



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA



Departamento de Geografía

Trabajo de Tesis
Para optar al grado de
Licenciatura en Geografía

Título:

Caracterización Hidrográfica y disponibilidad hídrica en la Unidad
Hidrológica 69-95259905 en el periodo 2019-2020.

Autores:

- Br. García García Norman Josué
- Br. Salinas López Nereyda Fabiola

Tutor: MSc. Lisseth Blandón

Managua, 11 de Noviembre 2020



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA



Departamento de Geografía

Trabajo de Tesis
Para optar al grado de
Licenciatura en Geografía

Título:

Caracterización Hidrográfica y disponibilidad hídrica en la Unidad
Hidrológica 69-95259905 en el periodo 2019-2020.

Autores:

- Br. García García Norman Josué
- Br. Salinas López Nereyda Fabiola

Tutor: MSc. Lisseth Blandón

Managua, 11 de Noviembre 2020

Managua 26/10 de Octubre 2020

Estimados miembros del consejo de dirección
Departamento de Geografía.
Facultad de Humanidad y Ciencias jurídicas

Ref. Carta de aceptación y solicitud de fecha de sustentación de trabajo monográfico como requisito para optar al grado de Licenciado en Geografía.

En calidad de tutor de la investigación **Caracterización Hidrográfica y disponibilidad hídrica en la Unidad Hidrológica 69-95259905** de los **estudiantes** Br. García García Norman Josue (15029887) Br. Salinas López Nereyda Fabiola (15029887); le notifico que avalo la presentación y defensa del documento final y a su vez solicito fecha de defensa 11 de Noviembre del año 2020.

Quedo atenta a su respuesta,

Saludos



Lisseth Carolina Blandón Chavarría



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA



Departamento de Geografía

Trabajo de Tesis
Para optar al grado de
Licenciatura en Geografía

Título:

Caracterización Hidrográfica y disponibilidad hídrica en la Unidad
Hidrológica 69-95259905 en el periodo 2019-2020

Autores:

- Br. García García Norman Josué 15026500
- Br. Salinas López Nereyda Fabiola 15029887

Sometido a evaluación por parte de la Carrera de Geografía, Facultad de Humanidades y Ciencias Jurídicas de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, UNAN-Managua; como requisito parcial para optar al grado Licenciatura en Geografía.

Aprobado por el Tribunal:

Msc. Ingrid Úbeda. Universidad Autónoma de Nicaragua. UNAN-Managua,
Recinto universitario Rubén Darío. _____

Msc. Rigoberto López. Universidad Autónoma de Nicaragua. UNAN-Managua,
Recinto universitario Rubén Darío. _____

Msc. Dalila Sánchez. Universidad Autónoma de Nicaragua. UNAN-Managua,
Recinto universitario Rubén Darío. _____

DEDICATORIA

Dedico este trabajo **A Dios** por guiarme en todo momento y permitir culminar este logro en mi vida.

A mi madre Blanca Rosa García y mi hermano Rudy Gabriel García porque me apoyaron en todo momento y nunca dudaron de mí.

A mi padre Nelson Andrés García Martínez (q.e.d.) quien no está presente en vida, pero sé que se hubiese sentido muy orgulloso de este logro.

Br. Norman Josué García García

Dedico este trabajo a Dios que me ha dado la vida y fortaleza para culminar mis estudios.

A mis padres Karla Salinas y Ramón López, a mi abuelita Rosa Gonzales y a mis hermanos por su amor y apoyo incondicional en todo momento y por nunca dudar de mí. A mis tíos y primos por todo su apoyo.

A todos mis maestros que acompañaron en todo el transcurso de mi formación sin su apoyo y conocimiento este logro no hubiera sido posible. A mi compañero de tesis Norman Josué García García por todo su apoyo y paciencia en todo momento.

Para cada uno de ustedes con mucho Cariño.

Br. Nereyda Fabiola López Salinas

AGRADECIMIENTOS

Agradecer primero a Dios por ser el quien nos dio la fuerza y sabiduría en todo momento para culminar exitosamente este logro.

Agradecer al Instituto Nacional de Estudios territoriales (INETER)

Especialmente:

Al ing. Gonzalo Bonilla por su apoyo incondicional y resolver dudas en lo que respecta a la variable de suelo.

Al ing. Wilmer Rodríguez por su apoyo brindado en la variable de uso de suelo.

Al ing. José Ariel Cruz por sus consejos y explicaciones en la parte de los SIG.

Al ing. Gloria Pérez por su incondicional disposición para realizar jira de campo y resolver dudas en cuanto a Geología.

Al ing. Manuel Arreola por su apoyo y resolver dudas en cuanto a balance hídrico.

A la tutora Msc. Lisseth Blandón por su asesoría y apoyo.

Agradecer al ing. Erwin Rueda, una excelente persona con quien se aprendió mucho en temas de Hidrología, los cuales se aplicaron en la presente investigación.

Al Msc. Ing. Enoc Castillo por sus aportes y sus charlas para resolver dudas en lo que respecta a Hidrogeología.

Agradecer al señor Marcial Peralta por el apoyo brindado en cuanto a información sobre datos de pozo

INDICE

Tabla de contenido

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
JUSTIFICACIÓN	7
ANTECEDENTES	8
OBJETIVOS	12
General	12
Específicos:.....	12
HIPOTESIS	13
MARCO TEORICO	14
Caracterización físico-geográfica en cuenca.	14
Caracterización	14
Recurso Hídrico	15
Cuenca Hidrográfica	16
Clasificación de una cuenca según su función	16
Importancia de una cuenca hidrográfica como unidad de estudio	19
Morfometría de cuenca	20
El Área	21
Balance hídrico	27
Parametros que intervienen en el calculo del Balance Hídrico	29
Gestión integral del recurso hídrico	32
DISEÑO METODOLÓGICO	33
Paradigma de investigación	33
Tipo de estudio	33
Enfoque de la investigación	33
Universo y muestra	34
Universo.....	34

Muestra.....	34
Métodos, técnicas y herramientas para la recolección de los datos. ..	35
Recopilación de información.....	35
Procedimientos para la recolección de Datos e Información	36
Características físico geográficas de la cuenca (capitulo 1).....	36
Parámetros morfométricos de la cuenca (capitulo 2).....	45
Disponibilidad hídrica.....	50
Propuestas de alternativas para gestión del recurso hídrico en la cuenca.	54
Resultados y discusión	56
Capítulo 1: Características físico-Geográficas de la cuenca 69 95259905.	56
1.1 Ubicación del área en estudio	56
1.2 Tipo de suelo (según su textura)	57
1.3 Pendiente	62
1.4 Hidrología Superficial	64
1.5 Geología	66
1.6 Geomorfología.	70
1.7 Uso potencial del suelo	71
1.7 Cobertura de uso del suelo en la cuenca	74
1.8 Probables impactos en el recurso hidrico por uso actual y potencial del suelo establecido en la cuenca.....	78
1.9 Principales hallazgos del Capitulo 1	79
Capítulo 2. Morfometria de la cuenca en estudio	80
2.1 Parámetros de forma y tamaño en la cuenca.	80
2.1.1 Área y Perímetro	80
2.1.2 Razón de elongación	80
2.1.3 Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelius	80
2.1.4 Factor de forma de Horton	81
2.2 Parámetros de Relieve.....	81

2.2.1	Desnivel Altitudinal:	81
2.2.2	Pendiente promedio de la cuenca	81
2.2.3	Razón de relieve y relación de Relieve	82
2.2.4	Curva Hipsométrica	83
2.2.5	Pendiente media del cauce principal	85
2.2.6	Razón de Bifurcación	86
2.2.7	Razón de Longitud	86
2.2.8	Sinuosidad Hidráulica	86
2.3	Parámetro de Morfometría Fluvial	87
2.3.1	Orden de Ríos	87
2.3.2	Densidad de drenaje	88
2.3.3	Índice de frecuencia	89
2.3.4	El coeficiente de torrencialidad	89
2.3.5	Constante de mantenimiento del curso	89
2.3.6	Tiempo de concentración	89
2.4	Principales hallazgos del capítulo 2:	91
Capítulo 3: Oferta y demanda del recurso hídrico en la cuenca		92
3.1	Balance subterráneo	92
3.1.2	Entradas del balance hídrico	97
3.1.3	Salidas del sistema.	99
6.1.2	Balance hídrico subterráneo	101
6.1.3	Demanda.	102
6.1.4	Principales hallazgos del capítulo 3:	103
Capítulo 4: Alternativas de gestión del recurso hídrico		105
Conclusiones.		107
Recomendaciones.		108
Bibliografía		109
Anexos		116
Anexo 1: Delimitación de cuenca.		116
Anexo 2: Muestreo de uso de suelo		118

Anexo: Pruebas de infiltración	119
Anexo 4: Estaciones meteorológicas.	121
Anexo 5: Calculo de parámetros: tiempo de concentración y pendiente media del cauc	122
Anexo 6 Balance de suelos.	123
Anexo 7. Cálculo de la Evapotranspiración Potencial	124
Anexo 8: Guía de observación	125
Anexo 9: visitas a campo	129

Índice de Mapas

Mapa 1: Ubicación geográfica de la cuenca 69-95259905.	56
Mapa 2: Tipo de suelo de la cuenca 69-95259905.	57
Mapa 3: Clasificación taxonómica de la cuenca 69-95259905	62
Mapa 4: Pendiente de la cuenca 69-95259905.	64
Mapa 5: Partes de la cuenca 69-95259905	65
Mapa 6: Estudios de geología local que inciden en la cuenca 69-95259905.	68
Mapa 7 : ubicación de los puntos de reconocimiento geológicos de la cuenca 69-95259905	69
Mapa 8: Formaciones Geomorfológicas de la cuenca 69-95259905.	70
Mapa 9: Uso potencial del suelo en la microcuenca 69-95259905	74
Mapa 10: Cobertura y Uso de suelo en la microcuenca 69-95259905.	75
Mapa 11: Ríos por orden, encontrados en la cuenca.	88

Índice de Tablas

Tabla 1: Posición y factores de control de una cuenca Fuente: World Vision-Manual de Manejo de Cuencas.	18
Tabla 2: Forma de la cuenca según el coeficiente de compacidad.	22
Tabla 3: puntos de control de los diferentes usos de suelo encontrado en la cuenca.	40
Tabla 4: Tabla Clasificación tomada de (Genchi, Carbone, Piccolo, & M.E, 2011).	44
Tabla 5: Estaciones Pluviométricas meteorológicas aledañas a la cuenca Fuente: Estaciones Meteorológicas de INETER	51

Tabla 6 : Total de área en la cuenca por cada rango de pendiente.	63
Tabla 7: Litoestratigrafía encontrada en los estudios cercanos a la cuenca	67
Tabla 8: Descripción de la Litoestratigrafía del escarpe encontrado en la cuenca.	68
Tabla 9: Cultivos adaptables para uso agrícola intensivo en zona subhúmeda	72
Tabla 10: Cultivos adaptables en la zona subhúmeda de la cuenca 69-9552994	73
Tabla 11: Clase de uso de suelo encontrado en la cuenca. Fuente: Propia	75
Tabla 12: especies Frutales predominante en la cuenca 69-9552994	76
Tabla 13: Especies maderables predominante en la cuenca 69-9552994	77
Tabla 14: Uso potencial relacionado con el uso actual.	78
Tabla 15: orden y longitud de los Ríos de la cuenca 69-95259905 ..	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 16: resultado de los parámetros Geomorfológicos.	90
Tabla 17: Precipitación Areal mensual de la cuenca 69-95259905	93
Tabla 18: Recarga potencial de la cuenca 69-95259905.	97
Tabla 19: Esgurrimiento subterráneo de la cuenca 69-95259905	99
Tabla 20: Extracción por bombeo en pozos perforado dentro de la cuenca 69-95259905	100
Tabla 21: Balance Hídrico Subterráneo	101
Tabla 22: Población y Consumo Anual por comunidad en la cuenca 69-95259905	103

Índice de figuras

Ilustración 1: Representación de una cuenca Hidrológica Fuente: Global Wáter Partnership - Foro peruano para el agua.	16
Ilustración 2: Partes de una cuenca	17
Ilustración 3: Esquema del proceso del Balance Hídrico	31
Ilustración 4: Ilustración Izquierda estrato perteneciente a la formación la Sierra. Ilustración derecha: Intercesión de flujo másico ...	69
Ilustración 6: Árbol Maderable de cedro Real, Guachipilín Y Laurel. ...	77
Ilustración 6: Árbol de Guanacaste con más de 50 años de existencia. ..	77
Ilustración 7: Clasificación de la curva Hipsométrica según Strahler. .	83
Ilustración 8: Transcurso del río principal de la cuenca en 3D.....	84

Índice de Gráficos

Grafico 1: Perfil Topográfico del rio principal	66
Grafico 2: Area porcentual de uso potencial del suelo de la cuenca 69-95259905.	72
Grafico 3: Curva Hipsométrica.	83
Grafico 4: Diagrama de frecuencia altimétrica.	85
Grafico 5: Correlación de estaciones meteorológicas.	92
Grafico 6: Comportamiento de la precipitación mensual de la cuenca 69-95259905	93
Grafico 7: Temperatura media mensual de la cuenca 69-95259905	95
Grafico 8: Evapotranspiración potencial mensual de la cuenca.	96
Grafico 9: Balance Hídrico de suelo y Recarga Potencial al acuífero mensual.	98
Grafico 10: Distribución del Balance hídrico subterráneo en la cuenca 69-95259905.	102

ABREVIACIONES

ANA: Autoridad Nacional del Agua.

INETER: Instituto Nacional de Estudios Territoriales

MARENA: Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales

PHCA: Proyecto Hidro meteorológico Centroamericano.

TPI: Índice de Posición Topográfica.

MMCA: Millones de Metros Cubico Anuales.

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en una cuenca de la subcuenca Laguna de Masaya; **el área se delimitó siguiendo la metodología Pfafstetter:**

A través de las **características físicas geográficas** determinaron una textura de suelo franco, el desarrollo de esta se debe a la geología reciente del cuaternario, posee una zona de planicie ligeramente ondulada disectada, su geomorfología está marcada principalmente por zonas de planicies, lomas y valles en v, el uso y cobertura del suelo indica una alta urbanización y que no está en correspondencia con el uso potencial de la cuenca.

Analizando los parámetros morfométricos, la cuenca posee un área de 12.70 km², su índice de Gravelius de 1.41, su forma es Oval-redonda a oval oblonga con tendencia de concentrar grandes volúmenes de agua con un escurrimiento tranquilo, el sistema de la hídrica es intermitente con longitud total de 38.25 km.

Se realizó **el balance hídrico subterráneo,** recopilando información de características hidráulicas de la porción de acuífero en la cuenca, así como el tratamiento de los datos climáticos recopilados en las instituciones. Se determinó una disponibilidad hídrica de **2.23 mmca anuales,** **el agua es su mayoría es producto de recarga por infiltración,** por tal razón la cuenca es susceptible a los cambios de uso de suelo y que infieren de gran manera a disminuir la recarga hídrica por los fenómenos de evapotranspiración que es marcada por un periodo seco muy flagelante. **La demanda corresponde a 0.25 mmca,** por lo cual para las comunidades en mención se solventa el acceso al recurso hídrico.

INTRODUCCIÓN

Nicaragua posee abundantes recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos y la mejor manera de gestionar los recursos hídricos debe ser desde el enfoque de cuenca hidrográfica, como unidad de gestión administrativa, de ello depende el buen desarrollo de las diferentes actividades que giran en torno a la conservación y administración del agua (ANA, 2017).

De cara a esta mención en el país se han realizado importantes proyectos como el de 1960-1972, PHCA (Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano) que da como resultado la determinación en el país de 21 cuencas y 218 subcuencas hidrográficas, con visión hacia el aprovechamiento hidroeléctrico; es en el año 2014 que se presenta una nueva delimitación de cuencas bajo la metodología Pfafstetter (1989); la que muestra las diferentes cuencas hidrográficas y la respectiva codificación, esto marca una nueva etapa en la búsqueda de una gestión integral de los recursos hídricos del país.

Sin embargo, el gestionar los recursos hídricos no es tarea fácil, en la actualidad en muchas comunidades existe una demanda creciente del recurso y el determinar la disponibilidad se debe hacer más detallada, **por ello la presente investigación es un estudio de caracterización hidrográfica y disponibilidad hídrica a un nivel micro con el enfoque y concepto de cuenca hidrográfica, este aporte se suma a los esfuerzos de las pertinentes instituciones que trabajan por la gestión integral de los recursos hídricos, así como para mejorar las condiciones de acceso al recurso de los comunitarios en la cuenca.**

La cuenca en estudio pertenece a la subcuenca Laguna de Masaya el 99.03% del territorio está ocupada por área urbana del municipio de Masaya y el 0,97% por el municipio de Catarina, INETER (2006), en ella se encuentran siete comunidades: El Túnel, La Poma, Pacayita, Pacaya, Nandayure y El Mojón.

El presente trabajo se estructura en cuatro capítulos:

Se inicia con descripción de las características físico-Geográficas (**Capítulo 1**) que contiene la ubicación del área en estudio, la taxonomía, mapa de pendiente, hidrología superficial, geología, geomorfología y cobertura de uso de la tierra, variables útiles en la cuantificación e interpretación de los resultados de parámetros morfométricos.

En el **capítulo II** se determinan los parámetros morfométricos que constituyen un conjunto de estimaciones realizadas en la cuenca, en la mayoría de los casos, al iniciar un estudio hidrológico; particularmente en la cuenca antes de iniciar el cálculo del **Balance Hídrico**.

Entre los **parámetros estimados** están las variables de relieve, topología y longitud de cauces, forma y tamaño de la cuenca e intensidad fluvial, todo ellos con fines de mejorar la gestión de los recursos hídricos en el área en estudio.

En el **capítulo III** se determinó la oferta y demanda de agua en la cuenca, a partir del calculo balance hídrico subterráneo, en base a los datos población se proyectó la demanda del curso y la disponibilidad que existe para solventar la necesidad de los pobladores de las comunidades que no cuentan con el acceso al recurso hídrico; finalmente en el **capítulo IV**, se presentan enumeradas algunas alternativas para la gestión del recurso hídrico en la cuenca, útiles para amortiguar los procesos de degradación en la misma.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Autoridad Nacional del agua (ANA, 2017) manifiesta que el estado actual de los recursos hídricos a nivel mundial es alarmante, ya que han venido en un constante deterioro, y los efectos del cambio climático han comenzado a sentirse. Nicaragua no está exenta de esta problemática y las instituciones vinculadas a la gestión de los recursos hídricos se están enmarcando en una agenda de trabajo con el fin de mejorar la planificación actual de los recursos hídricos, previendo el desarrollo y bienestar de los nicaragüenses.

Aunque se ha planteado la situación de los recursos hídricos como eje de planificación de las instituciones del país y se está trabajando en el tema de gestión de recursos hídricos es claro que no se han administrado de manera sistemática hasta la fecha, el ANA cree que se debe a una asignación poco clara de las responsabilidades entre los diversos ministerios, instituciones estatales y universidades que abordan el tema desde una perspectiva particular.

En el periodo de 1960-1972 inicia el proyecto PHCA (Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano) como resultado en nuestro país se delimitan 21 cuencas y 218 subcuencas hidrográficas, esta delimitación se realizó desde el punto de vista del aprovechamiento hidroeléctrico; es en el año 2014 que se presenta una nueva delimitación de cuencas bajo la metodología Pfafstetter (1989) la que muestra las diferentes cuencas hidrográficas y la respectiva codificación. La metodología Pfafstetter sigue la dirección del drenaje natural del agua, hasta encontrar el afluente principal que desemboca al océano. Cada una de las cuencas tiene condiciones individuales con respecto a la situación de las aguas superficiales y subterráneas, el resultado de los balances hídricos es diferentes, como también la demanda de agua y la calidad de los recursos hídricos. En muchas cuencas existen una demanda creciente, y degradación de la calidad de los recursos hídricos.

Partiendo de esta situación Carchi (2015), deja muy en claro que es de suma importancia un reconocimiento aproximado de la cantidad de agua que dispone un territorio; el uso intensivo del suelo y el proceso de la urbanización hace indispensable conocer el estado actual del recurso hídrico, con el fin

de comprender la interacción de los diferentes componentes biofísicos y socioeconómicos, que sirven para el desarrollo productivo de las comunidades y sus habitantes. Con el fin de comprender la interacción de los diferentes componentes biofísicos y socioeconómicos, que sirven para el desarrollo productivo de las comunidades y sus habitantes. (Rizo, Romero, & Zeledòn, 2011).

La falta de estudios hidrográficos en cuencas de Nicaragua hace que las comunidades ubicadas en ellas sean más vulnerables ante la demanda del recurso hídrico para todos los usos, en especial para el consumo humano; ejemplo de ello es la cuenca 69-95259905, de la cual no se posee información y descripción del recurso hídrico, el problema radica en el sentir de la población y en el estado actual del ambiente del territorio.

La Microcuenca en estudio pertenece a la subcuenca Laguna de Masaya, alberga gran parte del área urbana, específicamente el 99.03% corresponde a Masaya y el 0,97% de Catarina, INETER (2006), así mismo en ella se encuentran siete comunidades: El Túnel, La Poma, Pacayita, Pacaya, Nandayure y El Mojón. En los últimos años la población ha aumentado y con ello la demanda de mayores volúmenes de agua para las distintas actividades económicas y de uso cotidiano en los hogares. El área en estudio no cuenta con una caracterización de los elementos biofísicos, y su estado actual, es decir no hay un reconocimiento de las variables ecológicas que hacen funcionar en equilibrio la cuenca, no se tiene conocimiento de la cantidad de agua que dispone y si esta es la necesaria para abastecer a la población y suplir sus necesidades, lo que alude con urgencia determinar el estado de la cuenca y sus recursos, por tanto la falta de caracterización conlleva a no poder conocer la oferta y demanda del recurso hídrico.

El no acceso al recurso hace que los sectores de la población más vulnerables sufran las consecuencias, entre ellos se destaca el suministro de agua por horas y en algunas comunidades de hasta 8 horas cada cuatro días, esto trae como consecuencia que las personas caven huecos cerca de la tubería madre en los caminos de las comunidades y extraigan el agua, puesto que es poca la cantidad de agua suministrada, muchas familias se ven obligadas a comprar el agua por barriles; es mandato de la constitución por medio de la ley 620, ley general de agua nacional obligación y prioridad indeclinable del Estado promover, facilitar y

regular adecuadamente el suministro de agua potable en cantidad y calidad al pueblo nicaragüense, a costos diferenciados y favoreciendo a los sectores con menos recursos económicos.

A pesar de que existe una red de distribución, esta no cuenta con la capacidad de solventar el uso de los comunitarios, la relación de la problemática con las actividades económicas va más allá de una distribución desigual del recurso, el que no exista la descripción, identificación y cuantificación del recurso hídrico no está permitiendo una distribución equitativa en la cuenca **69-95259905**.

Por tal razón se plantea el siguiente problema *¿Como la falta de la caracterización Hidrogeográfica y la disponibilidad hídrica inciden en el abastecimiento de agua potable en las comunidades ubicadas en la cuenca 69-95259905?*

JUSTIFICACIÓN

Del agua depende la salud y el desarrollo de las actividades cotidianas del ser humano, y *el abastecimiento del recurso hídrico es considerado como un derecho humano*. Por esta razón es de suma importancia garantizar el acceso al agua en las comunidades.

En el área en estudio, no se encontraron estudios publicados que estén vinculados a la caracterización hidrográfica y cuantificación del agua en la cuenca. Es por ello que en la presente investigación se partirá de la caracterización físico-Geográfica y posterior se realizará la caracterización Morfométrica; **considerando que estos resultados son el primer paso que contribuirán en un futuro en la elaboración de planes de gestión en la cuenca 69-95259905.**

Un componente importante en la gestión de los recursos hídricos es la cuantificación **“Si los recursos hídricos en nuestro país no están cuantificados no podemos gestionarlos”** partiendo de esta premisa en la cuenca se realizará un balance hídrico que aportará resultados concretos con respecto a la disponibilidad (oferta) para las distintas actividades productivas de la cuenca y los usos domiciliarios.

La investigación propondrá alternativas vinculadas al manejo del recurso hídrico, y este servirá de apoyo para las instituciones encargados de trabajar en los recursos hídricos en todos sus ámbitos. Los resultados mostrados podrán ser usados en la toma de decisiones en proyectos de desarrollo vinculado al territorio que tenga como objetivo la mejora de la situación actual de los pobladores.

Desde la academia el presente trabajo se ubica en la línea de investigación de cambio climático y gestión ambiental desarrollada por el departamento de Geografía. Considerando que los resultados de esta investigación son un aporte importante para próximos estudios en materia de recursos hídricos y planes de gestión integrada de cuencas desde el enfoque integral de la Geografía.

ANTECEDENTES

La caracterización Hidrográfica de la cuenca 69-95259905 es muy importante, ya que con el conocimiento pertinente se podría hacer un uso equilibrado de los recursos que esta posee. En el área de estudio se desconoce la elaboración de alguna investigación referente a caracterización Hidrográfica, o estudios relacionados al ámbito, por ello, se hace referencia a algunas investigaciones realizadas en diferentes cuencas del país y que se relacionan con los objetivos propuesto en este trabajo, estas referencias sirven al lector para comprender la temática de investigación y metodología.

El estudio "Caracterización de la cuenca No 60, Estero Real" realizado por él (Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, 2010), tuvo como principal objetivo la caracterización físico-Geográfica de la cuenca estero Real, las caracterización del área tomo como variables: uso de suelo, tipo de suelo, clima, geología, geomorfología, e hidrología, así mismo determinaron los parámetros morfométricos, referidos a la forma y fisiografía tales como Área, Perímetro, Densidad de drenaje, Coeficiente de torrencialidad, Pendiente media del río, Pendiente media de la cuenca, Índice de compacidad, Factor de forma y Tiempo de concentración.

Para la realización de este se caracterizó la cuenca, de cada aspecto geográfico, así mismo se realizó la caracterización Morfológica de la cuenca, los parámetros de relieve y de drenaje, se calcularon con ayuda de ArcMap; realizaron la caracterización hidráulica y de reservas de agua subterránea, tomando en cuenta el abastecimiento de agua para la población y un levantamiento de calidad de agua, esto mediante análisis fisicoquímicos del agua.

A partir de los parámetros se determinó que la cuenca tiene altas crecidas y un alto tiempo de concentración (39hr), las pendientes de la cuenca están entre 15° y 50°, siendo muy propensa a la erosión. Así mismo, se identificó que la red de drenaje de la cuenca es de tipo dendrítica y las velocidades de la misma son menores a 1 km/km².

En el mismo estudio se identificó el potencial hídrico de la cuenca a través del balance Hídrico, en el que obtuvieron un promedio de recarga de agua subterránea de 898.5 mm, el cual sirvió para conocer la disponibilidad hídrica y conjuntamente con las instituciones pertinentes implementar estrategias para el manejo de los recursos naturales de la cuenca del río Estero Real.

Una segunda investigación vinculada a esta es “Caracterización biofísica y socioeconómico de la microcuenca La Jabonera, río Estelí” realizada por (Rizo, Romero, & Zeledón, 2011); el objetivo fue determinar las características físico geográficas de la microcuenca, para la caracterización retomaron variables importantes como flora, fauna, coberturas, clima, geomorfología, entre otras; realizaron el cálculo de parámetros morfométricos, resultando una microcuenca de tipo redonda a oval oblonga, así mismo determinaron que la microcuenca es poco alargada, lo cual influye que el desagüe sea rápido después de una tormenta, provocando escorrentías y con ellas arrastre de sedimento a la parte baja, esta misma presentó una red de drenaje detrítica con un orden 4 y una densidad de drenaje moderada.

La investigación concluye que la caracterización de la cuenca, tanto en los aspectos naturales y físicos, así como aquellos relacionados con las actividades de la población del sitio, son muy importante y un referente de las condiciones del territorio, siendo **una base de información para gestionar los recursos de la cuenca.**

Es importante tomar en cuenta que los dos antecedentes resumidos anteriormente, son la base para la comprensión de la relación existente de las variables físicas-Geográficas, económicas y el comportamiento hidrológico de la cuenca en estudio. De estos antecedentes se retomará la metodología e interpretación de los parámetros morfométricos en cuencas pocos instrumentados; además de ello se retomará la teoría vinculada a las variables de balance hídrico.

El Estudio Hidrogeológico y gestión de los Recursos Hídricos en la cuenca de la Laguna de Apoyo, Nicaragua realizado por (Vasquez, Ortega, Marin, Cerrato, & A, 2008); Da a conocer la capacidad de recarga de la Laguna, utilizando la metodología de balance hídrico, para comprender el

comportamiento hidrológico del sitio. El balance hídrico se realizó con un intervalo de tiempo de 20 años hidrológicos (1986-2016) y algunos elementos que se utilizaron para la realización del mismo son: capacidad de campo media, punto de marchitez, tipo de suelo, y pendientes del terreno.

En esta investigación se obtuvo que las precipitaciones en la cuenca se estiman en 29.7 Hm³/año, y escorrentía superficial de 5,80Hm³/año aproximadamente, con infiltración aproximadamente de 0,78Hm³/año, así mismo se conoce que las salidas de agua por la evaporación es aproximadamente 40,4 Hm³/año y por extracción de agua de la laguna por bombeo de pozo para el abastecimiento de los pobladores cercano es de 0,0213 Hm³/año. Al comparar las entradas/salidas de agua se encuentra que hay más salida que entrada de agua de la cuenca, alcanzando un déficit de 6,03 Hm³/año, por lo cual se supone un desequilibrio natural en la cuenca, lo que puede causar un descenso anual de agua en la laguna de aproximadamente 50 cm. Esta investigación es fundamental por la similitud en el objetivo de balance hídrico, de ella se retomará el análisis e interpretación de resultados, sumado a ella el área de estudio es próxima a la descrita en este trabajo.

Como último antecedente se encuentra “Actualización Hidrogeológica y Disponibilidad del Acuífero del Valle de Sèbaco”, (Delgado & Flores, 2014) planteó como objetivo principal actualizar la información Hidrogeológica del acuífero y estimar la disponibilidad actual, ante la demanda futura del agua, se realizó balance hídrico de suelo, se calculó mediante la metodología (Schosinsky G. , 2006), esto para conocer la recarga al acuífero; realización de pruebas de infiltración analizando la cobertura de la superficie y la topografía, así como la determinación de las características hidráulicas del acuífero.

La problemática que se percibe en este acuífero es el riesgo de sobre explotación y la contaminación a causa de la agricultura intensiva. Ellos estiman que la Evapotranspiración potencial fue mayor a la precipitación, por lo cual la demanda de esto vendrá a ser suplida por sistema de riego de pozo, esto conlleva a que la mayor extracción del valle sea por el bombeo siendo 73,49 mm³ y del acuífero solo se está extrayendo 10,00 mm³, esto significaría que la explotación de agua subterránea ha sobrepasado la

recarga directa por precipitación y resultando que de los pozos se está extrayendo parte de la reserva del acuífero.

Este antecedente se considera una guía en cuanto a la interpretación de resultados, metodología y variables involucradas en la realización del balance.

OBJETIVOS

General

Analizar las características hidrográficas y disponibilidad hídrica de la cuenca-69-95259905.

Específicos:

1. Describir las características físico-Geográficas
2. Determinar los parámetros morfométricos.
3. Estimar oferta y la demanda del recurso hídrico.
4. Proponer alternativas de gestión del recurso hídrico.

HIPOTESIS

La (FAO, Aquastat, 2003), describe que Nicaragua es uno de los países más privilegiado de Centro América, ya que el recurso agua disponible por habitante cada año es de 38,668 metros cúbicos, a pesar de ello, la contaminación de los recursos hídricos superficiales y subterráneo ha tenido un gran impacto en la disponibilidad. Es por ello que se considera que Nicaragua tiene escasez económica de agua, esto se debe, por un lado, a la falta de recursos financiero para utilizar y mantener fuentes de agua con calidad para el consumo humano, y por otro, a los problemas de gobernanza para la buena gestión integral del recurso hídricos.

La (FAO, 2000) menciona que es elemental el estudio de la cantidad de agua existente en una cuenca hidrográfica para establecer una repartición equitativa del recurso hacia los diferentes usuarios y usos efectivos que se presentan en una determinada área.

El desabastecimiento de agua en las comunidades ubicadas en la ***cuenca 69-95259905***, está asociado a la **falta de estudios de carácter hidrográficos que permitan conocer las características físicas, geográficas, morfométricos y disponibilidad de agua para conocer la oferta y demanda del agua en la zona**; así mismo evaluar si la falta del recurso es por la sobreexplotación de la cuenca.

MARCO TEORICO

Caracterización físico-geográfica en cuenca.

El conocimiento del estado de las aguas dentro de una cuenca, parte del análisis del ciclo hidrológico del agua dentro de ella, conocimiento que es vital en la determinación de la cantidad y su relación con la calidad de las mismas, en función de todas las actividades tanto naturales como las realizadas por el ser humano y que ocurren en el día a día dentro de la misma; he aquí donde entra el objetivo principal de caracterizar dicho comportamiento de una cuenca hidrográfica (Robleto, 2014)

La importancia del recurso hídrico radica en la determinación de los volúmenes naturales de agua que se producen a partir de su estado natural y que finalmente se relacionan con las diferentes actividades o usos que demandan la población. El manejar el recurso hídrico implica contar con un plan de Gestión Integral de Recursos Hídricos, cuyos componentes son la oferta y demanda, el suministro, así como la conservación y protección del recurso.

En nuestro país existen dos grandes vertientes, conformadas por 21 cuencas hidrográficas, de las cuales 8 drenan sus aguas hacia el Pacífico y 13 hacia el Caribe, siendo esas últimas las de mayor potencial hídrico del territorio nacional y donde se concentra el 96% de la disponibilidad, caso contrario el 4% corresponden a las cuencas que drenan hacia el pacífico es de donde se tiene la mayor demanda del recurso hídrico debido a que es la zona más densamente poblada y por tanto puede considerarse como las de mayor estrés hídrico en los últimos años (BH Superficial, INETER 2008).

Caracterización

Según (Bonilla, Hurtado, & Jaramillo, 2009) la caracterización es un tipo de descripción cualitativa que puede recurrir a datos cuantitativos con el fin de profundizar el conocimiento sobre algo. Para cualificar ese algo, previamente se deben identificar y organizar los datos y a partir de ellos

caracterizar, de una forma estructurada y posterior establecer y correlacionar su significado aplicándolo a un fenómeno.

La caracterización es la que se implementa en el análisis de cuencas hidrográficas para su análisis, comportamiento, determina las características del medio. (Robleto, 2014).

Desde el punto de vista de la Geografía la caracterización físico-geográfica es una identificación de los recursos naturales y su estado en relación con los usos que le da el ser humano; dicha caracterización no solo sirve como reconocimiento del territorio, y descripción del mismo, sino que permite analizar de una manera menos compleja el estado de los recursos naturales, por ende, comprender mejor la dinámica hidrológica de una cuenca y los elementos que la componen.

Recurso Hídrico

Cuando se habla de recurso se refiere a materia prima o un bien que se utiliza con un objetivo específico. Cuando el agua es utilizada para satisfacer las necesidades humanas es considerada como un recurso. (FAO, 2012)

El recurso hídrico se compone por todos los cuerpos de agua del planeta, tanto los mares, ríos, aguas subterráneas, lagos, manantiales y lagunas. El recurso puede dividirse en subterráneo y superficial.

El superficial se puede encontrar en ríos o arroyos, es el agua que proviene de la precipitación y escurre de forma superficial sobre el territorio. Por otro lado, el recurso subterráneo es el que se encuentra bajo la superficie de la tierra, se infiltra en el subsuelo y se localiza entre las partículas del suelo o entre rocas.

El recurso hídrico es abundante en Nicaragua, pues se estima que hay una disponibilidad de 34,672 m³ de agua per cápita, siendo el tercer país con mayor abundancia en la región, después de Belice y Panamá. Los recursos hídricos nacionales en su distribución espacial y temporal están estrictamente gobernados por el régimen de lluvias; el 96% de la escorrentía nacional se ubica en el Caribe y el restante 4% en la región del Pacífico. (Asociación Mundial para el Agua, 2010).

Cuenca Hidrográfica

La Ley General de Aguas Nacionales de Nicaragua, en el capítulo III, artículo 12, define a una cuenca como la unidad de territorio, diferenciada de otras unidades, normalmente delimitada por un línea imaginaria que marca los puntos de mayor elevación en dicha unidad, donde brota o escurre el agua en distintas formas, superficial y subterránea, hasta un punto de salida que puede ser el mar u otro cuerpo receptor interior, a través de una red hidrográfica de cauces que convergen en uno principal. La cuenca hidrográfica está a su vez integrada por subcuencas y estas últimas por micro cuencas.

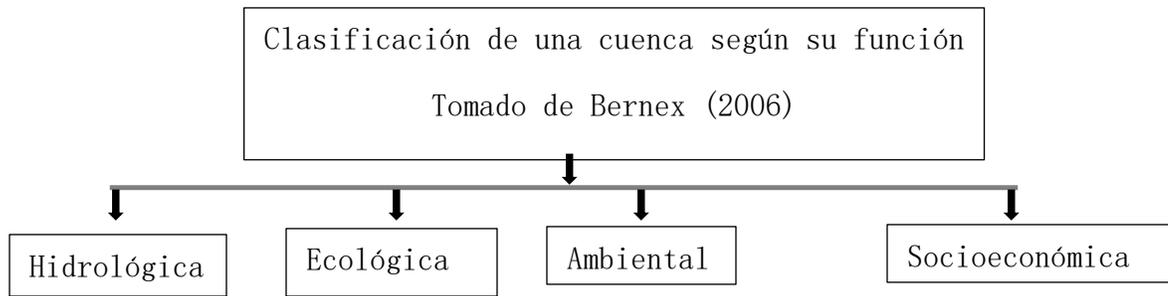


Ilustración 1: Representación de una cuenca Hidrológica
Fuente: Global Wáter Partnership – Foro peruano para el agua.

Para entender la cuenca hidrográfica como una unidad territorial y su importancia en los estudios de hidrología, es primordial conocer la relación entre los conceptos de espacio y territorio. *El recurso hídrico es fundamental para el desarrollo de las comunidades, es por esta razón que son indispensables los estudios asociados con la disponibilidad del agua, por tanto, la cuenca es la unidad territorial más adecuada para analizar estos fenómenos, dada su relación con el agua y su delimitación de forma natural.*

Clasificación de una cuenca según su función

(Gaspari, Rodriguez, Senisterra, Delgado, & Besteiro, 2013) Citado por Bernex (2006) plantea una clasificación según su función, con fundamentación ecológica y partiendo de una perspectiva socio ambiental.



Fuente: <https://core.ac.uk/download/pdf/153563964.pdf>

Partes de una cuenca, según la definición de Leonel, (2017)

En cada una de las partes de la cuenca existen factores de control que determinan el equilibrio de la cuenca hidrográfica. (Gaspari, Rodríguez, Senisterra, Delgado, & Besteiro, 2013) citado por Bernex (2006).

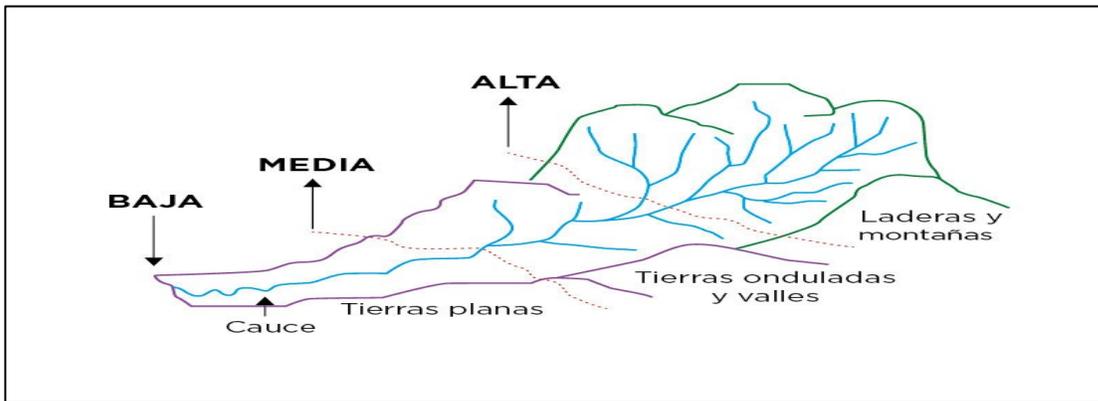
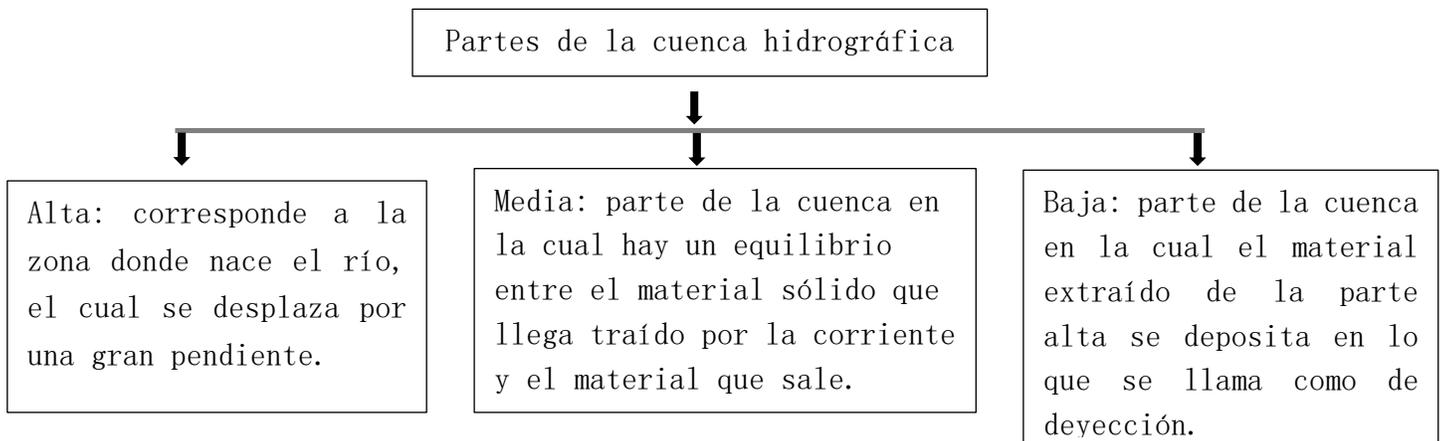


Ilustración 2: Partes de una cuenca

Fuente: World Visión-Manual de Manejo de Cuencas.



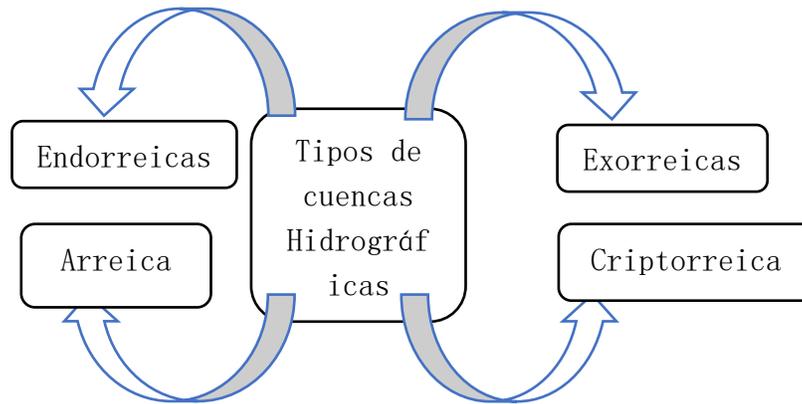
Los factores de control son aquellos elementos por los cuales la dinámica hidrológica entra en funcionamiento, la cuenca particularmente como un territorio independiente no tiene alteración significativa; los fenómenos que ocurren en ella tales como erosión, transpotación y sedimentación son naturales, por lo que se deduce que determinan un equilibrio natural de la cuenca hidrográfica a partir de cada zona de la misma, ya sea la cabecera, garganta o las tierras bajas de la cuenca.

Posición en la Cuenca	Factores de control
Cabecera (Frente montañoso)	Clima: Precipitación, temperatura, viento
	Suelos: Textura, profundidad
	Litología: Carácter de las rocas subyacentes
	Topografía: Relación ladera pendiente
	Relieve: Desnivel, relación divisoria - lechos
	Cobertura: Fisonomía y densidad vegetal
	Uso de suelo: Carácter e intensidad
Área media (Garganta)	Suelos: Carácter y constitución
	Relieve: Relación divisoria - lechos
	Topografía: Relación ladera - pendiente
Desembocadura (Tierras bajas)	Relación: Divisoria - valles
	Relación: Estacional crecidas - estiajes

Tabla 1: Posición y factores de control de una cuenca Fuente: World Visión-Manual de Manejo de Cuencas.

Elaboración: Propia

Tipos de cuencas según la dirección de sus aguas



Fuente: (CEPAL, 2013). Guía análisis y zonificación de cuencas hidrográficas para el ordenamiento territorial

Importancia de una cuenca hidrográfica como unidad de estudio

Según Ortega (2012). La importancia de las cuencas hidrográficas consiste en que, albergan gran variedad de recursos naturales y se preserva y mejora la calidad de vida de los organismos residentes, de comunidades y de todo un país.

La protección de los recursos naturales en las cuencas es esencial para mantener la salud y el bienestar de todos los seres vivos, tanto en el presente como en el futuro, es necesario cuidar las fuentes hídricas para poder utilizar el agua de los ríos, para satisfacer las necesidades de las personas. (Cairampoma & Villegas, 2016).

A partir de la observación de las características particulares y funcionamiento de la cuenca hidrográfica, se puede definir que existe una dinámica hidrológica general.

Para Nicaragua la importancia que tienen las cuencas hidrográficas radica en la planificación y gobernanza de los recursos hídricos, es la unidad de

territorio más adecuada para identificar las dinámicas socio ambientales, sus problemas y de esa forma implementar alternativas de solución.

En nuestro país la ANA tiene como ejes de trabajo en una cuenca, proporcionar la caracterización del territorio, conocer la disponibilidad y reservas de agua, su calidad y la implementación del plan de medidas. (Primer plan de gestión integrada de recursos hídricos de la Autoridad Nacional del Agua, 2014).

Morfometría de cuenca

Morfometría proviene del griego morphe que significa forma o figura y metría que significa medición. Se refiere al análisis cuantitativo de la forma, un concepto que abarca el tamaño y la forma.

La caracterización morfométrica de la cuenca la define (Fernandez, 2012) como un inventario detallado de los recursos y las condiciones biofísicas, socioeconómicas y ambientales de la cuenca y sus interrelaciones.

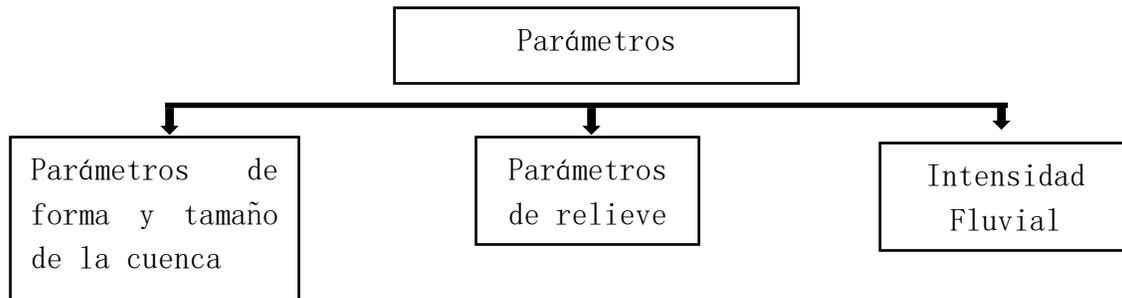
Cuando se habla de parámetros morfométricos de cuenca, se refiere a cuantificar la estructura física y territorial, con el fin de establecer las posibilidades y limitaciones de sus recursos naturales, pero también para identificar los problemas presentes y potenciales.

En Nicaragua la importancia de la morfometría de cuencas radica en la caracterización y gestión de los recursos hídricos, estos definen el comportamiento hidrológico, son los que integran por lo general los diagnósticos, estudios hidrológicos en la gestión de los recursos hídricos (ANA, 2017). En nuestro país es importante recalcar que no todas las cuencas delimitadas con metodología pfpsteter han sido caracterizadas, por tal razón Nicaragua no posee una descripción a detalle o específica de los territorios.

Los parámetros morfométricos se pueden desglosar en tres grandes grupos, cada uno define la fisiografía del territorio en estudio, por tal razón es que se presentan como primer grupo los parámetros de forma y tamaño, los cuales son los que proporcionan las dimensiones de la cuenca hidrográfica, así mismo los parámetros de relieve son los que están definidos por las

características orográficas, finalmente parametro de morfometria fluvial alude al comportamiento de la red de drenaje

A continuación se detallan los parámetros que se trabajaran en la presente investigación:



El Área (A): El área de una cuenca se define como el total de la superficie proyectada sobre un plano horizontal, que contribuye con el flujo superficial a un segmento del cauce de orden dado, incluyendo todos los tributarios de orden menor. La medición del área de una cuenca se hace usando un planimetro, malla de puntos y sistemas de información Geográfica. (Londoño Arango, 2001), citado por (Dolores Garay & Gabriel Agüero, 2018)

En resumen una cuenca hidrográfica constituye un espacio físico delimitado por la propia naturaleza y principalmente por los límites que imponen las zonas de escurrimiento de las aguas superficiales convergiendo hacia un mismo punto de desagüe o de cierre. (Dolores Garay & Gabriel Agüero, 2018)

El perímetro de la cuenca (P): es la longitud del parteaguas en proyección horizontal, es decir, el contorno de la superficie de la cuenca, se expresa en unidades de metros. (Huamán, 2015).

Razón de elongación: (Jardí, 1985) menciona que fue introducido por (Shumm, 1956) y es la relación entre el diámetro de un círculo que tenga la misma superficie de la cuenca y la longitud máxima de la cuenca (L_c). La variable L_m se define como la más grande dimensión de la cuenca a lo largo de una

línea recta trazada desde la desembocadura del cauce principal, hasta el límite extremo del parte aguas y de manera paralela al río principal.

$$Re = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{Lc}$$

Forma de la cuenca: Esta característica es importante pues se relaciona con el tiempo de concentración, el cual es el tiempo necesario, desde el inicio de la precipitación, para que toda la cuenca contribuya a la sección de la corriente en estudio, o, en otras palabras, el tiempo que toma el agua desde los límites más extremos de la cuenca hasta llegar a la salida de la misma. (Monsalve Sáenz, 1999, pág. 37)

Coefficiente de compacidad o índice de Gravelius: Es la relación entre el perímetro y el de una circunferencia, los resultados se basarán en la clasificación de Campos (1992). Cuanto más cercano este el índice a la unidad, la cuenca será más circular y por tanto más compacta y en la medida que aumenta, la cuenca adquiere una forma más oval

En resumen cuanto más irregular sea la cuenca mayor será su coeficiente de compacidad. Una cuenca circular posee el coeficiente mínimo, igual a 1. Hay mayor tendencia a las crecientes en la medida que este número sea próximo a la unidad. (Monsalve Sáenz, 1999, pág. 38)

Clase de forma	Índice de compacidad	Forma de la cuenca
Clase I	1.0 a 1.25	Casi redonda de oval redonda
Clase II	1.26 a 1.50	Ova-redonda a oval de oblonga
Clase III	1.51 a más de 2	Oval-oblonga a rectangular oblonga

Tabla 2: Forma de la cuenca según el coeficiente de compacidad.

Fuente: Campos 1992

El factor de forma según Horton (1945): Expresa la relación existente entre el área de la cuenca, y un cuadrado de la longitud máxima o longitud axial de la misma. Entendiéndose como Longitud axial una línea recta que une el punto más alto de la cuenca con el punto más bajo.

$$Hf = \frac{A}{La^2}$$

Longitud Axial: La Define (Huamán, 2015) como la distancia de una línea recta en proyección horizontal que va desde la salida de la cuenca hasta el parteaguas en su punto más alejado, esta línea es paralela al cauce principal. En cuanto a Monsalve Sáenz, 1999, en la pág. 39, plantea que el factor forma es la relación que existe entre el ancho medio y la longitud axial de la cuenca. La longitud axial de la cuenca se mide cuando se sigue el curso de agua más largo desde la desembocadura hasta la cabecera más distante en la cuenca.

El ancho medio se obtiene cuando se divide el área por la longitud axial de la cuenca.

Desnivel altitudinal: (Ramon, Asensio, & Blanquer, 2011) aluden que es el valor de la diferencia entre la cota más alta de la cuenca y la más baja.

$$DA = AM - Am$$

Pendiente promedio de la cuenca: Este parámetro controla en buena parte la velocidad con que se da la escorrentía superficial, por lo tanto, el tiempo que lleva el agua de la lluvia para concentrarse en los lechos fluviales que contribuyen a la red de drenaje de las cuencas (Monsalve Sáenz, 1999, pág. 40) *citado por* (Huamán, 2015).

La pendiente se define como la tasa de cambio de cada celda respecto de sus vecinas, se calculó en grados mediante un método típico basado en ventanas de 3x3 celdas, mediante el empleo de la extensión Spatial Analysis en el SIG ArcGIS 10.4.

Razón de relieve: Establece la relación entre el desnivel de la cuenca y la longitud máxima de la misma. (Romero & López, 1987).

$$Rr = \frac{DA}{Lc}$$

Curva Hipsométrica: La curva hipsométrica representa el área drenada variando con la altura de la superficie de la cuenca. (Huamán, 2015) refiere que fue sugerida por (Langbein, 1947) para proporcionar información

sintetizada sobre la altitud de la cuenca, que representa gráficamente la distribución de la cuenca y las vertiente por tramos de altura.

Monsalve Sáenz , 1999, en la pág. 44, explica que la curva Hipsométrica es la representación gráfica del relieve de una cuenca. Representa el estudio de la variación de la elevación de varios terrenos de la cuenca con referencia al nivel medio del mar. Esta variación puede ser indicada por medio de un gráfico que muestre el porcentaje de área de drenaje que existe por encima o por debajo de varias elevaciones.

Relacion de relieve: (Coronato, Gil, & Quiroga, 2014) Relación de relieve (R) planteado por Melton (1957) que se obtiene de la relación entre el desnivel absoluto y el perímetro de la cuenca.

$$R = \frac{DA}{P^2}$$

Pendiente promedio del cauce principal: Se deduce a partir del desnivel topográfico sobre el cauce principal y la longitud del mismo, se expresa en porcentajes. (Huamán, 2015). La velocidad de escurrimiento de las corrientes de agua dependen de la pendiente de sus canales fluviales. A mayor pendiente mayor velocidad.

Razon de Bifurcación según (Horton, 1945): Se determina como el cociente entre el número de cauces de cualquier orden (N_i) y el numero de cauces del siguiente orden superior. Por lo general se encuentran valores entre 3.0 a 5.0 para cuencas en las cuales las estructuras geologicas no distorcian el drenaje, (Lux, 2016).

$$R_b = \frac{N_u}{N_u + 1}$$

Razón de longitud: Representa la proporción que existe entre la longitud media de los segmentos de un orden dado y los correspondientes a los del orden superior (Quiroga, Gill, & Coronato, 2014). Los valores más bajos del índice indican una mayor energía concentrada en el cauce principal y los más altos indican una paulatina concentración de caudal.

$$RL = \frac{LU}{LU - 1}$$

Sinuosidad hidraulica: (Quiroga, Gill, & Coronato, 2014) Menciona que relaciona la longitud del cauce principal, la longitud de su valle en línea recta (Schumm, 1956). Este refleja la forma del canal en base a la clasificación de Morisawa (1985).

Es la relación entre la longitud del río principal medida a lo largo de su cauce y la longitud del valle del río principal medida en la línea curva o recta. Este parámetro da la medida de la velocidad de la escorrentía del agua a lo largo de la corriente. Un valor de “S” menor o igual a 1.25 indica una baja sinuosidad. Se define, entonces, como un río con alineamiento “recto” (Monsalve Sáenz , 1999).

$$SH = l/Ld$$

Orden de ríos de Strahler(1952): Según (Ordoñez, 2011) este sistema es usado universalmente, en el presente esquema dice que un mismo río puede tener segmentos de distintos orden a lo largo de su curso, en función de los afluentes que llegan en cada tramo.

El orden de la corriente refleja el grado de ramificación o bifurcación dentro de la cuenca. (Monsalve Sáenz , 1999)

- Corrientes de primer orden: Pequeños canales que no tienen tributarios
- Corrientes de segundo orden: cuando dos corrientes de primer orden se unen.
- Corrientes de tercer orden: Cuando dos corrientes de segundo orden se unen
- Corrientes de n+1: cuando dos corrientes de orden n se unen.

Densidad de drenaje: (Gonzales , 2004) la define como una propiedad fundamental de una cuenca, que controla la eficiencia del drenaje y señala el estado erosivo de la misma . (Senciales, 1999). Se considera que es la relación entre la longitud total de los cursos de la cuenca y su área total. La densidad de drenaje usualmente toma valores entre 0.5 km/km² para cuencas con drenaje pobre hasta 3.5 km/km² para cuencas excepcionalmente bien drenadas. (Monsalve Sáenz , 1999).

$$Dd = \frac{L}{A}$$

Indice de frecuencia: Es el cociente entre el número de cauces de primer orden con el área de la cuenca. (Coronato, Gil, & Quiroga, 2014).

$$If = \frac{N1}{A}$$

Coefficiente de torrencialidad: Se determina a partir de la relación entre el número total de cursos de primer orden (Nc1) y el área total de la cuenca. Multiplica la densidad de drenaje por el número de cursos de orden 1, en relación con la superficie. (Camino, y otros, 2018).

$$Ct = Dd \frac{N1}{A}$$

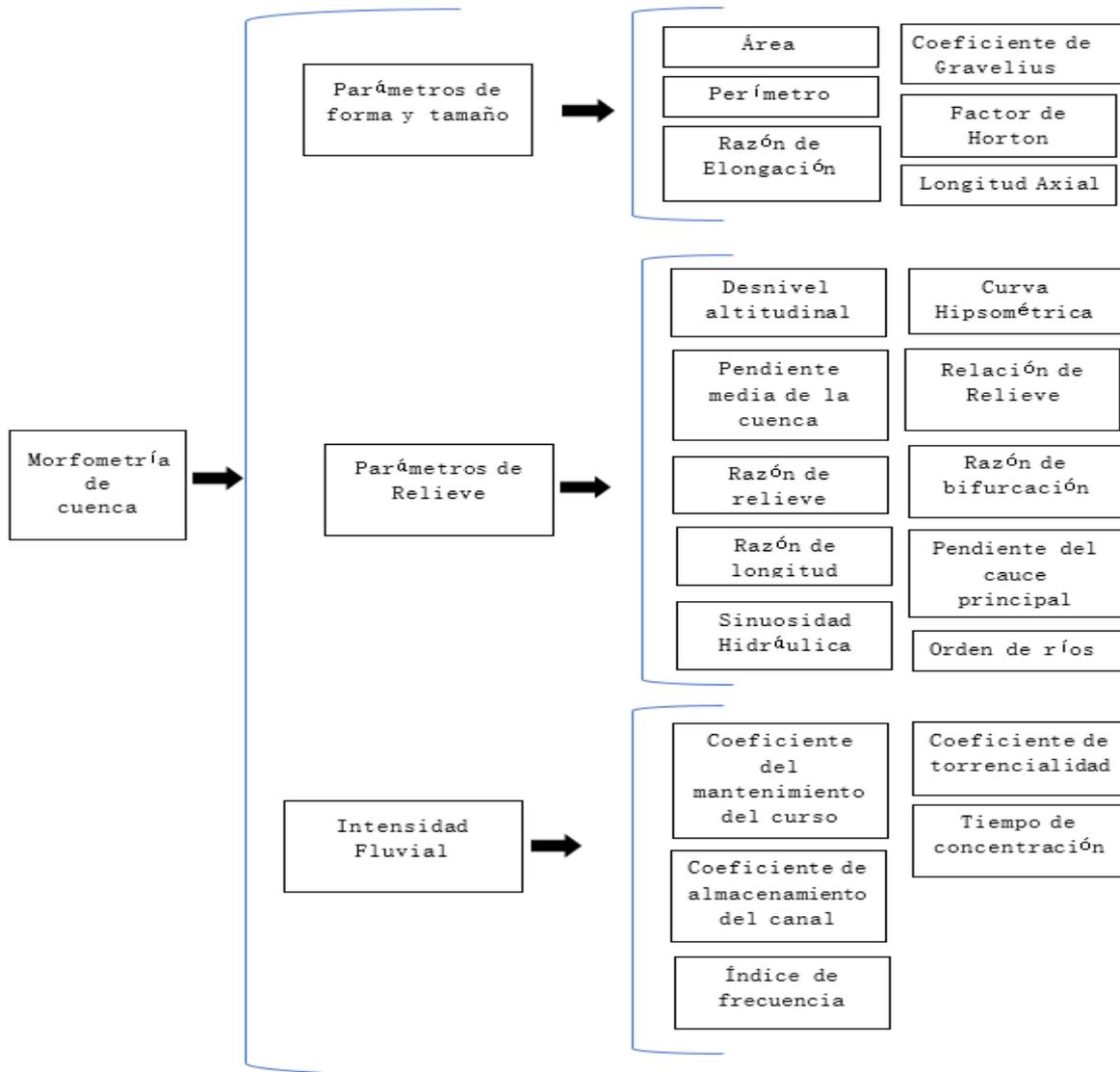
Coefficiente de almacenamiento del canal: Es el cociente entre la razón de longitud y la razón de bifurcación. Permite evaluar la capacidad de almacenamiento de la red de drenaje e incide en la modulación de la intensidad del pico de crecida a medida que esta pasa por los diferentes puntos del canal. (Coronato, Gil, & Quiroga, 2014).

$$Ca = \frac{Rl}{Rb}$$

Tiempo de concentración: Es el tiempo que tarda una gota de lluvia en moverse desde la parte más lejana de la cuenca hasta el desagüe de la misma, ocurre la máxima concentración de agua en el cauce, puesto que llegan gotas de lluvia de todos los puntos de la cuenca. (Huamán, 2015).

Tc = Formula del PHCA Aplicado a Nicaragua

En la siguiente esquema se resumen los parametros



Balance hídrico

El establecimiento del balance hídrico y su cuantificación rigurosa, es uno de los aspectos mas importantes en cualquier trabajo de Hidrología. Para elaborarlo es imprescindible aclarar el modelo conceptual sobre el funcionamiento del sistema.

El concepto de Balance Hídrico, que ampliamente se usa en Hidrología, puede causar alguna confusión al suponer que la precipitación es igual a la suma de la escorrentía y la evaporación; ya que en muchos casos sucede que las cuencas no tienen un ciclo exclusivo de su entorno, es por ello que el término **Ciclo Hidrológico** tome el sentido de distribución y movimiento del agua en diferentes fases, bajo y sobre la superficie de la tierra. (Ordoñez, Cartilla técnica: Balance Hídrico Superficial, 2011).

El ciclo del agua implica un cambio continuo de grandes masas de agua de un estado físico a otro y su transporte de un lugar a otro. Al volumen de agua que se desplaza de un depósito a otro a lo largo de un año se llama balance hídrico.

(Aldana, 2016) menciona que el balance hídrico consiste en aplicar el principio de conservación de la masa, aunque en este caso se calcula el volumen, este principio se aplica a una región definida por unas determinadas condiciones de contorno y para determinado periodo de tiempo. Se establece la diferencia entre las entradas y las salidas que se ha definido, es igual a la variación del almacenamiento, es decir debe existir una igualdad entre las entradas menos las salidas y las variaciones de agua almacenada en el sistema, positivo o negativo.

El balance hídrico realiza una estimación del contenido del agua disponible de una región considerando el tipo de suelo, la precipitación, la demanda potencial de agua de la atmósfera y la transpiración de la vegetación. Para esto es necesario conocer los procesos que siguen el agua en el suelo y las características fisiográficas, edafológicas y biológicas del lugar, tener un buen registro de información y en particular, información actualizada de la red de estaciones y de los números de años de sus registros. (Torrez & Morales, 2015)

Entradas – Salidas = Variación del almacenamiento

En Nicaragua la implementación del balance hídrico radica en darle científicidad a los estudios hidrogeológicos y Planes de Gestión de Cuencas, para que este sea capaz de dar a conocer la oferta hídrica, para planificar y abastecer una demanda que requiera de los recursos hídricos. (Montenegro, 2014).

Parametros que intervienen en el calculo del Balance Hídrico

Evaporacion: Es el resultado del proceso físico, por el cual el agua cambia de estado líquido a gaseoso, retornando, directamente a la atmosfera en forma de vapor.

Transpiración: Es el resultado del proceso físico-biológico, por el cual, el agua cambia de estado líquido a gaseoso, a través del metabolismo de las plantas, y pasa a la atmósfera.

Evapotranspiración: Es el resultado del proceso por el cual, el agua cambia de estado líquido a gaseoso, y directamente, o a través de las plantas, vuelve a la atmósfera en forma de vapor, es decir, la evapotranspiración no es un fenómeno distinto a lo descritos en lo anterior, sino la suma de evaporación y transpiración, y el término, sólo es aplicable correctamente a una determinada área de terreno cubierta por vegetación.

Condensación: Se denomina al proceso en el cual se produce el cambio de estado de la materia que se encuentra en estado gaseoso y pasa a estado líquido. El proceso de condensación suele tener lugar cuando un gas es enfriado hasta su punto de rocío, sin embargo este punto también puede ser alcanzado variando la presión.

Precipitación: Es el conjunto de las aguas meteóricas recogidas sobre la superficie terrestre. Esto incluye básicamente: lluvia, nieve y granizo. (también rocío y escarcha que en algunas regiones constituyen una parte pequeña pero apreciable de la presión total).

Intercepción: Proceso por el cual la precipitación es detenida y retenida por la vegetación y estructuras, precipitación que se pierde por evaporación y transpiración antes de penetrar en el suelo

Almacenamiento: Se define como el almacenamiento de agua que existe en las depresiones de terreno.

Escorrentía: es la circulación libre del agua de lluvia sobre las superficies y se concentra en los cauces. La escorrentía superficial está en función de las características topográficas, geológicas, climáticas y de vegetación de la cuenca y está íntimamente ligada a la relación entre aguas superficiales y subterráneas de la cuenca

Infiltración: La infiltración se define como el proceso por el cual el agua circula a través del perfil del suelo (desde la superficie terrestre hacia abajo) reponiendo la humedad del suelo, recargando los acuíferos y manteniendo el caudal de los ríos durante los periodos de estiaje. (Ruiz & Martínez, 2018).

En el proceso de infiltración se pueden distinguir tres fases:

- a) Intercambio: Se presenta en la parte superior del suelo, donde el agua puede retornar a la atmósfera por medio de la evaporación debido al movimiento capilar o por medio de la transpiración de las plantas.
- b) Transmisión: Ocurre cuando la acción de la gravedad supera a la de la capilaridad y obliga al agua a deslizarse verticalmente hasta encontrar una capa impermeable.
- c) Circulación: Se presenta cuando el agua se acumula en el subsuelo debido a la presencia de una capa impermeable y empieza a circular por la acción de la gravedad, obedeciendo las leyes del escurrimiento subterráneo.

Percolación: Se refiere al paso lento de fluidos a través de los materiales porosos. Para (Ruiz & Martínez, 2018) es el movimiento del agua dentro del suelo. La percolación es la transferencia de agua hacia estratos más profundos desde los cuales la vegetación no puede extraer agua. La percolación profunda eventualmente llega al nivel freático aumentando el volumen del agua subterránea. En los balances hídricos diarios, la percolación profunda se considera como aquella cantidad de agua que está por encima de la capacidad de campo.

Filtración: Movimientos y paso de agua alrededor de estructuras geológicas, En el contexto del ciclo del agua se describen la filtración como el movimiento del agua a través del suelo y sus capas, por gravedad y fuerzas capilares.

La ecuación del balance hídrico subterráneo se basa en las entradas y salidas que determinan la disponibilidad del almacenamiento.

$$(Rp + Qc + Rr) - (B + Qr + Qp + Esub + Etp + Qa) = \Delta S$$

Rp: Recarga directa por precipitación; agua que potencialmente recarga al acuífero.

Qc: Infiltración de las aguas de corrientes superficiales y recarga artificial.

Rr: Recarga por retorno; agua que retorna al acuífero por infiltración en zonas de riego.

B: Extracción por bombeo; se refiere a las extracciones de agua del acuífero por acción del bombeo en pozos.

Qr: Flujo base; es el agua que se descarga del acuífero a través del lecho de los ríos.

Qp: Percolación profunda; es el flujo que por acción de la gravedad desciende a las capas más profundas del acuífero.

Qa: Salidas o entradas de aguas de otros acuíferos; es el agua que sale e entra por los límites de acuífero

Esub: Escorrentía subterránea; es el agua que fluye a través del acuífero.

ETP: Perdida por Evapotranspiración.

ΔS : Capacidad utilizable de agua en el acuífero.

Para la explicación de la disponibilidad hídrica se hará uso del siguiente esquema, que se basa en representar de forma gráfica el balance hídrico en la Cuenca en estudio, es decir entender cuánta agua cae por precipitación, cuánto se mueve por escurrimiento subterráneo, el agua se evapora y se

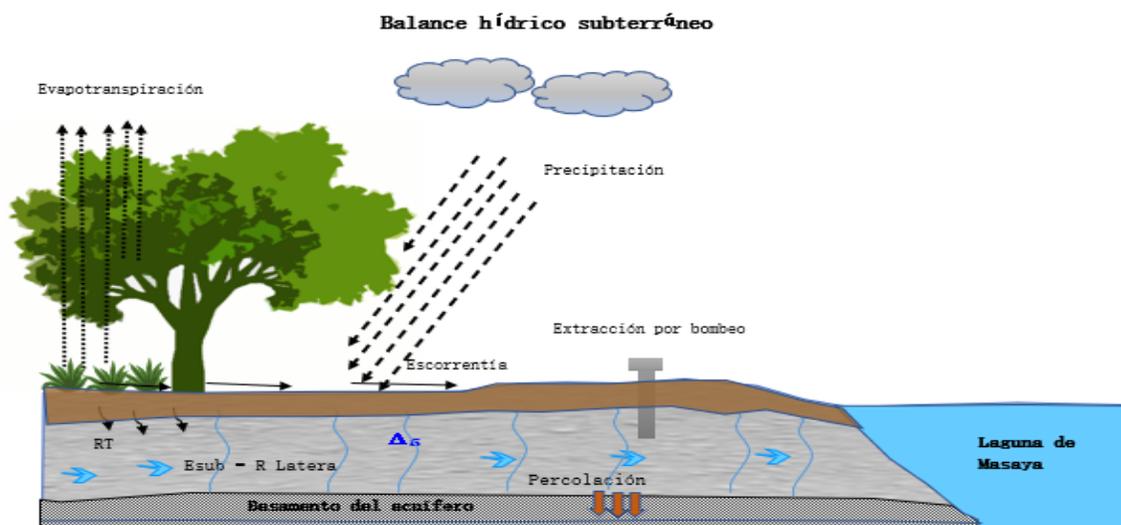


Ilustración 3: Esquema del proceso del Balance Hídrico. Elaborado a partir del esquema GWP

transpira y el restante que se infiltra al acuífero y de esta manera comprender los resultados

Gestión integral del recurso hídrico

La gestión integral de recursos hídricos (GIRSH), se define como un proceso que promueve, en el ámbito de las cuencas hidrográficas, el manejo y desarrollo coordinado del uso y aprovechamiento multisectorial del agua y sus bienes naturales asociados a esta, orientado a lograr el desarrollo sostenible del país sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas. (Autoridad Nacional del Agua del Perú, 2020).

Partiendo de la gestión integral del recurso hídrico, se puede hablar de disponibilidad hídrica, lo cual la Autoridad Nacional del agua (2014), define como el conocimiento del estado de las aguas dentro de una cuenca y que este parte del análisis del ciclo hidrológico del agua dentro de ella, conocimiento que es vital en la determinación de la cantidad y su relación con la cantidad de las mismas, en función de todas las actividades tanto naturales como las realizadas por el ser humano.

En Nicaragua los planes de gestión integral de los recursos hídricos se están convirtiendo en una estrategia adecuada para abordar los problemas socios ambientales de las cuencas hidrográficas, en donde se encuentran inmersas las comunidades, en nuestro país las instituciones a la cabeza son: La Autoridad Nacional del Agua, Ministerio del ambiente y recursos naturales, entre otras.

Los planes han servido para la restauración ecológica de las cuencas hidrográficas, participa la población, las instituciones locales y regionales, a través de la gestión del recurso hídrico, se pretende asegurar el vital líquido a la población, y el combate al cambio climático.

DISEÑO METODOLÓGICO

Paradigma de investigación

Se define que el paradigma de la presente investigación es positivista, (Ricoy, 2006) se utiliza medios cuantitativos, empíricos, analíticos, racionalistas, sistemático gerencial y científico; por tanto, el paradigma positivista sustentará la presente investigación comprobando la hipótesis, por medios de expresiones numérica y estadísticas, determinando las variables de análisis para tener la concepción de la realidad del fenómeno en estudio.

Tipo de estudio

Un estudio descriptivo busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno, sometido a un determinado análisis, pretenden medir información de manera independiente o conjunta, conceptos o variables, los estudios descriptivos son útiles para mostrar con precisión los ángulos o dimensiones de un fenómeno, suceso, comunidad, contexto o situación. (Sampieri, 2014)

La investigación es de tipo **descriptiva** puesto que busca caracterizar hidrográficamente la cuenca, identificando los elementos biofísicos del territorio y su estado actual, además determinando los parámetros morfométricos y su análisis en relación con disponibilidad del recurso hídrico de la cuenca 69-95259905.

Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación **es mixto**, es decir la unión del enfoque cualitativo y cuantitativo. (Sampieri, 2014) menciona que la implementación de este enfoque radica en llevar a cabo observaciones y evaluaciones del fenómeno en estudio, establecen suposiciones o ideas como producto de la observación, a su vez prueban y demuestran el grado de las suposiciones cimentado en mediciones de variables y fundamentado en el respectivo análisis.

Universo y muestra

Universo

El universo de estudio es la Unidad Hidrológica 69-95259905. Previamente se realizó la delimitación del área subiendo a un nivel superior (nivel 6 a nivel 7) la delimitación, implementando Pfafstetter. Ver anexo 1.

Muestra

En la realización de balance hídrico:

- Se realizaron 2 pruebas de infiltración distribuida en la parte alta y baja de la cuenca, teniendo en cuenta la textura del suelo, en este caso en el territorio sobresale una única textura (suelo franco), para lo cual se realizó prueba de infiltración en la parte alta y baja de la cuenca, con el fin de obtener el valor promedio de infiltración de la cuenca.

El tipo de muestreo es *no probabilístico, desde la visión cuantitativa su utilidad* radica para un diseño de estudio que no requiera tanto una “representatividad” de elementos de una población, sino una cuidadosa y controlada elección de casos con ciertas características específicas. (Sampieri, 2014).

Características de las muestras de infiltración (PI):

N°	Coordenadas		Vegetación	Pendiente	Textura al tacto en la mano
	X	Y			
PI 1	600102	1321915	Musáceas y árboles frutales	Pendiente plana aproximadamente de 0 a 10 %	Franco y rastros de materia orgánica
PI 2	60309	1320157	Área en barbecho	10 a 15 %, sobre ladera suave	Franco, con contenido de granos gruesos

- Estaciones meteorológicas proporcionadas por INETER del área de Meteorología, con una serie de 35 años de registro.

Estación - Código	X Coord.	Y Coord.
Masaya - 69115	5874439	1324500
Campos Azules - 69129	592597	1315606

- Toma de 33 puntos de control sobre los distintos usos de suelo en la parte alta, media y baja de la cuenca, con el objetivo de actualizar el mapa de uso de suelo al año 2018.

Métodos, técnicas y herramientas para la recolección de los datos.

Recopilación de información

Para el desarrollo del objetivo *caracterización física-Geográfica* se visitó las instalaciones del Instituto de Estudios Territoriales (INETER), a través de las bases de datos cartográficas facilitadas en formato shp, se procedió a elaborar mapas de ubicación, geología, geomorfología, uso de suelo, taxonomía, geomorfología, al igual se visitó los centros de documentación de la alcaldía de Masaya e INETER y finalmente se procedió a realizar la respectiva redacción.

Durante el objetivo de *parámetros morfométricos*, se recopiló estudios realizados y se revisó la metodología, se realizaron fichas de resumen que se utilizaron durante la redacción de resultados.

En el objetivo de *balance Hídrico*, se recopilaron en formato de Excel, datos de precipitación, temperatura máxima, media y mínima, proporcionados por INETER, se retomó la metodología del balance de suelo de (Schosinsky G. , 2006), donde se retoman elementos del primer objetivo como el uso de suelo, además del resultado de las pruebas de infiltración, así como parámetros hidráulicos de la porción del acuífero de la cuenca

Con respecto al último objetivo *propuesta de alternativas de gestión del recurso hídrico en la cuenca* se tomaron los resultados generales la identificación del estado actual de los elementos biofísicos de la cuenca, así como la disponibilidad de agua de la misma, partiendo de este punto,

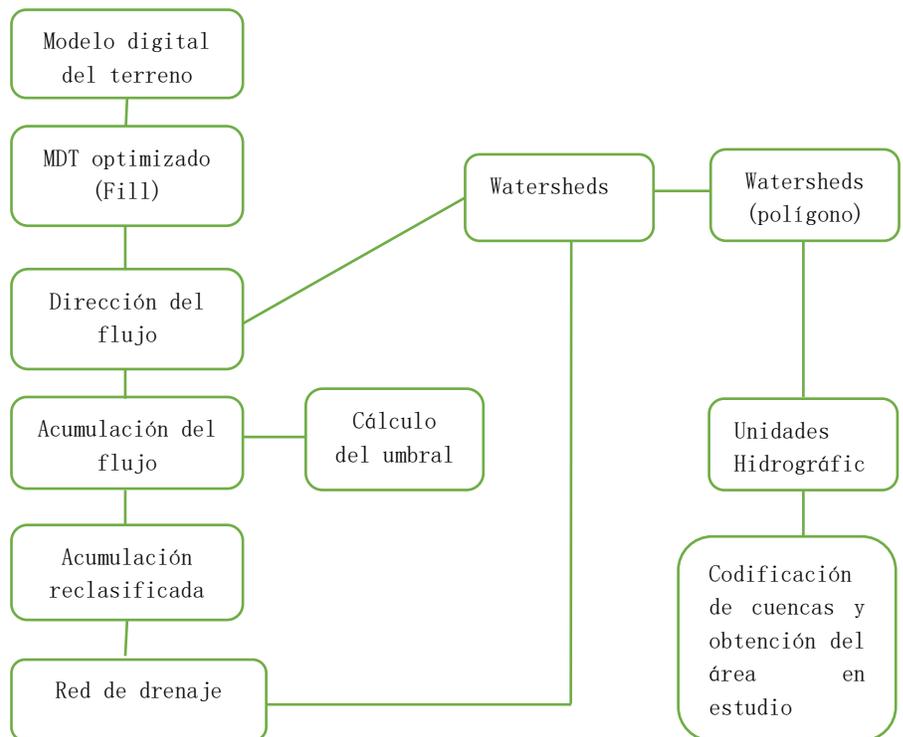
se procedió a identificar las partes de la cuenca que más fuesen susceptibles a erosión y propiciar una menor recarga, el criterio se fundamenta en los resultados de los anteriores objetivos de la presente investigación.

Procedimientos para la recolección de Datos e Información

Características físico geográficas de la cuenca (capítulo 1)

Delimitación y ubicación del área en estudio.

En el esquema presentado a la derecha se resume el proceso en la delimitación del área en estudio; para ello se tomó como base la cartografía de INETER, específicamente la subcuenca Laguna de Masaya, cartografía nacional de cuencas delimitadas a nivel 6, utilizando la metodología Pfafstetter se Delimitó la cuenca a nivel 7(ver anexo 1),



esto para obtener el área de estudio de la presente investigación; los insumos necesarios fueron: Modelo de elevación digital con resolución espacial de 10 metros, este mismo proporcionado por INETER al igual que hojas topográficas.

Textura del suelo y clasificación taxonómica

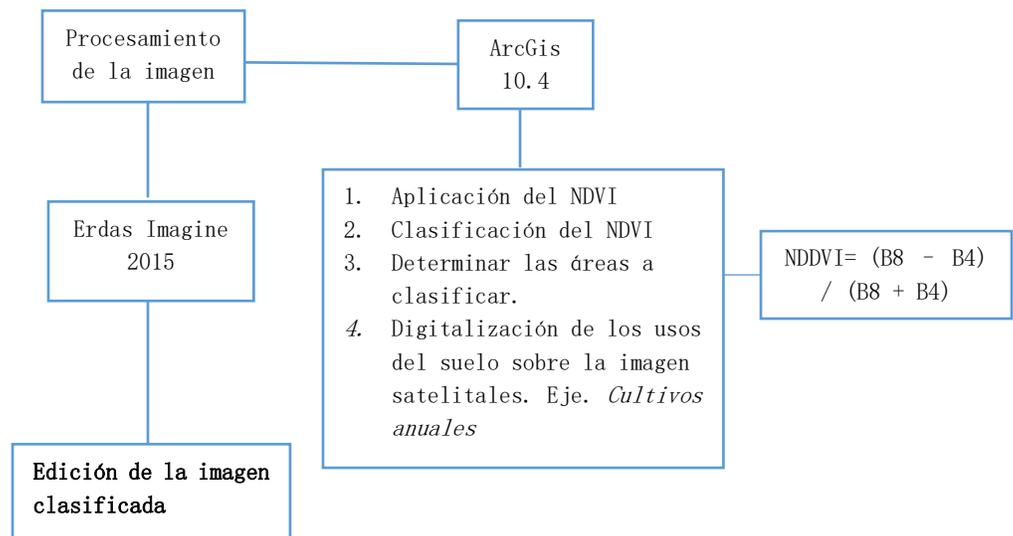
Para definir las características del tipo de suelo de la cuenca, se procedió a extraer información de cartografía nacional de clasificación taxonómica de suelo a escala 1: 750,000, como también de textura, que proporciona datos de serie de suelos a escala 1: 20,000, todo proporcionados por INETER,

la edición de los mapas se realizó en el editor de mapas del software ArcGis 10.4 para su análisis y presentación en el documento.

Uso de suelo

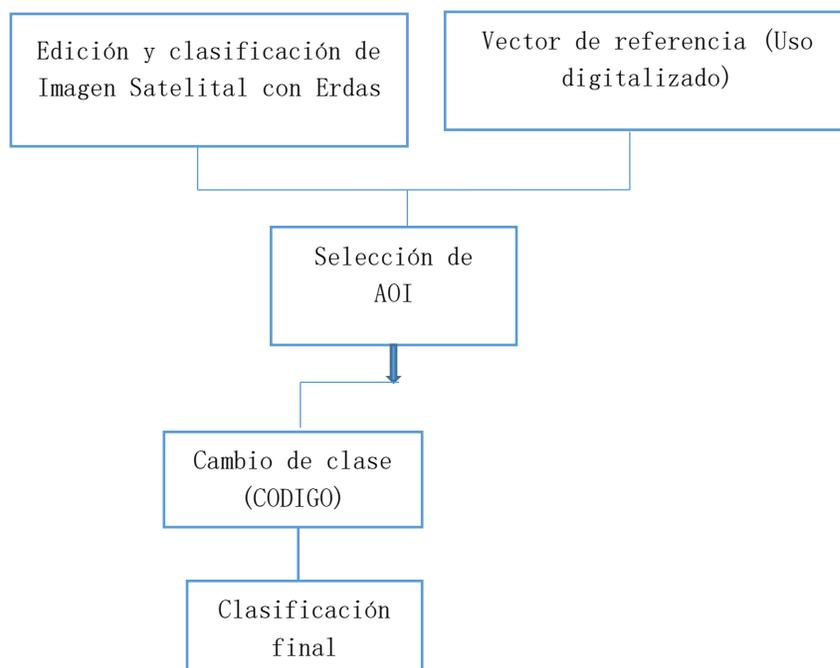
Para la generación de información de uso de suelo de la microcuenca se procedió a realizar una clasificación supervisada, basada en la digitalización de clases con comprobación de campo, se utilizaron imágenes satelitales Sentinel 2, con resolución espacial a 10 metros del año 2018, descargadas de la plataforma Copernicus Services Data Hub de la Agencia Espacial Europea (ESA).

Se utilizó el software ArcGis y Erdas Imagine 2015, para el procesamiento de la imagen de satélite, la secuencia de actividades se detalla en la primera fase del siguiente flujo de trabajo:



La aplicación del Índice de la vegetación de la diferencia normalizada (NDVI) fue un indicador para determinar las áreas con cobertura de bosque en la cuenca, la literatura manifiesta que una mayor reflectancia en el infrarrojo cercano corresponde a una vegetación más densa y saludable. (Geo University, 2019).

La edición de los componentes para elaboración del mapa de uso de suelo se llevó a cabo en el software Erdas Imagine 2015, donde la metodología se describe en el flujo de trabajo realizado:



La definición de las clases de uso de suelo fue determinada en Erdas Imagine, ya que permite la distribución de las clases; con el análisis de la imagen se determinaron los usos.

Se identificarán los patrones de entrenamiento (diferente uso del suelo), en los pixeles de la imagen satelital, los cuales tengan las características que se asemejen a la realidad de los patrones de entrenamientos identificados en campo, para finalmente adquirir el mapa de uso de suelo de la cuenca.

Validación de la clasificación del uso del suelo de la cuenca:

Para la validación de la clasificación supervisada de los usos del suelo de la cuenca, se tomaron puntos en campo, correspondientes a los diferentes patrones de entrenamiento (usos de suelo) que presenta la cuenca, como lo son: área urbana, bosque, cultivos y caminos, terrenos en descanso, asociación de cítricos con musáceas.

Uso identificado	Clase	Coordenadas	
		X	Y

Musáceas con árboles frutales	Musáceas con árboles frutales	599949.9	1321409
plantación de árbol de aceituno	Bosque	599879.5	1321368
Cítrico	Bosque	599755.8	1321544
Cítrico	Bosque	599817.3	1321291
parcela de cultivo	Tierras de cultivo	599858.3	1321470
Bambú	Bosque	600076.7	1317651
Bambú	Bosque	600444.6	1318117
Bambú	Bosque	600120.8	1321464
Bambú	Bosque	600297.7	1320317
Bambú	Bosque	599403.0	1320474
Bambú	Bosque	599636.2	1320636
Cálala	Tierra de cultivo	600449.7	1322100
caserío	Área Urbana	600149.0	1322549
Cítrico con árboles frutales	Tierra de cultivo	600033.0	1322250
Mango	Bosque	599666.3	1320663
Mango	Bosque	600315.5	1321821
Plátanos	Musáceas	600295.0	1321713
Cítrico	Bosque	599986.7	1319061
Musáceas con árboles frutales	Área de cultivo	600149.7	1321306
Cítrico	Bosque	600057.4	1321210
Mango	Bosque	600280.5	1320146
Mango	Bosque	598726.9	1320701
Mango	Bosque	600234.5	1320215
Mango	Bosque	600345.8	1318180
Urbano	Urbano	598368.5	1324173
carretera	Suelo desnudo	598874.7	1321719
Vertedero	Vertedero	599467.2	1321706
Vertedero		600034.2	1318230
Mango	Bosque	600114.1	1321066
Palma	Bosque de Palma	600059.7	1319640

Palma	Bosque de Palma	600030.8	1319574
Palma	Bosque de Palma	600004.4	1319706
Mango	Bosque	600259.9	1320745

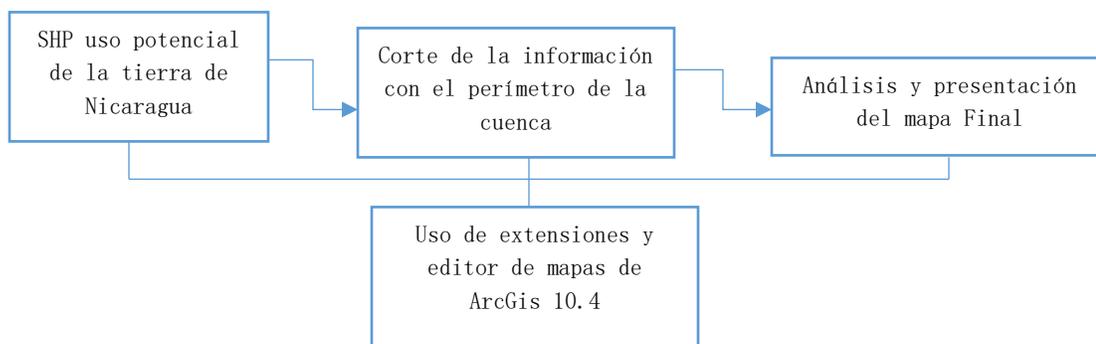
Tabla 3: puntos de control de los diferentes usos de suelo encontrado en la cuenca.
Elaboración: Propia

El análisis se basó en una correlación visual entre puntos de muestro, clasificación de usos del suelo y la imagen satelital.

La edición final del mapa se realizó en el editor de mapas de ArcGis 10.4.

Uso potencial de suelo

La información del uso potencial de la cuenca se obtuvo a partir de la cartografía nacional de uso potencial del suelo a escala 1:750,000, la extracción de los datos se ejecutó con las extensiones de análisis de datos espacial de ArcGis, posterior su edición y presentación para el análisis en el territorio en estudio.



Relieve-Pendiente

Para obtener el mapa de pendientes de la cuenca se necesitaron una serie de insumos con el fin de crear el modelo digital de elevación, este fue creado a partir de curvas de nivel de hojas topográficas, digitalización de puntos relevantes de la hoja topográfica, así como digitalización de puntos sobre los cauces principales de la red de drenaje; el método de interpolación aplicado fue *Topo to Raster*.

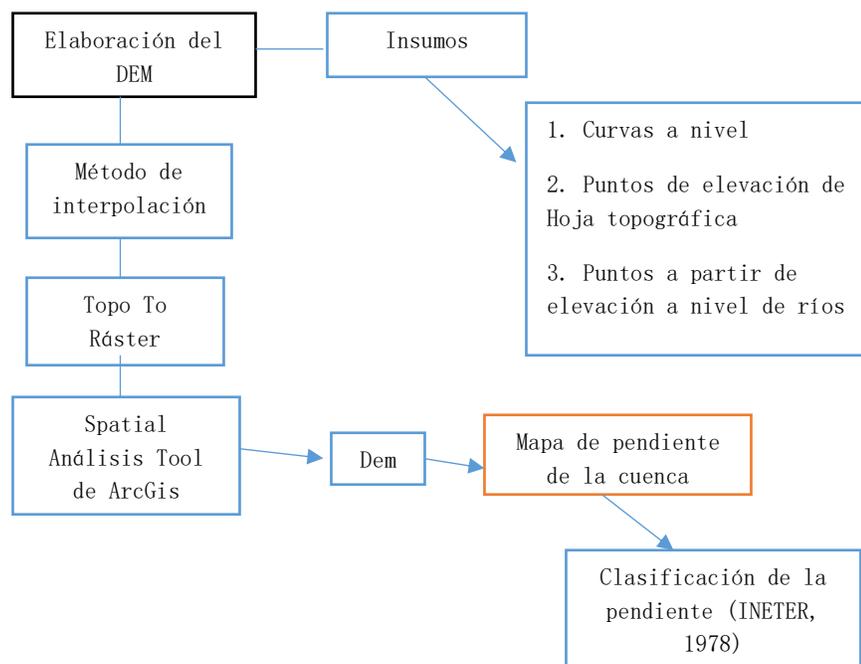
La herramienta es un método de interpolación diseñado específicamente para crear modelos digitales de elevación hidrológicamente correctos, aprovecha los tipos de datos de entrada comúnmente disponibles y las características conocidas de las superficies de elevación. Mayor documentación en (ArcGis For Desktop, 2020).

La extensión utilizada para pendiente fue la del software ArcGis; Spatial Analysis, el dato de entrada parte del modelo de elevación digital, donde el algoritmo determina la tasa máxima de cambio del valor de celda a sus vecinas, básicamente, el cambio máximo en la elevación sobre la distancia entre celda y sus ocho vecinas identifica el descenso cuesta abajo más empinado desde la celda.

El resultado del algoritmo será un ráster que puede ser calculado en grados o porcentaje, cuando se tenga ángulos de pendientes de 45 grados, el porcentaje de pendiente equivale a 100, en todo caso para efectos de este trabajo la pendiente se determinó en porcentaje.

El método utilizado para clasificar la pendiente fue el diseñado por Nicaragua, componente que sirvió para interpretar el mapa de suelo a escala 1: 20 000. (INETER, 1978).

Flujo de trabajo en la determinación de la pendiente de la cuenca:



Geología.

El reconocimiento de la Geología regional tomó como base la información de cartografía nacional del INETER, donde se muestran las formaciones

geológicas de las cuales se compone Nicaragua, la descripción y características de las formaciones se hizo en base al documento de Fenzl, Norbet (1988), que trata de la Geografía de Nicaragua y abarca el contexto geológico.

Se determinó la Geología local a través de 2 fases:

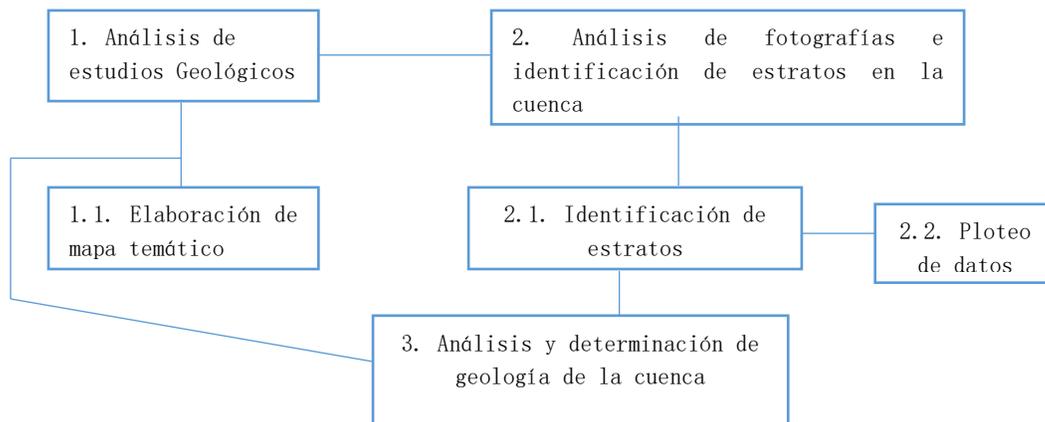
1. Identificación de estudios realizados: En áreas cercanas a la cuenca de estudio, dichos documentos fueron consultados en el Centro de documentación del INETER, cada informe brindó información de las trincheras de exploración y reconocimiento geológico, la cual describía la lito estratigrafía encontrada, en base a las formaciones geológicas regionales; se tomó de los documentos las coordenadas geográficas de la ubicación de las trincheras, así como la descripción del perfil lito estratigráfico encontrado.

Se analizaron un total de 6 estudios geológicos locales, estos fueron incorporados en un mapa para analizar su incidencia en la cuenca.

1. Levantamiento de información en campo: Se fotografiaron y se plotearon sitios de muestreo y reconocimiento geológico, en donde se pudiera observar en la mayor medida posible los estratos de escarpe o trinchera.

Los datos recopilados por cada sitio fueron, medición total del estrato, identificación de material encontrado. Con la ayuda de un especialista del área de Geología del INETER se determinaron los materiales o estratos, analizando las fotografías tomadas en campo, tomando este resultado y el análisis de los estudios locales cercanos se determinaron las características geológicas de la cuenca.

Flujo de trabajo para determinar la geología.



Geomorfología

La caracterización de la Geomorfología consistió en identificar a nivel nacional en que formación se encuentra inmersa la microcuenca, por medio del estudio realizado por Fenzl, Norbet (1988), el cual realizó una recopilación de información categorizando las estructuras geomorfológicas a nivel nacional.

Para determinar las formaciones geomorfológicas en la cuenca se aplicó el **Índice de Posición Topográfica** o TPI (Topographic Position **Índice**), permite describir aspectos morfológicos del territorio. El índice utiliza el modelo digital de elevación, discriminando las zonas llanas, zonas que presentan grados de pendientes, crestas de montaña o por el contrario son zonas de valles. (Matellanes, 2017).

El TPI compara la elevación de cada celda en un MDE con un valor promedio de elevación de un área específica adyacente a dicha celda. (Weiss, 2001). Los valores de TPI positivos indican áreas o regiones que son más altas que sus inmediaciones (por ejemplo, lomas, serranías), mientras que los valores negativos representan áreas más bajas que sus espacios circundantes (por ejemplo, valles, bajos) (Weiss, 2001). Los valores próximos a 0 señalan áreas planas, donde el valor de la pendiente es también cercano a 0, o bien áreas de pendiente constante, aunque con valores de pendiente significativamente mayor a 0.

Se empleó la extensión Topographic Position Index (TPI) desarrollada por (Jenness, 2006), se procedió a descargar de la web para anexar a la caja de herramienta principal de las extensiones de ArcGis 10.4.

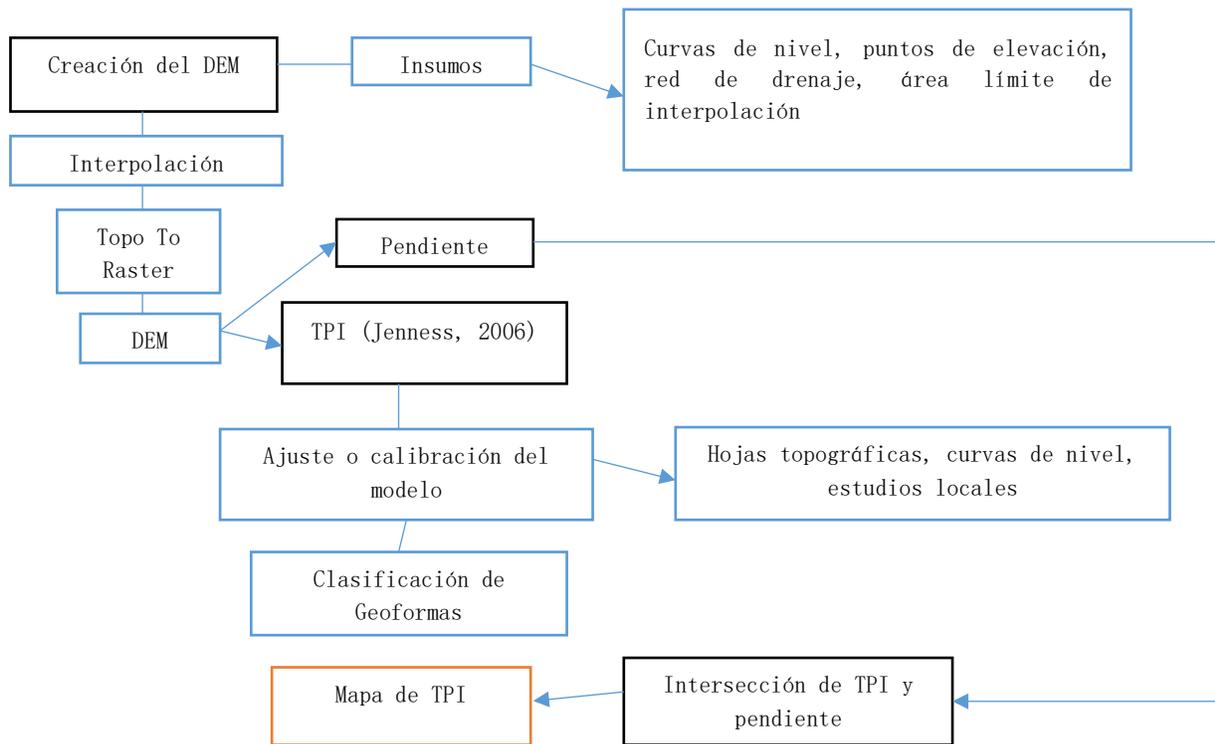
Los métodos de clasificación automatizada de las formas del terreno pueden ser agrupados en clasificaciones supervisadas y no supervisadas (Ardiansyah, Echigo, Yokoyama, & Yoshida, 2006). En este trabajo se aplicó el primer grupo, que requiere de un conocimiento previo del área estudiada (Genchi, Carbone, Piccolo, & M.E, 2011), en este caso se utilizaron hojas topográficas, pendiente del terreno, estudios locales o cercanos al área de estudio.

CRITERIO	CLASE
1	Planicie
2	Valles en V
3	Lomas

Tabla 4: Tabla Clasificación tomada de (Genchi, Carbone, Piccolo, & M.E, 2011).

Los insumos necesarios se basaron en los elementos topográficos de la zona en estudio, se creó el Modelo digital de elevación con resolución de pixel de 5 metros, basado en el método de interpolación Topo To Ráster puesto que se ajusta a análisis hidrológicos; el ajuste del modelo de TPI se basó en la clasificación y el análisis de las geo formas determinadas, la pendiente fue otra herramienta de soporte, ya que se comprobó el porcentaje de pendiente que abarca cada estructura geomorfológica.

Flujo de trabajo para determinar el TPI (Índice de posición topográfica).



Basado en los resultados de la interpretación se elaboró el mapa de formaciones geomorfológicas de la cuenca, la edición del mapa se elaboró en el editor de mapas de ArcGis.

Hidrología superficial

En este acápite se realizó un inventario de las fuentes de agua superficial, tomando como referencia las hojas topográficas, donde cartográficamente se muestra los diferentes cursos de agua (Ríos, quebradas).

Parámetros morfométricos de la cuenca (capítulo 2)

El cálculo de los parámetros morfométricos sirvió para conocer la fisiografía de la cuenca, que son importantes para analizar el comportamiento hidrológico, relacionado a la erosión, sedimentación y comportamiento de recarga y descarga de agua, a su vez para relacionar las variables naturales y su incidencia en la capacidad de la cuenca de almacenar agua con el fin de determinar la disponibilidad del recurso, para

Nicaragua la ANA manifiesta que es primordial incluir parámetros morfométricos en los estudios hidrológicos. (ANA; INETER; ENACAL, 2017).

Parámetros de Forma y tamaño

Área y perímetro

El perímetro y área fueron calculados en el módulo de ArcMap, donde devuelve el área de un objeto espacial de manera automática.

Razón de elongación

La razón de elongación fue el resultado de la fórmula:

$$Re = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{Lc}$$

A: Área

Lc: Longitud máxima de la cuenca

Coefficiente de compacidad o índice de Gravelius

Aplicación de la fórmula:

$$Cc = \frac{(0.282)(P)}{\sqrt{A}}$$

$$A = \pi r^2 = (\pi r)^{1/2} \text{ ----- (2.5)}$$

$$Kc = P/(2 \pi r) \text{ ----- (2.6)}$$

Substituyendo (2.5) en (2.6)

$$kc = P/(2 \pi (A/\pi)^{1/2}) \quad Kc = 0.28 P/ \text{ ----- (2.7)}$$

Cc: Coeficiente de compacidad

P: Perímetro

A: Área

Factor de forma según Horton (1945):

$$Hf = \frac{A}{La^2}$$

Hf: Factor de forma de Horton

A: Área de la cuenca en km²

La: Longitud axial en km

Longitud Axial:

Para la obtención de la longitud axial se procedió a utilizar el ArcGis, esto con el fin de trazar una línea recta sobre el objeto espacial, en este caso la cuenca y de esta manera obtener la longitud axial

Parámetros de relieve

Desnivel altitudinal

$$DA = AM - Am$$

DA: Desnivel altitudinal

AM: Altura mayor

Am: Altura menor

Pendiente promedio de la cuenca

La pendiente promedio se obtuvo utilizando el modelo digital de elevación, aplicando en el módulo de análisis espacial de ArcGis la herramienta **slope** que determina la pendiente, interpolándolo con el archivo vectorial de cuenca, posterior utilizando el módulo de estadísticas zonales en ArcGis, se obtuvieron los datos del promedio de la pendiente.

Razón de relieve:

$$Rr = \frac{DA}{Lc}$$

Rr: Razón de relieve

DA: Desnivel altitudinal

Lc: Longitud de la cuenca

Curva Hipsométrica:

La construcción de la curva hipsométrica consistió en utilizar el modelo de elevación digital y reclasificar su información en 10 clases, cada clase cuenta con datos de elevación, posterior realizando una estadística a los valores de pixel de cada una de las 10 clases se obtuvieron los resultados de rango y porcentaje acumulado, mismo que sirvieron para graficar la curva hipsométrica y poder visualizar desde el punto de vista hidrológico la curvatura de la forma física de la cuenca.

Relación de relieve:

$$R = \frac{DA}{P^2}$$

R: Relación de relieve
DA: Desnivel altitudinal
P: Perímetro de la cuenca

Pendiente promedio del cauce principal

Para obtener el resultado de la pendiente promedio del río el procedimiento fue similar al obtener la pendiente de la cuenca; con la única diferencia que la interpolación de datos se dio con el archivo vectorial del río principal de la cuenca, aplicando una estadística zonal a los resultados, de esta manera calculando la pendiente del cauce principal.

Razon de Bifurcación:

Se obtuvo aplicando la fórmula desarrollada por (Horton, 1945).

$$Rb = \frac{Nu}{Nu + 1}$$

Rb: Razón de bifurcación
Nu: Número de orden

Razón de longitud:

$$RL = \frac{LU}{LU - 1}$$

RL; Razón de longitud

LU: Longitud de los cursos de un orden dado

Sinuosidad hidráulica:

Esta dada por la formula

$$SH = l/Ld$$

Sh: Sinuosidad Hidraulica

l: longitud del curso principal

Ld: Longitud mas corta entre el inicio y el final del curso.

Orden de ríos:

Para determinar el orden de los ríos se utilizó el método de Strahler, se utilizaron hojas topográficas para visualizar las corrientes de aguas permanentes e intermitentes, así mismo se utilizó el sistema de información geográfica ArcGis. Cabe destacar que la clasificación según los órdenes se realizó de manera manual.

Parámetros de intensidad fluvial

Índice de frecuencia:

Este dado aplicando la formula

$$If = \frac{N1}{A}$$

If: Índice de frecuencia

N1:Numero de cursos de orden 1

A: Área

Coefficiente de torrencialidad:

$$Ct = Dd \frac{N1}{A}$$

Ct:Coeficiente de torrencialidad

Dd:Densidad de drenaje

N1: Numero de cursos de orden 1

A: Área

Coefficiente de almacenamiento del canal:

$$Ca = \frac{Rl}{Rb}$$

Ca: Coeficiente de almacenamiento del canal

Rl: Razón de longitud

Rb: Razón de Bifurcación

Tiempo de concentración:

Esta dada por la formula modificada y adaptada a Nicaragua después del evento meteorológico del Huracán Mitch.

$$Tc = 0.0041(3.28 \left(\frac{Lr}{S^{0.5}}\right)^{0.77}$$

Donde Tc: Tiempo de concentración

Lr: Longitud total de ríos

S: Pendiente media del rio

Disponibilidad hídrica

Para llevar a cabo la realización del balance hídrico subterráneo se recopilaron, depuraron y analizaron una serie de datos o variables, en el siguiente acápite se detalla el método de corrección o aplicación si fuese necesario.

Precipitación

Se realizó la sistematización de la información de las estaciones pluviométricas meteorológicas comprendidas en periodo de 35 años (1983-2017), las estaciones que se consideraron fueron las adyacentes a la cuenca. Los datos de precipitación fueron proporcionados por INETER, provenientes del área de climatología.

Código	Estación	Tipo	Periodo	X coord.	Y coord.	Precipitación Anual mm
69115	Masaya	HM	35 años	587439	1324500	113.81
69129	Campos Azules	HM	35 años	592597	1315606	225.91

Tabla 5: Estaciones Pluviométricas meteorológicas aledañas a la cuenca Fuente: Estaciones Meteorológicas de INETER Elaboración: Propia

Para el análisis de la información meteorológica, se realizó tratamiento de consistencia y relleno de datos, se tomaron como criterio los regímenes hidrológicos, cercanía y similitud de lluvia. (Béjar, 2006).

Para completar los datos faltantes se aplicó el método de regresión lineal, a través de una hoja de Excel, aplicando las fórmulas correspondientes y creando la matriz de información con los datos, este método permitió llenar los meses de los años donde no se contaba con registros de precipitación. (Ver anexo 3).

Estimación de la distribución espacial de la precipitación (método promedio aritmético).

Para la estimación de la distribución espacial de la precipitación en la cuenca de estudio, se aplicó como primer paso el coeficiente de correlación ya que solo se cuenta con dos estaciones meteorológicas, pero con mucha influencia y cercanía a la cuenca, posterior se realizó el promedio aritmético que consiste en promediar los valores de precipitación registrados en las estaciones de la cuenca hidrográfica (ver anexo 3).

Temperatura

Para determinar la temperatura se tomaron los datos registrados mensualmente de las estaciones meteorológicas Masaya y Campos Azules, su análisis se realizó en Excel para determinar la temperatura absoluta de la mínima, media y máxima. Ver anexo 3.

Evapotranspiración Potencial.

La evapotranspiración potencial (ETP) se calculó a través del método de Hargreaves, utilizando datos de temperatura de la estación Campos Azules y estación Masaya. La fórmula empleada es la siguiente:

$$ETP = 0.0023 * (T_{med} + 17.78) * R_o * (T_{max} - T_{min})^2$$

T_{med}: Temperatura media

R_o: Radiación solar extraterrestre

T_{max}: Temperatura máxima absoluta

T_{min}: Temperatura mínima absoluta

Pruebas de infiltración.

Se realizaron 2 pruebas de infiltración *con duración de 190 minutos*, utilizando el método Porchet conocido también como método a nivel constante, consiste en un agujero excavo en tierra con un radio de 25 cm x 25 cm y una profundidad de 30 cm, en el cual se mide el descenso del nivel del agua dentro del agujero, los datos se introducen en una hoja de Excel adaptado al modelo de Shosinsky con formato establecido.

Como aclaración las pruebas de infiltración se realizaron en el periodo seco; cuando se llevó a cabo el levantamiento de información en campo no se tomaron algunos aspectos técnicos como la saturación del suelo 24 horas antes, la adecuación de los lugares para evaluar su pendiente, así como también en el registro de datos de introducción al modelo en la hoja Excel, por tal razón se calibraron los promedios en base a los tiempos de relleno de la prueba de infiltración, para obtener el valor promedio de infiltración.

Con la información generada en las pruebas de infiltración se calculó el *coeficiente de infiltración*, dato que será utilizado para el Balance Hídrico de Suelo (BHS), este permite conocer la cantidad de agua que se infiltra en un acuífero.

Los componentes son de BHS:

- a. Precipitación media mensual (mm)

- b. Coeficiente de infiltración (Cf)=0.88 C, y $C = K_p + K_v + K_{fc}$. (Schosinsky & Losilla, 2000).
- c. Capacidad de Infiltración (Fc): Tabla de referencia
- d. Capacidad de campo de suelo: Tablas de referencia.
- e. Punto de marchitez: Tabla de referencia.

Determinación de la recarga potencial

Se determinó la recarga por medio del Balance Hídrico de suelo propuesto por (Schosinsky, 2006). Se obtuvo la recarga potencial de aguas subterráneas. Los principales componentes del balance hídrico de suelo son: Precipitación media del área en estudio (P), Coeficiente de infiltración (Cf), Precipitación que se infiltra (I), Precipitación que se escurre (Esc), Evapotranspiración potencial (ETP), humedad del suelo inicial (Hsi), agua disponible (Agd), humedad del suelo final (Hsf), déficit de capacidad de campo (DCC), Evapotranspiración real (ETR), recarga potencial del acuífero (Rp).

Determinación del Balance hídrico subterráneo.

Para determinar la disponibilidad de la cuenca se utilizó la fórmula del balance subterráneo, se basa en el principio de conservación de masa y establece que para cualquier volumen arbitrario y durante cualquier periodo de tiempo, la diferencia entre las entradas y salidas estará condicionada por la variación del volumen de agua almacenada.

$$\text{Ecuación: } (RP + Qc + Rr) - (B + Qr + Qp + E_{sub} + Qa) = \Delta S$$

Entrada:

Rp: Recarga directa por precipitación al terreno, tomada del Balance hídrico de suelo.

Qc: Infiltración de corrientes superficiales si existiesen en la cuenca de estudio.

Rr: Recarga por retorno

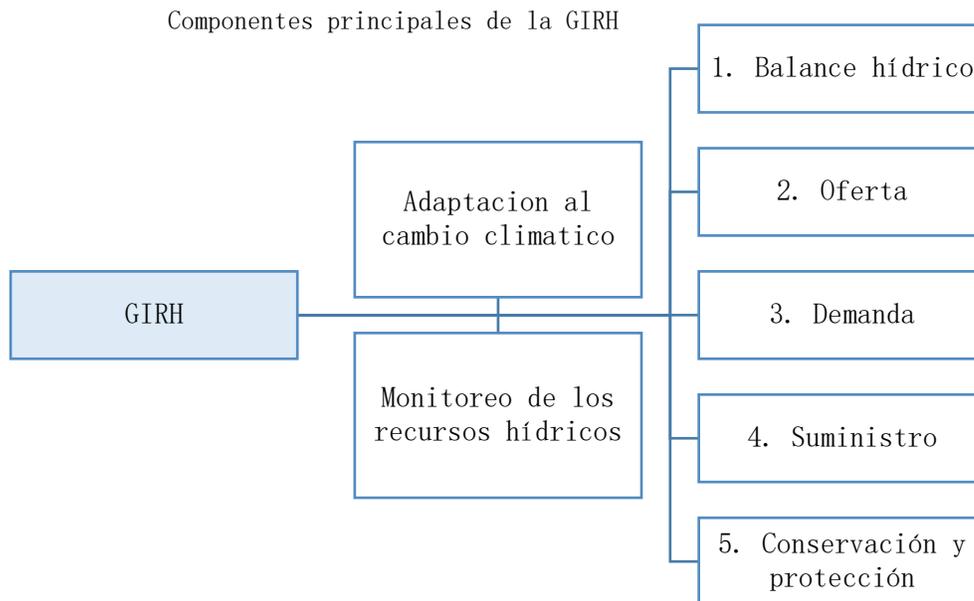
Salidas:

B: Bombeo, (volumen de extracción) tomado de información recopilada de pozos cercanos al área de estudio.

Qr: Salidas a través de ríos.

Propuestas de alternativas para gestión del recurso hídrico en la cuenca.

Para diseñar las alternativas de gestión integral de los recursos de la unidad hidrológica en estudio, se tomó como referencia el documento “Guía para la Elaboración de los Planes de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de las Cuencas Hidrográficas en Nicaragua”, realizado por (ANA; INETER; ENACAL, 2017) , esta guía que se basa en el marco legal de la Ley general de aguas nacionales promulgada en 2007, abarca los aspectos normativos, siguiendo los planes de GIRH(Gestión Integral de Recursos Hídricos), instrumento obligatorio para la eficacia para gestión del agua(Título III, art. 15, Ley No. 620).



La GIRH tiene dos direcciones en la cual busca establecer una gestión eficaz del agua y estas son la adaptación al cambio climático y el monitoreo de los recursos hídricos, para realizar la propuesta de gestión de la cuenca se tomó el punto número 5, que se refiere a la conservación y protección,

ya que representa el componente tradicional de la gestión de los recursos hídricos.

En base a los resultados de la caracterización de la unidad hidrográfica se establecerán las pertinentes medidas que establece la guía para la gestión del recurso hídrico, las cuales se definen a continuación:

Medidas:

- ✓ Establecimiento de proyectos “Pago por servicios ambientales hídricos” .
- ✓ Establecimiento de las practicas forestales
- ✓ Reforestación de las zonas altas de la cuenca hidrográfica
- ✓ Establecimiento de zonas de protección y rutina de monitoreo cuantitativo
- ✓ Construcción de sistema de cosecha de agua (micro presas).
- ✓ Determinación del caudal ecológico para cada cuenca.

Impactos:

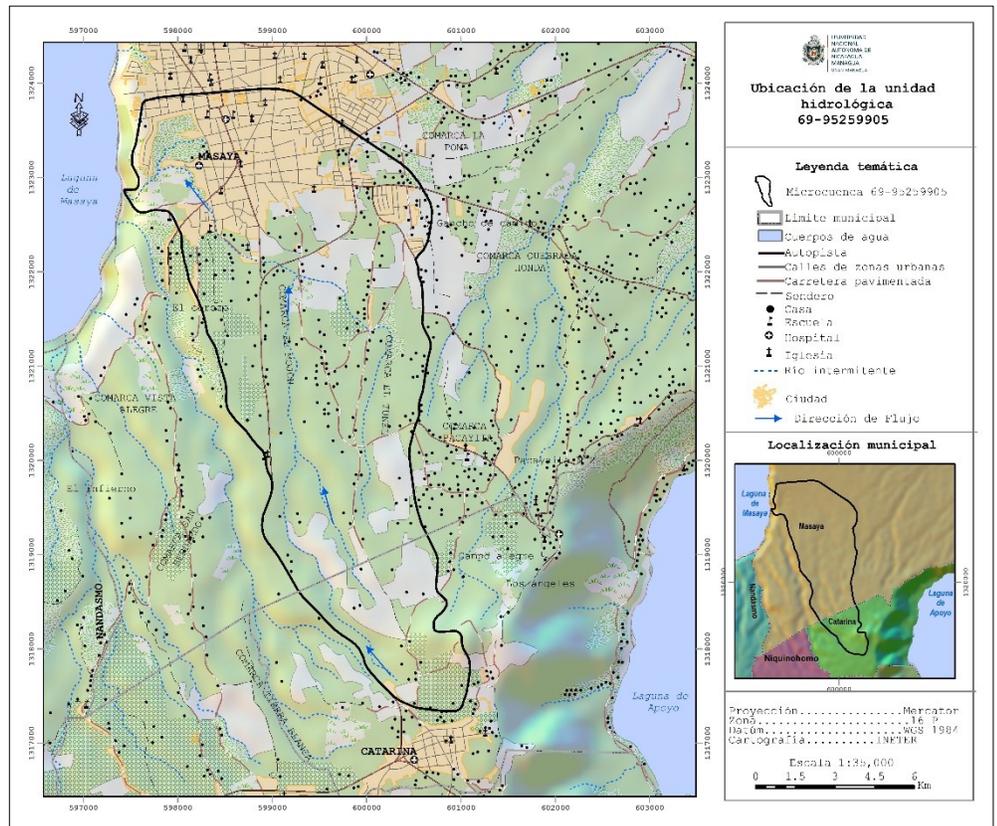
- ✓ Mejor disponibilidad de las aguas subterráneas y superficiales en la época seca.
- ✓ Mitigación de los siguientes efectos negativos y riesgos futuros por el cambio climático:
 - Escorrentía acelerada
 - Erosión
 - Infiltración reducida
 - Turbidez de las aguas superficiales
 - Inundaciones y remoción en masa.

Resultados y discusión

Capítulo 1: Características físico-Geográficas de la cuenca 69-95259905.

1.1 Ubicación del área en estudio

La microcuenca 69-95259905 se ubica en el departamento de Masaya; comprendida entre los municipios de Masaya y Catarina, a su vez en su interior se encuentran las comunidades de El Túnel, La Poma, Pacayita, Pacaya, Nandayure y El Mojón, que pertenecen al sistema de microcuenca de la subcuenca Laguna de Masaya, se encuentra aproximadamente entre 116 a 626 msnm.

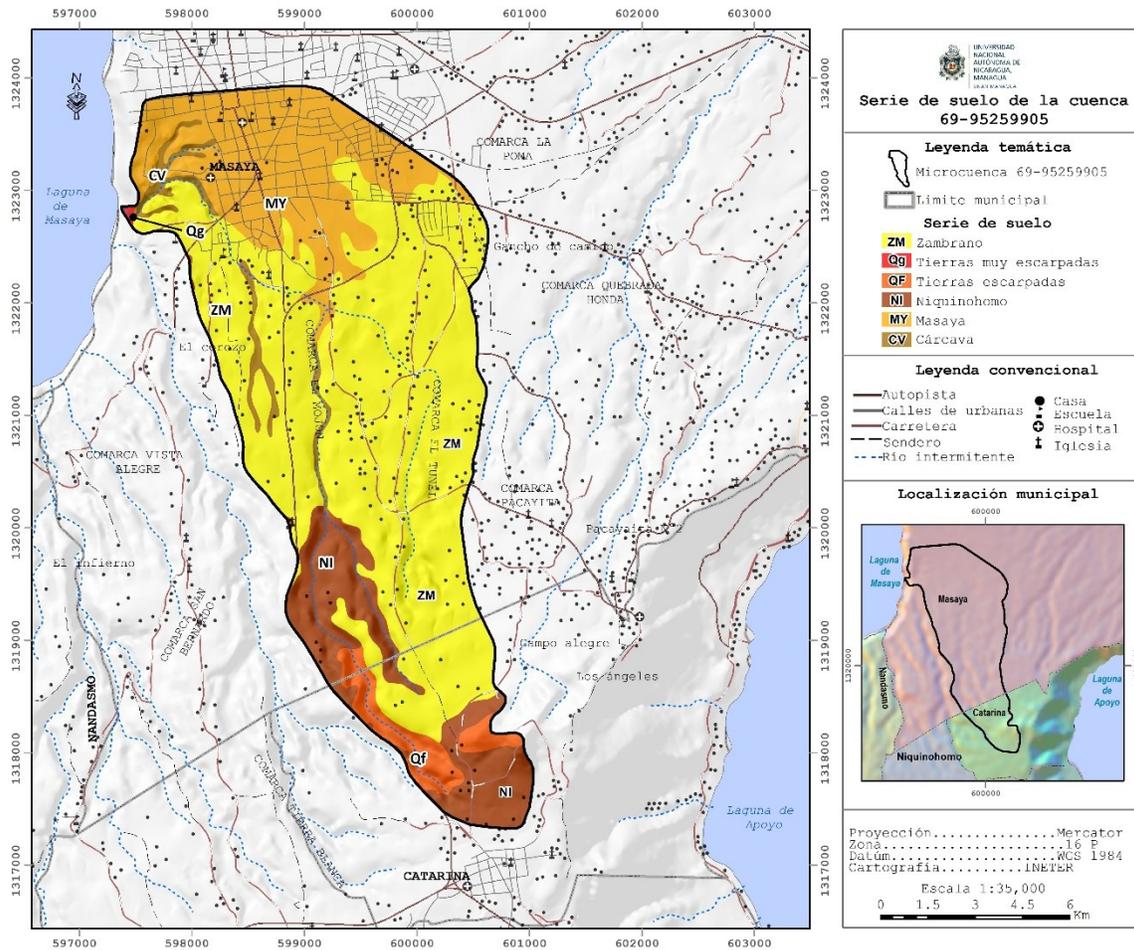


Mapa 1: Ubicación geográfica de la cuenca 69-95259905. Fuente: Cartografía INETER. Elaboración: Propia

El área en estudio tiene una extensión de 12.70 km² y colinda al norte con el área urbana de la ciudad de Masaya, al sur con el área urbana de la ciudad de Catarina, al este con la comarca Pacayita y al oeste con Comarca Vista Alegre. En mapa 1 se puede observar la ubicación y límites del área en estudio.

1.2 Tipo de suelo (según su textura)

La descripción de cada serie de suelos se tomó de las unidades de mapeo establecidas para la cuenca, relacionado sus propiedades con el uso actual de la tierra, la adaptabilidad de los cultivos, y las prácticas necesarias de conservación del suelo; en la microcuenca está la serie de suelo Masaya, Zambrano, Niquinohomo, Cárcavas y Tierras escapadas.



Mapa 2: Tipo de suelo de la cuenca 69-95259905. Fuente: Cartografía INETER.
 Elaboración: Propia

1.2.1.1 Características de las series de suelo de la microcuenca.

Masaya

La serie Masaya ocupa una extensión de 2.64 km² consiste de suelos profundos y moderadamente profundos, bien drenados, pardo grisáceo muy oscuros con subsuelos pardo oscuro, que están sobre un estrato endurecido continuo con espesor de 10 a 15 centímetros y que se han desarrollado de ceniza volcánica, particularmente por los depósitos del volcán Masaya y Apoyo, ubicación geográfica del área en estudio, los suelos se encuentran en planicies entre 0 a 15 %, (ver mapa 4 de pendientes).

Las profundidades al estrato endurecido varían de 70 a 90 centímetros y el espesor varía de 10 a 20 centímetros. El estrato endurecido es lentamente permeable para el agua, pero es impenetrable para las raíces que se extienden sobre el estrato y pasa por grietas ocasionales al suelo subyacente.

El contenido de materia orgánica es alto en el suelo superficial y moderadamente alto en el subsuelo. El suelo tiene permeabilidad moderada, capacidad de humedad disponible moderadamente alta en el suelo superficial y moderado en el subsuelo, y una zona radicular profunda a moderadamente profunda. Los suelos son de baja fertilidad, con cantidades medias de potasio asimilable y son deficientes en fósforo.

Los suelos Masaya se encuentran en la zona de vida Bosque Subtropical Húmedo, transición a Tropical Cálido.

Zambrano

La serie Zambrano ocupa la mayor extensión en la cuenca equivalente a 7.69 km²; consisten en suelos profundos a moderadamente superficiales, bien drenados, con un subsuelo arcilloso de color pardo rojizo oscuro y que está sobre un estrato endurecido continuo pero fragmentado. Los suelos se han desarrollado de ceniza volcánica que descansa sobre arcilla, toba parcialmente meteorizada o arena y escoria cementada. Los suelos Zambrano están entremezclados con los suelos Nejapa, en las unidades de mapeo

designados y descritos como asociación Zambrano, y limitan con los suelos Chilamatillo, Nindirí y Masaya.

Los suelos Zambrano generalmente al igual que la serie de Masaya, tienen permeabilidad moderada, capacidad de humedad disponible moderada a moderadamente alta, y una zona radicular moderadamente profunda a moderadamente superficial. El contenido de materia orgánica es moderadamente alto en los primeros horizontes y moderado en el subsuelo. Los suelos están bien provistos de bases intercambiables, y la saturación de bases en el subsuelo es mayor del 65 por ciento. Son deficientes en fósforo, pero el contenido de potasio asimilable es medio.

Los suelos se encuentran en las zonas de vida transicionales entre Bosque Tropical Seco y Bosque Subtropical Húmedo. La vegetación natural era de bosques moderadamente densos, pero en la actualidad casi todos los bosques han sido combinados con sistemas de cultivos perennes, los suelos Zambrano están siendo usados para cultivos con árboles frutales y musáceas, ocupan pendientes entre 0 y 15%.

Niquinohomo

La serie ocupa un área de 1.51 km², son suelos profundos y moderadamente profundos, color oscuro, bien drenados, de permeabilidad moderada, derivados de ceniza volcánica fina, proveniente de la caldera volcánica Apoyo, que en su momento fue un volcán; se encuentran en las tierras altas y onduladas (pendiente entre 30 a 50%) en la vecindad del pueblo de Catarina

Los suelos se encuentran sobre depósitos estratificados de ceniza volcánica, que están a profundidades considerables. Algunos suelos Niquinohomo tienen colores pardos oscuros en vez de pardo rojizo oscuro en el subsuelo.

Los suelos Niquinohomo tienen permeabilidad¹ moderada, capacidad de humedad disponible moderada y una zona radicular generalmente profunda, excepto en las pendientes escarpadas. Están bien provistos con bases y tienen una

¹ La permeabilidad es la capacidad que tienen las rocas para transmitir el agua a través de sus intersticios.

saturación de bases que generalmente es mayor del 50 por ciento. El contenido de potasio asimilable es alto y el fósforo es medio.

Los suelos se encuentran en la zona de vida Bosque Tropical Pre montano Húmedo y están usados para bosque maderable asociado con sistemas perennes, cultivos de maíz, frijoles y pipián. (Ver mapa 9 de uso potencial del suelo).

Cárcavas

Ocupan un área de 0.35 km², comprenden drenes escarpados, e incluyen suelos Aluviales en los valles angostos y suelos Coluviales en la base de pendientes escarpadas. Ambos suelos son muy pequeños para ser mostrados separadamente a la escala de mapeo. Los bordes y las pendientes de las cárcavas, lo mismo que su fondo angosto, caracterizan esta unidad y la diferencia de otras áreas de tierras moderadamente escarpadas y escarpadas.

Estas áreas tienen pendientes que varían en su mayoría de 15 a 30 % y cercano a las laderas pequeños drenes con pendientes cercanas al 50 %, esto se debe a la modelación de la red de drenaje sobre la pendiente disectada de la cuenca (Ver acápite 1.6 Geomorfología). Muchas áreas conservan su vegetación natural que los protege contra la erosión severa,

Tierras escarpadas y muy escarpadas.

El área ocupada en la cuenca es de 0.51 km², este tipo de tierras incluyen suelos con pendientes mayor al 50%, que no han sido clasificados en series por falta de suficientes estudios o por carecer de uniformidad en sus características. El tipo de suelo ha sido clasificado por profundidad, textura del suelo superficial y del subsuelo, y el grado de pedregosidad en las unidades de mapeo.

Se pueden observar en la parte sur de la cuenca, así como en área de ladera de la laguna de Masaya.

1.2.1.2 Clasificación taxonómica según (USDA-NRSC) de los suelos en la cuenca.

La clasificación taxonómica de área en estudio radica en la definición de las taxa, permite conocer propiedades del suelo, incluyendo su régimen de humedad y temperatura. Los conceptos genéticos no son empleados, excepto como una guía sobre la relevancia y peso de las propiedades edáficas, este tipo de clasificación es precisa y cuantitativa.

En la cuenca se definen dos tipos de suelos según su orden, que corresponden a suelos **Entisoles y Molisoles**. (INETER, 2015).

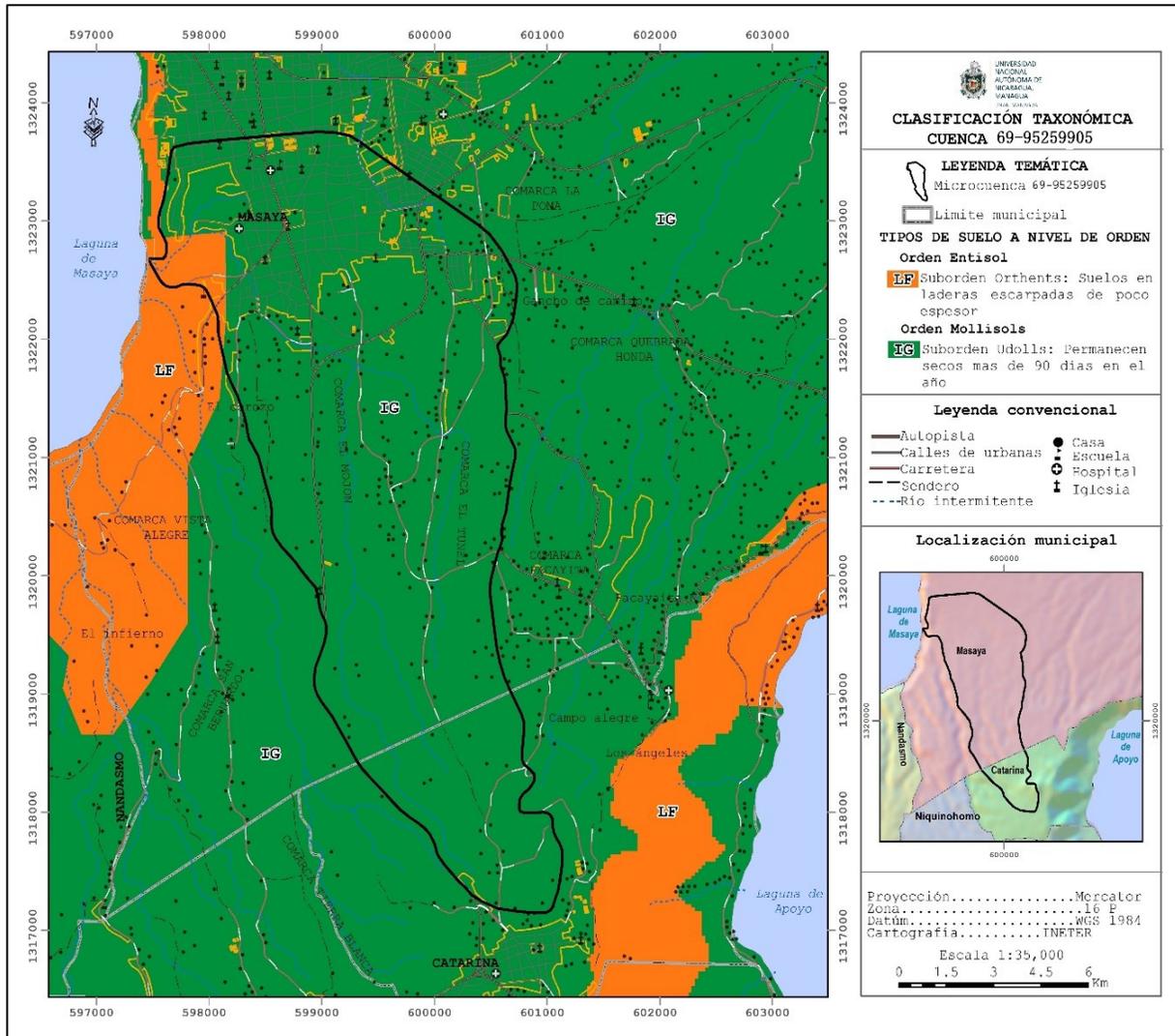
Los suelos Entisoles son de reciente formación con poco o ningún desarrollo de horizontes o capas y generalmente muy superficiales. Se encuentran en paisajes de laderas, superficies de ladera, superficies erosionadas y depósitos recientes.

A nivel de suborden está presente el suelo **Orthents**, que son suelos que se han desarrollado a partir de la acumulación de sedimentos de ríos en diferentes capas, ya sea de limos o arcilla, en la cuenca se encuentran en la parte noroeste, cercana a las laderas de la Laguna de Masaya, la particularidad del territorio justifica el tipo de suelo clasificado, debido a la dirección de la red de drenaje y la dirección de la pendiente que va de norte a sur, el área total que ocupa este tipo de suelo es de 0.3 km².

Al igual en el área se encuentra el **suelo Molisol**; estos son oscuros, enriquecidos por los altos contenidos de materia orgánica, son suelos suaves, bien estructurados. Tienen alta fertilidad natural desarrollada a partir de materiales geológicos básicos, principalmente volcánicos o de sedimentos en zonas de acumulación.

El suborden según la cartografía es **Udolls**, que son definidos por el régimen de humedad del suelo. Estos suelos permanecen secos menos de 90 días consecutivos en años normales durante el periodo lluvioso, esto los hace cultivables, ya que no presentan déficit de agua durante el desarrollo de los cultivos, se encuentran distribuidos en regiones sub húmedas y húmedas,

en la cuenca ocupan 12.41 km², es decir que más del 98% del área cuenta con este tipo de suelo según su taxonomía de suborden.



Mapa 3: Clasificación taxonómica de la cuenca 69-95259905 Fuente: Cartografía INETER

Elaboración: Propia

1.3 Pendiente

Las características de la pendiente de la cuenca, corresponden a un relieve plano, los resultados infieren que, en su mayoría, la cuenca posee un pendiente promedio del 6%. La formación se debe a los procesos geomorfológicos que han modelado la superficie.

La siguiente tabla muestra el área que ocupa cada rango de pendiente, así como su porcentaje.

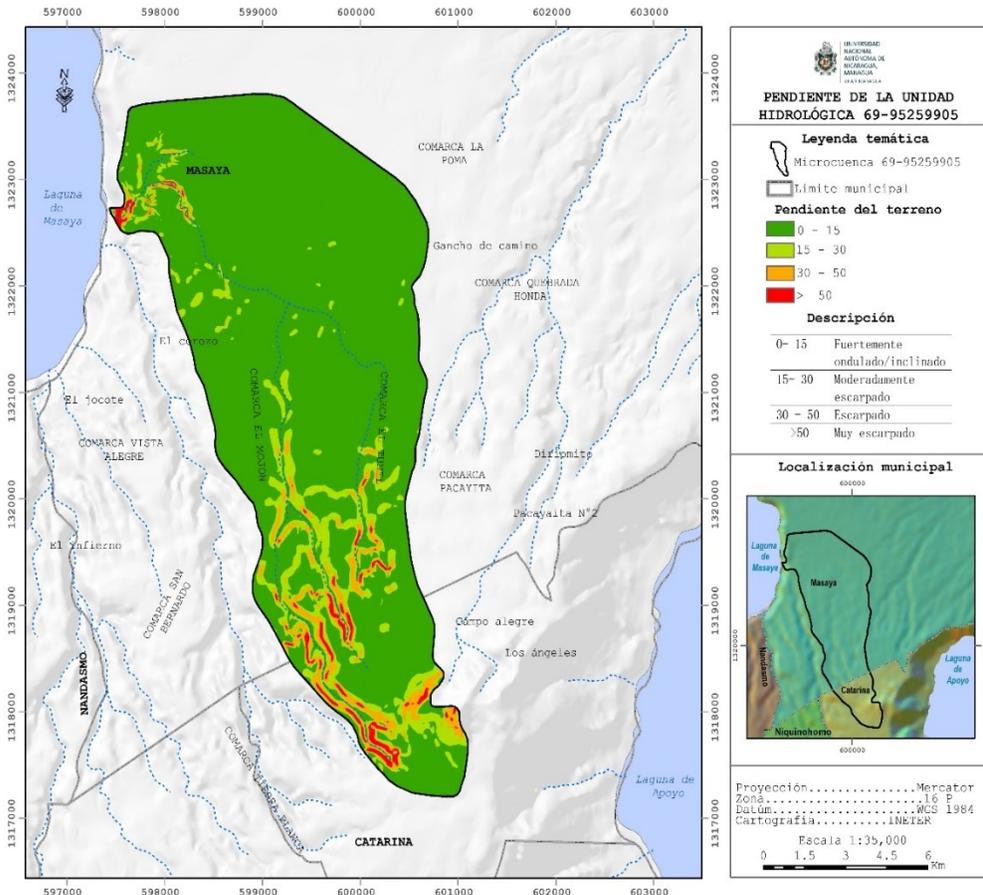
Pendiente	Área en km ²	Área en %
0 - 15	10.68	84.13
15 - 30	1.32	10.41
30 - 50	0.53	4.13
> 50	0.18	1.39
	12.70	100

Tabla 6 : Total de área en la cuenca por cada rango de pendiente. Fuente Propia. Elaboración: Propia

Utilizando el método de clasificación de la pendiente (INETER, 1978), en el área se encuentran de rangos de 0 a 15 % equivalente al 84.13% del área que determinan relieves de planicie ondulada-levemente inclinada, la particularidad de la planicie radica en la disectación por la red de drenaje, los pequeños arroyos y la textura del suelo hace que los cauces naturales corten y formen pequeñas cárcavas pronunciadas que se traducen como pequeñas quebradas de la red drenaje en la planicie.

Rangos de 15 a 30% ocupan el 10.41% del área, estos son relieves modernamente escarpado-acolinado, en este caso se determina relieve de colinas suaves, se encuentran en la parte suroeste de la cuenca.

En menor proporción, pero no menos importante se tienen rangos de 30 a 50%, igual al 4.13% del área y que corresponde a un relieve escarpado, encontrándose en menor proporción en la parte suroeste, corresponde a las laderas de los valles cavados por la acción del drenaje fluvial. El rango de 50% a más corresponde tan solo el 1.39 % y que hace referencia a la ladera inclinada de la laguna de Masaya.



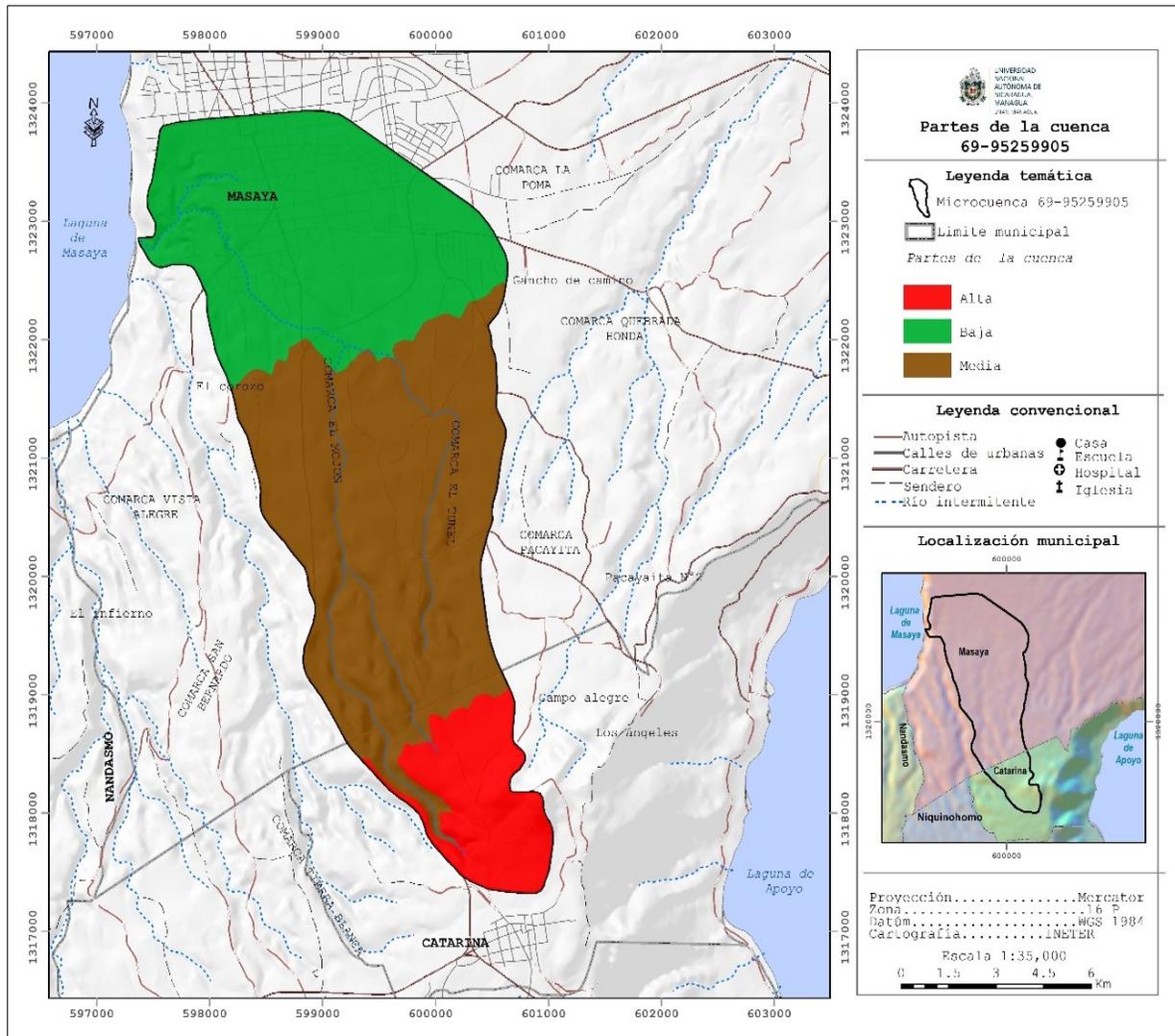
Mapa 4: Pendiente de la cuenca 69-95259905. Fuente: Cartografía de INETER.
 Elaboración: Propia

1.4 Hidrología Superficial

La unidad en estudio forma parte de la unidad hidrográfica de la subcuenca de Masaya con un área de 237.66 km², esta se encuentra según la metodología Pfafstetter codificada a nivel 6, es una cuenca de afluentes intermitente con desembocadura a la Laguna de Masaya. La cuenca 69-95259905 es el resultado de la delimitación de la subcuenca Laguna de Masaya a Nivel 7 con un área de 12.70 km², con un patrón de drenaje dendrítico.

Para analizar el comportamiento hidrológico, y dinámico de la cuenca se dividió en tres partes (ver mapa 5), tomando en cuenta la topografía del terreno, así como las actividades que realiza la población y que de una y otra manera afecta la dinámica hidrológica en la unidad de estudio.

La cuenca alta posee un área de 1.41 km² que representa el 11 % del área total de la cuenca, es donde se encuentran las pendientes más pronunciadas, la parte media posee 6.34 km² esta representa el 50% de área total de la cuenca y la parte baja tiene 4.95 km² esto representa el 39% del total de la cuenca.



Mapa 5: Partes de la cuenca 69-95259905 Fuente: Cartografía INETER
 Elaboración: Propia

El río principal de la cuenca posee una longitud de 9.07 km. La cuenca en estudio posee una longitud total de ríos que corresponde a 36.33 km.

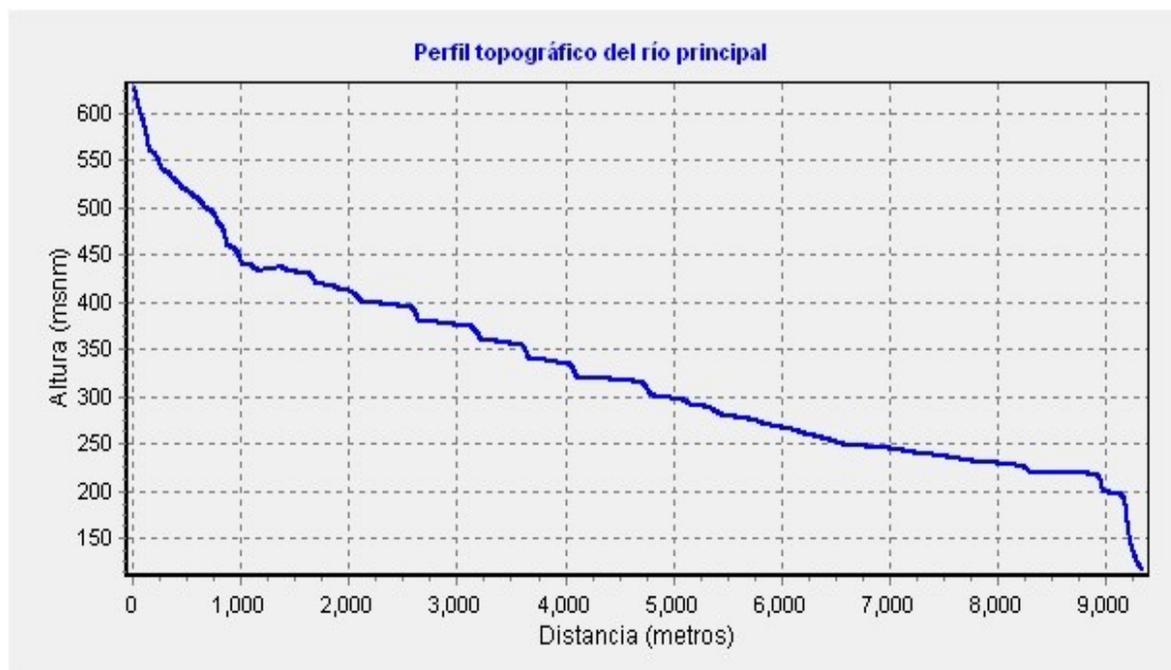


Gráfico 1: Perfil Topográfico del río principal Fuente: Propia Elaboración: Propia

1.5 Geología

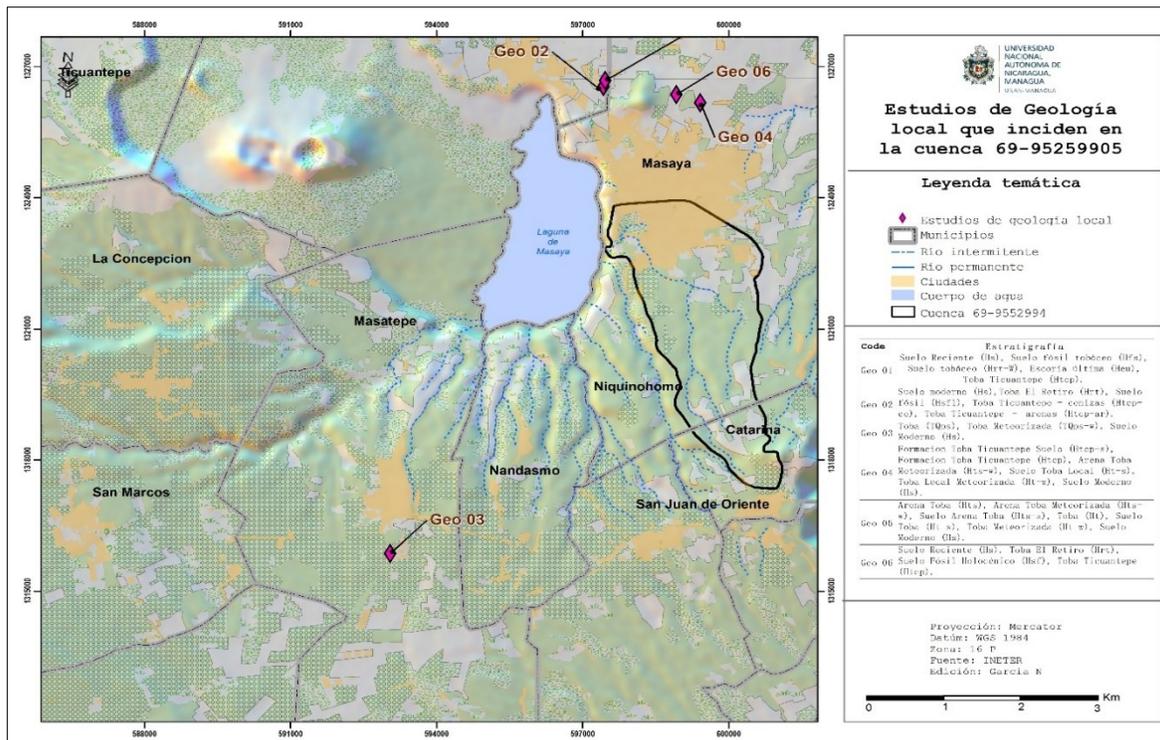
La microcuenca se encuentra inmersa en la estructura geológica de la Depresión o Graven de Nicaragua, según (Fenzl, 1988), la depresión se encuentra rellena con deposito piro clástico y aluvionales, con una espesura un poco inferior a los 2000m, constituye una estructura tectónica joven cruzando todo el pacífico, desde el golfo de Fonseca en el NO, hasta la frontera con Costa Rica. La cuenca está dentro de la formación Grupo La Sierra, su lito estratigrafía, del reciente cuaternario, describe materiales como: Toba, cenizas, lapilli, aglomerados, escoria basáltica, rocas volcánicas, como ignimbritas.

Para la identificación de la geología local se analizaron estudios geológicos cercanos a la cuenca, en los cuales se describe la lito estratigrafía, en total se analizaron 6 estudios, la litoestratigrafía de cada uno se describe a continuación, así como la ubicación de los mismos en el mapa 6 de estudios de geología local:

Estudio	Litoestratigrafía
Geo local 1	Suelo reciente (Hs), suelo fósil tobaceo (Hfs), suelo tobaceo (Hrt-W), escoria ultima (Heu), toba Ticuantepe (Htcp).
Geo local 2	Suelo reciente (Hs), Toba en retiro (Hrt), suelo fósil (Hsf1), toba Ticuantepe, cenizas (Htcp-ce), toba Ticuantepe-arenas (Htcp-ar).
Geo local 3	Toba (TQps), Toba meteorizada (TQps-w), suelo reciente (Hs).
Geo local 4	Arena toba meteorizada (Hts-w), suelo toba (Ht-s), toba local meteorizada (Ht-w), suelo reciente (Hs).
Geo local 5	Arena toba (Hts), Arena toba meteorizada (Hts-w), suelo toba (Ht-s), toba (Ht), suelo reciente (Hs).
Geo local 6	Suelo reciente (Hs), toba en retiro (Hrt), suelo fósil Holocénico (Hsf), toba Ticuantepe (Htcp).

Tabla 7: Litoestratigrafía encontrada en los estudios cercanos a la cuenca Elaboración: Propia

En los estudios los estratos comunes en la parte Noroeste son, Suelo reciente, Suelo tobaceo, Escoria y Toba Ticuantepe, característica de la formación grupo Las Sierras, en la parte Sureste se localizan estratos de flujos máficos meteorizados; Toba, Lapilli, Pómez influenciado por las erupciones y flujo piroclástico de la Laguna de Apoyo.



Mapa 6: Estudios de geología local que inciden en la cuenca 69-95259905. Fuente: estudios Geológicos. Elaboración: Propia

Se visitaron tres sitios en la cuenca de estudio, estos se reflejan en el **mapa 7**, cabe destacar que la medición de estratos se estableció en un punto en específico debido al fácil acceso y suficiente tiempo utilizado.

El punto de reconocimiento geológico en la cuenca se realizó con la ayuda de una geóloga especialista, realizándose una caracterización litoestratigráfica en las siguientes coordenadas X: 599695 O Y: 1321767 N, el escarpe está dividido en cinco capas las cuales se describen en la tabla 8.

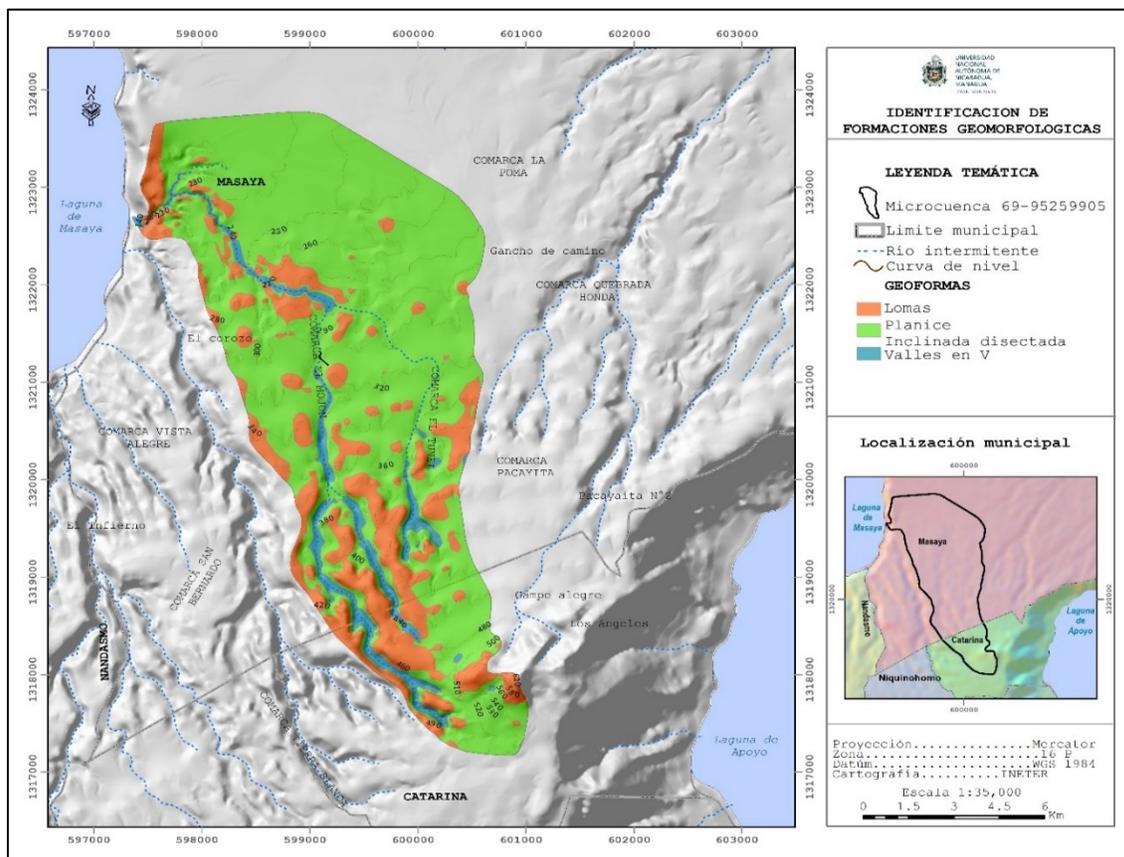
Litoestratigrafía	Medida
Suelo Reciente	10-20 cm
Escoria Volcánica	110 cm
Cenizas	40 cm
Lapillis	13 cm
Suelo Fósil	74 cm

Tabla 8: Descripción de la Litoestratigrafía del escarpe encontrado en la cuenca. Fuente:

1.6 Geomorfología.

Desde el punto de vista geomorfológico regional la cuenca está inmersa en la cordillera volcánica del pacífico. Está constituida por una cadena de volcanes del cuaternario reciente. (Fenzl, 1988). La cuenca se encuentra ubicada entre las estructuras volcánicas de Masaya y Apoyo, con características geomorfológicas de la meseta de Carazo, es decir una pendiente suave en ascenso en dirección sur oeste. Esto lo se puede observar en el mapa 4 de pendiente del acápite 1.3.

Aplicando el Índice de posición topográfica (TPI) se determinó la geomorfología local de la cuenca, el cual se observa en el siguiente mapa:



Mapa 8: Formaciones Geomorfológicas de la cuenca 69-95259905. Fuente: Cartografía INETER
Elaboración: Propia

Geomorfológicamente la cuenca se encuentra inmersa en su mayoría sobre una planicie ligeramente ondulada disectada por la red drenaje, en medio de dos estructuras geológicas importantes, como lo son Laguna de Apoyo y Laguna de Masaya, el relieve se presenta como una gran loma alargada con dirección noroeste, suroeste. Esto se debe a que el sistema de drenaje está

constituido por cauces de régimen estacionario, debido al buen drenaje interno del suelo (Ver acápite 1.2.1 de serie de suelo) y del subsuelo, característico de un perfil fluvial joven.

La parte sur se caracteriza por ser más elevada y ondulada, con pequeñas colinas y lomas, encontrando escarpes que son formados por la joven red de drenaje, característico del material volcánico de la zona (lava, lapilli, pómez, toba). Los valles cavados por las aguas de la acción de las aguas superficiales en la cuenca todos son en V, la red de drenaje dendrítica, por modificación irregular de ríos tributarios de pequeñas longitudes ayuda a la formación de estos valles, esto se explica también por su composición litológica que consta de piro clastos y flujos másicos de pómez, es aprovechado para que en algunos casos los valles puedan ser muy abruptos.

Todo lo mencionado lleva a la conclusión que la zona está **en un ciclo geomorfológico de juventud.**

1.7 Uso potencial del suelo

Apartir de la determinación de las variables fisiográficas como Geología, Geomorfología, Textura y Taxonomía de la cuenca que se describen con anterioridad se determinó el uso potencial del suelo. Cabe destacar que el uso potencial del suelo de la microcuenca tiene la particularidad de ser de una zona climática subhúmeda, ya que en el territorio oscilan precipitaciones entre los 1200 y los 2000 mm anualmente. (INETER, 2015).

La información muestra 4 usos potenciales del suelo, en base a su profundidad efectiva, textura, drenaje natural, pendiente, grado de erosión, pH y fragmento rocosos en la superficie.

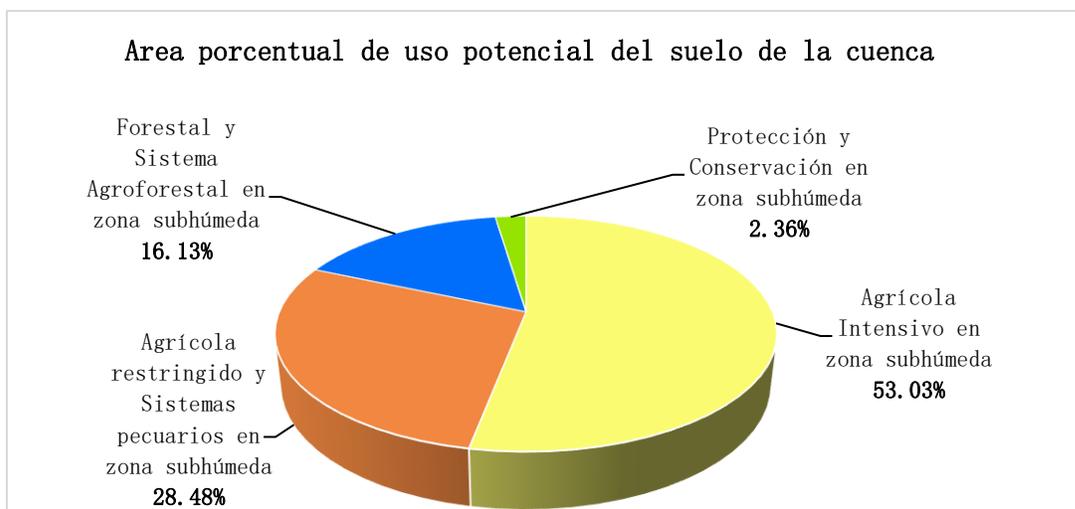


Grafico 2: Area porcentual de uso potencial del suelo de la cuenca 69-95259905. Fuente: INETER. Elaboración: Propia

Agrícola intensivo en zona subhúmeda: Ocupan un area de 6.74 km², el uso potencial del suelo se describe en la siguiente tabla:

Cultivos adaptables						
Granos basicos	Oleaginosas	Hortalizas	Cucurbitáceas	Raíces y tuberculos	Cultivos semiperennes	Cultivos perennes
Maiz, frijol, arroz, sorgo blanco	Soya, maní, ajonjolí, girasol	Tomate, chiltoma, cebolla, repollo	Melon, sandia, ayote, pipian	Yuca, papa, quequisque	Musaceas, piña, pitahaya, papaya, granadilla	Citricos, aguacate, mango, guayaba.

Tabla 9: Cultivos adaptables para uso agrícola intensivo en zona subhúmeda
Elaboración: Propia

Agrícola restringido y sistemas pecuarios en zona subhúmeda: Ocupan 3.62 km² igual a un 28.48 % (Ver grafico 2), del area de estudio, es importante mencionar que en algunos casos para los cultivos anuales se tienen que hacer practicas de manejo y conservacion de suelos.

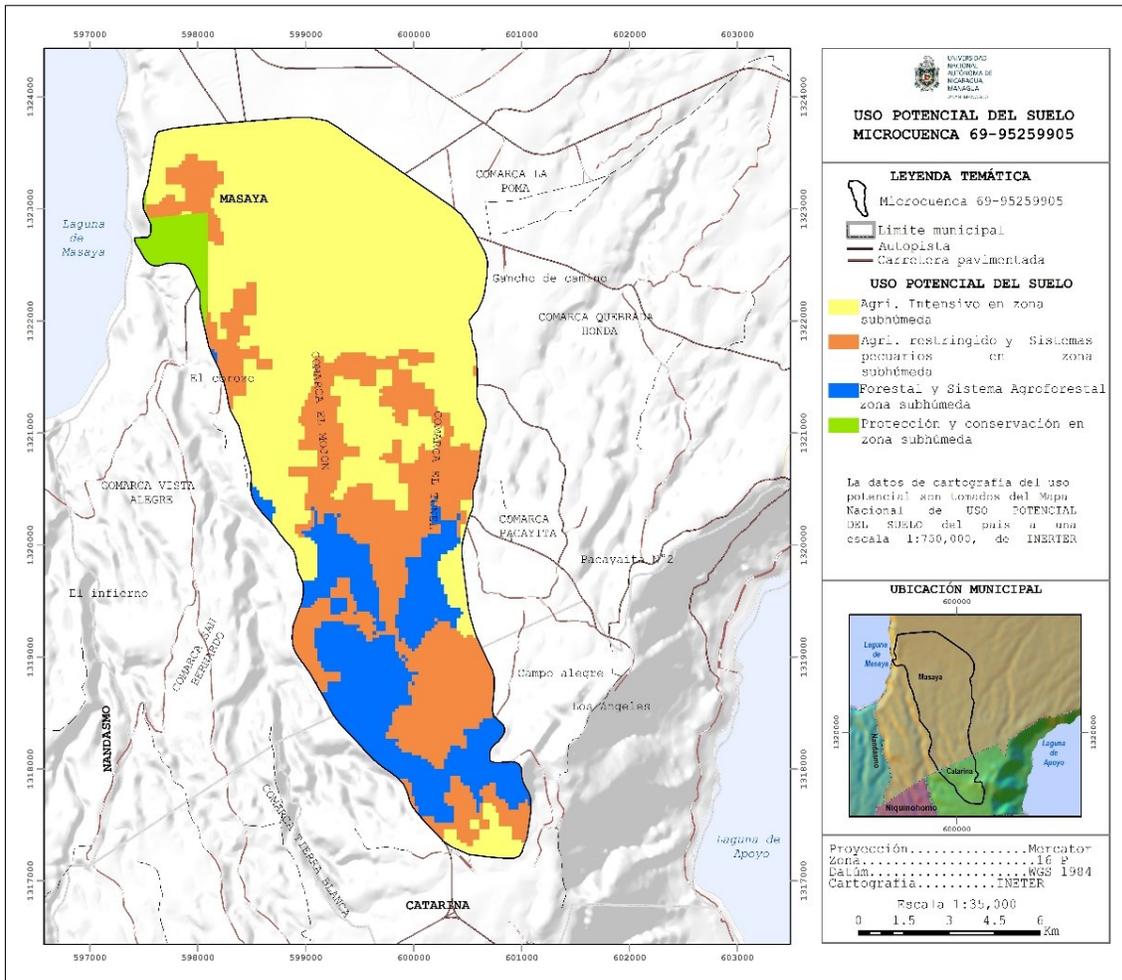
Cultivos adaptables				
Granos basicos	Cucurbitáceas	Raíces y tuberculos	Cultivos semiperennes	Cultivos perennes
Maiz, frijol, arroz	Melon, sandia, ayote, pipian	Yuca, papa, quequisque	Musaceas, piña, pitahaya, papaya, granadilla	Café, cacao, Citricos, aguacate

Tabla 10: Cultivos adaptables en la zona subhúmeda de la cuenca 69-9552994
Elaboración: Propia

Forestal y sistemas agroforestales en zona subhúmeda: Con un total de 2.05 km² de área en la cuenca, estos suelos tienen limitaciones debido a la alta susceptibilidad de erosión severa y abundantes fragmentos de rocas en la superficie, este uso potencial radica en el manejo de bosque algunos cultivos adaptables.

Protección y conservación en zona subhúmeda: Ocupan 0.3 km², corresponden a zonas de relieve plano a escarpado, en el mapa de pendiente de la cuenca se refiere a las zonas de la ladera de la laguna de Masaya y las pendientes mas escarpadas al sur de la cuenca; estas zonas no son aptas para ninguna actividad económica directa sobre el suelo, su uso se define en la protección de los recursos naturales, suelo agua, flora y fauna.

En el siguiente mapa se muestran el uso potencial del suelo.



Mapa 9: Uso potencial del suelo en la microcuenca 69-95259905 Fuente: Cartografía INETER. Elaboración: Propia

1.7 Cobertura de uso del suelo en la cuenca

La determinación de la cobertura y usos del suelo tienen su importancia para analizar el comportamiento hidrológico de una cuenca hidrográfica, aunque no sea una variable que determine el régimen hidrológico en su totalidad, es importante hacer relación con las demás variables ambientales.

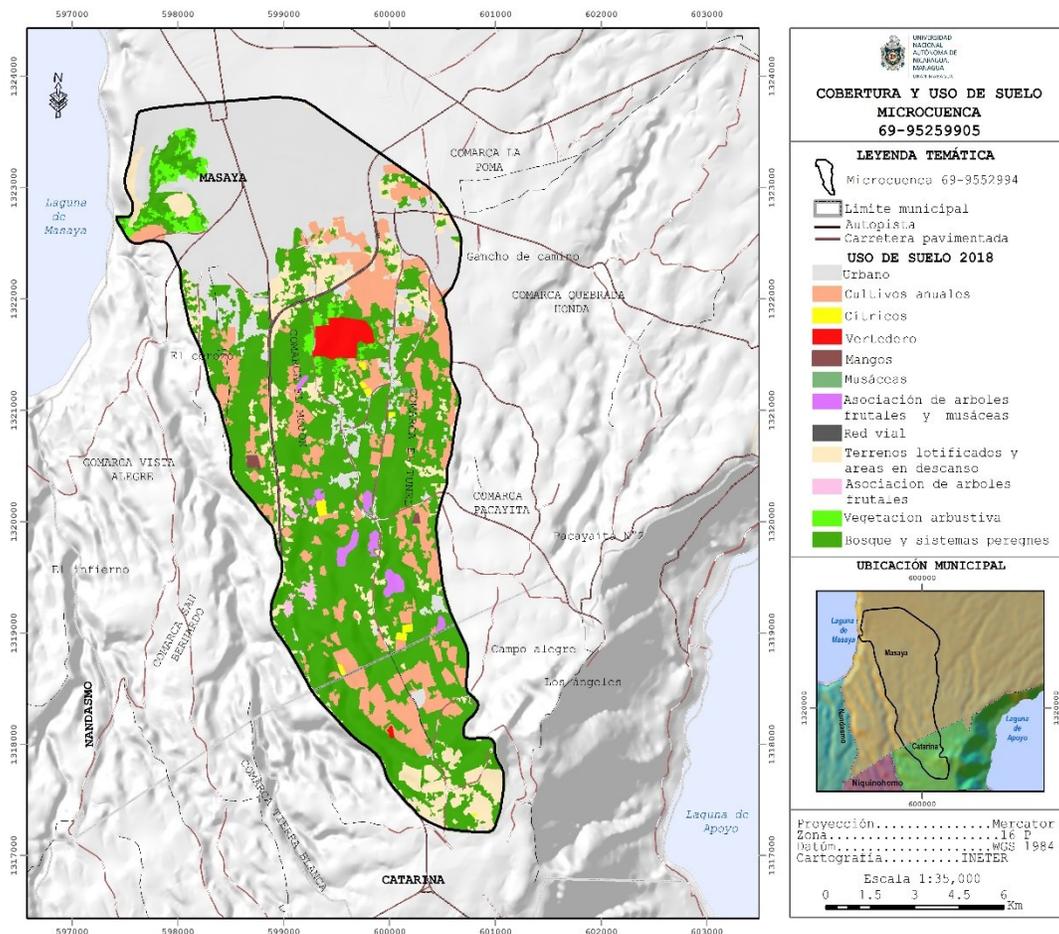
La tabla 11 muestra las clases de uso de suelos determinados en la cuenca de estudio.

N°	Área en Km ²	Clase	Porcentaje
1	3.48	Urbano	27.39
2	1.80	Cultivo anual	14.20
3	0.05	Cítrico	0.36

4	0.17	Vertedero	1.32
5	0.02	Mangos	0.15
6	0.01	Musáceas	0.05
7	0.12	Árboles frutales y Musáceas	0.97
8	0.17	Red vial	1.38
9	1.19	Tierras en descanso y lotificadas	9.37
10	0.05	Asociación de árboles frutales	0.41
11	0.21	Vegetación arbustiva	1.69
12	5.43	Bosque y sistemas perennes	42.79
	12.70		100

Tabla 11: Clase de uso de suelo encontrado en la cuenca. Fuente: Propia
Elaboración: Propia

El mapa muestra los diferentes usos y coberturas del suelo que se encuentran en la cuenca y que ayuda a identificar espacialmente su ubicación.



Mapa 10: Cobertura y Uso de suelo en la microcuenca 69-95259905.
INETER. Elaboración: Propia

Fuente: Cartografía

Con un 0.36 % se determinaron áreas de cítrico, áreas puntuales de mango que equivalen a un 0.15%, la combinación de árboles frutales y musáceas 0.97%, áreas de asociación de árboles frutales 0.41%. En la cuenca se tomó como clase única el área de vertedero (Sitio de disposición final de la basura) con un porcentaje del 1.32%, en vista a las condiciones ambientales de estos sitios se detectaron áreas de vegetación arbustiva, particularmente arbustos con tallos leñosos, así como también en la parte noroeste de la cuenca, en las periferias de las laderas de la laguna de Masaya, esta cuenta con un porcentaje de 1.69% del área total.

Se determinó un 42.72% correspondiente a bosque y sistemas perennes, uso que más predomina en la cuenca; la característica de este sistema se basa en la asociación de árboles maderables y árboles frutales, ya que no es una zona de bosque latifoliado abierto, se realizó un inventario de las especies de árboles maderables y frutales.

Las tabla 12 muestra las especies de árboles frutales que se pudieron observar en la comunidad, a partir de la comprobación en campo. (Tomada de guía de observación, ver anexo 7).

Especies frutales observadas en la cuenca			
NOMBRE	Nombre científico	Reino	Clase
MANGO	Mangifera india	Plantae	Magnoliopsida
MAMÓN	Melicoccus bijugatus	Plantae	Sapindanceae
AGUACATE	Persea americana	Especie	Anacardiaceae
JOCOTE	Spodias purpurea	Especie	Sapotaceae
CAIMITO	Chrysophyllum cainito	Especie	X
ZAPOTE	Pouteria soputa	Especie	X
NÍSPERO	Eriobotrya japonica	Especie	X
MARAÑÓN	Anarcadium occidentale	Especie	X
MELOCOTÓN	Prunus pérsica	Especie	X

Tabla 12: especies Frutales predominante en la cuenca 69-9552994.

Fuente: Propia. Elaboración: Propia

Así mismo se procedió a implementar la guía de observación para conocer parte de las especies de árboles maderables en la cuenca, las cuales se muestra en la tabla 13.

Especies maderables predominantes en la cuenca			
Nombre	Nombre científico	Reino	Clase
Cedro real	Cedrus	Plantae	X
Caoba	Swietenia macrophylla	Plantae	Pinopsida
Pochote	Ceiba pentandra	Plantae	Malvaceae
Guanacaste	Enterolobium cyclocarpum	Plantae	Magnoliopsida
Laurel	Laurus nobilis	Plantae	Lauraceae
Guachipilín	Diphysa Americana	Plantae	Sapindáceae
Aceituno	Olea europea	Plantae	X

Tabla 13: Especies maderables predominante en la cuenca 69-9552994.

Fuente: Propia Elaboración. Propia

La cobertura de uso del suelo proporciona los información de las principales actividades, así como su relación y distribución, en este caso los resultados determinaron que la dinámica de uso de suelo se por áreas ocupadas por cultivos anuales, cítricos, árboles frutales con musáceas, áreas de vegetación arbustiva cercanas al vertedero.

Sin embargo el análisis se encarga más en tres clases; el urbano, ya que sobre la parte baja de la cuenca se encuentra gran parte del casco urbano de la ciudad de Masaya, esto hace que se ejerza presión en las periferias de la misma, disminuyendo las áreas destinadas a cultivo, propiciando el aumento de tierras en descanso y lotificadas.



Ilustración 6: Árbol de Guanacaste con más de 50 años de existencia. Fuente: Propia



Ilustración 6: Árbol Maderable de cedro Real, Guachipilín Y Laurel. Fuente: Propia

La caracterización de bosque y sistemas perennes se basa en la combinación de árboles maderables y frutales, no se determina como área de bosque latifoliado abierto.

1.8 Probables impactos en el recurso hídrico por uso actual y potencial del suelo establecido en la cuenca

El uso potencial y el uso actual del suelo tienen una estrecha relación, debido a que en el territorio tiene que haber un manejo y conservación del suelo, así mismo forma parte de las variables que intervienen en el régimen hidrológico de la cuenca hidrográfica. Los usos del suelo que no están en relación con el uso potencial corresponden a la clase de uso red vial, vertedero y urbano, esta última con mayor relevancia ya que el avance de la urbanización contribuye en gran medida a alterar el comportamiento hidrológico ante eventos de precipitación, la presión urbana está presente en la parte baja en la que se encuentra el casco urbano de la ciudad de Masaya y en la parte alta de la ciudad de Catarina (Ver mapa número 1 de ubicación geográfica).

Uso y cobertura	Uso potencial relacionado al uso actual
Urbano	-----
Cultivo anual	Agrícola restringido y Sistemas pecuarios y Agrícola Intensivo en zona subhúmeda
Cítricos	Forestal y Sistema Agroforestal en zona subhúmeda
Vertedero	-----
Mangos	Forestal y Sistema Agroforestal en zona subhúmeda
Musáceas	Agrícola restringido y Sistemas pecuarios en zona subhúmeda
Árboles frutales y musáceas	Forestal y Sistema Agroforestal en zona subhúmeda
Red vial	-----
Tierras en descanso y lotificadas	Agrícola Intensivo en zona subhúmeda
Asociación de árboles frutales	Forestal y Sistema Agroforestal en zona subhúmeda
Vegetación arbustiva	-----
Bosque y sistemas perennes	Forestal y Sistema Agroforestal en zona subhúmeda

Tabla 14: Uso potencial relacionado con el uso actual. Fuente: Propia. Elaboración: Propia

El uso inadecuado del suelo trae consigo posibles escenarios menor infiltración, mayor arrastre de sedimentos y erosión de los suelos. (Blandón, 2018); por lo tanto, se resume que incide en régimen de captación de agua superficial como subterránea en la cuenca.

1.9 Principales hallazgos del Capítulo 1

- Textura de suelo franco, esto se debe a su geología; los materiales volcánicos recientes del cuaternario y los estratos de las diferentes formaciones ayudan a que el suelo sea bien drenado y con buenas condiciones para la agricultura.
- La dinámica de uso de suelo se emarca en tres grandes clases: **bosque y sistemas perennes (42.79%)**, **urbano (27.39%)** y **cultivo anual (14.20%)**
- El uso urbano corresponde en su mayoría al casco urbano de la ciudad de Masaya, esto hace que se ejerza presión en las periferias de la misma, disminuyendo las áreas destinadas a cultivo, propiciando el aumento de tierras en descanso y lotificadas.
- El uso potencial predominante es **Agrícola intensivo en zona subhúmeda representa el 53.01 %** del área y los cultivos adaptables son: Soya, maní, ajonjolí, girasol, Tomate, chiltoma, cebolla, repollo, Melón, sandía, ayote, pipián Yuca, papa, quequisque, Musáceas, piña, pitahaya, papaya, granadilla Citricos, aguacate, mango, guayaba desarrollado en su mayoría en pendientes de 0-15% correspondiente a la parte baja de la cuenca.
- Geomorfológicamente el 84.13 % del área es una planicie ondulada-levemente inclinada, la particularidad de la planicie radica en la disectación por la red de drenaje, los pequeños arroyos y la textura del suelo hace que los cauces naturales corten y formen pequeñas

cárcavas pronunciadas que se traducen como pequeñas quebradas de la red drenaje en la planicie.

Capítulo 2. Morfometría de la cuenca en estudio

2.1 Parámetros de forma y tamaño en la cuenca.

2.1.1 Área y Perímetro

La cuenca posee un área de 12.7 km², según (CAMPOS 1992) es considerada como una cuenca muy pequeña, por poseer menos de 25 km. El perímetro de la cuenca es de 17.79 km.

2.1.2 Razón de elongación

El valor encontrado para la cuenca fue de 0.048. (Jardí M. , 1985) Citado por (Juarez, 2016) indica que los valores de Re inferiores a 1, implican formas alargadas, cuanto menor sea Re , más alargada será su forma. Por lo tanto, la cuenca en estudio presenta un resultado menor a 1, lo que indica una cuenca alargada, esto se puede relacionar con los eventos de precipitaciones ya que no se generan fuertes picos de crecidas en el caudal de salida; sin embargo, esto puede cambiar al encontrarse una cuenca con un uso actual no manejado; particularmente en el área en estudio el suelo urbano que se localiza en la parte baja de la cuenca, aumentara la velocidad de escurrimiento y propiciara una mayor velocidad de arrastre.

2.1.3 Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelius

El índice obtenido para la cuenca fue de 1.41, indica una forma oval-redonda a oval oblonga, su concentración de agua es lenta, la duración de escurrimiento hacia el cauce principal será en menor tiempo, debido a la longitud de los cauces secundarios, para la cuenca varían de 0.5 a 3.24 km.

La forma alargada de la cuenca y las pequeñas longitudes de sus cauces se relaciona con la pendiente suave del terreno, por lo general la cuenca en términos ambientales, tendrá bajas probabilidades a inundaciones.

2.1.4 Factor de forma de Horton

Se obtuvo un valor 0.36, indica una forma alargada y no achatada, el río principal de la cuenca, tiene buena capacidad de colector agua, además de poseer una mayor longitud que sus tributarios se debe de tomar en cuenta las pendientes de la cuenca en la parte alta, varían de 15 a 30 % (Mapa 11: Pendiente de la cuenca 69-95259905), esto favorece al escurrimiento de la lámina de agua, no obstante en la parte baja aunque posea pendientes entre 0 a 15 %, esta puede ser afectada por crecidas e inundaciones cerca del punto de desfogue donde el uso del suelo es urbano, que trae consigo menor infiltración y más escorrentía superficial, contribuyendo a que la red de alcantarillado.

La cuenca ante un evento de precipitación debido a estos factores antrópicos que determinan el hidrograma de crecida, modifica el caudal de salida y la capacidad de captar agua en la cuenca, a pesar de haber obtenido un valor de referencia estable en términos morfométricos, las características físico geográficas de la cuenca estarán siempre estrechamente relacionados con la forma de la misma.

Longitud Axial: El resultado es la longitud de 5.93 km, este cálculo fue importante para el cálculo del factor de forma de Horton.

2.2 Parámetros de Relieve

2.2.1 Desnivel Altitudinal:

La cuenca posee una altura mínima de 116 msnm y una máxima de 626 msnm desnivel altitudinal de 510 msnm, indicando una cuenca con una altura relevante en cuanto a los procesos de erosión, la característica del relieve indica una formación geomorfológica de meseta, la cual posee una suave pendiente, el desnivel altitudinal es un indicativo que en la cuenca existen diferentes pisos altitudinales y por ende diferente ecosistema.

2.2.2 Pendiente promedio de la cuenca

La pendiente promedio de la cuenca es de 6.04 %, según el método de clasificación de la pendiente elaborada para Nicaragua, (INETER, 1978), se

habla de un relieve en su mayoría moderadamente ondulado-inclinado, evidentemente la escorrentía escurre ligeramente hacia la parte baja. La cobertura de uso de suelo de bosques y sistemas perennes, que se encuentra en la parte alta y media de la cuenca y que ocupa aproximadamente el 42.79 % de la superficie, (ver tabla 11) favorece los procesos de infiltración debido a la intercepción de la lluvia en el follaje, disminución de la velocidad de la escorrentía.

Es importante analizar este factor con las características edáficas del suelo, que posee una textura franca, lo que permite una permeabilidad moderada, capacidad de humedad disponible moderada.

2.2.3 Razón de relieve y relación de Relieve

La Relación de relieve complementa el análisis de la Razón de relieve en lo que refiere a la relación con el caudal y según (Senciales, 1999) explica la importancia del uso conjunto, ya que la razón de relieve hace posible conocer la existencia de áreas locales con elevada velocidad de caudales y la Relación considera la presencia de fuertes velocidades de caudales generalizadas.

La cuenca presenta una **razón de relieve de 0.62**, esto indica que la velocidad del caudal de la cuenca es lenta y que se relaciona con la pérdida anual de sedimento, dado que el resultado del parámetro es relativamente bajo, los procesos de erosión se dan en menor escala y se relaciona con la pendiente que en la mayor parte del territorio de la cuenca es de planicie suave. (Ver mapa 4 de pendiente). Este resultado es brindado bajo un escenario ideal de uso de suelo.

No obstante el escenario puede ser distinto en la parte alta, ya que es donde se encuentran pendientes mayores al 30 %, esto favorece el aumento de la velocidad del caudal, tendiendo a subir su capacidad de fuerza erosiva, el comportamiento también puede ser posible en la parte baja de la cuenca, en este caso las pendientes son menos pronunciadas con rangos entre 0 a 15 %, sin embargo la impermeabilidad del suelo producto de su actual uso puede aumentar de igual forma la velocidad del caudal, la fuerza erosiva no tendría gran realce, sino la transportación y el depósito de sedimentos.

La Relación de relieve es de 1.61, indicando que la cuenca posee bajos índices de erosión, esto está en correspondencia con la pendiente, que en

toda la cuenca que es 6 %, en promedio. Es decir que la red drenaje ha venido modelando el actual relieve asociado a la baja la velocidad de su caudal. Esta capacidad erosiva planteada y muy general en la cuenca es potencial, ya que se entiende un caudal para toda la cuenca, por ello es importante siempre tener presente la intensidad de las precipitaciones que provocaran caudales diferentes y la resistencia del sustrato a ser erosionado por la acción mecánica del agua.

2.2.4 Curva Hipsométrica

Según (Strahler, 1957) citado por (Huaman, 2015), el estado de evolución de las cuencas, se puede visualizar a través de la las curva hipsométrica, mostrando la diferencia entre la sinuosidad del cauce y la proporción de área; curva convexas con estadios jóvenes indican un proceso de erosión leve y cauces jóvenes, curvas con forma de S con estadios intermedios indican equilibrio entre proceso de erosión y madurez del rio y curvas

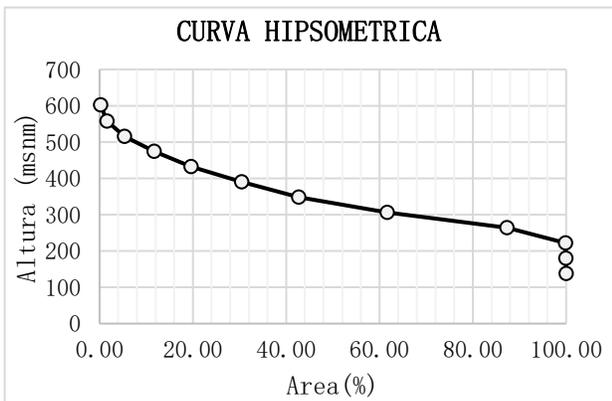


Gráfico 3: Curva Hipsométrica. Fuente: Propia
Elaboración: Propia

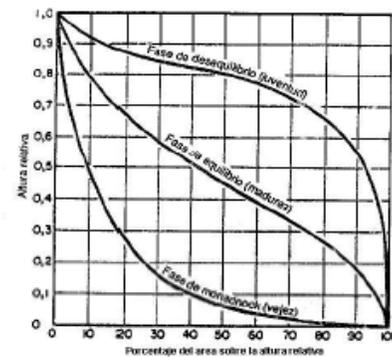


Ilustración 7: Clasificación de la curva Hipsométrica según Strahler. Fuente (Strahler, 1957)

cóncavas con estadios últimos de evolución indican cauces viejos y procesos muy elevados. Ver ilustración 7.

De acuerdo con la antes mencionado, en la cuenca se determinó una curva convexa con estadios intermedios que indican un equilibrio entre el proceso de erosión y el estado de madurez de sus cauces (ver gráfico 3). Lo cual se relaciona con la formación geológica de la cuenca, ya que pertenece a una formación joven del periodo cuaternario, a pesar de que los estratos no están bien confinados la cubierta vegetal ayuda a disminuir los procesos

erosivos. De igual manera los ríos presentes en la cuenca son maduros, mostrando un bajo nivel de erosión en sus lechos, esto lo comprueba su bajo valor de Razón de Relieve.

Como posible escenario se prevé un aceleramiento forzado en el estado evolutivo de su madurez, debido a que en la parte alta en los últimos años ha venido aumentando el crecimiento urbano de la ciudad de Catarina y además en dicha zona se tienen las mayores pendientes (ver mapa 4), provocando el aumento de la erosión del suelo, menor infiltración y mayor escorrentía, lo que infiere que los sedimentos sean transportado y depositados en la parte media y baja de la cuenca.

El punto de desfogue del rio principal es la Laguna de Masaya, por lo que al graficar la curva se visualiza una línea semi vertical que esta entre la altura de 116 a 210 msnm, la imagen satelital de google Earth en 3D se puede constatar que es parte de la ladera de la laguna de Masaya ver ilustración 8.



Ilustración 8: Transcurso del rio principal de la cuenca en 3D.
Fuente: Google Earth. Elaboración: Propia

La realizacion del histograma de frecuencias ayudò a comprobar la relacion del estado evolutivo de la cuenca y su posible escenario de aceleraciòn en cuanto a niveles de erosiòn, los pisos altitudianles mas representativos estan en la parte baja con rangos entre 242 a 284 msnm, no se presentan rangos de pisos altitudinales de mayor altura, por ello la suceptibilidad a los procesos erosivos pueden darse con mayor facilidad en la parte alta sumado con el factor de uso de suelo urbano explicado anteriormente.

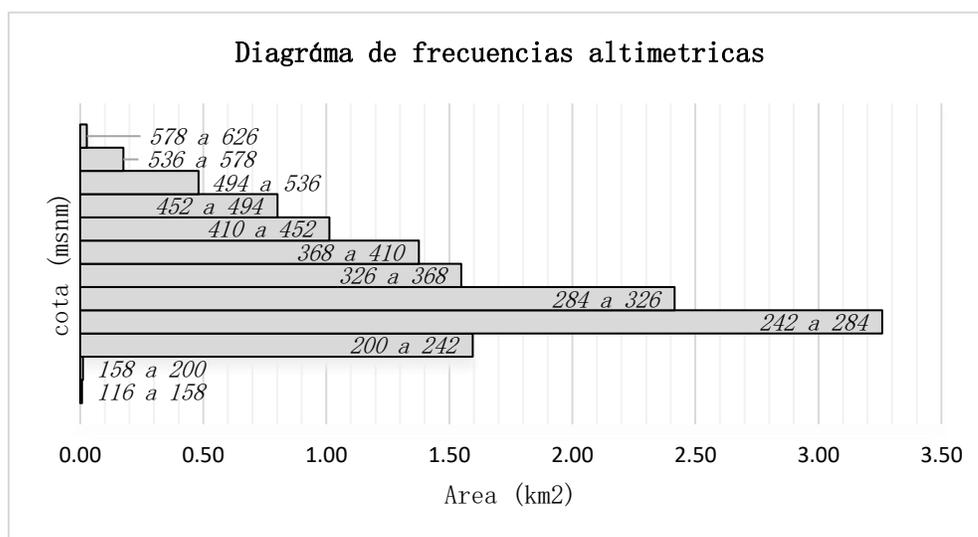


Grafico 4: Diagrama de frecuencia altimétrica. Elaboración: Propia

2.2.5 Pendiente media del cauce principal

El río principal de la cuenca presenta una pendiente del 0.055%, lo que indica que en eventos de precipitación el caudal es bastante suave, en termino general la velocidad del rio será baja descartando gran peligrosidad para zonas cercana, ya que la lámina de agua se desplazara de una forma lenta favoreciendo el proceso de infiltración; así mismo el tipo de material del lecho del río (Ver acápite 5.1 de geología) que son materiales de formación volcánica, toba, lapilli, pómez y aglomerado, estos son altamente permeables, determinado un rio perteneciente a formaciones geológica joven, cuya longitud de 9.33 km.

2.2.6 Razón de Bifurcación

El rango encontrado para la cuenca fue de 2.4, lo cual indica una cuenca con bajo valor de bifurcación siendo esta una cuenca fuertemente ramificada **con ríos de cuarto orden**, ver mapa 11.

En relación a lo anterior (Gregoriy & Walling, 1973) citado por (Gonzales, 2004), relacionan la razón de bifurcación con la razón de elongación, de forma que entre más redonda es una cuenca, menor será la razón de bifurcación y mayor el riesgo de crecida bruscas en la desembocadura. La cuenca en estudio tiene una forma alargada, por lo que presenta una baja razón de bifurcación, por lo que para este caso no se cumple lo planteado por los autores mencionado anteriormente, esto es justificable por las bajas pendientes que se encuentran en la parte media y baja de la cuenca, (ver mapa 4 de pendiente), otro aspecto que justifica el resultado es el bajo drenaje de la cuenca por lo que no se esperan fuertes crecidas al momento de las precipitaciones, su red de drenaje cursa por zonas llanas provocando que las escorrentías presenten retardo, no obstante, en la parte baja de la cuenca se pueden generar fuertes crecidas por la poca permeabilidad del suelo, la cuenca es susceptible al cambio brusco de uso de suelo, siendo en la actualidad de uso urbano.

2.2.7 Razón de Longitud

La razón de longitud de la cuenca es de 0.58 esto indica que en el cauce se da una mayor concentración de energía, debido a la suave pendiente de su lecho y la ramificación de sus tributarios, la concentración de las aguas lenta y estable, la uniformidad de la planicie disectada en la parte baja muestra este proceso en cambios de velocidad que no se dan de forma brusca pero la capacidad de arrastre se mantendrá en equilibrio, sin embargo, estará en dependencia del uso y estado del suelo.

2.2.8 Sinuosidad Hidráulica

Este parámetro determinó la forma del canal principal; la cuenca obtuvo un resultado de 1.5, esto indica alta sinuosidad hidráulica, y según el tipo de canal es transicional, (Senciales J. M., 1998) manifiesta que la mayor sinuosidad suele ser frecuente en cauces de poca pendiente, característico de un canal transicional de la cuenca de estudio, ya que no posee grandes

rasgos orográficos, es decir no se dan procesos agresivos de erosión en su lecho.

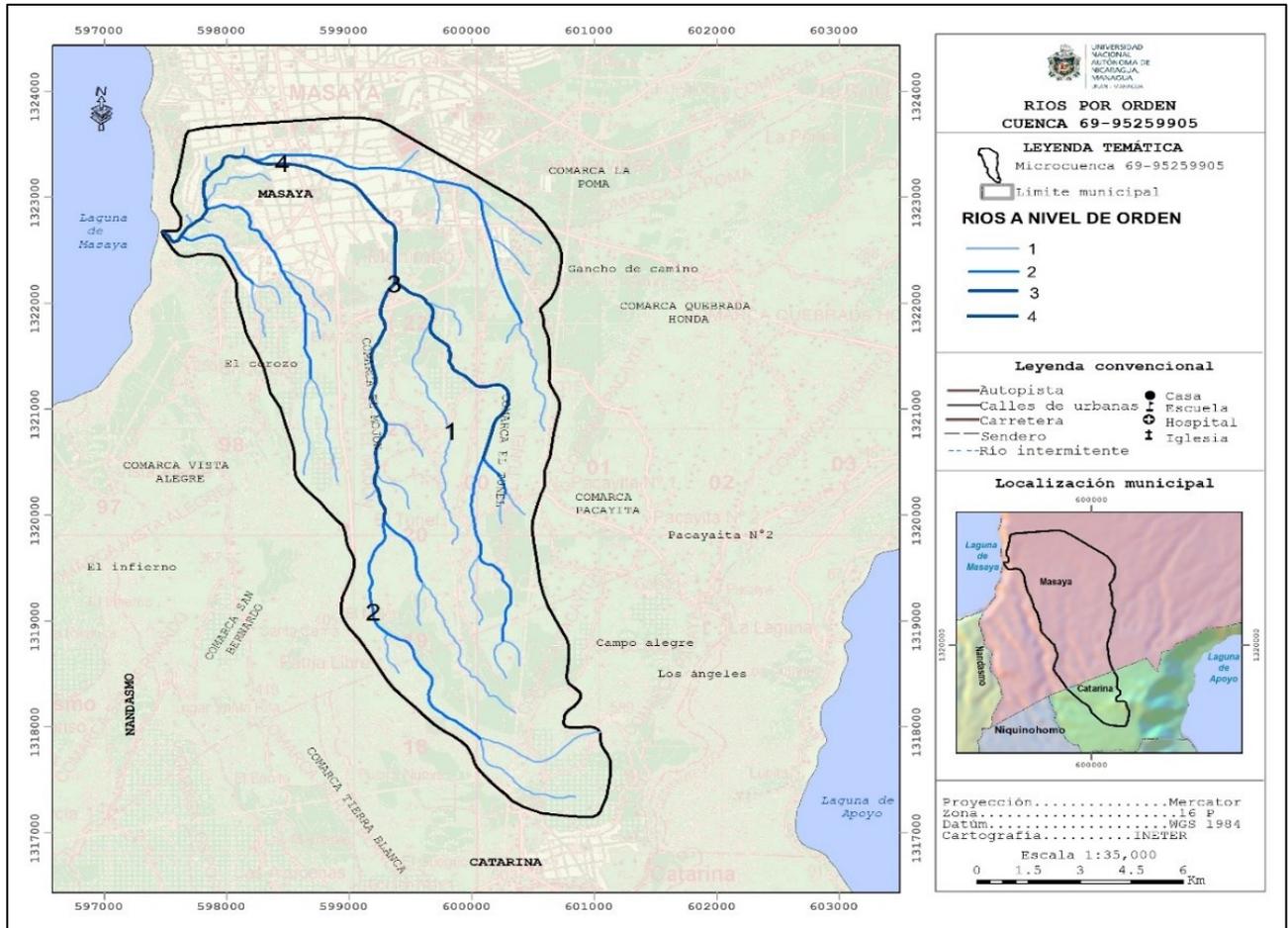
2.3 Parámetro de Morfometría Fluvial

2.3.1 Orden de Ríos

La red de drenaje de la cuenca está constituida por cauces de corta longitud y con un patrón de drenaje **de forma dendrítica**. Según la clasificación de (Horton R. , 1945) el orden de los ríos es de clase media llegando a encontrar su máximo en cauces de cuarto orden, este recibe las aportaciones de los ríos de primer, segundo y tercer orden. La mayor parte de los cauces de la cuenca son de longitud corta y con un régimen intermitente, su longitud total de 38.25 km recorre pendientes pronunciadas en la parte alta, hasta llegar a la planicie disectada sobre un pendiente suave, las direcciones de los ríos van de sur a norte, evacuando las aguas en la Laguna de Masaya. Ver mapa 11.

Orden de Rios	Longitud en Km
Rio de primer orden	18.66
Rio de Segundo orden	11.6
Rio de tercer orden	4.75
Rio de cuarto oden	3.24
Total	38.25

Ilustración 9: Tabla 15: orden y longitud de los Ríos de la cuenca 69-95259905 Fuente: Propia
Elaboración: Propia.



Mapa 12: Ríos por orden, encontrados en la cuenca. Fuente: Propia. Elaboración: Propia

2.3.2 Densidad de drenaje

La cuenca obtuvo un valor de 3.01, lo que define que la cuenca tiene una densidad de drenaje moderada, y una textura gruesa, es decir en un evento de precipitación va evacuar el agua en un tiempo moderado, experimentando escorrentías concentradas.

El resultado de la densidad de drenaje se relaciona con el tamaño de la cuenca y con las bajas pendiente, las cuales son suaves ver mapa 4, por ello el transcurso de los cauces se da por zonas mayormente plana, evacuando la lámina de agua en tiempo moderado sin causar fuertes crecidas, por lo que se espera que la cuenca no sufra de inundación, erosión y transporte de sedimento, sin embargo, el uso de suelo podría modificar la densidad de drenaje esto por los cambios brusco que se generan en los diferentes parte

de la cuenca, disminuyendo la vegetación y la permeabilidad, así mismo a pesar de que la geología de la cuenca es de formación joven perteneciente al cuaternario con bajo nivel de erosión, esta es susceptible a procesos erosivos con los cuales lo más afectado es la parte media y baja de la cuenca en la que se depositan todo los sedimentos transportado de la parte alta

2.3.3 Índice de frecuencia

Para la cuenca el resultado fue de 2.83 esta no se considera de peligro en arroyadas, pero si presenta un nivel de peligrosidad en los diferentes canales en eventos de precipitación fuerte.

2.3.4 El coeficiente de torrencialidad

El resultado obtenido es 8.51, lo que indica que la cuenca presenta vulnerabilidad a erosión en la red de drenaje, esto se relaciona con el aumento de la velocidad del caudal del curso y el cambio de pendiente y suelo impermeabilizado en la parte baja de la cuenca, también está en correspondencia con tiempo de concentración o repuesta de la cuenca que es corto, no obstante, en la parte alta de la cuenca se presentar alta torrencialidad por el cambio de uso de suelo y la susceptibilidad de la geología de la misma.

2.3.5 Constante de mantenimiento del curso

La cuenca dio como resultado 0.25, lo cual indica que posee un bajo nivel de almacenamiento en la red de drenaje, lo que quiere decir que en la cuenca se necesitan 0.25 km de cuenca para mantener 1 km de cauce.

2.3.6 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración para la cuenca es de 0.60 horas o 36 minutos, esto indica que el tiempo es bajo, teóricamente en este periodo, el agua tendría que escurrir desde el inicio del cauce principal hasta llegar al punto de desfogue.

Este tiempo se relaciona con el tamaño de la cuenca siendo este pequeño, por lo cual el transcurso del cauce principal es corto. No obstante, este tiempo podría variar en dependencia del uso del suelo, en la parte alta de la cuenca.

En el siguiente cuadro se presentan los resultados de los parámetros morfométricos.

<i>Parámetros Geomorfológicos</i>	
<i>Parámetro de Forma y tamaño</i>	Resultados
<i>Área</i>	12.7 km
<i>Perímetro</i>	17.79 km
<i>Razón de elongación</i>	
<i>Coefficiente de compacidad o Índice de Gravelius</i>	1.41
<i>Factor de forma de Horton</i>	0.36
<i>Parámetros de Relieve</i>	
<i>Desnivel altitudinal</i>	510
<i>Pendiente promedio de la cuenca</i>	6.04 %
<i>Razón de Relieve</i>	0.62
<i>Relación de Relieve</i>	1.61
<i>Pendiente media del cauce principal</i>	0.055
<i>Razón de Bifurcación</i>	2.4
<i>Razón de Longitud</i>	0.58
<i>Sinuosidad Hidráulica</i>	1.5
<i>Parámetros de geomorfología Fluvial</i>	
<i>Red de Drenaje y orden de Ríos</i>	Patrón de drenaje de forma dendrítica y con ríos de 4 orden
<i>Densidad de Drenaje</i>	3.01
<i>Índice de Frecuencia</i>	2.83
<i>Coefficiente de Torrencialidad</i>	8.51
<i>Constante de mantenimiento de curso</i>	0.25
<i>Tiempo de concentración</i>	0.60 horas

Tabla 15: resultado de los parámetros Geomorfológicos Fuente: Propia. Elaboración: Propia

2.4 Principales hallazgos del capítulo 2:

- La cuenca posee un área de captación de 12.70 km², su índice de Gravelius de 1.41 alude a una forma Oval-redonda a oval oblonga con tendencia de concentrar grandes volúmenes de agua con un escurrimiento tranquilo, modificando su dinámica en la parte baja de la cuenca debido a la impermeabilización del suelo por uso urbano
- El sistema de la hídrica de la cuenca es intermitente con longitud total de 38.25 km, con dirección de flujo hacia la Laguna de Masaya, debido al sustrato erosionado y al tipo de material local se clasificó la red hídrica como cuarto orden de sistema dendrítico.
- La pendiente promedio de la cuenca es de 6%, la densidad de drenaje corresponde a 3.01 km/km², por lo que es una cuenca moderadamente drenada, su tiempo de concentración es de 0.60 horas (36 minutos), evacuando el agua lentamente. La curva hipsométrica determinó una cuenca con potenciales evolutivos de una etapa intermedia entre la fase de equilibrio relativo o de madurez.
- los resultados morfométricos indican que el área de estudio es susceptible a procesos de erosión, sedimentación y transportación, debido a los cambios de uso de suelo.

Capítulo 3: Oferta y demanda del recurso hídrico en la cuenca

3.1 Balance subterráneo

3.1.1 Análisis de datos de precipitación, temperatura, y Evapotranspiración.

Las cuencas hidrográficas son sistemas hidrológicos que reciben y procesan entradas de agua y producen salidas de ella. Por tanto, las cuencas son susceptibles a ser sometidas a un análisis de balance hídrico cuando se cuenta con información suficiente y buena para ello (Silva León, 2004). Precisamente en la cuenca en estudio no se tiene en su totalidad los datos requeridos; por lo cual debe considerarse este Balance Hídrico como un resultado preliminar.

3.1.1.1.1 Precipitación.

Para determinar la precipitación areal mensual de la cuenca se aplicó el método de la media aritmética con las estaciones Masaya (69115) y Campos Azules (69129), a través de coeficiente de correlación se comprobó si existe una estrecha relación entre los datos de las estaciones dando como resultado 0.98% de confianza

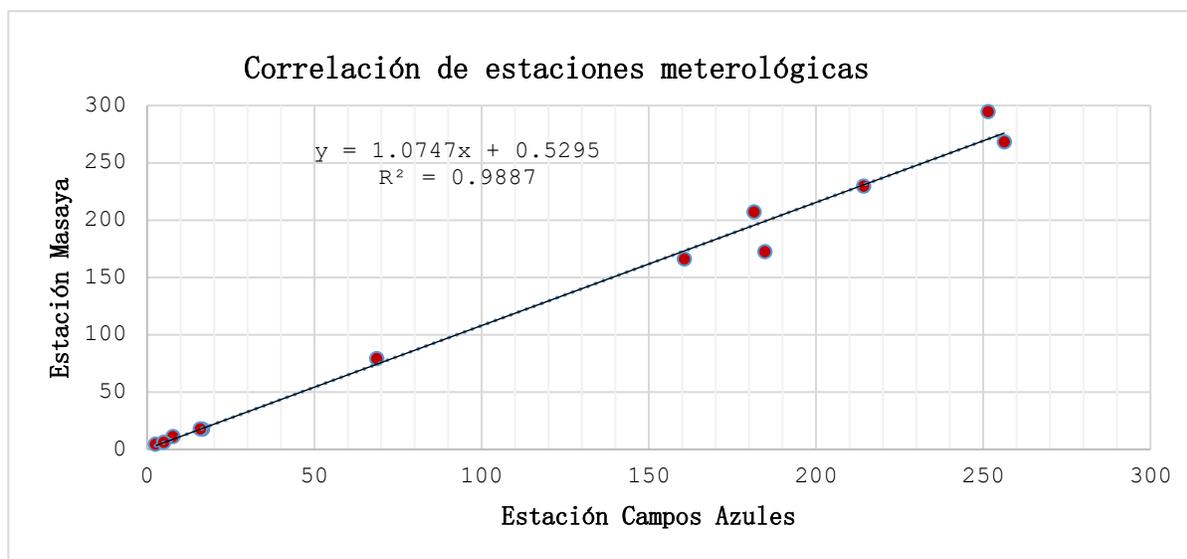


Gráfico 5: Correlación de estaciones meteorológicas.
Elaboración: Propia

Fuente: Estaciones meteorológicas INETER.

En la siguiente tabla se muestra la precipitación areal mensual de la cuenca, con un periodo de registro y análisis de 34 años (1983–2017), anualmente en la cuenca llueve un total de 1419.84 mm.

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Masaya	7.75	2.57	4.96	16.64	181.52	214.32	160.63	184.79	256.39	251.51	68.69	15.91
Campos Azules	11.08	4.50	6.19	17.45	207.12	229.54	166.05	172.48	268.05	294.57	79.16	17.84
Promedio	9.41	3.53	5.57	17.04	194.32	221.93	163.34	178.63	262.22	273.04	73.92	16.87

Tabla 16: Precipitación Areal mensual de la cuenca 69-95259905 Fuente: Estaciones meteorológicas de INETER. Elaboración: Propia

El comportamiento del factor precipitación durante la serie histórica se visualiza en la magnitud de la media, mínima y máxima presentada el siguiente gráfico:

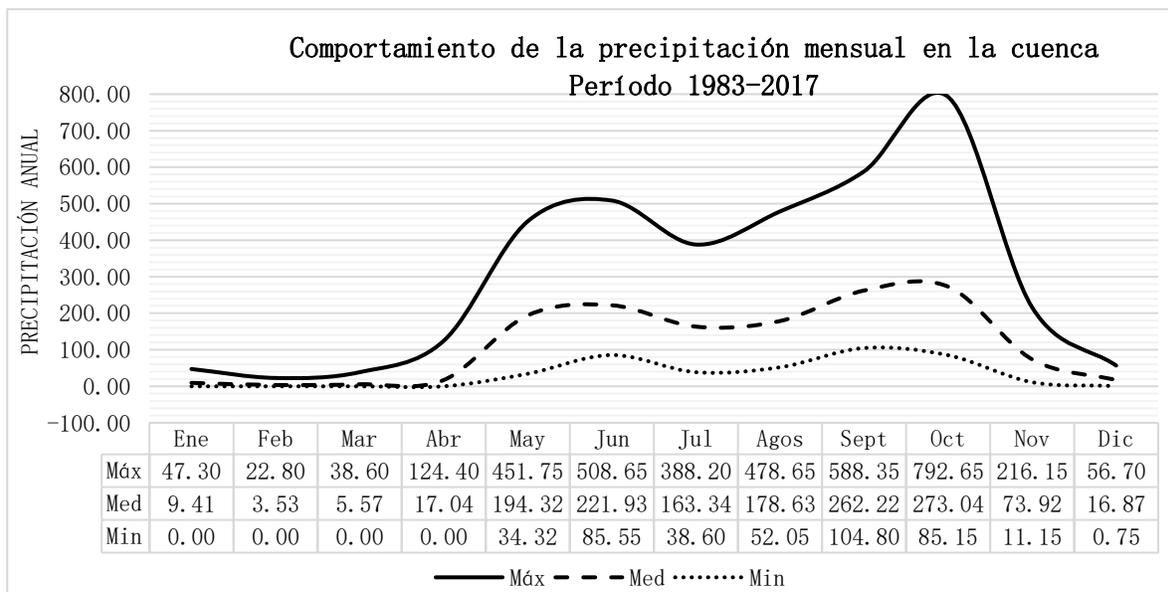


Gráfico 6: Comportamiento de la precipitación mensual de la cuenca 69-95259905 Fuente: Estaciones meteorológicas de INETER. Elaboración: Propia

En la cuenca se presentan dos periodos bien definidos; uno lluvioso que va desde mayo y finaliza en octubre, el cual se puede subdividir en dos sub periodos; el primero inicia en mayo y finaliza en julio, el segundo de agosto a octubre, en este periodo se acumulan 1293.49 mm anuales que equivale al 91.10% del total de lluvia que cae sobre la cuenca, así mismo un periodo relativamente seco que se extiende de noviembre a abril con un acumulado de 126.36 mm correspondiente al 8.90%, en otras palabras el

régimen de precipitación incidente en la dinámica hidrológica está marcado por las precipitaciones del periodo lluvioso.

Distribución de la precipitación durante el periodo lluvioso.

En los primeros tres meses del periodo (mayo - julio) se acumulan 579.59 mm equivalente al 44.81% del periodo y en el segundo trimestre de agosto a octubre 713.89 mm equivalente al 55.19% con respecto al acumulado anual del periodo lluvioso.

De acuerdo al gráfico 6, a inicios del periodo lluvioso se observan precipitaciones de 194.32 mm en mayo y 221.93 mm en junio. En julio con 163.34 y agosto con 178.63 mm se presenta un descenso en la precipitación, debido al establecimiento del periodo canicular, los máximos mensuales de este periodo lluvioso se presentan en septiembre con 262.22 mm seguido de octubre con 273.04, debido al acercamiento de sistemas sinópticos propios de la temporada.

Distribución de la precipitación durante el periodo seco

El periodo seco de acuerdo al (grafico 6) inicia en el mes de noviembre y finaliza en abril, el mes más húmedo es noviembre con 73.92 mm y los meses más secos son febrero y marzo con 3.53 mm y 5.57 mm. Durante todo el periodo seco se acumula un total de 126.36 mm anuales.

3.1.1.1.2 Temperatura

Para el análisis de esta variable se consideraron la estación Masaya y Campos Azules, puesto que como es una zona influenciada por la Meseta de los pueblos y la ciudad de Masaya, determinando una temperatura media anual de la cuenca de 25.25 ° C.

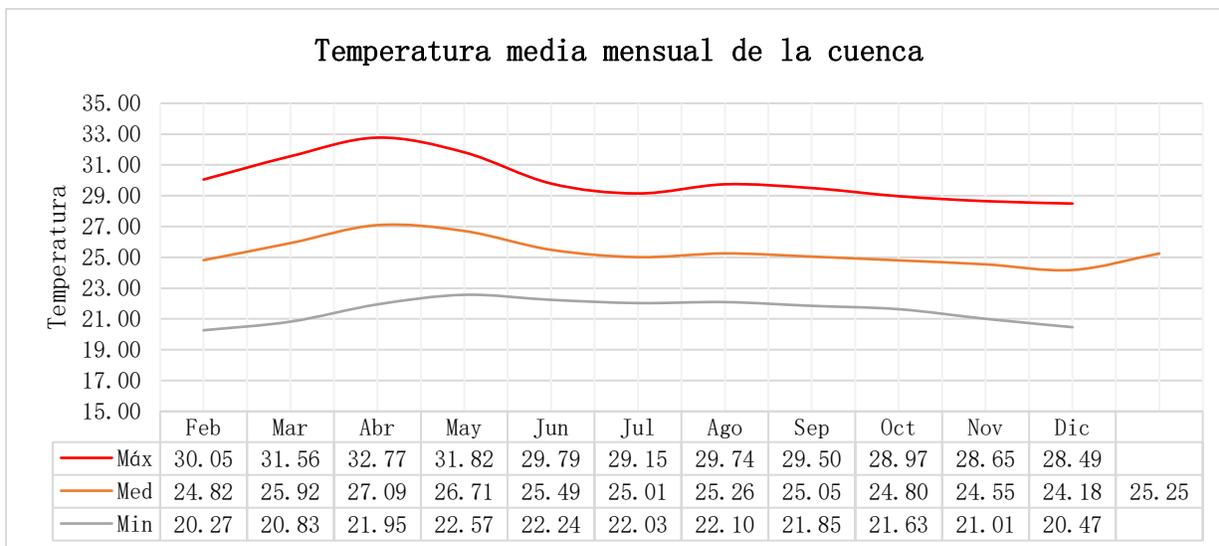


Gráfico 7: Temperatura media mensual de la cuenca 69-95259905 Fuente: estaciones meteorológicas de INETER Elaboración: Propia

El gráfico 7, representa el régimen térmico de la máxima, media y mínima, los valores de media mensual indican un comportamiento estable, en relación con los meses del periodo lluvioso de mayo a octubre, la temperatura media es de 25.25° C, se observa que los meses con mayor temperatura son mayo con 26.72° C y agosto con 25.26° C, descendiendo paulatinamente hasta el mes de octubre con 24.80° C.

Para el periodo seco del año los meses con las medias más altas son los meses de abril y marzo con 27.09 y 25.92 ° C respectivamente, descendiendo en los meses de noviembre y diciembre debido a las masas de frente frío provenientes de las latitudes norte y que coinciden con la estación de invierno en el hemisferio, para el periodo seco se tiene una media de 25.49° C.

3.1.1.1.3 Evapotranspiración

Los resultados de la evapotranspiración potencial de la cuenca fueron estimados por el método de *Hargreaves*, a continuación, para efectos de ejemplo se muestra el cálculo para el mes de enero, los resultados de los demás meses se encuentran en el anexo 6:

$$ETP = 0.0135(T_{med} + 17.78)R_s$$

Donde $R_s = R_o + KT(T_{max} - T_{min})^{0.5}$

Datos:

Tmax: 30.45

Tmin:20.73

Tmed:25.41

Radiación solar= 12.60

Valor de KT: 0.16 para zonas del interior se tiene:

$R_s = 12.60 * (30.45 - 20.73)^{0.5} * 0.16 = 6.29$ mm/día.

Finalmente:

$ETP = 0.0135 * (T_{med} + 17.78) R_s$

$ETP = 0.0135 * 0.583 * 6.29$

$ETP = 2.04$ (31 días del mes)

$ETP = 63.26$ mm/d

Realizando el cálculo para todos los meses del año se tienen una evapotranspiración anual de 992.94 mm/anales

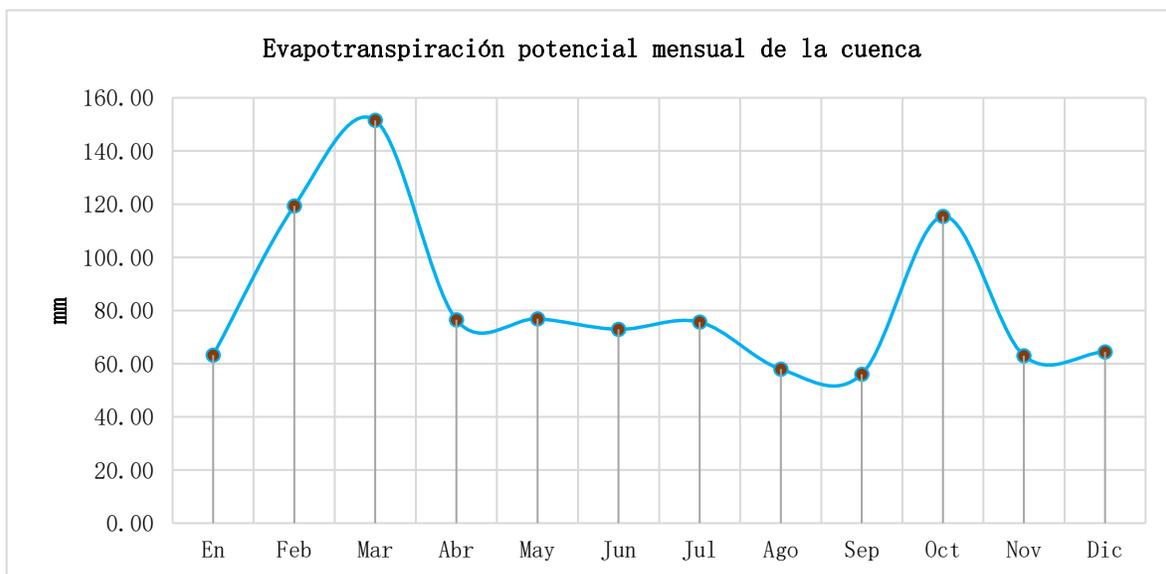


Gráfico 8: Evapotranspiración potencial mensual de la cuenca. Fuente: Estaciones meteorológicas de INETER Elaboración: Propia

Analizando el comportamiento de esta variable, los valores máximos se presentan en el periodo seco en los meses de febrero (119.31) y marzo (151.49), para todo el periodo seco se tiene un acumulado de 538.05 mm, que corresponde al 54.10% de evapotranspiración total, esto se relaciona con el comportamiento de la temperatura, que coincide con las mayores para estos meses.

Para los meses del periodo lluvioso se mantiene una evapotranspiración estable entre los rangos de 56.13 y los 76.88 mm, exceptuando el mes de octubre con 115.40 mm, en este periodo se tiene un acumulado de 454.89 que equivale al 45.81% de precipitación que se evapotranspira.

3.1.2 Entradas del balance hídrico

3.1.2.1 Recarga directa.

La recarga directa se define como la cantidad de agua disponible que se recarga en el acuífero de la cuenca, en donde se consideran condiciones climáticas y características físicas de los suelos que cubren al acuífero.

Dentro de la cuenca 69-95259905 se realizaron 2 pruebas de infiltración para suelos de textura franco, donde se obtuvieron valores de 43.20 y 80,81 mm/d, con un promedio para toda la cuenca de 62.035 mm/d.

Las condiciones de recarga en la cuenca se deben al ambiente geológico de la formación Las Sierras, los estratos volcánicos de los bloques de Ticuantepe y pómez de apoyo son materiales permeables, estos han desarrollado la textura del suelo franco, debido a esta característica los suelos de la cuenca poseen un buen drenaje interno. (Ver acápite 4.1.2.1).

Aplicando el método del balance hídrico de suelos (Schosinsky G. , 2006) se obtuvieron los valores de recarga potencial al acuífero de la cuenca hidrográfica en estudio, los resultados se expresan en la siguiente tabla:

Tipo de suelo	Coefficiente de infiltración (mm/día)	Recarga potencial (mm)	Área de la cuenca en km ²	Recarga potencial (MMCA)
Mollisols	62.035	233.03	12.7	2.96

Tabla 17: Recarga potencial de la cuenca 69-95259905. Shosinsky G Elaboración: Propia

Fuente: propia bajo método de

El balance indica una recarga de 2.96 mmca (millones de metros cúbicos anuales), homogenizando suelo de tipo Mollisols con textura franco.

En el grafico 9 se observa que, en los meses de enero, febrero, marzo abril las precipitaciones en la cuenca son mínimas y la ETP es mayor correspondiendo con los meses de mayor temperatura, por lo que para estos meses no se tiene recarga hídrica, para el mes de mayo a pesar de que se inicia el periodo lluvioso con 194.32 mm el agua se pierde por evapotranspiración, escorrentía, así en los espacios porosos del suelo y que utilizan las diferentes coberturas para su desarrollo para dar inicio a la capacidad de campo.

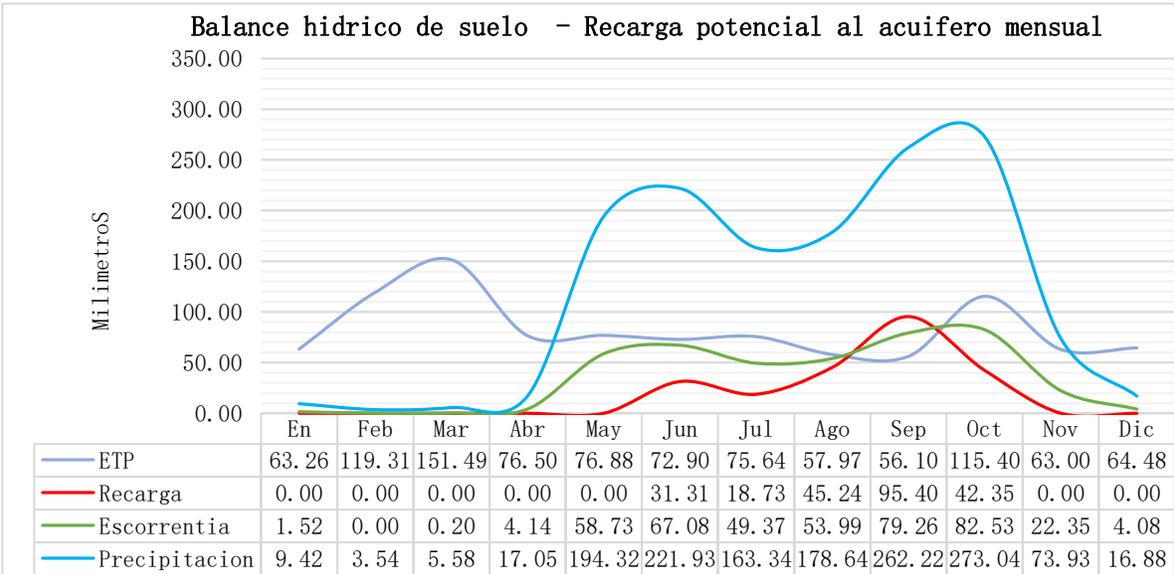


Grafico 9: Balance Hídrico de suelo y Recarga Potencial al acuífero mensual. Fuente: Estaciones meteorológicas de INETER. Elaboración: Propia

En los meses de junio a octubre las precipitaciones son más abundantes, por permitiendo una recarga al acuífero, para los meses de noviembre y diciembre las precipitaciones disminuyen considerablemente perdiéndose el agua por evapotranspiración. En la cuenca de 1419.89 mm anuales que representa el 100%, 69.93 % se pierde por evapotranspiración, 29.81 % por escorrentía y el 16.41% se recarga al acuífero.

Infiltración de corrientes superficiales

La infiltración de corrientes superficiales se toma cuando en la cuenca se tienen ríos que aportan a la infiltración en la cuenca; debido a que en la zona no hay, el valor que se toma en este caso será igual a 0.

Recarga por retorno de extracciones de pozos en la cuenca.

Se determinó la extracción de los pozos que se encuentran en la cuenca y que son de suministro de agua potable para consumo humano, se estimó una extracción de 0.67 mmca, la recarga por retorno generada por bombeo se consideró en base a la “Norma para el Diseño de Sistemas de Abastecimiento y Potabilización de las Aguas” (NTON 09003 - 99), se toma el 20% del sistema de agua potable, considerándolo como fuga o desperdicio del sistema, por lo cual constituye 0.13 mmca.

3.1.3 Salidas del sistema.

3.1.3.1 Escurrimiento subterráneo

La determinación del flujo de escurrimiento subterráneo fue calculada mediante la Ley de Darcy $E_{sub} = T \cdot i \cdot L$, con datos de piezometría y Transmisividad proporcionados por INETER,

El agua escurre con dirección al noroeste, desde las zonas más altas de las lomas ubicadas al suroeste de la cuenca, esto indica que el agua que sale de la formación acuífera por escurrimiento toma dirección a Laguna de Masaya.

Realizando los cálculos se tiene:

Gradiente hidráulico:

$$i: 325-115=210\text{m}/7286=0.0288$$

Aplicando la Ley de Darcy:

$$E_{sub}=180\text{m}^3/\text{d} \cdot 7286\text{m} \cdot 365 \text{ días} \cdot 0.0288$$

$$E_{sub}=13,786,277.76=13.4 \text{ mmca}$$

Area de estudio	Número de sección	Transmisividad (m ³ /día)	Gradiente Hidraulico	Longitud de la sección	Esub (mmca)
Cuenca 69-952509	1.00	180	0.0288	7286	13.4

Tabla 18: Escurrimiento subterráneo de la cuenca 69-95259905 Fuente: Datos Proporcionado por INETER Elaboración: Propia

El escurrimiento subterráneo corresponde a 13.4 millones de metros cúbicos anualmente.

4 Salida a través de ríos.

Para obtener el dato se realizan campañas de aforo en los caudales visibles de los ríos en la zona de estudio, en este caso no se cuenta con ríos permanentes en la zona, para este caso el valor que se tomará será 0.

5 Salida a través de otros acuíferos.

Para efectos de este estudio el medio del acuífero de la cuenca se ha considerado cerrada desde es el punto de vista hidrográfico e hidráulico, para efectos del balance es 0.

6 Extracción por bombeo.

Para cuantificar la extracción de agua subterránea se identificaron en el área 3 pozos perforados, un pozo administrado por la empresa ENACAL y dos pozos privados, todos para uso de consumo humano, se obtuvo información de volumen de agua extraída por periodos semanales, a partir de este dato se proyectó la extracción por bombeo anualmente, los resultados se detallan en la siguiente tabla.

Pozo perforado	Coordenada X	Coordenada Y	Extracción anual
Nueva Esperanza	600579	1322912	0.15 mmca
Masinfra	600302	1222526	0.30 mmca
ENACAL- Sabogales	599829	1322746	0.22 mmca
		Total:	0.67 mmca

Tabla 19: Extracción por bombeo en pozos perforado dentro de la cuenca 69-95259905 Fuente: Administradores de los pozos. Elaboración: Propia

Percolación profunda.

El término de la percolación profunda es considerado aquel flujo que por efecto de gravedad desciende hacia las capas más profundas que son menos permeables o impermeables (Peña, 2005); para la zona de estudio no se tiene precisión del dato porque es necesario conocer la transición entre las capas. Por tanto, por estudios análogos a este se considera una pérdida del 5% de la recarga potencial, debido al tipo de roca y a la composición litoestratigráfica de la formación La Sierra, que varía desde arenas hasta tobas y cenizas volcánicas. El valor a introducir en la ecuación es 0.15 mmca.

6.1.1.1.1 Consideración de recarga lateral al acuífero:

En la mayoría de los casos la cuenca es razonablemente congruente con la cuenca hidrogeológica (Walton, 1970) citado por (Schosinsky G. , 2006), lo que quiere decir que la recarga o descarga se podrá calcular con la fórmula del escurrimiento subterráneo; en este caso la cuenca de estudio forma parte de una porción del acuífero Meseta de Carazo, por ende se considera una recarga lateral igual al escurrimiento subterráneo. El dato a utilizar en el balance es de 13.4 mmca.

6.1.2 Balance hídrico subterráneo

La variación del almacenamiento se referirá a la cuantificación de las reservas o déficit de agua en la cuenca de estudio, con el fin de estimar un equilibrio entre las entradas y salidas al sistema.

ENTRADAS	MM3/añual	SALIDAS	MM ³ /añual
Recarga Potencial	2.96	Escurrimiento subterráneo	13.4
Infiltración por corrientes superficiales	0	Salida a través de ríos	0
Recarga por retorno de extracciones	0.13	Salida a través de otros acuíferos	0
Recarga Lateral	13.4	Extracción por bombeo	0.67
		Percolación Profunda	0.15
Total	16.49	Total	14.22
Disponibilidad (Δs) 2.27			

Tabla 20: Balance Hídrico Subterráneo
Elaboración: Propia

Fuente: Datos de INETER y Datos propios.

Balance hídrico subterráneo

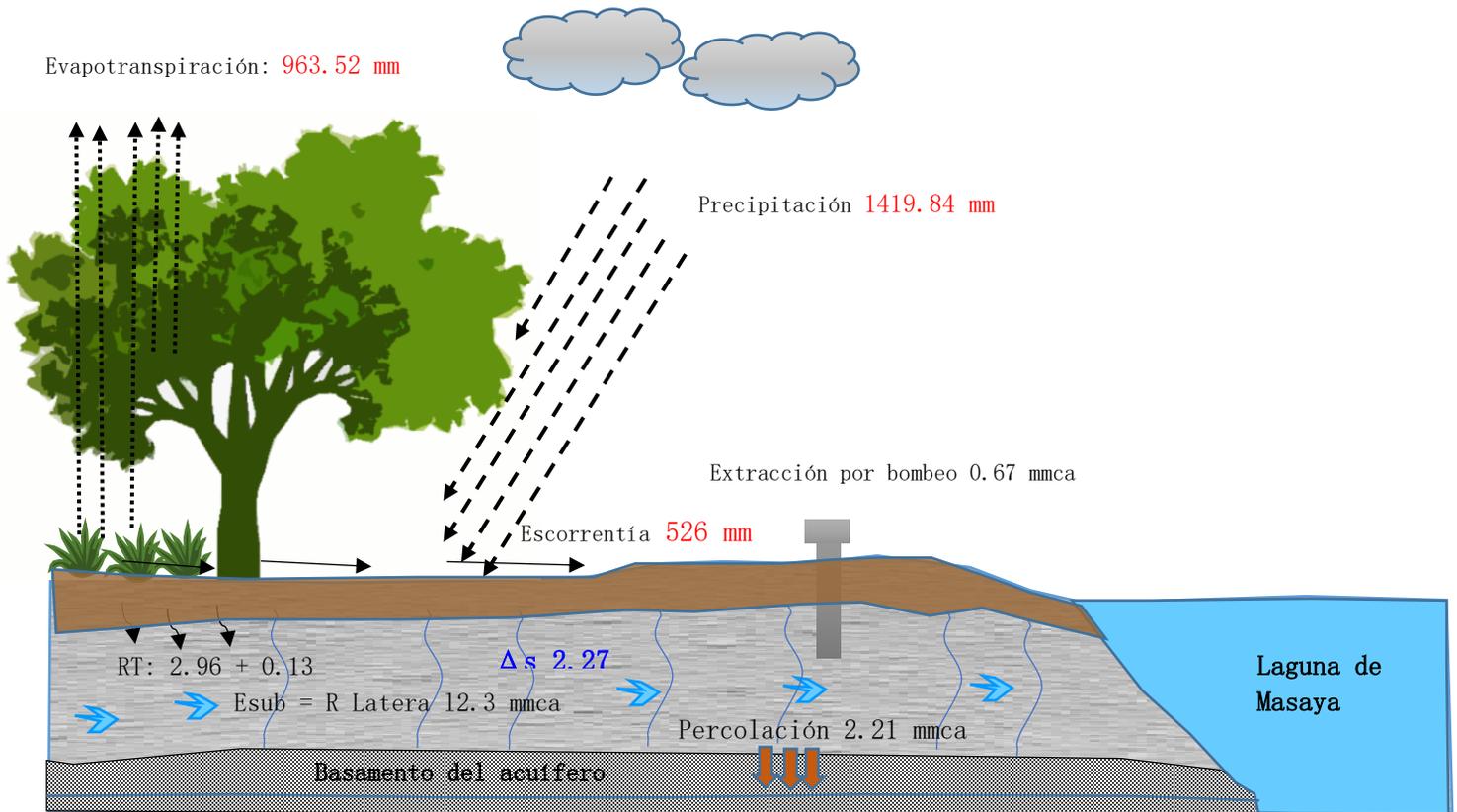


Grafico 10: Distribución del Balance hídrico subterráneo en la cuenca 69-95259905. Fuente: Datos Obtenidos del Cálculo de balance. Elaboración: Propia

Como entrada al sistema se obtienen 16.49 mmca, la mayor parte del agua que entra a la cuenca es por infiltración de la precipitación, aunque notablemente está influida por la evapotranspiración en los meses más secos del año, haciendo que los regímenes de infiltración estén ligados a una adecuada cobertura y uso del suelo. Las salidas cuantificadas tanto por las extracciones, y características hidráulicas de la porción de acuífero contabilizan un total de 14.22 mmca, por lo cual se tiene un excedente disponible de 2.27 mmca (Ver tabla 21 y Gráfico 10).

6.1.3 Demanda.

Para conocer la demanda se recopiló información acerca de la población total que tiene problemas con la accesibilidad y estabilidad del servicio de agua potable y que se encuentran en la cuenca, a través del censo

poblacional (INIDE, 2005), en donde se obtuvo el total de los habitantes por cada comunidad que abarca la cuenca; un insumo necesario fue el conocer el promedio de consumo por habitante, este dato se estimó por información proporcionada por los administradores de los pozos que se encuentran en la cuenca, el cual corresponde a 0.07 m³ diario, se proyectó al año 2020 con el dato de la tasa de crecimiento anual de (AMUDEMÁS, 2009) que corresponde a 1.8 %.

La siguiente tabla muestra las comunidades y su total de habitantes, así como su consumo de agua anualmente.

Comunidad	Población 2005	Consumo anual 2005	Población 2020	Consumo anual 2020
Pacayita	3214.00	82117.70 m ³	4082.00	180612.95 m ³
El Túnel	1169.00	29867.95 m ³	1485.00	65689.05 m ³
Nandayure	71.00	1814.05 m ³	91.00	3990.91 m ³
Total	4454.00	113799.70 m ³	5658.00	250292.91 m ³
		0.11 mmca		0.25 mmca

Tabla 21: Población y Consumo Anual por comunidad en la cuenca 69-95259905 Fuente: INIDE 2005 y datos de extracción diario en pozos. Elaboración: Propia

Con la población del año 2005 se tenía un consumo de 0.11 mmca, en cambio la proyección al año 2020 muestra 0.25 mmca, en este caso sigue habiendo agua disponible en la cuenca, ya que se cuenta con un total de **2.27 mmca**.

6.1.4 Principales hallazgos del capítulo 3:

1. La cuenca en cuanto a disponibilidad hídrica subterránea posee 2.27 mmca, la recarga hídrica está influenciada por los procesos de evapotranspiración y que van de acuerdo a la cobertura y uso del suelo de la cuenca, en el periodo seco los meses de mayor evapotranspiración son marzo y abril con un total de 270.80 mm, lo que influye que para estos meses la recarga sea 0, en el periodo lluvioso la abundancia de precipitaciones por lo que llega agua al acuífero.

2. los parámetros hidráulicos del acuífero indican una recarga lateral y escurrimiento subterráneo de 12.3 mmca, con dirección de flujo a la Laguna de Masaya.
3. Las extracciones de los pozos contabilizadas en 2.6 mmca no exceden un volumen al de la recarga potencial, por lo que se llega a la conclusión que no hay sobreexplotación del recurso en la cuenca, sin embargo, debido a que es un balance de referencia se debe de cuantificar otras extracciones que existiesen en la cuenca.

Capítulo 4: Alternativas de gestión del recurso hídrico

La caracterización de la cuenca fue la base fundamental para establecer algunas medidas de gestión en la cuenca; es claro que uno de las medidas deben ser implementadas con respecto a la presión urbana que se está dando desde la parte alta con la ciudad de Catarina y en la parte baja con la ciudad de Masaya, esto ha modificado que el uso potencial del suelo no se esté implementando en la cuenca y a pesar de ser una cuenca joven su fisiografías determina que morfométricamente es una cuenca con poca influencia crecidas e inundaciones, sin embargo la modificación del sistema se modifica con lo que hay en el medio, en este caso impermeabilidad en toda la parte baja, por tal razón se proponen las siguientes alternativas.

Parte baja.

1. Implementar un plan de ordenamiento territorial, donde uno de los principales ejes de urgencia sea el control del asentamiento urbano, a partir de un control del mismo que esté sujeto a mantener un equilibrio ambiental en la cuenca.
2. Crear barreras vivas para reducir la velocidad del agua que corre por la superficie. Al mismo tiempo se retienen el transporte de sedimentos por las corrientes, evitando de forma sustancial el acumulamiento del mismo en las calles de la ciudad que contribuyan a solventar la capacidad del drenaje fluvial.

Parte media.

1. Aunque la agricultura no se da en gran expansión es necesario reducir los riesgos de erosión implementando prácticas de conservación como cultivos rotativos, si es necesario aclarar que en la cuenca se está dando un uso adecuado en cuento a su potencial, análisis realizado por la visita a campo.
2. Establecimiento de cercas para favorecer la infiltración, estas se ubicarían en las fincas de la parte media de la cuenca, para que permitan retener el escurrimiento y sedimentos.

Parte alta

1. Plan de ordenamiento territorial para el moderado uso del suelo para los asentamientos urbanos.
2. Para un adecuado aprovechamiento de las aguas lluvias acumuladas en la parte alta se deben de construir zanjas de infiltración, se deben plantar especies vegetales que servirán como barreras vivas, en la parte superior e inferior de ellas. Pueden ser plantas herbáceas, idealmente perennes, o arbustos, para que sus raíces retengan el suelo y eviten el desmoronamiento del terreno hacia el interior de la excavación, así se favorece el flujo normal del agua en el interior de los surcos.

En la parte inferior pueden ser árboles nativos como Cedro, Laurel, Pochote que son de uso forestal, con el objeto de crear una cubierta vegetal y, a la vez, aprovechar el agua infiltrada por las zanjas.

Conclusiones.

1. El suelo franco presente en la cuenca es bien drenado y se debe a la geología; los materiales volcánicos recientes del cuaternario y los estratos de las diferentes formaciones condicionan esta característica, en la cuenca.
2. Morfo métricamente la cuenca es pequeña de forma alargada, con cauces de corta longitud y pendientes suaves, con bajas probabilidades a crecidas, la curva hipsométrica indicando un estado evolutivo de madurez y que se relaciona con el buen drenaje de la cuenca.
3. A través de la aplicación del balance Hídrico en la cuenca se encontró que si hay agua para solventar la demanda, por lo que el acceso al vital líquido no se debe a escases sino a otros factores que esta investigación no contempla.

Recomendaciones.

1. Dar a conocer los resultados obtenidos de esta investigación a los diferentes actores sociales y organizaciones de la cuenca 69-95259905, teniendo en gran consideración discreción con la información obtenida.
2. Debido a la importancia de los recursos hídricos de la cuenca y que es vital para el aprovechamiento de la población, se recomienda **profundizar en el estudio hidrológico, evaluando otros aspectos como contaminación y gestión integral, aplicada a un plan participativo de todos los sectores.**
3. Se debe de establecer un plan de manejo integrado en la microcuenca, que haga énfasis en la conservación del recurso agua y suelo, esto debe involucrar a la Alcaldía de Masaya, Ministerio del Ambiente y Los Recursos Naturales, Ministerio de Agricultura y Ganadería.

Bibliografía

- Autoridad Nacional del Agua del Perú. (2020). *Gestión integrada de Recursos Hídricos*. Obtenido de <https://www.ana.gob.pe/portal/gestion-del-conocimiento-girh/gestion-integrada-de-recursos-hidricos-girh-0>
- Aldana, G. (2016). *Caracterización hidrogeológica en la ciudad de Santo Domingo y sus alrededores*. Obtenido de <https://repositorio.unan.edu.ni/3732/1/51721.pdf>
- AMUDEMAS. (2009). *Masaya en cifras*. Obtenido de <http://www.aecid.org.ni/wp-content/uploads/2014/04/CARACTERIZACION-DEL-DEPARTAMENTO-DE-MASAYA-23-NOV-2009.pdf>
- ANA. (agosto de 2017). *Plan de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos de la Cuenca 72 Entre Río Brito y Río Sapoá*. Obtenido de Proatas: [http://proatas.org.ni/media/flatpages/Plan_GIRH_72_2017_final_impre si%C3%B3n.pdf](http://proatas.org.ni/media/flatpages/Plan_GIRH_72_2017_final_impre%C3%B3n.pdf)
- ANA; INETER; ENACAL. (2017). *Guía para la elaboración de los planes de gestión integrada de los recursos hídricos de las cuencas hidrográficas en Nicaragua*. Obtenido de <http://proatas.org.ni/media/flatpages/Gu%C3%ADaPLANGIRH.pdf>
- Ardiansyah, Echigo, Yokoyama, & Yoshida. (2006). *Supervised landform classification of Northeast Honshu from DEM-derived thematic maps*.
- Asociación Mundial para el Agua, c. C. (2010). *Experiencias de agua potable y saneamiento con enfoque de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) en Nicaragua*. Obtenido de <http://www.alianzaporelagua.org/documentos/GIRH-Nicaragua.pdf>
- Béjar, M. V. (2006). *Hidrología Estadística*. Cartago: Editorial Tecnológica de Cost Rica.
- Bonilla, Hurtado, & Jaramillo. (2009). *La investigación. Aproximaciones a la construcción del conocimiento científico*.
- Cairampoma, & Villegas. (2016). *El acceso universal al agua potable. La experiencia peruana*. Obtenido de

<http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechopucp/article/view/14855>

- Camino, M., Bó, M., Cionchi, J., López, A., Del Río, J., & De Marco, S. (2018). *Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de las vertientes sur del sureste de la provincia de Buenos Aires (Argentina)*. Obtenido de http://bibliotecadigital.uns.edu.ar/scielo.php?script=sci_arttext&id=S1852-42652018001100005&lng=en&nrm=iso
- CATASTRO. *Levantamiento de suelo de la región del Pacífico de Nicaragua*. (1971). Obtenido de <http://www.bionica.info/Biblioteca/CatastroNic971.pdf>
- CEPAL. (2013). *GUÍA ANÁLISIS Y ZONIFICACIÓN DE CUENCAS GUÍA ANÁLISIS Y ZONIFICACIÓN DE CUENCAS*. Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36817/S2014205_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Coronato, Gil, & Quiroga. (2014). *Morfometría de la cuenca del río Avilés, tierra del fuego, Argentina*. Obtenido de Rediris.es: http://tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/revista/volumen_28/CyG_28_1y2_Morfometria.pdf
- Delgado, Y., & Flores, V. (2014). *Actualización Hidrogeológica y Disponibilidad del Acuífero del Valle de Sebaco*. Sebaco.
- Dolores Garay, D., & Gabriel Agüero, N. (2018). *Delimitación Hidrográfica y caracterización morfométrica de la cuenca Río Anzulón*. Obtenido de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-delimitacion_y_caracterizacion_de_la_cuenca_del_rio_anzulon_1.pdf
- Esri. (2020). *Cómo funciona la pendiente*. Obtenido de ArcGIS for Desktop: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-slope-works.htm>
- FAO. (2000). *Relaciones tierra-agua en cuencas hidrográficas rurales*. Obtenido de http://www.fao.org/tempref/agl/AGLW/ESPIM/CD-ROM/documents/5F_s.pdf
- FAO. (2003). *Aquastat*.

- FAO. (2012). *EL ESTADO DE LOS RECURSOS DE TIERRAS Y AGUAS DEL MUNDO PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA*. Obtenido de FAO:
<http://www.fao.org/3/a-il688s.pdf>
- Fenzl, N. (1988). *Nicaragua, Geografía, Clima, Geología y Hidrogeología*. Managua.
- Fernandez, O. (2012). *CARACTERIZACION MORFOMETRICA DE LA CUENCA HIDROGRAFICA CHINCHAO, DISTRITO DE CHINCHAO, PROVINCIA HUANUCO, REGION HUANUCO. PERÚ*. Obtenido de
https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/CARACTERIZACION%20MORFOMETRICA%20DE%20LA%20CUENCA%20HIDROGRAFICA%20CHINCHAO%2C%20DISTRITO%20DE%20CHINCHAO%2C%20PROVINCIA%20DE%20HUANUCO%2C.pdf
- Gaspari, Rodriguez, Senisterra, Delgado, & Besteiro. (2013). *Elementos metodológicos para el maejo de cuencas hidrográficas*. Obtenido de Elementos metodológicos para el
- Genchi, S., Carbone, M., Piccolo, M., & M.E, G. (2011). *Clasificación geomorfológica automatizada en terrazas del noreste del Macizo Norpatagonico, Argentina*. Obtenido de
<https://core.ac.uk/download/pdf/158839543.pdf>
- Geo University. (2019). *Índices espectrales con datos satelitales multiespectrales*. Obtenido de
<https://www.geo.university/pages/spectral-indices-with-multispectral-satellite-data>
- Gonzales , A. (2004). *Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del Río Zadorra y sus afluentes a la peligrosidad de crecidas*. Obtenido de
https://www.researchgate.net/publication/28078894_Analisis_morfometrico_de_la_cuenca_y_de_la_red_de_drenaje_del_rio_Zadorra_y_sus_afluentes_aplicado_a_la_peligrosidad_de_crecidas
- GWP. (2014). *Plan estrategico GWP Nicaragua*. Obtenido de
https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/plan-estrategico_nil.pdf
- Horton. (1945). *Erosional Development of Streams and their Drainage Basins, Bulletin of the Geological Society of America*.

- Horton, R. (1945). *Erosional development of streams and their drainage basins hydrophysical approach to quantitative morphology*.
- Huamán, G. (2015). *Análisis morfométrico e hidrológico de la subcuenca hidrográfica Arasá, departamento de Cusco, Perú*. Obtenido de <http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/111/004-2-3-034.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Huaman, G. (2015). *Análisis Morfométrico e Hidrológico de la subcuenca hidrográfica arasá, departamento de Cusco. Perú*. Perú.
- INETER. (2015). Atlas de Nicaragua, Uso Actual, Forestal, Suelos, Potencial y Conflictos.
- INETER, M. M. (2015). *Atlas de Nicaragua. Suelos y usos de la tierra*.
- INIDE. (2005). *Censo poblacional 2005*. Obtenido de <https://www.inide.gob.ni/Estadisticas/censoCEPOV2005>
- Jardí, M. (1985). Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables Morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía, volumen XIX.*, 41-68.
- Jardí, M. (1985). *Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/39036417.pdf>
- Jenness, J. (2006). *Topographic Index (TPI_Jen. avx)*. Obtenido de Jenness Enterprises: <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>.
- Juarez, M. (2016). *Delimitación de la cuenca y unidades hidrográficas del arroyo La encantada Saltillo Coahuila mediante el método Pfafstetter*. Mexico.
- Langbein. (1947). *Topographic Characteristics of drainage basins*. Obtenido de <https://pubs.usgs.gov/wsp/0968c/report.pdf>
- Lux, B. (2016). *Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas*. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/1/Conceptos%20b%C3%A1sicos%20de%20Morfometr%C3%ADa%20de%20Cuencas%20Hidrogr%C3%A1ficas.pdf>
- Matellanes, R. (17 de 9 de 2017). *Calculo del indice de posición topográfica*. Obtenido de <http://www.gisandbeers.com/calculo-del-indice-de-posicion-topografica-tpi/>

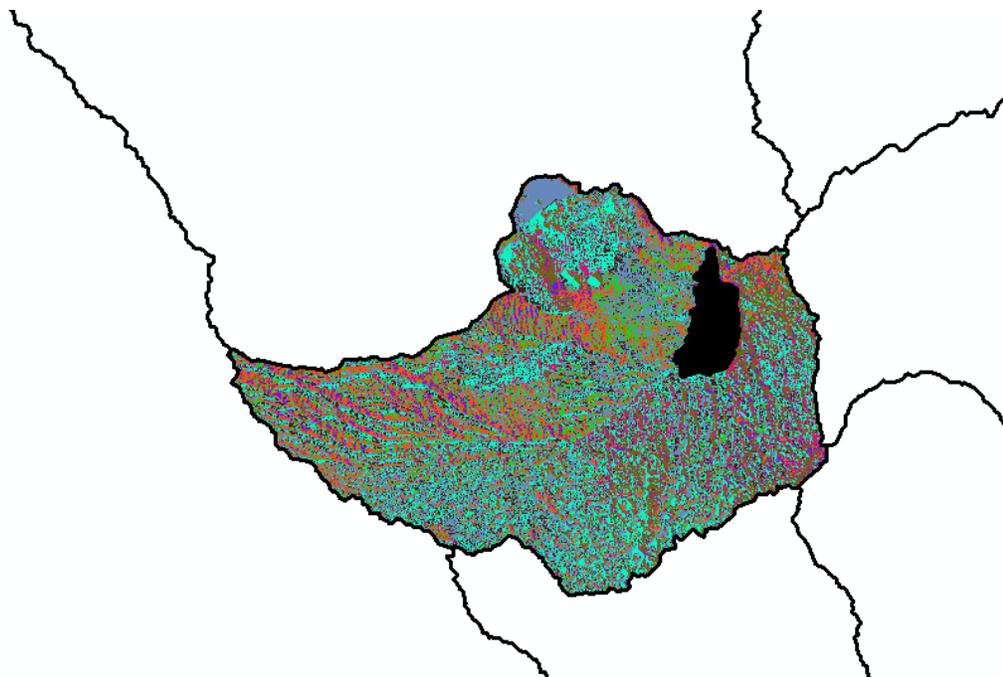
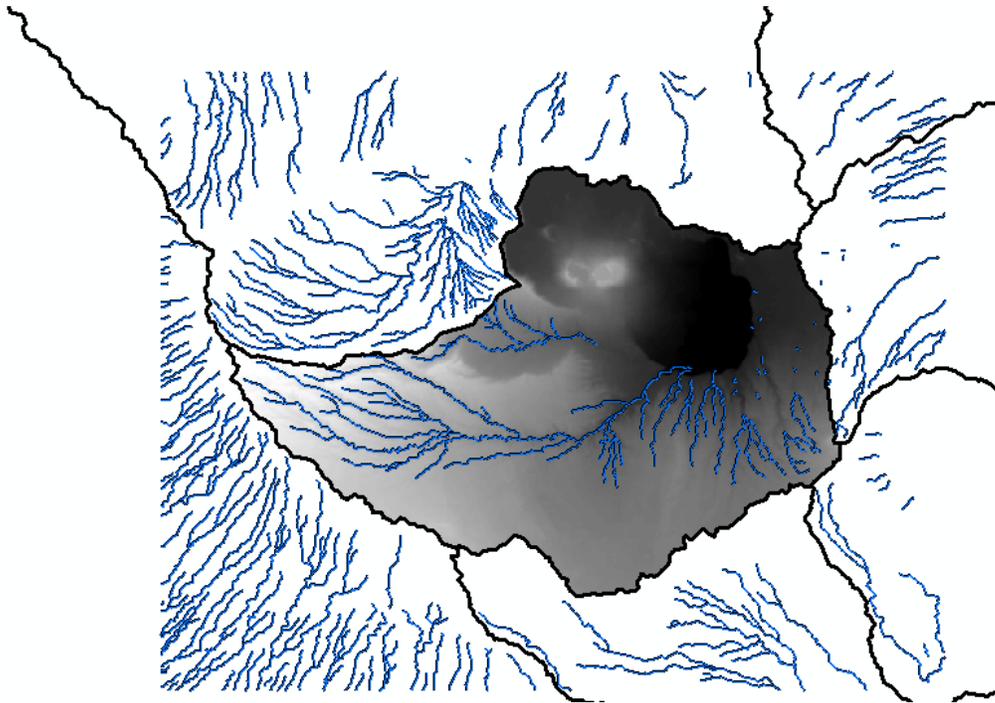
- Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, M. (2010). *Caracterización de la cuenca No 60 Estero Real*. Managua.
- Monsalve Sáenz , G. (1999). Hidrología en la Ingeniería . En G. Monsalve Sáenz, *Hidrología en la Ingeniería* (pág. 37). México : ALFAOMEGA.
- Montenegro, L. Á. (2014). Primer plan de Gestión Integrada de Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua. *Revista ANA*, 3.
- Ordoñez, J. (2011). *Cartilla técnica: Aguas subterráneas y acuíferos*.
Obtenido de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf
- Ordoñez, J. (2011). *Cartilla técnica: Balance Hídrico Superficial*.
Obtenido de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/balance_hidrico.pdf
- Prieto, Isunza, Luna, & Pérez. (2003). *Metodo para realizar mapa de disección vertical*.
- Quiroga, Gill, & Coronato. (2014). *Morfoetría de la cuenca del río Avilés, tierra del fuego, Argentina. Aportes al conocimiento de las condiciones de escurrimiento en territorios semiáridos*. Obtenido de http://tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/revista/volumen_28/CyG_28_1y2_Morfometria.pdf
- Ramon, H., Asensio, S., & Blanquer, J. (2011). *Morfología de las cuencas hidrográficas*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfolog%C3%ADa%20de%20una%20cuenca.pdf>
- Ramos, C. (2015). *Los paradigmas de la investigación científica*. Obtenido de http://www.unife.edu.pe/publicaciones/revistas/psicologia/2015_1/Carrlos_Ramos.pdf
- Ricoy, C. (2006). *Contribución sobre los paradigmas de investigación*.
- Rizo, R., Romero, L., & Zeledón, J. (2011). *Caracterización Biofísica y socioeconómica de la microcuenca La Jabonera, perteneciente a la subcuenca del Río Estelí*. Estelí.

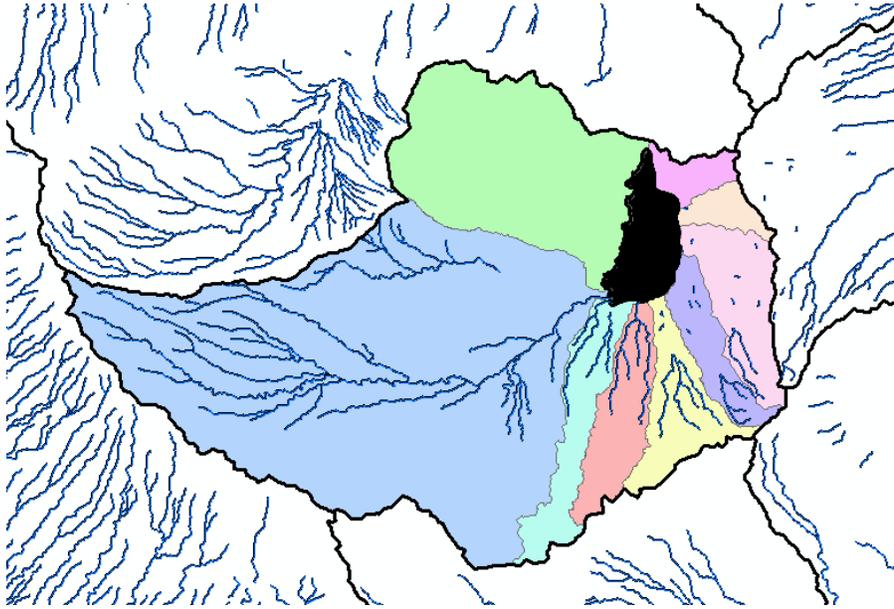
- Robleto, J. (2014). Hidrología y disponibilidad Hídrica. *Primer plan de Gestion Integrada de los Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua*, 12-13.
- Rodriguez, D. (26 de noviembre de 2018). *Disección vertical*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=iYpI0kHedT8>
- Romero, M., & López, F. (1987). *Morfometría de redes fluviales: Revisión crítica de los parametros mas utilizados y aplicación al Alto Guadalquivir*. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Asuncion_Diaz2/publication/28221147_Morfometria_de_redes_fluviales_revisión_critica_de_los_parametros_mas_utilizados_y_aplicación_al_alto_Guadalquivir/links/00463533960bd11d65000000/Morfometria-de-redes-fluviales-revis
- Ruiz , E., & Martínez, M. (2018). *Hidrología Aplicada*. Obtenido de https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/4572/mod_resource/content/1/Material_Docente/Tema_1.pdf
- Sampieri. (2014). *Metodología de la investigación*. Obtenido de <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Schosinsky, & Losilla. (2000). *Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual*. Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/download/8579/8102/>
- Schosinsky, G. (2006). *Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelo*. Obtenido de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/download/4223/4047>
- Senciales, J. (1999). *El análisis morfológico de las cuencas fluviales aplicado al estudio hidrográfico*. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/28296533_El_analisis_morfologico_de_las_cuencas_fluviales_aplicado_al_estudio_hidrografico
- Solano, E. P. (agosto de 2005). *Disponibilidad y aprovechamiento sostenible del acuífero de Nandaime*.

- Strahler. (1957). *Revisión y perfección el esquema de Horton dando lugar al esquema de orfenación o de clasificación de cuenca*. España.
- Torrez, I., & Morales, J. (2015). *El potencial Geoestratégico de los recursos hídricos en Nicaragua en el mundo actual*.
- Vasquez, D., Ortega, J., Marin, E., Cerrato, D., & A, N. (2008). *Estudio Hidrogeológico y gestión de los Recursos Hídricos en la cuenca de la Laguna de Apoyo, Nicaragua*. . Masaya.
- Walton. (1970). *Ground water resource evaluation*.
- Weiss, A. (2001). *Topographic Position and Landforms Analysis*. *ESRI User Conference San*. Obtenido de http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc_18x22.pdf

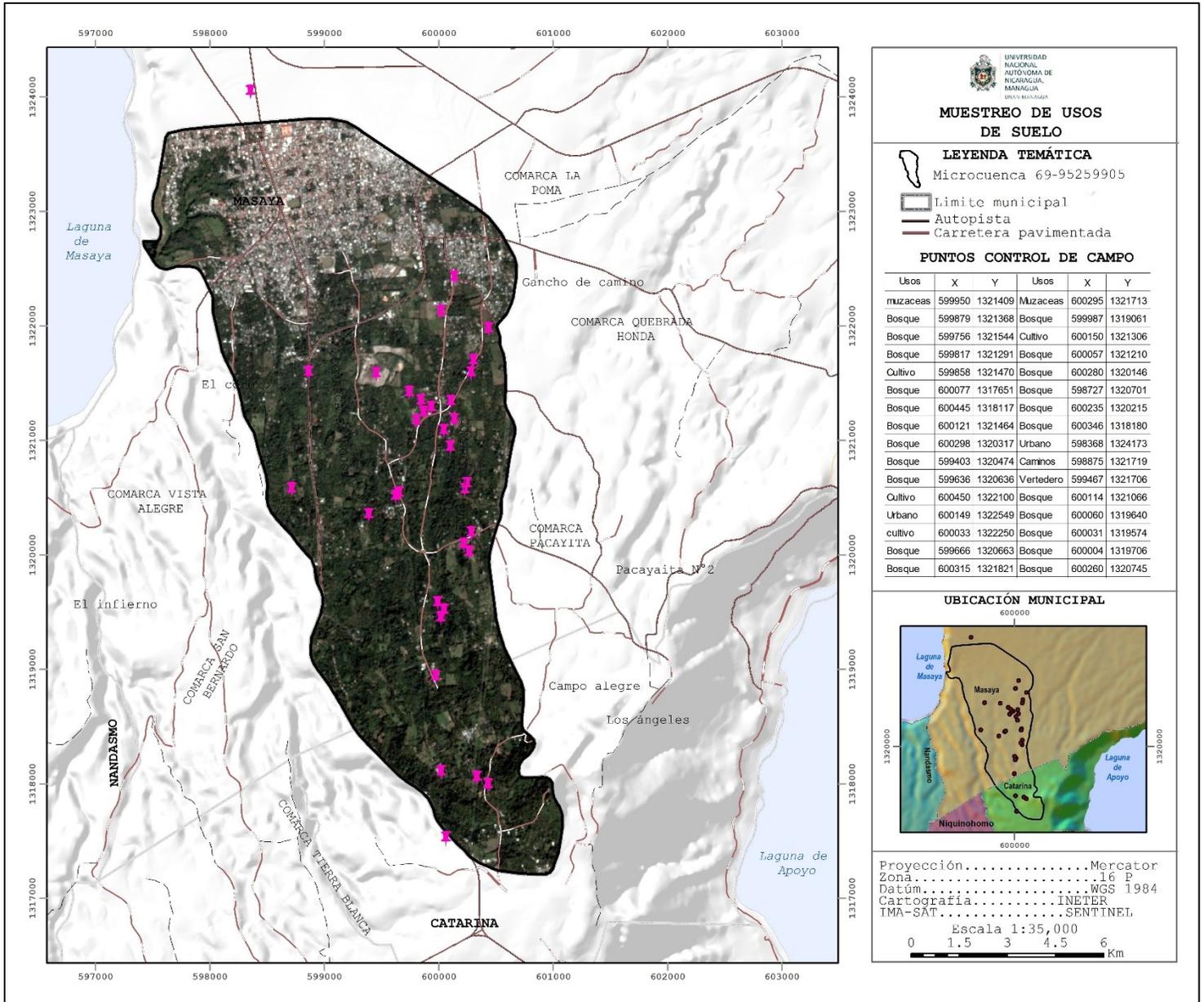
Anexos

Anexo 1: Delimitación de cuenca.





Anexo 2: Muestreo de uso de suelo



Anexo: Pruebas de infiltración

Datos de infiltración PORCHET										
Hora de Inicio:		09:35		modelo: kostiaov lewis $I:Kt^n$			velocidad Infiltración Instantánea (Vinst)		$It = \frac{K t^{n+1}}{60(n+1)}$	
Profundidad del hueco: 30 cm, se llena a nivel de 25 cm										
TIEMPO(min)	ALTURA (cm)	DESCENSO (cm)(Δh)	I	I (cm/min)	VI inst=Z (cm)	I (mm/h)	Z (mm)	tiempo prueba		
0	25	0	0	0	0	0	0	0		
1	22.5	2.5	2.50	0.04	0.08	25	0.8	1		
1	21	1.5	1.50	0.03	0.05	15	0.5	2		
1	20	1	1.00	0.02	0.03	10	0.3	3		
1	19.3	0.7	0.70	0.01	0.02	7	0.2	4		
1	18.6	0.7	0.70	0.01	0.02	7	0.2	5		
1	17.9	0.7	0.70	0.01	0.02	7	0.2	6		
1	17.3	0.6	0.60	0.01	0.02	6	0.2	7		
1	16.8	0.5	0.50	0.01	0.02	5	0.2	8		
1	16.1	0.7	0.70	0.01	0.02	7	0.2	9		
1	15.5	0.6	0.60	0.01	0.02	6	0.2	10		
1	15.1	0.4	0.40	0.01	0.01	4	0.1	11		
1	14.6	0.5	0.50	0.01	0.02	5	0.2	12		
1	14.2	0.4	0.40	0.01	0.01	4	0.1	13		
1	13.9	0.3	0.30	0.01	0.01	3	0.1	14		
1	13.5	0.4	0.40	0.01	0.01	4	0.1	15		
1	12.9	0.6	0.60	0.01	0.02	6	0.2	16		
1	12.7	0.2	0.20	0.00	0.01	2	0.1	17		
1	12	0.7	0.70	0.01	0.02	7	0.2	18		
1	11.6	0.4	0.40	0.01	0.01	4	0.1	19		
1	11.2	0.4	0.40	0.01	0.01	4	0.1	20		
2	10.5	0.7	0.25	0.00	0.02	2.5	0.2	22		
2	10	0.5	0.18	0.00	0.01	1.8	0.1	24		
2	9.3	0.7	0.25	0.00	0.02	2.5	0.2	26		
2	8.3	1	0.35	0.01	0.02	3.5	0.2	28		
2	8	0.3	0.11	0.00	0.01	1.1	0.1	30		
2	7.6	0.4	0.14	0.00	0.01	1.4	0.1	32		
0	25	RELLENO	0	0.00	0.00	0.00	0.0	34		
2	23.2	1.8	0.64	0.01	0.04	6.4	0.4	36		
2	22.2	1	0.35	0.01	0.02	3.5	0.2	38		
2	21	1.2	0.42	0.01	0.03	4.2	0.3	40		
2	20.2	1.2	0.42	0.01	0.03	4.2	0.3	42		
2	19.1	1.1	0.39	0.01	0.03	3.9	0.3	44		
2	18.3	0.8	0.28	0.00	0.02	2.8	0.2	46		
2	17.5	0.8	0.28	0.00	0.02	2.8	0.2	48		
2	16.9	0.6	0.21	0.00	0.01	2.1	0.1	50		
2	15.5	1.4	0.49	0.01	0.03	4.9	0.3	52		
2	14.5	1	0.35	0.01	0.02	3.5	0.2	54		
2	14.2	0.3	0.11	0.00	0.01	1.1	0.1	56		
2	13.5	0.7	0.25	0.00	0.02	2.5	0.2	58		
2	12.5	1	0.35	0.01	0.02	3.5	0.2	60		

Visitar el siguiente LINK:
https://www.academia.edu/4546549/Practica_Infiltracion_porchet?auto=download

Datos de infiltración PORCHET

Hora de Inicio: 14:00		modelo: kostiacov lewis $I:Kt^n$		velocidad Infiltración Instantánea (Vinst)			$t = \frac{K t^{n+1}}{60(n+1)}$	
Profundidad del hueco: 30 cm, se llena a nivel de 25 cm								
TIEMPO(min)	ALTURA (cm)	DESCENSO (cm)(Δh)	I	I (cm/min)	VI inst=Z (cm)	I (mm/h)	Z (mm)	tiempo prueba
0	25	0	0	0	0	0	0	0
1	22	3	3.00	0.05	0.10	30	1.0	1
1	20	2	2.00	0.03	0.07	20	0.7	2
1	19	1	1.00	0.02	0.03	10	0.3	3
1	18.1	0.9	0.90	0.02	0.03	9	0.3	4
1	17.5	1.4	1.40	0.02	0.05	14	0.5	5
1	16.7	0.8	0.80	0.01	0.03	8	0.3	6
1	16	0.7	0.70	0.01	0.02	7	0.2	7
1	15.5	0.5	0.50	0.01	0.02	5	0.2	8
1	14.8	0.7	0.70	0.01	0.02	7	0.2	9
1	14.3	0.5	0.50	0.01	0.02	5	0.2	10
1	14	0.3	0.30	0.01	0.01	3	0.1	11
1	13.5	0.5	0.50	0.01	0.02	5	0.2	12
1	13	0.5	0.50	0.01	0.02	5	0.2	13
1	12.7	0.3	0.30	0.01	0.01	3	0.1	14
1	12.2	0.5	0.50	0.01	0.02	5	0.2	15
1	12	0.2	0.20	0.00	0.01	2	0.1	16
1	11.8	0.2	0.20	0.00	0.01	2	0.1	17
1	11.3	0.5	0.50	0.01	0.02	5	0.2	18
1	11.1	0.2	0.20	0.00	0.01	2	0.1	19
1	10.8	0.3	0.30	0.01	0.01	3	0.1	20
2	10.3	0.5	0.18	0.00	0.01	1.8	0.1	22
2	9.6	0.7	0.25	0.00	0.02	2.5	0.2	24
2	9.2	0.4	0.14	0.00	0.01	1.4	0.1	26
2	8.7	0.5	0.18	0.00	0.01	1.8	0.1	28
2	8.4	0.3	0.11	0.00	0.01	1.1	0.1	30
2	8.2	0.2	0.07	0.00	0.00	0.7	0.0	32
2	25 RELLENO	0.2	0.07	0.00	0.00	0.7	0.0	34
2	23	2	0.71	0.01	0.05	7.1	0.5	36
2	20.5	3.5	1.24	0.02	0.08	12.4	0.8	38
2	17	3.5	1.24	0.02	0.08	12.4	0.8	40
2	15.5	1.5	0.53	0.01	0.04	5.3	0.4	42
2	14.5	1	0.35	0.01	0.02	3.5	0.2	44
2	13	1.5	0.53	0.01	0.04	5.3	0.4	46
2	11.8	1.2	0.42	0.01	0.03	4.2	0.3	48
2	10.3	1.5	0.53	0.01	0.04	5.3	0.4	50
2	9	1.3	0.46	0.01	0.03	4.6	0.3	52
2	8	1	0.35	0.01	0.02	3.5	0.2	54
2	25 RELLENO	1	0.35	0.01	0.02	3.5	0.2	56
2	24.3	0.7	0.25	0.00	0.02	2.5	0.2	58
2	23.6	0.7	0.25	0.00	0.02	2.5	0.2	60

$$Z = \frac{K t^{n+1}}{60(n+1)}$$

Visitar el siguiente LINK:
https://www.academia.edu/4546549/Practica_infiltracion_porchet?auto=download

Anexo 4: Estaciones meteorológicas.

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

Estación:	MASAYA (L. OXIDACION) /						Código:	690115					
Departamento:	MASAYA						Municipio:	MASAYA (L. OXIDACION)					
Latitud:	11°58'48"						Longitud:	86°06'18"					
Años:	1977-2017						Elevación:	210 msnm					
Parámetro:	Precipitación (mm)						Tipo:	HMO					
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Suma
2009	1.1	0.4	0.0	1.9	265.8	266.1	136.5	161.0	144.9	287.2	23.8	14.3	1303
2010	1.5	0.1	0.0	35.2	231.3	324.0	321.1	539.5	398.3	110.6	49.8	3.6	2015
2011	2.6	0.0	0.0	2.0	83.3	216.4	391.3	150.9	467.8	317.7	60.7	30.8	1723.5
2012	8.6	3.9	0.7	9.5	319.5	142.4	85.6	338.8	130.7	181.0	12.8	12.2	1245.7
2013	3.9	3.1	1.8	0.0	169.3	200.3	223.2	67.7	299.4	257.3	93.1	25.1	1344.2
2014	12.3	3.4	0.0	0.0	59.3	119.5	46.7	158.4	315.8	389.7	26.3	5.0	1136.4
2015	0.4	0.0	0.1	53.6	78.3	308.4	53.8	74.9	159.7	227.5	120.6	1.2	1078.5
2016	0.3	0.5	0.2	27.1	120.6	161.7	87.1	87	241.2	168.2	60.2	52.9	1007
2017	4.7	0.0	1.5	16.8	314.3	158.7	114.41	168.4	209.9	391.1	63.1	32.5	1475.41
Suma	323.6	102.4	209.6	645.9	7675.9	8585.8	6224.7	7485.8	10314.8	10061.6	2725.0	596.4	54951.5
Media	8.1	2.6	5.2	16.1	191.9	214.6	159.6	187.1	256.3	249.5	69.6	15.4	1350.6
Max	49.8	14.5	38.3	125.5	535.8	501.0	391.3	539.5	487.4	611.4	253.9	58.9	2015.0
Min	0.0	0.0	0.0	0.0	21.7	91.9	46.7	49.7	100.6	97.1	8.0	0.9	423.7

Anexo 5: Calculo de parámetros: tiempo de concentración y pendiente media del cauc

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2	Microcuenca 1								
3									
4	Parametros Geomorfologicos.				PEND MEDIA =				
5									
6	Hmax (mts)=	626							
7	Hmin (mts)=	116				629.592237			
8	Lon. Río (mts)=	9330							
9	Área(km2)=	12.67							
10	Lon. Total de Ríos(Km)=	38.250							
11	Perimetro								
12	Tc PHCA=	35.71	min	Tc=	0.0041*k^0.77 Ecuación.				
13	S media(m/m)=	0.055		K=	3.28*(Lr/S^0.5) Lr=Longitud del río en mts.				
14	D.Drenaje(km/km2)=	3.02							
15									
16									
17									
18		Tc (hr)=		0.60					
19									
20									
21									
22									

Anexo 6 Balance de suelos.

Anexo 7. Cálculo de la Evapotranspiración Potencial

Cálculo de la Evapotranspiración Potencial mediante la fórmula de Hargreaves							
La fórmula de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985) para evaluar la Evapotranspiración Potencial necesita solamente datos de temperaturas y de Radiación Solar.							
La expresión general es la siguiente:							
ET0 = 0,0135 (tmed + 17,78) Rs (1)							
donde: ET0 = evapotranspiración potencial diaria, mm/día							
tmed = temperatura media, °C							
Rs = radiación solar incidente, convertida en mm/día							
Fórmula aplicada (Samani, 2000): Rs = Ro * KT * (tmáx. - t mín.)^{1/2}							
Ro = Radiación solar extraterrestre para los 09 grados de latitud norte (mm/d)							
KT = Coeficiente = 0,16 para regiones entre el interior							
t mx. = Temperatura diaria máxima en °C obtenida de MASAYA							
t mín. = Temperatura mínima diaria en °C obtenida de MASAYA							
Ro: Constante de conversión: 0,408 (MJ/m ² /d * 0,408 = mm/d)							
Rs = Radiación solar incidente en mm/d							
MES	Ro (MJ/m ² /d)	Ro (mm/d)	max. - T mín	Rs (mm/d)	Tmax °C	Tmin °C	T med
ENERO	12.60	3.12	6.29	30.45	20.73	25.41	
FEBRERO	13.80	3.25	7.18	31.66	21.08	26.17	
MARZO	14.90	3.36	8.02	33.12	21.81	27.37	
ABRIL	15.50	3.37	8.36	34.39	23.02	28.62	
MAYO	15.50	3.12	7.75	33.38	23.62	28.11	
JUNIO	15.30	2.84	6.94	31.25	23.21	26.71	
JULIO	15.30	2.79	6.83	30.65	22.86	26.14	
AGOSTO	15.40	2.87	7.06	31.26	23.04	26.40	
SETIEMBRE	15.10	2.80	6.76	30.77	22.94	26.09	
OCTUBRE	14.10	2.74	6.18	30.15	22.65	26.85	
NOVIEMBRE	12.90	2.85	5.88	30.02	21.90	25.62	
DICIEMBRE	12.20	2.97	5.80	29.99	21.17	25.34	
CÁLCULO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL PARA LOS 12° DE LATITUD NORTE MEDIANTE LA FÓRMULA DE HARGREAVES							
SITIO: MICROCUENCA DE SUBCUENCA LAGUNA DE MASAYA							
Fórmula de Hargreaves aplicada: ETo = 0,0135 * (t med + 17,78) Rs							
ETo = Evapotranspiración potencial diaria en mm/día							
t med. = Temperatura media en °C obtenida de la Estación Masaya							
Rs = Radiación solar incidente en mm/d calculada del cuadro anterior.							
Días / mes	MES	t med. (°C)	Rs (mm/día)	ETo diaria (mm/día)	ETP mensual (mm/mes)		
31	ENERO	25.41	6.29	2.04	63.26		
28	FEBRERO	26.17	7.18	4.26	119.31		
31	MARZO	27.37	8.02	4.89	151.49		
30	ABRIL	28.62	8.36	2.55	76.50		
31	MAYO	28.11	7.75	2.48	76.88		
30	JUNIO	26.71	6.94	2.43	72.90		
31	JULIO	26.14	6.83	2.44	75.64		
31	AGOSTO	26.40	7.06	2.47	57.97		
30	SETIEMBRE	26.09	6.76	2.46	56.10		
31	OCTUBRE	26.85	6.18	3.72	115.40		
30	NOVIEMBRE	25.62	5.88	2.10	63.00		
31	DICIEMBRE	25.34	5.80	2.08	64.48		
TOTAL ANUAL =					992.94		

NOTA: La radiación en mm / d la encontré en una tabla de bibliografía, por ello el dato se introduce directamente.

Anexo 8: Guía de observación



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA



Tema: Caracterización Hidrográfica y disponibilidad hídrica en la Unidad Hidrológica 69-95259905

Objetivo: Observar en situ las características de la cobertura y uso de suelo, para la elaboración del Mapa de uso actual del suelo y su cobertura.

Datos generales:

Fecha: _____ Parte de la cuenca: _____

Comunidad: _____

Tachar con una X lo observado en campo

1. Uso actual del suelo:

- a) Urbano: _____
- b) Cultivo: _____
- c) Red Vial: _____
- d) Tierras en descaso: _____
- e) Lotificaciones: _____
- f) Pastizales: _____
- g) Tierras con barbecho: _____
- h) Bosques: _____
- i) Vegetación arbustiva: _____
- j) Vertedero: _____
- k) Otros: _____

2. Uso potencial del suelo:

a) Agrícola intensiva en zona subhúmeda

i. Granos básicos

Maíz: _____ Frijoles: _____ Arroz: _____ Sorgo blanco: _____

ii. Cucurbitáceas

Pipián: _____ Ayote: _____ Sandía: _____ Melón: _____ Pepino: _____

iii. Raíces y tubérculos

Yuca: _____ quequisque: _____ Papa: _____

iv. Cultivos semiperennes

Musáceas: _____ Piña: _____ Pitahaya: _____ Papaya: _____ Granadilla:
_____ Cálala: _____

v. Cultivos perennes

Café: _____ Cítrico: _____ Mango: _____ Aguacate: _____ Guayaba:

vi. Oleaginosa

Soya: _____ Maní: _____ Ajonjolí: _____ Girasoles: _____

vii. Hortaliza

Repollo: _____ Cebolla: _____ Tomate: _____ Chiltoma: _____

b) Agrícola restringido y sistema pecuario en zona subhúmeda

i. Granos básicos

Maíz: _____ Frijoles: _____ Arroz: _____ Sorgo blanco: _____

ii. Cucurbitáceas

Pipián: _____ Ayote: _____ Sandía: _____ Melón: _____ Pepino: _____

iii. Raíces y tubérculos

Yuca: _____ quequisque: _____ Papa: _____

iv. Cultivos semiperennes

Musáceas: _____ Piña: _____ Pitahaya: _____ Papaya: _____ Granadilla: _____
Cálala: _____

v. Cultivos perennes

Café: _____ Cítrico: _____ Mango: _____ Aguacate: _____ Guayaba: _____

vi. Oleaginosa

Soya: _____ Maní: _____ Ajonjolí: _____ Girasoles: _____

vii. Hortaliza

Repollo: _____ Cebolla: _____ Tomate: _____ Chiltoma: _____

c) Forestales y sistema agroforestal en zona subhúmeda

i. Granos básicos

Maíz: _____ Frijoles: _____ Arroz: _____ Sorgo blanco: _____

ii. Cucurbitáceas

Pipián: _____ Ayote: _____ Sandía: _____ Melón: _____ Pepino: _____

iii. Raíces y tubérculos

Yuca: _____ quequisque: _____ Papa: _____

iv. Cultivos semiperennes

Musáceas: _____ Piña: _____ Pitahaya: _____ Papaya: _____ Granadilla: _____
Cálala: _____

v. Cultivos perennes

Café: _____ Cítrico: _____ Mango: _____ Aguacate: _____ Guayaba: _____

vi. Oleaginosa

Soya: _____ Maní: _____ Ajonjolí: _____ Girasoles: _____

vii. Hortaliza

Repollo: _____ Cebolla: _____ Tomate: _____ Chiltoma: _____

d) Protección y conservación en zona subhúmeda

i. Granos básicos

Maíz: _____ Frijoles: _____ Arroz: _____ Sorgo blanco: _____

ii. Cucurbitáceas

Pipián: _____ Ayote: _____ Sandía: _____ Melón: _____ Pepino: _____

iii. Raíces y tubérculos

Yuca: _____ quequisque: _____ Papa: _____

iv. Cultivos semiperennes

Musáceas: _____ Piña: _____ Pitahaya: _____ Papaya: _____ Granadilla: _____
Cálala: _____

v. Cultivos perennes

Café: _____ Cítrico: _____ Mango: _____ Aguacate: _____ Guayaba: _____

vi. Oleaginosa

Soya: _____ Maní: _____ Ajonjolí: _____ Girasoles: _____

vii. Hortaliza

Repollo: _____ Cebolla: _____ Tomate: _____ Chiltoma: _____

Observaciones:

Anexo 9: visitas a campo



Álbum de Mapas