presentan los resultados del cálculo de la evapotranspiración potencial para los años del período seleccionado para este estudio (2000-2014). La evaporación potencial media fue estimada en 1,860.4 mm/año. Los valores máximos de la ETP se presentan en los meses de marzo y abril, que alcanza valores de 198 mm y 203.3 mm respectivamente. La evapotranspiración potencial presenta sus valores mínimos en los meses de octubre y noviembre, con valores de 125.4 mm y 117.3 mm respectivamente.

Cuadro No. 5.8: Valores medios mensuales de evapotranspiración potencial**(Estación de Juigalpa – Método de Hargreaves)**

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May	Jun.	Jul.	Agost.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
2000	160.2	148.3	182.6	171.5	167.9	146.3	154.6	161.3	120.6	144.1	144.9	154.1	1856.5
2001	146.7	137.6	190.9	211.1	208.0	151.2	149.6	146.4	116.4	129.2	141.0	147.9	1876.1
2002	155.3	142.8	191.0	190.7	173.0	137.8	139.9	152.0	120.6	128.7	139.8	158.8	1830.4
2003	166.5	173.6	205.1	211.3	190.0	124.1	142.8	154.8	129.0	120.3	132.4	156.8	1906.8
2004	156.2	144.4	195.1	210.5	166.1	148.0	147.3	150.9	138.4	137.6	135.9	148.6	1879.0
2005	150.2	155.4	197.7	213.4	174.9	123.5	136.3	121.4	112.6	100.7	123.1	129.8	1739.2
2006	140.6	131.4	175.6	164.7	173.7	141.3	140.9	146.2	150.6	139.6	148.7	158.3	1811.6
2007	171.6	162.6	211.3	205.5	193.3	149.1	142.3	132.0	117.9	104.8	143.8	159.5	1893.8
2008	162.7	162.0	195.1	223.7	197.6	146.3	146.2	133.0	113.1	106.9	155.3	161.3	1903.2
2009	158.6	150.1	192.3	204.1	166.8	133.3	149.5	147.5	145.3	143.9	134.4	148.5	1874.5
2010	166.5	176.0	227.3	212.0	169.1	135.8	134.8	126.6	118.3	143.8	143.2	172.0	1925.5
2011	162.5	158.4	202.7	219.1	193.3	140.7	138.3	142.5	126.2	0.0	142.6	147.5	1773.9
2012	149.1	143.3	199.3	204.1	179.5	137.8	144.4	139.5	130.5	129.7	158.8	160.0	1876.0
2013	159.4	156.5	201.5	208.3	181.4	137.3	140.4	143.0	116.8	112.8	114.5	127.7	1799.7
2014	153.1	149.1	202.1	200.2	190.6	161.3	190.7	159.4	124.8	117.9	139.8	171.0	1960.1
Media	157.3	152.8	198.0	203.3	181.7	140.9	146.5	143.8	125.4	117.3	139.9	153.5	1860.4

Fuente: Elaboración propia. Estadísticas de INETER

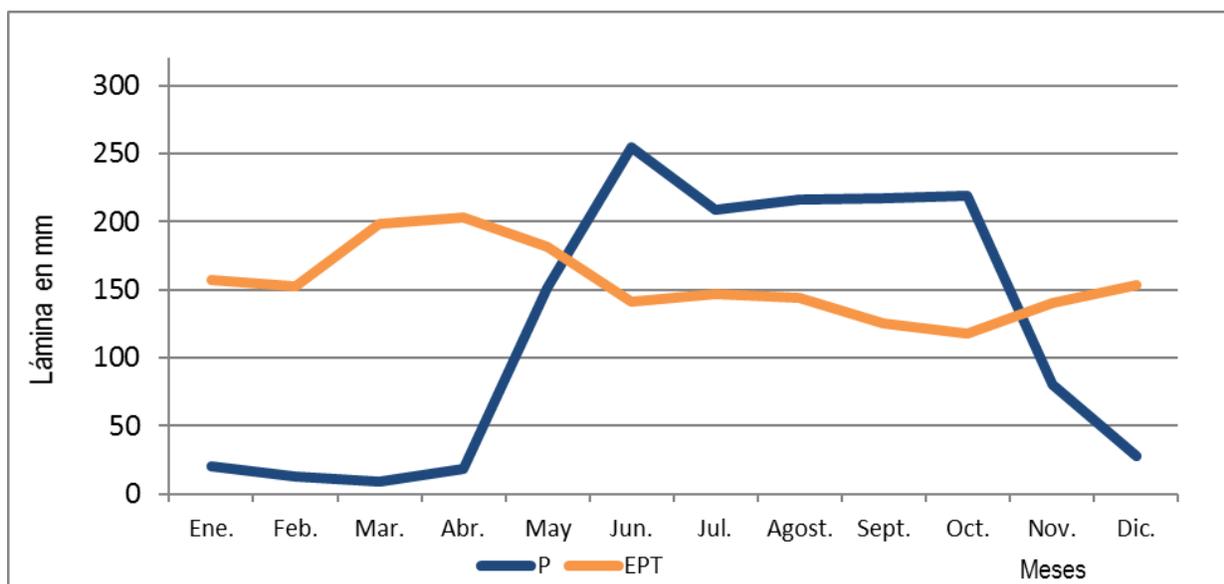
5.3.2 Cálculo del balance hídrico

En el cuadro No. 5.9 y gráfico No. 5.6 se muestran los valores del balance considerando la precipitación arial y la evapotranspiración; se observa que en el período comprendido entre el mes de noviembre y el mes de mayo los valores de la evapotranspiración son mayores que los de la precipitación, lo cual genera un déficit de agua, mientras que entre los meses de junio y octubre la precipitación es mayor que la evapotranspiración, lo cual genera valores positivos de agua.

Cuadro No. 5.9: Balance hídrico superficial de la subcuenca Ojocuapa

Parámetros	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May	Jun.	Jul.	Agost.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Precipitación P	20.1	12.6	9.2	18.1	151.4	254.6	208.8	215.8	216.7	219.3	79.8	27.3
EPT	188.6	193.7	261.4	225.5	201.9	130.7	142.6	146.7	126.4	126.2	141.1	174.6
P - EPT	-168.4	-181.1	-252.2	-207.4	-50.5	123.9	66.3	69.1	90.3	93.1	-61.2	-147.3

Gráfico No. 5.5: Balance hídrico superficial de la subcuenca Ojocuapa



Fuente: Información estadística de INETER y elaboración propia del gráfico

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Según los datos estimados en este estudio, se concluye que la unidad hidrográfica del Río Ojocuapa, tiene un área de 599.63 km² y un perímetro 180.36 km. El tipo de clima que predomina es el caliente y subhúmedo. De acuerdo a las estadísticas obtenidas de las estaciones seleccionadas se obtuvo una precipitación media anual arial de 1433.9 mm. El comportamiento de la temperatura media anual corresponde a los 27 °C. La humedad relativa media anual para el área de estudio es de 77%.

La altitud media de la unidad de cuenca tiene un valor 190.76 msnm. En la subcuenca se encuentran elevaciones máximas de 935 msnm y mínimas de 30 msnm respectivamente, la longitud del cauce principal es de 62.53 km con una pendiente media del río de 0.0145 m/m (1.45%), indicando que el escurrimiento se clasifica como suave. La pendiente media para la unidad de estudio es de 0.07 m/m (7 %), la cual es considerada de suave a moderada.

En la Curva Hipsométrica se observa que entre las altitudes de 500 msnm y 300 msnm la curva se presenta en general cóncava hacia arriba. Entre las altitudes de 200 msnm y 10 msnm la curva presenta un equilibrio que refleja un relieve natural más homogéneo. En este caso se puede apreciar que la mayoría del área de la subcuenca Río Ojocuapa se encuentra en su parte media a baja, es decir entre las elevaciones 347 msnm y 75 msnm, lo que representa cerca del 90% del área total de la unidad hidrográfica.

El tiempo de concentración es de 4.3 horas (258 minutos) y se clasifica como lento. El Coeficiente de Compacidad o índice de gravelius de la unidad hidrológica es de 2.06, el cual se clasifica como redonda a oval redonda. La forma de la subcuenca es muy poca achatada por presentar un factor de forma de 0.153. El total de afluentes existentes es de 603.20, lo que caracteriza el escurrimiento de la subcuenca como medio, el cual proporciona un buen drenaje.

En el período comprendido entre el mes de noviembre y el mes de mayo los valores de la evapotranspiración son mayores que los de la precipitación, lo cual genera un déficit de agua, mientras que entre los meses de junio y octubre la precipitación es mayor que la evapotranspiración, lo cual genera valores positivos de agua.

6.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda para futuros análisis meteorológicos trabajar con datos de precipitación actualizados acorde a los períodos de los estudios correspondientes.

Hay que implementar la reforestación en toda el área de la unidad hidrológica como consecuencia del mal uso de los suelos del área, lo que ha provocado problemas fuertes de erosión y degradación de los suelos.

La implementación de acciones y proyectos ambientales con objetivos de mejorar la situación ambiental con respecto a las fuentes de agua y la conservación de los suelos se requiere que los diferentes actores, instituciones públicas y privadas trabajen de forma coordinada. Las acciones a implementar deben estar enmarcadas bajo enfoques estratégicos y de sostenibilidad.

Se recomienda que monitorear las diferentes estaciones meteorológicas para garantizar la confiabilidad y calidad de los datos estadísticos; esto también requiere de las capacitaciones continuas y apropiadas de los técnicos que levantan y procesan la información estadística

BIBLIOGRAFIA

- ✓ INEC. 1995. Datos Preliminares del VII Censo Nacional de Población.
- ✓ MIJARES, F. J. (1989). Fundamentos de hidrología de superficie. México D.F.: LIMUSA, S.A.
- ✓ Aparicio Mijares, Francisco Javier. 2007. Fundamentos de hidrología de superficie. Limusa, México, D. F. 303 pp.
- ✓ Fenzl Norbert. Nicaragua: Geografía, Clima, Geología y Hidrología.
- ✓ UNESCO.1982. Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur. Montevideo 117 pp.
- ✓ UNESCO. Instituto de Hidrología de España. Método de Cálculo del Balance Hídrico, Madrid España. 1981.
- ✓ Instituto México de Tecnología del Agua, IMTA. Balance Hídrico en la Cuenca de Mexica. Coordinación de Tecnología Hidrológica, Sub coordinación de Hidrología y Mecánica de Ríos, México. 2003.
- ✓ Duque C. Robert. A. Precipitación formación, medición y análisis de datos CIDIAT, Mérida, Venezuela. 1985.
- ✓ Naciones Unidad, Programa Para el Desarrollo Organización Meteorológica Mundial, Manual de Instrucciones de Hidrometría, publicación número 49, San José-Costa Rica. 1969.
- ✓ Ven Te Chow, David R. Maidment y Larry W, Mays. Hidrología aplicada. McGRAW-HILL, INC. Colombia. 1996.

ANEXOS

Cuadro 1: Precipitación media mensual de la estación meteorológica de Santo Tomas

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES													
DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA													
Estación:		SANTO TOMAS						Código:		61008			
Departamento:		JUIGALPA						Municipio:		SANTO TOMÁS			
Latitud:		12° 04' 06" N						Longitud:		85° 05' 30" W			
Años:		2000-2014						Elevación:		400 msnm			
Parámetro:		Precipitación (mm)						Tipo:		PV			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic	Suma
2000	21.9	36.3	5.8	19.6	56.9	269.1	108.7	380.5	209.2	149.0	104.7	22.8	1384.5
2001	31.9	53.3	0.0	0.0	132.4	222.9	192.4	148.8	215.3	150.3	60.7	58.5	1266.5
2002	83.0	37.0	8.4	43.9	327.3	482.7	303.9	146.2	171.7	164.5	98.1	42.3	1909.0
2003	26.7	16.5	7.7	2.3	123.0	343.3	382.0	163.7	115.6	172.9	165.6	50.2	1569.5
2004	72.1	31.9	45.7	67.5	254.9	255.8	179.7	154.2	139.7	315.4	127.6	92.2	1736.7
2005	16.0	3.3	1.0	0.9	187.2	413.8	199.4	142.3	181.3	137.8	259.3	61.3	1603.6
2006	108.1	30.7	22.0	8.4	97.5	182.7	247.3	96.9	146.8	123.2	67.6	52.0	1183.2
2007	30.8	29.1	12.7	48.5	158.1	295.8	441.0	280.0	239.2	316.2	110.8	150.9	2113.1
2008	80.0	12.5	5.7	11.3	263.9	610.0	149.5	130.0	155.9	396.8	20.4	55.1	1891.1
2009	33.0	34.4	3.5	6.0	198.3	430.4	405.5	193.7	108.4	208.4	40.8	47.0	1709.4
2010	9.2	12.2	6.0	33.7	277.4	452.6	332.3	496.5	271.2	102.9	46.7	16.2	2056.9
2011	50.2	58.0	13.2	94.8	251.6	83.1	576.1	200.3	212.8	268.9	64.4	21.4	1894.8
2012	66.7	31.9	20.4	34.3	117.0	258.0	268.6	214.2	166.9	154.1	51.6	79.8	1463.5
2013	35.9	24.8	7.2	22.0	137.3	207.9	169.4	111.6	167.8	193.3	80.9	72.2	1230.3
2014	46.2	25.6	15.2	0.0	99.0	282.2	120.0	206.8	199.7	299.3	122.4	34.9	1451.3
Suma	712	438	175	393	2682	4790	4076	3066	2702	3153	1422	857	24463
Media	47.4	29.2	11.6	26.2	178.8	319.4	271.7	204.4	180.1	210.2	94.8	57.1	1693.2
Max	108.1	58.0	45.7	94.8	327.3	610.0	576.1	496.5	271.2	396.8	259.3	150.9	2113.1

Cuadro 2: Precipitación media mensual de la estación meteorológica de La Libertad

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES													
DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA													
Estación:	LA LIBERTAD				Códig	61021							
Departament	CHONTALES				Municipio:	LA LIBERTAD							
Latitud:	12° 12' 29" N				Longitud:	85° 10' 36" N							
Años:	2000 - 2014				Elevación:	467 msnm							
Parámetro:	Precipitación (mm)				Tipo:	PV							
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic	Suma
2000	23.3	23.3	5.2	15.9	72.8	251.6	109.3	362.2	215.6	156.5	133.0	50	1418.7
2001	27.3	62.3	4.1	14.8	88.3	224.2	288.2	185.8	183.7	159.5	65.2	85.0	1388.4
2002	66.9	50.6	3.6	44.5	144.1	199.0	392.4	171.8	288.3	158.9	102.8	41.9	1664.8
2003	25.6	24.6	47.4	69.0	144.5	345.3	443	233.4	113.8	141.4	117.7		1705.7
2004	91.6	102.3	162.6	121.6	83.6	232.8	432.4	277.2	198.6	112.7	402.2	109.9	133.2
2005	54.4	5.0	6.8	2.5	53.6	404.5	229	173.2	152.4	263.9	251.5	60.5	1657.3
2006	122.9	38.0	2.8	0	27.1	116.9	203.8	37.8	51.4	119.2	38.9	23.9	782.7
2007	38.8	10.7	34.2	38.7	92.7	103.7	194.1	60.8	267.8	145.4	203.6	57.8	1248.3
2008	134.8	19.4	18.7	4.2	155.1	312.4	255.9	203.3	61.6	355.6	39.5	51.4	1611.9
2009	83.8	23.3	6.2	9.8	179.4	323.8	463.1	197.4	127.8	176.1	90.6	50.6	1731.9
2010	12.9	20.1	16.8	6.4	246.9	202.9	229.5	183.2	232.2	18.5	22.5	11.9	1203.8
2011	17.5	18.4	1.0	0.0	28.4	144.7	200.8	130.6	125.3	183.6	36.9	19.3	906.5
2012	74.2	40.2	29.2	32.1	130.3	253.0	280.3	218.6	219.4	200.3	115.2	86.8	1679.6
2013	17.1	25.4	6.1	0.9	21.3	150.9	230.9	75.0	111.9	164.6	30.8	22.0	856.9
2014	28.1	17.0	9.9	0.9	111.8	216.2	122.9	112.1	133.1	150.8	29.5	110.2	1042.5
Suma	819	481	355	361	1580	3482	4076	2622	2483	2507	1680	781	19032
Media	54.6	32.0	23.6	24.1	105.3	232.1	271.7	174.8	165.5	167.1	112.0	55.8	1268.81
Max	134.8	102.3	162.6	121.6	246.9	404.5	463.1	362.2	288.3	355.6	402.2	110.2	1731.90
Min	12.9	5	1	0	21.3	103.7	109.3	37.8	51.4	18.5	22.5	11.9	133.2

Cuadro 3: Precipitación media mensual de la estación meteorológica de Villa Sandino

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES													
DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA													
Estación:		VILLA SANDINO						Código:		61025			
Departamento:		CHONTALES						Municipio:		VILLA SANDINO			
Latitud:		12° 03' 18" N						Longitud:		84° 59' 48" N			
Años:		2000 - 2014						Elevación:		612 msnm			
Parámetro:		Precipitación (mm)						Tipo:		PV			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic	Suma
2000	24.9	11.1	4.8	12.5	89.1	237.3	111.1	348.1	224.1	165.5	161.9	77.0	1467.4
2001	23.2	71.8	8.3	29.5	46.5	227.8	384.1	223.7	154.9	170.1	70.4	111.6	1521.9
2002	82.4	42.3	18.6	36.1	315.6	277.3	443.7	218.6	104.1	323.5	172.1	48.8	2083.1
2003	31.6	21.3	11.7	0.0	111.8	368.1	250.0	155.7	217.2	157.5	200.6	34.0	1559.5
2004	59.7	57.6	29.5	2.0	305.6	271.7	224.9	201.4	10.4	319.8	112.2	128.8	1723.6
2005	43.4	0.0	0.0	0.0	254.7	329.9	345.0	343.8	337.1	161.7	134.6	61.4	2011.6
2006	151.0	35.9	54.0	16.4	162.0	190.5	318.0	153.2	198.7	136.9	57.8	79.5	1553.9
2007	42.1	39.9	7.0	22.8	31.5	182.7	379.4	350.6	178.3	212.7	145.8	124.6	1717.4
2008	76.6	18.2	15.3	5.8	156.3	326.8	120.9	220.8	127.5	432.7	69.7	93.5	1664.1
2009	45.2	75.4	9.0	13.7	163.0	223.6	523.6	203.0	148.0	146.6	139.9	54.6	1745.6
2010	12.8	15.8	0.0	10.8	332.9	701.9	392.4	438.5	202.2	104.0	37.0	17.2	2265.5
2011	39.8	50.6	18.1	27.7	119.9	490.9	218.0	146.1	74.8	221.3	69.5	165.9	1642.6
2012	43.6	43.0	28.9	27.8	22.9	447.9	102.5	357.5	105.0	143.8	69.2	152.6	1544.7
2013	67.3	40.1	9.4	2.1	110.2	292.5	274.3	207.7	304.4	167.4	98.5	121.7	1695.6
2014	33.5	25.1	5.9	1.1	49.9	272.7	190.4	164.5	287.1	381.1	183.3	44.1	1638.7
Suma	777	548	221	208	2272	4842	4278	3733	2674	3245	1723	1315	25835
Media	51.8	36.5	14.7	13.9	151.5	322.8	285.2	248.9	178.3	216.3	114.8	87.7	1722.3
Max	151.0	75.4	54.0	36.1	332.9	701.9	523.6	438.5	337.1	432.7	200.6	165.9	2265.5
Min	12.8	0.0	0.0	0.0	22.9	182.7	102.5	146.1	10.4	104.0	37.0	17.2	1467.4

Cuadro 4: Precipitación media mensual de la estación meteorológica de Lóvago

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES													
DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA													
Estación:		LOVAGO						Código:		69024			
Departamento:		CHONTALES						Municipio:		Acoyapa			
Latitud:		12° 00' 00" N						Longitud:		85° 10' 02" N			
Años:		2000-2014						Elevación:		90 msnm			
Parámetro:		Precipitación (mm)						Tipo:		PV			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic	Suma
2000	59.7	19.7	4.1	76.7	83.7	293.2	148.8	245.5	378.5	242.7	87.6	19.2	1659.4
2001	5.9	34.2	0.0	0.0	194.4	197.6	174.2	170.9	344.7	239.6	41.8	15.8	1419.1
2002	24.2	13.5	6.0	31.3	397.3	319.9	204.3	129.0	236.5	222.3	109.4	13.5	1707.2
2003	15.2	3.2	5.7	3.8	113.4	472.5	199.1	120.5	212.3	241.2	87.4	23.0	1497.3
2004	55.2	21.0	16.3	11.5	191.8	191.6	155.9	212.4	267.0	187.9	141.1	7.6	1459.3
2005	2.2	0.0	0.8	0.4	304.7	577.8	216.2	298.6	282.0	404.7	171.8	19.4	2278.6
2006	39.5	15.0	7.0	7.7	89.2	211.5	187.8	85.9	166.7	97.3	94.4	45.4	1047.4
2007	36.2	10.1	2.5	14.0	96.9	141.0	280.6	474.1	248.5	467.5	112.8	10.5	1894.7
2008	14.4	4.3	0.0	8.1	232.1	382.6	140.7	278.3	282.5	485.7	24.7	0.0	1853.4
2009	3.6	4.2	23.2	15.6	97.9	361.2	271.2	85.5	8.4	79.1	112.5	37.1	1099.5
2010	1.3	0.0	0.9	75.9	216.1	389.0	326.2	773.7	335.2	166.2	72.1	17.1	2373.7
2011	13.1	7.1	3.6	40.8	139.6	325.4	407.9	331.6	184.2	422.7	27.5	13.2	1916.7
2012	25.3	22.9	7.7	34.3	125.2	382.7	225.8	128.0	280.2	238.3	37.3	28.0	1535.7
2013	6.8	10.7	0.3	0.0	144.5	221.2	302.0	142.5	453.0	289.4	114.2	37.3	1721.9
2014	19.5	19.7	0.7	31.9	70.6	161.6	79.5	140.0	324.2	375.6	87.3	2.2	1312.8
Suma	322	186	79	352	2497	4629	3320	3617	4004	4160	1322	289	24777
Media	21.5	12.4	5.3	23.5	166.5	308.6	221.3	241.1	266.9	277.3	88.1	19.3	1651.8
Max	59.7	34.2	23.2	76.7	397.3	577.8	407.9	773.7	453.0	485.7	171.8	45.4	2373.7
Min	1.3	0.0	0.0	0.0	70.6	141.0	79.5	85.5	8.4	79.1	24.7	0.0	1047.4

Cuadro 5: Precipitación media mensual de la estación meteorológica d La Palma

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES													
DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA													
Estación:		LA PALMA						Código:		69053			
Departamento:		JUIGALPA						Municipio:		JUIGALPA			
Latitud:		12° 01' 57" N						Longitud:		85° 15' 47" N			
Años:		2000 - 2014						Elevación:		160 msnm			
Parámetro:		Precipitación (mm)						Tipo:		PV			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic	Suma
2000	28.7	7.1	4	0	53.8	227.2	111.1	124.2	266.1	127.0	37.9	15.6	1002.70
2001	3.4	11.6	0.0	0	198.6	79.6	152	76.3	338	177.7	21.5	1.2	1059.90
2002	0.2	1.1	1.0	7.8	371.4	400	198.7	84.1	200.4	138.5	60.8	7.4	1471.40
2003	3	0.0	4	0	36.6	339.8	344.5	220.1	376.1	159.6	109.2	15.1	1608.00
2004	21.7	12.7	4.7	1	126.5	193.2	147	140.9	180.3	196.7	33.4	0.2	1058.30
2005	0	0	0	39.0	331.6	66.1	113.3	259.2	218.5	362.7	94.3	20.6	1505.30
2006	20.7	0	0	9	96.4	151.9	76.5	56	108.4	64.4	0	0	583.30
2007	6	0.0	0	10.7	99.5	61.4	156.4	287.8	190.0	405.4	103.3	0	1320.50
2008	14.1	20.6	0	22	232	227.0	168.8	205.8	360.6	212	13.8	14.5	1491.20
2009	8.3	7.4	0	0.9	155.2	184.7	256.7	151.4	33.3	136.1	30.6	0	964.60
2010	2.1	0.0	0.0	92.8	267.7	213.8	212	964.6	259.4	181.3	44	1.9	2239.60
2011	11.6	4.8	0	0.5	111.4	240	420.5	132.7	231.7	302.4	37.6	30.8	1524.00
2012	8.2	5.3	4.3	7.9	87.8	178.3	241.9	318.4	218.5	269.7	0	1.8	1342.10
2013	6	4.2	17.8	0	135.4	306.5	298.1	116.5	306.4	427.6	21.7	28.7	1668.90
2014	29.1	15.2	24	2	35.1	80.4	41	147.5	233.2	241.3	108.9	0.0	957.70
Suma	163	90	60	194	2339	2950	2939	3286	3521	3402	717	138	19798
Media	10.9	6.0	4.0	12.9	155.9	196.7	195.9	219.0	234.7	226.8	47.8	9.2	1319.8
Max	29.1	20.6	24.0	92.8	371.4	400.0	420.5	964.6	376.1	427.6	109.2	30.8	2239.6
Min	0	0	0	0	35.1	61.4	41	56	33.3	64.4	0	0	583.3

Cuadro 6: Precipitación media mensual de la estación meteorológica de Acoyapa

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA													
Estación:		ACOYAPA						Código:		69206			
Departamento:		CHONTALES						Municipio:		ACOYAPA			
Latitud:		11° 59' 09" N						Longitud:		11° 59' 09" N			
Años:		2000 - 2014						Elevación:		80 msnm			
Parámetro:		Precipitación (mm)						Tipo:		PV			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic	Suma
2000										55.7	59.8	6.5	122.00
2001	1.8	11.8	0.0	0	143.5	99.3	131.8	70.2	208.4	229.5	95.8	50.2	1042.30
2002	7.3	0	0.0	15.1	268.0	269.5	172.8	104.9	142.9	148.9	61	0	1190.40
2003	3.9	5.4	1.6	0	112.3	423.9	167	113.2	205.7	244.2	96.6	19.8	1393.60
2004	39.5	18.8	12.7	0	171.6	188.2	161.7	160.8	191.3	164	91.9	0	1200.50
2005	0	0	22.4	0.0	254.2	485.2	159.6	217.4	248.8	250.4	101.7	17.3	1757.00
2006	44.1	7.8	16.6	0	98.2	201.9	169.4	93.2	149.0	113.9	102.7	44.3	1041.10
2007	0	6.5	0	0	121.7	128	285.1	409	109.6	287.5	115.3	27.5	1490.20
2008	10.5	10.8	0	0	168.4	254.1	124	242.6	281.3	280.3	39.6	20.5	1432.10
2009	8.5	11.6	0	5.6	95.8	333.8	228.5	124.8	73	89.2	85.3	8.3	1064.40
2010	0	0.0	0.0	163.1	251	149.4	205.2	695.6	362	135.5	76.6	0	2038.40
2011	0.0	11.3	55.2	0	97.6	233	355.4	133.2	124.4	307	37.2	26.3	1380.60
2012	14.9	6.2	23.1	12.1	111.5	194.2	90.6	353	208.3	150.4	44.3	29.4	1238.00
2013	0	0	0	0	86.6	134.2	257	89.3	351.3	269.4	26.5	11.9	1226.20
2014	9.9	0	0	32.1	41.3	86.3	31.6	70.7	294.6	319.7	57.7	0.0	943.90
Suma	140	90	132	228	2022	3181	2540	2878	2951	3046	1092	262	18561
Media	10.0	6.4	9.4	16.3	144.4	227.2	181.4	205.6	210.8	203.0	72.8	17.5	1237.38
Max	44.1	18.8	55.2	163.1	268.0	485.2	355.4	695.6	362.0	319.7	115.3	50.2	2038.40
Min	0	0	0	0	41.3	86.3	31.6	70.2	73	55.7	26.5	0	122.00

Cuadro 7: Humedad relativa mensual de la estación meteorológica de Juigalpa

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES													
DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA													
Estación:		JUIGALPA				Código:		69034					
Departamento:		JUIGALPA				Municipio:		JUIGALPA					
Latitud:		12°06'00" N				Longitud:		85°22'00" W					
Años:		2000 - 2017				Elevación:		90 msnm					
Parámetro:		Humedad Relat. Media %				Tipo:		HMP					
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic	Suma
2000	72.0	70.0	69.0	73.0	78.0	81.0	80.0	78.0	85.0	79.0	77.0	75.0	917.00
2001	76.0	76.0	68.0	65.0	69.0	80.0	81.0	82.0	87.0	84.0	78.0	78.0	924.00
2002	75.0	75.0	69.0	70.0	77.0	84.0	84.0	81.0	86.0	84.0	79.0	75.0	939.00
2003	72.0	68.0	67.0	67.0	74.0	86.0	83.0	80.0	84.0	86.0	81.0	74.0	922.00
2004	74.0	75.0	68.0	66.0	78.0	81.0	82.0	81.0	82.0	82.0	80.0	77.0	926.00
2005	76.0	71.0	70.0	67.0	77.0	87.0	85.0	88.0	88.0	90.0	83.0	82.0	964.00
2006	79.0	78.0	73.0	78.0	77.0	83.0	84.0	83.0	79.0	82.0	76.0	75.0	947.00
2007	71.0	70.0	65.0	68.0	73.0	81.0	83.0	85.0	86.0	89.0	77.0	73.0	921.00
2008	72.0	69.0	68.0	62.0	71.0	81.0	82.0	85.0	88.0	89.0	74.0	73.0	914.00
2009	74.0	72.0	68.0	68.0	79.0	85.0	82.0	82.0	81.0	81.0	81.0	78.0	931.00
2010	72.0	67.0	61.0	67.0	78.0	84.0	85.0	86.0	86.0	80.0	77.0	68.0	911.00
2011	73.0	71.0	66.0	64.0	73.0	83.0	84.0	83.0	85.0		78.0	77.0	837.00
2012	76.0	75.0	67.0	68.0	76.0	84.0	83.0	84.0	84.0	84.0	74.0	75.0	930.00
2013	75.0	72.0	67.0	68.0	76.0	84.0	84.0	83.0	87.0	88.0	86.0	83.0	953.00
2014	76.0	74	69	70	73	79	74	80	85.0	87	79	71	917.00
Suma	1113	1083	1015	1021	1129	1243	1236	1241	1273	1185	1180	1134	13853
Media	74.2	72.2	67.7	68.1	75.3	82.9	82.4	82.7	84.9	84.6	78.7	75.6	923.5
Max	79.0	78.0	73.0	78.0	79.0	87.0	85.0	88.0	88.0	90.0	86.0	83.0	964.0
Min	71.0	67.0	61.0	62.0	69.0	79.0	74.0	78.0	79.0	79.0	74.0	68.0	837.0

Cuadro 8: Temperatura media mensual de la estación meteorológica de Juigalpa

DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA													
Estación:		JUIGALPA				Código:		69034					
Departamento:		JUIGALPA				Municipio:		JUIGALPA					
Latitud:		12°06'00" N				Longitud:		85°22'00" W					
Años:		2000 - 2017				Elevación:		90 msnm					
Parámetro:		Humedad Relat. Media %				Tipo:		HMP					
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic	Suma
2000	72.0	70.0	69.0	73.0	78.0	81.0	80.0	78.0	85.0	79.0	77.0	75.0	917.00
2001	76.0	76.0	68.0	65.0	69.0	80.0	81.0	82.0	87.0	84.0	78.0	78.0	924.00
2002	75.0	75.0	69.0	70.0	77.0	84.0	84.0	81.0	86.0	84.0	79.0	75.0	939.00
2003	72.0	68.0	67.0	67.0	74.0	86.0	83.0	80.0	84.0	86.0	81.0	74.0	922.00
2004	74.0	75.0	68.0	66.0	78.0	81.0	82.0	81.0	82.0	82.0	80.0	77.0	926.00
2005	76.0	71.0	70.0	67.0	77.0	87.0	85.0	88.0	88.0	90.0	83.0	82.0	964.00
2006	79.0	78.0	73.0	78.0	77.0	83.0	84.0	83.0	79.0	82.0	76.0	75.0	947.00
2007	71.0	70.0	65.0	68.0	73.0	81.0	83.0	85.0	86.0	89.0	77.0	73.0	921.00
2008	72.0	69.0	68.0	62.0	71.0	81.0	82.0	85.0	88.0	89.0	74.0	73.0	914.00
2009	74.0	72.0	68.0	68.0	79.0	85.0	82.0	82.0	81.0	81.0	81.0	78.0	931.00
2010	72.0	67.0	61.0	67.0	78.0	84.0	85.0	86.0	86.0	80.0	77.0	68.0	911.00
2011	73.0	71.0	66.0	64.0	73.0	83.0	84.0	83.0	85.0		78.0	77.0	837.00
2012	76.0	75.0	67.0	68.0	76.0	84.0	83.0	84.0	84.0	84.0	74.0	75.0	930.00
2013	75.0	72.0	67.0	68.0	76.0	84.0	84.0	83.0	87.0	88.0	86.0	83.0	953.00
2014	76.0	74	69	70	73	79	74	80	85.0	87	79	71	917.00
Suma	1113	1083	1015	1021	1129	1243	1236	1241	1273	1185	1180	1134	13853
Media	74.2	72.2	67.7	68.1	75.3	82.9	82.4	82.7	84.9	84.6	78.7	75.6	923.5
Max	79.0	78.0	73.0	78.0	79.0	87.0	85.0	88.0	88.0	90.0	86.0	83.0	964.0
Min	71.0	67.0	61.0	62.0	69.0	79.0	74.0	78.0	79.0	79.0	74.0	68.0	837.0

Cuadro 9: Temperatura máxima mensual de la estación meteorológica de Juigalpa

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA													
Estación:		JUIGALPA						Código:		69034			
Departamento:		JUIGALPA						Municipio:		JUIGALPA			
Latitud:		12°06'00" N						Longitud:		85°22'00" W			
Años:		2000 - 2017						Elevación:		90 msnm			
Parámetro:		Temperatura Máxima Absoluta (°C)						Tipo:		HMP			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic	Suma
2000	32.4	30.4	31.0	32.3	37.4	34.0	33.6	34.4	33.4	33.4	33.2	32.6	33.2
2001	33.0	32.2	36.0	36.4	37.0	33.6	33.6	35.0	33.8	34.0	33.2	34.0	34.3
2002	33.4	33.6	35.6	36.0	37.0	35.1	33.5	34.0	33.8	33.8	34.0	34.0	34.5
2003	33.4	35.6	36.7	38.0	37.4	33.2	33.7	35.0	35.6	33.5	33.9	34.1	35.0
2004	33.8	35.0	34.4	37.0	35.5	34.2	33.6	35.2	34.8	34.4	32.7	33.2	34.5
2005	33.0	35.5	37.2	37.6	37.6	34.4	34.0	34.4	34.2	32.4	32.7	32.0	34.6
2006	33.0	32.6	34.4	39.2	36.2	35.2	33.8	36.0	35.3	35.2	34.0	33.4	34.9
2007	33.2	35.0	36.0	38.0	37.2	34.6	34.6	34.6	33.8	33.1	32.4	33.2	34.6
2008	32.8	34.0	35.0	36.4	36.6	35.4	33.2	34.2	34.4	33.4	34.2	33.0	34.4
2009	33.6	33.8	36.8	37.6	37.0	35.0	34.6	34.8	35.6	35.0	33.2	34.9	35.2
2010	34.8	36.2	37.6	38.0	36.0	35.2	34.6	35.0	33.8	34.0	33.0	32.4	35.1
2011	33.6	33.4	36.8	37.0	36.4	34.4	34.0	34.4	34.8		33.0	32.6	34.6
2012	32.0	32.8	34.6	35.8	36.0	34.4	34.8	34.4	34.2	34.2	34.0	33.6	34.2
2013	33.6	34.6	36.0	37.2	36.8	34.8	34.0	34.6	34.6	34.2	33.0	33.0	34.7
2014	33.0	35.4	36.2	39.2	37.4	34.8	34.8	35.4	34.0	33.8	34.4	33.4	35.2
Suma	499	510	534	556	552	518	510	521	516	474	501	499	6191.1
Media	33.2	34.0	35.6	37.0	36.8	34.6	34.0	34.8	34.4	33.9	33.4	33.3	34.6
Max	34.8	36.2	37.6	39.2	37.6	35.4	34.8	36.0	35.6	35.2	34.4	34.9	35.2
Min	32.0	30.4	31.0	32.3	35.5	33.2	33.2	34.0	33.4	32.4	32.4	32.0	33.2

Cuadro 10: Temperatura mínima mensual de la estación meteorológica de Juigalpa

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES													
DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA													
Estación:		JUIGALPA						Código:		69034			
Departamento:		JUIGALPA						Municipio:		JUIGALPA			
Latitud:		12°06'00" N						Longitud:		85°22'00" W			
Años:		2000 - 2017						Elevación:		90 msnm			
Parámetro:		Temperatura Mínima Absoluta (°C)						Tipo:		HMP			
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic	Suma
2000	20.0	19.5	18.8	19.8	21.0	22.0	22.6	22.1	21.8	21.2	19.6	19.2	20.63
2001	20.0	21.2	18.8	23.0	22.6	22.0	22.0	22.8	22.0	21.8	20.0	21.8	21.50
2002	20.8	20.8	22.0	22.0	22.0	22.6	22.6	23.0	21.8	22.2	20.6	21.8	21.85
2003	20.9	21.8	21.8	22.6	23.7	21.8	22.0	22.0	20.8	21.7	20.6	19.7	21.62
2004	18.8	20.0	21.7	22.0	22.0	21.6	21.8	21.4	21.4	21.6	19.8	21.8	21.16
2005	20.2	20.0	20.8	22.0	22.2	22.8	21.2	22.0	22.0	21.0	19.2	19.2	21.05
2006	20.8	20.8	21.0	21.8	23.2	22.4	22.0	22.2	22.0	22.8	18.4	20.8	21.52
2007	21.8	20.8	23.0	23.5	23.5	22.6	22.4	21.8	21.6	21.0	19.8	19.5	21.78
2008	20.3	19.5	20.2	23.0	21.2	21.5	22.0	22.0	22.1	22.0	21.3	21.0	21.34
2009	20.5	20.4	20.8	22.8	22.6	22.4	22.0	23.0	21.5	22.6	22.1	19.8	21.71
2010	19.5	22.0	19.8	23.9	23.6	22.8	22.3	22.0	22.2	21.4	19.4	17.9	21.40
2011	20.4	22.8	20.0	21.2	23.0	22.7	21.7	22.0	21.3	21.5	20.2	20.3	21.43
2012	20.9	22.0	21.3	22.7	22.8	22.2	21.7	22.1	21.9	21.8	20.0	22.2	21.80
2013	22.1	20.8	21.0	22.7	21.2	23.0	22.0	22.4	21.6	22.1	21.7	20.7	21.78
2014	21.8	20	21.2	22.7	22.9	22.3	24.7	22.7	22.3	21.5	21.5	20.5	22.01
Suma	309	250	249	268	271	267	265	266	261	261	241	243	3149
Media	20.6	20.8	20.8	22.4	22.5	22.3	22.2	22.2	21.8	21.7	20.3	20.4	21.5
Max	22.1	22.8	23.0	23.9	23.7	23.0	24.7	23.0	22.3	22.8	22.1	22.2	22.0
Min	18.8	19.5	18.8	19.8	21.0	21.5	21.2	21.4	20.8	21.0	18.4	17.9	20.6333

Cuadro No. 11: Factor de corrección por latitud (Fc Latitud)

Latitud °	Factor corrección Latitud											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
14	7.08	7.89	8.43	8.44	8.9	8.73	8.99	8.79	8.28	8.28	7.85	8.04
13	7.58	7.64	8.44	8.44	8.87	8.69	8.95	8.79	8.28	8.28	7.85	8.05
12	8.08	7.4	8.44	8.43	8.84	8.64	8.9	8.78	8.27	8.28	7.85	8.05
11	8.01	7.4	8.44	8.43	8.83	8.61	8.87	8.76	8.27	8.29	7.87	8.07
10	8.11	7.4	8.44	8.43	8.81	8.57	8.84	8.74	8.26	8.29	7.89	8.08

Cuadro No. 12: Factor de duración por latitud (Fd Latitud)

Latitud °	Factor duración Latitud											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
15	11.3	11.6	12	12.5	12.8	13	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	11.2
13	11.48	11.72	12	11.42	12.72	12.88	12.78	12.52	12.16	11.8	11.52	11.38
12	11.56	11.77	12	12.01	12.68	12.82	12.72	12.48	12.14	11.8	11.46	11.46
11	11.58	11.79	12	12.16	12.64	12.76	12.66	12.44	12.12	11.8	11.53	11.48
10	11.6	11.8	12	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5

Cuadro No. 13: Radiación extraterrestre (RMD)

Latitud °	Radiación extraterrestre, RMD, expresada en Evaporación equivalente en mm/día.											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
14	12.4	13.6	14.9	15.7	15.8	15.7	15.7	15.7	15.1	14.1	12.8	12
13	12.6	13.75	15	15.7	15.75	15.6	15.6	15.65	15.15	14.25	13.05	12.25
12	12.8	13.9	15.1	15.7	15.7	15.5	15.5	15.6	15.2	14.4	13.3	12.5
11	13	14.05	15.2	15.7	15.6	15.4	15.4	15.55	15.25	14.55	13.45	12.7
10	13.2	14.2	15.3	15.7	15.5	15.3	15.3	15.5	15.3	14.7	13.6	12.9