



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

BALANCE HIDROLOGICO DE LA CUENCA DEL RÍO COMPASAGUA

Para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado por

Br. Maykel Josué Vega Rosales

Br. Ofilio Ernesto Delgadillo Barrantes

Br. Marlon Yuriel Ruiz Urrutia

Tutor

Ing. Byron Silva

Managua, Marzo 2018

CONTENIDO

1.1. INTRODUCCIÓN.....	- 1 -
1.2. ANTECEDENTES	- 3 -
1.3. JUSTIFICACIÓN	- 4 -
1.4. OBJETIVOS	- 5 -
1.4.1. Objetivo general.....	- 5 -
1.4.2. Objetivos específicos.....	- 5 -
1.5. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	- 6 -
1.5.1. Micro localización	- 6 -
1.5.2. Macro localización	- 7 -
2.1. POBLACIÓN Y SERVICIOS	- 8 -
2.1.1. Población	- 8 -
2.1.2. Educación	- 8 -
2.1.3. Salud.....	- 9 -
2.1.4. Energía eléctrica	- 9 -
2.1.5. Telecomunicaciones.....	- 9 -
2.1.6. Agua potable y alcantarillado Sanitario	- 9 -
2.2. RECURSOS NATURALES	- 10 -
2.2.1. Tipos de suelo	- 10 -
2.2.2. Topografía del Municipio	- 11 -
2.2.3. Clima del Municipio	- 11 -
2.2.4. Recursos Hídricos del Municipio.....	- 11 -
2.2.5. Flora y fauna del Municipio	- 12 -
2.2.6. Recursos Geológicos existentes	- 13 -
3.1. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE KÖPPEN.....	- 14 -
3.2. FISIOGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA DE LA UNIDAD DE CUENCA....	- 17 -
3.2.1. Área de la subcuenca.....	- 19 -
3.2.2 Coeficiente de Compacidad (Kc)	- 24 -
3.2.3 Rectángulo equivalente.....	- 25 -
3.2.4. Factor de Forma	- 25 -
3.2.5 Relieve.....	- 26 -
3.2.6. Elevaciones	- 26 -

3.2.7. Índice de Compacidad (Índice de Gravelius).....	- 27 -
3.2.8. Pendiente media.....	- 27 -
3.2.9. Curva hipsométrica	- 28 -
3.2.10. Polígonos de Frecuencia Altitudes.....	- 29 -
3.2.11. Red de Drenaje	- 29 -
3.2.12. Densidad de Drenaje	- 30 -
3.2.13. Longitud del cauce Principal.....	- 31 -
3.2.14. Numero de escurrimiento	- 32 -
3.2.15. Pendiente media del rio principal	- 33 -
3.2.16. Tiempo de concentración	- 34 -
3.3 BALANCE HÍDRICO	- 35 -
3.3.1. Objetivos e importancia de los estudios del Balance Hídrico	- 35 -
3.3.2. El ciclo hidrológico y la ecuación de balance hídrico.....	- 36 -
3.3.3. Parámetros que intervienen en el Balance Hídrico	- 40 -
4.1. RECOPIACION DE INFORMACION.....	- 46 -
4.2 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA ZONA DE ESTUDIO	- 46 -
4.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS HIDROGRÁFICOS Y MORFOLÓGICOS DE LA SUBCUENCA.	- 47 -
4.4. BALANCE HÍDRICO	- 48 -
5.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA SUBCUENCA.....	- 51 -
5.1.1 Precipitación.....	- 51 -
5.1.2 Temperatura Media Anual	- 55 -
5.1.3 Humedad Relativa	- 57 -
5.1.4. Clasificación de Köppen	- 59 -
5.2 CARACTERIZACIÓN HIDROGRÁFICA Y MORFOLÓGICA DE LA UNIDAD DE CUENCA	- 60 -
5.2.1 Área y perímetro de la cuenca.....	- 60 -
5.2.2 Longitud del cauce principal y de los ríos de la cuenca.....	- 61 -
5.2.3 Coeficiente de compacidad (Indice de Gravelius)	- 62 -
5.2.4 Rectángulo equivalente.....	- 63 -
5.2.5 Factor de forma	- 64 -
5.2.6 Relieve	- 65 -
5.2.7 Altitud media de la cuenca.	- 66 -

5.2.8 Índice de pendiente	- 68 -
5.2.9 Curva hipsométrica	- 70 -
5.2.10 Polígonos de frecuencia de altitudes	- 71 -
5.2.11 Densidad de drenaje.....	- 72 -
5.2.12 Numero de escurrimiento	- 73 -
1.2.13 Pendiente media del rio principal	- 73 -
5.2.14 Tiempo de concentración	- 74 -
5.3. BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LA UNIDAD DE CUENCA	- 75 -
5.3.1 La precipitación.....	- 77 -
5.3.2 Evapotranspiración Potencial	- 78 -
5.3.3 Evapotranspiración Real.....	- 81 -
6.1 CONCLUSIONES.....	- 86 -
6.2 RECOMENDACIONES	- 88 -
Bibliografía.....	- 89 -

1.1. INTRODUCCIÓN

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

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

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

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

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

1.2. ANTECEDENTES

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

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

1.3. JUSTIFICACIÓN

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

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

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

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

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Realizar el Balance hidrológico de la unidad de cuenca del Río Compasagua, 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 climáticos de la zona de estudio.
- ✓ Caracterizar los parámetros hidrográficos y morfológicos de la unidad de cuenca.
- ✓ Calcular el Balance Hídrico superficial de la subcuenca del Río Compasagua.

1.5. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.5.1. Micro localización

El municipio de Muy Muy está situado en el sector sur del departamento de Matagalpa. Limita: al norte, con los municipios de San Ramón y Matiguás; al sur, el municipio de Boaco (Dpto. de Boaco); al este, el municipio de Matiguás y al oeste, los municipios de Esquipulas y Matagalpa. Su superficie es de 375 km² y su altitud promedio es de 337.6msnm.

Administrativamente, la unidad de cuenca del río Compasagua se localiza en la región Central del país, correspondiendo su ubicación política administrativa al departamento de Matagalpa, encontrándose entre las coordenadas Latitud 12°42'18.4" y 12°48'33.8" Norte y Longitud desde 85°28'43.1" a 85°41' 22.7" Oeste. En la figura No. 1.1 se presenta la macro localización de esta unidad de cuenca.

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

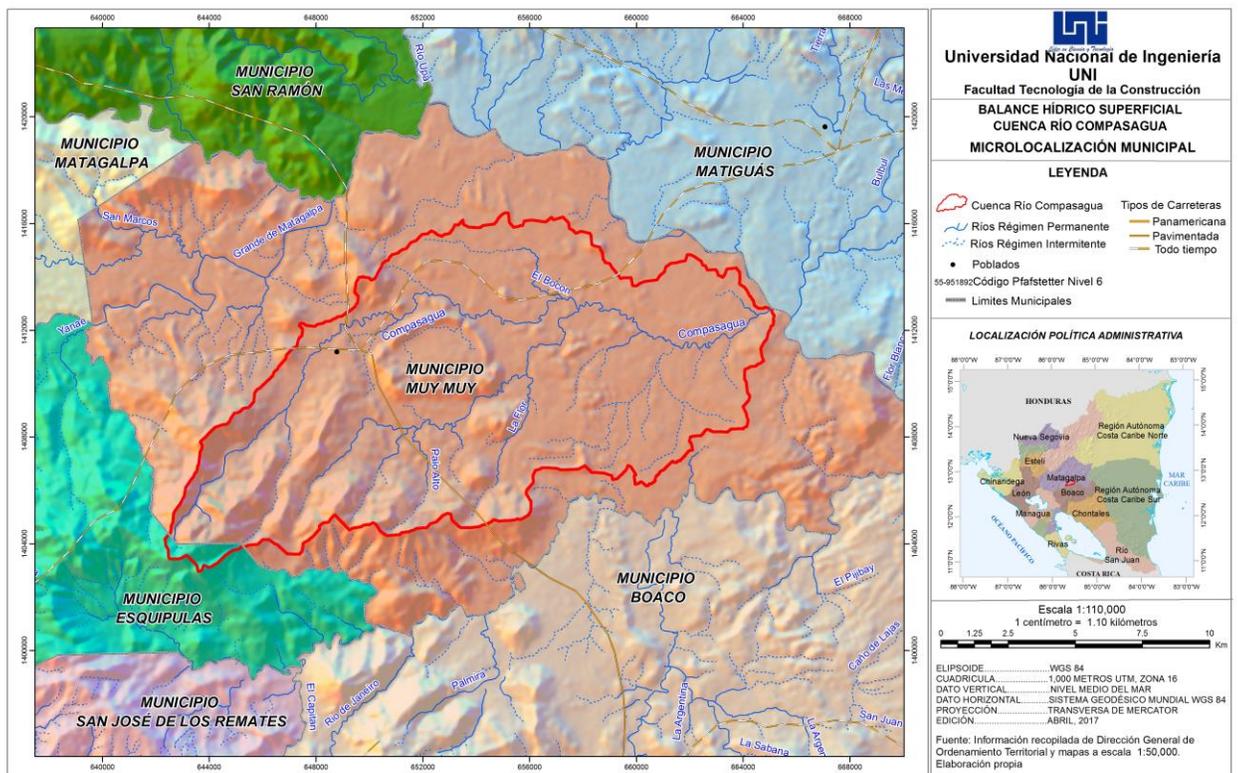


Fuente: Información estadística de INETER y elaboración propia de la figura

1.5.2. Macro localización

La unidad de cuenca del río Compasagua está localizada principalmente en el municipio de Muy Muy, perteneciendo a éste con un área de 173.0 Km² representando el 99.0 % de la superficie de la misma. En la figura No. 1.2 se refleja la macro localización de la misma.

Figura No. 1.2: Macro localización de la unidad de cuenca de Compasagua



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

2.1. POBLACIÓN Y SERVICIOS

2.1.1. Población

La población actual es de 16,368 y está dividida de la siguiente forma en la zona Urbana se cuenta actualmente con 4,908 habitantes lo que representa un 30% de la población y la Población rural es de 11,460 Habitantes ocupando el 70% de la Población Total.

A nivel municipal, de toda la PEA predominan los trabajadores por cuenta propia con el 40% y que fundamentalmente son del sector informal, continua en orden de importancia los trabajadores temporales con el 29%, mientras que un 15.5% son asalariados. La tasa de desempleo en el Municipio corresponde al 12% de la población.

2.1.2. Educación

En el Municipio existen 56 Centros Escolares, incluyendo 2 privados, funcionan 62 Preescolares rurales y 4 en el casco urbano; del total de centros escolares 52 funcionan como escuelas de Primarias en la zona rural y 2 en el casco urbano en primaria y secundaria respectivamente; en la cabecera Municipal Funcionan 2 Instituto de Secundaria Completa uno privado y uno público, este último fundado en el año 1979, atendiendo 5 modalidades: Matutino, Vespertino, Nocturno, Sabatino y Dominical, con una población estudiantil de 1,202 alumnos. Existe un Instituto que funciona como secundaria dentro del Programa "Sandino II" y un Instituto Técnico Agropecuario que funciona también en la modalidad sabatino, tanto en sus carreras agropecuarias como cursos de inglés. Debido a la demanda de población estudiantil y calidad de la educación y por su ubicación geográfica (centro de Nicaragua) de este centro egresan Técnicos Básicos y Técnicos Medio. Centro de enseñanza cuenta con una infraestructura adecuada, además posee: Granja Porcina, Granja Avícola, Ganado Mayor y Menor, Laboratorio, entre otras condiciones.

2.1.3. Salud

Para la atención a la Salud el Municipio cuenta con un Centro de Salud que da cobertura Municipal, ubicado en la zona urbana; este se encuentra en buen estado físico, a través del personal del Centro de Salud se prestan los Servicios de labor y parto, curaciones, exámenes de laboratorio, campaña de vacunación, abatización, capacitación a la red comunitaria, seguimiento y monitoreo a las principales causas de morbilidad y mortalidad, capacitación al personal de salud, sensibilización a la población sobre la conservación del medio ambiente higiénico sanitario y su importancia.

2.1.4. Energía eléctrica

El Municipio está integrado a la red Nacional de energía eléctrica, siendo atendido por la fuente de interconexión de la sub estación eléctrica de Matiguás, ubicada en el empalme de la carretera el Jobo Matiguás. En la cabecera Municipal de Muy Muy existe una oficina de cobro, del servicio de energía eléctrica.

2.1.5. Telecomunicaciones

Existen dos empresas ENITEL y MOVISTAR, las cuales tienen cobertura en la mayor parte del territorio. También se prestan los servicios de internet, telefonía Móvil y Convencional; siendo la telefonía convencional el servicio prestado por parte de Enitel Claro. Además esta empresa presta el servicio de Televisión por cable.

2.1.6. Agua potable y alcantarillado Sanitario

En la cabecera Municipal no existe un Sistema de alcantarillado Sanitario, existiendo únicamente sistemas de tuberías individuales que vierten las aguas residuales al río Compasagua sin ningún tratamiento; además se utilizan letrinas tradicionales en un 90% de la población urbana.

ENACAL de Muy Muy, cuenta con una planta operadora, la cual procesa el agua de consumo humano, mide la presión, clora, purifica y desde ahí distribuye el vital líquido a la población, esta planta es controlada por tres operadores y un vigilante de línea de conducción.

2.2. RECURSOS NATURALES

2.2.1. Tipos de suelo

En su mayoría los suelos del municipio son de moderadamente profundos a profundos entre 60 y 100 cm; la textura del suelo es de media a fina y franco arcilloso en el subsuelo; su drenaje es moderadamente erosionado y se ha desarrollado a partir de tobas estratificadas sedimentarias, con escurrimientos moderadamente lento a rápido.

De acuerdo a la confrontación de usos del suelo realizado por el MAGFOR, los suelos tienen potencial mayormente forestal y pecuario. Se han identificado tres categorías en su uso actual:

1. Uso Adecuado: Este cubre el 22% del territorio del municipio. Aquí se ubican bosques cerrados, pastos y árboles, cultivos anuales, bosques bajos abiertos, bosques de galería, vegetación arbustiva, huertos, pasto mejorado, pastos y cultivos temporales, maleza y café con sombra.

2. Uso Subutilizado: Este cubre el 61% del territorio municipal. En esta categoría se ubican malezas, bosque bajo abierto, vegetación arbustiva, café con sombra, pasto y maleza, pastos y árboles y café sin sombra.

3. Uso Sobre utilizado: Este cubre el 16% del territorio municipal. Aquí se ubican pastos y malezas, pastos y cultivos, pasto mejorado, vegetación arbustiva y cultivos anuales.

2.2.2. Topografía del Municipio

El municipio presenta una topografía muy variada con predominio de suelos ondulados con un 55% del territorio, cubriendo un área de 20,399 ha; el 43% corresponden a suelos relativamente planos, equivalentes a un área de 16,265 ha y el 2% son suelos quebrado con una extensión de 874 ha, respectivamente. La zona presenta una característica orográfica y de relieve conformado entre llanuras, mesetas, colinas y montañas, resaltando su escenario paisajístico de una zona de alto potencial productivo.

2.2.3. Clima del Municipio

De acuerdo a la clasificación de Wladimir Peter Köppen, el municipio se caracteriza por tener un clima de sabana tropical sub-húmedo; lo define como clima no árido en el que los doce meses tienen temperaturas medias superiores a los 18 °C.

En este tipo de clima se ven lluvias regulares durante la estación de lluvia, las cuales no superan los 2.000 mm anuales. Esto da la posibilidad de que se creen las sabanas y una variedad de especies de fauna y flora.

2.2.4. Recursos Hídricos del Municipio

Muy Muy se ubica dentro de la Cuenca del Río Grande de Matagalpa y directamente dentro de la Subcuenca del Río Compasagua. El Río Compasagua transita por todo el municipio desde su origen al Suroeste en el cerro Peña Blanca, hasta su desembocadura en el Río Grande de Matagalpa al Este del Municipio.

Entre los ríos de mayor importancia por su caudal se encuentran el Río Grande de Matagalpa, Tapasle, Olama, Yaguaré, Güiligua y El Zapote; además existen diversas quebradas que son afluentes de estos ríos.

Estos se caracterizan por que sus patrones son de drenajes dendríticos, los cuales se desarrollan libremente en todas las direcciones y presentan ramales irregulares de las corrientes tributarias.

2.2.5. Flora y fauna del Municipio

La flora:

Se caracteriza por una diversidad de especies de cobertura vegetal con una flora rala, con áreas despaldadas; sin embargo existen algunas pequeñas montañas de importancia como el cerro La Peña, Cerro Grande, El Zompopo, entre otros.

Una de las principales amenazas para todas las especies es la pérdida de hábitat que atenta contra la conservación de estas. Un ejemplo de ello lo constituyen las poblaciones de especies de valor maderable que han sido diezmadas debido a la sobre explotación y extracción ilícita en áreas de conservación.

A nivel territorial todavía sobreviven algunas especies forestales que están en periodo de extinción, como: El Caoba, Pochote, Cedro real, Cedro Macho, Laurel, Madroño, Coyote, Bálsamo, Níspero, Bálsamo, Nancitón, el Níspero⁵. Entre las especies maderables se encuentran entre otras: el Madero, Carao, Guayabon, Genízaro, Guanacaste, Madero Negro, Guapinol, Capulín, Cortez, Sauce, Guachipilín, Guácimo Ternero y para uso industrial se tiene: el Nancite, Quebracho y La Teca (estableciéndose actualmente unas 80 ha. en la zona de Salónica con un proyecto Agroforestal Privado).

La Fauna:

La Fauna está caracterizada por una diversa población, las que son sometidos a una cacería intensiva y a la deforestación con el avance de la actividad ganadera, por lo que están siendo reducidas sus poblaciones y en muchos casos éstas se encuentran en peligro de extinción por sus requerimientos de hábitats extensos debido a su tamaño, por ejemplo el danto (*Tapirus bairdii*) es una especie que está en peligro de desaparición. Sin embargo aún existen pequeñas poblaciones de especies, tales Como: Venado, Cusuco, Guarda Tinaja, Conejos, Coyotes, Iguanas, Sajino, Garrobos, Lagartos y Peces, Chocoyos, Loras, Paloma de Castilla, Pájaros Carpinteros, Oso hormiguero, Tihules, Garzas y Zanate. Las especies en peligro en extinción son: Tigres, Tigrillos, Coyotes, Lapas, Guardabarranco, Venado, Garrobo y Reptiles tales como Iguanas, Serpientes, Víboras, entre otros.

2.2.6. Recursos Geológicos existentes

La geología del municipio está caracterizada por 6 tipos de formaciones: Coyol inferior, Superior, Formación Tamarindo, Intrusivos Cretácicos, Formación Matagalpa, contenida ésta última en 243 km² lo que representa un 64.78% del territorio. La geología de ésta zona está relacionada a un fuerte e intenso vulcanismo del periodo terciario.

Las Sierras y mesetas volcánicas de las tierras altas del interior (zona montañosa) o región central de las cordilleras, pertenecen a las Rocas del Grupo Matagalpa que corresponden a la actividad volcánica más antigua de la zona de la edad del Oligoceno y Mioceno que básicamente han sido formadas por el origen de las Ígneas básicas acidas.

3.1. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE KÖPPEN

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

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

Las designaciones que utiliza Köppen para definir el régimen de precipitación se cambiaron por otras equivalentes que indican la ubicación de la estación lluviosa, con relación a la estación cálida o la fría; en vez de usar como lo hace Köppen, la época seca con el mismo fin, por ejemplo, para el clima que Köppen denomina “Clima con invierno seco” w por lo menos diez veces mayor la cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año (mayo -octubre) que en el mes más seco; se adoptó la designación de “Clima con lluvias en verano”. No importa que a veces el mes más lluvioso no se haya incluido exactamente en esta estación, pues en el caso que no lo esté, ello puede indicarse usando los símbolos de Köppen:

“w” mes más lluvioso desplazado hacia el otoño

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

Köppen utilizó tres criterios diferentes para delimitar los climas de acuerdo a la temperatura, para tal fin y en algunos casos, usa las temperaturas medias de los meses más fríos y más calientes, en otros, el promedio anual de las temperaturas y por último, un período del año con cierta temperatura, según Köppen, la

temperatura de 18°C para el mes más frío, separa a los climas templados húmedos “C”, de los calientes húmedos “A”.

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

Para designar a los lugares con climas pertenecientes a este grupo, conservando los símbolos originales de Köppen, cuando una estación con las características del subgrupo resulte incluido en el grupo C, se colocará antes de esa letra el símbolo (A) (entre paréntesis), para 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:

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

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

Modificaciones al Grupo de Climas A, tropicales lluvioso

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.2. FISIOGRAFÍA Y GEOMORFOLOGÍA DE LA UNIDAD DE CUENCA

Dada la importancia de la configuración de las cuencas, se trata de cuantificar estas 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 esas de 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 morfométricas. El movimiento del agua en la naturaleza es una función compleja en la cual intervienen diversos factores, entre los cuales se pueden resaltar su clima y sus características fisiográficas

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

3.2.1. Área de la subcuenca

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

Es de mucho interés discutir un poco sobre la determinación de la línea de contorno o de divorcio de la cuenca. Realmente la definición de dicha línea no es clara ni única, pues puede existir dos líneas de divorcio: 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. En la siguiente grafica se muestra un esquema general de la divisoria de aguas superficiales y de aguas subterráneas.

Frecuentemente se desea analizar una cuenca de gran tamaño y muchas veces es necesario dividirla en subcuencas o subsistemas dependiendo de las metas en 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 utilizará 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, cuencas con áreas mayores producen hidrogramas con variaciones en el tiempo más suaves y más llanas. Sin embargo, en cuencas grandes, se pueden dar hidrogramas picudas 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, para el cálculo de las áreas, se puede emplear el planímetro. Sin embargo actualmente se usan más y más los computadores para hallar este parámetro. La divisoria de la cuenca se puede delimitar indicando la longitud y latitud de los puntos a lo largo de ésta, asumiendo que entre ellos la línea que los une es una línea recta. El área será entonces, la encerrada por la serie de segmentos así obtenidos y es calculada por la mayoría de los softwares existentes en el mercado usando los principios de la trigonometría.

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 discutir un poco sobre la determinación de la línea de contorno o de divorcio de la cuenca. Realmente la definición de dicha línea no es clara ni única, pues puede existir dos líneas de divorcio: 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 en 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 utilizará 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, cuencas con áreas mayores producen hidrogramas con variaciones en el tiempo más suaves y más llanas. Sin embargo, en cuencas grandes, se pueden dar hidrogramas picudas cuando la precipitación es intensa y en las cercanías, aguas arriba, de la estación de aforo.

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

En hidrología, para el cálculo de las áreas, se puede emplear el planímetro. Sin embargo actualmente se usan más y más los computadores para hallar este parámetro. La divisoria de la cuenca se puede delimitar indicando la longitud y latitud de los puntos a lo largo de ésta, asumiendo que entre ellos la línea que los une es una línea recta. El área será entonces, la encerrada por la serie de segmentos así obtenidos y es calculada por la mayoría de los softwares existentes en el mercado usando los principios de la trigonometría.

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

El perímetro de la cuenca o la longitud de la línea de contorno de la cuenca es un parámetro importante, pues en conexión con el área nos puede decir algo sobre la forma de la cuenca. El ancho se define como la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L).

El área es el tamaño de la superficie de la cuenca en km². Se obtiene a partir de la digitalización por medio el software Sistema de Información Geográfica Arcgis 10.0, pudiéndose extraer estos parámetros de forma directa de mapas cartográficos.

Se ha comprobado que la relación del área con la longitud de la misma es proporcional y también que está inversamente relacionada a aspectos como la densidad de drenaje y el relieve relativo. Si el área es pequeña, tendrá menor capacidad de captación de aguas y menor volumen.

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

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

De acuerdo a la salida del flujo se clasifica de tipo exorreica, lo que indica que sus aguas son vertidas a otro río o cuerpo superficial para finalmente desembocar al mar u océano. En este caso el río Ochomogo es el río principal que drena sus aguas hacia el Lago Cocibolca de forma permanente y presencia de escurrimiento todo el año, la red de drenaje se caracteriza por ríos de régimen permanente, intermitente y presencia de canales que son utilizados para riego de cultivos anuales como el arroz y otros.

3.2.2 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) indicara la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano sea a la unidad, lo cual quiere decir que entre más bajo sea Kc, mayor será la concentración de agua. En el siguiente cuadro se muestra las clases de compacidad de cuenca según sea el valor de Kc.

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 -	De oval oblonga a rectangular oblonga

3.2.3 Rectángulo equivalente

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

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

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

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

Donde:

LM= Lado mayor del rectángulo en km

Lm = Lado menor del rectángulo en km

Kc = coeficiente de Gravelius

A= superficie de la cuenca en km²

3.2.4. Factor de Forma

El factor de forma relaciona la forma de la cuenca con la de un cuadrado, correspondiendo un 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 río principal corto. En consecuencia, con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente grandes crecidas.

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

3.2.5 Relieve

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

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

3.2.6. Elevaciones

Mediante las elevaciones presentes en la subcuenca, el área entre curvas se puede obtener apoyados con el programa ArcGis On Mapa de la elevación. Así mismo el determinar las áreas entre curvas de niveles permite calcular el

coeficiente de compacidad, la pendiente media de la cuenca, la curva hipsométrica y los polígonos de frecuencia.

3.2.7. Índice de Compacidad (Índice de Gravelius)

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

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

Donde

K_c = Índice de Gravelius

P = Perímetro de la cuenca (km)

A = Área de la cuenca (km²)

3.2.8. Pendiente media

La elevación promedia en una cuenca tiene especial interés en zonas montañosas pues nos 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, H , es la elevación promedia referida al nivel de la estación de aforo de la boca 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 valormedio 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 quedó ubicado y dividiéndola por la distancia horizontal menor entre las dos curvas de nivel, pasando por el punto ya determinado

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

3.2.9. 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 hoya.

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. Normalmente se puede decir que los dos extremos de la curva tienen variaciones abruptas. La función hipsométrica es una forma conveniente y objetiva de describir la relación entre la propiedad altimétrica de la cuenca en un plano y su elevación.

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

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

3.2.10. Polígonos de Frecuencia Altitudes

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

3.2.11. Red de Drenaje

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

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

La red de drenaje del río en estudio está constituida por corrientes efímeras e intermitentes, el total de longitud de toda la red de drenaje es de 133.431 km

3.2.12. Densidad de Drenaje

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 varía inversamente con la extensión de la cuenca. Con el fin de catalogar una cuenca bien o mal drenada, analizando su densidad de drenaje, se puede considerar que valores de Dd próximos a 0.5 km/km^2 o mayores indican la eficiencia de la red de drenaje. Valores altos de densidad de drenaje indican mayor eficiencia de transporte y mayor velocidad de transporte.

La densidad de drenaje se obtiene realizando la siguiente ecuación

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

Donde:

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

At= Área total de la cuenca (km²)

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

El cuadro anterior se orienta la clasificación de la densidad de drenaje según sea el rango.

3.2.13. Longitud del cauce Principal

Longitud de la cuenca es la longitud de una línea recta considerada paralela al cauce principal. La longitud del cauce principal es la distancia entre la desembocadura y el nacimiento. La longitud máxima (Lm) o recorrido principal de la cuenca es la distancia entre el punto de desagüe y el punto más alejado de la cuenca, siguiendo la dirección de drenaje. El recorrido principal, es la máxima distancia recorrida por el flujo de agua dentro de la cuenca.

3.2.14. Numero de escurrimiento

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

Los valores de escurrimiento se han agrupado en la siguiente tabla.

Clases de valores de Escurrimientos	
Rangos de escurrimiento	Clases
0 – 170	Bajo
171 – 340	Medio
341 – 510	Alto

El escurrimiento de la se obtiene con la siguiente ecuación.

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

Donde:

A = Área de drenaje de la cuenca (km²)

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

3.2.15. Pendiente media del río principal

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

Clases de valores de pendiente (%)	
Rangos de Pendiente.	Clases
0.01 – 0.5	Suave
0.06 – 0.11	Moderada
0.12 – 0.17	Fuerte

3.2.16. Tiempo de concentración

El tiempo que demora en viajar una partícula de agua desde el punto más remoto hasta el punto de interés. Corresponde al lapso entre el final de la lluvia y el momento en que cesa el escurrimiento superficial. A mayor tiempo de concentración, mayor es el volumen de agua. También puede indicar un mayor escurrimiento. El cuadro muestra las clases de tiempo de concentración según sea el valor de este último.

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

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

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

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

Donde:

L = Longitud del cauce principal en m

T_c= tiempo de Concentración en minutos.

S= pendiente

3.3 BALANCE HÍDRICO

3.3.1. Objetivos e importancia de los estudios del Balance Hídrico

Las técnicas del balance hídrico, uno de los principales objetivos en hidrología, son un medio para solucionar importantes problemas hidrológicos teóricos y prácticos. A partir de un estudio del balance hídrico es posible hacer una evaluación cuantitativa de los recursos de agua y sus modificaciones por influencia de las actividades del hombre.

El balance hídrico ayuda en la predicción de las consecuencias debidas a cambios artificiales en el régimen de ríos, lagos y cuencas subterráneas. La información que proporciona el balance hídrico de las cuencas de ríos y lagos para cortos períodos de tiempo (estaciones, meses, semanas y días) se utiliza para explotación de embalses y para predicciones hidrológicas.

El conocimiento del balance hídrico es también muy importante para el estudio del ciclo hidrológico. Con los datos del balance hídrico es posible comparar recursos específicos de agua en un sistema, en diferentes períodos de tiempo, y establecer el grado de su influencia en las variaciones del régimen natural.

3.3.2. El ciclo hidrológico y la ecuación de balance hídrico

Todos estos siglos de experiencia y estudio han convergido para formar el concepto de ciclo hidrológico. El concepto es simplemente que el agua cambia de estado y es transportada en un sistema cerrado: la Tierra y su atmósfera. El ciclo es cerrado sólo en toda la Tierra, donde cada gota de agua sigue un camino desde el océano hasta la atmósfera y la tierra (a lo largo de la superficie o flujo subterráneo). La energía para mantener funcionando este sistema es provista por el Sol. Los procesos involucrados son:

- 1.- Evaporación,
- 2.- Condensación
- 3.- Precipitación,
- 4.- Infiltración
- 5.- Escorrentía (o Esguerrimiento).

Usualmente, uno se encuentra ante un problema con condiciones locales y se enfrenta por lo tanto a un sistema abierto. Sin embargo, a menos que uno reconozca el ciclo hidrológico básico, terminará preguntándose cómo hace el agua para 'trepar' a la cima de las montañas.

Después del análisis inicial, utilizado para estimar los componentes del **balance hídrico** y su ajuste en la ecuación, es posible detectar deficiencias en la distribución de estaciones de observación y descubrir errores sistemáticos de medición.

El conocimiento del balance hídrico permite una evaluación indirecta de cualquier componente desconocido dentro del, por diferencia entre los

componentes conocidos; por ejemplo, la evaporación a largo plazo, en una cuenca de un río, puede calcularse por diferencia entre la precipitación y el caudal.

Forma general de la ecuación del balance hídrico en hidrología se basa en la aplicación del principio de conservación de masas, también conocido por nosotros como Ecuación de la Continuidad.

Esta establece que, para cualquier volumen arbitrario y durante cualquier período de tiempo, la diferencia entre las entradas y salidas estará condicionada por la variación del volumen de agua almacenada.

En general, la técnica del balance hídrico implica mediciones de ambos aspectos, almacenamientos y flujos del agua; sin embargo, algunas mediciones se eliminan en función del volumen y período de tiempo utilizados para el cálculo del balance (UNESCO, 1.971).

La ecuación del balance hídrico, para cualquier zona o cuenca natural (tal como la cuenca de un río) o cualquier masa de agua, indica los valores relativos de entrada y salida de flujo y la variación del volumen de agua almacenada en la zona o masa de agua.

En general, las entradas en la ecuación del **balance hídrico** comprenden la precipitación (P), en forma de lluvia o nieve, realmente recibida en la superficie del suelo y las aguas superficiales y subterráneas recibidas dentro de la cuenca o masa de agua desde fuera (Q_{sl} y Q_{uo}).

Las salidas en la ecuación incluyen la evaporación desde la superficie de la masa de agua (E) y la salida de corrientes de agua superficial y subterránea desde la cuenca o masa de agua considerada (Q_{so} y Q_{ou}). Cuando las entradas superan a las salidas el volumen de agua almacenada (AS) aumenta y cuando ocurre lo contrario disminuye.

Todos los componentes del balance hídrico están sujetos a errores de medida o estimación, y la ecuación del balance deberá incluir, por tanto, un término residual o de diferencia (w).

Los componentes principales del balance hídrico: precipitación, caudal, evaporación y almacenamiento de agua en diversas formas. Por tanto, el balance hídrico superficial para cualquier masa de agua y cualquier intervalo de tiempo, en su forma más general, vendrá representado por la siguiente ecuación:

$$P = EPR + I + Qs = \Delta s$$

P: Precipitación

ETR: Evapotranspiración Real

I: Infiltración

Qs: Escorrentía superficial

Δs : Variación del almacenamiento

El balance hídrico tiene como finalidad evaluar y cuantificar la oferta y demanda del recurso hídrico, en el que interviene el ciclo hidrológico. La expresión de la ecuación de balance hídrico se fundamenta en el principio de la conservación de masa, la cual contempla los procesos y elementos que constituyen el sistema; las entradas y las salidas de agua durante un período de tiempo determinado, tomando en cuenta el almacenamiento al inicio y al final del período evaluado.

La fórmula del balance hídrico, está basada en la ecuación de continuidad, la cual se expresa de la siguiente manera:

$$\text{ENTRADAS} - \text{SALIDAS} = \text{CAMBIO DE ALMACENAMIENTO}$$

Estimación de la distribución espacial de la Precipitación (método Isoyetas o método de Thiessen)

Para la estimación de la distribución espacial de la precipitación de una cuenca se seleccionan y toman registro de datos climatológicos de las estaciones que se encuentran dentro o cerca de la cuenca de acuerdo a criterios de la OMM, que establece que la distancia de las estaciones no debe ser mayor a 50 km de una estación a otra.

Se selecciona el registro a período en común, realiza análisis de datos faltantes, homogeneidad, doble masa y relleno de datos faltantes. Se calcula la precipitación media anual por los métodos de Isoyetas o método de los polígonos de Thiessen.

Para la realización del trazado de las isolíneas de precipitación o la triangulación de Thiessen se realiza con apoyo de software como el Surfer, arcgis10.0 u otros.

Los métodos estadísticos señalados para estimar los errores aleatorios se pueden utilizar para todos los componentes del balance hídrico, los cuales se obtienen como medias aritméticas de los valores observados.

Generalmente, la garantía de la media ponderada aumenta con el número de puntos de observación, debido a que los errores aleatorios de diferentes signos se compensan unos con otros, cuando se suman los valores ponderados.

La caracterización hidrológica 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 está y conocer la variación en el espacio de los elementos del régimen hidrológico.

Con el objetivo de mantener la representatividad de la información utilizada en la caracterización climática, se establecieron criterios de localización y simultaneidad de las estaciones, se seleccionaron promedios cuyos años fueran los mismos y que la longitud del registro estuviera determinada por la variabilidad del parámetro.

Considerando este criterio, la recopilación de la información fue realizada a través de los promedios mensuales, y anuales de los parámetros de precipitación, temperatura y humedad relativa con período de quince años de registros (2000 – 2015) para 5 estaciones de diferentes tipos que se encuentran distribuidas dentro y fuera de la cuenca.

3.3.3. Parámetros que intervienen en el Balance Hídrico

Precipitación:

Toda agua que cae de la atmósfera a la superficie de la tierra escurre hacia las corrientes, inmediatamente después que llega al terreno y es la causa de muchas avenidas. La medición de la precipitación se hace con el Pluviómetro (Cantidad de lluvia) y el Pluviógrafo (cantidad, intensidad y duración de la precipitación).

El más importante es el Pluviógrafo por los otros dos parámetros adicionales que registra. Ambos expresan la altura de lámina de agua que cae sobre una superficie plana, en milímetros.

El error en la media puntual de la precipitación es la acción del viento que produce turbulencia que desvía la trayectoria de las gotas de lluvia registrando valores que tienen error por defecto, que es tanto mayor cuanto más fuerte es la velocidad del viento y menor la precipitación de caída de la gota de agua.

A fin de estimar el error en la media puntual de la precipitación se debe tener en cuenta que:

Hay pocos sitios donde la condición de representatividad sea satisfecha.

La medida de una lluvia no se puede repetir si se tiene duda acerca de su precisión.

La muestra tomada en el pluviómetro es precipitación pequeña en relación con el conjunto de las precipitaciones que se pretenden representar.

Con respecto al error en la evaluación espacial, para evaluar la precipitación caída en una zona de la superficie terrestre, es indispensable basarse en las medidas puntuales registradas en los distintos instrumentos que constituyen la red pluviométrica.

La precipitación de la red para una buena evaluación está en función de:

Del origen de las precipitaciones de la zona; si las que se producen son de origen frontal que abarcan grande precipitación de superficie, la red puede ser menos densa respecto a las precipitaciones de origen locales.

Del relieve de la zona, en una zona plana se necesita una red menos densa que en una zona montañosa, debido al efecto orográfico que requiere una red más densa para detectar la precipitación de la precipitación que se producen en ella.

La exactitud de la evaluación de la precipitación depende esencialmente de la densidad de la red y la calidad de los instrumentos, instalaciones y observadores. La densidad y la calidad de los instrumentos dependen básicamente de la zona en estudio y del fin que se persigue.

Para una buena evaluación, la densidad de la red está en función del origen de la precipitación de la zona y del relieve mismo. Los métodos de evaluación son diversos, entre los principales están el de las isoyetas y el Thiessen. Con el método de las isoyetas se obtienen las siguientes ventajas:

Estimación de la variación paulatina de la precipitación en el espacio aún en zonas montañosas.

El Trazado del mapa de evapotranspiración real apoyándose en el de isotermas.

Evaluación de la precipitación caída en una cuenca y compararla con la escorrentía registrada a su salida.

Evapotranspiración:

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

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

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

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

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

Los factores que influyen en la Evaporación son los siguientes:

Radiación Solar

Temperatura

Humedad: menos humedad, más evaporación

Presión Atmosférica: la altitud, la latitud y longitud

Viento: más viento, más evaporación

La evaporación desde un suelo si cobertura depende de:

El poder evaporante de la atmósfera

El tipo de suelo (textura, estructura, etc.)

El grado de humedad del suelo

La transpiración está en función de:

El poder evaporante de la atmósfera

El grado de humedad del suelo

El tipo de planta

Variaciones estacionales

Variaciones interanuales.

Temperatura:

La cantidad de energía solar, retenida por el aire en un momento dado, se denomina Temperatura. Se puede afirmar que la temperatura depende ante todo de la radiación solar. El termómetro es el instrumento de fiabilidad que se utiliza para medir esa cantidad de energía. Esta medición debe realizarse a 1,5 metros del suelo, siendo un lugar ventilado y protegido de la influencia directa de los rayos del sol. El resultado de ello se expresa en una escala centígrada o en grados Celsius, o bien en la escala de Fahrenheit. No obstante, son tres los factores del clima que hacen funcionalmente variar la temperatura. Ellos son: la altitud, la latitud y la proximidad al mar. Pero además hay que agregarle en la influencia de los cambios términos a los movimientos de rotación y traslación de la tierra.

Caudal:

Es el volumen de agua que fluye a través de una sección transversal de un río o canal en la unidad de tiempo. El hidrograma es la expresión gráfica de la variación del caudal a lo largo del tiempo.

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

Según Heras (1983), el hidrograma permite representar la variación del caudal de un río, en función del tiempo.

El hidrograma, está en función del aporte de precipitaciones que puedan ocurrir en la superficie de la cuenca y de las características físicas de ella.

4.1. RECOPIACION DE INFORMACION

En la primera etapa de esta investigación se procederá a la recopilación de información bibliográfica, estadísticas y de campo, en diferentes instituciones, entre otras: INETER, ALCALDIA, ENACAL y MAG; y exploración en INTERNET. Los datos que se investigarán están relacionado con la hidrodinámica, climatología, hidrología, geomorfología, recargas, uso y consumo de la unidad de cuenca en estudio.

Una herramienta importante para el procesamiento de información cartográfica es el software Arcview GIS, el cual es un sistema que facilita el manejo de la información geográfica de una manera fácil y dinámica, para un mejor análisis y procesamiento de datos. 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.

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

4.2 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

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

4.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS HIDROGRÁFICOS Y MORFOLÓGICOS DE LA SUBCUENCA.

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

Area de la subcuenca,

- ✓ Perímetro,
- ✓ Forma de la cuenca,
- ✓ Índice de compacidad o de Gravelius,
- ✓ Índice de pendiente,
- ✓ Altitud media,
- ✓ Rectángulo equivalente,
- ✓ Densidad de drenaje,
- ✓ Polígono de frecuencia,
- ✓ Número de escurrimiento,
- ✓ Índice de alargamiento,
- ✓ Curva hipsométrica,
- ✓ Longitud del río principal y su altitud media,
- ✓ Tiempo de concentración.

4.4. BALANCE HÍDRICO

CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

Para el cálculo de la Evapotranspiración potencial se usará la fórmula de Thornthwaite - Mather (1955). Este método consiste en calcular para cada mes la Evapotranspiración potencial y a partir de su suma calcular el valor anual. La temperatura media mensual es el único parámetro que se requiere para su cálculo y la latitud que implícitamente considera la duración teórica de la insolación.

La Evapotranspiración potencial no corregida ETPnc de cada mes está dada por la expresión siguiente:

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

Donde:

T: temperatura media mensual en °C

I: Índice térmico mensual

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

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

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

Para obtener los valores corregidos de la Evapotranspiración ETP_c se multiplican los valores mensuales ETP_{nc} por un coeficiente de corrección F_c , que tiene en cuenta la latitud, o sea, la duración de la insolación teórica y del número de días de cada mes; para cada mes se tendrá la siguiente expresión:

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

La Evapotranspiración anual será igual a la suma de los valores mensuales (i), la cual se expresa de la siguiente forma:

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

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

1. Si la precipitación mensual P es superior a ETP y (ΔH) es la humedad disponible, entonces:

$$ETR = ETP$$

$$\Delta H = P - ETP$$

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

Si la reserva de humedad del suelo es grande entonces:

$$ETR = ETP$$

Y las reservas del suelo se reducen en:

$$\Delta H = ETP - P$$

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

$$ETR = P + \Delta H$$

La suma de la ETR mensual será la Evapotranspiración Real anual. Considerando la precipitación y la evapotranspiración real de la unidad de cuenca, se obtienen los excesos y los déficits en cada mes durante todo el año, según la serie histórica utilizada.

5.1 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA SUBCUENCA

5.1.1 Precipitación

Para determinar la distribución de la precipitación media anual, se aplicó el método de las isoyetas, esto con el objetivo de tener una mejor distribución espacial de la lluvia, considerando toda el área de la unidad de cuenca de Compasagua. Con este método se consideran las precipitaciones del área de influencia de las estaciones meteorológicas.

Para el análisis del comportamiento de la precipitación en la subcuenca se tomaron en cuenta las estaciones que se presenta en el anexo. Esto con el objetivo de tener una mejor interpretación del comportamiento estadístico de la variable meteorológica.

De acuerdo a la disponibilidad de datos y estaciones en el área de influencia y cercana, se tiene la representatividad del comportamiento de la precipitación de 5 estaciones, la que se muestra en cuadro No.5.2.

Una vez realizado el cálculo de este parámetro climático se obtuvo una precipitación media anual de **1,599.23 mm** (ver Cuadro No. 5.1).

Cuadro No. 5.1: Precipitación Media anual (Método de las Isoyetas)

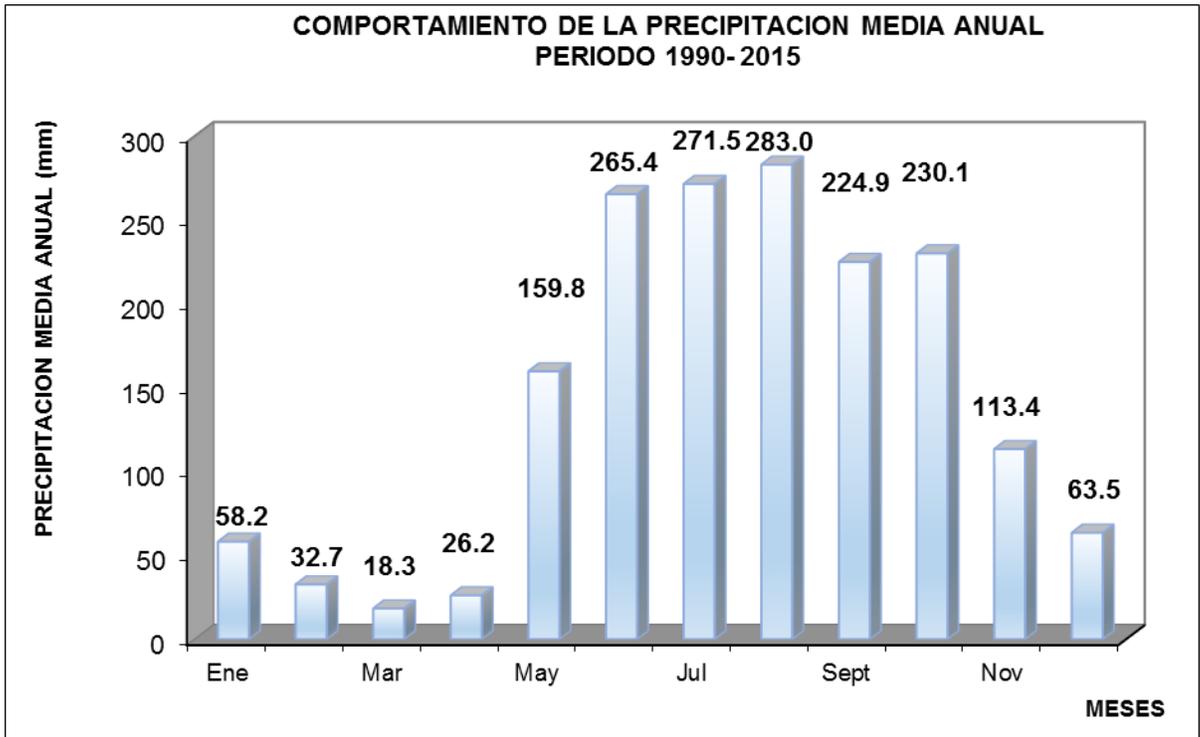
Área (km ²)	% Área	Prec Media Anual (mm)	% Área * Prec Media Anual
26.28	14.81	1525	40077
60.61	34.16	1575	95460.75
68.84	38.80	1625	111865
21.71	12.24	1675	36364.25
177.44	100.00	Prec. Media Anual (mm)	1599.23

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

En el registro estadístico de datos de las estaciones se identifica el período lluvioso que comprende de mayo a octubre en el que se obtienen un acumulado de 1,434.6 mm representando el 82 % y entre noviembre y abril correspondiente al período seco se obtuvo un valor 271.5 mm significa el 18 % del valor total del registro (ver gráfico No. 5.1).

En el período lluvioso, agosto es el que registra el mayor acumulado de lluvia, siendo este de 283 mm, seguido de julio que registra un acumulado medio anual de 308.2mm.

Gráfico No. 5.1: Precipitación Media Anual



Fuente: Información estadística de INETER y elaboración propia del gráfico

En cuadro No. 5.2 se muestra el registro de los valores medios anuales de precipitación registrada en las estaciones meteorológicas que incide en la unidad de la cuenca de Compasagua.

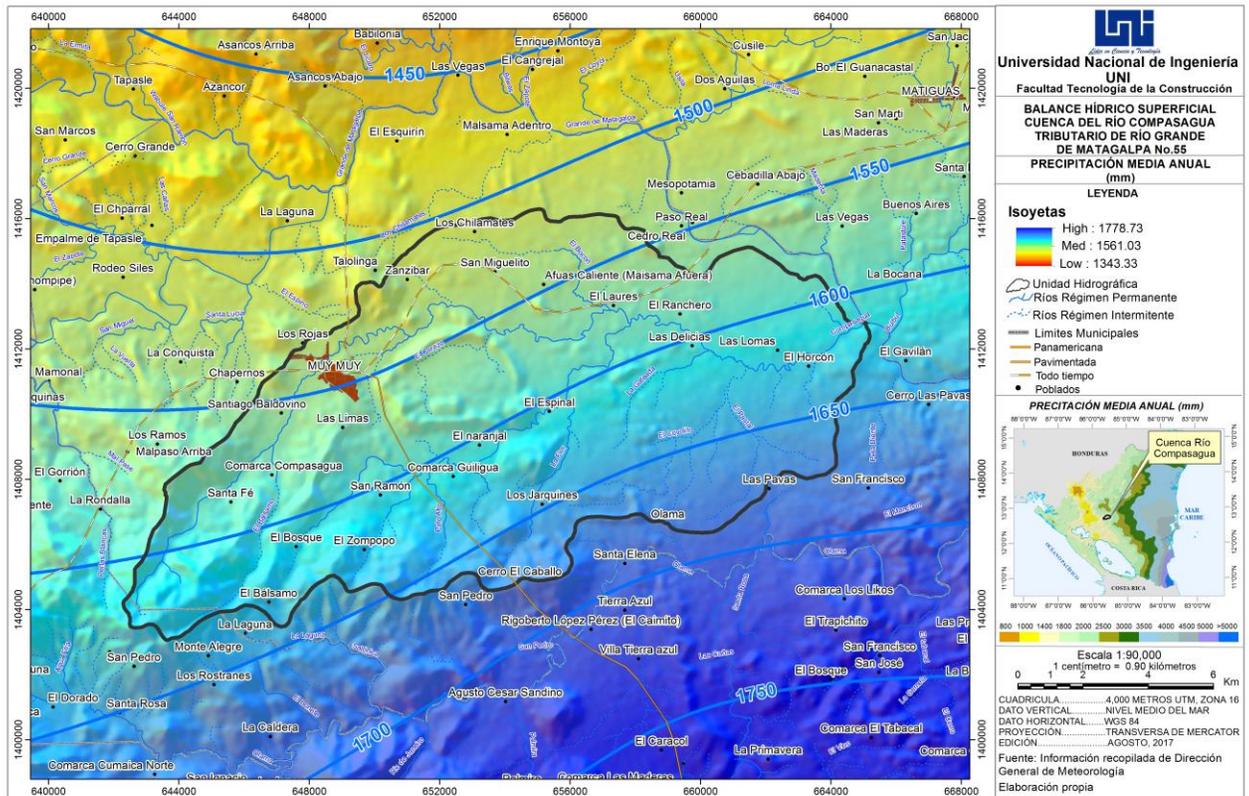
Cuadro No. 5.2: Precipitación Media Mensuales

Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct.	Nov.	Dic.	ANUAL
Muy Muy	44.4	23.9	15.5	31.1	154.8	251.2	237.9	229.1	199.4	208.3	96.1	52.7	1544.5
Mina La Reyna	36.3	23.6	10.0	22.7	158.6	210.1	202.4	217.4	214.8	225.4	105.6	54.5	1481.5
Tierra Azul	52.1	27.4	15.2	22.5	144.8	264.0	287.8	280.4	228.1	237.3	105.3	47.7	1712.6
Esquipulas	45.3	24.0	14.8	24.2	151.1	253.4	267.1	253.0	224.1	231.9	99.3	45.3	1633.5
Guasimón	112.9	64.4	36.1	30.2	189.5	348.3	362.2	435.0	258.3	247.4	160.8	117.2	2362.2
PROMEDIO	58.2	32.7	18.3	26.2	159.8	265.4	271.5	283.0	224.9	230.1	113.4	63.5	1746.9

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

En figura No. 5.1 se muestra el mapa de la zona donde se encuentra ubicada la unidad hidrográfica de Compasagua, en el cual se pueden observar las isoyetas, considerando las diferentes estaciones meteorológicas. En la unidad de cuenca se reflejan valores de isoyetas que oscilan entre 1450 mm y 1650 mm.

Figura No. 5.1 Comportamiento de la Precipitación Media anual



Fuente: Información estadística y mapa de INETER y elaboración propia de la figura

5.1.2 Temperatura Media Anual

El comportamiento de la temperatura media anual corresponde a los 24.8°C, la cual muestra que dentro de la región se puede observar contrastes significativos, provocados por el efecto del relieve y otras condiciones locales (Ver cuadro No. 5.3).

Cuadro No. 5.3: Temperatura media, mínima y máximas

TEMPERATURA	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	MEDIA
TEMP. MEDIA	23.3	24.0	25.3	26.7	26.4	25.1	24.6	24.8	24.9	24.7	24.0	23.5	24.8
TEMP. MÍN ABSOLUTA	16.4	17.1	17.1	19.1	20.3	20.3	20.0	20.0	19.8	19.4	17.5	17.1	15.6
TEMP. MAX ABSOLUTA	30.6	32.2	34.1	35.6	34.9	32.9	31.4	32.0	32.2	31.9	31.1	30.3	35.8

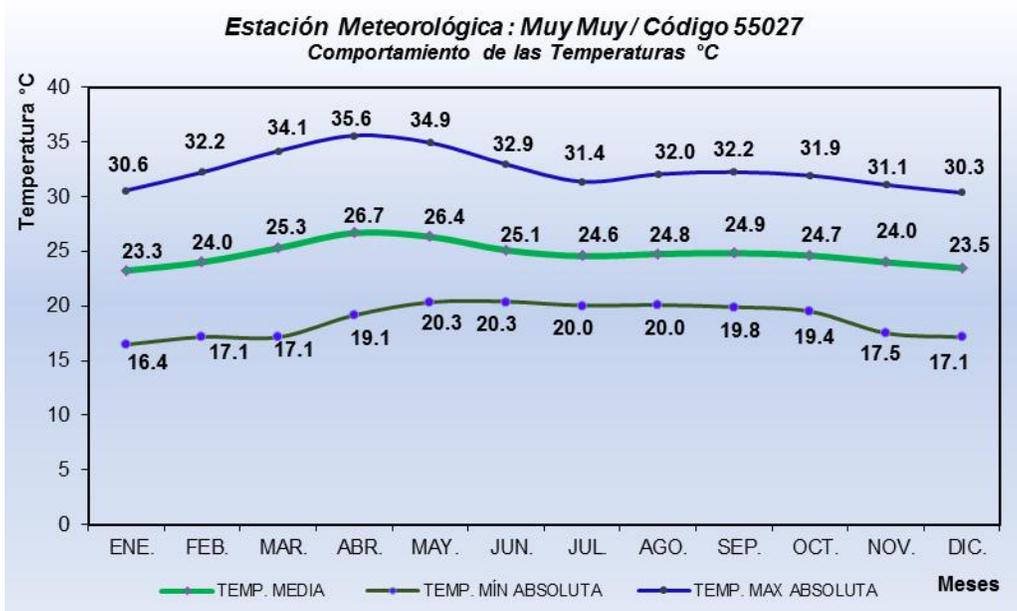
Fuente: Información estadística de INETER y elaboración propia de la tabla

En el gráfico No. 5.2 se muestra las tendencias medias mensuales, mínimas y máximas absolutas de la temperatura, tomando como referencia las estaciones principales ubicadas en la cuenca.

Los rangos de temperaturas medias mínimas y máximas absolutas oscilan en rangos que predominan de 16.4°C a 35.6°C. Los valores medios mensuales de las temperaturas más elevadas se registran en los meses de abril y mayo, precisamente a finales del período seco con valores de 26.7 y 26.4°C.

Los valores de las temperaturas medias más bajas, ocurren entre diciembre y enero, con magnitudes que oscilan entre 23.5°C 23.3°C.

Gráfica No. 5.2: Temperatura Media, Mínima y Máxima anual



Fuente: Información estadística de INETER y elaboración propia del gráfico

5.1.3 Humedad Relativa

La humedad relativa media anual para el área de estudio es de 80 %, los valores mínimos de la humedad relativa en las diferentes localidades dentro de la unidad de cuenca, tienen lugar en los meses de marzo, abril y mayo, con 64 % y 59 % (Ver tabla No. 5.4).

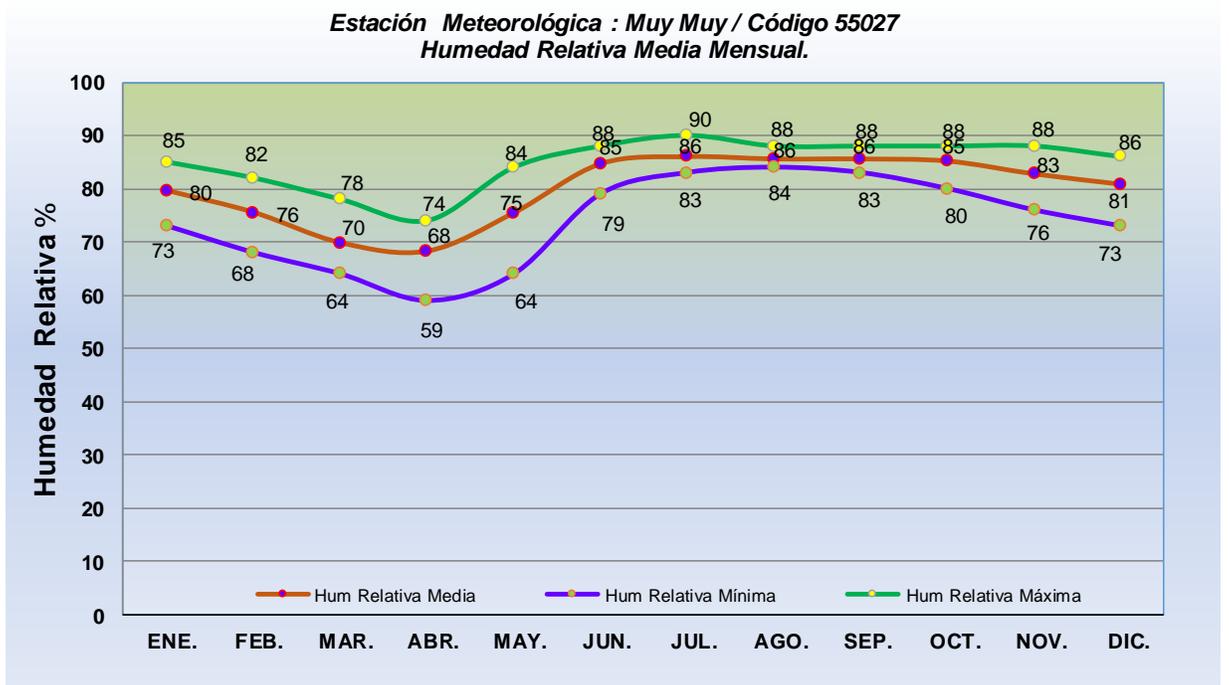
Cuadro No. 5.4: Humedad relativa mensual

HUMMEDAD	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	MEDIA
Hum Relativa Media	80	76	70	68	75	85	86	86	86	85	83	81	80
Hum Relativa Mínima	73	68	64	59	64	79	83	84	83	80	76	73	77
Hum Relativa Máxima	85	82	78	74	84	88	90	88	88	88	88	86	82

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

En el gráfico N° 5.3 se muestra el comportamiento de la tendencia anual de la humedad relativa media, en los cuales se observa que los valores máximos mensuales se registran a lo largo del período de la estación lluviosa, con valores predominantes de 88 %.

Gráfico No. 5.3: Humedad Relativa mensual

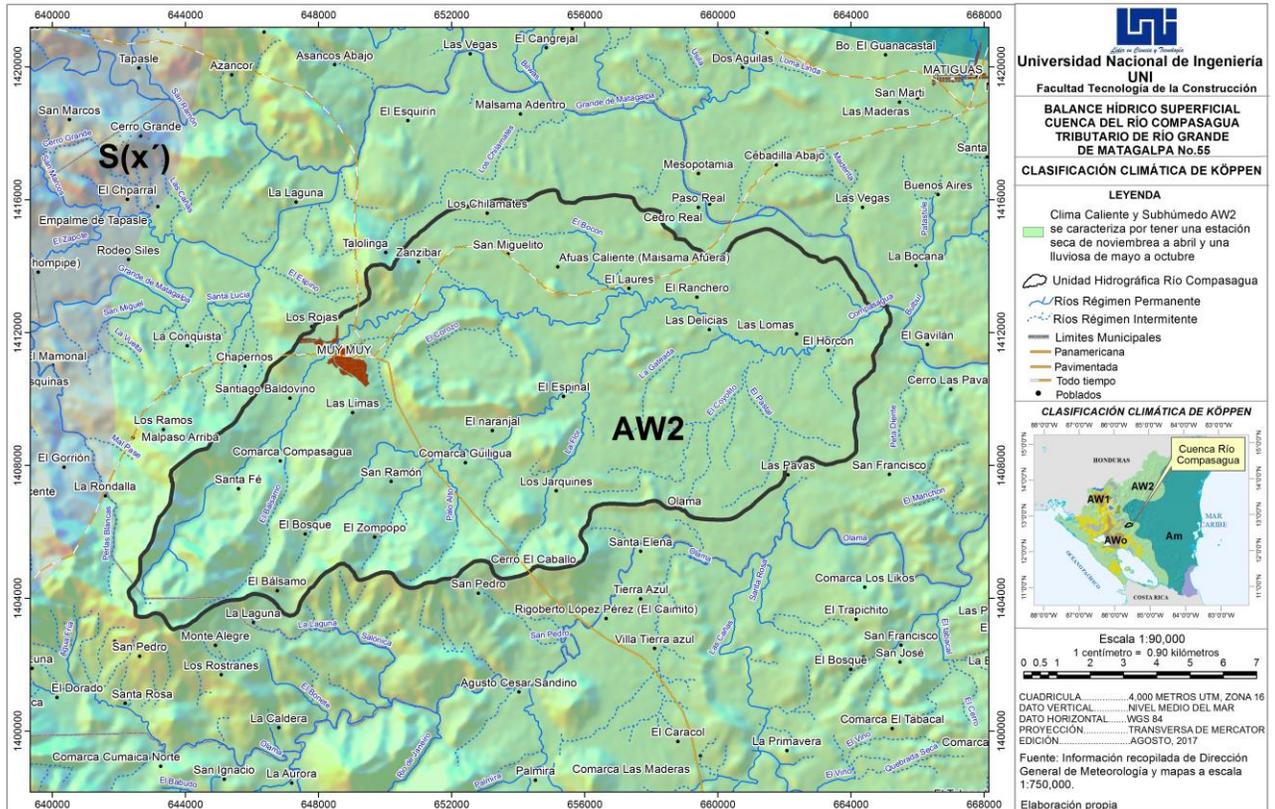


Fuente: Información estadística de INETER y elaboración propia del gráfico

5.1.4. Clasificación de Köppen

En la zona de estudio predomina el Clima Caliente y Subhúmedo Tropical, el cual se caracteriza por presentar una estación seca (noviembre - abril) y una estación lluviosa que va de mayo a octubre. En la figura No. 5.2 se refleja el clima predominant dentro de la unidad hidrográfica de Río Compasagua.

Figura No. 5.2; Clasificación climática de Köppen

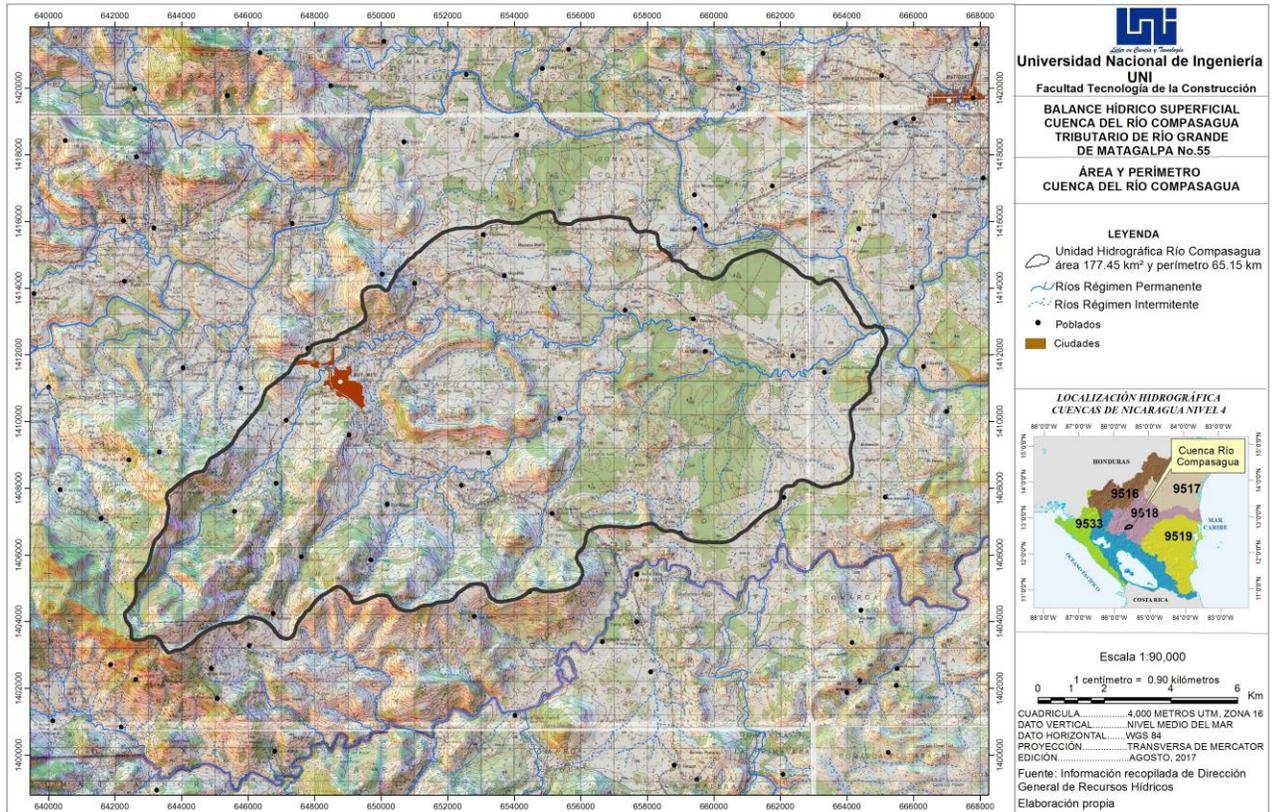


5.2 CARACTERIZACIÓN HIDROGRÁFICA Y MORFOLÓGICA DE LA UNIDAD DE CUENCA

5.2.1 Área y perímetro de la cuenca

El área, el perímetro y otros parámetros morfológicos fueron determinados usando el programa ArcGis y las hojas topográficas 1:150,000 de INETER. La unidad de cuenca de Compasagua tiene una extensión territorial de 177.45 km² y un perímetro de 65.40 km. En la figura No. 5.3 se observa el tamaño, el perímetro y la forma de la subcuenca.

Figura No. 5.3: Área de la subcuenca Río Compasagua

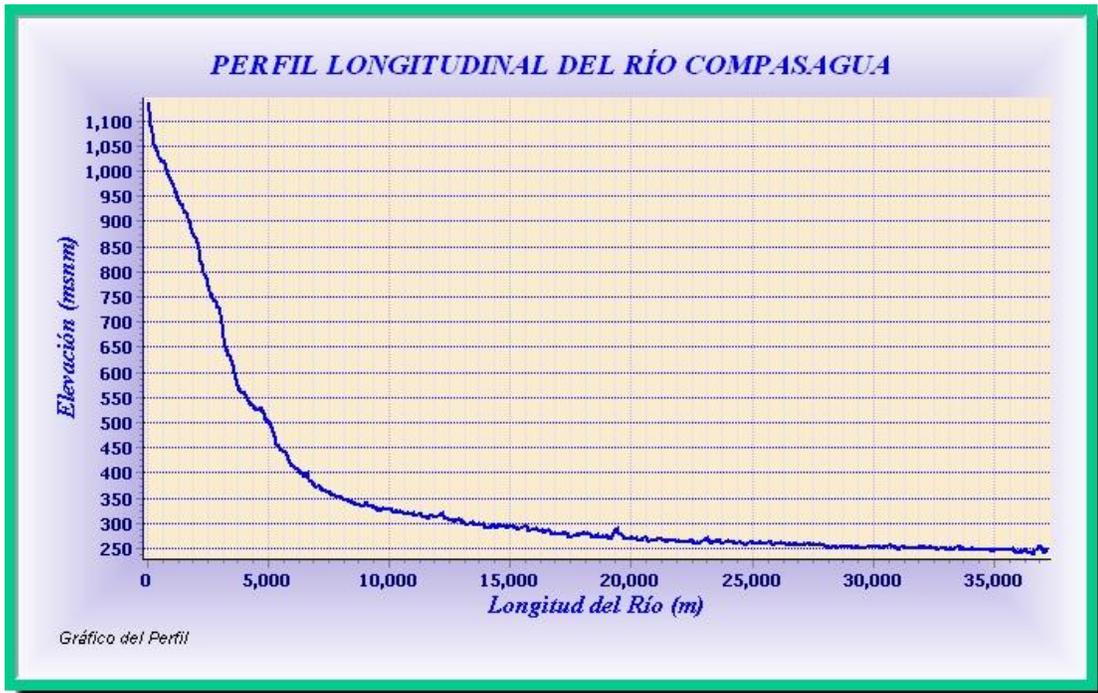


Fuente: Información estadística y mapa de INETER y elaboración propia de la figura

5.2.2 Longitud del cauce principal y de los ríos de la cuenca

La longitud del cauce principal del río (L) es de 37.98 km y la Longitud de todos los ríos que comprende la cuenca es 144.90 km. En el Gráfico No. 5.4 se muestra el perfil longitudinal del río principal.

Gráfico No. 5.4: Perfil Longitudinal del río principal



Fuente: Información estadística de INETER y elaboración propia del gráfico

5.2.3 Coeficiente de compacidad (Índice de Gravelius)

$$Kc = 0.28 * P / (A)^{0.5}$$

Donde:

Kc = Índice de Gravelius

P = Perímetro de la cuenca (km)

A = Área de la cuenca (km²)

$$Kc = 0.28 * 65.4 / (177.45)^{0.5}$$

$$Kc = 1.37$$

El Coeficiente de Compacidad de la subcuenca río Compasagua es de 1.37, es decir que se clasifica como de oval redonda a oval oblonga. Debido a que el coeficiente de Compacidad está relativamente alejado de la unidad; se afirma que dicha subcuenca no tiene tendencia a concentrar grandes volúmenes de aguas de escurrimiento.

5.2.4 Rectángulo equivalente

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

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

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

Donde:

LM= Lado mayor del rectángulo en km

Lm = Lado menor del rectángulo en km

Kc = coeficiente de Gravelius

A= superficie de la cuenca en km²

$$\mathbf{LM = (1.37*\sqrt{177.45})/1.12[1+\sqrt{1-(1.12/1.37)^2}]}$$

$$\mathbf{LM = 25.83 \text{ km}}$$

$$\mathbf{Lm = (1.37*\sqrt{177.45})/1.12[1-\sqrt{1-(1.12/1.37)^2}]}$$

$$\mathbf{Lm = 6.87 \text{ km}}$$

La transformación geométrica de la cuenca real en una superficie rectangular tienen como de lado mayor de 25.84 km y lado menor de 6.87 km, conservando el mismo perímetro de tal forma que las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas a los lados menores del rectángulo y el mismo Coeficiente de Gravelius.

5.2.5 Factor de forma

El cálculo del Factor Forma se realiza a través de la siguiente ecuación:

$$\mathbf{Ff = A / (L)^2}$$

Donde:

Ff = Factor forma

A = Área de la cuenca (km²)

L = Longitud del río principal

$$\mathbf{Ff = 177.45 / (37.98)^2}$$

$$\mathbf{Ff = 0.12}$$

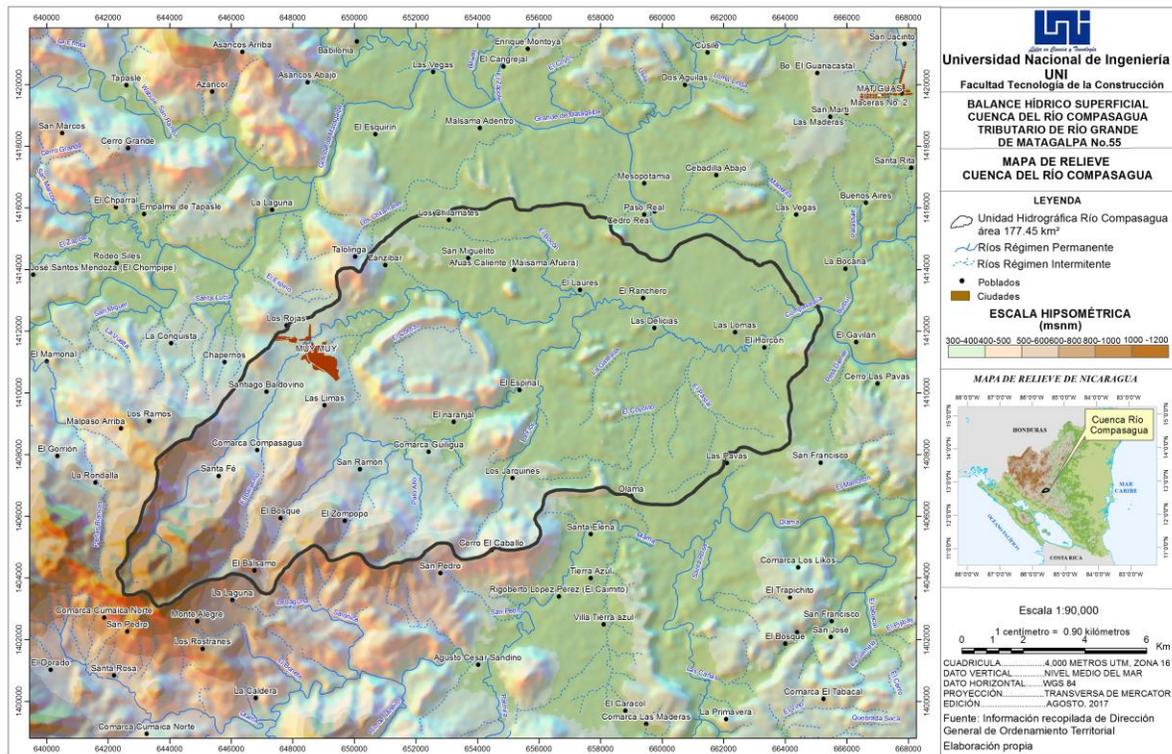
La forma de la subcuenca es muy poco achatada por presentar un factor de forma que oscila en valores comprendido de 0.01 y 0.18.

5.2.6 Relieve

El relieve está caracterizado por el predominio de una planicie, la que se evidencia a partir de la cota 300 msnm. En la figura No. 5.4 se muestra el mapa con los rangos de elevaciones en msnm. En este mapa se expresa que la parte alta de la subcuenca está conformada por un sistema montañoso de relieve bastante marcado con alturas entre 800msnm y 1200msnm.

Como resultado de la caracterización del relieve se determinó que más del 85 % de la superficie total de la subcuenca se encuentra en rangos de elevaciones que van desde los 300 hasta los 500 msnm.

Figura 5.4: Relieve de la unidad de cuenca del río Compasagua



Fuente: Información estadística y mapa de INETER y elaboración propia de la figura

5.2.7 Altitud media de la cuenca.

La altitud media de la unidad de cuenca se calcula con la siguiente ecuación (ver cuadro 5.5):

$$E_m = (\sum(H_i * A_i)) / A_T$$

En donde:

E_m : Altitud media de la cuenca

H_i : Altura media entre dos curvas de nivel consecutivas

A_i : Superficie entre dos curvas de nivel consecutivo

Cuadro 5.5: Altura media de la unidad de cuenca

E_{mi} (msnm)	A_i (Km²)	E_{mi}x_{Ai}
300	93.20	27960.0
400	43.64	17456
500	11.18	5590
600	10.01	6006
700	9.92	6944
800	2.72	2176
900	1.96	1764
1000	1.9	1900
1100	2.06	2266
1200	0.85	1020
Suma	177.44	73082.0
M_m = 411.87 msnm		

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

La altura de pendiente media tiene un valor 411.87 msnm.

5.2.8 Índice de pendiente

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

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

En donde:

I_p : Índice de pendiente

L: Lado mayor del rectángulo equivalente (m)

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

B: Tanto por ciento de la superficie comprendida entre dos curvas de nivel consecutivo, respecto a la superficie total de la cuenca. En el cuadro No. 5.6 se muestra el cálculo del índice de pendiente, las altitudes y las áreas entre dos curvas consecutivas en la unidad de cuenca.

Según los cálculos la pendiente media de la subcuenca I_p es de 0.093 m (9.3%).

Cuadro No. 5.6: Índice de pendiente, altitudes y áreas

Altitud	Area Ai	Ai acum	AT-Ai	Bi=Ai/AT	AT-Bi	Ai/Lm	Ip
M	km²	km²	km²	%	%		
1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	0.00	177.44	0.00	100	0.00	0.000
300	93.20	93.20	84.24	52.52	47.48	13.57	0.078
400	43.64	136.84	40.60	24.59	22.88	6.35	0.031
500	11.18	148.02	29.42	6.30	16.58	1.63	0.016
600	10.01	158.03	19.41	5.64	10.94	1.46	0.015
700	9.92	167.95	9.49	5.59	5.35	1.44	0.015
800	2.72	170.67	6.77	1.53	3.82	0.40	0.008

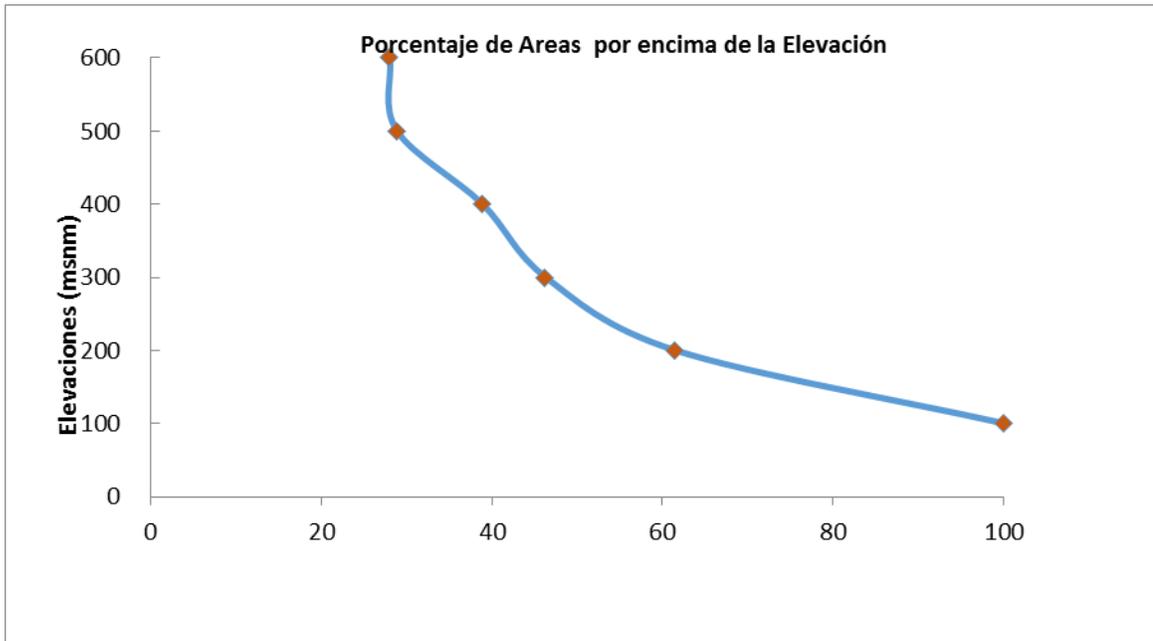
900	1.96	172.63	4.81	1.10	2.71	0.29	0.007
1000	1.9	174.53	2.91	1.07	1.64	0.28	0.006
1100	2.06	176.59	0.85	1.16	0.48	0.30	0.007
1200	0.85	177.44	0.00	0.48	0.00	0.12	0.004
Totales	177.44			100.00			0.19

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

5.2.9 Curva hipsométrica

En el gráfico No. 5.5 de la Curva Hipsométrica se observa que entre las altitudes de 600 msnm y 200 msnm la curva se presenta en general cóncava hacia arriba. Entre las altitudes de 200 msnm y 100 msnm la curva presenta un equilibrio que refleja un relieve natural más homogéneo.

Gráfico No. 5.5: Curva Hipsométrica

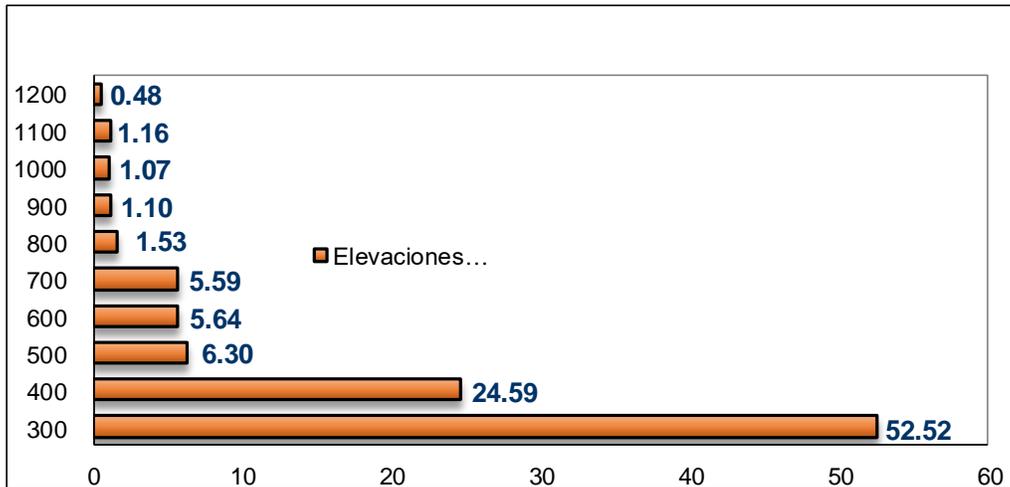


Fuente: Información estadística de INETER y elaboración propia del gráfico

5.2.10 Polígonos de frecuencia de altitudes

En el gráfico No. 5.6 se puede apreciar que la mayoría del área de la subcuenca río de Compasagua se encuentra en su parte baja, es decir entre las elevaciones 300 y 400 con el 77 % del área parcial de la subcuenca.

Gráfico No. 5.6: Polígonos de frecuencias de altitudes



Fuente: Información estadística de INETER y elaboración propia del gráfico

5.2.11 Densidad de drenaje

La red de drenaje del río en estudio está constituida por corrientes efímeras e intermitentes, el total de longitud de toda la red de drenaje (L_i) es de 144.90 km/km².

$$D_d = L_i / A$$

Donde:

D_d = Densidad de drenaje (km / km²)

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

A = Área de drenaje de la cuenca (km²)

$$D_d = 144.90 \text{ km} / 177.45 \text{ km}^2$$

$$D_d = 0.82 \text{ km/ km}^2$$

La densidad de drenaje es de 0.82 km/km², este valor se interpreta que existen 0.82 km de cursos o tramos de cursos de agua por cada km² de la subcuenca; lo que implica que la velocidad de respuesta del escurrimiento superficial es relativamente baja (respuesta hidrológica lenta).

5.2.12 Numero de escurrimiento

El número de escurrimiento se obtiene con la siguiente ecuación:

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

Donde:

A = Área de drenaje de la cuenca (km²)

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

$$Es = 177.45 \text{ km}^2 / (4 * 144.90 \text{ Km})$$

$$Es = 0.31 \text{ km}^2/\text{Km}$$

El total de afluentes existentes es de 144.90 Km, lo que caracteriza el escurrimiento de la subcuenca como bajo, el cual proporciona un drenaje bajo de la subcuenca y por lo tanto un escurrimiento bajo de la misma.

1.2.13 Pendiente media del rio principal

El cálculo de la pendiente media del río principal se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Ic = \Delta H / L$$

Donde:

S: Pendiente media del cauce

ΔH : Desnivel entre los puntos más alto y más bajo del cauce (Hmax-Hmin)

L: Longitud del cauce principal.

$$Ic = (1209.00m - 272.00m) / 37.98 * 1000m$$

$$Ic = 2.47\%$$

En la subcuenca el río principal presenta un pendiente media de 0.0247m/m (2.47 %) es decir una pendiente que se caracteriza como suave, lo que indica un desplazamiento bajo del agua.

5.2.14 Tiempo de concentración

De acuerdo con investigaciones hechas bajo el Programa Hidrometeorológico Centroamericano (PHCA, 1975) el método recomendado para el cálculo del Tc es el siguiente:

$$Tc = 0.0041 \times Kt^{0.77}$$

$$Kt = 3.28 \times (L/S^{0.5})$$

Donde:

L = Longitud del cauce principal en m

Tc= tiempo de Concentración en minutos.

S= pendiente del río principal

$$T_c = ((0.0041 * (3.28 * (37.98 * 1000)) / ((1209.00 - 272.00) / (37.98 * 1000))^{0.5})^{0.77}) / 60$$

Tc = 2.38 hrs. (142.8 minutos)

El tiempo de concentración de la subcuenca río es de 2.38 hrs. (142.8 minutos), por lo tanto es lento, asociándose este parámetro a la pendiente media del cauce y la longitud del cauce principal.

5.3. BALANCE HÍDRICO SUPERFICIAL DE LA UNIDAD DE CUENCA

Los datos meteorológicos utilizados corresponden a la estación hidrometeorológica principal (HMP) ubicada en la cabecera municipal de Muy Muy, es una estación meteorológica del tipo principal, su estructura corresponde a una casa equipada con los medios y/o aparatos medidores de los diferentes parámetros atmosféricos. Esta estación posee datos de alta confiabilidad. En el cuadro No. 5.7 y figura No. 5.5 se muestra la ubicación de esta estación.

Para este estudio la ubicación de esta estación es de suma importancia ya que está localizada en la parte central de la cuenca, siendo las mediciones directas e incidentes en el comportamiento hidrológico de la cuenca, el cual condiciona el régimen de escurrimiento superficial. Debido a los parámetros componentes del ciclo hidrológico son los que condicionan en otros la respuesta de la cuenca ante el evento de precipitación

Los datos climáticos fueron proporcionados por la Dirección General de Meteorología, seleccionándose el período comprendido de 1990–2015 equivalentes a 25 años de registros para la evaluación del Balance Hídrico Superficial.

Cabe señalar que de esta estación además de tomarse los datos de precipitación (mm), se utilizaron también los parámetros climáticos de

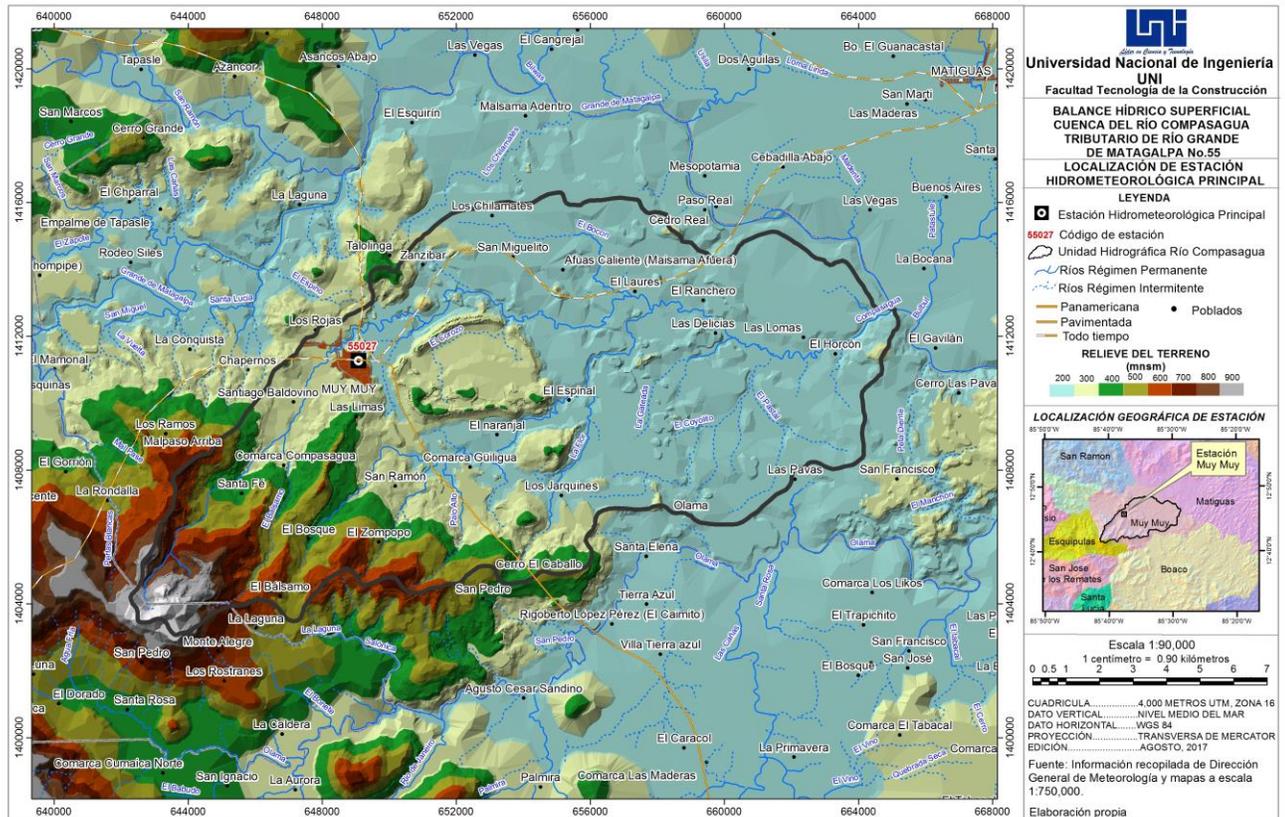
temperatura y humedad relativa, con las cuales se logró realizar la caracterización climática preponderante en la cuenca del Río Compasagua.

Cuadro No. 5.7: Ubicación de la estación meteorológica de Muy Muy

Estación	Coordenadas		Elevación (msnm)	Código	Tipo
	Lat. Norte	Long. Este			
Muy Muy	12°45'48"	85°37'36"	320	55027	HMP

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

Figura 5.5: Localización de la estación meteorológica de Muy Muy



Fuente: Información estadística y mapa de INETER y elaboración propia de la figura

5.3.1 La precipitación

Para esta investigación se consideró un registro histórico de datos del período 1990 al 2015. Esta información sobre diferentes datos climático se encuentra en los anexos. Entre estos datos de registro se encuentra la precipitación de diferentes estaciones meteorológicas. La precipitación utilizada es la promedio de la precipitación media del registro de la estación meteorológica de Muy Muy (Ver cuadro N. 5.8).

Cuadro No. 5.8: Precipitación media mensual de la Estación de Muy Muy

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic	Anual
Muy Muy	44	24	16	31	155	251	238	229	199	208	96	53	1544

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

5.3.2 Evapotranspiración Potencial

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

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

Donde:

T: temperatura media mensual en °C

I: Índice térmico mensual

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

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

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

Para obtener los valores corregidos de la Evapotranspiración potencial ETP se multiplican los valores mensuales ETPnc por un coeficiente de corrección F_c , que tiene en cuenta la latitud, o sea, la duración de la insolación teórica y del número de días de cada mes; para cada mes se tendrá:

$$\mathbf{ETPc = F_c * ETPnc}$$

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

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

En el cuadro No. 5.9 se muestra los resultados del cálculo de la Evapotranspiración potencial de la unidad de cuenca del río Compasagua.

Cuadro No. 5.9: Evapotranspiración potencial de la subcuenca del río

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

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
T	23.3	24.0	25.3	26.7	26.4	25.1	24.6	24.8	24.9	24.7	24.0	23.5	24.78
I	10.3	10.8	11.7	12.6	12.4	11.5	11.2	11.3	11.3	11.2	10.8	10.4	135.46
ETPc	89	99	117	139	133	114	107	109	111	107	99	92	1317
Fc	0.99	0.91	1.03	1.03	1.09	1.07	1.10	1.07	1.02	1.02	0.97	0.98	
ETP	89	90	121	143	145	122	117	117	113	110	96	91	1353

5.3.3 Evapotranspiración Real

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

a.- Si la precipitación mensual P es superior a ETP y (ΔH) es la humedad disponible, entonces:

$$\text{ETR} = \text{ETP}$$

$$\Delta H = P - \text{ETP}$$

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

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

$$\text{ETR} = \text{ETP}$$

Y las reservas del suelo se reducen en:

$$\Delta H = \text{ETP} - P$$

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

$$\text{ETR} = P + \Delta H$$

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

En el cuadro No. 5.10 y en gráfico 5.7 y 5.8 se refleja el comportamiento de la precipitación y evapotranspiración real, mensual y anual. Se puede observar que entre los meses de abril y noviembre existe una restitución o disponibilidad de agua, ya que la precipitación es superior a la evapotranspiración real durante ese período. Mientras que entre los meses de diciembre y abril existe un déficit de agua porque la evapotranspiración real es superior a la precipitación durante ese período.

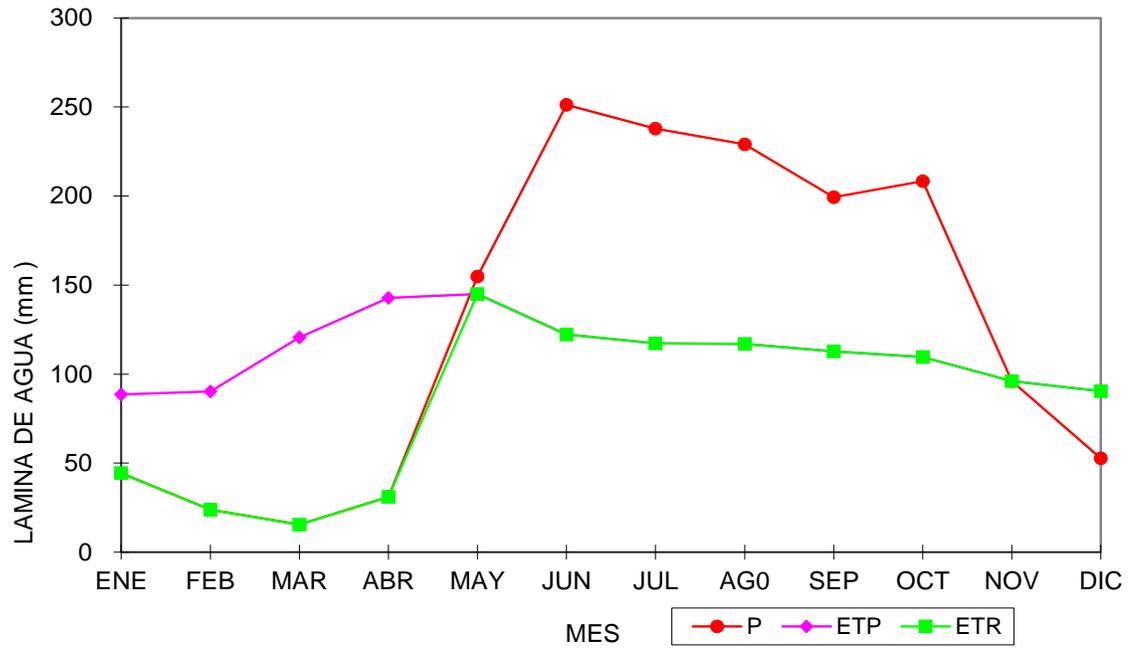
Cuadro No. 5.10: Evapotranspiración Real de la subcuenca del río Compasagua

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
ETP	89	90	121	143	145	122	117	117	113	110	96	91	1353
P	44	24	16	31	155	251	238	229	199	208	96	53	1544
P-ETP	-44	-66	-105	-112	10	129	121	112	87	99	0	-38	191

ALMA	0	0	0	0	10	100	100	100	100	100	100	62	672
D.ALMA	0	0	0	0	10	90	0	0	0	0	0	-38	
ETR	44	24	16	31	145	122	117	117	113	110	96	91	1026
EXCESO	0	0	0	0	0	39	121	112	87	99	0	0	457
DEFICIT	44	66	105	112	0	0	0	0	0	0	0	0	327

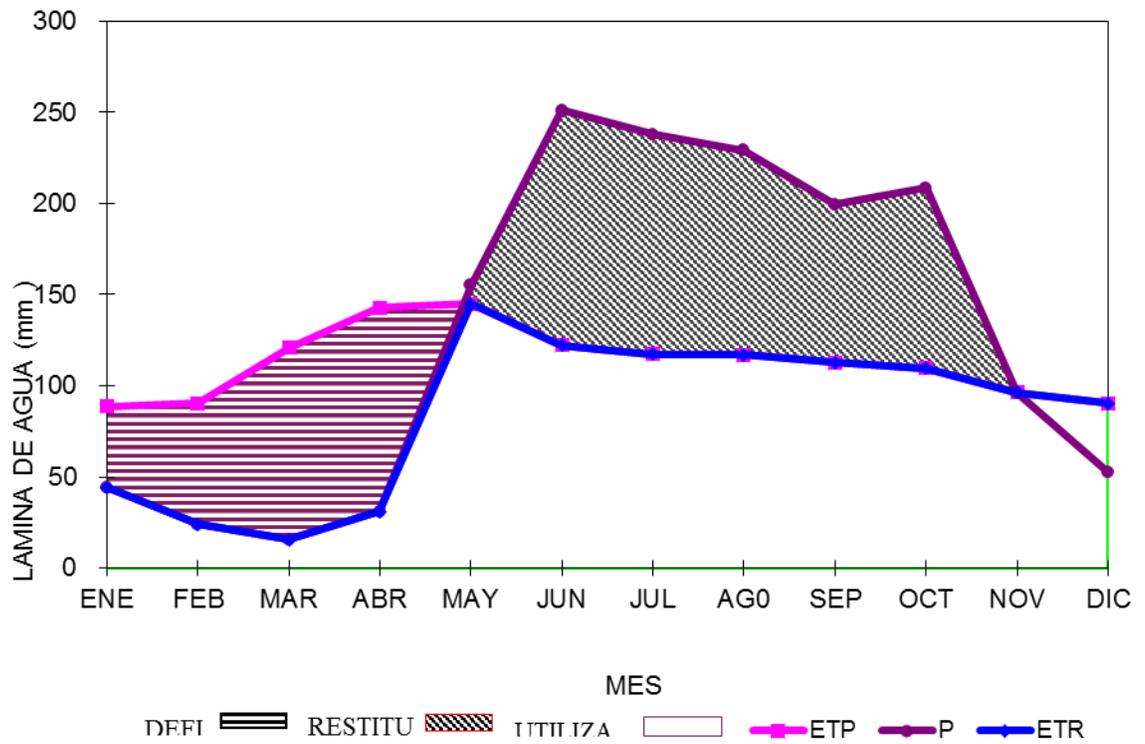
Fuente: Información estadística de INETER y elaboración propia de la tabla

Gráfico No. 5.7: Comportamiento de la Precipitación, Evapotranspiración potencial y Evapotranspiración real río Compasagua



Fuente: Información estadística de INETER y elaboración propia del gráfico

Gráfico No. 5.8: Balance hídrico superficial de la subcuenca río Compasagua



Fuente: Información estadística de INETER y elaboración propia del gráfico

6.1 CONCLUSIONES

- ✓ La unidad hidrológica del Río Compasagua tiene un área de 177.45 km² y un perímetro de 65.40 km. Y se localiza en la región Central del país, correspondiendo su ubicación política administrativa al departamento de Matagalpa, encontrándose entre las coordenadas Latitud 12°42'18.4" y 12°48'33.8" Norte y Longitud desde 85°28'43.1" a 85°41' 22.7" Oeste.
- ✓ Según la clasificación de Köppen, el clima que predomina en la zona de estudio es el Clima Caliente y Subhúmedo Tropical, el cual se caracteriza por presentar una estación seca (noviembre - abril) y una estación lluviosa que va de mayo a octubre. El comportamiento de la temperatura media anual corresponde a los 24.8°C. La humedad relativa media anual para el área de estudio es de 80 %. y se reflejan valores de isoyetas que oscilan entre 1450 mm y 1650 mm.
- ✓ El tiempo de concentración de la subcuenca río Compasagua es de 2.38 hrs. (142.8 minutos), por lo tanto es lento, asociándose este parámetro a la pendiente media del cauce y la longitud del cauce principal. La densidad de drenaje es de 0.82 km/km², este valor refleja la existencia de 0.82 km de cursos o tramos de cursos de agua por cada km² de la subcuenca; lo que implica que la velocidad de respuesta del escurrimiento superficial es relativamente baja (respuesta hidrológica lenta). En la subcuenca el río principal presenta un pendiente media de 0.0247m/m (2.47 %) es decir una pendiente que se caracteriza como suave, lo que indica un desplazamiento bajo del agua.
- ✓ El Coeficiente de Compacidad de la subcuenca río Compasagua es de 1.37, es decir que se clasifica como de oval redonda a oval oblonga. Debido a que el coeficiente de Compacidad está relativamente alejado de la unidad; se afirma que dicha subcuenca no tiene tendencia a concentrar grandes volúmenes de aguas de escurrimiento.

- ✓ Como resultado de la caracterización del relieve se determinó que más del 85 % de la superficie total de la subcuenca se encuentra en rangos de elevaciones que van desde los 300 hasta los 500 msnm. En la subcuenca el río principal presenta un pendiente media de 0.0247m/m (2.47 %) es decir una pendiente que se caracteriza como suave, lo que indica un desplazamiento bajo del agua.

- ✓ Según los datos estadísticos climatológico de la zona de estudio la evapotranspiración potencial anual calculada es de 1353 mm y la evapotranspiración real de 1026 mm. Entre los meses de abril y noviembre existe una restitución o disponibilidad de agua, ya que la precipitación es superior a la evapotranspiración real durante ese período. Mientras que entre los meses de diciembre y abril existe un déficit de agua porque la evapotranspiración real es superior a la precipitación durante ese período.

6.2 RECOMENDACIONES

- ✓ La calidad y consistencias de los datos estadísticos de los parámetros climáticos de la unidad de cuenca del Río Compasagua pueden ser mejoradas mediante la instalación de más estaciones meteorológicas.
- ✓ Se recomienda la actualización técnica del personal que maneja y/o trabaja en las estaciones meteorológicas, mediante lo cual se puede contribuir para garantizar la calidad de los datos estadísticos.
- ✓ Se recomienda la elaboración de un plan de manejo del recurso hídrico de la unidad de cuenca del río Compasagua, en el cual deben participar las diferentes instituciones públicas, privadas y las comunidades.
- ✓ A través de un diagnóstico se debe hacer una valoración de la situación de la cobertura vegetal en la unidad de la cuenca, para un plan de reforestación, priorizando las zonas de manantiales y la parte alta de la cuenca.
- ✓ Con el propósito de asegurar la conservación de los recursos hídricos de la unidad de cuenca del Río Compasagua se debe establecer un monitoreo detallado y sistemático sobre el uso de las fuentes de agua y sobre las prácticas agropecuarias que se realizan en el área.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Aparicio Mijares, Francisco Javier. 2007. Fundamentos de hidrología de superficie. Limusa, México, D. F. 303 pp.
- ✓ Carlos Díaz D, María E.A, Fernando L. V. 2005. Recursos Hídricos, conceptos básicos y estudios de Iberoamérica. Montevideo, Uruguay.
- ✓ Fenzl Norbert. Nicaragua: Geografía, Clima, Geología y Hidrología.
- ✓ INETER. Edición 2004. Mapa de Atlas Climático de Precipitación Media Anual (1971-2000).
- ✓ MAG. Edición 2011. Mapa de Uso del Suelo de Nicaragua.
- ✓ 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. Hidrología aplicada. McGRAW-HILL, INC. Colombia. 1996.
- ✓ UNESCO. Instituto de Hidrología de España. Método de Cálculo del Balance Hídrico, Madrid España. 1981.
- ✓ Instituto México de Tecnología del Agua, IMTA. Balance Hídrico en la Cuenca de Mexica. Coordinación de Tecnología Hidrológica, Sub coordinación de Hidrología y Mecánica de Ríos, México. 2003.
- ✓ Duque C. Robert. A. Precipitación formación, medición y análisis de datos CIDIAT, Mérida, Venezuela. 1985.

- ✓ Naciones Unidas, Programa Para el Desarrollo Organización Meteorológica Mundial, Manual de Instrucciones de Hidrometría, publicación número 49, San José-Costa Rica. 1969.
- ✓ UNESCO. Primer Taller Sobre Balance Hídrico del Istmo Centroamericano y México. 1998.
- ✓ OLADE, INCLAM. Vulnerabilidad al Cambio Climático de los Sistemas de Producción Hidroeléctrico en Centroamérica y sus Opciones de Adaptación, Componente 5, San José, Costa Rica. 2012.
- ✓ Océano. Atlas Geográfico Universal y de Nicaragua. 2001.
- ✓ Máximo Villón Béjar. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Hidrología Estadística, Cartago Costa Rica. 2001.
- ✓ Linsley Kohler Paulus. Hidrología para ingenieros. 1988.
- ✓ UNESCO.1982. Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de América del Sur. Montevideo 117 pp.

ANEXO.

A-1: Precipitación de la estación de Muy Muy (Matagalpa)

Estación:	MUY MUY/MATAGAL.			Código:	55027								
Departamento	MATAGALPA			Municipio:	MUY MUY								
Latitud:	12°45'48"			Longitud:	85°37'36"								
Años:	1990-2015			Elevación:	320 msnm								
Parámetro:	Precipitación (mm)			Tipo:	HMP								
Año	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Suma
1990	79.9	61.8	22.4	16.3	174.4	282.6	139.9	265.7	143.1	162.7	135.7	98.8	1583.3
1991	49.5	22.5	0.1	9.2	127.7	225.6	191.7	158.1	188.7	206.3	44.3	78.1	1301.8
1992	32.4	17.8	3.8	0.0	156.4	172.1	310.5	242.4	279.6	133.2	63.2	69.2	1480.6
1993	100.2	16.6	7.3	14.1	309.1	313.8	209.3	322.3	351.4	138.9	80.1	64.4	1927.5
1994	43.4	49.6	27.6	11.6	59.0	240.8	169.4	243.5	239.1	283.6	125.5	39.0	1532.1

1995	16.3	24.1	17.0	178.2	38.5	161.6	276.9	243.4	286.6	210.6	107.5	31.7	1592.4
1996	48.8	10.9	9.0	8.1	233.9	206.5	156.5	317.8	212.6	158.0	231.5	39.4	1633.0
1997	33.5	33.0	43.7	15.3	53.2	316.7	245.3	174.2	198.7	256.9	149.8	3.9	1524.2
1998	9.0	0.0	9.8	11.6	78.4	185.6	188.2	199.6	167.6	627.0	166.1	65.1	1708.0
1999	66.8	25.2	36.6	19.0	142.9	228.0	209.4	195.2	280.1	170.3	66.6	21.3	1461.4
2000	23.4	31.1	3.0	5.0	83.1	272.1	188.2	195.5	183.8	155.8	100.1	40.5	1281.6
2001	43.6	41.0	4.3	6.5	208.5	190.6	216.1	263.6	132.7	165.3	19.1	18.9	1310.2
2002	45.0	58.5	42.8	13.8	121.2	353.6	271.5	225.7	72.4	362.8	97.1	28.5	1692.9
2003	22.2	11.4	1.2	15.2	170.8	492.7	256.2	215.1	180.3	159.4	74.1	46.0	1598.6
2004	50.1	26.2	22.6	93.4	255.7	285.6	228.4	238.1	188.7	112.9	146.8	34.5	1683.0
2005	24.3	0.2	2.4	72.3	197.1	419.3	211.5	180.7	201.8	247.6	82.3	46.9	1686.4
2006	62.1	5.9	17.2	4.4	130.9	114.9	279.8	166.4	125.5	114.9	85.7	85.9	1193.6
2007	27.2	6.2	30.5	27.4	32.7	147.2	234.1	301.8	253.2	275.9	128.9	50.0	1515.1

2008	40.5	31.7	43.1	38.1	96.0	356.5	398.7	210.0	140.2	299.1	9.0	42.6	1705.5
2009	33.3	30.2	5.7	14.0	232.5	71.8	269.6	159.6	77.6	156.2	92.1	50.4	1193.0
2010	25.2	9.7	1.1	143.0	310.8	202.1	309.4	417.1	291.8	81.3	71.5	16.9	1879.9
2011	29.4	12.6	13.2	12.8	139.6	298.7	368.4	99.3	170.6	105.5	69.0	146.0	1465.1
2012	106.5	27.5	10.2	35.1	166.4	208.0	304.9	331.7	185.6	190.8	51.8	32.7	1651.2
2013	52.5	25.9	1.0	10.4	163.3	286.1	219.4	215.5	279.2	191.0	105.7	149.6	1699.6
2014	43.4	34.8	2.0	3.5	188.6	247.6	95.1	144.2	152.9	242.6	99.1	16.7	1270.5
2015	44.6	7.8	26.4	31.1	154.8	251.2	237.9	229.1	199.4	208.3	96.1	52.7	1539.4
Suma	1153.1	622.2	404.0	809.4	4025.5	6531.3	6186.3	5955.6	5183.2	5416.9	2498.7	1369.7	40155.9
Media	44.4	23.9	15.5	31.1	154.8	251.2	237.9	229.1	199.4	208.3	96.1	52.7	1544.5
Max	106.5	61.8	43.7	178.2	310.8	492.7	398.7	417.1	351.4	627.0	231.5	149.6	1927.5
Min	9.0	0.0	0.1	0.0	32.7	71.8	95.1	99.3	72.4	81.3	9.0	3.9	1193.0

A-2: Precipitación de la estación de Esquipulas (Matagalpa)

Estación:		ESQUIPULAS/MATAGALP.			Código:		55018						
Departamento		MATAGALPA			Municipio:		ESQUIPULAS						
Latitud:		12°39'52"			Longitud:		85°47'30"						
Años:		1990-2015			Elevación:		520 msnm						
Parámetro:		Precipitación (mm)			Tipo:		HMO						
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Suma
1990	46.1	24.4	15.2	25.3	148.5	257.5	262.0	254.6	221.1	232.7	101.9	44.4	1633.8
1991	0.0	0.0	0.0	0.0	146.7	173.1	276.8	224.7	168.7	209.9	50.7	70.2	1698.5
1992	28.5	15.3	4.4	0.0	209.8	160.0	382.8	216.4	292.3	212.4	37.9	67.0	1626.8
1993	184.2	15.8	6.3	15.9	296.4	253.5	163.1	306.5	377.6	147.8	113.6	39.4	1920.1
1994	44.6	35.3	17.9	16.1	51.0	262.4	248.5	299.1	205.1	174.8	120.7	31.1	1506.6
1995	20.7	19.5	14.1	92.0	21.8	276.5	266.5	176.2	196.6	209.5	107.5	23.5	1424.4

1996	40.1	4.9	7.9	9.9	210.4	220.3	185.5	302.4	267.9	185.7	294.8	30.2	1760.0
1997	25.8	38.1	25.2	26.8	2.2	302.6	266.8	167.5	183.7	352.9	195.8	11.8	1599.2
1998	11.7	1.9	10.8	6.0	83.9	182.3	215.1	162.3	179.5	607.2	172.6	68.2	1701.5
1999	89.7	24.5	30.4	22.8	125.6	204.2	180.5	237.6	253.2	109.2	95.4	17.7	1390.8
2000	30.6	26.9	9.2	7.5	163.5	242.2	201.2	169.5	163.6	162.6	82.2	64.5	1323.5
2001	33.8	40.8	1.5	5.4	154.4	175.4	286.0	288.2	150.7	234.7	26.4	34.6	1431.9
2002	47.2	58.3	35.1	10.6	142.4	451.6	332.0	275.4	184.6	331.5	159.6	38.3	2066.6
2003	32.5	13.8	17.7	2.5	139.6	308.5	259.6	208.6	217.5	223.4	96.3	27.8	1547.8
2004	81.0	42.5	20.4	30.2	278.2	381.5	224.6	228.0	128.8	97.5	146.6	50.5	1709.8
2005	19.8	0.0	8.1	39.6	154.7	458.9	272.8	249.5	337.5	250.8	145.2	50.3	1987.2
2006	67.2	21.7	28.2	3.6	76.1	122.4	348.4	186.5	115.1	128.9	98.8	87.3	1284.2
2007	28.5	7.8	30.7	31.8	67.6	68.6	289.7	279.3	263.0	340.5	106.6	68.9	1583.0
2008	54.8	55.1	21.4	61.3	112.8	397.5	411.1	272.1	158.5	302.4	8.2	32.6	1887.8

2009	38.2	24.6	22.4	23.9	153.9	112.2	314.4	219.7	156.1	149.0	52.1	39.2	1305.7
2010	1.5	15.0	0.0	105.1	294.4	280.3	367.7	634.9	717.5	136.7	113.5	45.0	2711.6
2011	34.5	31.5	0.7	2.3	166.1	312.1	369.8	205.4	226.1	110.9	18.0	160.6	1638.0
2012	87.7	49.1	13.1	30.4	169.2	206.7	363.2	641.6	273.2	383.3	7.4	36.2	2261.1
2013	32.5	12.9	10.3	32.9	374.9	306.7	161.1	201.9	96.0	236.2	29.7	25.1	1520.2
2014	31.2	19.2	0.0	0.0	97.5	189.7	101.4	112.1	129.0	319.2	62.4	8.2	1069.9
2015	21.7	2.5	18.9	4.9	79.3	205.3	197.9	32.2	104.4	157.9	90.9	29.5	945.4
Suma	1088.0	577.0	354.7	581.5	3625.7	6081.4	6409.7	6072.9	5377.5	5565.0	2382.2	1087.5	39203.1
Media	45.3	24.0	14.8	24.2	151.1	253.4	267.1	253.0	224.1	231.9	99.3	45.3	1633.5
Max	184.2	58.3	35.1	105.1	374.9	458.9	411.1	641.6	717.5	607.2	294.8	160.6	2711.6
Min	1.5	0.0	0.0	0.0	2.2	68.6	101.4	32.2	96.0	97.5	7.4	8.2	945.4

A-3: Precipitación de la estación de Guasimon (Matagalpa)

Estación: GUASIMON/MATAG. Código: 55029													
Departamento MATAGALPA Municipio: GUASIMON													
Latitud: 12°56'06" Longitud: 85°32'06"													
Años: 1950-2014 Elevación: 475 msnm													
Parámetro: Precipitación (mm) Tipo: PV													
Año	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Suma
1990	283.7	79.0	88.4	41.9	244.6	425.7	280.0	485.0	204.8	230.2	200.0	189.7	2753.0
1991	155.4	12.7	0.0	4.4	129.2	294.5	420.8	254.0	383.4	288.7	107.2	182.3	2232.6
1992	95.9	77.4	34.4	4.2	148.0	244.8	511.4	408.8	247.8	202.1	136.6	184.2	2295.6
1993	75.9	30.4	29.2	19.1	363.1	328.1	357.0	467.6	486.1	260.4	154.6	112.5	2684.0
1994	134.3	111.3	17.7	22.3	133.2	376.3	414.0	336.0	362.7	220.7	163.7	98.1	2390.3
1995	64.4	49.7	29.4	76.8	87.5	294.6	355.1	352.9	311.9	300.6	165.7	102.2	2190.8

1996	81.8	39.8	40.8	35.1	368.0	281.2	305.4	169.8	232.5	184.1	374.8	82.4	2195.7
1997	89.6	111.4	84.8	26.8	26.9	406.1	323.7	220.0	277.5	231.9	223.9	6.9	2029.5
1998	60.7	0.0	34.4	8.8	63.2	286.1	231.5	206.8	147.0	568.7	293.7	111.9	2012.8
1999	170.5	82.3	47.3	18.3	123.8	310.9	247.2	294.9	242.1	260.4	26.6	41.0	1865.3
2000	59.9	59.6	25.7	16.6	118.8	367.1	313.9	290.6	237.0	114.0	220.6	81.5	1905.3
2001	69.6	121.8	0.0	22.5	146.7	224.2	272.8	454.1	125.0	105.4	39.7	44.6	1626.4
2002	110.4	50.0	42.5	36.2	141.3	380.5	587.3	237.8	161.0	256.4	141.0	91.2	2235.6
2003	59.1	31.2	4.6	24.1	214.5	342.9	423.3	288.0	201.0	223.3	190.4	287.7	2290.1
2004	176.9	245.8	93.8	128.3	537.8	434.7	167.0	142.0	146.1	247.2	180.3	73.1	2573.0
2005	85.4	2.2	18.9	31.0	175.5	551.5	396.3	343.7	363.5	298.1	169.0	102.0	2537.1
2006	227.3	55.8	40.5	0.0	103.9	169.4	436.9	259.9	208.8	162.2	153.0	183.1	2000.8
2007	139.7	13.7	37.9	44.5	127.7	248.6	316.6	344.0	298.3	283.4	177.9	106.5	2138.8
2008	76.3	61.6	68.2	42.3	132.5	558.8	553.9	254.1	265.4	327.1	35.0	100.2	2475.4

2009	60.3	47.7	20.4	61.5	167.3	273.9	556.4	272.3	131.1	237.7	126.5	112.3	2067.4
2010	56.7	13.5	5.3	72.2	340.6	172.1	388.7	457.1	313.6	164.5	89.9	35.8	2110.0
2011	46.8	53.0	17.5	5.5	167.6	440.9	608.9	235.4	184.9	122.6	105.7	151.2	2140.0
2012	177.6	192.4	32.2	0.8	336.3	228.2	297.2	404.9	212.2	196.8	75.4	120.9	2274.9
2013	103.8	42.7	0.0	5.9	243.9	585.7	378.9	325.9	249.7	238.5	154.4	113.1	2442.6
2014	158.0	74.5	0.2	0.0	148.3	418.3	222.8	188.2	379.8	562.3	217.7	71.4	2441.5
2015	115.8	14.2	124.1	36.6	135.7	410.5	51.3	3616.9	343.6	144.5	256.5	260.3	5510.0
Suma	2935.8	1673.7	938.2	785.7	4925.9	9055.6	9418.3	11310.7	6716.8	6431.8	4179.8	3046.1	61418.5
Media	112.9	64.4	36.1	30.2	189.5	348.3	362.2	435.0	258.3	247.4	160.8	117.2	2362.2
Max	283.7	245.8	124.1	128.3	537.8	585.7	608.9	3616.9	486.1	568.7	374.8	287.7	5510.0
Min	46.8	0.0	0.0	0.0	26.9	169.4	51.3	142.0	125.0	105.4	26.6	6.9	1626.4

A-4: Precipitación de la estación Mina la Reina (Matagalpa)

Estación:	MINA LA REINA/MATAGAL.			Código:	5503								
Departamento	MATAGALPA			Municipio:	LA REINA								
Latitud:	12°55'00"			Longitud:	85°48'48"								
Años:	1990-2015			Elevación:	700 msnm								
Parámetro:	Precipitación (mm)			Tipo:	PV								
Año	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Suma
1990	39.3	16.2	8.9	38.9	168.6	216.6	176.6	257.7	241.6	296.0	134.4	64.0	1658.6
1991	11.7	0.0	0.0	0.0	53.3	88.8	107.3	22.4	122.3	0.0	55.0	52.0	512.8
1992	26.0	83.7	2.0	1.0	102.7	202.5	266.8	156.8	171.8	95.1	75.0	30.3	1213.7
1993	116.6	1.4	0.0	0.0	406.6	270.8	227.7	203.7	291.3	138.2	197.1	133.4	1986.8
1994	22.0	50.4	0.0	35.3	50.9	176.2	150.8	165.2	141.3	339.1	71.7	40.8	1243.7
1995	16.6	11.6	30.6	271.4	57.1	346.8	166.1	517.8	212.4	412.3	91.9	79.2	2213.8

1996	44.3	8.6	7.8	1.3	183.9	103.7	246.2	278.3	171.7	558.7	201.9	36.4	1842.8
1997	38.7	11.3	11.6	0.4	0.8	275.1	163.5	139.6	271.0	287.5	110.7	4.7	1314.9
1998	0.9	0.0	0.0	0.0	289.7	201.8	161.1	314.2	199.4	1,065.4	210.8	64.3	2507.6
1999	48.7	42.7	12.3	0.0	202.1	159.6	164.6	252.4	369.1	220.2	129.4	99.5	1700.6
2000	26.5	3.2	8.9	2.7	157.3	199.1	132.6	190.0	276.3	116.0	61.7	53.8	1228.1
2001	25.3	42.3	0.0	2.0	289.5	103.3	140.2	164.5	240.9	102.3	33.8	9.9	1154.0
2002	30.2	25.0	10.0	7.0	179.2	271.8	218.8	147.8	98.2	131.1	51.5	21.2	1191.8
2003	48.5	7.7	25.0	13.1	213.4	495.8	250.4	132.3	200.6	354.5	85.5	32.9	1859.7
2004	35.1	22.1	8.3	25.7	168.2	222.7	184.3	206.5	212.8	229.6	105.8	50.6	1536.2
2005	35.1	22.1	8.3	25.7	168.2	222.7	184.3	206.5	212.8	229.6	105.8	50.6	1536.2
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	117.8	76.3	290.5	165.0	331.8	178.0	174.9	34.8	1,369.1
2007	10.4	2.8	47.4	6.0	53.0	201.0	151.5	166.2	103.3	400.9	197.0	83.5	1,423.0
2008	43.0	31.5	9.9	14.1	36.0	285.4	182.7	118.8	243.9	227.2	50.2	59.5	1,302.2

2009	27.3	0.0	0.0	0.0	44.7	46.9	253.8	31.2	130.4	116.2	66.4	48.2	765.1
2010	55.0	86.9	13.5	68.0	438.5	134.4	387.9	679.1	465.4	82.6	80.3	79.7	2,571.3
2011	48.6	28.9	11.1	15.8	148.5	232.2	211.0	227.3	175.3	223.9	90.9	57.5	1473.8
2012	85.9	44.1	11.5	0.0	123.5	293.9	212.3	260.8	53.8	225.0	50.8	66.5	1,428.1
2013	35.6	23.7	9.9	22.6	158.9	208.5	202.1	215.2	215.3	222.2	105.1	53.9	1488.0
2014	35.6	23.7	9.9	22.6	158.9	208.5	202.1	215.2	215.3	222.2	105.1	53.9	1488.0
2015	37.4	24.1	13.1	18.0	152.8	217.8	227.4	217.9	216.8	226.2	102.5	55.8	1445.5
Suma	944.3	614.0	259.9	591.5	4124.0	5462.3	5262.6	5652.4	5584.7	5634.5	2745.2	1417.1	31361.7
Media	36.3	23.6	10.0	22.7	158.6	210.1	202.4	217.4	214.8	225.4	105.6	54.5	1481.5
Max	116.6	86.9	47.4	271.4	438.5	495.8	387.9	679.1	465.4	558.7	210.8	133.4	2507.6
Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	46.9	107.3	22.4	53.8	0.0	33.8	4.7	512.8

A-5: Precipitación de la estación de Tierra Azul (Matagalpa)

Estación:		TIERRA AZUL/MATAGALPA					Código:		55013				
Departament.		MATAGALPA					Municipio:		TIERRA AZUL				
Latitud:		12°41'42"					Longitud:		85°32'48"				
Años		1990-2015					Elevación:		280 msnm				
Parámetro:		Precipitación (mm)					Tipo:		PV				
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Suma
1990	82.2	52.0	23.8	22.5	144.8	264.0	287.8	280.4	228.1	237.3	105.3	47.7	1775.9
1991	29.0	15.0	4.4	0.0	146.7	173.1	276.8	224.7	168.7	209.9	50.7	70.2	1369.2
1992	28.5	15.3	4.4	0.0	209.8	160.0	382.8	216.4	292.3	212.4	37.9	67.0	1626.8
1993	184.2	15.8	6.3	15.9	296.4	253.5	163.1	306.5	377.6	147.8	113.6	39.4	1920.1
1994	44.6	35.3	17.9	16.1	51.0	262.4	248.5	299.1	205.1	174.8	120.7	31.1	1506.6
1995	20.7	19.5	14.1	92.0	21.8	276.5	266.5	176.2	196.6	209.5	107.5	23.5	1424.4

1996	40.1	4.9	7.9	9.9	210.4	220.3	185.5	302.4	267.9	185.7	294.8	30.2	1760.0
1997	25.8	38.1	25.2	26.8	2.2	302.6	266.8	167.5	183.7	352.9	195.8	11.8	1599.2
1998	11.7	1.9	10.8	6.0	83.9	182.3	215.1	162.3	179.5	607.2	172.6	68.2	1701.5
1999	89.7	24.5	30.4	22.8	125.6	204.2	180.5	237.6	253.2	109.2	95.4	17.7	1390.8
2000	30.6	26.9	9.2	7.5	163.5	242.2	201.2	169.5	163.6	162.6	82.2	64.5	1323.5
2001	33.8	40.8	1.5	5.4	154.4	175.4	286.0	288.2	150.7	234.7	26.4	34.6	1431.9
2002	47.2	58.3	35.1	10.6	142.4	451.6	332.0	275.4	184.6	331.5	159.6	38.3	2066.6
2003	32.5	13.8	17.7	2.5	139.6	308.5	259.6	208.6	217.5	223.4	96.3	27.8	1547.8
2004	81.0	42.5	20.4	30.2	278.2	381.5	224.6	228.0	128.8	97.5	146.6	50.5	1709.8
2005	19.8	0.0	8.1	39.6	154.7	458.9	272.8	249.5	337.5	250.8	145.2	50.3	1987.2
2006	67.2	21.7	28.2	3.6	76.1	122.4	348.4	186.5	115.1	128.9	98.8	87.3	1284.2
2007	28.5	7.8	30.7	31.8	67.6	68.6	289.7	279.3	263.0	340.5	106.6	68.9	1583.0
2008	54.8	55.1	21.4	61.3	112.8	397.5	411.1	272.1	158.5	302.4	8.2	32.6	1887.8

2009	38.2	24.6	22.4	23.9	153.9	112.2	314.4	219.7	156.1	149.0	52.1	39.2	1305.7
2010	1.5	15.0	0.0	105.1	294.4	280.3	367.7	634.9	717.5	136.7	113.5	45.0	2711.6
2011	34.5	31.5	0.7	2.3	166.1	312.1	369.8	205.4	226.1	110.9	18.0	160.6	1638.0
2012	87.7	49.1	13.1	30.4	169.2	206.7	363.2	641.6	273.2	383.3	7.4	36.2	2261.1
2013	89.2	22.0	5.7	16.9	169.0	207.0	363.0	642.0	273.0	383.0	7.0	36.0	2213.8
2014	77.7	73.0	5.8	0.0	121.0	343.3	183.3	219.4	138.2	280.5	163.8	49.3	1655.3
2015	73.7	8.6	30.5	1.2	110.1	496.9	422.0	197.7	74.3	208.1	211.5	12.2	1846.8
Suma	1354.4	713.0	395.7	584.3	3765.6	6864.0	7482.2	7290.9	5930.4	6170.5	2737.5	1240.1	44528.6
Media	52.1	27.4	15.2	22.5	144.8	264.0	287.8	280.4	228.1	237.3	105.3	47.7	1712.6
Max	184.2	73.0	35.1	105.1	296.4	496.9	422.0	642.0	717.5	607.2	294.8	160.6	2711.6
Min	1.5	0.0	0.0	0.0	2.2	68.6	163.1	162.3	74.3	97.5	7.0	11.8	1284.2

A-6: Temperatura media de la estación de Muy Muy (Matagalpa)

Estación:	MUY MUY/MATAG.	Código:	55027										
Departamento	MATAGALPA	Municipio:	MUY MUY										
Latitud:	12°45'48"	Longitud:	85°37'36"										
Años:	1990-2015	Elevación:	320 msnm										
Parámetro:	Temperat. Media (C°)	Tipo:	HMP										
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Max.
1990	22.6	24.0	25.3	25.6	25.5	24.4	24.3	24.1	24.1	24.5	23.8	22.9	268.5
1991	22.9	23.4	25.3	26.3	25.9	24.7	24.5	24.3	24.5	24.1	23.6	22.8	269.4
1992	22.8	23.9	25.3	27.3	27.2	25.5	23.6	23.9	24.2	24.3	23.7	23.2	272.1
1993	23.0	23.8	24.9	26.7	26.1	24.8	24.2	23.9	23.7	24.2	24.0	23.2	269.5
1994	23.0	23.7	25.0	26.2	26.3	24.7	24.2	24.2	24.5	24.6	23.9	23.4	270.7
1995	23.4	24.1	25.6	26.6	26.2	25.5	24.7	25.5	24.8	25.0	24.0	23.8	275.8

1996	23.0	23.9	24.7	26.9	25.1	24.7	24.5	24.3	24.7	24.6	23.6	22.9	269.9
1997	23.1	23.4	24.3	26.2	26.7	24.5	24.7	25.0	25.1	24.9	24.1	24.2	50.9
1998	24.4	25.6	26.4	27.8	28.0	25.7	24.8	25.2	25.8	24.3	24.1	23.7	281.4
1999	23.2	23.4	24.1	26.1	26.0	24.7	24.2	24.8	24.5	24.0	23.9	23.0	268.7
2000	23.0	23.3	24.7	26.2	26.2	24.4	24.2	24.7	24.7	24.1	23.9	23.5	269.9
2001	22.8	23.2	24.7	26.4	27.0	24.9	24.1	24.8	24.6	24.9	24.4	24.4	273.4
2002	23.6	23.6	24.9	25.9	26.1	25.4	24.6	24.7	25.5	24.2	23.6	23.8	272.3
2003	23.7	25.1	26.7	27.4	26.8	25.0	24.6	24.8	25.3	25.1	24.7		255.5
2004	23.5	24.5	24.9	26.6	25.2	24.7	24.5	24.9	25.4	25.1	24.0	23.4	273.2
2005	23.0	24.1	27.2	27.7	26.6	25.5	26.0	25.1	25.0	25.0	24.0	23.8	280.0
2006	23.3	23.6	25.0	26.9	26.9	25.7	24.8	25.5	25.0	25.3	24.1	23.8	276.6
2007	23.5	24.6	25.8	26.8	27.2	26.2	24.7	25.0	24.5	24.6	23.9	23.2	276.5

2008	23.0	23.7	24.8	26.1	26.5	24.7	24.2	24.8	25.4	24.4	24.2	23.7	272.5
2009	23.4	23.7	24.9	26.4	25.7	25.4	24.8	25.0	25.5	24.9	24.4	24.2	274.9
2010	23.7	25.5	26.4	27.1	25.9	25.5	25.3	25.0	25.1	25.2	23.9	22.6	277.5
2011	23.7	24.3	25.3	27.2	26.5	25.3	24.8	25.5	25.3	24.7	24.2	23.5	276.6
2012	22.6	23.3	24.7	26.4	26.2	25.5	24.4	25.0	24.7	24.8	24.1	24.1	273.2
2013	23.6	24.5	25.5	27.6	27.2	25.1	24.7	24.7	25.2	24.9	24.5	23.6	277.5
2014	23.2	23.8	25.9	27.5	26.5	25.2	25.5	25.3	25.0	24.9	24.4	24.2	278.2
2015	24.0	24.6	25.3	26.7	26.4	25.1	24.6	24.8	24.9	24.7	24.0	23.5	264.2
Suma	581.9	601.2	633.3	694.6	659.2	628.3	639.5	619.8	621.9	616.4	600.9	564.2	6868.9
Media	23.3	24.0	25.3	26.7	26.4	25.1	24.6	24.8	24.9	24.7	24.0	23.5	24.8
Max	24.4	25.6	27.2	27.8	28.0	26.2	26.0	25.5	25.8	25.3	24.7	24.4	281.4
Min	22.6	23.2	24.1	25.6	25.1	24.4	23.6	23.9	23.7	24.0	23.6	22.6	50.9

A-7: Temperatura máxima de la estación de Muy Muy (Matagalpa)

Estación:		MUY MUY / MATAGALPA						Código:		55027				
Depart.		MATAGALPA						Municipio:		MUY MUY				
Latitud:		12°45'48"						Longitud:		85°37'36"				
Años:		1990-2014						Elevación:		320 msnm				
Parámetro:		Temperatura Máxima Absoluta (C°)						Tipo:		HMP				
Año	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Max.	
1990	29.1	30.0	31.2	33.4	33.6	30.9	31.0	31.3	31.0	31.6	31.0	29.1	33.6	
1991	29.1	31.3	34.3	35.0	34.3	32.2	30.3	31.0	31.0	31.3	29.8	29.0	35.0	
1992	29.6	33.1	33.5	36.5	36.0	33.3	30.0	31.2	31.5	31.2	30.0	29.0	36.5	
1993	30.6	31.7	34.0	38.2	34.5	31.6	30.5	30.5	30.1	30.8	30.0	29.9	38.2	
1994	30.0	30.5	33.6	34.4	34.4	32.0	30.7	30.5	31.2	30.8	30.9	29.6	34.4	
1995	31.6	31.3	34.0	34.1	33.3	33.5	31.2	32.7	32.1	32.0	30.3	30.6	34.1	

1996	30.0	32.3	34.8	35.3	34.6	31.3	31.7	31.3	32.1	31.8	31.5	29.3	35.3
1997	30.5	30.5	32.2	35.6	34.8	34.3	30.6	32.3	33.3	31.7	31.4	31.3	35.6
1998	33.5	35.7	36.7	37.7	38.1	33.9	32.1	33.0	34.0	32.0	31.6	30.9	38.1
1999	30.2	32.0	33.0	35.2	35.2	33.4	31.0	33.0	32.2	31.4	31.8	29.8	35.2
2000	30.9	31.2	34.0	39.9	35.4	31.8	31.1	31.7	31.6	30.7	30.6	30.2	39.9
2001	29.7	30.5	33.6	34.4	35.1	31.8	31.0	31.8	31.4	31.6	32.0	31.2	35.1
2002	30.6	30.7	33.0	34.0	35.0	33.4	31.2	31.2	33.2	31.6	30.4	30.6	35.0
2003	31.2	34.8	36.8	36.8	36.8	32.6	30.8	31.8	32.6	32.4	31.2		36.8
2004	31.0	35.2	32.2	35.4	33.4	32.5	31.9	31.9	34.3	32.5	30.5	29.9	35.4
2005	30.9	35.5	36.5	36.1	35.3	33.0	32.3	33.3	32.1	32.5	31.3	29.7	36.5
2006	30.9	31.3	32.9	34.7	34.9	34.5	32.1	32.5	32.3	32.3	31.5	30.0	34.9
2007	30.3	32.5	34.3	36.0	36.5	35.1	32.0	32.2	31.7	31.7	31.9	29.9	36.5
2008	30.1	30.9	32.7	33.7	34.3	32.7	31.1	32.5	33.1	32.5	32.3	32.5	34.3

2009	31.1	31.6	35.7	35.3	33.1	32.6	31.3	31.8	32.7	32.4	31.2	33.3	35.7
2010	32.3	36.6	37.5	36.6	33.0	33.9	34.2	32.7	32.9	33.0	32.0	30.0	37.5
2011	31.5	31.6	35.2	36.0	35.2	33.2	31.7	33.2	33.0	32.5	30.8	30.0	36.0
2012	29.1	30.2	32.5	34.1	34.0	34.0	31.1	33.3	31.6	32.5	30.0	31.2	34.1
2013	30.6	32.3	36.2	34.9	36.3	34.2	31.2	31.7	32.6	31.8	31.6	30.1	36.3
2014	29.5	31.5	33.6	35.7	35.5	31.6	31.8	32.7	32.3	33.1	31.0	31.0	35.7
2015	30.7	32.8	33.8	35.6	34.9	32.9	31.4	32.0	32.2	31.9	31.1	30.3	33.8
Suma	794.6	837.6	887.8	924.6	907.5	856.2	815.3	833.1	838.1	829.6	807.7	758.4	929.5
Media	30.6	32.2	34.1	35.6	34.9	32.9	31.4	32.0	32.2	31.9	31.1	30.3	35.8
Max	33.5	36.6	37.5	39.9	38.1	35.1	34.2	33.3	34.3	33.1	32.3	33.3	39.9
Min	29.1	30.0	31.2	33.4	33.0	30.9	30.0	30.5	30.1	30.7	29.8	29.0	33.6

A-8: Temperatura media absoluta de la estación de Muy Muy (Matagalpa)

Estación:	Muy Muy			Código:	55027								
Departamento	Matagalpa			Municipio:	MUY MUY								
Latitud:	12°45'48"			Longitud:	85°37'36"								
Años:	1990 – 2015			Elevación:	320 msnm								
Parámetro:	Temp. mínima absoluta (C°)			Tipo:	HMP								
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Min.
1990	16.2	17.5	18.1	19.0	19.6	20.1	19.6	19.7	18.6	17.2	18.4	17.6	16.2
1991	17.7	15.4	15.6	18.6	19.9	20.0	19.9	19.8	19.9	19.2	18.3	17.5	15.4
1992	14.9	16.5	18.0	19.0	19.6	20.4	20.1	19.6	19.5	19.5	17.3	17.5	14.9
1993	14.7	17.9	16.7	19.5	21.2	20.3	19.7	19.9	19.2	18.3	17.2	15.3	14.7
1994	17.6	18.0	14.6	18.4	20.8	20.0	19.2	19.6	20.2	19.4	18.7	15.4	14.6
1995	16.9	16.8	18.1	19.4	19.2	20.3	19.8	20.5	19.2	18.8	18.6	18.3	16.8

1996	15.5	16.7	14.0	18.9	20.2	20.0	19.1	19.6	19.7	19.3	17.2	17.0	14.0
1997	16.4	16.6	16.5	18.3	19.6	19.5	20.0	20.0	20.0	20.7	18.4	15.4	15.4
1998	16.2	16.0	16.9	19.0	21.3	20.3	20.2	20.6	20.1	20.7	18.7	17.3	16.0
1999	15.8	18.0	16.1	18.5	19.9	19.6	19.1	19.6	20.0	18.1	14.4	14.7	14.4
2000	14.8	17.0	17.4	18.6	19.7	18.6	19.6	20.2	19.7	18.8	17.7	17.2	14.8
2001	15.1	18.2	15.4	19.7	19.6	19.8	19.9	20.8	20.1	20.4	18.9	18.9	15.1
2002	17.0	16.8	18.1	19.0	19.4	20.8	21.0	20.2	20.0	19.9	17.2	18.9	16.8
2003	17.4	18.2	18.1	20.0	21.6	21.0	20.0	19.5	20.2	19.6	19.1		17.4
2004	17.0	18.0	17.4	19.2	21.0	20.5	19.6	19.4	20.5	19.1	17.8	18.6	17.0
2005	15.6	15.1	18.1	19.3	20.8	21.4	19.6	20.8	20.0	19.2	15.2	18.2	15.1
2006	16.0	16.6	16.2	18.8	21.0	21.8	20.4	20.0	20.0	21.0	13.6	18.0	13.6
2007	17.4	17.0	19.6	20.0	20.8	21.2	20.6	20.4	20.2	18.8	16.6	16.8	16.6
2008	17.8	16.2	18.4	18.0	19.0	19.8	20.2	20.0	19.8	20.0	17.0	16.8	16.2

2009	15.4	17.2	17.4	19.2	20.2	20.6	20.0	21.0	19.9	20.2	19.4	16.6	15.4
2010	16.8	18.0	16.0	19.6	21.0	20.6	21.2	20.4	20.0	18.6	15.6	14.0	14.0
2011	15.4	17.4	17.2	19.6	19.6	20.6	20.0	20.0	20.0	19.0	17.8	17.4	15.4
2012	16.8	17.8	18.6	19.0	20.8	20.4	20.4	19.4	19.6	20.0	16.0	17.0	16.0
2013	18.6	17.8	16.4	19.8	21.0	21.0	20.2	19.8	19.8	20.0	19.4	18.2	16.4
2014	18.2	17.8	19.0	19.4	20.4	20.0	20.4	20.2	20.0	20.4	18.6	18.2	17.8
2015	16.4	17.1	17.1	19.1	20.3	20.3	20.0	20.0	19.8	19.4	17.5	17.1	15.6
Suma	427.6	445.6	445.0	496.9	527.5	528.9	519.8	521.0	516.0	505.6	454.6	427.9	405.6
Media	16.4	17.1	17.1	19.1	20.3	20.3	20.0	20.0	19.8	19.4	17.5	17.1	15.6
Max	18.6	18.2	19.6	20.0	21.6	21.8	21.2	21.0	20.5	21.0	19.4	18.9	17.8
Min	14.7	15.1	14.0	18.0	19.0	18.6	19.1	19.4	18.6	17.2	13.6	14.0	13.6

A-9: Humedad relativa de la estación de Muy Muy (Matagalpa)

Estación:	MUY MUY / MATAGALPA				Código:	55027							
Departamento	MATAGALPA				Municipio:	MUY MUY							
Latitud:	12°45'48"				Longitud:	85°37'36"							
Años:	1990-2014				Elevación:	320 msnm							
Parámetro:	Humedad Relativa (%)				Tipo:	HMP							
Año	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.	Media
1990	83	74	69	73	79	88	86	88	88	86	85	84	82
1991	85	78	69	69	77	86	87	87	86	86	82	85	81
1992	82	78	70	66	67	85	90	87	87	84	86	83	80
1993	82	75	70	67	78	85	84	86	86	84	83	82	80
1994	82	78	66	66	73	85	86	86	87	85	86	82	80
1995	77	71	68	69	73	81	85	84	86	85	86	84	79

1996	78	71	68	66	83	86	85	85	86	85	86	82	80
1997	81	80	75	70	69	86	88	86	84	86	87	80	81
1998	79	68	66	59	64	82	84	86	84	88	85	81	77
1999	83	79	76	71	77	85	87	85	87	86	78	77	81
2000	73	73	70	67	76	85	84	84	85	83	84	79	79
2001	77	78	70	68	72	83	86	87	85	85	77	78	79
2002	77	78	72	69	76	85	88	84	84	88	85	84	81
2003	77	76	68	67	77	87	88	87	87	87	85	83	81
2004	80	77	78	74	84	86	85	85	83	84	82	79	81
2005	75	68	68	66	79	88	85	86	87	84	88	86	80
2006	84	80	75	72	78	82	86	84	85	85	82	84	81
2007	82	74	71	73	70	79	87	87	87	84	81	81	80
2008	81	79	72	68	73	85	87	85	84	88	76	76	79

2009	76	72	64	65	79	83	86	84	83	85	83	81	78
2010	75	71	64	72	82	85	86	87	86	80	79	73	78
2011	77	74	67	67	76	86	87	84	85	84	80	79	79
2012	83	82	73	70	79	85	86	86	87	86	77	79	81
2013	82	75	66	65	70	86	87	88	87	87	85	86	80
2014	81	79	69	65	75	85	83	84	86	87	83	76	80
2015	80	76	70	68	75	85	86	86	86	85	83	81	80
Suma	2072	1964	1814	1772	1961	2204	2239	2228	2228	2217	2154	2105	2078
Media	80	76	70	68	75	85	86	86	86	85	83	81	80
Max	85	82	78	74	84	88	90	88	88	88	88	86	82
Min	73	68	64	59	64	79	83	84	83	80	76	73	77