UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Tecnología de la Construcción

Protocolo de Monografía

"BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LA SUBCUENCA EL SAUCE".

Para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado por

Br. Rene Martin Rodríguez Pérez

Br. Jurgen José Gutiérrez Blandón

Br. José Nazario Miranda Obando

Tutor

M.Sc. Ing. Marco Palma Cerrato

Managua, abril 2022

Miércoles 20 de abril de 2022

DR. ING. OSCAR GUTIÉRREZ SOMARRIBA

Decano Facultad de Tecnología de la construcción (FTC)

Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)

Su despacho

Estimado Dr. Gutiérrez:

El motivo de la presente es para darle a conocer que he revisado el trabajo monográfico titulado **"BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LA SUBCUENCA EL SAUCE"** realizada por los bachilleres **RENE MARTIN RODRÍGUEZ PÉREZ, JURGEN JOSÉ GUTIÉRREZ BLANDÓN** Y **JOSÉ NAZARIO MIRANDA OBANDO,** para optar al título de Ingeniero Civil.

Este trabajo monográfico fue desarrollado por el sustentante de forma independiente bajo mi tutoría y cumple con todos los requisitos para que pueda ser presentada y defendida ante el honorable jurado que usted designo.

Sin más a que hacer referencia, me despido.

Atentamente;

Ing. Marco Antonio Palma Cerrato, M.Sc.

Docente Depto. de estructuras

UNI FTC

Cc. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DECANATURA

DEC-FTC-REF-No.006
Managua, 19 Enero del 2021

Bachilleres
RENE MARTIN RODRIGUEZ PEREZ
JURGEN JOSE GUTIERREZ BLANDON
JOSE NAZARIO MIRANDA OBANDO
Estimados (as) Bachilleres:

Es de mi agrado informarles que el PROTOCOLO de su Tema **MONOGRAFICO**, titulado: **BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL DE LA SUBCUENCA EL SAUCE.**Ha sido aprobado por esta Decanatura.

Asimismo les comunico estar totalmente de acuerdo que el **Ing. Marco Palma Cerrato.**Sea el tutor de su trabajo final.

La fecha límite, para que presenten concluido su documento final, debidamente revisado por el tutor guía será el **19 de Julio del 2021**

Esperando puntualidad en la entrega de la Tesis, me despido.

Atentamente,

Dr. Ing. Oscar Gutiérrez Somarriba
Decano

CC: Protocolo
Tutor –Ing Marco Palma Cerrato.
Archivo*Consecutivo

CONTENIDO

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
2.1. Actividades Económicas 8
2.1.1. Sector Primario 8
2.1.2 Agricultura 8
2.1.3. Ganadería 9
2.1.4. Silvicultura 9
2.1.5. Sector Secundario 10
2.1.6. Sector Terciario 10
2.2. Climatología 10
2.2.1. Clima 10
2.2.2. Precipitación media anual 11
2.2.3. Humedad relativa 11
2.2.4. Evaporación 12
2.2.5. Evapotranspiración Potencial (ETP) 12
2.2.6. Temperatura 12
2.2.7. Radiación 13
2.2.8. Vientos 13
2.3. Geología 13
2.3.1. Geomorfología 13
2.3.2. Geología regional 14
2.3.3. Suelos 16
3.1. Hidrología 19
3.1.1. Definición de hidrología 19
3.1.2. Conceptos de Cuenca 19
3.1.3. Parámetros Importantes de la cuenca 20

3.1.4. Relación Precipitación-Escorrentía 21
3.1.5. Hidrogramas 22
3.2. Caracterización de la infiltración 27
3.2.1. Definición de la Infiltración 27
3.2.2. Métodos para estimar la infiltración 28
3.3. Caracterización Climática 29
3.3.1 Clasificación Climática de Köppen 29
3.3.2. Precipitación Media Anual 31
3.3.3. Aspectos Hidrográficos 32
3.4. Fisiografía y geomorfología de la unidad de cuenca 33
3.4.1. Área de la unidad de la cuenca 33
3.4.2. Coeficiente de Compacidad (Kc) 35
3.4.3. Rectángulo equivalente 36
3.4.4. Factor de Forma 36
3.4.5 Relieve 36
3.4.6. Pendiente media 36
3.4.7. Curva hipsométrica 37
3.4.8. Red de Drenaje 38
3.4.9. Densidad de Drenaje 38
3.4.10. Longitud del cauce Principal 39
3.4.11. Numero de escurrimiento 40
3.4.12. Pendiente media del rio principal 40
3.4.13. Tiempo de concentración 40
3.5. Balance hídrico 40
3.5.2. Información hidrometeorológica 41
3.5.3. Cálculo del balance hídrico 41
3.5.4. Parámetros del balance hídrico 43
3.5.5. Métodos para el cálculo de la evapotranspiración potencial 48
4.1. Recopilación de Información 53
4.2. Parámetros morfométricos de la unidad de cuenca 53
4.3. Caracterización climática de la unidad de cuenca 60
4.4. Cálculo del balance hídrico 60
4.4.1. Cálculo de la Precipitación Areal 60
4.4.2. Estimación de la Evapotranspiración Potencial 61
4.4.3. Escurrimiento Superficial 62

4.4.4 Estimación del balance hídrico....63
5.1. Determinación de los parámetros morfométricos....65
5.1.1. Area y perímetro....65
5.1.2. Densidad de Drenaje....65
5.1.3. Pendiente Media de la cuenca....66
5.1.4. Pendiente Media del Río....67
5.1.5. Tiempo de Concentración....68
5.1.6. Índice de Gravelius o Compacidad....69
5.1.7. Factor de Forma....69
5.1.8. Curva Hipsométrica....70
5.1.9. Polígonos de Frecuencia de Altitudes....71
5.1.10. Perfil Longitudinal del río....72
5.1.11. Numero de Escurrimiento....74
5.2. Caracterización climática de la zona de estudio....75
5.2.1. Clasificación de Köppen....75
5.2.2. Precipitación Media....76
5.2.4. Humedad Relativa....81
5.3. Cálculo del Balance Hídrico....83
5.3.1. Cálculo de la Evapotranspiración....83
5.3.2. Estimación del Escurrimiento aplicando el método de Budyko....87
5.3.3. Balance hídrico....89
6. Conclusiones y Recomendaciones....92
6.1. Conclusiones....92
6.2 Recomendaciones....94
Bibliografía....95
ANEXOS

CAPITULO I:

GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

Nicaragua es uno de los países de América Central donde más se utilizan las aguas subterráneas como fuente de abastecimiento para agua potable; aproximadamente el 95 % de los suministros de agua potable se abastecen de fuentes subterráneas. Así mismo las aguas subterráneas representan la principal fuente de abastecimiento para el desarrollo de la agricultura y la ganadería de nuestro país; por tal razón, es prioridad nacional la investigación en cuanto a su uso adecuado y sobre todo su conservación.

Nuestro país se divide en dos vertientes hidrográficas principales: la vertiente del Pacifico y la vertiente del Caribe; está compuesto por 21 cuencas hidrográficas, de las cuales 8 drenan al Pacífico y 13 drenan al Caribe; los ríos que drenan al Caribe son más extensos y caudalosos, los del Pacifico son más cortos y con menos caudal.

La cuenca N° 60 Rio Estero Real contiene la microcuenca El Sauce, localizada en el departamento de León; dicha microcuenca comprende el acuífero El Sauce, con una extensión de 365.5 km^2. La microcuenca antes mencionada, política y administrativamente esta compartida por dos municipios, El Sauce y Santa Rosa del Peñón. El municipio de El Sauce cuenta con un total de 17 comunidades, de las cuales 14 tienen serios problemas de agua en periodo seco.

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

1.2. ANTECEDENTES

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

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

La Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), comenzó la colaboración en el tema de las aguas subterráneas en Nicaragua, a través del financiamiento de la edición y publicación de los mapas de la Región del Pacífico en el año 1998. Esta fue la primera experiencia conjunta entre INETER y COSUDE, y se llevó a cabo con gran satisfacción de ambas partes, habiéndose publicado oficialmente los mapas de agua subterránea de la región del pacifico.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El comportamiento espacial y temporal de la precipitación, temperatura y caudal, en las unidades de cuenca del país vienen sufriendo cambios en sus magnitudes, manifestando probabilidades de ocurrencias de eventos extremos asociados a una deficiencia o exceso de agua. Si a este proceso de variabilidad climática, se le incorpora el tema de Cambio Climático, observamos entonces que los estudios sobre la cuantificación y calidad los recursos hídricos se hacen cada vez más necesarios.

La valorización y análisis de los parámetros hidrológicos de la unidad de cuenca permite conocer la importancia de cada uno de ellos en el balance que considera las entradas y salidas de agua (Recarga y Descarga). Para el buen manejo de los recursos hídricos de una unidad de cuenca se debe determinar el estado actual de la oferta y disponibilidad del recurso hídrico, así como la presión por la demanda del mismo, teniendo en cuenta su distribución espacial y temporal.

Esta investigación servirá como una herramienta para el manejo y la planificación del uso del recurso hídrico con la finalidad de asegurar la conservación, protección y manejo de la unidad de cuenca, teniendo en cuenta las condiciones económicas y productivas de la zona de estudio.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Realizar el Balance hidrológico de la unidad de subcuenca del Sauce (León), 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

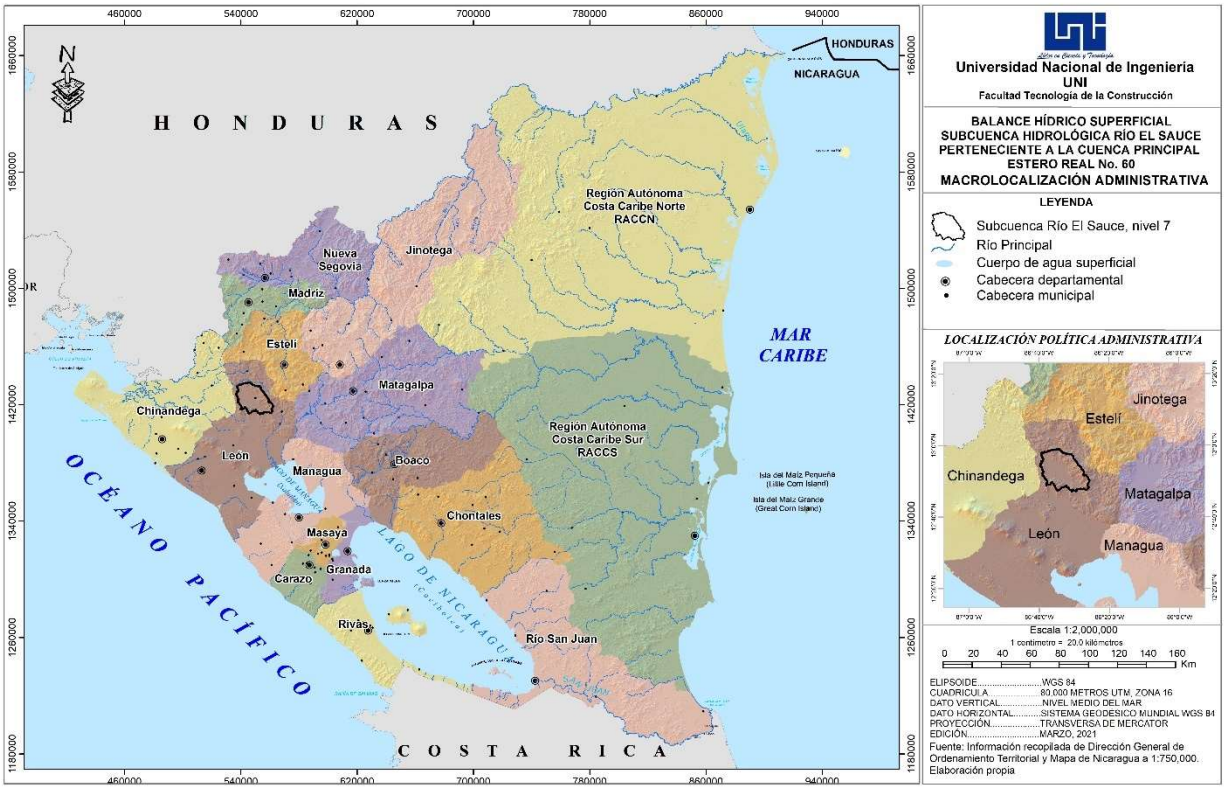
- ✓ Caracterizar los parámetros morfométricos de la unidad de cuenca.
- ✓ Caracterizar los parámetros climáticos de la zona de estudio.
- ✓ Calcular el Balance Hídrico superficial de la subcuenca del Sauce.

1.5. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.5.1. Macro localización

El área en estudio se localiza a 177 km de la ciudad capital Managua y a 87 km de la cabecera departamental de León; ubicada en las coordenadas geográficas 12º 53' de latitud norte y 86º 32' de longitud oeste. Dicha área se ubica en la zona este y alta de la cuenca hidrográfica N° 60, Río Estero Real; específicamente en la micro cuenca del Río, El Portillo con una extensión de 367.07 km^2. Las coordenadas Universal Transversal Mercator (UTM) son (536579,1413503) y (562177,1435215) que localizan la microcuenca entre los municipios El Sauce y Santa Rosa del Peñón. Ver Figura N° 1.1.

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

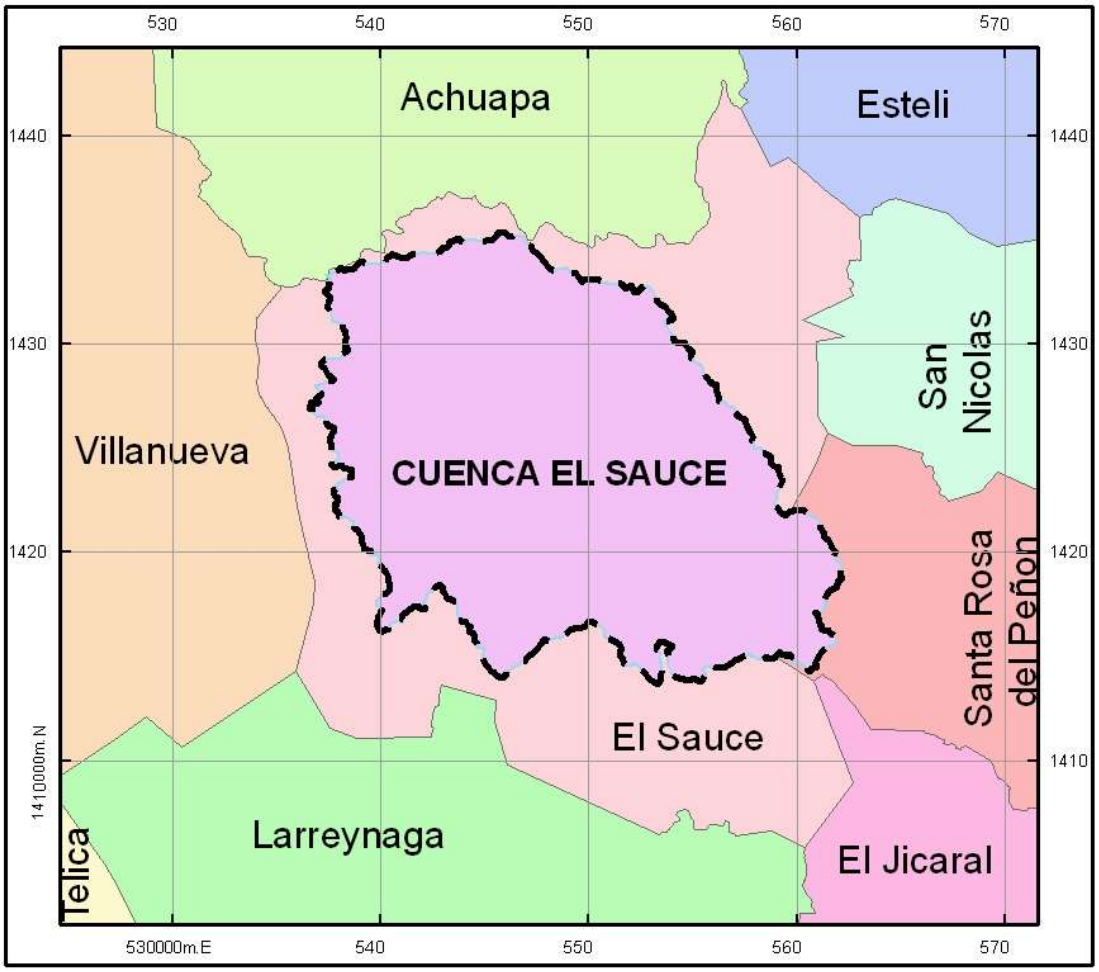


Fuente: Ubicación propia, mapa de INETER

1.5.2. Micro localización

La microcuenca del rio El Portillo limita al norte con el municipio de Achuapa y Estelí, que pertenecen al departamento de León y Estelí, respectivamente. Al sur con los municipios de El Jícaral y Larreynaga, del departamento de León. Hacia el este con los municipios de San Nicolás y Santa Rosa del Peñón del mismo departamento. Posteriormente, al oeste con el municipio de Villanueva que pertenece al departamento de Chinandega. Ver Figura N° 1.2.

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



Fuente: Fuente: Ubicación propia, mapa de INETER

El municipio de El Sauce se ubica al centro de la microcuenca El Portillo, en las coordenadas UTM (550200, 1424430). Tomando como referencia dicho municipio se puede decir que existen cuatro vías principales que permiten el acceso a los municipios vecinos. Existen carreteras de todo tiempo que conectan con El Sauce, desde el noroeste con el municipio de Achuapa, al oeste con la cabecera municipal de Villanueva, así como a los municipios de Larreynaga, El Jícaral, Santa Rosa del Peñón y conexión con la capital Managua a través de la carretera de revestimiento sólido, hacia el sur.

CAPITULO II:

CARACTERISTICAS DEL AREA DE ESTUDIO

2.1. Actividades Económicas

La base económica del municipio descansa fundamentalmente en el sector agropecuario (fuente principal de producción, trabajo e ingresos), categorizado por un bajo nivel de desarrollo en el Esquema de Ordenamiento Ambiental del Territorio.

2.1.1. Sector Primario

Las actividades económicas fundamentales del municipio son la agricultura y la ganadería; en menor grado, la apicultura, caficultura, horticultura y la silvicultura. En la zona de serranías subsiste un esquema de policultivo restringido a maíz, sorgo o millón y frijol. En esta zona se obtienen relativamente los mejores rendimientos del frijol. Mientras que en la zona del valle el esquema de policultivo es un poco más amplio, extendiéndose a los rubros de maíz, sorgo o millón, ajonjolí y arroz, de los cuales se obtienen mayores rendimientos que en la serranía.

A la vez, en la serranía predominan las técnicas de siembra y labranza con espeque (bordón o estaca), machete o azadón, mientras que en el valle predominan las técnicas de tracción animal o mecánicas.

Por otra parte, el hato ganadero (mayor y menor) en la zona de valle es más amplio o extensivo y con mejores condiciones naturales que en la zona de serranías. Sin embargo, en ambas zonas la producción de carne, leche y sus derivados se destinan básicamente al autoconsumo o comercio local, y en pequeña escala a la comercialización fuera del municipio, especialmente cuando se trata de ganado de repasto o engorde.

2.1.2 Agricultura

Ante la inexistencia de una estrategia de desarrollo agrícola en el Municipio, se observa que un 41 % del territorio presenta pendientes mayores al 30% (muy escarpados), son utilizadas inadecuadamente en actividades agrícolas, tácticamente no por el desconocimiento por parte de los productores del uso apropiado de los suelos, sino por falta de alternativas para desarrollar sus

actividades cotidianas; lo anterior incide en la reducción del rendimiento de los rubros productivos, paralelamente a la degradación de los suelos.

Se calcula que la agricultura en el municipio se concentra un área física productiva aproximada de 21,729 manzanas, que representa el 25.7% del total de tierras ocupadas con alguna intención económica. Entre los rubros agrícolas más generalizados y extensivos actualmente a nivel municipal, sobresalen los granos básicos (maíz, sorgo o millón y frijol) y el ajonjolí. Las comarcas de la zona de serranías (Campamento, Salales, Ocotal, Mercedes, Sabana Grande, San Martín, la Palma y Río Grande) son las que presentan los mejores rendimientos en la producción de frijol.

2.1.3. Ganadería

La inexistencia de una estrategia de desarrollo ganadero en el Municipio, tiene como consecuencia que no exista un mejoramiento del hato ganadero, por lo que no se practica la introducción de tecnologías genéticas en las razas criollas. Otro problema que se observa es el uso extensivo de la ganadería en desproporción con el crecimiento de las áreas de pastos mejorados, así como el uso de tierras que no prestan las condiciones para la explotación ganadera. Además, se aprecia el sacrificio de vientres jóvenes aptos para la reproducción; desencadenando una disminución del hato ganadero.

En el ámbito municipal la ganadería menor (apicultura, aves de corral, cerdos, conejos y otros) presentan un desarrollo limitado ya que no es fomentada como alternativa económica y es utilizada para la sobrevivencia de la población Sauceña.

2.1.4. Silvicultura

La inexistencia de una estrategia de desarrollo sostenible de la Silvicultura en el territorio, da como resultado la explotación inadecuada del poco bosque que existe en el Municipio y sobre todo sin un plan de manejo adecuado, para tener mejor control de la actividad forestal, lo genera que se desarrollen pequeñas y aisladas

extensiones de bosques forestales, los cuales son explotados irracionalmente por piratas madereros que se amparan bajo la sombra de la ilegalidad.

2.1.5. Sector Secundario

En el municipio, las Actividades Secundarias son bien limitadas y se reducen al área urbana, en la cual existen, en pequeña escala, algunas microempresas y talleres artesanales, dentro de las que se destacan, talleres de talabarterías, carpintería y ebanistería, producción de derivados de la leche (queso, crema y cuajada), salsa de tomate y panaderías.

2.1.6. Sector Terciario

Las Actividades Terciarias más desarrolladas en el municipio de El Sauce son el comercio y los servicios. Sin embargo, en el área rural estas actividades se limitan a la existencia de pequeños negocios o truchas, especialmente en el ramo de pulperías y cantinas, así como pequeños comerciantes (compradores y vendedores) de granos básicos, cerdos y ganado.

En el área urbana la diversidad en los ramos de comercio y servicio sobresalen en primer lugar, las truchas, las pulperías o misceláneas, las tiendas de ropa y calzados, ventas de productos lácteos, bares y cantinas, entre otros.

2.2. Climatología

2.2.1. Clima

El clima predominante de la región, se clasifica según Koppen, como de Sabana Tropical “Aw2”, con un período sub húmedo de cinco meses y temperaturas que oscilan entre los 25°C y los 28°C.

2.2.2. Precipitación media anual

El valor medio anual de la precipitación para un período estadístico de 12 años es de 1,621 mm.

El comportamiento pluviométrico en la microcuenca El Sauce se define en dos periodos: el primero relativamente seco, que se extiende desde noviembre hasta abril y el segundo lluvioso, que abarca desde mayo hasta octubre; siendo noviembre y abril los meses de transición entre la época húmeda y seca.

A mitad del período lluvioso se presenta una disminución significativa de precipitación, ocurre entre los meses de julio y agosto; fenómeno denominado “La Canícula”.

Durante el periodo seco las precipitaciones son escasas, pero en el periodo lluvioso se incrementan considerablemente, ocurriendo las máximas en los meses de mayo, junio, septiembre y octubre. Estos meses son los más lluviosos del año, debido principalmente, a que la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) se ubica en su posición más norte, y por el debilitamiento de los vientos del este; por donde se transportan grandes masas de aire húmedo hacia dicha zona de componente sur - suroeste.

2.2.3. Humedad relativa

Los datos más altos de humedad relativa en la subcuenca El Sauce se encuentran distribuidos en dos periodos. Durante junio con valor de 96 %, septiembre y octubre con valores de 82 % y 84.3 %, respectivamente; que corresponden los meses más lluviosos del año.

Además, se registra una disminución de humedad relativa entre diciembre y abril, con valores de 72.8 % hasta 61.1 %. En julio se produce una disminución menos marcada con valor de 76.1 %, la cual coincide con “La Canícula”.

2.2.4. Evaporación

Los valores máximos se presentan en los meses de la estación seca, teniendo sus picos más altos en marzo y abril con valores que oscilan entre 258.5 mm y 239.4 mm.

La evaporación disminuye a inicios del periodo lluvioso, presentando valores mínimos en septiembre y octubre (meses en que ocurre mayor nubosidad), con magnitudes de 120 mm hasta 116.4 mm. El comportamiento general de este parámetro es variado con respecto al clima, con máximos en periodo seco y mínimos en periodo húmedo.

2.2.5. Evapotranspiración Potencial (ETP)

Los valores máximos de ETP se presentan en la estación seca, con valores más altos de 171.58 mm y 166.16 mm en abril y mayo respectivamente. La evapotranspiración empieza a disminuir al inicio del período lluvioso, presentando valores mínimos en los meses de octubre y noviembre, con valores que van de 121.5 mm a 117 mm.

2.2.6. Temperatura

El comportamiento de temperatura media mensual en la microcuenca El Sauce, ocurre con valores máximos entre marzo y abril; siendo estos los meses más cálidos del año por encima de los 27°C. Las temperaturas medias mensuales más bajas se producen en noviembre y diciembre; notándose que esta empieza a disminuir a partir de octubre, durante el cual predominan grandes mantos nubosos que atenúan la radiación solar directa, refrescando relativamente la temperatura ambiente. También la temperatura media mensual durante todo el año es bastante baja, aproximadamente en 24°c.

2.2.7. Radiación

El máximo anual de insolación tiene lugar en marzo, con valores que oscilan entre 429.3 cal/cm^2-día y 454.8 cal/cm^2-día. Los mínimos, se presentan en los meses del período lluvioso, particularmente en junio y octubre, con valores de radiación que varían entre 335.3 cal/cm^2-día y 379.4 cal/cm^2-día. En julio, la radiación sufre un aumento, debido al fortalecimiento del anticiclón subtropical del atlántico norte, el cual produce un estado del tiempo con poca nubosidad.

2.2.8. Vientos

En la subcuenca El Sauce la dirección del viento presenta una componente predominante del este, con velocidades medias de 2.0 m/s y con una frecuencia de 16 %, lo cual indica la marcada influencia de los vientos alisios en dicha microcuenca.

2.3. Geología

2.3.1. Geomorfología

La geomorfología tiene por objeto la descripción y la explicación del relieve terrestre, continental y marino, como resultado de la interferencia de los agentes atmosféricos sobre la superficie terrestre. Se puede subdividir, a su vez, en tres vertientes: geomorfología estructural que trata de la caracterización y génesis de las “formas del relieve”, como unidades de estudio. La geomorfología dinámica, sobre la caracterización y explicación de los procesos de erosión y meteorización por los principales agentes (gravedad y agua). Y la geomorfología climática, sobre la influencia del clima sobre la morfogénesis (dominios morfo climáticos).

2.3.2. Geología regional

La geología regional es una rama de las ciencias geológicas que se ocupa de la configuración geológica de cada continente, país, región o de zonas determinadas de la Tierra.

Geológicamente América septentrional está constituida en su base por rocas metamórficas, sobre las cuales, en parte yacen rocas sedimentarias de diversas edades.

Además de las rocas metamórficas se encuentran las rocas ígneas graníticas que se cree pertenecen a la fase Laramica que se extiende por casi toda el área norte de Centroamérica hasta la zona norte de Nicaragua. Análisis de Rubidium strontium y potasio-argón de estas rocas graníticas de Nueva Segovia señala ± 83 * 10^6 años (Zoppis Bracci, 1961).

Hacia el sur de las rocas metamórficas están superpuestas por material terciario correspondiente a varias actividades volcánicas que se extienden desde el eoceno, alguno contemporáneo del mioceno y llegan hasta el cuaternario. Los volcánicos del terciario fueron divididos en tres grupos litoestratigráficos por McBirney, 1965:

- Un grupo inferior compuesto por sedimentos volcánicos, brechas lahári cas, lava andesítica y basáltica.

- El grupo Matagalpa compuesto por andesitas, dacitas y fragmentos piroclásticos.

- Un tercer grupo contemporáneo en parte con la Formación Matagalpa, está compuesto por ignimbritas andesíticas y dacíticas, sedimentos y delgadas capas de Grupo El Coyol.

Coyol inferior:

Estas rocas son del terciario – mioceno y se han dividido en:

- Coyol Dacita (Tmcd): las ignimbritas andesíticas, dacitas andesíticas y dacitas con intercalaciones de tobas, brechas y obsidianas pertenecen a esta unidad la que constituye otra de los más grandes afloramientos en el área.

- Dacita Superior (Tmcds): la unidad comienza en su base con una ignimbritas andesítica, generalmente de coloración rosada, y aspecto bandeado, le sigue una roca brechosa.

- Coyol Andesita (Tmca): andesita color ladrillo, andesita color negro, andesita color gris verdosa. Esta unidad está constituida generalmente por andesitas y brechas y tiene una amplia distribución en el área.

Matagalpa-Coyol indiferenciado (Tmci):

Se caracteriza por el predominio de andesitas, intercalaciones de aglomerados, brechas y lentes de rocas sedimentarias. También se puede agregar los numerosos stocks de rocas intrusivas y la amplia distribución de zonas mineralizadas.

Coyol superior:

Son rocas del terciario – pleistoceno y se han dividido en:

- Flujos de Lava (Tpcl): las rocas son lavas de estructura afanítica o semi porfirítica de color oscuro en las que se pueden distinguir numerosos pequeños manchones de óxido de hierro.

- Ignimbritas (Tpci): las ignimbritas a veces presentan inclusiones de fragmentos o partículas asemejando manchas características diferentes a las de las rocas

dacíticas, cuya presencia se debe a rocas incorporadas al flujo dacítico durante la erupción.

- Basaltos (Tpcb): los basaltos generalmente están con contacto normal con las dacitas, el origen es extrusivo, a través de fisuras y fue depositado en ambiente continental.

2.3.3. Suelos

La clasificación taxonómica permitió la correlación de áreas similares y diferentes características, en relación al tipo de suelo, existen variaciones con la capacidad de infiltración del agua, obligando a considerar y dividir el área en estudio en zonas de recarga y descarga diferentes.

Molisoles:

Son suelos con un drenaje natural interno de muy pobre a bien drenado, de muy superficiales a profundos, en relieve de plano a muy escarpados, fertilidad de baja a alta, desarrollados de depósitos aluviales y lávicos sedimentados, de origen volcánico, rocas básicas y acidas, metamórficas, sedimentarias y piroclásticas de textura franco arenoso a franco arcilloso (Marín Castillo, 1988).

Vertisoles:

Son suelos muy arcillosos que durante la estación seca se contraen y presentan grietas anchas y profundas, estas se expanden en la estación lluviosa, tienen formación de micro relieve en la superficie, son de muy profundos a moderadamente profundos, el drenaje interno es de imperfecto a pobremente drenado, de fertilidad baja a alta (Marín Castillo, 1988).

Inceptisoles:

Son suelos de profundos a superficiales, el drenaje interno es imperfecto a bien drenado, se presentan en relieves de planos a muy escarpados, con fertilidad de muy baja a alta. Son desarrollados de sedimentos aluviales, fluviales; coluviales, de cenizas volcánicas, de rocas básicas y acidas. Son de textura franco arenosa arcillosa (Marín Castillo, 1988).

Alfisoles

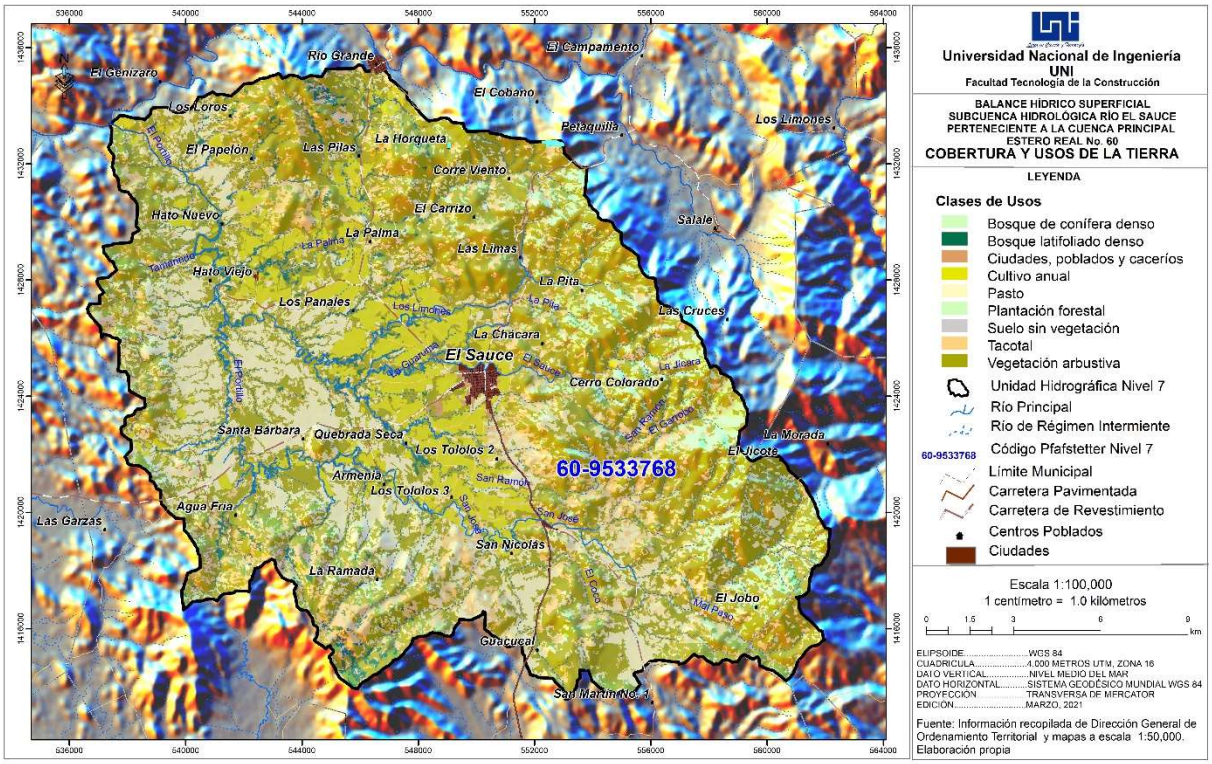
Estos suelos presentan un drenaje interno pobre, de muy profundos a pocos profundos. En relieve de planos a muy escarpados, con fertilidad de baja a media. Desarrollados de rocas ácidas; básicas, metamórficas, materiales indiferenciados y estratos sedimentarios de lutitas. Textura de franco arcillosa a franco arenosa (Marín Castillo, 1988).

Entisoles:

Son suelos de formación reciente que tiene poca evidencia de desarrollos de horizontes pedogenético, la mayoría no presentan horizontes, con drenaje interno excesivo, moderadamente buenos, de profundos a muy superficiales, en relieves de planos a muy escarpados, la fertilidad de estos suelos es alta a baja, de textura arenosa arcillosa (Marín Castillo, 1988).

En la figura No. 2.1 se muestran los diferentes el uso de los suelos del área de estudio de la unidad hidrológica del Sauce.

Figura No. 2.1: Uso de los suelos del área de estudio



Fuente: INETER

CAPITULO III:

MARCO TEORICO

3.1. Hidrología

3.1.1. Definición de hidrología

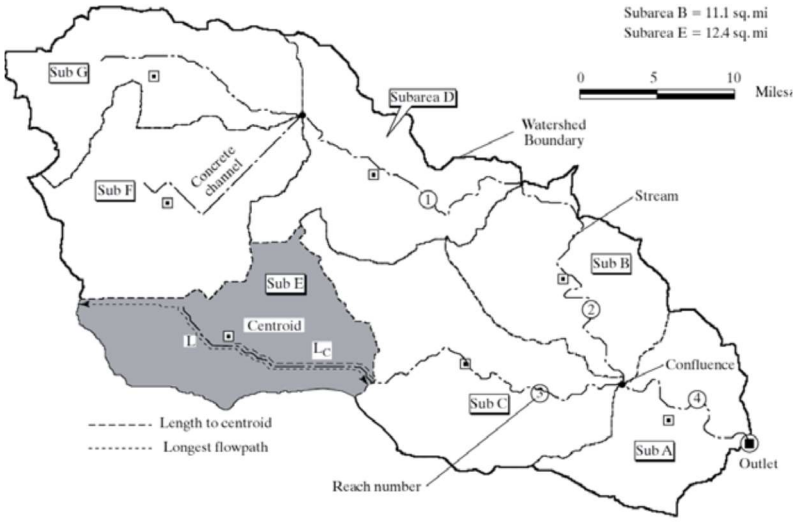
En el transcurso de su desarrollo la hidrología se ha definido de diversas formas, una de las más simples es la que se deriva del análisis etimológico del vocablo, por ello, se tendría: La hidrología es la ciencia del agua. En el nivel actual de desarrollo de las actividades humanas y de las ciencias en general no se puede satisfacer con la definición anterior, demasiado simplista e incompleta, por ello se recomienda analizar las siguientes: Hidrología es la ciencia que trata de las aguas de la Tierra, su ocurrencia, circulación y distribución, sus propiedades físicas y químicas y su influencia sobre el medio ambiente, incluyendo su relación con los seres vivientes. El dominio de la hidrología abarca la historia completa de la existencia del agua sobre la tierra.

3.1.2. Conceptos de Cuenca

La cuenca es la unidad básica usada en la mayoría de cálculos hidrológicos relacionados al balance de aguas o de precipitación-escorrentía. Los límites de una cuenca pueden ser dibujados a partir de un mapa topográfico, la escorrentía viajara de un punto de mayor a menor elevación, en dirección perpendicular a los contornos de la elevación.

Las cuencas usualmente son caracterizadas por un canal principal y por tributarios que drenan en un canal principal a uno o más puntos de confluencia. Las cuencas grandes pueden tener muchas sub-áreas que contribuyen en la escorrentía de una sola desembocadura (Ver figura 3.1).

Figura No. 3.1: Muestra de una Cuenca y sus subcuencas



Fuente: INETER

3.1.3. Parámetros Importantes de la cuenca

- ✓ **Área de drenaje (A):** Área de cuenca que contribuye al drenaje, refleja el volumen de agua que puede ser generado por la precipitación.
- ✓ **Longitud del canal (L):** Usualmente se mide a lo largo del canal principal, de la desembocadura a la línea divisoria de cuenca.
- ✓ **Longitud al centroide (Lc):** Se mide a lo largo del canal principal al punto más cercano al centroide de la cuenca o de cada subcuenca.
- ✓ **Pendiente de cuenca/canal (S/So):** Refleja la tasa de cambio de elevación con respecto a la distancia a lo largo del canal principal.
- ✓ **Tipos de suelo:** Ayudan a determinar las tasas de infiltración que pueden ocurrir en el área, estas pueden variar significativamente a lo largo del área de cuenca.
- ✓ **Uso y cobertura de suelo:** El desarrollo urbano tiene efectos profundos en el desarrollo de cuencas, afectando la escorrentía durante la precipitación.

3.1.4. Relación Precipitación-Escorrentía

Cuando las precipitaciones exceden la tasa de infiltración en la superficie, el agua en exceso comienza a acumularse en forma de almacenamiento superficial en pequeñas depresiones gobernadas por la topografía del terreno.

Se tiene que las contribuciones a una corriente pueden obtenerse de las superficies poco profundas por medio de flujo base (de bancos de almacenamiento) y contribuir al hidrograma de descarga total de una precipitación.

Las relaciones de precipitación-escorrentía anuales suprimen los efectos estacionales y otros efectos de almacenamiento, pudiéndose aproximar por una regresión lineal las relaciones de precipitaciones menos perdidas vs escorrentía.

Uno de las fórmulas más simples de precipitación-escorrentía, que es usada frecuentemente para propósitos de diseño de drenajes en cuencas pequeñas, es el Método Racional, que permite la predicción de un caudal pico Qp a partir de la fórmula:

$$Q_p = CiA \qquad (3.1)$$

C = Coeficiente de escorrentía
i = Intensidad de precipitación (in/h)
A = Área de cuenca (acres)

Se asume que una tasa de precipitación continua y uniforme producirá escorrentía máxima cuando todas las partes de la cuenca estén contribuyendo al flujo de salida. El método racional ha sido ampliado para incluir precipitaciones no uniformes y áreas irregulares a través del uso de métodos de área-tiempo, los cuales envuelven una curva área-tiempo indicando la distribución de los tiempos de viaje desde diferentes partes de la cuenca.

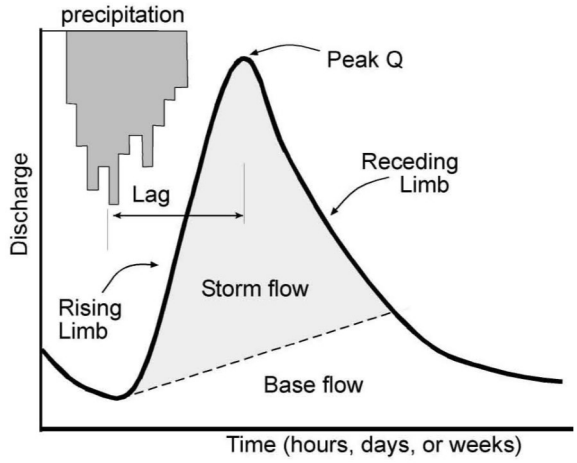
3.1.5. Hidrogramas

Definición de Hidrograma:

Gráfico de caudal vs tiempo en un punto específico, siendo la principal respuesta hidrológica para una cuenca; resulta de la combinación de condiciones fisiográficas y meteorológicas en una cuenca y representan los efectos integrados del clima, perdidas hidrológicas, escorrentía superficial y flujo base.

Un hidrograma típico está caracterizado por una rama ascendente, un segmento de cresta y una curva de recesión. El punto de inflexión en la rama descendente usualmente es asumido como el punto donde acaba la Escorrentía directa (Ver figura No. 3.2).

Figura No. 3.2: Componentes básico de un hidrograma



Métodos Tipos de Hidrogramas:

- ✓ **El Hidrograma Unitario (HU):**

Definido como una pulgada de precipitación extendida uniformemente sobre una cuenca para un periodo de tiempo determinado. Es usado para representar

fácilmente el efecto de las precipitaciones en una cuenca determinada. Respuesta unitaria hipotética de una cuenca para una unidad de precipitación.

La definición clásica de hidrograma puede ser resumida brevemente: El sistema hidrológico es linear e invariable en el tiempo. El asumir que los hidrogramas son lineales implica que hidrogramas de tormentas complejos pueden producirse sumando hidrogramas unitarios individuales, ajustados para volúmenes de precipitación y añadidos y retardados en el tiempo.

Reglas para usar una cuenca aforada:

- ✓ Las tormentas deben tener una estructura simple y distribuida uniformemente espacial y temporalmente.
- ✓ Área de cuenca 1-10 millas cuadradas.
- ✓ Escorrentía directa 0.5-2.0 pulgadas.
- ✓ La duración del exceso de precipitación aproximadamente 25%-30% del tiempo de retardo.
- ✓ Usar tormentas diferentes de duración similar para obtener un HU promedio.

Desarrollo de hidrograma en una sola tormenta:

- Analizar hidrograma, separar el flujo base.
- Calcular el volumen total de escorrentía directa (DRO), convertir a pulgadas sobre la cuenca.
- Restar infiltración
- Dividir ordenadas del hidrograma de DRO, por volumen en pulgadas, asegurarse que la precipitación total sea 1 pulgada.
- Graficar resultados como Hidrograma Unitario.

Debido a que se asume una linealidad inherente en el desarrollo de HUs, se debe tener cuidado en aplicar HUs en condiciones que tiendan a violar la linealidad.

- Las variaciones de intensidad son largas en tormentas de gran duración.
- Los efectos de almacenaje en cuencas son importantes.

- Típicamente no deberían excederse áreas de 5-10 millas cuadradas,
- Si es necesario dividir la cuenca en subáreas.

✓ **Hidrograma Unitario Sintético (HUs):**

HUs desarrollados para cuencas no aforadas, basados en información para cuencas aforadas similares. Revolucionaron la habilidad para predecir la respuesta hidrológica, obtener hidrogramas de tormenta a partir de datos de precipitaciones. Puede actualizarse para reflejar cambios en la geografía de la cuenca/cobertura de terreno. La mayoría de métodos para HU Sintéticos, están basados en la relación entre tp (tiempo de retardo) y Qp (Caudal pico).

Existen 3 métodos para el desarrollo de HUs Sintéticos:

- Método de Snyder (1938).
- Métodos de la SCS (1957, 1964).
- Método de Clark (1945).

✓ **Método de Snyder:**

Primero en desarrollar un HU sintético en base a estudios de cuencas en los montes Apalaches. Cuencas entre 10 – 10 000 millas cuadradas.

$$t_p = C_t(LL_c)^{0.3} \qquad (3.2)$$

t_p = Tiempo de retardo (h)
C_t = Coeficiente (1.8-2.2)
L = Longitud del canal principal (millas)
L_c = Longitud al centroide de cuenca (millas)

$$Q_p = 640 C_p \, {}^{A}/_{t_p} \qquad (3.3)$$

Q_p = Caudal pico del HU (cfs)
A = Area de drenaje (millas cuadrsdas)
C_p =Coeficiente de almacenaje (0.4-0.8)

$$T_b = 3 + {}^{t_p}/_{8} \qquad (3.4)$$

t_b = Base temporal del hidrograma (días)

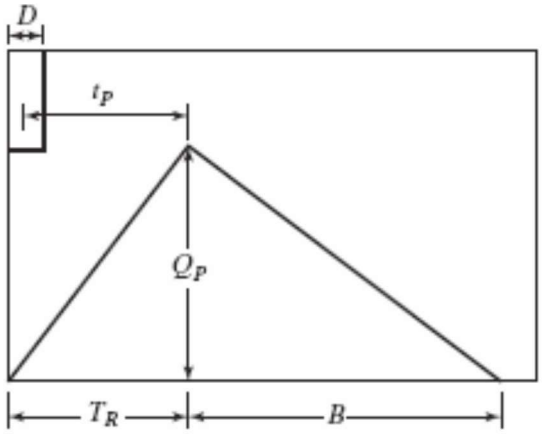
✓ **Métodos SCS:**

Basados en un hidrograma sin dimensiones, desarrollado a partir de un gran número de cuencas aforadas que varían en tamaño y localización geográfica.

✓ **Método SCS – Triangular:**

El método más antiguo asume un hidrograma representado como un simple triangulo que se rige bajo ciertos parámetros (Ver figura No. 3.3).

Figura No. 3.3: Método SCS – Triangular



D = Duracion de la precipitación (h)
T_R = Tiempo de alza (h)
B = Tiempo de baja (h)
Q_P = Caudal pico (cfs)
t_p = Tiempo de retardo (h)

✓ **Método SCS – Hidrograma Curvo:**

El HU sin dimensiones del SCS puede ser usado para desarrollar un hidrograma curvo. Se usa el mismo tp y Qp. Las curvas en la figura son usadas para desarrollar el HU completo.

✓ **Método de Clark:**

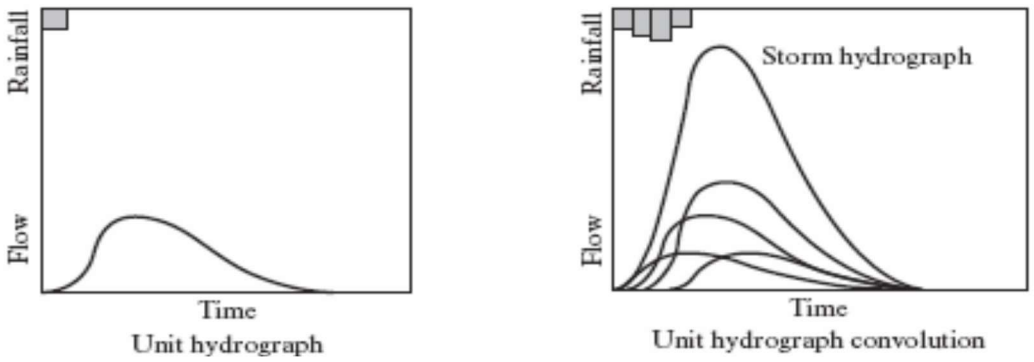
Basado en el uso de la cuenca. Modelado como un canal linear en series con un reservorio linear, cuenta por traslación y atenuación. Se obtiene un HU Instantáneo (IUH) del flujo de salida (Oi) del reservorio linear. Flujo de entrada (Ti) al reservorio linear es el flujo de salida del canal linear.

✓ **Aplicación de Hidrogramas Unitarios (HUs):**

Para cuencas complejas:

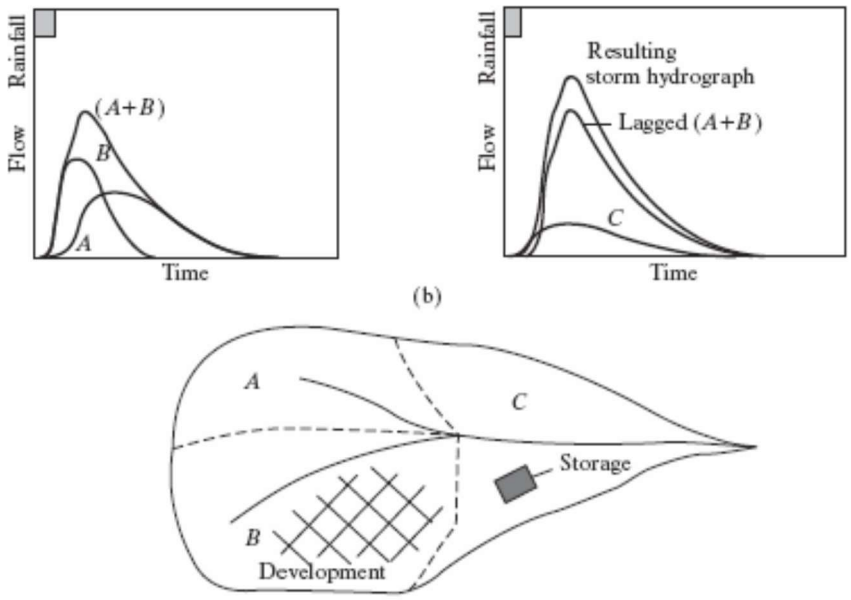
- ✓ Diseño de hidrogramas de tormentas (10, 25, 100 años) (Ver figura 3.4)

Figura No. 3.4: Diseño de hidrogramas de tormentas



- ✓ Evaluar efectos de los cambios de uso de suelo modificaciones de canal, adición de reservorios (ver figura No. 3.5).

Figura No. 3.5: Diseño de hidrogramas de tormentas con subáreas



- ✓ Simulación de hidrogramas para cada subcuenca añadiendo, retardando y enrutando caudales producidos por el HU.
- ✓ Análisis de opciones de control de inundaciones.

3.2. Caracterización de la infiltración

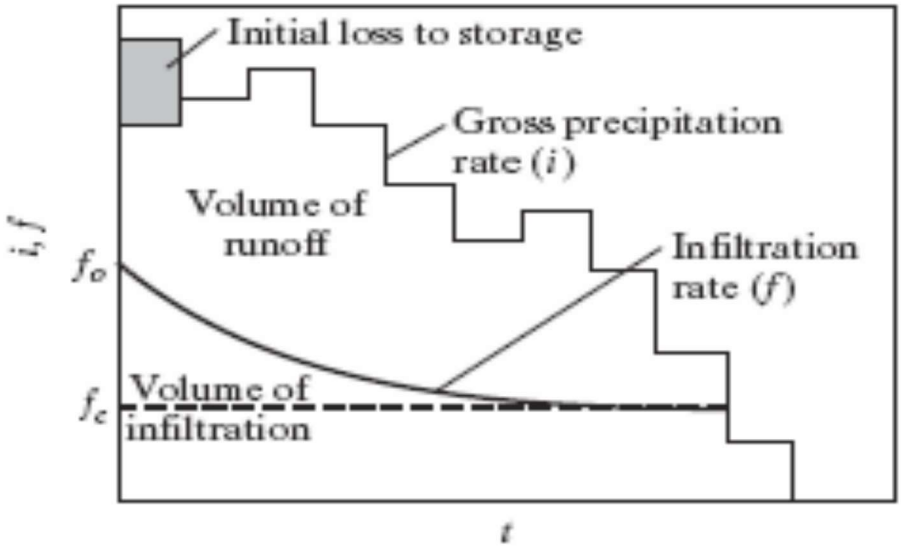
3.2.1. Definición de la Infiltración

El volumen de infiltración se resta del evento de precipitación para poder determinar el volumen neto de Escorrentía Directa. Para estimar el exceso de precipitación incluyen el Método de Infiltración de Horton y el Método del índice Φ.

3.2.2. Métodos para estimar la infiltración

a) **Método de Horton:** Estima infiltración con una ecuación de tipo exponencial que disminuye lentamente a medida que la precipitación continúa (Ver figura No. 3.6).

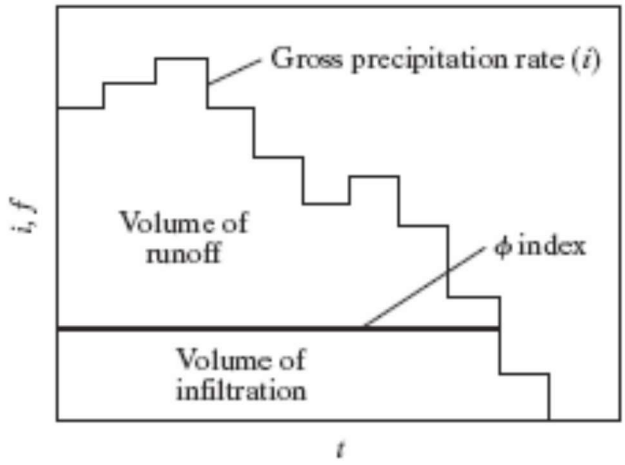
Figura No. 3.6: Concepto de infiltración de Horton



b) **Método del Índice Φ**

Este método está basado en una tasa constante en pulgada por hora durante el periodo de precipitación, tiende a subestimar perdidas al inicio de la tormenta y sobreestimarlas hacia el final (ver figura No. 3.7).

Figura No. 3.7: Representación gráfica del índice Φ



3.3. Caracterización Climática

3.3.1 Clasificación Climática de Köppen

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

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

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

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

Las designaciones que utiliza Köppen para definir el régimen de precipitación se cambiaron por otras equivalentes que indican la ubicación de la estación lluviosa, con relación a la estación cálida o la fría; en vez de usar como lo hace Köppen, la época seca con el mismo fin, por ejemplo, para el clima que Köppen denomina “Clima con invierno seco’’ w por lo menos diez veces mayor la cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año (mayo -octubre) que en el mes más seco; se adoptó la designación de “Clima con lluvias en verano’’.

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

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

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

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

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

Cuadro No. 3.1: Clasificación del clima según Köppen

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

Fuente: INETER

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

Modificaciones al Grupo de Climas A, tropicales lluvioso:

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

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

3.3.2. Precipitación Media Anual

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

La distribución de la precipitación interanual presenta importantes variaciones espaciales y temporales que son el resultado de complejas interacciones entre la circulación general de la atmósfera, los sistemas meteorológicos, la orografía, la

orientación y forma de las costas así como las influencias de los flujos de humedad provenientes del Mar Caribe y el Océano Pacífico.

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

3.3.3. Aspectos Hidrográficos

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

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

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

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

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

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

3.4. Fisiografía y geomorfología de la unidad de cuenca

3.4.1. Área de la unidad de la cuenca

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

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

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

a) Es un valor que se utiliza para muchos cálculos en varios modelos hidrológicos.

b) Para una misma región hidrológica o regiones similares, se puede decir que a mayor área mayor caudal medio.

c) Bajo las mismas condiciones hidrológicas, existen cuencas con áreas mayores que producen hidrogramas con variaciones en el tiempo más suaves y más llanas. Sin embargo, en cuencas grandes, se pueden dar hidrogramas picudos cuando la precipitación es intensa y en las cercanías, aguas arriba de la estación de aforo.

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

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 (Km^2)	
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 del Auce; según esta referencia; se cataloga como subcuenca grande por lo que presenta gran capacidad de colectar 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).

3.4.2. Coeficiente de Compacidad (Kc)

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

El grado de aproximación de este índice a la unidad (1) indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano sea a la unidad, lo cual quiere decir que entre más bajo sea Kc, mayor será la concentración de agua.

3.4.3. Rectángulo equivalente

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

3.4.4. Factor de Forma

El factor de forma relaciona la forma de la cuenca con la de un cuadrado, correspondiendo un Fc= 1 para regiones con esta forma fácilmente, que es imaginaria. Un valor de Fc superior a la unidad nos proporciona el grado de achatamiento de la cuenca o de un rio principal corto. En consecuencia, con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas

3.4.5 Relieve

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

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

3.4.6. 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.

3.4.7. 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. 3.8). 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.

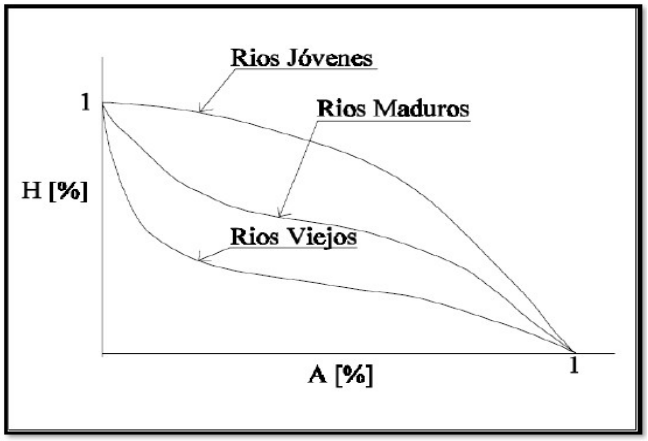
Se divide en tres zonas:

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. 3.8: Curva Hipsométrica



Fuente: INETER

3.4.8. 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. Red de drenaje es el conjunto de cuerpos de agua que se encuentran dentro del parte agua. Entre los elementos que forman parte de la red son las corrientes efímeras e intermitentes, lagos, lagunas, zonas húmedas y canales.

3.4.9. 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.

3.4.10. Longitud del cauce Principal

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

3.4.11. 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.

3.4.12. Pendiente media del rio principal

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

3.4.13. 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

3.5. Balance hídrico

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

3.5.1. Sistemas de información geográficos

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

3.5.2. Información hidrometeorológica

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

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

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

3.5.3. Cálculo del balance hídrico

La ecuación de Balance Hidrológico es una expresión muy simple, aunque la cuantificación de sus términos es normalmente complicada por la falta de

mediciones directas y por la variación espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas (en acuíferos) y de las variaciones del agua almacenada en la cuenca (Llorens, 2003).

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

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

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

$$P = ETR + ES + I \qquad (3.5)$$

Donde:

P: Precipitación (mm)

ETR: Evapotranspiración Real (mm)

ES: Escorrentía (mm)

I: Infiltración (mm)

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

3.5.4. Parámetros del balance hídrico

Precipitación:

La precipitación constituye la principal entrada de agua dentro del Ciclo Hidrológico, y varia tanto espacial como temporalmente en una cuenca y subcuenca. Es el agua que cae en una zona determinada que se delimita como cuenca o subcuenca y puede ocurrir como lluvia, neblina, nieve, rocío, etc. La medición de la lluvia se realiza en las estaciones climáticas a través de instrumentos llamados pluviómetros y es uno de los datos necesarios para el balance que con mayor frecuencia se encuentran disponibles, si bien puede variar la periodicidad y confiabilidad de éstos dependiendo del método de medición y de la permanencia de las estaciones climáticas a través del tiempo.

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

Temperatura:

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

Evapotranspiración:

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

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

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

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

Evapotranspiración Real:

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

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

- ✓ Falta de agua en algunos períodos;
- ✓ Variación de la evapotranspiración según el desarrollo de la planta;

- ✓ Variaciones de las condiciones atmosféricas como la humedad, la temperatura, etc.

Infiltración:

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

Entre los factores que afectan la capacidad de infiltración tenemos:

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

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

$$Pi = (Ci) * (P - Ret) \qquad (3.6)$$

Donde:

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

Ci: Coeficiente de infiltración (adimensional)

P: Precipitación mensual en (mm/mes)

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

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

Escorrentía superficial o caudal:

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

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

$$Q = A \times P \qquad (3.7)$$

Donde:

Q: Caudal a estimar en la cuenca en m^3/s

A: Área de la cuenca en Km^2

P: Precipitación en mm

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

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

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

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

Su fórmula es:

$$E = \frac{31,536 * Q}{A} \qquad (3.8)$$

Donde:

E: Escorrentía en mm

Q: Caudal en m^3/s

A: Área de drenaje km^2

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

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

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

$$Es = P - ETR \qquad (3.9)$$

Donde:

Es: Escorrentía superficial en mm.

P: Precipitación media del período en mm.

ETR: Evapotranspiración real media del período en mm.

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

$$P = Es + ETR \qquad (3.10)$$

Donde:

P: Precipitación media del período en mm.

Es: Escorrentía del período en mm.

ETR: Evapotranspiración real media del período en mm.

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

$$Es = P - ETR \qquad (3.11)$$

3.5.5. Métodos para el cálculo de la evapotranspiración potencial

Método de Thornthwaite:

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

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

Cálculo de la ETP Evapotranspiración potencial mensual (mm):

$$ETP = 16 \times (10\ T / I)^{a} \qquad (3.12)$$

Donde:

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

$$I = (T / 5)^{1.514} \qquad (3.13)$$

T: temperatura media mensual en ºC.

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

a, se calcula como:

$$a = 0{,}000000675 \times I^3 - 0{,}0000771 \times I^2 + 0{,}01792 \times I + 0{,}49239 \qquad (3.14)$$

$$ETP\ (corregida) = ETP \times L\ (mm/mes) \qquad (3.15)$$

Donde:

ETP: Evapotranspiración mensual en mm

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

Li = Ndi/30 x Ni/12 (Tablas de L mensuales por latitud).

Método de Hargreaves:

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

La expresión general es la siguiente:

$$ETP = 0{,}0135\ (tmed + 17{,}78)\ Rs \qquad (3.16)$$

Donde:

ETP: Evapotranspiración potencial diaria, mm/día

Tmed: Temperatura media, °C

Rs: Radiación solar incidente, convertida en mm/día

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

$$Rs = Ro * KT * (tmax - tmin)\ 0.5 \qquad (3.17)$$

Donde:

Rs: Radiación solar incidente

Ro: Radiación solar extraterrestre (tabulada)

KT: Coeficiente

Tmax: Temperatura diaria máxima

Tmin: Temperatura diaria mínima

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

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

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

Fórmula simplificada:

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

$$ETP = 0.0023\ (tmed + 17.78)\ Ro * (tmax - tmin)0,5 \qquad (3.18)$$

Donde:

ETP: Evapotranspiración potencial diaria, mm/día

tmed: Temperatura media diaria, °C

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

tmax: Temperatura diaria máxima

tmin: Temperatura diaria mínima

CAPITULO IV:

METODOLOGIA

4.1. Recopilación de Información

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

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

4.2. Parámetros morfométricos de la unidad de cuenca

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

- ✓ Área de la subcuenca,
- ✓ Perímetro,
- ✓ Forma de la cuenca,
- ✓ Indice de compacidad o de Gravelius,
- ✓ Indice de pendiente,
- ✓ Altitud media,
- ✓ Densidad de drenaje,
- ✓ Polígono de frecuencia,

- ✓ Número de escurrimiento,
- ✓ Curva hipsométrica,
- ✓ Longitud del río principal y su altitud media,
- ✓ Tiempo de concentración.

Los métodos para la caracterización de los parámetros morfométricos se presentan a continuación. Además, se presentan varias tablas que reflejan los rangos de valores de estos parámetros.

Área e índice:

El área es el tamaño de la superficie de la cuenca en km^2. El área y el perímetro se pueden 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.

índice de Compacidad:

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

$$Kc = \frac{P\ (Km)}{A\ (Km^2)\ \hat{}\ 0.5} * 0.28 \qquad (4.1)$$

Donde:

Kc: Índice de Gravelius

P: Perímetro de la cuenca (km)

A: Área de la cuenca (km^2)

En el siguiente cuadro (No. 4.1) se muestra las clases de compacidad de cuenca según sea el valor de Kc.

Cuadro No. 4.1: Clases de valores del Indice 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

Factor de Forma:

En el cuadro No. 4.2 se presentan rangos de de valores del Factor de Forma

Cuadro No. 4.2: Clases de valores de Factor de Forma

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

Fuente: INETER

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.

Pendiente media:

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

Curva hipsométrica:

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

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.

La densidad de drenaje:

La densidad de drenaje se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\mathrm{Dd} = \frac{\mathrm{Li\ (Km)}}{\mathrm{A}t\,(Km^2)} \qquad (4.2)$$

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. 4.3: 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

Número de escurrimiento:

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

Cuadro No. 4.4: 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.

$$Es = \frac{\text{Area } (Km^2)}{4 * Li(Km)} \qquad (4.3)$$

Donde:

A: Área de drenaje de la cuenca (km²)

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

Pendiente media del rio principal

El siguiente cuadro muestra las clases de pendiente según sea el valor de esta.

Cuadro No. 4.5: 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

.

Red de Drenaje:

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

Tiempo de Concentración:

El cuadro No. 4.6 muestra las clases de tiempo de concentración según sea el valor de este último.

Cuadro No. 4.6: 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.

$$Tc = 0.0041 * Kt^{0.77} \qquad (4.4)$$

$K_t = 3.28 * (Lr/S^{0.5})$ (4.5)

Donde:

L: Longitud del cauce principal en m

Tc: tiempo de Concentración en minutos.

S: pendiente

4.3. Caracterización climática de la unidad de cuenca

Para la caracterización de los parámetros climáticos de la zona de estudio se utilizarán estadísticas de INETER sobre parámetros de precipitación, temperatura y humedad, obtenidas de estaciones meteorológicas existentes en la zona de estudio. Para el análisis del clima de la zona de estudio se utilizará la clasificación de Köppen.

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.

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

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

4.4. Cálculo del balance hídrico

4.4.1. Cálculo de la Precipitación Areal

Para el cálculo de la precipitación areal, se realizará con el método de Thiessen; este método se basa en ponderar el valor de la variable climática (Precipitación) en dependencia del tamaño del área representativa de una estación meteorológica, con respecto al área total de la unidad de cuenca. Estas áreas se suman y así se obtiene la precipitación areal total a la unidad de cuenca.

4.4.2. 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.

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, la cual se calcula mediante la siguiente expresión.

$$ET_0 = 0{,}0135\,(t_{med} + 17{,}78)\,R_S \qquad (4.6)$$

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.

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-Latitud, d: se encuentra en tabla.

$Hn = 1 + 0.4 * (HR) + 0.004 * (HR^2)$ (4.7)

Fc-Elevación = (Elevación / 150) * 0.01 (4.8)

Fc-Duración R.S = (Fc-Latitud / 24) * 100 (4.9)

Corrección-RS = Fc-Latitud / Fc-duración R.S, Fc-Duración se encuentra en tabla

ETP = 17.37 * (d) * (T) * (1-0.01 * Hn) (4.10)

Corrección-RS * ETP = Corrección-RS * ETP (4.11)

ETPcorreg (ETPo) = ETP – Corrección-RS * ETP / Fc Elevación * ETP (4.12)

4.4.3. Escurrimiento Superficial

La finalidad del cálculo del balance hídrico superficial es estimar la cantidad de agua que interviene en el ciclo hidrológico dentro de una zona (cuencas o unidades hidrológicas) de interés.

La escorrentía se calcula utilizando la precipitación areal y la evapotranspiración potencial, mediante el modelo de Precipitación – Escurrimiento propuesto por el Budyko (1948), y calibrado, mediante análisis de regresión multivariable sobre las

series temporales de caudales aforados disponibles en España, que tiene la siguiente expresión:

$$A_T = P_T e^{\left(-0{,}79\frac{ETP}{P_T}\right)} \qquad \text{(Ec. 4.14)}$$

Donde**:**

A_T: Escorrentía total anual en mm

P_T: Precipitación areal total anual en mm

ETP: Evapotranspiración anual en mm

4.4.4 Estimación del balance hídrico

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

P = ETR + I + E + ΔS (4.15)

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 (4.16)

CAPITULO V:

CALCULOS Y RESULTADOS

5.1. Determinación de los parámetros morfométricos

5.1.1. Area y perímetro

La unidad hidrológica tiene una superficie de 367.07 km^2 y un perímetro 99.5 km; estos parámetros se delimitaron con el sotfware 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. Tamaño de área y perimetro

5.1.2. Densidad de Drenaje

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

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

$$\mathrm{Dd} = \frac{479.61\ \mathrm{km}}{367.07\ \mathrm{km}^2}$$

Dd = 1.31 km/km²

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. La longitud total de todos los tramos de ríos de la unidad hidrológica es de 479.61 km. Tomando en cuenta el área de drenaje 367.07 km2 se obtiene un valor de densidad de drenaje de 1.31 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. Pendiente Media de la cuenca

Para el cálculo de la pendiente media (Ip) de la cuenca se obtiene primero la pendiente de cada área entre curvas de nivel dentro de la unidad de cuenca (Si), las cuales posteriormente se suman (∑Si).

Ip = ∑Si = S1 + S2 +S3 + S4 + S5 +S6+ S7+ S8+ S9

Ip = ∑Si = 0.0337 + 0.0174 + 0.0157 + 0.0113 + 0.0087 + 0.0074 + 0.0049 + 0.0039 +

+ 0.0017

Ip = 0.10

Ip = 0.10 x 100 = 10%

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 0.10

m/m (10 %), indicando que el escurrimiento es de moderado a rápido (con tipo de relieve medianamente accidentado).

5.1.4. Pendiente Media del Río

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

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

$$Ic = 100 * \frac{1113.00 - 99.00}{60.50 \text{ km} * 1000}$$

Ic = 1.68 %

Donde:

Ic: Pendiente media del río principal, %

ElevMax: Altura máxima del río, m

ElevMin: Altura mínima del río, m

L: Longitud del río principal, km

En la subcuenca se encuentran elevaciones máximas de 1113 msnm y mínimas de 99 msnm respectivamente, con una pendiente media del río de 0.0168 m/m (1.68%), indicando que el escurrimiento se clasifica como moderado (Según cuadro No. 3.7).

5.1.5. Tiempo de Concentración

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

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

Calculo de k

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

Donde:

Tc: Tiempo de Concentración (Horas)

Lr: Longitud del curso principal (km)

S: Pendiente media del río (%)

Tc = ((0.0041*(3.28*(C4*1000) / ((L3-O3) / (C4*1000))^0.5)^0.77))/60

Tc = ((0.0041*(3.28*(60.50*1000) / ((1113-99) / (60.50*1000))^0.5)^0.77))/60

Tc = 3.96 hr

Este tiempo de concentración de 3.96 horas (237.6 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:

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

$$Kc = \frac{99.5\ km}{367.07\ km^2\ \hat{}\ 0.5} * 0.28$$

Kc = 1.45

Donde:

Kc: Índice de Gravelius

P: Perímetro de la cuenca (km)

A: Área de la cuenca (km²)

El Coeficiente de Compacidad o índice de Gravelius de la unidad hidrológica es de 1.45, es decir que se clasifica como oval oblonga a rectangular oblonga (Según cuadro No. 3.3

5.1.7. Factor de Forma

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

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

Donde:

Ff: Factor de forma (adimensional)

A: Área de la cuenca (km²)

L: Longitud del río principal (km)

$$F\mathit{f} = \frac{A\ km^2}{(L\ km)^2}$$

$$F\mathit{f} = \frac{367.07\ km^2}{(60.5\ km)^2}$$

$$\mathbf{F\mathit{f} = 0.10}$$

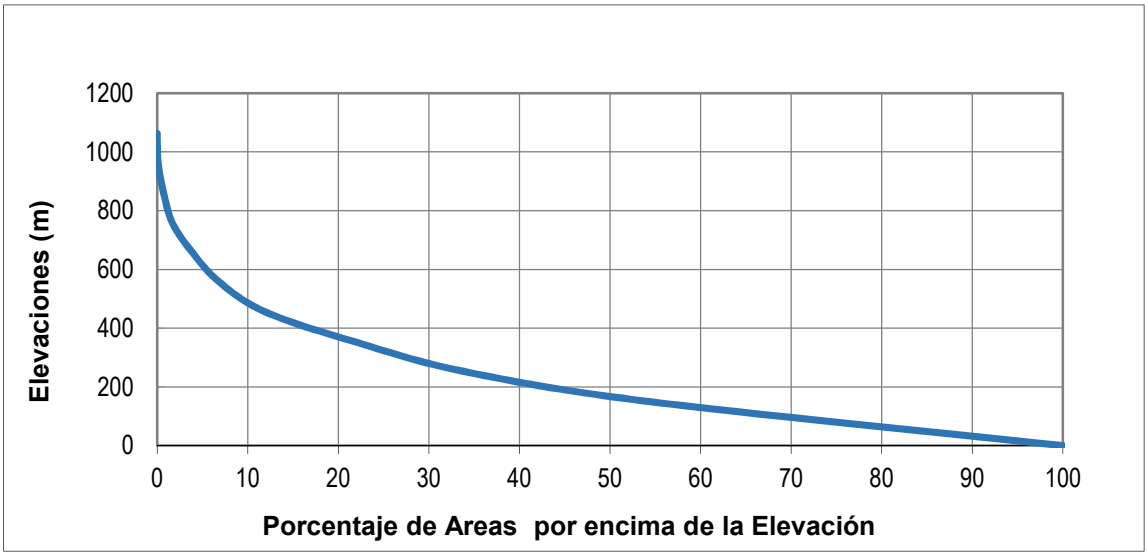
La forma de la subcuenca es muy poco achatada por presentar un factor de forma que oscila en valores comprendido entre 0.01 y 0.18 (Según cuadro No. 3.4).

5.1.8. Curva Hipsométrica

En el gráfico No. 5.1.1 de la Curva Hipsométrica se observa que entre las altitudes de 1800 msnm y 900 msnm la curva se presenta en general cóncava hacia arriba. Entre las altitudes de 900 msnm y 600 msnm la curva presenta un equilibrio que refleja un relieve natural más homogéneo.

En el gráfico 5.1.1 se muestra la curva hipsométrica del río el Portillo (El Sauce); en este gráfico se observa que un descenso marcado del río principal se da aproximadamente a partir de la cota 1,070 msnm hasta la cota de los 400 msnm. El descenso toma forma cóncava aproximadamente a partir de los 1,070 msnm hasta la cota de 300 msnm.

Gráfico No. 5.1.1: Curva Hipsométrica



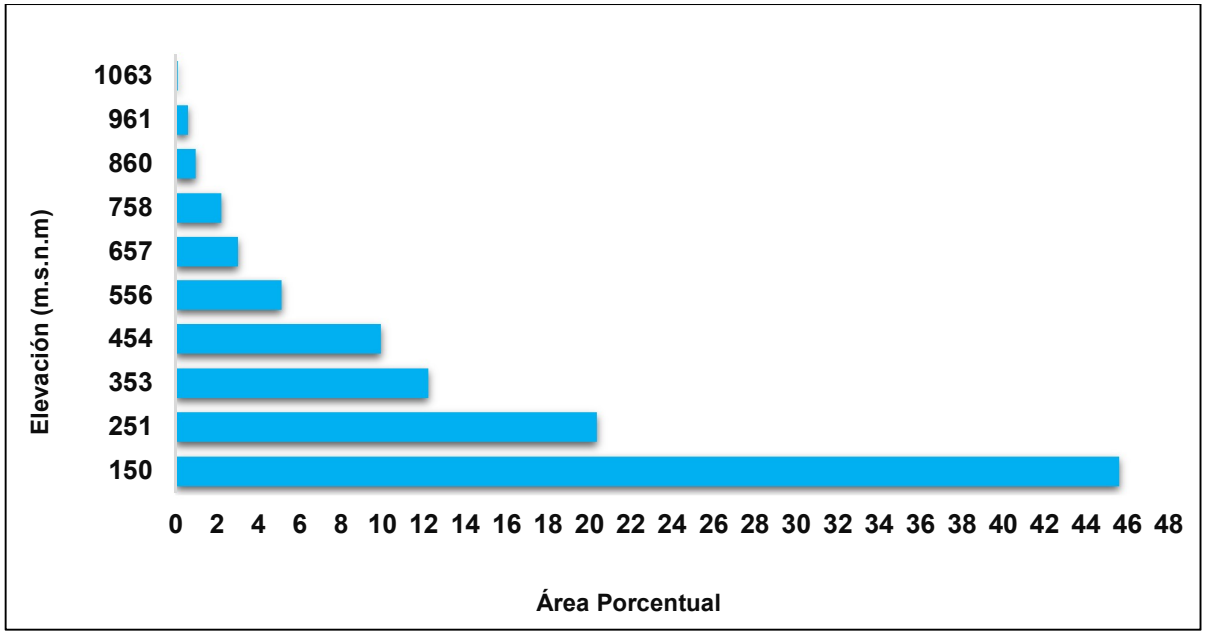
Fuente: Elaboración propia, con información de mapas de INETER

5.1.9. Polígonos de Frecuencia de Altitudes

Los polígonos de frecuencia de altitudes se obtienen representando sobre el eje de las ordenadas el porcentaje de superficie comprendida entre dos curvas de nivel consecutivas con respecto al área total de la cuenca. En este caso se puede apreciar que la mayoría del área de la subcuenca del Sauce se encuentra en su parte baja, es decir entre las elevaciones 99 y 300 msnm con el 78 % del área total de la unidad hidrográfica.

Este porcentaje se evidencia con el Valle de El Sauce, es la zona donde se asienta la mayoría de la población, el sector económico y la mayor parte de la economía de las poblaciones asentada en la parte baja de la subcuenca (Ver gráfico No. 5.1.2).

Gráfico No. 5.1.2: Polígono de Frecuencias de Altitudes



Fuente: Elaboración propia, con información de mapas de INETER

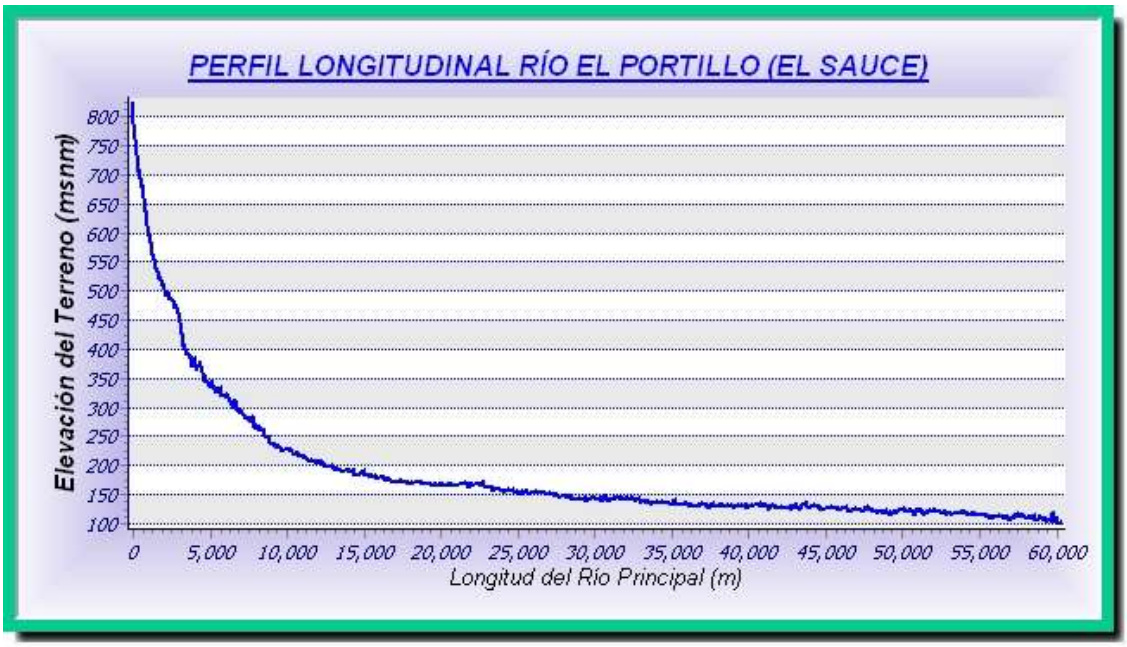
5.1.10. Perfil Longitudinal del río

El perfil longitudinal de un río muestra como éste va perdiendo cota a lo largo de su recorrido. En el gráfico No. 5.1.3 se observa la elevación (msnm) en cada tramo. Los perfiles longitudinales de los ríos suelen presentar forma cóncava y su pendiente disminuye desde las zonas más erosivas (zonas de cabecera), a las zonas donde predomina la sedimentación (zonas de desembocadura o bajas). De este gráfico se obtiene que desde la cota 800 msnm a la cota 350 msnm comienza a perder velocidad la corriente, debido a la pérdida de elevaciones, de 350 a la cota

200 msnm se caracteriza por ser zona de deposición y de la cota 200 a la cota 99 msnm son los cambios de elevaciones de menores magnitudes.

La longitud del cauce principal es de 60.50 km, orienta sus aguas provenientes hasta descargar al río Grande. En la subcuenca se encuentran elevaciones máximas de 1,113 y mínimas de 99 msnm respectivamente, con una pendiente media del río es de 0.017 m/m indicando que el escurrimiento será medio.

Gráfico No. 5.1.3: Perfil Longitudinal



Fuente: Elaboración propia, con información de mapas de INETER

5.1.11. Numero de Escurrimiento

El número de escurrimiento se obtiene con la siguiente ecuación:

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

$$Es = \frac{367.07 \text{ (km}^2\text{)}}{4 * 479.61 \text{ (km)}}$$

$$Es = 0.19 \text{ km}^2/\text{km}$$

Donde:

A = Área de drenaje de la cuenca (km²)

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

Es = Escurrimiento Superficial (km²/km)

El total de afluentes existentes es de 257, 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.

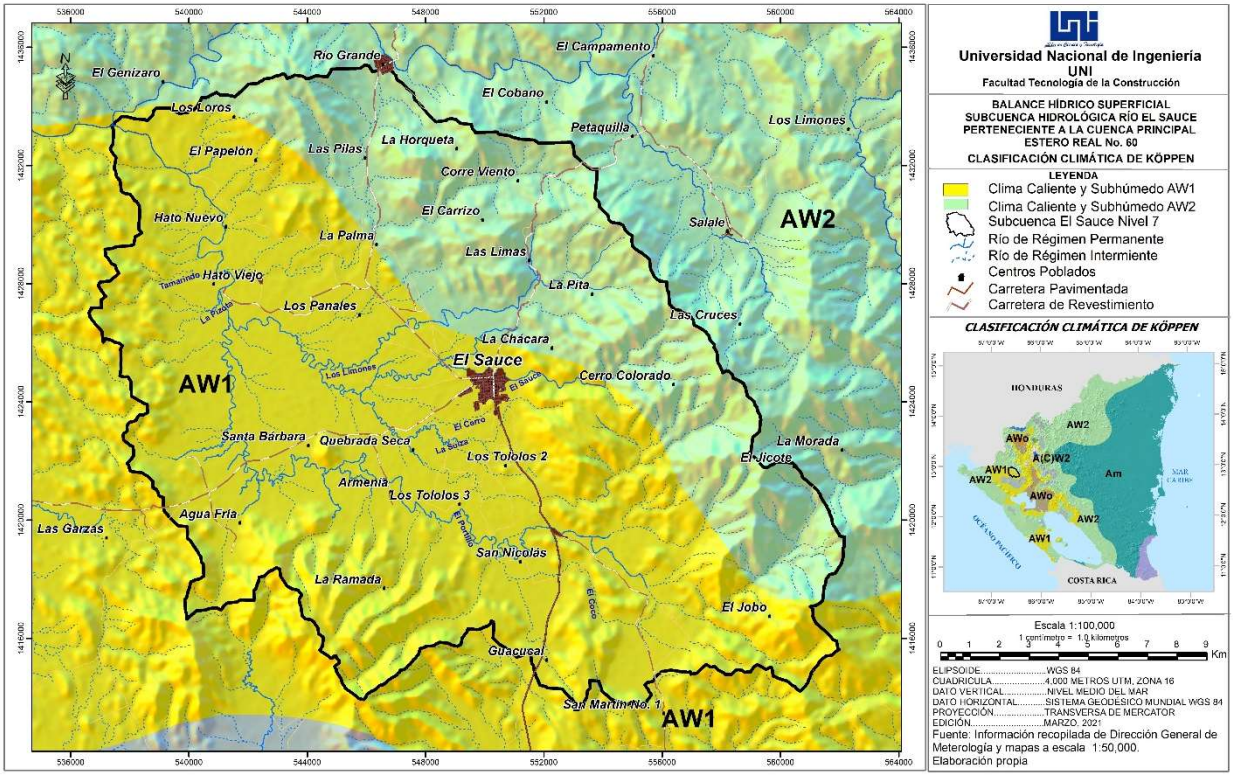
5.2. Caracterización climática de la zona de estudio

5.2.1. Clasificación de Köppen

Los elementos que componen el clima son los factores más influyentes en el modelaje del paisaje, en las características del suelo, en la fisonomía de la vegetación y en el potencial productivo de una región. Al efectuar la descripción de una zona o región, se tiene que tener en cuenta las condiciones del tiempo atmosférico, considerando las medidas de sus características como parámetros a medio y largo espacios o períodos de tiempo.

De acuerdo al Sistema de Köppen Modificado, el clima predominante del municipio el Sauce es Clima Caliente y Subhúmedo, AW1y AW2. Es Sabana Tropical de altura, caracterizándose por ser cálido en la mayor parte del territorio a excepción de la porción montañosa. En la figura 5.2.1 se presentan los dos tipos de clima de la unidad hidrológica.

Figura No. 5.2.1: Clasificación Climática por Köppen



Fuente: Elaboración propia, con datos de INETER

5.2.2. Precipitación Media

Se recopilaron datos e informaciones de los parámetros meteorológicos de las estaciones que inciden directamente en la unidad hidrológica, tomando de éstas los datos de precipitación, los datos de temperatura y humedad relativa. Para el Balance Hídrico se tomaron los datos de la estación hidrometeorológica principal de León, por ser la estación principal más cercana y registrar estos parámetros de suma importancia. Se determinó un período en común para todas las estaciones, siendo éste de 2001 – 2018 (ver cuadro No. 5.2.1).

Cuadro No. 5.2.1: Estaciones meteorológicas de la subcuenca El Sauce

Código	Estación	Coordenadas Geográficas (WGS84)		Altitud (msnm)
		Latitud Norte	Longitud Oeste	
60027	El Pilón	12°51'40"	86°36'50"	130
60029	Laguneta	12°54'20"	86°35'50"	160
60031	Los Tololos	12°51'30"	86°32'00""	160
60032	Los Loros	12°57'20"	86°35'00"	170
69113	La Montaña	12°53'30"	86°25'24"	680

Fuente: INETER

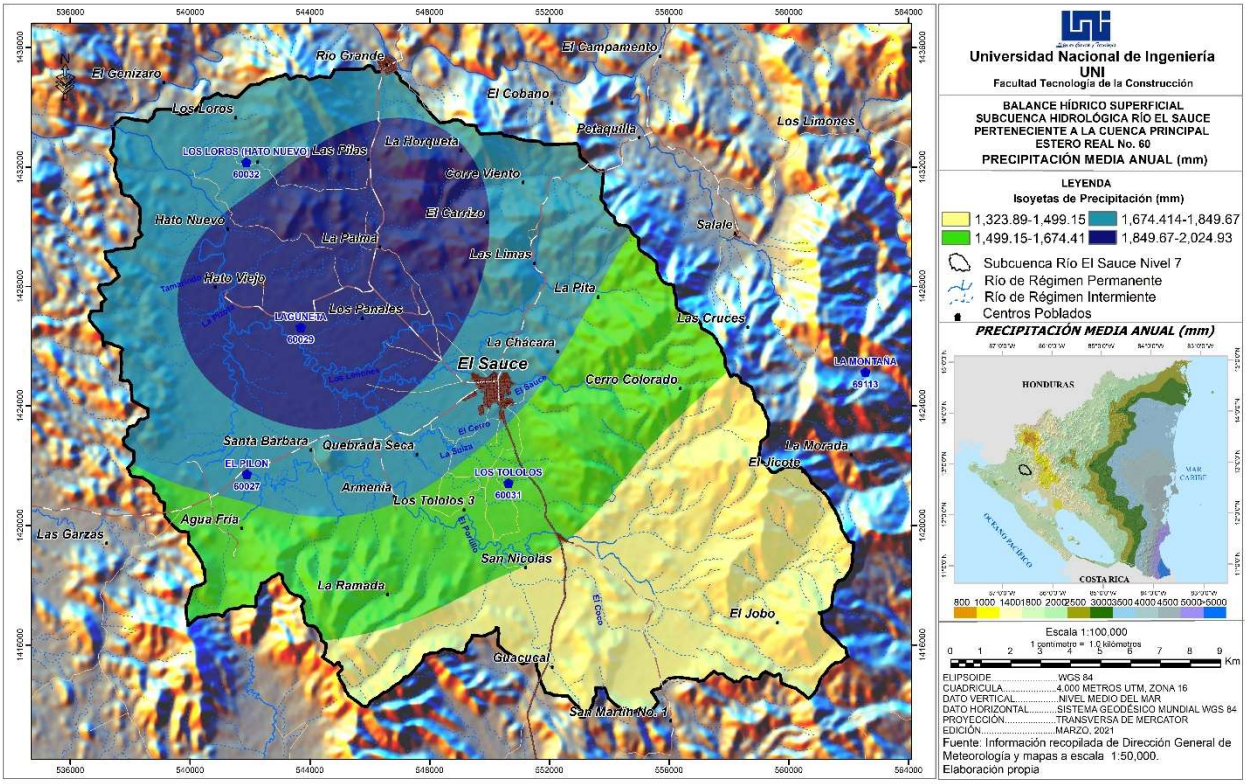
Realizando el cálculo de la precipitación media anual mediante el uso de las estadísticas de los registros históricos se obtuvo un resultado de 1,756.79 mm, tomando en cuenta la influencia de las estaciones en el comportamiento de la precipitación de cada una de las estaciones meteorológicas de la zona, como se muestra en el cuadro No. 5.2.2. En la figura No. 2.2 se presentan la distribución de la precipitación media anual en la zona de estudio.

Cuadro No. 5.2.2: Precipitación media anual

Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic	ANUAL
LOS TOLOLOS	2.04	1.28	9.44	37.86	214.92	234.48	140.18	191.98	316.77	374.21	62.24	8.16	1593.55
LAGUNETA	0.37	0.38	4.88	33.98	292.03	285.77	181.07	253.51	432.74	465.22	67.26	4.37	2021.57
EL PILON	2.07	2.79	10.72	49.12	240.63	238.72	147.43	201.36	348.11	411.87	65.41	4.76	1723.00
LOS LOROS	0.35	1.48	3.88	49.60	289.33	249.40	150.25	232.02	371.72	393.61	58.00	5.95	1805.60
LA MONTAÑA	1.30	0.39	3.03	33.50	194.20	218.08	127.13	201.65	343.61	423.16	77.71	16.49	1640.24
PROMEDIO	1.23	1.26	6.39	40.81	246.22	245.29	149.21	216.10	362.59	413.62	66.12	7.94	1756.79

Fuente: Elaboración propia, con datos de INETER

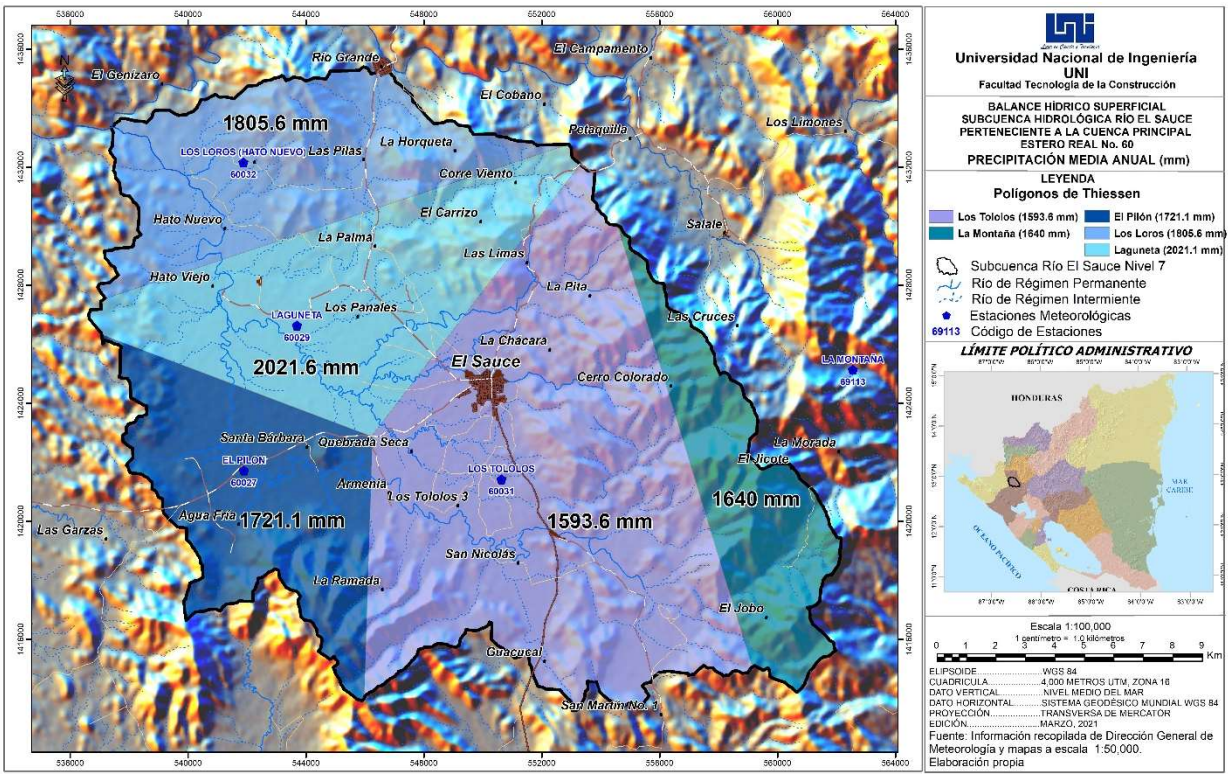
Figura No. 5.2.2: Precipitación media anual de la unidad hidrográfica



Fuente: Elaboración propia, con información de INETER

Para el cálculo de la precipitación areal se utilizó el método de los polígonos de Thiessen, tomando en cuenta la distribución espacial de la precipitación y todas las estaciones que inciden en el área de la subcuenca. Este método consiste en asignar un factor de peso a los totales de precipitación en cada estación, proporcional al área de influencia de cada pluviómetro, considerando el efecto del relieve del terreno. Una vez determinado el peso de las estaciones que tienen influencia en la subcuenca, se calculó la precipitación media areal mensual, tomando como referencia los registros mensuales por el valor del peso obtenido para las estaciones seleccionadas. En la figura 5.2.3 se presenta la distribución de los polígonos de Thiessen del área de estudio.

Figura No. 5.2.3: Polígonos de Thiessen del área de estudio



Fuente: Elaboración propia, con datos de INETER

En el cuadro No. 5.2.3 se muestran los resultados de la precipitación media anual areal para la zona del área de estudio, en el cual se observa que el valor calculado es de 1732.89 mm. En el gráfico No. 5.2.1 se muestran la precipitación media mensual areal para el período de estudio. Estos cálculos de precipitación areal serán utilizados para el cálculo de la evapotranspiración potencial, la que servirá a su vez para determinar el balance hídrico de la unidad hidrológica del Sauce.

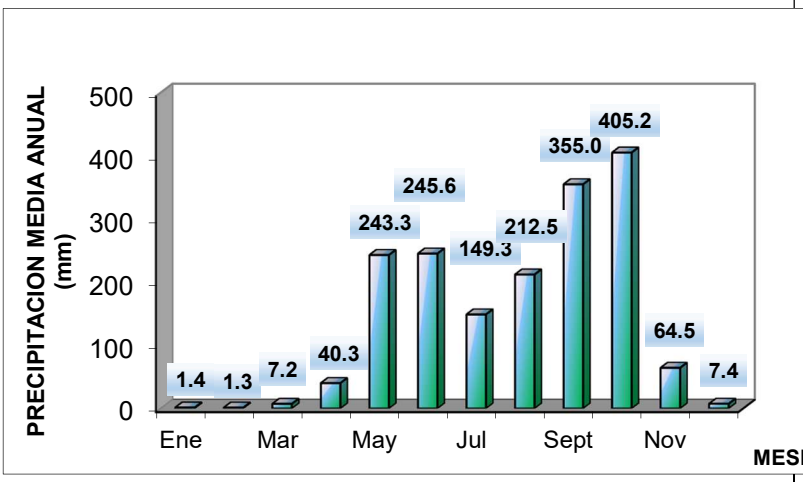
Figura No. 3 Precipitación Media anual areal (Thiessen)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic	ANUAL
LOS TOLOLOS	0.82	0.51	3.78	15.14	85.97	93.79	56.07	76.79	126.71	149.68	24.89	3.26	**637.4**
LAGUNETA	0.07	0.07	0.93	6.46	55.49	54.30	34.40	48.17	82.22	88.39	12.78	0.83	**384.1**
EL PILON	0.31	0.42	1.61	7.37	36.09	35.81	22.11	30.20	52.22	61.78	9.81	0.71	**258.4**
LOS LOROS	0.06	0.24	0.62	7.94	46.29	39.90	24.04	37.12	59.48	62.98	9.28	0.95	**288.9**
LA MONTAÑA	0.13	0.04	0.30	3.35	19.42	21.81	12.71	20.16	34.36	42.32	7.77	1.65	**164.0**
PROMEDIO	**1.4**	**1.3**	**7.2**	**40.3**	**243.3**	**245.6**	**149.3**	**212.5**	**355.0**	**405.2**	**64.5**	**7.4**	**1732.89**

Fuente: Elaboración propia, con datos de INETER

Gráfico No. 5.2.1: Precipitación media mensual areal

Precipitación Media Mensual Areal en mm (2001 - 2018)	
Enero	**1.4**
Febrero	**1.3**
Marzo	**7.2**
Abril	**40.3**
Mayo	**243.3**
Junio	**245.6**
Julio	**149.3**
Agosto	**212.5**
Septiembre	**355.0**
Octubre	**405.2**
Noviembre	**64.5**
Diciembre	**7.4**
Media Anual	**1,732.89**



Fuente: Elaboración propia, con datos de INETER

5.2.3. Temperatura media mensual y anual

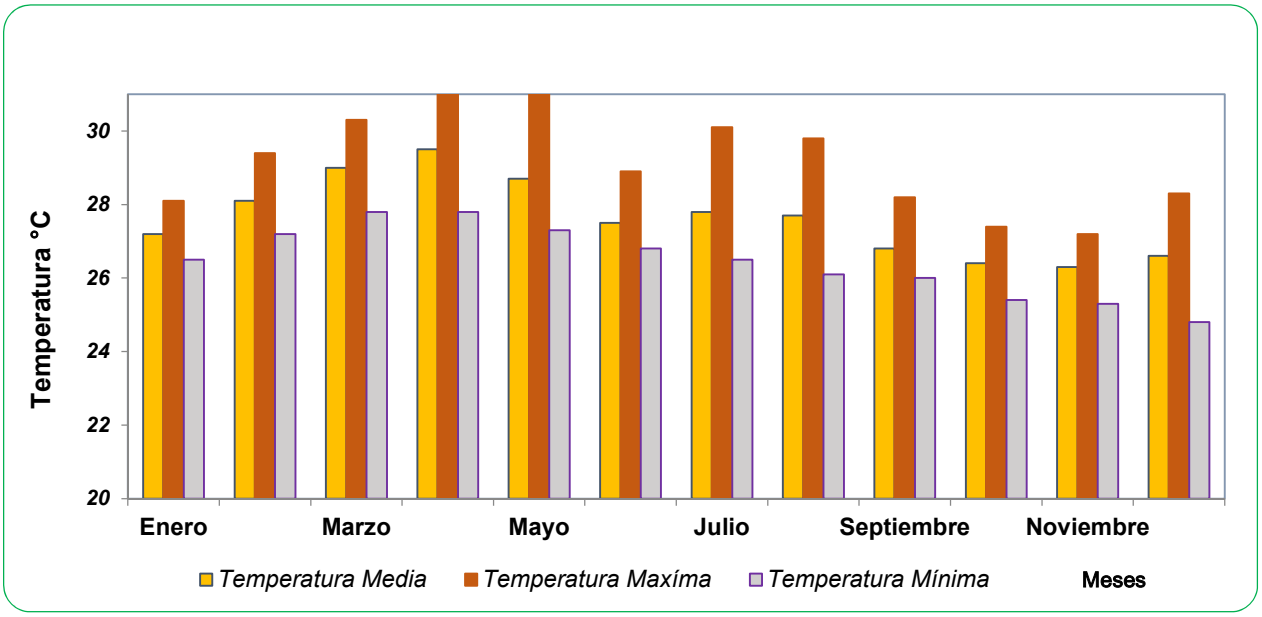
Para lograr determinar la temperatura media anual, se utilizó la estación Hidrometeorológica Principal ubicada en León. Conceptualmente la temperatura es inversamente proporcional con la altitud, es decir, que a mayor altitud existe una menor temperatura.

El comportamiento de la temperatura media anual corresponde a los 27.6 ºC., la cual muestra que dentro de la región se puede observar contrastes significativos, provocados por el efecto del relieve y otras condiciones locales. Los rangos de temperaturas mínimos y máximos absolutos oscilan en rangos que predominan de 26.0 ºC a 29.3 ºC.

Los valores medios mensuales de las temperaturas más elevadas se registran en los meses de abril y mayo, precisamente a finales del período seco con valores de 26.6 y 26.4ºC. Los valores de las temperaturas medias más bajas, ocurren entre diciembre y enero con magnitudes que oscilan entre 22.7°C y 22.8°C respectivamente.

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

Gráfico No. 5.2.2: Temperatura Media Mensual (Aeropuerto, León)



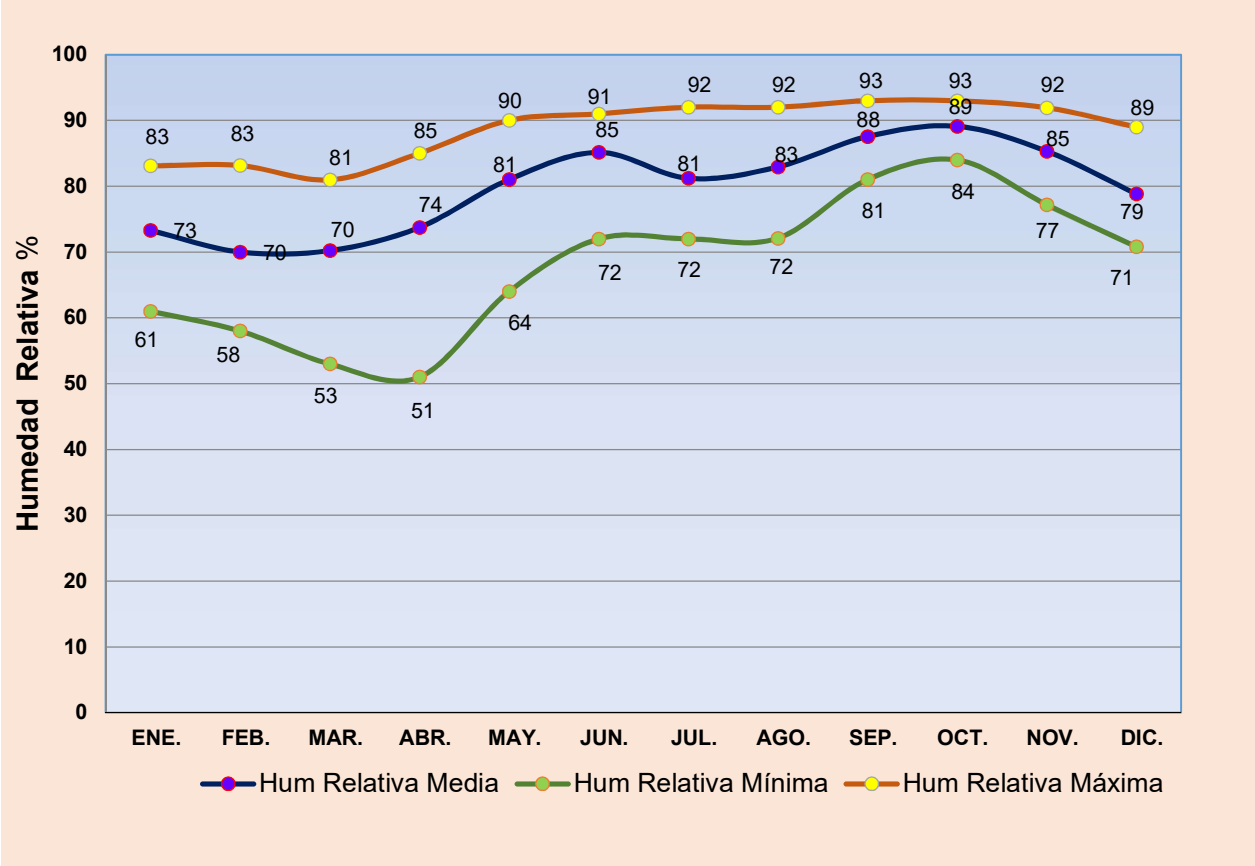
Fuente: Elaboración propia, con datos de INETER

5.2.4. Humedad Relativa

La humedad relativa media anual para el área de estudio es de 77%, los valores mínimos de la humedad relativa en las diferentes localidades dentro de la unidad hidrológica, tienen lugar en el mes de abril con 70%. En el gráfico No.5.2.3 se

muestra claramente el comportamiento de los valores anuales de la humedad relativa media, en los cuales se observa que los valores máximos mensuales se registran en los meses de septiembre y octubre, dichos valores oscilan entre el 88, 89 % respectivamente.

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



Fuente: Elaboración propia, con datos de INETER

5.3. Cálculo del Balance Hídrico

5.3.1. Cálculo de la Evapotranspiración

Una vez seleccionado el período para el cálculo de los parámetros climatológicos de precipitación, temperatura, humedad relativa, se determinó la evapotranspiración potencial para el área de estudio. Se tomó en cuenta la altitud de la estación meteorológica de León ubicada a 60 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, la cual 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 cuadros No.: 5.3.1, 5.3.2 y 5.3.3).

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-Latitud, d: se encuentra en tabla.

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

Fc-Elevación = (Elevación / 150) * 0.01

Fc-Duración R.S = (Fc-Latitud / 24) * 100

Corrección-RS = Fc-Latitud / Fc-duración R.S, Fc-Duración se encuentra en tabla

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

Corrección-RS * ETP = Corrección-RS * ETP

ETPcorreg (ETPo) = ETP – Corrección-RS * ETP / Fc Elevación * ETP

Cuadro No. 5.3.1: Radiación extraterrestre

	Radiación extraterrestre, RMD, expresada en Evaporación equivalente en mm/día.											
Latitud °	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

Fuente: INETER

Cuadro No. 5.3.2: Factor de corrección latitud

Tablas de Coeficientes para cálculo de la Evapotranspiración

	Factor corrección Latitud											
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

Fuente: INETER

Cuadro No. 5.3.3: Factor duración latitud

	Factor duración Latitud											
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

Fuente: INETER

En el cuadro No. 5.3.4 se presentan los resultados del cálculo de la evapotranspiración potencial para los años del período seleccionado para este estudio (2001-2018). La evapotranspiración potencial media fue estimada en 1,799.87. mm/anual. Los valores máximos de la ETP se presentan en los meses de marzo y abril, que alcanza valores de 196.4 mm. y 186.3 mm respectivamente. La evapotranspiración potencial presenta sus valores mínimos en los meses de octubre con 108.7 mm y septiembre y noviembre con valores de 116.4 mm, respectivamente (ver cuadro No. 5.3.5).

Cuadro No. 5.3.4: Evapotranspiración potencial de la unidad hidrológica el Sauce

EVAPOTRANSPORACION POTENCIAL
ESTACIÓN PRINCIPAL DE LEÒN (AEROPUERTO GODOY 64043)

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
2001	173.4	200.7	210.8	267.0	197.4	187.2	191.5	184.0	137.8	128.5	129.3	154.1	2161.8
2002	209.9	206.5	260.3	273.6	231.9	149.4	168.2	184.0	118.5	125.8	136.2	167.3	2231.5
2003	207.5	196.2	214.9	206.8	189.1	123.8	163.1	162.0	128.0	110.1	114.8	168.9	1985.1
2004	189.7	195.0	263.8	221.2	206.9	183.7	167.6	148.5	117.6	122.0	127.4	171.5	2114.7
2005	202.1	186.2	185.1	191.2	171.3	126.1	151.6	150.6	120.9	94.3	121.4	139.7	1840.5
2006	170.0	175.2	221.1	205.3	180.6	151.6	174.1	157.5	134.1	126.2	112.2	141.3	1949.3
2007	171.6	157.7	189.6	155.5	127.1	125.6	141.8	114.5	100.6	90.5	113.5	125.6	1613.8
2008	139.7	131.3	163.6	158.4	130.4	126.1	124.3	113.5	97.1	98.1	107.8	131.1	1521.4
2009	141.8	149.7	156.9	173.1	138.5	108.0	144.4	139.9	122.5	111.3	115.2	139.2	1640.5
2010	147.0	140.5	165.9	154.5	137.6	108.0	105.3	104.3	92.2	106.2	99.3	120.3	1481.1
2011	148.3	152.9	157.5	136.7	134.2	111.7	113.7	118.9	101.4	90.2	109.5	130.6	1505.6
2012	150.0	157.7	222.6	149.0	129.0	125.6	158.5	124.0	111.2	96.9	118.8	142.3	1685.7
2013	166.4	161.7	195.2	177.3	156.6	127.9	140.2	128.6	97.5	105.4	105.1	129.0	1691.0
2014	149.4	165.3	189.6	191.8	161.5	148.9	196.3	149.7	110.8	101.5	104.4	129.0	1798.3
2015	156.9	148.5	193.4	192.4	198.2	156.3	176.8	191.3	141.7	123.2	116.0	148.6	1943.5
2016	162.7	179.2	182.0	168.8	140.9	113.0	142.7	137.5	108.1	95.0	92.0	106.0	1627.9
2017	129.4	122.3	155.6	158.2	126.2	127.6	158.4	138.9	117.0	110.2	124.3	169.3	1637.3
2018	183.3	182.6	207.1	172.7	132.1	120.4	195.3	194.5	137.4	120.8	149.0	173.5	1968.7
Media	**166.6**	**167.2**	**196.4**	**186.3**	**160.5**	**134.5**	**156.3**	**146.8**	**116.4**	**108.7**	**116.4**	**143.8**	**1799.87**

Fuente propia, con datos de INETER

Cuadro No. 5.3.5: Evapotranspiración potencial (Período seco y lluvioso)

Comportamiento de la Evapotranspiración Potencial en mm (Hargreaves)						
Periodo	*Mayo*	*Junio*	*Julio*	*Agosto*	*Septiembre*	*Octubre*
Lluvioso	**160.5**	**134.5**	**156.3**	**146.8**	**116.4**	**108.7**
Periodo	*Enero*	*Febrero*	*Marzo*	*Abril*	*Noviembre*	*Diciembre*
Seco	**166.6**	**167.2**	**196.4**	**186.3**	**116.4**	**143.8**

Fuente propia, con datos de INETER

5.3.2. Estimación del Escurrimiento aplicando el método de Budyko

Debido a que no existen datos de caudales en el área de estudio, se adoptó por utilizar un método directo y empírico propuesto por Budyko, que toma en cuenta los parámetros de la precipitación areal que influye sobre la unidad de estudio y la evapotranspiración potencial (Ambos parámetros ya fueron calculados previamente).

La escorrentía se calcula utilizando la precipitación areal y la evapotranspiración potencial, mediante el modelo de Precipitación – Escurrimiento propuesto por el Budyko, que tiene la siguiente expresión:

$$A_T = P_T e^{\left(-0{,}79\frac{ETP}{P_T}\right)}$$

Donde**:**

A_T: Escorrentía total anual en mm

P_T: Precipitación areal anual en mm

ETP: Evapotranspiración potencial anual en mm

Aplicando la fórmula anterior y utilizando los valores de precipitación areal y de evapotranspiración potencial se procedió a hacer el cálculo de la escorrentía, la cual se presenta en el cuadro siguiente No. 5.3.6.

Cuadro No. 5.3.6: Escorrentía total anual

	Precipitación [mm]	***ETP [mm]***	***Escurrimiento medio[mm]***
Enero	**1.4**	**166.6**	**0.00**
Febrero	**1.3**	**167.2**	**0.00**
Marzo	**7.2**	**196.4**	**0.00**
Abril	**40.3**	**186.3**	**1.05**
Mayo	**243.3**	**160.5**	**144.66**
Junio	**245.6**	**134.5**	**159.53**
Julio	**149.3**	**156.3**	**65.43**
Agosto	**212.5**	**146.8**	**123.30**
Septiembre	**355**	**116.4**	**274.20**
Octubre	**405.2**	**108.7**	**328.01**
Noviembre	**64.5**	**116.4**	**15.55**
Diciembre	**7.4**	**143.8**	**0.00**
Total Anual	**1733.0**	**1799.9**	**1111.72**

Fuente: Elaboración propia, con datos de INETER

Del análisis de la Precipitación - Escurrimiento por el método de Budyko, se estimó que la unidad hidrológica genera una escorrentía anual de 1,111.72 mm. Presentándose los valores más altos durante el período lluvioso, que comprenden los meses de mayo a octubre; mientras que los meses con escorrentía mas bajos corresponden a los meses de la estación seca (noviembre-abril).

5.3.3. Balance hídrico

Considerando los datos calculados de precipitación, evapotranspiración potencial y de escorrentía, se procedió al cálculo de los caudales y volúmenes de agua tomando en cuenta el área total de 367.07 km^2 de la unidad hidrológica del Sauce. Los resultados se expresan en el siguiente cuadro No. 5.3.7. Para el área de aportación correspondiente al área de estudio se obtiene un caudal promedio de 12.94 en m^3/seg, lo cual equivale a 408 MMC.

Cuadro No. 5.3.7: Caudales y volúmenes del Sauce (Río el Portillo)

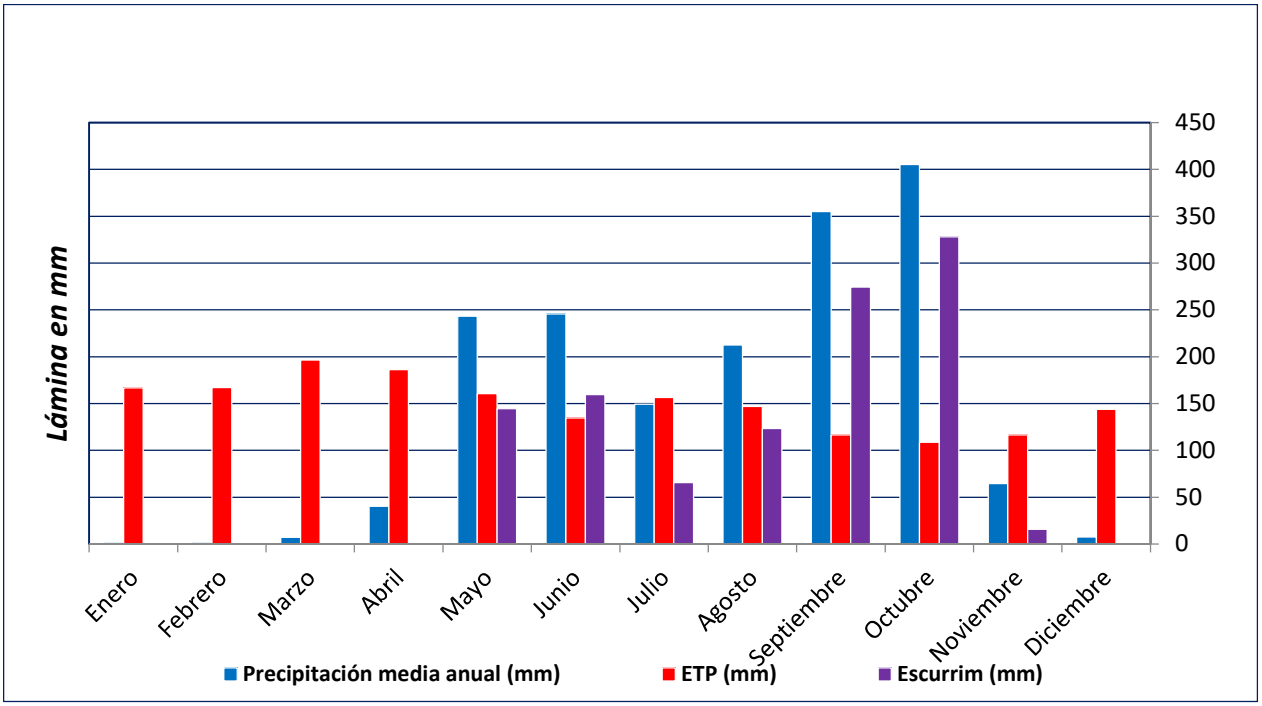
	Precipitación [mm]	***ETP [mm]***	***Escurrimiento medio[mm]***	***Caudal promedio [m^3/seg]***	***Volumen [Mmc]***
Enero	**1.4**	**166.6**	**0.00**	**0.000**	**0.00**
Febrero	**1.3**	**167.2**	**0.00**	**0.000**	**0.00**
Marzo	**7.2**	**196.4**	**0.00**	**0.000**	**0.00**
Abril	**40.3**	**186.3**	**1.05**	**0.012**	**0.39**
Mayo	**243.3**	**160.5**	**144.66**	**1.683**	**53.08**
Junio	**245.6**	**134.5**	**159.53**	**1.856**	**58.54**
Julio	**149.3**	**156.3**	**65.43**	**0.761**	**24.01**
Agosto	**212.5**	**146.8**	**123.30**	**1.435**	**45.25**
Septiembre	**355**	**116.4**	**274.20**	**3.191**	**100.62**
Octubre	**405.2**	**108.7**	**328.01**	**3.817**	**120.36**
Noviembre	**64.5**	**116.4**	**15.55**	**0.181**	**5.71**
Diciembre	**7.4**	**143.8**	**0.00**	**0.000**	**0.00**
Total Anual	**1733.0**	**1799.9**	**1111.72**	**12.936**	**408.0**

Fuente: Elaboración propia, con datos de INETER

Durante el período seco el comportamiento del caudal resulta en una significativa disminución en los valores del escurrimiento que varían de 0.00 – 5.71 MMC; obteniéndose para este período seco que comprende de noviembre a abril un volumen de 6.09 MMC. En el período lluvioso que comprende de mayo a octubre se obtiene una un volumen de 401 MMC. Este resultado guarda una estrecha relación con los regímenes de precipitación y evaporación de la zona; presentándose en el período lluvioso una recarga, aumentando los caudales considerablemente con respecto al caudal medio anual. También se observa que los mayores aportes se producen en los meses de mayor precipitación (septiembre y octubre), con valores de 355.0 mm y 405.2 mm respectivamente, donde los volúmenes son de 100.62 y 120.36 millones de metros cúbico anuales, respectivamente.

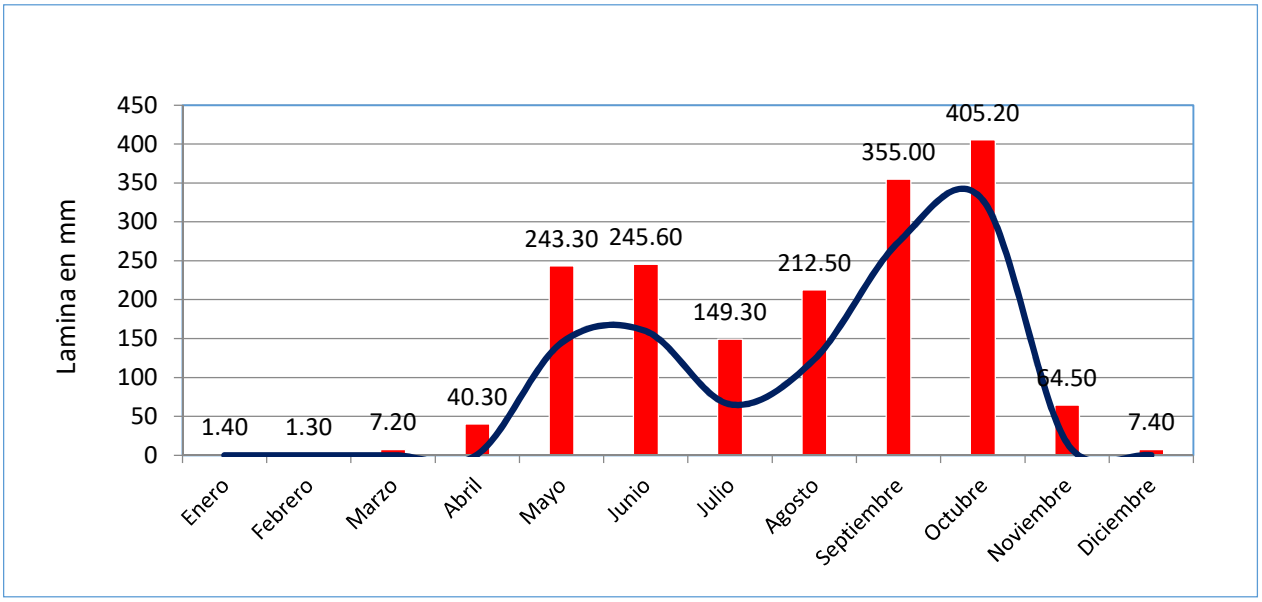
En el gráfico No. 5.3.2 se muestra el comportamiento de la precipitación, la evapotranspiración y la escorrentía en el de estudio para el periodo considerado (datos del cuadro anterior).

Gráfico No. 5.3.2: Comportamiento de la precipitación, la evapotranspiración y la escorrentía



De acuerdo al registro de las estaciones meteorológicas y resultado del cálculo del balance del período de estudio en el Sauce se evidencia que en el período lluvioso (mayo-octubre) existe una mayor escorrentía, mientas en el período seco (noviembre-abril) se registran los valores más bajos de escorrentía (ver gráfico No 5.3.3).

Gráfico No5.3.3: Comportamiento de la precipitación y la escorrentía



CAPITULO VI:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Conclusiones

1. Con respecto a la caracterización morfométrica de la subcuenca El Sauce se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- ✓ Según los datos estimados en este estudio, se concluye que la unidad hidrográfica del Sauce, tiene un área de 367.07 km² y un perímetro 99.5 km.
- ✓ La longitud total de todos los tramos de ríos de la unidad hidrológica es de 479.61 km; tomando en cuenta el área de drenaje de 367.07 km^2, se obtiene un valor de densidad de drenaje de 1.31 km/km², de acuerdo a los rangos de valores de densidades de drenajes se clasifica como un drenaje bajo.
- ✓ El Coeficiente de Compacidad o índice de Gravelius de la unidad hidrológica es de 1.45, el cual se clasifica como oval oblonga a rectangular oblonga. Este tiempo de concentración es de 3.96 horas (237.6 minutos) y se clasifica como lento.
- ✓ La pendiente media para la unidad de estudio es de 0.10 m/m (10 %), indicando que el escurrimiento es de moderado a rápido (con tipo de relieve medianamente accidentado). En la curva hipsométrica se observa que entre las altitudes de 1800 msnm y 900 msnm la curva se presenta en general cóncava hacia arriba. Entre las altitudes de 900 msnm y 600 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 del Sauce se encuentra en su parte baja, es decir entre las elevaciones 99 y 300 msnm con el 78 % del área total de la unidad hidrográfica.

2. En el marco de la caracterización climática de la zona de El Sauce se concluye lo siguiente:

- ✓ El clima predominante del municipio del Sauce es Caliente y Subhúmedo, caracterizándose por ser cálido en la mayor parte del territorio a excepción de la

porción montañosa. De acuerdo a las estadísticas obtenidas de las estaciones seleccionadas se obtuvo una precipitación media anual de **1732.89** mm. El comportamiento de la temperatura media anual corresponde a los 27.6 ºC, y la humedad relativa media anual para el área de estudio es de 77%.

3. En el cálculo del balance hídrico de la unidad de cuenca se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- ✓ Para el área de aportación correspondiente al área de estudio de 367.07 km^2 se obtiene un caudal promedio de 12.94 en m^3/seg, lo cual equivale a 408 MMC. Durante el período seco el comportamiento del caudal resulta en una significativa disminución en los valores del escurrimiento que varían de 0.00 – 5.71 MMC; obteniéndose para este período seco que comprende de noviembre a abril un volumen de 6.09 MMC. En el período lluvioso que comprende de mayo a octubre se obtiene una un volumen de 401 MMC, lo que presenta en este período un mayor aumento de los caudales con respecto al caudal medio anual.

6.2 Recomendaciones

1. Tomando en consideración el mal uso de los suelos y la deforestación permanente en el área de estudio, se recomienda la implementación de una reforestación permanente. Esto debe ir acompañado de programas ambientales.

2. En la planificación del desarrollo del municipio del Sauce las autoridades correspondientes deben incluir la protección de los recursos naturales, principalmente el agua, los suelos y el bosque. Las prácticas productivas deben de ir acompañadas de asistencia técnica para evitar una mayor degradación de los suelos y su impacto en las fuentes de agua.

3. Para la conservación de los recursos hídricos de la unidad hidrológica se debe tener en consideración los requerimientos de recursos técnicos y humanos apropiados para garantizar la organización, cuido y monitoreo.

Bibliografía

- ✓ Aparicio Mijares, Francisco Javier. 2007. Fundamentos de hidrología de superficie. Limusa, México, D. F. 303 pp.
- ✓ CEDEX. 2013. Manual del usuario CHAC (cálculo hidrometeorológico de aportaciones y crecidas).
- – UNESCO.1982. Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur. Montevideo 117 pp.
- ✓ Ven Te Chow, David R. Maidment y Larry W, Mays. 1996.Hidrología aplicada. McGRAW-HILL, INC. Colombia.
- ✓ UNESCO. 1981. Instituto de Hidrología de España. Método de Cálculo del Balance Hídrico, Madrid España.
- ✓ Instituto México de Tecnología del Agua, IMTA. 2003. Balance Hídrico en la Cuenca de Mexica. Coordinación de Tecnología Hidrológica, Sub coordinación de Hidrología y Mecánica de Ríos. México.
- ✓ OLADE, INCLAM. 2012. Vulnerabilidad al Cambio Climático de los Sistemas de Producción Hidroeléctrico en Centroamérica y sus Opciones de Adaptación, Componente 5, San José, Costa Rica.
- ✓ Máximo Villón Béjar. 2001. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Hidrología Estadística, Cartago Costa Rica.
- ✓ Linsley Kohler Paulus. 1988. Hidrología para ingenieros.
- ✓ Enriqueta García. 1988. Modificaciones al sistema de Köppen.
- ✓ Fernando F. 2000. Evaluación de tres modelos Precipitación – Escorrentía (Budyko, Turc-Pire y Pizarro), en la cuenca del río Achibueno, Chile.
- ✓ SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales). 2005. Balance Hídrico Integrado y Dinamico en el Salvador Componente Evaluación de Recursos Hídricos San Salvador. Diciembre.
- ✓ UNESCO. 1982. Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur. Montevideo 117 pp.
- ✓ Mapa de Atlas Climático de Precipitación Media Anual (1971-2000). INETER. Edición. 2004.

A N E X O S

Cuadro 1: Precipitación media mensual de la estación meteorológica de Los Tololos, León

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES
DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA
RESUMEN METEOROLÓGICO ANUAL

Estación:	LOS TOLOLOS / LEON	Código:	60031
Departamento:	LEON	Municipio:	EL SAUCE
Latitud:	12°51'30"	Longitud:	86°32'00"
Años:	2001 - 2018	Elevación:	160 msnm
Parámetro:	Precipitación (mm)	Tipo:	PV

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos.	Sept.	Octub.	Nov.	Dic.	Suma
2001	0	0	15.3	0	300.9	37	104.8	111.8	436.2	213.4	104.2	0	1,323.6
2002	0	0	0	0	277.6	372.1	63.5	39.6	387.6	267.1	10	0	1,417.5
2003	0	0	0	49.8	160.8	540.4	49	107.1	358.2	231.4	31.7	0	1,528.4
2004	0.0	10.5	28.8	12.5	60.1	63.7	215.2	66.9	219.4	369.8	15.3	0	1,062.2
2005	0.0	0	58.7	19	288.8	188.6	331	275.2	135.8	419.7	0	0	1,716.8
2006	0.0	0.0	14.8	26.1	146.1	303.4	156.7	93.8	384.9	172.8	61.5	66	1,426.1
2007	31.5	0.0	0.0	30.7	252.2	214.9	89.4	246.9	222.6	306.5	44.1	29.3	1,468.1
2008	0	0.0	0	0.0	149.5	153.5	151.1	272	436.7	383.8	0	0	1,546.6
2009	0.0	0	0.0	0	46	104.8	99	82.3	104.5	37.8	185.1	0	659.5
2010	0	5.1	14.2	245.3	417.0	484.2	427.2	649.5	773.9	321.3	56.3	0	3,394.0
2011	0.0	0.0	0.0	44.3	342.0	246.7	377.7	395.5	495.3	860.3	13.4	0.0	2,775.2
2012	0.0	0.0	0.0	58.3	156.2	448.3	17.0	354.7	191.4	488.4	0.0	0.0	1,714.3
2013	0.0	0.0	18.8	27.6	124.5	103.4	137.5	165.2	515.0	423.2	112.9	0.0	1,628.1
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	137.1	33.4	16.5	122.1	23.1	488.9	0.0	0.0	821.1
2015	1.1	1.8	5.7	26.5	60.3	253.2	53.7	27.2	256.8	219.8	162.8	9.2	1,078.1
2016	1.0	2.0	4.9	31.0	209.4	207.8	59.0	192.9	238.7	359.9	191.1	26.8	1,524.7
2017	1.8	1.9	4.8	32.2	341.0	245.2	161.9	174.3	304.3	516.3	83.5	11.0	1,878.2
2018	1.3	1.8	4.0	78.2	399.0	220.1	13.1	78.6	217.3	655.3	48.3	4.5	1,721.5
Suma	**36.7**	**23.0**	**170.0**	**681.5**	**3868.5**	**4220.7**	**2523.2**	**3455.6**	**5701.8**	**6735.8**	**1120.3**	**146.8**	**28684.0**
Media	**2.0**	**1.3**	**9.4**	**37.9**	**214.9**	**234.5**	**140.2**	**192.0**	**316.8**	**374.2**	**62.2**	**8.2**	**1593.6**
Max	**31.5**	**10.5**	**58.7**	**245.3**	**417.0**	**540.4**	**427.2**	**649.5**	**773.9**	**860.3**	**191.1**	**66.0**	**3,394.0**
Min	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**46.0**	**33.4**	**13.1**	**27.2**	**23.1**	**37.8**	**0.0**	**0.0**	**659.5**

Fuente: INETER

Cuadro 2: Precipitación media mensual de la estación meteorológica de Laguneta, León

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES
DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA
RESUMEN METEOROLÓGICO ANUAL

Estación:	LAGUNETA / LEON	Código:	60029
Departamento:	LEON	Municipio:	EL SAUCE
Latitud:	12°54'20"	Longitud:	86°35'50"
Años:	2001 - 2018	Elevación:	130 msnm
Parámetro:	Precipitación (mm)	Tipo:	PV

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos.	Sept.	Octub.	Nov.	Dic.	Suma
2001	0	0	18	0	252.9	52.6	110.1	114.9	521.1	239.0	90.3	23	1,422.6
2002	0	0	0	0	286.4	373.5	66.4	44.7	351.7	321.5	53.6	0	1,497.8
2003	0	0	0	34.7	287.5	314.6	143	172.3	255.2	227.1	94.3	0	1,528.7
2004	0.0	0.0	0	0	121.3	116.8	144.2	155.7	417.8	340.1	21.8	0	1,317.7
2005	0.0	0	54	16.5	410.1	413.8	397.7	425.7	246.0	702.5	38.8	0	2,705.4
2006	0.0	0.0	0.0	25.0	342.6	320.6	187.3	237.9	631.6	489.7	216.7	0	2,451.4
2007	0.0	0.0	0.0	64.9	506.5	271.6	160.9	693.1	612.3	989.5	0	0	3,298.8
2008	0	0.0	0	0.0	207.8	187.8	429.1	292	828.5	575.8	48.1	0	2,569.1
2009	0.0	0	0.0	0	328.8	467.8	95.6	84.4	181.5	60.5	70.9	0	1,289.5
2010	0	0	0.0	114.2	510.9	644.1	552.5	564.7	993.7	438.3	34.9	0	3,853.3
2011	0.0	0.0	0.0	0.0	309.4	300.5	381.0	464.7	606.5	1055.1	0.0	0.0	3,117.2
2012	0.0	0.0	0.0	179.7	514.8	577.6	34.7	402.5	246.2	449.1	0.0	0.0	2,404.6
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	139.4	188.9	242.5	208.1	500.0	555.7	91.4	0.0	1,926.0
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	94.4	51.0	20.3	250.6	470.2	447.6	24.6	0.0	1,358.7
2015	1.4	1.7	4.9	24.6	63.3	230.6	48.5	24.7	229.5	213.4	159.3	17.4	1,019.3
2016	1.6	1.7	3.2	31.3	190.3	196.3	66.5	196.7	217.9	344.7	168.3	18.8	1,437.1
2017	2.0	1.7	4.6	33.7	334.2	231.6	165.7	153.9	279.6	415.6	64.0	12.0	1,698.7
2018	1.6	1.7	2.5	87.0	355.9	204.1	13.3	76.5	200.0	508.8	33.7	7.1	1,492.3
Suma	**6.6**	**6.8**	**87.8**	**611.7**	**5256.6**	**5143.8**	**3259.3**	**4563.1**	**7789.3**	**8374.0**	**1210.7**	**78.6**	**36388.2**
Media	**0.4**	**0.4**	**4.9**	**34.0**	**292.0**	**285.8**	**181.1**	**253.5**	**432.7**	**465.2**	**67.3**	**4.4**	**2021.6**
Max	**2.0**	**1.7**	**54.3**	**179.7**	**514.8**	**644.1**	**552.5**	**693.1**	**993.7**	**1055.1**	**216.7**	**23.4**	**3853.3**
Min	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**63.3**	**51.0**	**13.3**	**24.7**	**181.5**	**60.5**	**0.0**	**0.0**	**1019.3**

Fuente: INETER

Cuadro 3: Precipitación media mensual de la estación meteorológica de El Pilón, León

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES
DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA
RESUMEN METEOROLÓGICO ANUAL

Estación:	EL PILON / LEON	Código:	60027
Departamento:	LEON	Municipio:	EL SAUCE
Latitud:	12°51'40"	Longitud:	86°36'50"
Años:	2001 - 2018	Elevación:	130 msnm
Parámetro:	Precipitación (mm)	Tipo:	PV

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos.	Sept.	Octub.	Nov.	Dic.	Suma
2001	0	0	0	0	34.5	0	85.2	73.7	291.2	186.9	9.4	0	680.9
2002	0	0	0	0	320.3	270.3	59.8	77.6	351.5	154.8	35.5	0	1,269.8
2003	34	0	0	0	353.8	316.8	224.9	300.5	204.2	153.7	4	0	1,591.9
2004	0.0	32.5	0	0	83.1	33.2	204.2	140.5	187.6	253.2	16	0	950.3
2005	0.0	0	62	53.8	281.1	393	221	231.1	152.2	469.7	44.9	21.2	1,930.0
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	91.8	211.7	137.8	46.8	412.7	282.8	61.1	0	1,244.7
2007	0.0	0.0	15.2	0	367.4	186.8	174.6	528.6	615	780	80.1	0	2,747.7
2008	0	2.2	0	59.6	254.8	236.5	66.1	140.2	596.8	391.5	0	0	1,747.7
2009	0.0	0	0.0	0	317	308.9	104.7	67.1	80.2	104	155.1	0	1,137.0
2010	0	0	19.3	227.7	429.5	419.3	390.3	450.7	839.9	277.4	0	0	3,054.1
2011	0.0	0.0	0.0	8.5	196.8	269.7	406.7	373.9	495.6	1046.4	24.5	0.0	2,822.1
2012	0.0	0.0	0.0	144.8	359.6	261.8	65.8	297.6	301.9	412.3	8.3	0.0	1,852.1
2013	0.0	0.0	45.4	50.7	144.7	172.7	149.2	127.0	342.4	330.4	93.8	0.0	1,456.3
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	50.7	209.0	11.9	149.3	222.0	276.2	0.0	0.0	919.1
2015	0.7	1.7	5.8	26.3	63.1	233.4	43.9	29.0	251.6	216.1	180.4	13.0	1,065.0
2016	0.7	1.9	3.7	32.1	206.8	195.4	59.7	196.2	233.9	348.2	207.9	21.1	1,507.7
2017	1.0	1.8	5.8	34.5	363.3	234.6	163.4	168.2	283.0	425.1	74.3	10.2	1,765.0
2018	0.9	1.7	3.6	98.8	399.7	214.9	12.1	74.2	206.9	564.7	34.7	5.9	1,618.2
Suma	**37.3**	**41.8**	**160.8**	**736.8**	**3609.5**	**3580.8**	**2211.5**	**3020.4**	**5221.7**	**6178.1**	**981.2**	**71.4**	**25,817.1**
Media	**2.1**	**2.8**	**10.7**	**49.1**	**240.6**	**238.7**	**147.4**	**201.4**	**348.1**	**411.9**	**65.4**	**4.8**	**1,721.1**
Max	**34.0**	**32.5**	**62.0**	**227.7**	**429.5**	**419.3**	**406.7**	**528.6**	**839.9**	**1046.4**	**207.9**	**21.2**	**3,054.1**
Min	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**50.7**	**33.2**	**11.9**	**29.0**	**80.2**	**104.0**	**0.0**	**0.0**	**919.1**

Fuente: INETER

Cuadro 4: Precipitación media mensual de la estación meteorológica de Los Loros, León

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES
DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA
RESUMEN METEOROLÓGICO ANUAL

Estación:	LOS LOROS / LEON	Código:	60032
Departamento:	LEON	Municipio:	EL SAUCE
Latitud:	12°57'20"	Longitud:	86°35'00"
Años:	2001 - 2018	Elevación:	170 msnm
Parámetro:	Precipitación (mm)	Tipo:	PV

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Suma
2001	0	0	15.3	0	300.9	37	104.8	111.8	436.2	213.4	104.2	0	1,323.6
2002	0	0	0	0	277.6	372.1	63.5	39.6	387.6	267.1	10	0	1,417.5
2003	0	0	0	49.8	160.8	540.4	49	107.1	358.2	231.4	31.7	0	1,528.4
2004	0.0	20.0	0	27.7	129.4	120.3	100.6	95.5	498.1	406.7	22.8	0	1,421.1
2005	0.0	0	38.5	17.7	347.9	427	329.5	337	239.8	702.4	8.7	0	2,448.5
2006	0.0	0.0	0.0	51.3	425.5	294.2	93.3	188.5	305.2	291.2	93.7	22.2	1,765.1
2007	0.0	0.0	0.0	56.9	409.2	153.1	138.8	700.5	528.4	550.5	66.6	0	2,604.0
2008	0	0.0	0	31.4	297.2	123.5	316.5	331.5	594.2	491.7	0	0	2,186.0
2009	0.0	0	0.0	0	357.8	334.9	127.6	76.7	130.2	52.7	71.9	0	1,151.8
2010	0	0	0.0	237.6	499.2	348.6	380.6	490	695.7	416.6	88.3	0	3,156.6
2011	0.0	0.0	0.0	47.2	335.1	331.5	440.7	415.1	492.8	826.2	77.4	0.0	2,966.0
2012	0.0	0.0	0.0	182.4	541.4	301.7	32.0	453.3	263.7	369.4	0.0	0.0	2,143.9
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	142.7	126.8	201.5	204.2	406.8	503.7	87.9	0.0	1,673.6
2014	0.0	0.0	0.0	21.2	84.1	145.8	26.4	181.7	439.2	343.0	0.0	0.0	1,241.4
2015	1.4	1.6	5.2	24.1	70.2	224.7	49.1	24.0	220.3	205.9	140.3	29.7	996.6
2016	1.5	1.7	3.7	32.4	178.4	181.1	71.2	193.2	209.1	342.1	142.3	26.3	1,382.9
2017	1.9	1.7	4.9	30.6	327.6	229.4	165.0	147.3	286.8	403.5	64.9	18.6	1,682.2
2018	1.5	1.7	2.3	82.5	322.8	197.1	14.3	79.4	198.7	467.6	33.3	10.3	1,411.6
Suma	**6.3**	**26.7**	**69.9**	**892.8**	**5207.9**	**4489.2**	**2704.4**	**4176.4**	**6691.0**	**7085.1**	**1044.0**	**107.0**	**32500.7**
Media	**0.3**	**1.5**	**3.9**	**49.6**	**289.3**	**249.4**	**150.2**	**232.0**	**371.7**	**393.6**	**58.0**	**5.9**	**1805.6**
Max	**1.9**	**20.0**	**38.5**	**237.6**	**541.4**	**540.4**	**440.7**	**700.5**	**695.7**	**826.2**	**142.3**	**29.7**	**3156.6**
Min	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**70.2**	**37.0**	**14.3**	**24.0**	**130.2**	**52.7**	**0.0**	**0.0**	**996.6**

Fuente: INETER

Cuadro 5: Precipitación media mensual de la estación meteorológica de la Montaña

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES
DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA
RESUMEN METEOROLÓGICO ANUAL

Estación:	LA MONTAÑA /	Código:	690113
Departamento:	LEON	Municipio:	SANTA ROSA DEL PEÑON
Latitud:	12°53'30"	Longitud:	86°25'24"
Años:	2001 - 2018	Elevación:	680 msnm
Parámetro:	Precipitación (mm)	Tipo:	PV

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos.	Sept.	Octub.	Nov.	Dic.	Suma
2001	0	0	10.8	0	204.7	11.2	13.3	110.6	434.1	178.6	100.7	0	1,064.0
2002	0	0	0	0	503.7	399.8	10.5	46.1	423.5	340.2	21.5	0.2	1,745.5
2003	0	0	20.6	11.8	102.9	36.5	106.2	30.6	643.7	636.6	201.4	5.4	1,795.7
2004	0.0	0.0	0	26.9	172.2	169.6	69	76.8	717.2	404.5	126.3	3.2	1,765.7
2005	0.0	1	1.2	94.5	105.5	434.5	241.7	238.3	181.3	718.2	16	0	2,032.2
2006	1.0	0.0	0.0	30.7	186.5	286.6	150.6	173	223.3	635.7	86.5	13	1,786.9
2007	0.2	0.0	0.0	40.6	51.8	309.9	156.8	452.4	688.6	1110	110.1	10.7	2,931.1
2008	1.5	0.0	0	73.5	255.1	358.1	79.9	115.7	328.8	809.1	103.2	26	2,150.9
2009	0.5	0	0.0	0	354.2	333.3	46.2	111.6	33.3	68.9	60.1	110	1,118.1
2010	0	0	0.0	66.7	255.4	389.2	455.2	1360	895	133.1	0	1.5	3,555.9
2011	0.0	0.0	10.7	21.7	145.9	223.2	295.3	199.3	254.0	364.8	64.9	1.0	1,580.8
2012	1.4	0.0	0.0	80.3	212.8	218.9	75.0	139.0	145.3	194.0	11.4	10.3	1,088.4
2013	11.0	0.0	0.0	1.0	102.6	108.6	373.5	132.1	302.2	49.5	89.4	2.0	1,171.9
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	22.2	10.7	1.0	86.8	194.9	401.9	46.5	0.1	764.1
2015	2.4	0.0	0.0	0.0	20.4	144.9	31.6	27.7	102.2	239.0	85.3	0.0	653.5
2016	0.3	0.0	0.0	59.8	85.4	72.5	43.9	103.7	90.8	182.0	145.9	94.6	878.9
2017	2.9	3.2	6.4	33.2	329.9	218.2	125.5	157.1	300.3	523.8	91.7	12.3	1,804.5
2018	2.1	2.9	4.9	62.2	384.4	199.7	13.2	69.0	226.5	626.9	37.9	6.6	1,636.3
Suma	**23.3**	**7.1**	**54.6**	**602.9**	**3495.6**	**3925.4**	**2288.4**	**3629.6**	**6184.9**	**7616.8**	**1398.8**	**296.9**	**29524.3**
Media	**1.3**	**0.4**	**3.0**	**33.5**	**194.2**	**218.1**	**127.1**	**201.6**	**343.6**	**423.2**	**77.7**	**16.5**	**1640.2**
Max	**11.0**	**3.2**	**20.6**	**94.5**	**503.7**	**434.5**	**455.2**	**1359.8**	**895.0**	**1110.0**	**201.4**	**110.0**	**3555.9**
Min	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**20.4**	**10.7**	**1.0**	**27.7**	**33.3**	**49.5**	**0.0**	**0.0**	**653.5**

Fuente: INETER

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

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES
DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA

RESUMEN METEOROLÓGICO ANUAL

Estación:	LEON (AEROP.GODOY)	Código:	64043
Departamento:	LEON	Municipio:	LEON
Latitud:	12°25'36"	Longitud:	86°54'48"
Años:	2001 - 2018	Elevación:	60 msnm
Parámetro:	Precipitación (mm)	Tipo:	HMP

Año	Ene	Feb	Mar	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic	Suma
2001	0.0	0.0	3.5	0.0	343.2	25.0	56.5	99.3	337.6	193.7	93.7	0.9	1,153.4
2002	0.0	0.0	0.0	0.6	454.3	253.8	18.3	104.6	359.5	130.9	52.8	0.0	1,374.8
2003	0.0	0.0	20.1	0.1	135.8	260.9	92.6	170.1	294.2	389.7	132.6	0.2	1,496.3
2004	0.0	4.6	0.0	3.1	105.5	69.3	139.9	167.3	291.3	178.6	39.5	0.0	999.1
2005	0.0	0.0	80.0	41.3	120.1	196.9	123.4	196.6	535.6	796.9	81.2	0.0	2,172.0
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	135.7	401.2	142.5	128.5	188.8	434.7	82.8	12.5	1,526.7
2007	0.0	2.7	3.0	6.9	463.6	185.7	154.9	453.6	357.2	697.9	108.4	11.5	2,445.4
2008	4.6	1.4	0.1	24.4	305.2	189.2	94.1	333.6	550.1	640.9	18.4	0.0	2,162.0
2009	0.1	0.0	1.2	0.0	145.0	201.1	76.7	99.3	241.1	241.5	166.5	59.3	1,231.8
2010	0.0	11.5	0.1	191.7	660.2	224.4	559.4	339.8	630.8	117.1	136.5	0.0	2,871.5
2011	0.0	0.0	0.0	12.0	142.8	250.9	162.4	193.0	320.1	544.2	15.3	0.4	1,641.1
2012	0.0	0.0	0.0	174.2	100.8	251.8	12.0	310.5	102.5	161.9	19.3	0.2	1,133.2
2013	0.3	0.0	0.0	1.6	123.8	132.6	116.0	226.9	449.7	32.3	120.1	0.2	1,203.5
2014	1.6	1.5	0.0	3.9	141.1	88.5	10.3	211.6	431.5	417.7	46.5	0.0	1,354.2
2015	0.6	0.0	0.0	0.3	17.0	238.9	39.8	61.6	100.7	260.2	157.0	0.0	876.1
2016	0.0	0.6	0.0	34.2	218.3	125.5	75.8	187.6	164.2	358.5	119.6	4.6	1,288.9
2017	8.7	0.0	0.0	23.7	220.5	287.6	106.5	158.8	225.3	548.8	51.2	2.5	1,633.6
2018	0.0	0.0	0.0	3.2	311.3	137.1	30.6	27.3	277.7	633.3	58.8	0.2	1,479.5
Suma	**15.9**	**22.3**	**108.0**	**521.2**	**4144.2**	**3520.4**	**2011.7**	**3470.0**	**5857.9**	**6778.8**	**1500.2**	**92.5**	**28043.1**
Media	**0.9**	**1.2**	**6.0**	**29.0**	**230.2**	**195.6**	**111.8**	**192.8**	**325.4**	**376.6**	**83.3**	**5.1**	**1558.0**
Max	**8.7**	**11.5**	**80.0**	**191.7**	**660.2**	**401.2**	**559.4**	**453.6**	**630.8**	**796.9**	**166.5**	**59.3**	**2871.5**
Min	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**0.0**	**17.0**	**25.0**	**10.3**	**27.3**	**100.7**	**32.3**	**15.3**	**0.0**	**876.1**

Cuadro 7: Humedad relativa media mensual de la estación meteorológica de León

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES
DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA

RESUMEN METEOROLÓGICO ANUAL

Estación:	LEON (AEROP.GODOY)	Código:	64043
Departamento:	LEON	Municipio:	LEON
Latitud:	12°25'36"	Longitud:	86°54'48"
Años:	2001-2018	Elevación:	61 msnm
Parámetro:	Humedad Relativa Media (%)	Tipo:	HMP

Año	Ene	Feb	Mar	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Agost	Oct	Nov	Dic	Media
2001	70	59	64	53	71	72	72	74	81	84	81	76	71
2002	61	58	53	51	64	81	78	75	87	85	80	73	71
2003	62	62	65	68	75	87	79	79	85	89	86	71	76
2004	66	61	53	64	70	74	78	82	87	86	82	71	73
2005	63	64	73	72	78	87	82	82	86	92	84	80	79
2006	72	67	63	68	76	80	77	80	83	85	86	80	76
2007	73	73	73	81	88	87	84	89	91	93	86	83	83
2008	80	80	78	80	87	87	88	90	92	91	87	82	85
2009	80	75	79	77	86	91	84	85	87	89	86	81	83
2010	79	79	78	82	86	91	92	92	93	90	89	83	86
2011	78	75	79	85	87	90	90	89	91	93	87	82	86
2012	78	73	63	81	87	87	81	88	89	92	85	80	82
2013	75	73	71	77	82	87	85	87	92	90	89	83	83
2014	78	71	73	74	82	83	75	83	89	91	89	83	81
2015	77	76	72	74	75	82	78	75	83	87	87	80	79
2016	76	69	76	79	86	90	85	86	90	93	92	89	84
2017	83	83	81	81	88	87	81	84	88	89	83	71	83
2018	68	65	70	80	90	90	73	72	82	86	77	71	77
Suma	**1319**	**1263**	**1264**	**1327**	**1458**	**1533**	**1462**	**1493**	**1576**	**1604**	**1536**	**1419**	**1438**
Media	**73**	**70**	**70**	**74**	**81**	**85**	**81**	**83**	**88**	**89**	**85**	**79**	**80**
Max	**83**	**83**	**81**	**85**	**90**	**91**	**92**	**92**	**93**	**93**	**92**	**89**	**86**
Min	**61**	**58**	**53**	**51**	**64**	**72**	**72**	**72**	**81**	**84**	**77**	**71**	**71**

Fuente: INETER

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

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES

DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA

Estación:	LEON (AEROP.GODOY) /	Código:	64043
Departamento:	LEON	Municipio:	LEON
Latitud:	12°25'36"	Longitud:	86°54'48"
Años:	2001-2018	Elevación:	60 msnm
Parámetro:	Temperatura Media (ºC)	Tipo:	HMP

Año	Ene	Feb	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic	Media
2001	26.5	28.0	27.8	30.2	28.1	27.8	27.6	28.0	26.2	26.5	25.9	26.7	27.4
2002	27.6	28.4	29.4	30.2	29.2	27.2	27.6	28.6	26.8	26.7	26.6	27.2	28.0
2003	27.7	28.6	28.8	29.2	29.2	26.8	27.4	27.6	27.2	26.6	26.5	26.4	27.7
2004	27.0	28.0	29.8	29.2	28.9	28.4	27.5	27.3	26.6	26.7	26.2	26.8	27.7
2005	27.4	28.0	28.7	29.1	28.3	27.3	27.5	27.7	26.5	25.5	26.4	26.6	27.4
2006	27.0	27.7	28.7	29.0	28.5	26.9	27.9	27.5	26.9	26.8	25.9	26.9	27.5
2007	27.8	27.9	29.4	29.0	27.8	27.2	27.2	26.1	26.2	25.5	26.2	25.9	27.2
2008	26.5	27.2	28.3	28.8	27.6	27.3	27.0	26.8	26.3	25.5	25.7	26.3	26.9
2009	26.9	27.6	27.8	29.3	28.4	26.9	27.7	28.0	27.7	26.9	26.6	27.2	27.6
2010	27.2	28.4	28.7	29.6	28.2	26.9	26.5	26.6	26.0	26.6	25.3	24.8	27.1
2011	26.8	28.2	27.9	28.5	28.4	26.8	26.5	27.1	26.4	25.4	26.1	26.2	27.0
2012	27.1	27.9	28.9	27.8	27.3	27.2	28.0	27.3	26.9	26.2	26.6	27.1	27.4
2013	28.1	28.6	29.1	30.0	28.6	27.7	27.7	27.4	26.3	26.7	26.5	26.6	27.8
2014	27.0	28.1	29.4	30.4	29.5	28.6	30.1	28.3	26.8	26.4	26.6	26.6	28.2
2015	27.7	28.0	29.4	30.5	30.6	28.9	29.0	29.8	28.2	27.4	27.2	28.3	28.8
2016	28.0	29.4	30.0	30.0	28.7	27.4	28.3	28.4	27.2	26.6	26.2	26.3	28.0
2017	26.7	27.5	29.0	29.6	28.0	27.3	27.7	27.3	27.1	26.5	26.5	26.6	27.5
2018	27.1	27.9	30.3	31.4	31.0	28.9	28.6	28.5	27.2	26.0	27.2	27.0	28.4
Suma	**490.1**	**505.4**	**521.4**	**531.8**	**516.4**	**495.5**	**499.8**	**498.3**	**482.4**	**474.5**	**474.2**	**479.6**	**497.4**
Media	**27.2**	**28.1**	**29.0**	**29.5**	**28.7**	**27.5**	**27.8**	**27.7**	**26.8**	**26.4**	**26.3**	**26.6**	**27.6**
Max	**28.1**	**29.4**	**30.3**	**31.4**	**31.0**	**28.9**	**30.1**	**29.8**	**28.2**	**27.4**	**27.2**	**28.3**	**28.8**
Min	**26.5**	**27.2**	**27.8**	**27.8**	**27.3**	**26.8**	**26.5**	**26.1**	**26.0**	**25.4**	**25.3**	**24.8**	**26.9**

Fuente: INETER

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

SECRETARIA ACADEMICA

HOJA DE MATRICULA

AÑO ACADEMICO 2022

RECIBO NO: 14759-D

NOMBRE Y APELLIDOS: RENE MARTIN RODRIGUEZ PEREZ

CARRERA: INGENIERIA CIVIL **CARNET** 2013-44305 **TURNO:** DIURNO

PLAN DE ESTUDIO: 97 **SEMESTRE:** I SEMESTRE 2022 **FECHA:** 05-04-2022

No.	ASIGNATURA	GRUPO	AULA	CRED.	F	R
----------ULTIMA LINEA----------						

F: Frecuencia de Inscripciones de Asignatura R: Retiro de Asignatura

FIAGUILAR

GRABADOR FIRMA DEL ESTUDIANTE FIRMA Y SELLO DEL FUNCIONARIO

cc: ORIGINAL: ESTUDIANTE - COPIA: EXPEDIENTE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
SECRETARIA ACADEMICA

HOJA DE MATRICULA
AÑO ACADEMICO 2022

RECIBO NO: 14761-D

NOMBRE Y APELLIDOS: JURGEN JOSE GUTIERREZ BLANDON

CARRERA: INGENIERIA CIVIL | CARNET 2013-44197 | TURNO: DIURNO

PLAN DE ESTUDIO: 97 | SEMESTRE: I SEMESTRE 2022 | FECHA: 05-04-2022

No.	ASIGNATURA	GRUPO	AULA	CRED.	F	R
	ULTIMA LINEA					

F: Frecuencia de Inscripciones de Asignatura R: Retiro de Asignatura.

FIAGUILAR
GRABADOR

FIRMA DEL ESTUDIANTE

FIRMA Y SELLO DEL FUNCIONARIO

cc: ORIGINAL: ESTUDIANTE - COPIA: EXPEDIENTE

Escaneado con CamScanner

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

SECRETARIA ACADEMICA

HOJA DE MATRICULA

AÑO ACADEMICO 2022

RECIBO NO: 14760-D

NOMBRE Y APELLIDOS: JOSE NAZARIO MIRANDA OBANDO

CARRERA: INGENIERIA CIVIL | CARNET 2013-44278 | TURNO: DIURNO

PLAN DE ESTUDIO: 97 | SEMESTRE: I SEMESTRE 2022 | FECHA: 05-04-2022

No.	ASIGNATURA	GRUPO	AULA	CRED.	F	R
	----------ULTIMA LINEA----------					

F: Frecuencia de Inscripciones de Asignatura R: Retiro de Asignatura

FIAGUILAR

GRABADOR

FIRMA DEL ESTUDIANTE

FIRMA Y SELLO DEL FUNCIONARIO

cc: ORIGINAL: ESTUDIANTE - COPIA: EXPEDIENTE

Escaneado con CamScanner

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
SECRETARIA

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8:CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION** hace constar que:

RODRIGUEZ PEREZ RENE MARTIN

Carné: **2013-44305** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **97** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERIA CIVIL**, y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los cinco días del mes de abril del año dos mil veinte y dos.

Atentamente,

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Construcción
REPÚBLICA DE NICARAGUA - AMÉRICA CENTRAL
SECRETARÍA ACADÉMICA
Managua, Nicaragua

Dr. Francisco Efraín Chamorro Blandón
Secretario de Facultad

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 05-abr.-2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
SECRETARIA

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8:CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION** hace constar que:

GUTIERREZ BLANDON JURGEN JOSE

Carné: **2013-44197** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **97** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERIA CIVIL**, y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los cinco días del mes de abril del año dos mil veinte y dos.

Atentamente,

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Construcción
SECRETARÍA ACADÉMICA
Managua, Nicaragua

Dr. Francisco Efraín Chamorro Blandón
Secretario de Facultad

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 05-abr.-2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN
SECRETARIA

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8:CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION** hace constar que:

MIRANDA OBANDO JOSE NAZARIO

Carné: **2013-44278** Turno: **Diurno** Plan de Asignatura: **97** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, ha aprobado todas las asignaturas correspondientes a la carrera de **INGENIERIA CIVIL**, y solo tiene pendiente la realización de una de las formas de culminación de estudio.

Se extiende la presente **CARTA DE FINALIZADO PLAN DE ASIGNATURA**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los cinco días del mes de abril del año dos mil veinte y dos.

Atentamente

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Construcción
SECRETARÍA ACADÉMICA
Managua, Nicaragua

Dr. Francisco Efraín Chamorro Blandón
Secretario de Facultad

MPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 05-abr.-2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGÌA DE LA CONSTRUCCIÒN
SOLVENCIA ECONOMICA

Fecha: 30 de Abril 2021

Nombre del Estudiante: Rene Martin Rodriguez Perez

Numero de Carnet: 2013-44305

Carrera: Ingenieria Civil

Taller Monografico: Servicio Monografico UNI-IES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Construcción
DELEGADO ADMINISTRATIVO
MANAGUA, NICARAGUA

Firma y Sello
Ing. Lesther Lara Corea
Delegado Administrativo FTC

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGÌA DE LA CONSTRUCCIÒN
SOLVENCIA ECONOMICA

Fecha: 30 de Abril 2021

Nombre del Estudiante: Jurgen Jose Gutierrez Blandon

Numero de Carnet: 2013-44197

Carrera: Ingenieria Civil

Taller Monografico: Servicio [illegible] anco UNI

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción
DELEGADO ADMINISTRATIVO
MANAGUA, NICARAGUA

Firma y Sello
Ing. Lesther Lara Corea
Delegado Administrativo FTC

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÌA
FACULTAD DE TECNOLOGÌA DE LA CONSTRUCCIÒN
SOLVENCIA ECONOMICA

Fecha: 30 de Abril 2021

Nombre del Estudiante: Jose Nazario Miranda Obando

Numero de Carnet: 2013-44278

Carrera: Ingenieria Civil

Taller Monografico: Servicio Monografico

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Construcción
DELEGADO ADMINISTRATIVO
MANAGUA, NICARAGUA

Firma y Sello
Ing. Lesther Lara Corea
Delegado Administrativo FTC

Escaneado con CamScanner