

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
Documento Código Fecha			
FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	08-07-2021	В
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR A	ACADEMICO	Pág. 1(90)

RESUMEN-TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Angie Sofía Gómez Velásquez
FACULTAD	Ciencias Agrarias y del Ambiente
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería Ambiental
DIRECTOR	Rocío Andrea Miranda Sanguino
TÍTULO DE LA TESIS	Cálculo de la oferta hídrica superficial de la microcuenca río Tejo del municipio de Ocaña, Norte de Santander, para el año 2020, a través de la metodología lluvia-escorrentía, para la conservación, manejo y uso sostenible del recurso hídrico.
TITULO EN INGLES	Calculation of the surface water supply of the Tejo river micro-basin of the municipality of Ocaña, Norte de Santander, for the year 2020, through the rain-runoff methodology, for the conservation, management and sustainable use of the water resource.
	RESUMEN
	(70 palabras)

En el presente trabajo se llevó a cabo el cálculo de la oferta hídrica superficial de la microcuenca río Tejo, en donde se aplicó la metodología lluvia-escorrentía por medio del manejo de sistemas de información geográfica para la determinación de variables de escorrentía, así como también para la evaluación del componente morfométrico de la cuenca. A través del procesamiento de los insumos como el modelo de elevación digital de la cuenca, el mapa de suelos y de cobertura y uso de suelos se pudo determinar las dinámicas hidrológicas y geomorfológicas de la cuenca.

RESUMEN EN INGLES

The present work was carried out to calculate the surface water supply of the Tejo river micro-basin, where the rainfall-runoff methodology was applied through the use of geographic information systems for the determination of runoff variables, as well as for the evaluation of the morphometric component of the watershed. Through the processing of inputs such as the digital elevation model of the basin, the soil map and the soil cover and use map, the hydrological and geomorphological dynamics of the basin were determined.

PALABRAS CLAVES	Oferta hídrica superficial, microcuenca, cuenca hidrográfica, lluvia-escorrentía, caudal, morfometría, suelo, coberturas, SIG, NRCS		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Soil, land cover, GIS, NRCS		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 90	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 12	CD-ROM: 1



CÁLCULO DE LA OFERTA HÍDRICA SUPERFICIAL DE LA MICROCUENCA RÍO TEJO DEL MUNICIPIO DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER PARA EL AÑO 2020 A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA LLUVIA-ESCORRENTÍA PARA LA CONSERVACIÓN, MANEJO Y USO SOSTENIBLE DEL RECURSO HÍDRICO

AUTORA:

ANGIE SOFÍA GÓMEZ VELÁSQUEZ

Trabajo de grado bajo la modalidad de pasantías para optar el título de Ingeniera Ambiental

Director

Msc. ROCÍO ANDREA MIRANDA SANGUINO

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA
FACULTAD DE CIENCAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERIA AMBIENTAL

Ocaña, Colombia Agosto, 2021

Índice

Capítulo 1. Cálculo de la oferta hídrica superficial de la microcuenca río tejo del m de Ocaña, norte de Santander para el año 2020, a través de la metodología lluvia-	unicipio
escorrentía, para la conservación, manejo y uso sostenible del recurso hídrico	1
1.1 Descripción breve de la empresa	
1.1.1 Misión	
1.1.2 Visión.	
1.1.3 Objetivos de la Empresa.	
1.1.4 Descripción de la estructura organizacional.	
1.1.5 Descripción de la dependencia y/o proyecto al que fue asignado	
1.2 Diagnóstico inicial de la dependencia asignada	
1.2.1 Planteamiento del Problema	
1.3 Objetivos de la pasantía	
1.3.1 Objetivo General.	
1.3.2 Objetivos Específicos.	
1.4 Descripción de las actividades a desarrollar en la pasantía	
Capítulo 2. Enfoques Referenciales	
2.1 Enfoque Conceptual	
2.1.1 Cuenca hidrográfica.	
2.1.2 Subcuenca.	
2.1.3 Microcuenca.	
2.1.4 Parámetros de forma	
2.1.5 Parámetros de relieve.	9
2.1.6 Parámetros de drenaje.	9
2.1.7 Oferta hídrica	
2.1.8 Metodología Lluvia-escorrentía.	10
2.1.9 Número de curva de escorrentía	10
2.1.10 Clasificación hidrológica	10
2.1.11 Abstracciones iniciales.	11
2.1.12 Sistema de Información Geográfica (SIG).	11
2.2 Enfoque Legal	
2.2.1 Artículo 4.	11
2.2.2 Artículo 31	11
2.2.3 Artículo 9	12
2.2.4 Artículo 214	12
2.2.5 Artículo 316	12
2.2.6 Artículo 4	12
2.2.7 Artículo 1	12
2.2.8 Pag. 865 da 2004	12

Capítulo 3. Metodología	13
3.1 Herramientas utilizadas	14
Capítulo 4. Informe de Cumplimiento de Trabajo	16
4.1 Presentación de resultados	16
4.1.1 Evaluación del componente morfométrico de la microcuenca río Tejo	17
4.1.1.1 Generalidades de la microcuenca río Tejo.	17
4.1.1.1 Localización y extensión.	17
4.1.1.1.2 Formación.	19
4.1.1.3 Límites.	19
4.1.1.4 División política.	19
4.1.1.5 Áreas protegidas	20
4.1.1.2 Determinación y análisis de parámetros morfométricos.	
4.1.1.2.1 Variables principales.	23
4.1.1.2.2 Parámetros de forma	
4.1.1.2.3 Parámetros de relieve.	30
4.1.1.2.4 Parámetros de drenaje	38
4.1.1.3 Evaluación General de la morfometría de la cuenca.	44
4.1.2 Determinación de la Precipitación media anual de la microcuenca río Tejo	
4.1.2.1 Organización de los datos de precipitación.	45
4.1.2.2 Interpolación de la precipitación.	
4.1.2.2.1 Método de interpolación IDW	
4.1.2.2.2 Método de interpolación Kriging	
4.1.3 Determinación del número de curva de escorrentía	
4.1.3.1 Clasificación hidrológica del suelo.	
4.1.3.2 Cobertura y uso del suelo.	
4.1.3.3 Generación del mapa de escorrentía.	
4.1.3.4 Número de curva promedio.	
4.1.3.5 Cálculo de la oferta hídrica	
4.1.4 Recomendaciones para la conservación y uso sostenible del recurso hídrico	
4.1.4.1 Matriz de recomendaciones para el uso sostenible de las cuencas hidrográficas	65
Capítulo 5. Diagnóstico final	68
Capítulo 6. Conclusiones	69
Capítulo 7. Recomendaciones	71
Referencias	72
Anéndices	76

Lista de Figuras

Figura 1. Estructura Organizacional UTA. Obtenido de UTA	4
Figura 2. Localización espacial de la microcuenca río Tejo.	18
Figura 3. Delimitación de la microcuenca río Tejo.	22
Figura 4. Mapa de vertientes de la microcuenca río Tejo	29
Figura 5. Mapa de vertientes de la microcuenca río Tejo	31
Figura 6. Curva hipsométrica de la microcuenca río Tejo	34
Figura 7. Mapa de curvas de nivel de la microcuenca río Tejo	36
Figura 8. Mapa de la red de drenaje de la microcuenca río Tejo	42
Figura 9. Mapa de isoyetas, método IDW	49
Figura 10. Mapa de isoyetas, método Kriging.	52
Figura 11. Tabla de número de curva.	57
Figura 12. Mapa de número de curva de escorrentía	58

Lista de Tablas

Tabla 1. Matriz DOFA de la dependencia asignada	5
Tabla 2. Descripción de las actividades de la pasantía	8
Tabla 3. División político-administrativa de la microcuenca río Tejo	20
Tabla 4. Clasificación de una cuenca según su tamaño	23
Tabla 5. Evaluación del factor forma	26
Tabla 6. Evaluación del índice de alargamiento.	28
Tabla 7. Evaluación del índice asimétrico	28
Tabla 8. Evaluación de la pendiente de la cuenca	30
Tabla 9. Datos para la obtención de la curva hipsométrica	33
Tabla 10. Curvas de nivel y superficie relativa de la microcuenca río Tejo	35
Tabla 11. Evaluación del coeficiente de masividad	37
Tabla 12. Número de orden de los drenajes de la microcuenca río Tejo	39
Tabla 13. Evaluación de la densidad de drenaje	40
Tabla 14. Resumen de parámetros morfométricos	43
Tabla 15. Precipitación mensual registrada en las estaciones alrededor del río Tejo	46
Tabla 16. Precipitación mensual registrada en las estaciones alrededor del río Tejo	47
Tabla 17. Datos de isoyetas (método IDW)	47
Tabla 18. Datos de isoyetas (método Kriging)	50
Tabla 19. Clasificación hidrológica del suelo	54
Tabla 20. Coberturas del suelo en la microcuenca río Tejo	56
Tabla 21. Matriz de recomendaciones para la conservación y uso sostenible del recurso hídrico	. 66

Resumen

En el presente trabajo se aplicó la metodología Lluvia-escorrentía para calcular la oferta hídrica superficial de la microcuenca río Tejo, en donde se llevó a cabo el manejo de sistemas de información geográfica para la determinación de variables de escorrentía, así como también para la evaluación del componente morfométrico de la cuenca. A través del procesamiento de los insumos como el modelo de elevación digital de la cuenca, el mapa de suelos y de cobertura y uso de suelos se pudo determinar las dinámicas hidrológicas y geomorfológicas de la cuenca.

Introducción

El recurso hídrico representa un elemento de primera importancia a la hora de planificar y ordenar un territorio, puesto que gracias a este es posible llevar a cabo actividades socioeconómicas que impulsan el desarrollo en dicho territorio, por ende, la gestión del recurso hídrico es una herramienta que permite la administración y conservación del agua con el fin de satisfacer las necesidades humanas y al mismo tiempo promover la conservación de las cuencas hidrográficas.

La microcuenca río Tejo del municipio de Ocaña, Norte de Santander es una importante zona de provisión del recurso hídrico y de servicios ambientales en general y esto es en gran parte gracias a su ubicación estratégica puesto que parte de la cuenca se encuentra ubicada en una zona de Reserva Forestal Protectora, lo cual permite que se resguarden los nacimientos de agua que dan vida al río Tejo y al mismo tiempo le permite a la población abastecerse del recurso hídrico para el desarrollo de actividades socioeconómicas. Sin embargo, el uso desmedido del recurso hídrico y en general, de los servicios que la cuenca provee, hace que se vea afectada porque se llevan a cabo actividades de expansión de la frontera agropecuaria, generando degradación de los suelos e imposibilitando la regulación del recurso hídrico.

En este sentido, se lleva a cabo la determinación de la oferta hídrica superficial, con el fin de promover la conservación del recurso hídrico en la microcuenca río Tejo a través de la investigación de las dinámicas geomorfológicas e hidrológicas de la cuenca que servirán como instrumento de planificación para proponer soluciones futuras acerca de la capacidad de la cuenca para satisfacer las necesidades de la población y estrategias necesarias para la disminución del impacto ambiental generado en la cuenca.

Para poder llevar a cabo este trabajo se aplicó la metodología lluvia-escorrentía la cual permite realizar estudios cortos para cuencas pequeñas y poco instrumentadas como es el caso del río Tejo. De esta forma se solicitó al IDEAM y a las entidades ambientales territoriales la información requerida para la determinación de la oferta hídrica, en donde se llevó a cabo el manejo del software de geoprocesamiento ArcGIS para la determinación de las variables morfométricas y de escorrentía superficial que finalmente permitieron la determinación de la oferta hídrica superficial.

Capítulo 1. Cálculo de la oferta hídrica superficial de la microcuenca río tejo del municipio de Ocaña, norte de Santander para el año 2020, a través de la metodología lluvia-escorrentía, para la conservación, manejo y uso sostenible del recurso hídrico

1.1 Descripción breve de la empresa

La Unidad Técnica Ambiental (UTA) del municipio de Ocaña fue creada mediante acuerdo 070 del 31 de diciembre de 1998 en donde se efectuaron dos debates en días distintos así: primer debate el día 28 de diciembre de 1998 y el segundo debate el día 31 de diciembre de 1998. En sesiones extraordinarias convocadas mediante decreto 0093 de fecha 28 de diciembre de 1998. Se creó como una dependencia de la Administración Municipal. La Unidad Técnica Ambiental (UTA), es la constitución de una JUNTA MUNICIPAL AMBIENTAL, con funciones de dirección y control, sus ingresos y egresos se manejan de forma independiente; tendrá autonomía presupuestal y administrativa, además llevará contabilidad a parte de la del municipio. (Alcaldía Municipal de Ocaña Norte de Santander, 2018a)

1.1.1 Misión.

La Unidad Técnica Ambiental (UTA), trabaja en proyectos y obras que garantizan a la ciudadanía ocañera y a sus visitantes, un medio ambiente sano y a su vez contribuyen al mejoramiento de la calidad de vida e la población en general, defendiendo y dignificando la vida en todas sus manifestaciones. (Alcaldía Municipal de Ocaña Norte de Santander, 2018b).

1.1.2 Visión.

Entregar a las futuras generaciones un medio ambiente sano en el cual se desarrolle y se disfrute de una ciudad ecológicamente autosuficiente, encaminada a cultivar y acrecentar su patrimonio ambiental. (Alcaldía Municipal de Ocaña Norte de Santander, 2018c)

1.1.3 Objetivos de la Empresa.

La Unidad Técnica Ambiental (UTA) tiene como funciones de carácter general lo siguiente (Alcaldía Municipal de Ocaña Norte de Santander, 2018d):

- Elaborar, promover, administrar y ejecutar directa o conjuntamente con instituciones de cualquier índole, planes, programas, proyectos y obras de conservación y/o control ambiental.
- Promover, fomentar, administrar y ejecutar programas o proyectos de manejo y aprovechamiento integral de las cuencas hidrográficas.
- Formular los mecanismos de coordinación y ejecución de los planes, programas y
 proyectos de las entidades gubernamentales que todo orden deban realizar en el
 territorio de su jurisdicción, ejercer el control y evaluación de los mimos y acordar
 las prioridades de inversión correspondiente.
- Ejercer el control y vigilancia en todo el ámbito relacionado con la protección del medio ambiente.
- Promover, planear, financiar, ejecutar proyectos, programas de reforestación,
 adecuación de tierras, recursos hídricos, agua potable y saneamiento básico.
- Promover, planear, financiar, ejecutar proyectos, programas de embellecimiento paisajístico y de zonas verdes.

- Realizar convenios para la administración, control y vigilancia del Matadero
 Municipal, encaminado al mejoramiento del ambiente local.
- Las demás funciones que le sean asignadas mediante actos administrativos y correspondan a la naturaleza del área y de la dependencia.

1.1.4 Descripción de la estructura organizacional.

La estructura organizacional de la Unidad Técnica Ambiental (UTA) se encuentra conformada principalmente por el alcalde Samir Fernando Casadiego Sanjuan quien es el jefe inmediato, que administra los recursos de la entidad territorial.

Seguidamente se encuentra el Director Ejecutivo, el ingeniero Harwin Norbey Blanco León, quien es el representante legal, encargado de los asuntos ambientales ante corporaciones, personas jurídicas o naturales, nacionales, extranjeras o internacionales y en general ante cualquier entidad de carácter público o privado.

También se encuentra dentro de la estructura organizacional el técnico administrativo, encargado de realizar labores como vigilancia, control y del inventario de herramientas de trabajo y maquinaria asignada a la Unidad Técnica Ambiental (UTA).

En última instancia el área de control y vigilancia ambiental está encargada de llevar control y realizar vigilancia a aspectos relacionados con la contaminación ambiental (auditiva y visual), realizando operativos de control en concordancia con la autoridad ambiental e imponiendo medidas de Policía; el área de embellecimiento paisajístico se encarga de la limpieza, abono, poda, regado y tala (en caso de ser necesario y con el respectivo permiso) de las zonas verdes del municipio de Ocaña; el Comité de Educación Ambiental Municipal CEAM, es

quien se encarga de los procesos de educación ambiental, promoviendo escenarios de participación que propicien dicho conocimiento.



Figura 1. Estructura Organizacional UTA. Obtenido de UTA

1.1.5 Descripción de la dependencia y/o proyecto al que fue asignado.

La Unidad Técnica Ambiental es una dependencia de la Alcaldía Municipal de Ocaña encargada de cumplir los objetivos del plan de desarrollo municipal relacionados al sector medioambiental. Esta se encarga de velar por la recuperación, preservación y mejoramiento de los recursos naturales renovables y no renovables, así como también apoyar dentro de un marco constitucional el principio natural de propender por el desarrollo sostenible, buscando mejorar la calidad de vida de los habitantes manteniendo un ambiente sano en el Municipio.

El cálculo de la oferta hídrica de la microcuenca río Tejo se realiza con el fin de conocer el volumen disponible para satisfacer las necesidades de consumo hídrico de la población y que sirva como base para la creación de planes de acción encaminados a la protección de la cuenca hidrográfica.

1.2 Diagnóstico inicial de la dependencia asignada

Tabla 1. *Matriz DOFA de la dependencia asignada*

Matriz DOFA	Fortalezas (F)	Debilidades (D)
	-Disponibilidad media de	-Falta de insumos y/o
	equipos de trabajo de oficina y	documentación.
	de campo.	
		-No cuenta con amplia
	-Ambiente adecuado para el	disponibilidad de recursos
	desarrollo del trabajo.	humanos, físicos, tecnológicos, entre otros, para la realización de actividades ambientales.
Oportunidades (O)	Estrategia (FO)	Estrategia (DO)
-Aprendizaje en el área de manejo de software de geoprocesamiento.	-Hacer uso de los recursos tanto humanos como tecnológicos disponibles para la solución de los problemas.	-Calcular la oferta hídrica de la microcuenca río Tejo como insumo para la toma de decisiones.
-Posibilidad de crear una	-Generar información con base	
soluciones a las problemáticas presentadas.	en los recursos disponibles.	-Aprovechamiento de los recursos disponibles.
Amenazas (A)	Estrategia (FA)	Estrategia (DA)
-Ausencia de interés por parte de la comunidad en asuntos ambientales.	-Llevar a cabo la investigación de aspectos relevantes relacionadas con el río Tejo, con el apoyo del personal de la	-Realizar la gestión para la obtención y manejo de información relevante para el estudio de microcuenca río Tejo.
-Falta de educación ambiental de la comunidad.	Unidad Técnica Ambiental.	ŭ

Nota. Fuente: Autor del proyecto

1.2.1 Planteamiento del Problema

La microcuenca río Tejo se considera una zona de importancia ambiental, social y económica para el municipio de Ocaña, debido a los beneficios que aporta en temas de abastecimiento de recurso hídrico, así como también de provisión de servicios ambientales y esto es debido a la zona estratégica en la que se encuentra, la zona de reserva forestal, considerada como único relicto de Bosque Subandino que en la actualidad se conserva. (Convenio CORPONOR, 2001)

A pesar de la gran importancia de las cuencas hidrográficas, en el proceso de aprovechamiento, estas se ven afectadas por la presión que genera la demanda del recurso hídrico y en general los servicios que provee la misma, esto a su vez es causado por el crecimiento exponencial de la población asentada alrededor de la cuenca, en donde cada vez la demanda es mayor y el uso de los recursos y servicios que la cuenca ofrece se lleva a cabo de manera poco sostenible.

En la microcuenca río Tejo se generan procesos de expansión de la frontera agropecuaria en donde se llevan a cabo actividades de tala y quema de la vegetación nativa para establecimiento de cultivos, así como actividades agropecuarias con un manejo poco sostenible que dificulta el funcionamiento adecuado de los ecosistemas y genera impactos ambientales insostenibles a largo plazo. (CORPONOR, 2001)

Según los estudios del POMCA Río Algodonal, el índice de uso de agua de la microcuenca río Tejo en su parte alta se encuentra en una categoría alta, lo que significa que existe una alta presión de demanda del recurso hídrico con respecto al volumen disponible y esto es debido al suministro de agua potable para la zona urbana de Ocaña, así como también para las actividades agrícolas que se dan en la parte alta de la cuenca.

Teniendo en cuenta la importancia que toma esta cuenca, puesto que influye en el bienestar social, proveyendo a las comunidades de recursos naturales, bienes y servicios básicos para el desarrollo de la población, es necesario llevar a cabo estudios que permitan analizar el comportamiento de la misma, en este caso el estudio de la oferta hídrica superficial de la microcuenca río Tejo servirá como base para la creación de planes de acción y estrategias futuras para la conservación del recurso hídrico y en general de la cuenca con el fin de satisfacer las necesidades de consumo del recurso hídrico de la población.

1.3 Objetivos de la pasantía

1.3.1 Objetivo General.

Calcular la oferta hídrica de la microcuenca río Tejo del municipio de Ocaña, Norte de Santander para el año 2020, a través de la metodología Lluvia-escorrentía, para la conservación, manejo y uso sostenible del recurso hídrico.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Evaluar el componente morfométrico para la comprensión de la dinámica hidrológica y geomorfológica de la microcuenca río Tejo.
- Calcular la precipitación media anual de la microcuenca río Tejo para el año 2020.
- Realizar el cálculo del número de curva de escorrentía de la microcuenca río Tejo.

1.4 Descripción de las actividades a desarrollar en la pasantía

Tabla 2.Descripción de las actividades de la pasantía

Objetivo General	Objetivos Específicos	Actividades
	Evaluar el componente morfométrico de la microcuenca Río Tejo para la comprensión de la dinámica hidrológica y geomorfológica de la misma.	-Descripción de las generalidades de la cuenca. -Determinación y análisis de parámetros morfométricos. -Evaluación del comportamiento hidrológico y geomorfológico.
Calcular la oferta hídrica superficial de la microcuenca río Tejo del municipio de Ocaña,	Calcular la precipitación media anual de la microcuenca río Tejo para el año 2020.	-Gestión para la obtención del registro de precipitaciones para el área objeto de estudio ante el IDEAMOrganización de los datos de precipitación mediante ExcelInterpolación de los datos de precipitación mediante el método de Isoyetas.
Norte de Santander para el año 2020 a través de la metodología Lluvia-escorrentía para la conservación, manejo y uso sostenible del recurso hídrico.	Realizar el cálculo del número de curva de escorrentía de la microcuenca río Tejo.	-Gestión ante la autoridad ambiental territorial para el acceso a la información en relación al tipo de suelo y coberturas y uso del suelo del municipio de OcañaClasificación hidrológica del suelo y cobertura y usos del sueloProcesamiento de los insumos a través de la herramienta Geo-HMS para la obtención del mapa de número de curvaCalcular el número de curva promedio para efectuar los cálculos de oferta hídrica totalCalcular la oferta hídrica neta de acuerdo a los porcentajes de reducción establecidos por la

Capítulo 2. Enfoques Referenciales

2.1 Enfoque Conceptual

- 2.1.1 Cuenca hidrográfica. Entiéndase por cuenca u hoya hidrográfica el área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar. (DCTO. 1729, 2002)
- 2.1.2 Subcuenca. Se entiende por subcuenca a un área de aguas superficiales conjunto de microcuencas que drenan a un solo cauce con caudal fluctuante pero permanente. (Sociedad Geográfica de Lima, 2011a)
- 2.1.3 Microcuenca. Una micro cuenca es toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una Subcuenca; es decir, que una Subcuenca está dividida en varias microcuencas. (Sociedad Geográfica de Lima, 2011b)
- 2.1.4 Parámetros de forma. La forma de las cuencas fue analizada mediante tres índices que atienden a la relación del área con el cauce principal que la drena. Cada uno de estos índices toma una cuenca ideal como referencia. Cabe destacar que su análisis no contempla el relieve. (Camino, y otros, 2018a)
- 2.1.5 Parámetros de relieve. Los parámetros de relieve permiten analizar el comportamiento de la cuenca en relación con el relieve. Entre mayor sea su pendiente, menor duración de concentración de las aguas de escorrentía. (Cardona, 2016)
- **2.1.6 Parámetros de drenaje.** Las variables de drenaje explican la configuración y comportamiento del drenaje; asimismo aportan información de las características del sustrato y

de las superficies de las cuencas, consecuentemente son parámetros relevantes para lograr una visión más exhaustiva de su comportamiento. (Camino, y otros, 2018b)

- 2.1.7 Oferta hídrica. Aquella porción de agua que después de haberse precipitado sobre la cuenca y satisfecho las cuotas de evapo-transpiración e infiltración del sistema suelo-cobertura vegetal escurre por los cauces mayores de los ríos y demás corrientes superficiales, alimenta lagos, lagunas y reservorios, confluye con otras corrientes y llega directamente o indirectamente al mar. (Instituo de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, 2004)
- 2.1.8 Metodología Lluvia-escorrentía. "La metodología se basa en el número de curva de escorrentía (CN), desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los Estados Unidos de Norteamérica, el cual combina información de suelos, de cubierta vegetal bajo un escenario de humedad antecedente al fenómeno de lluvias, traduciéndose todo en un índice o valor numérico que se aplica a las precipitaciones, y así poder determinar el volumen de agua superficial que transita sobre la cuenca hasta su desembocadura" (Carmona, 2016a)
- 2.1.9 Número de curva de escorrentía. "El número de curva es un parámetro adimensional con valores entre 0 y 100, donde 0 indica un 0% de escurrimiento, es decir que toda la entrada de agua a la cuenca por precipitación se infiltra en el suelo, en la práctica no es posible este escenario; mientras que un valor de 100, traduce 100% de escurrimiento y 0% de infiltración por precipitaciones, como sucede sobre los cuerpos de agua, donde la precipitación se convierte directamente en escorrentía." (Carmona, 2016b)
- **2.1.10** Clasificación hidrológica. La clasificación hidrológica para la metodología Lluvia-escorrentía consiste en la asignación del suelo a cuatro grupos hidrológicos (A, B, C, D) basándose en su potencial de escurrimiento. (Resolución 865, 2004)

- 2.1.11 Abstracciones iniciales. Las abstracciones hidrológicas son los procesos físicos que actúan para reducir la precipitación total a precipitación efectiva. Eventualmente, la precipitación efectiva va a constituir el escurrimiento de superficie. Hay varios procesos por los cuales la precipitación es abstraída por la cuenca. Entre ellos, aquellos que interesan a la ingeniería hidrológica son los siguientes: (1) intercepción, (2) infiltración, (3) almacenaje de superficie, (4) evaporación y (5) evapotranspiración. (Lagrost, 2015)
- 2.1.12 Sistema de Información Geográfica (SIG). Sistema diseñado para trabajar con datos referenciados mediante coordenadas espaciales o geográficas. En otras palabras, un SIG es tanto un sistema de base de datos con capacidades específicas georreferenciadas, como un conjunto de operaciones para trabajar con estos datos. (Olaya, 2014)

2.2 Enfoque Legal

- 2.2.1 Artículo 4. "Corresponde al ministerio del medio ambiente expedir y actualizar el estatuto de zonificación de uso adecuado del territorio para su apropiado ordenamiento y las regulaciones nacionales sobre uso del suelo en lo concerniente a sus aspectos ambientales y fijar las pautas generales para el ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas y demás áreas de manejo especial". (Ley 99, 1993)
- 2.2.2 Artículo 31. "Corresponde a las funciones de las Corporaciones Autónomas Regionales Ordenar y establecer las normas y directrices para el manejo de las cuencas hidrográficas ubicadas dentro del área de su jurisdicción, conforme a las disposiciones superiores y a las políticas nacionales". (Ley 99, 1993)

- **2.2.3 Artículo 9.** "Toda persona podrá usar el agua conforme a los reglamentos generales bajo los principios de responsabilidad y solidaridad, para satisfacer necesidades domésticas de bebida e higiene, pesca deportiva y esparcimiento." (Ley 14, 2016)
- 2.2.4 Artículo 214. "Corresponde a la administración pública velar por la protección de las cuencas hidrográficas contra los elementos que las degraden o alteren y especialmente los que producen contaminación, sedimentación y salinización de los cursos de aguas o de los suelos" (DCTO. 2811, 1974)
- 2.2.5 Artículo 316. "Se entiende por ordenación de una cuenca la planeación del uso coordinado del suelo, de las aguas, de la flora y la fauna, y por manejo de la cuenca, la ejecución de obras y tratamientos." (DCTO. 2811, 1974)
- 2.2.6 Artículo 4. "La ordenación de una cuenca tiene por objeto principal el planeamiento del uso y manejo sostenible de sus recursos naturales renovables, de manera que se consiga mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca y particularmente de sus recursos hídricos." (DCTO. 1729, 2002)
- 2.2.7 Artículo 1. Se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales desarrollada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. (Resolución 865, 2004)
- 2.2.8 Res. 865 de 2004. Para el cálculo de la oferta hídrica se establece la Relación lluvia-escorrentía: Aplicable en cuencas menores, es decir cuyas áreas de drenaje sean inferiores a 250 km², cuencas no instrumentadas y en consecuencia no cuentan con registros de caudal para la estimación de la oferta superficial mensual. (Resolución 865, 2004)

Capítulo 3. Metodología

El presente trabajo se basó en la metodología lluvia-escorrentía, partiendo de la resolución 865 de 2004 "por la cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales". En esta resolución se especifican diferentes métodos para el cálculo de la oferta hídrica, en donde para cuencas menores a 250 Km² y poco instrumentadas, se establece la metodología de Lluvia-escorrentía del Servicio de Conservación de Recursos Naturales de los Estados Unidos.

Esta metodología está enfocada principalmente en la determinación del número de curva de escorrentía, que representa las abstracciones iniciales de una tormenta, incluyendo la infiltración, la intercepción y la retención superficial. Por medio de este número de curva de escorrentía y la variable de precipitación es posible calcular la escorrentía que se genera en la cuenca.

Para poder llevar a cabo la determinación del número de curva de escorrentía se tienen en cuenta tres criterios que son: el tipo de suelo, la cobertura y uso del suelo y la condición de humedad antecedente, como se muestra a continuación (Natural Resources Conservation Service, 2004):

Tipo de suelo: en este caso se lleva a cabo la clasificación hidrológica del suelo teniendo en cuenta cuatro grupos hidrológicos, A, B, C y D, establecidos por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Esta clasificación pretende establecer el potencial de escorrentía que se genera en la cuenca y se lleva a cabo teniendo en cuenta la textura del suelo, la cual establece la composición de gravas, arenas, limos y arcillas.

Cobertura y uso del suelo: este factor es importante para poder evaluar el potencial de escorrentía de la cuenca, así como para la asignación del número de curva de escorrentía, en donde las coberturas representan todo tipo de vegetación, hojarasca, suelo desnudo, así como también superficies de agua y superficies impermeables (zona urbana).

Condición de humedad antecedente: permite evaluar la humedad presente en suelo antecedente al periodo de estudio de escorrentía de la cuenca, teniendo en cuenta tres tipos de condición de humedad antecedente (Pastrana, 2014):

GRUPO AMC	Lluvia antecedente (mm)	
	Estación seca	Estación húmeda
AMC I (Condición seca)	<12,7	<35,56
AMC II (Condición normal)	12,7 a 27,94	35,56 a 53,34
AMC III (Condición húmeda)	>27,94	>53,34

Los números de curva se aplican a condiciones antecedentes normales (AMC II) y se establecen las siguientes relaciones para las otras dos condiciones:

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{0.13CN(II)}$$

En el caso de la microcuenca río Tejo, su condición de humedad antecedente es normal, por lo cual no se aplican las fórmulas propuestas adicionales para el cálculo del número de curva.

3.1 Herramientas utilizadas

Para el cálculo de la oferta hídrica, en donde se realizó la caracterización morfométrica, la determinación de la precipitación y el cálculo del número de curva de escorrentía, se llevó a cabo el manejo del software de geoprocesamiento ArcGIS 10.8.

Para llevar a cabo la caracterización morfométrica a través del SIG, se requirió de un Modelo de Elevación Digital (DEM, por sus siglas en inglés), el cual es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno y que viene representado en un tipo de formato llamado ráster. En este caso se utilizó un DEM con una resolución de 12,5m x 12,5m, que se obtuvo a través de la página web "Alaska Satellite Facility". Para la determinación de diversas variables morfométricas se utilizaron diferentes herramientas del SIG, como calculate geometry, cut polyone, measure, create features, entre otras.

Posterior a esto, se aplicó el método de interpolación por Isoyetas para la determinación de la precipitación, en donde se utilizaron dos herramientas de interpolación específicas: IDW y Kriging, las cuales representan un método de isoyetas diferente, donde IDW (ponderación de distancia inversa) permite realizar la interpolación de la precipitación a través de la estimación de valores, calculando promedios de los puntos de datos de muestra; mientras que Kriging permite realizar la interpolación de la precipitación por medio de las relaciones estadísticas entre los puntos medios, por lo que proporciona mayor precisión de la predicción.

Finalmente, para el cálculo del número de curva de escorrentía se llevó a cabo el análisis del tipo de suelo, coberturas y uso del suelo y condición de humedad antecedente, como se menciona anteriormente, en donde posterior a esto se lleva a cabo el procesamiento de esta información a través de la herramienta Generate CNGrid con el fin de calcular la escorrentía superficial que se genera en la cuenca.

Capítulo 4. Informe de Cumplimiento de Trabajo

4.1 Presentación de resultados

Para el desarrollo del trabajo en la Unidad Técnica Ambiental, se propuso realizar actividades alcanzables y que además de esto sirvieran como insumo para la toma de decisiones respecto al programa enmarcado en la conservación, manejo y uso sostenible del recurso hídrico en relación a la microcuenca río Tejo, por lo cual se fijó la meta de calcular la oferta hídrica superficial de la microcuenca río Tejo del municipio de Ocaña, Norte de Santander a través de la metodología Lluvia-Escorrentía para la conservación, manejo y uso sostenible del recurso hídrico, en donde dicha metodología es aplicable para cuencas menores a 250 Km², tal como se estipula en la Resolución 865 de 2004, siendo este el caso del río Tejo. Esta metodología es utilizada para el estudio de la escorrentía en periodos cortos de tiempo y permite la determinación de variables de escorrentía alcanzables para el limitado periodo de trabajo y el poco acceso a la información climatológica, puesto que para cuencas con suficiencia de datos y de mayor magnitud se llevan a cabo otras metodologías. Por otro lado, se llevó a cabo el manejo de los Sistemas de Información Geográfica, por medio de los cuales, se agiliza la recolección de información con relación a la oferta hídrica y se permiten alcanzar los objetivos y actividades propuestas.

Previo a la determinación de la oferta hídrica es importante realizar un reconocimiento de la cuenca y sus dinámicas, por lo que se llevó a cabo su caracterización morfométrica, en la cual se utilizó el software de geoprocesamiento ArcGIS versión 10.8 para calcular los parámetros de forma, de relieve y de drenaje.

Seguido de esto, se realizó la determinación de la precipitación media anual para el año 2020, cuya variable es necesaria para el cálculo de la oferta hídrica y esto fue posible a través del método de Isoyetas, también por medio de la herramienta de geoprocesamiento ArcGIS.

Como última fase se realizó el cálculo del número de curva de escorrentía, basado en la metodología lluvia-escorrentía del Servicio de Conservación de Recursos Naturales, a través del cual se calcula la escorrentía directa que se genera en la cuenca, en términos de lámina de agua, teniendo en cuenta las abstracciones iniciales como la infiltración, detención superficial e intercepción a través del análisis del mapa de suelo y de coberturas.

4.1.1 Evaluación del componente morfométrico de la microcuenca río Tejo.

4.1.1.1 Generalidades de la microcuenca río Tejo.

El río Tejo se encuentra ubicado en el municipio de Ocaña, Norte de Santander y es de gran importancia porque provee a la comunidad ocañera y veredas que lo integran del recurso hídrico para la realización de las diferentes actividades socioeconómicas. A continuación se describen las principales características del río Tejo (Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental, [CORPONOR], 2001):

4.1.1.1.1 Localización y extensión.

La microcuenca Río Tejo, se encuentra ubicada en el flanco nor-occidental de la cordillera oriental, al sur-oeste del casco urbano del municipio de Ocaña, al margen derecho del río Algodonal, la cual geográficamente se encuentra dentro de las siguientes coordenadas planas:

X= 1.389.500-1.389.500

Y = 1.078.000 - 1.084.400

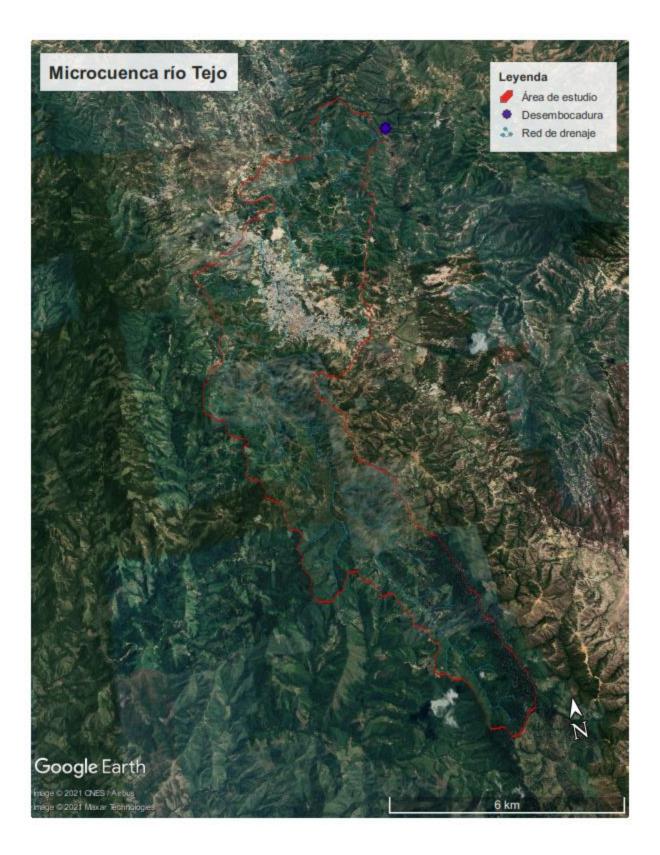


Figura 2. Localización espacial de la microcuenca río Tejo. Fuente: Google Earth, (2021)

4.1.1.1.2 Formación.

El Río Tejo se forma en el corregimiento del Espíritu Santo entre la vereda Sabaneta y la Cuchilla de Cimitarigua sobre la cota 2200 m.s.n.m en las cuales nacen tres afluentes de vital importancia para la conformación del río Tejo, las cuales son: La Chepa, La Sorrocuca y Loma Delgadita, quiénes al entrar en confluencia, forman el río Tejo. Su parte alta, la cual es la de mayor importancia pues es su punto de recarga hídrica, tiene una extensión de 3566 hectáreas (35.66 km²). De la extensión total de la microcuenca, 2500 hectáreas fueron declaradas reserva forestal según el decreto expedido por el INDERENA (actualmente Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) en 1984.

4.1.1.1.3 Límites.

- Norte: municipio de Ocaña,
- Sur: municipio de Ocaña y Ábrego,
- Este: municipio de Ocaña,
- Oeste: municipio de Ocaña

4.1.1.1.4 División política.

La división político-administrativa de la microcuenca río Tejo se establece de acuerdo a las veredas y corregimientos del municipio de Ocaña, teniendo en cuenta que toda la extensión de la cuenca se encuentra ubicada dentro de este municipio.

Tabla 3.División político-administrativa de la microcuenca río Tejo

Vereda	Área (Ha)	Área dentro de la cuenca (Ha)
Espíritu Santo	3468,714627	993.782658
Portachuelo	3175,815863	171.988753
El puente	3289,697462	509.062116
Las chircas	1123,754998	0.323582
La Ermita	5488,516866	106.041991
Agua de la Virgen	6885,716786	1580.948697
Buenavista	1970,230462	1201.265375
Las Liscas	3724,246553	56.140755
Pueblo Nuevo	9092,008016	125.379681
Venadillo	2191,703573	746.522782
Llano de los Trigos	2751,120925	1909.754266
Aguas Claras	1224,509237	7.959515
Las Rojas	813,54319	4.636516

Nota. Fuente: Autor del proyecto

4.1.1.1.5 Áreas protegidas

La parte alta del río Tejo desde la planta de tratamiento de agua potable El Llanito, hasta la Cuchilla de Cimitarigua hace parte de las áreas protegidas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP), la cual se considera como una Reserva Forestal Protectora de orden Nacional.

Esta reserva forestal hace parte de las antiguas Reservas Forestales Nacionales declaradas por el INDERENA. Se localiza en parte de los corregimientos de Buenavista, Agua de la Virgen y el Espíritu Santo. Se extiende desde la bocatoma del acueducto El Llantito (aproximadamente 1.250 m.s.n.m) hasta la cuchilla de Cimitarigua a 2.200 m.s.n.m. En esta área se declararon 2.500 hectáreas mediante Acuerdo del INDERENA No. 024 del 30 de mayo de 1984. Geográficamente se localiza dentro de las siguientes coordenadas planas (Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental, [CORPONOR], 2018):

N=1'389.500 - 1'398.500

E= 1'078.000 - 1'084.000

4.1.1.2 Determinación y análisis de parámetros morfométricos.

Para la determinación de los parámetros morfométricos se utilizó el Sistema de Información Geográfica ArcGIS versión 10.8, en donde se calcularon las diferentes variables necesarias para la determinación de los parámetros de forma, de relieve y de drenaje.

Para llevar a cabo la caracterización morfométrica a través del software mencionado, se requirió de un Modelo de Elevación Digital (DEM, por sus siglas en inglés), el cual es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno y que viene representado en un tipo de formato llamado ráster. En este caso se utilizó un DEM con una resolución de 12,5m x 12,5m, que se obtuvo a través de la página web "Alaska Satellite Facility".

Para poder determinar los parámetros morfométricos se debe realizar la delimitación de la red de drenaje y seguidamente la delimitación de cuenca, por medio de las cuales fue posible determinar los diferentes parámetros morfométricos.

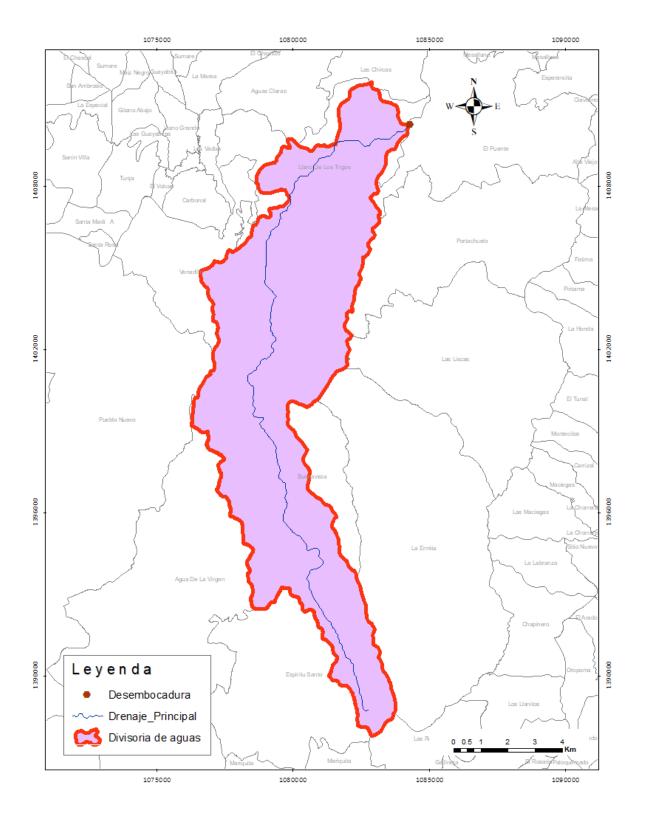


Figura 3. Delimitación de la microcuenca río Tejo.

4.1.1.2.1 Variables principales.

• Área y Perímetro

El área de una cuenca es la proyección horizontal de todo el sistema de drenaje que genera escorrentía y que fluye directamente a un cauce mayor o al mar. También se conoce como el área delimitada por la divisoria de aguas.

El perímetro es conocido también como la divisoria de aguas, la cual es la línea que envuelve la cuenca o el polígono que la delimita.

Área	8204 Ha	82,04 Km ²
Perímetro	70,17 Km	70.170 m

El río Tejo tiene una extensión de 8204 Hectáreas u 82,04 Kilómetros cuadrados, por lo que dentro de la clasificación de cuencas según su área, se denomina como "Microcuenca", tal y como se puede observar en la tabla 4.

Tabla 4.Clasificación de una cuenca según su tamaño

Area	Denominación
<5 Km ²	Unidad hidrográfica
$5-20~\mathrm{Km}^2$	Sector hidrográfico (recoge varias unidades hidrográficas)
$20 - 100 \text{ Km}^2$	Microcuenca (Recoge varias unidades y sectores hidrográficos.
$100 - 300 \text{ Km}^2$	Subcuenca
300 Km^2	Cuenca
>1.000.000 Km ²	Macrocuenca

Nota. Fuente: Campos (1992), como se citó en Aguirre, (2007)

• Área de las vertientes

La vertiente es el área que se situa a lado y lado del cauce princiapal de una cuenca hidrográfica y representa la zona por donde discurre el agua de precipitación hasta llegar al cauce principal.

Area de la vertiente mayor	4455 Ha	44,55 Km ²
Area de la vertiente menor	3749 Ha	37,49 Km ²

• Longitud axial, longitud máxima y longitud del cauce principal

La longitud axial se define como la longitud que mide la distancia en línea recta, entre la desembocadura y el punto de formación de la cuenca hidrográfica.

La longitud del cauce principal es la distancia de recorrido del cauce principal, desde su desembocadura hasta su punto de formación, incluyendo toda su sinuosidad, es decir, la curvatura de la cuenca.

La longitud máxima es la distancia de recorrido, que también incluye toda la sinousidad de la cuenca, sin embargo esta va desde su desembocadura hasta la parte más alejada de la cuenca.

Longitud axial	22,02 Km	
Longitud máxima	30,68 Km	
Longitud del C.P	30.06 Km	

• Ancho promedio y ancho máximo

El ancho promedio de una cuenca es la relación entre el área de la cuenca y la longitud axial de la cuenca. Esta variable se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$A. prom = \frac{Area}{Longitud\ Axial}$$

$$A. prom = \frac{82,04 \, Km^2}{22,02 \, Km}$$

Ancho promedio 3,73 Km

En ancho máximo de la cuenca es la distancia perpendicular a la longitud de la cuenca.

Ancho máximo	6,39 Km

4.1.1.2.2 Parámetros de forma

• Factor forma

El factor forma permite hacer un análisis acerca de la forma de la cuenca y el comportamiento hidrológico. Este parámetro determina la tendencia de la cuenca a crecidas rápidas e intensas o lentas y sostenidas. (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, 2018). Este parámetro se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$F = 0.28 \frac{Area}{Longitud \ m\'{a}xima^2}$$

$$F = \frac{82,04 \, Km^2}{(30,68 \, Km)^2}$$

Factor forma (F)	0.09

El resultado del factor forma es menor a la unidad, lo que significa que la cuenca es alargada, como lo muestra la tabla 5, por lo cual, tiene una baja susceptibilidad a las avenidas, o

como se mencionaba anteriormente, se muestra una tendencia a crecidas lentas y sostenidas. Esta forma de la cuenca se puede evidenciar en la figura 3.

Tabla 5. Evaluación del factor forma

Factor forma	Característica
F < 1.0	Alargada
F > 1.0	Circular-redonda-oblonga

Nota. Fuente: Carvajal, Moreno y Reyes, (2010) como se citó en Grande & Jimenez, (2015a)

• Coeficiente de compacidad

El coeficiente de compacidad permite establecer la forma de la cuenca y relaciona el perímetro de la cuenca con la raíz cuadrada del área. A diferencia del factor forma, en el coeficiente de compacidad, entre mayor sea el resultado, más alargada es la cuenca. Este parámetro se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$Kc = 0.28 \frac{Perímetro}{\sqrt{Area}}$$

$$Kc = 0.28 \frac{68.61 \, Km}{\sqrt{82.04 \, Km^2}}$$

Coeficiente de compacidad (Kc)	2,12
--------------------------------	------

Según Cardona, (2016) "El grado de aproximación de este índice a la unidad, indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de agua de escurrimiento, lo cual quiere decir que entre más bajo sea Kc, mayor será la concentración de agua" (p. 4).

En el caso de la microcuenca río Tejo, el resultado del coeficiente de compacidad se aleja de la unidad, por lo que se confirma que es una cuenca alargada y por ende tiene menor susceptibilidad a crecidas, puesto que se demandará de un mayor tiempo para la concentración de las aguas.

• Indice de alargamiento

El índice de alargamiento relaciona la longitud máxima del cauce principal con el ancho máximo, lo cual determina si la cuenca tiene una forma más achatada cuando los resultados son menores a la unidad o alargada cuando los resultados son mayores. Este parámetro se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$I.a = \frac{Longitud\ m\'{a}xima}{Ancho\ m\'{a}ximo}$$

$$I. a = \frac{30.68 \, Km}{6.39 \, Km}$$

Indice de alargamiento	4.80
_	

El valor del índice de alargamiento supera la unidad, lo que quiere decir que la cuenca tiende a ser alargada, esto indica que tiene un sistema de drenaje alargado o con forma de espiga y que además presenta un buen manejo con respecto a la concentración de aguas, es decir que tiene una menor susceptibilidad a la formación de avenidas torrenciales puesto que su forma alargada y la longitud de su cauce principal facilitan el amortiguamiento de la corriente.

Tabla 6. *Evaluación del índice de alargamiento.*

Ia	Característica
Ia > 1.0	Alargada
Ia < 1.0	Achatada

Nota. Fuente: Carvajal, Barroso y Reyes, (2010), como se citó en Grande & Jimenez, (2015b)

• Indice asimétrico

El índice asimétrico determina la relación entre el área de las dos vertientes de la cuenca con el fin de establecer la distribución del cauce principal. Este parámetro se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$Ia = \frac{Area \ de \ la \ Vertiente \ mayor}{Area \ de \ la \ vertiente \ menor}$$

$$Ia = \frac{44,68 \, Km^2}{37,36 \, Km^2}$$

Indice asimétrico	1,19

El valor del índice asimétrico supera la unidad, por lo que de acuerdo a su escala de valoración (tabla 7), el cauce principal va a estar recargado hacia una de las dos vertientes, en este caso, se encuentra recargado hacia el margen derecho (figura 4), por lo que, por su desproporción en las vertientes, pueden presentarse eventos de crecidas en esta zona.

Tabla 7. Evaluación del índice asimétrico

Ias	Característica
Ias > 1.0	Cauce principal recargado hacia una de las vertientes.
Ias = 1.0	Distribución uniforme del cauce principal

Nota. Fuente: Carvajal, Moreno y Reyes, (2010), como se citó en Grande & Jimenez, (2015c)

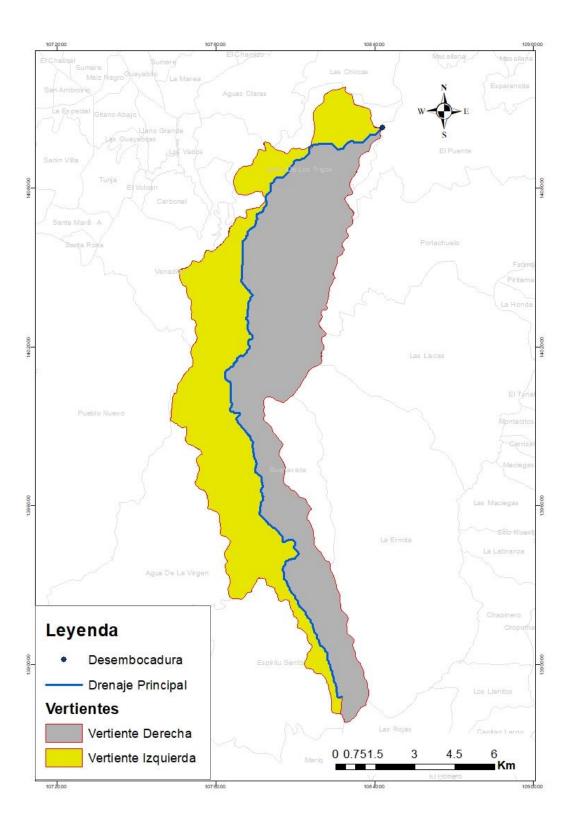


Figura 4. Mapa de vertientes de la microcuenca río Tejo

4.1.1.2.3 Parámetros de relieve.

• Pendiente media de la cuenca

Pendiente media	38,21

Este valor indica que la microcuenca río Tejo tiene un relieve "Ligeramente escarpado", como lo muestra la tabla 8, por lo que tendrá una mayor susceptibilidad a torrencialidad en las zonas más empinadas de la cuenca y esto a su vez generaría problemas de erosión y desplazamiento de sedimentos hacia las zonas más bajas.

Tabla 8. *Evaluación de la pendiente de la cuenca*

Rango de pendiente (%)	Tipo de relieve	Símbolo
0 - 3	Ligeramente plano	P1
3 - 7	Ligeramente inclinado	P2
7 - 12	Moderadamente inclinado	Р3
12 - 25	Fuertemente inclinado	P4
25 - 50	Ligeramente escarpado	P5
50 - 75	Moderadamente escarpado	P7
>75	Fuertemente escarpado	P8

Nota. Fuente: CORPONOR, (2018)

La figura 5 muestra el mapa de pendientes de la microcuenca río Tejo, el cual representa el relieve de la cuenca con cada una de las zonas y pendientes que la caracterizan. Como se puede observar, las zonas con un relieve bastante inclinado se encuentran en la parte alta de la cuenca en los corregimientos de Espíritu Santo, Agua de la Virgen y Buena vista. Por el contrario, las zonas con relieve plano se presentan en la parte media de la cuenca, en la zona urbana del municipio de Ocaña.

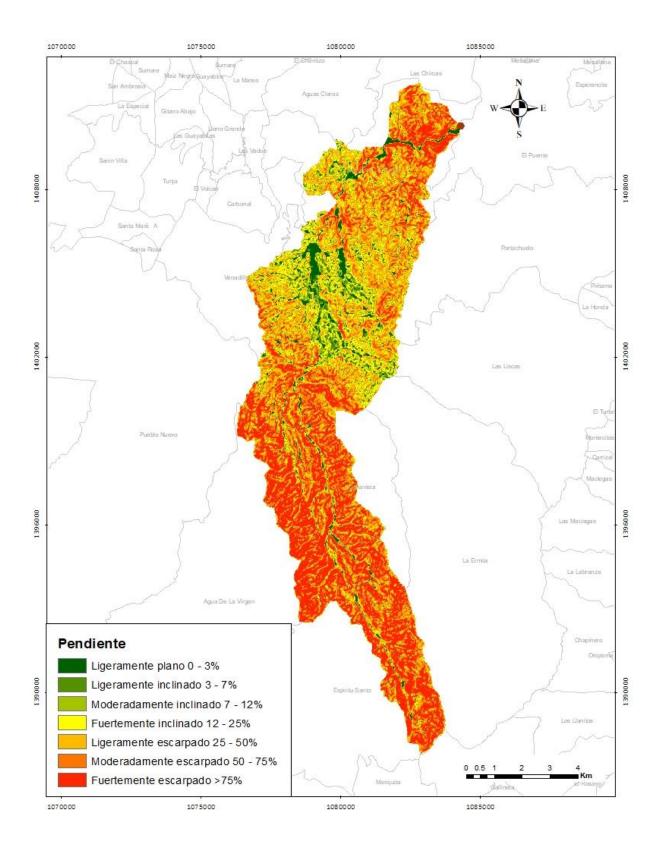


Figura 5. Mapa de vertientes de la microcuenca río Tejo

• Pendiente media del cauce principal

La pendiente media del cauce principal es la relación entre el desnivel de la cuenca (cota máxima menos cota mínima) y la longitud del cauce principal. Esta se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$Pm = \frac{Elevacion\ m\'axima - Elevaci\'on\ m\'inima}{Longitud\ del\ cauce\ principal}*100$$

$$Pm = \frac{(2242 - 999)m.s.n.m}{30060 m} * 100$$

Pendiente media del C.P	4,14 %

Este parámetro está relacionado con la velocidad y la capacidad que tiene el cauce para el transporte de sedimentos. Cuando la pendiente supera el 3% se considera una cuenca con corrientes de pendientes fuertes, como se presenta en la microcuenca río Tejo, lo que permite que aumente la velocidad de escurrimiento y transporte de sedimentos.

• Curva hipsométrica

La curva hipsométrica permite establecer la distriución del área de acuerdo a su elevación. Este gráfico permite caracterizar el ciclio erosivo bajo el supuesto de que "relaciona la altitud con el área que cambia a través del tiempo en la medida que la cuenca sufre los efectos de la erosión." (Romero, Gaspari, & Vagaría, 2015). Este gráfico se obtuvo a partir del modelo de elevación digital de la cuenca, con el fin de representar las curvas de nivel y la superficie

respectiva de cada par de curvas, los cuales se tomaron para trabajar con la herramiena "Excel", y determinar el porcentaje de superficie como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9.Datos para la obtención de la curva hipsométrica

Elevación media (Em)	Superficie (Ai)	% del Ai del AT	% del nivel inferior de C.N
1050	2.487346	3.03	100
1150	14.493422	17.67	96.97
1250	19.027024	23.19	79.30
1350	12.96484	15.80	56.11
1450	8.320933	10.14	40.31
1550	7.280316	8.87	30.16
1650	6.766422	8.25	21.29
1750	4.286466	5.22	13.04
1850	2.684967	3.27	7.82
1950	1.663978	2.03	4.54
2050	1.460704	1.78	2.51
2150	0.532169	0.65	0.73
2221	0.069822	0.09	0.09

Nota. Fuente: Autor del proyecto.

A partir de los valores referentes a las curvas de nivel y el porcentaje de superficie relativa se obtuvo la gráfica de la curva hipsométrica de la cuenca, como se muestra en la figura 6, en donde dicha curva muestra el estado de madurez de la cuenca.

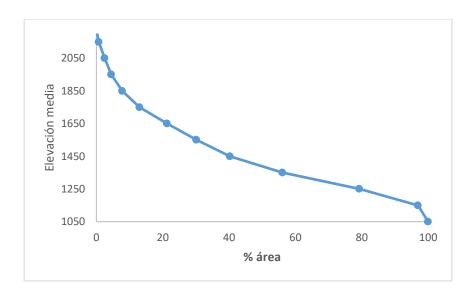


Figura 6. Curva hipsométrica de la microcuenca río Tejo.

El estado de la cuenca se evalúa teniendo en cuenta las diferentes formas de la curva. La curva hipsométrica que se presenta en la microcuenca río Tejo, muestra una curva tipo **b**, cuenca geológicamente madura, por lo que se encuentra en estado de equilibrio y no presenta gran potencial erosivo.

• Elevación media

La elevación media es aquella que representa la cota que divide la cuenca en dos zonas de igual área, es decir, la elevación que corresponde al 50% del área total de la cuenca.

Para realizar el cálculo de la elevación media se requieren los valores medios de las curvas de nivel y la superficie de cada par de curvas de nivel, como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10.Curvas de nivel y superficie relativa de la microcuenca río Tejo

Em	Ai	Ai*Em
1050	2.487346	2611.7133
1150	14.493422	16667.4353
1250	19.027024	23783.78
1350	12.96484	17502.534
1450	8.320933	12065.3529
1550	7.280316	11284.4898
1650	6.766422	11164.5963
1750	4.286466	7501.3155
1850	2.684967	4967.18895
1950	1.663978	3244.7571
2050	1.460704	2994.4432
2150	0.532169	1144.16335
2221	0.069822	155.074662
	82.04	115086.84

Nota. Fuente: Autor del proyecto.

$$Em = \frac{\Sigma Ai * Em}{AT}$$

$$Em = \frac{115086.84 \, m. \, s. \, n. \, m}{82,04 \, Km^2}$$

Elevación media	1402 m.s.n.m

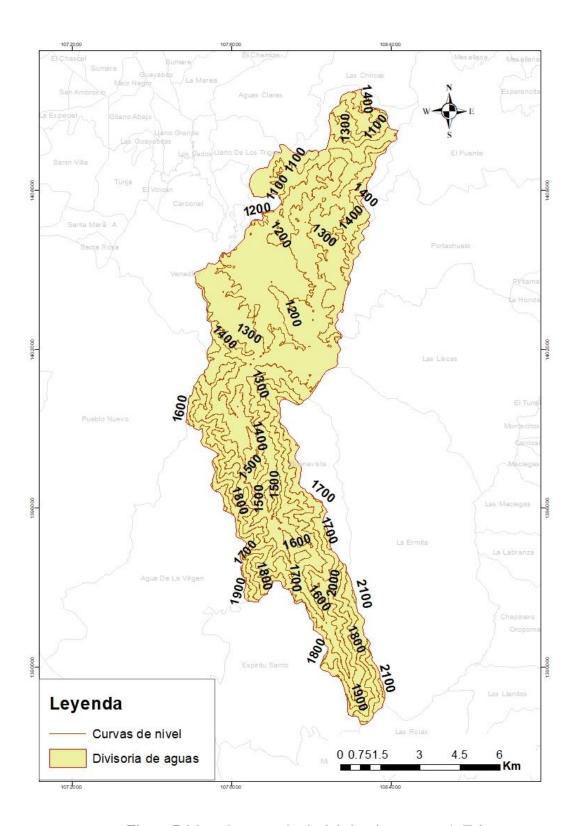


Figura 7. Mapa de curvas de nivel de la microcuenca río Tejo

• Coeficiente de masividad

Este parámetro establece la relación entre la elevación media y el área, con el fin de diferenciar el relive de las cuencas. Valores altos indican un relieve es montañoso y valores bajos indican un relieve plano. Este coeficiente se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$Km = \frac{Elevacion\ media}{Area}$$

$$Km = \frac{1402 \, m. \, s. \, n. \, m}{82,04 \, Km^2}$$

Coeficiente de masividad	17.09

De acuerdo al rango de valoración para el coeficiente de masividad (tabla 11), el río Tejo tiene un relieve moderadamente montañoso.

Tabla 11. Evaluación del coeficiente de masividad

Rango de masividad	Clase de masividad
0 – 35	Moderadamente montañoso
35 – 70	Montañosa
70 – 105	Muy montañosa

Nota. Fuente: (Marín, 2016)

• Coeficiente orográfico

Este parámetro es la relación entre la elevación media al cuadrado de la cuenca con respecto de su superficie y permite analizar el potencial de degradación de la cuenca. Entre más

alta sea su elevación media, su superficie tiende a degradarse. El coeficiente orográfico se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$Ko = \frac{(Elevación media)^2}{Area}$$

$$Ko = \frac{(1402 \, m. \, s. \, n. \, m)^2}{82040000 \, m^2}$$

Coeficiente orográfico 0.02

Según Quintero, (2003), como se citó en Marín, (2016), "cuando el resultado de la ecuación es menor de 6 se considera una cuenca poco accidentada y su potencial de degradación es bajo", como es el caso de la microcuenca río Tejo.

4.1.1.2.4 Parámetros de drenaje.

• Número de orden

El río Tejo es una cuenca de orden 5, este número de orden refleja el grado de ramificación de la red de drenaje. Por ejemplo, los cauces de orden uno son aquellos que no tienen tributarios y la unión de dos cauces de orden uno van a formar un cauce de orden dos, posterior a esto, cuando un cauce de orden menor se encuentra con un cauce de orden mayor, el resultado que prevalece será el de orden mayor y finalmente, para formar un cauce de orden mayor u orden n, se deben unir dos cauces de un mismo orden, así de esta forma se puede determinar visualmente el número de orden de la red de drenaje.

• Número de escurrimientos

Tabla 12.Número de orden de los drenajes de la microcuenca río Tejo

Orden	Cantidad
Orden 1	141
Orden 2	56
Orden 3	41
Orden 4	30
Orden 5	16
Total de escurrimientos	284

Nota. Fuente: Autor del proyecto.

• Longitud de los escurrimientos

	_
Longitud total de la red	146,22 Km

• Densidad de drenaje

La densidad de drenaje permite establecer la complejidad o desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca y se refiere a la cantidad de ríos o quebradas que tributan al cauce principal de la cuenca. Esta densidad de drenaje determina la capacidad de respuesta que tiene la cuenca para evacuar las lluvias ante cierto evento. La densidad de drenaje se determinó a través de la siguiente ecuación:

$$Dd = \frac{Longitud\ total\ de\ la\ red}{Area}$$

$$Dd = \frac{146,22 \, Km}{82,04 \, Km^2}$$

Densidad de drenaje	1,78 Km/Km ²

Según Jiménez (1992), cuando los valores son cercanos a 0,5 Km/Km², la cuenca tiene un sistema de drenaje pobre; por el contrario, la cuenca se encuentra bien drenada cuando los valores son superiores a 3,5 Km/Km². En este caso, la microcuenca río Tejo tiene un sistema de drenaje moderado, lo que indica que su drenaje tiende a ser lento, por lo que su tiempo de concentración será mayor.

Tabla 13. *Evaluación de la densidad de drenaje*

Rangos	Clases
<1	Baja
1 - 2	Moderada
2-3	Alta
>3	Muy alta

Nota: Fuente: Delgadillo y Páez, (2008)

• Tiempo de concentración

Este parámetro indica el tiempo que tarda una gota en recorrer desde su punto más alto hasta su desembocadura y representa el momento en donde el caudal de escorrentía es constante. Este se determinó a través de diferentes métodos para finalmente calcular el promedio.

Ecuación de Témez

$$Tc = 0.30 \left(\frac{Longitud\ del\ cauce\ principal}{Pendiente\ media\ del\ C.\ p^{0.25}} \right)^{0.76}$$

$$Tc = 0.30 \left(\frac{30.06 \, Km}{4,14\%^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Tiempo de concentración 4.06 h	
--------------------------------	--

Ecuación de Kirpich

$$Tc = 0.06628 \left(\frac{Longitud\ del\ C.P^{0.77}}{Pendiente\ media\ del\ C.P^{0.385}} \right)$$

$$Tc = 0.06628 \left(\frac{(30.06 \, Km)^{0.77}}{(0.041 \, m/m)^{0.385}} \right)$$

Tiempo de concentración

3,12 h

Ecuación de Kirpich Californiana

$$Tc = \left(\frac{0.871 * Longitud del C.P^3}{H \max - H \min}\right)^{0.385}$$

$$Tc = \left(\frac{(0.871) * 30.06 \ Km^3}{2242 \ m. \ s. \ n. \ m - 999 \ m. \ s. \ n. \ m}\right)^{0.385}$$

Tiempo de concentración

3,11 h

Para establecer el tiempo de concentración se calculó el promedio entre los tres métodos, arrojando un valor de 3,43 h en que demora una gota de lluvia en recorrer de la parte más alejada de la cuenca hasta su desembocadura, este tiempo se considera lento, lo cual reduce la susceptibilidad de avenidas. La longitud del cauce principal y la forma alargada de la cuenca influye en que el tiempo de concentración sea lento, así como también la densidad del sistema de drenaje, la cual se encuentra en un rango moderado, por lo que se demanda de un mayor tiempo para la concentración de las aguas.

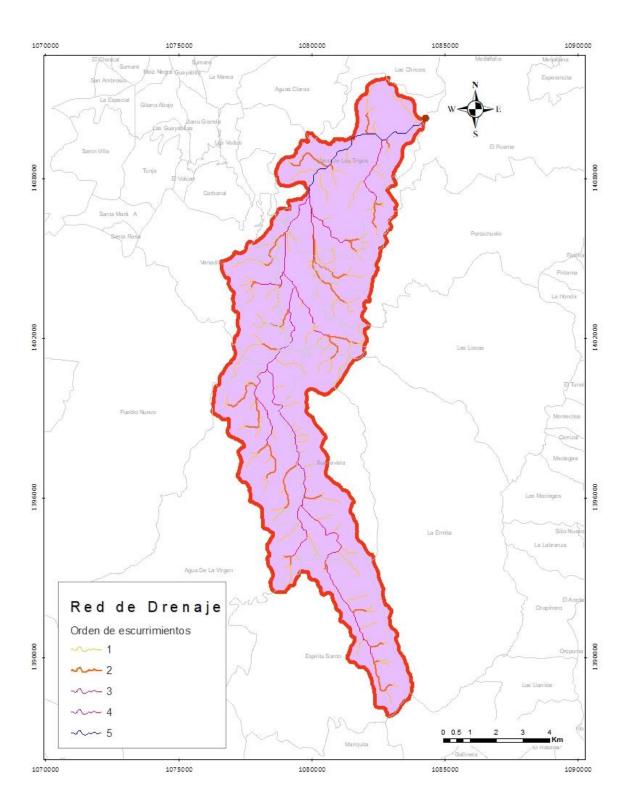


Figura 8. Mapa de la red de drenaje de la microcuenca río Tejo

Tabla 14. *Resumen de parámetros morfométricos*

Parámetro	Descripción	
Cuenca	Río Tejo	
Elevación máxima (m.s.n.m)	2242 m.s.n.m	
Elevación mínima (m.s.n.m)	999 m.s.n.m	
Descripción de la cuenca	Pequeña (Microcuenca)	
Forma de la cuenca	Alargada	
Tipo de drenaje	Dendrítico	
Área	$82,04 \text{ Km}^2$	
Perímetro	68,61 Km	
Área de la vertiente mayor	44.68 Km	
Área de la vertiente menor	37.36 Km	
Elevación media	1402 m.s.n.m	
Longitud axial	22.02 Km	
Longitud máxima	30.68 Km	
Longitud Cauce Principal	30,06 Km	
Ancho promedio	3.73 Km	
Ancho máximo	6.39 Km	
Coeficiente de compacidad (adim.)	2.12	
Factor de forma (adim.)	0.09	
Índice asimétrico (adim.)	1.19	
Índice de alargamiento	4.80	
Pendiente media de la cuenca	38.21%	
Pendiente media del C.P	4%	
Coeficiente de masividad (adim.)	17.21	
Coeficiente orográfico (adim.)	0.02	
Curva hipsométrica	В	
Número de orden	5	
Número de escurrimientos	284	
Longitud de los escurrimientos	146.22 Km	
Densidad de drenaje	1.78 Km/Km^2	
Tiempo de concentración	4,06 h	

Nota. Fuente: Autor del proyecto.

4.1.1.3 Evaluación General de la morfometría de la cuenca.

Teniendo en cuenta los parámetros de forma, la microcuenca río Tejo es una cuenca con forma alargada y debido a esto, se reduce la susceptibilidad a avenidas torrenciales puesto que se demandará de un mayor tiempo para la formación de su cauce y concentración de precipitación, en este sentido, el aumento del nivel del agua será lento y sostenido. Según el índice de asimetría de la cuenca, el cauce no está distribuido de manera uniforme sino que se encuentra recargado hacia uno de los márgenes, en este caso, se encuentra recargado hacia el margen derecho de la cuenca, por lo cual, en caso de presentarse crecientes súbitas, se generarán en esta zona.

Con respecto a los parámetros de relieve, la microcuenca río Tejo se caracteriza por tener un relieve ligeramente escarpado, con una pendiente de 38%, por lo cual, a pesar de que su forma es alargada y permite que no se concentren grandes volúmenes de escorrentía, su relieve influye en la velocidad de escorrentía y aumenta la susceptibilidad de avenidas torrenciales, que posteriormente podrían traducirse en deslizamientos y desplazamiento de sedimentos hacia las zonas bajas de la cuenca, así como también problemas de erosión. Con respecto a la curva hipsométrica, el río Tejo muestra una curva tipo b, lo que significa que es una cuenca geológicamente madura, en estado de equilibrio y no presenta niveles altos de erosión; su elevación media es de 1402 metros sobre el nivel del mar, coeficiente masividad característico de una cuenca moderadamente montañosa y un coeficiente orográfico bajo, lo que se traduce en un bajo potencial de degradación de la cuenca.

La densidad de drenaje de la microcuenca río Tejo indica que es una cuenca con un sistema de drenaje medianamente desarrollado, por lo que se reduce la susceptibilidad de crecidas y esto también se ve reflejado en el tiempo de concentración de la cuenca, el cual arrojó un valor de

3,43 h, que se considera dentro de un rango lento, por lo que se va a demandar en un mayor tiempo para la concentración de las aguas y la generación de escorrentía.

4.1.2 Determinación de la Precipitación media anual de la microcuenca río Tejo.

Se realizó la petición ante el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) para la obtención de los datos de precipitación mensual de unas de las estaciones meteorológicas alrededor del área de estudio. También se obtuvieron datos a través de la página de consulta y descarga de datos hidrometeorológicos "DHIME" de otras estaciones alrededor del área de estudio.

Los datos obtenidos a través de la solicitud y a través de la página de consulta y descarga de datos hidrometeorológicos muestran una tabla en formato Excel con información correspondiente a la precipitación diaria en el año 2020 de las estaciones activas para la zona de estudio, así como también sus coordenadas y codificación, estas estaciones son: "Aeropuerto Aguas Claras [16055010]", "Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña [16055100]", "Brotare [16050170]", Abrego [16055040] y Río de Oro [16050060]. (tabla de estación por estación con las coordenadas)

4.1.2.1 Organización de los datos de precipitación.

Teniendo en cuenta que se obtuvieron los datos de precipitación diaria, se llevó a cabo la organización para obtener la precipitación anual de cada una de las estaciones, por lo cual se realizó la suma de los datos de precipitación diaria de cada mes para obtener la precipitación mensual y posterior a esto, la precipitación anual de cada estación para el año 2020, como se puede observar en la tabla 15.

Tabla 15.Precipitación mensual registrada en las estaciones alrededor del río Tejo

	ABREGO	AEROPUERTO	BROTARE	RIO DE	UFPSO
	(mm)	A.C (mm)	(mm)	ORO (mm)	(mm)
Enero	9,1	20,7	53,1	36	16,1
Febrero	0	2	0	0	39,6
Marzo	9,3	14,3	24,5	10	0
Abril	66,7	120,2	107,6	98	
Mayo	162,7	152,3	211	100	
Junio	70,6	169,4	224,5	143	92,8
Julio	129,2	134,1	276	125	104,7
Agosto	118,9	123	259,1	79	85,6
Septiembre	287,9	153	308,6	190	217,5
Octubre	140,6	173,6	262,4	112	136,3
Noviembre	125,1	86	186,9	51	108,6
Diciembre	2,7	19,9	65,7	14	17,2
TOTAL	1122,8	1168,5	1979,4	958	818,4

Nota. Fuente: IDEAM, (2020a).

Como se puede notar en la tabla 15, en la cuenca río Tejo existen periodos secos y húmedos y el régimen de lluvias en la cuenca se caracteriza por ser bimodal. Esto significa que existen dos estaciones de lluvias en donde los meses con mayor precipitación se presentan entre septiembre y octubre con un promedio y le siguen los meses de abril y mayo. Por el contrario, los periodos secos se registran entre los meses de noviembre a marzo y de junio a julio.

Estos datos de precipitación anual se anexaron junto con la información de coordenadas como se muestra en la tabla 16, la cual debe estar en formato .csv para ingresarla en el programa de geoprocesamiento y finalmente llevar a cabo la interpolación de la precipitación a través del método de Isoyetas (IDW y Kriging).

Tabla 16. *Precipitación mensual registrada en las estaciones alrededor del río Tejo*

Nombre de la Estación	Norte (Y)	Este (X)	Altitud (m.s.n.m)	PP (mm)
AEROPUERTO AC [16055010]	8.315277778	-73.3575	1435	1168.5
ABREGO [16055040]	8.087222222	-73.22305556	1430	1122.8
BROTARE [16050170]	8.400555556	-73.42333333	1545	1979.4
RÍO DE ORO [16050060]	8.293055556	-73.38833333	1200	958
UFPSO [16055100]	8.23777778	-73.32222222	1150	818.4

Nota. Fuente: IDEAM, (2020b).

4.1.2.2 Interpolación de la precipitación.

Para realizar la interpolación de la precipitación se llevó a cabo el método de Isoyetas (IDW y Kriging) el cual consiste en el trazado de líneas que unen los puntos de precipitación de las diferentes estaciones y además se tiene en cuenta el área de la cuenca, puesto que las líneas de precipitación forman polígonos correspondientes a una precipitación y área específica, arrojando un dato más preciso.

4.1.2.2.1 Método de interpolación IDW

Tabla 17.Datos de isoyetas (método IDW)

Isoyetas	Ai	Pi	Pp*Area
1	2.666099	1025	2732.75148
2	1.504683	825	1241.36348
3	6.881507	875	6021.31863
4	12.388479	925	11459.3431
5	30.189866	975	29435.1194
6	17.407606	1025	17842.7962
7	6.532601	1075	7022.54608
8	4.469949	1125	5028.69263
	82.04079		80783.9309

Nota. Fuente: Autor del proyecto.

A través de esta información finalmente se calcula la precipitación media anual por medio de la siguiente ecuación:

$$\bar{P} = \frac{\Sigma Pi * Ai}{\Sigma Ai}$$

Donde,

Pi: Precipitación media de cada par de líneas (mm)

Ai: Área de cada par de líneas (Km²)

$$\bar{P} = \frac{80783,93}{82,04}$$

Precipitación media anual	985 mm

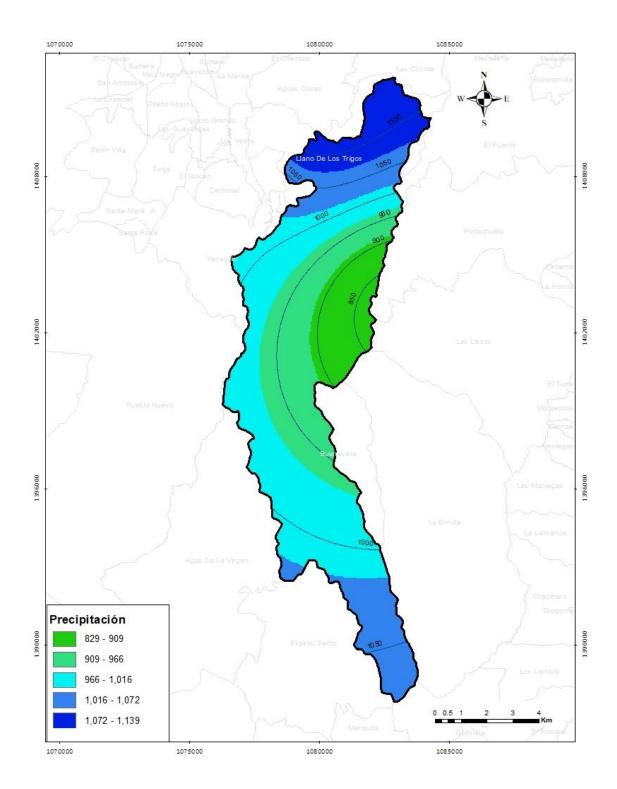


Figura 9. Mapa de isoyetas, método IDW.

4.1.2.2.2 Método de interpolación Kriging

Tabla 18.Datos de isoyetas (método Kriging)

Isoyetas	Ai	Pi	Pi*Ai
0	5.862375	1225	7181.40938
1	8.74781	1175	10278.6768
2	6.317361	1125	7107.03113
3	5.75656	1075	6188.302
4	6.1197	1025	6272.6925
5	0.283996	825	234.2967
6	4.991802	975	4867.00695
7	12.83465	875	11230.3188
8	18.277262	925	16906.4674
9	5.08731	975	4960.12725
10	3.539928	1025	3628.4262
11	2.609092	1075	2804.7739
12	1.606532	1125	1807.3485
13	0.006412	1175	7.5341
	82.04		83474.41

Nota. Fuente: Autor del proyecto.

A través de estos valores se calcula la precipitación media anual por medio de la siguiente ecuación:

$$\bar{P} = \frac{\Sigma Pi * Ai}{\Sigma Ai}$$

Donde,

Pi: Precipitación media de cada par de líneas (mm)

Ai: Área de cada par de líneas (Km²)

$$\bar{P} = \frac{83474}{82,04}$$

Precipitación media anual	1017 mm

En el método de interpolación Kriging, el valor de la precipitación media anual se acerca más a los datos de registros históricos de precipitación en el municipio de Ocaña, además, se recomienda más utilizar este método por arrojar datos más precisos, por lo cual se toma el valor de precipitación que arrojó dicho método para ser reemplazado en la fórmula de escorrentía directa.

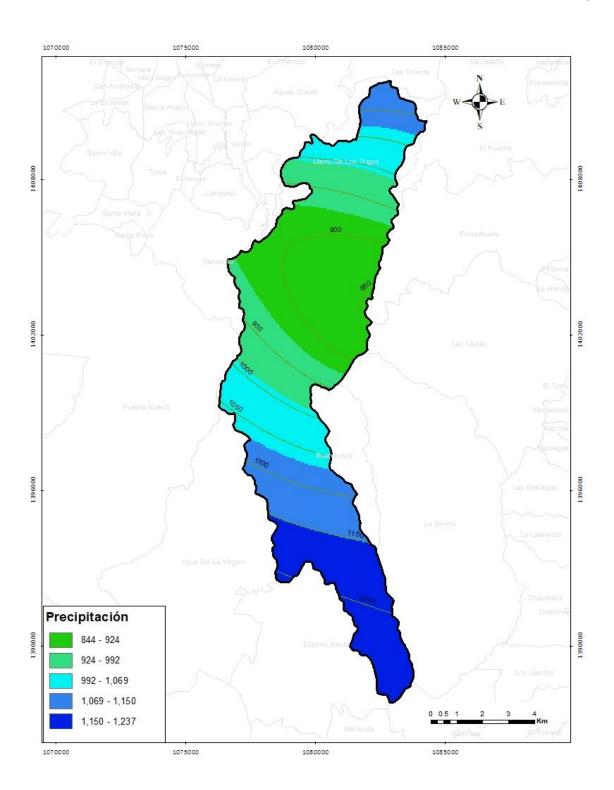


Figura 10. Mapa de isoyetas, método Kriging.

4.1.3 Determinación del número de curva de escorrentía

Para realizar la estimación de la oferta hídrica se empleó la metodología lluvia-escorrentía más conocida como metodología del número de curva, del Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS, por sus siglas en inglés), a través de la cual se busca determinar el nivel de escorrentía que se genera en una cuenca. Esta metodología se desarrolló a partir de estudios en cuencas pequeñas, para periodos cortos de tiempo y con diferentes tipos de suelo y coberturas, por lo cual es aplicable para cualquier cuenca teniendo en cuenta estas directrices. (Natural Resources Conservation Service, [NRCS], 2004)

Este número de curva representa la escorrentía que se genera en la cuenca dependiendo del tipo de suelo, la cobertura y uso del suelo y la condición de humedad antecedente, puesto que antes de generarse escorrentía, el agua de precipitación debe satisfacer las cuotas de infiltración, detención superficial e intercepción para finalmente convertirse en escorrentía. Para obtener este número de curva de escorrentía se realizó la clasificación hidrológica del suelo, la identificación de las coberturas y la asignación del número de curva dependiendo de las dos características mencionadas anteriormente.

4.1.3.1 Clasificación hidrológica del suelo.

El Servicio de Conservación de Recursos Naturales, estableció cuatro grupos de suelos hidrológicos de acuerdo a las características de composición del suelo, basándose en su potencial de escorrentía. (Resolución 865, 2004)

Estos grupos se identifican con las letras A, B, C y D, como se muestran en la tabla 19 y representan el potencial de escorrentía que se genera en cada tipo hidrológico de suelo.

Tabla 19. Clasificación hidrológica del suelo

Grupo Hidrológico del Suelo	Potencial de Escorrentía cuando está húmedo	Capacidad de Infiltración cuando está húmedo	Porcentaje	Textura según el NRCS	Clase textural
A	Bajo	Alta	10% Arcilla y más del 90% arena.	Grava o arena	Gruesa
В	Moderadamente bajo	Media	10-20 % Arcilla y 50-90% arena.	Franco-arcillosa o Franco-arenosa	Moderadamente gruesa
С	Moderadamente alto	Baja	20-40 % Arcilla y menos del 50% Arena.	Franca, Franco- limosa, Franco- arcillosa-arenosa, Franco-arcillosa y Franco-arcillosas- limosas.	Media/ moderadamente fina
D	Alto	Muy baja	Más del 40% Arcilla y menos del 50% Arena.	Arcillosa	Fina/muy fina

Nota. Fuente: Natural Resources Conservation Service, (2004)

Para realizar la clasificación del suelo de acuerdo a los grupos hidrológicos del NRCS, se tuvo en cuenta la textura del suelo, la cual describe la composición de grava, arena, limo y arcilla.

Según el mapa de suelo del municipio de Ocaña, del cual se extrajo la zona de estudio a través del SIG, se clasifica a los suelos de acuerdo a su clase textural, entre otras características. Según el Instituto Geográfico Agustín Codazi (IGAC), (2010), existen 6 clases texturales: Gruesa, moderadamente gruesa, media, moderadamente fina, fina y muy fina. Estas clases

texturales se caracterizan por su composición de gravas, arenas, limos y arcillas, por lo cual se asignó una clase textural para cada grupo hidrológico del suelo, como se muestra en la tabla 19 y finalmente se realizó la clasificación hidrológica de los suelos en la cuenca como se muestra en el apéndice A.

4.1.3.2 Cobertura y uso del suelo.

Para evaluar las condiciones superficiales de la cuenca se utilizó el mapa de coberturas y uso del suelo, para el cual se debe asignar el "Landuse" o código de suelo. En el mapa de coberturas y uso del suelo del municipio de Ocaña, del cual se extrajo la zona de estudio a través del SIG, se clasificaron las coberturas de acuerdo a la metodología Corine Land Cover, adaptada para Colombia, en la cual se establecen 5 tipos de cobertura:

- 1. Territorios artificializados,
- 2. Territorios agrícolas,
- 3. Bosques y áreas naturales,
- 4. Áreas húmedas y
- 5. Superficies de agua.

En el área de estudio se encuentran solamente cuatro grupos que son: Territorios artificializados, territorios agrícolas, bosques y áreas seminaturales y superficies de agua.

Tabla 20.Coberturas del suelo en la microcuenca río Tejo

Coberturas	Landuse	Área (Km²)	Porcentaje
Territorios artificializados	1	10.66	12.99%
Territorios agrícolas	2	29.40	35.84%
Bosques y áreas seminaturales	3	41.73	50.86%
Superficies de agua	5	0.25	0.31%
Total general		82.04	100%

Nota. Fuente: Mapa de coberturas y uso del suelo de Ocaña, (2016)

4.1.3.3 Generación del mapa de escorrentía.

Para determinar la escorrentía superficial se requiere del mapa de escorrentía de la cuenca, el cual se obtuvo a través del procesamiento de los mapas de suelo y cobertura y uso del suelo, en donde finalmente se obtiene un mapa denominado SoilLUPoly (apéndice B).

Posterior a esto se procedió a realizar la asignación del número de curva para cada tipo de cobertura y uso del suelo (apéndice C), teniendo en cuenta la información registrada en el libro nacional de ingeniería del NRCS, en la sección de hidrología, capítulo 9, en donde están registrados los valores de número de curva de acuerdo a cada tipo de cobertura y grupo hidrológico de suelo. Los números de curva de escorrentía se presentan en valores de 0 hasta 100, en donde valores bajos indican que la entrada de agua de lluvia se infiltra o se retiene en el suelo y en la vegetación, lo que se traduce en niveles escasos de escorrentía. Por el contrario, valores altos indican que el agua no se infiltra ni se retiene sino que escurre directamente a las cuencas, por lo que se presenta niveles altos de escorrentía.

Finalmente se calculó el promedio de número de curva para los 4 tipos de cobertura (Territorios artificializados, territorios agrícolas, bosques y áreas seminaturales y superficies de agua) presentes en la microcuenca río Tejo y a través del SIG se creó la tabla denominada "CNLookUP" tal y como se muestra en la figura 9.

Rowid	LUVALUE	DESCRIPCIÓN	Α	В	С	D
1	1	Territorios artificializados	77	85	90	92
2	2	Territorios agrícolas	66	78	85	89
3	3	Bosques y áreas naturales	52	75	83	89
4	5	Superficies de agua	98	98	98	98

Figura 11. Tabla de número de curva.

Una vez realizado este proceso de clasificación y asignación de número de curva, se realizó el procesamiento de los insumos para generar el mapa de número de curva, en el cual se requieren los siguientes archivos: Mapa SoilLUPoly en formato shapefile, tabla CNLookUP y por último el archivo ráster de la cuenca.

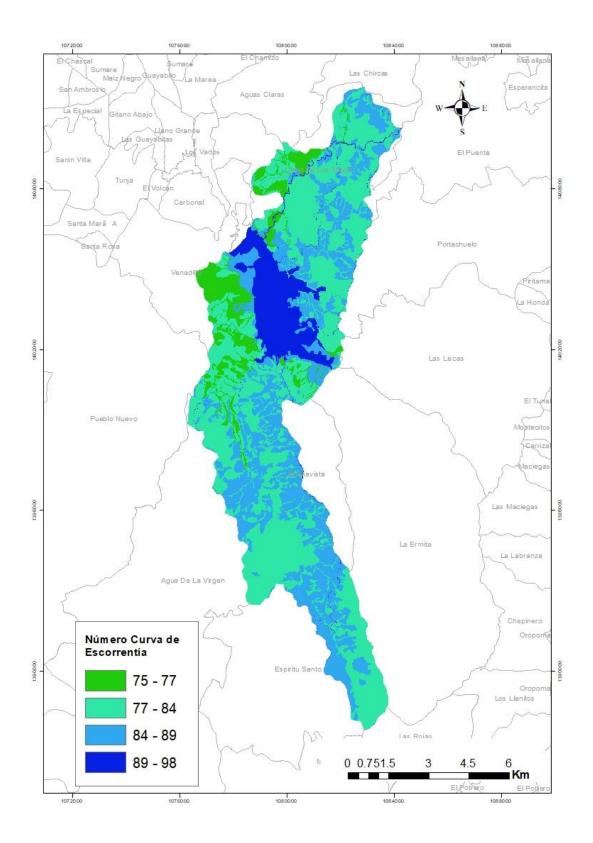


Figura 12. Mapa de número de curva de escorrentía.

Según el mapa generado, las zonas de mayor número de curva de escorrentía se presentan en el área urbana del municipio de Ocaña y en la parte alta de la cuenca. Por el contrario, las áreas con menor escorrentía se presentan en la vereda Venadillo y en la vereda Llano de los Trigos al norte de la cuenca.

Como se puede observar en la figura 12, el valor mínimo de número de curva de escorrentía es de 75 y teniendo en cuenta que este número de curva representa las abstracciones iniciales que se dan en la cuenca, se presentan altos niveles de infiltración, intercepción y retención superficial y esto es debido a las condiciones de suelo y coberturas de la cuenca.

4.1.3.4 Número de curva promedio.

Para determinar el número de curva promedio, se utilizaron los valores agregados automáticamente en la tabla de atributos del mapa SoilLUPoly, o mapa de suelo y coberturas intersectado, como se muestra en la tabla de atributos del apéndice B. Se utilizó la herramienta de cálculo Excel para hallar el promedio, teniendo en cuenta el área de cada zona de escorrentía y el número de curva asignado para dichas áreas, a través de la siguiente ecuación:

$$\bar{CN} = \frac{\Sigma CNi * Ai}{\Sigma Ai}$$

$$\bar{C}N = \frac{6851,44}{82.04 \, Km2}$$

4.1.3.5 Cálculo de la oferta hídrica.

Teniendo en cuenta el número de curva de escorrentía obtenido se procedió a realizar la determinación de la oferta hídrica. Partiendo de la ecuación establecida por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales para determinar la escorrentía directa, la cual se encuentra en función de la precipitación, P y la retención máxima potencial, S.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

Donde,

Q: Escorrentía directa (mm)

P: Precipitación (mm)

S: Retención potencial máxima (mm)

Para resolver la ecuación anterior, se requieren los valores de precipitación y retención potencial máxima; la precipitación se calculó anteriormente a partir de los datos de las estaciones meteorológicas alrededor de la zona de estudio, arrojando un valor de 1017 mm para el año 2020. La retención potencial máxima se encuentra en función del número de curva de escorrentía, CN, y se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$S = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

Donde,

S: Retención máxima potencial (mm)

CN: número de curva (adim.)

$$S = 25,4 \left(\frac{1000}{83,51} - 10 \right)$$

$$S = 50,16 \, mm$$

Reemplazando este valor en la ecuación de escorrentía directa, así como también el valor de la precipitación media anual, se obtuvo:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

$$Q = \frac{(1017 mm - 0.2 * 50.16 mm)^2}{1017 mm + 0.8(50.16 mm)}$$

$$Q = 959, 19 \text{ mm}$$

Para realizar el cálculo de la oferta hídrica, se transformó el valor de la escorrentía directa, Q, a caudal modal, Q, como se muestra en la siguiente ecuación, establecida en la metodología para el cálculo del índice de escasez:

$$Y = \frac{\bar{Q} * t}{A * 10^3}$$

Despejando la variable \overline{Q} , se obtiene:

$$\bar{Q} = \frac{Y(A*10^3)}{t}$$

Donde,

Q: Caudal modal para el periodo de agregación seleccionado (m³/s)

Y: Escorrentía superficial expresada en términos de lámina de agua (mm)

T: Cantidad de segundos en el periodo de agregación (s)

A: Área aferente al nodo de mediciones (Km²)

$$\bar{Q} = \frac{959,19 \ mm(82,04 \ Km^2 * 10^3)}{31536000 \ s}$$

$$\overline{Q} = 2,50 \frac{m^3}{s}$$

Para calcular la oferta hídrica total y de esta manera transformar el caudal a términos de volumen, expresado en millones de metros cúbicos, se aplicó la siguiente ecuación, en función del caudal modal y el tiempo de agregación (1 año):

$$OT = \bar{Q} * t$$

$$OT = 2,50 \; \frac{m^3}{s} * 31536000 \; s$$

$$OT = 78.69 \, Mm^3$$

Finalmente, para obtener el valor de oferta hídrica neta se deben aplicar los porcentajes de reducción de la oferta hídrica fijados en la resolución 865 de 2004, en la cual se establece el porcentaje de reducción por caudal ecológico y el porcentaje de reducción por calidad de agua; en este caso se aplicó solamente el porcentaje de reducción por caudal ecológico teniendo en cuenta que no se realizaron análisis al agua para determinar la calidad de la misma.

Reducción por caudal ecológico: Para el sostenimiento de los ecosistemas se debe conservar un caudal mínimo, remanente o ecológico, esto contribuye a que la flora, fauna y en general los ecosistemas de las fuentes hídricas sean sostenibles y permitan brindar los diferentes servicios que generalmente provee un ecosistema y de esta forma proporcionar de bienes y servicios a la sociedad y las diferentes actividades socioeconómicas que lo requieren. En este sentido, el factor de reducción por caudal ecológico equivale al 25% aplicado a la oferta hídrica total.

De esta forma, al aplicar el porcentaje de reducción por caudal ecológico (0,25) a la ecuación se obtiene lo siguiente:

$$On = Ot * 0.25$$

$$On = 78,69 Mm^3 * 0.25$$

$$On = 59Mm^{3}$$

La oferta hídrica de la microcuenca río Tejo para el año 2020 corresponde a 59 millones de metros cúbicos anuales, siendo un caudal considerable, sin embargo, debido al índice de uso de agua de categoría alta que se presenta en la parte alta de la cuenca, este volumen hídrico se ve limitado y es necesario proponer estrategias encaminadas al uso sostenible del mismo.

4.1.4 Recomendaciones para la conservación y uso sostenible del recurso hídrico.

Una cuenca hidrográfica provee una amplia variedad de servicios al ser humano, empezando por el suministro de agua dulce para uso doméstico, agrícola e industrial, el cual es posible gracias a la producción y regulación de caudal que se propicia en la cuenca. Por otro lado, el suministro de alimentos proveniente del campo es posible gracias a la labor del

agricultor, y esta labor depende en gran medida del agua superficial tomada de los ríos y quebradas. Los bosques alrededor de las cuencas hidrográficas proveen productos maderables y leña y a su vez proveen a la población rural de recursos naturales para su subsistencia. (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO, 2015)

A pesar de la gran importancia de las cuencas hidrográficas, en el proceso de aprovechamiento, estas se ven afectadas por la presión que genera la demanda del recurso hídrico y en general los servicios que provee la misma, esto a su vez es causado por el crecimiento exponencial de la población asentada alrededor de la cuenca, en donde cada vez la demanda es mayor y el uso de los recursos y servicios que la cuenca ofrece se lleva a cabo de manera poco sostenible.

La población urbana y rural dependen del recurso hídrico para el desarrollo de actividades socioeconómicas; en la microcuenca río Tejo, parte alta, se presentan conflictos por el índice de uso del agua de categoría alta, lo que se traduce a alta presión de demanda en comparación con la oferta disponible, esto debido al suministro de agua potable para la población urbana del municipio de Ocaña. (Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental, CORPONOR, 2018)

De esta manera, se hace necesario proponer actividades para el uso sostenible del recurso hídrico en la microcuenca río Tejo, en donde se lleven a cabo prácticas sostenibles dependiendo del uso del suelo y del recurso hídrico que se presente en la cuenca.

4.1.4.1 Matriz de recomendaciones para el uso sostenible de las cuencas hidrográficas

Las recomendaciones propuestas se llevaron a cabo teniendo en cuenta únicamente la parte alta de la microcuenca, que se refiere a la cabecera o bosques de cabeceras, en los cuales se da la regulación hídrica y, además, teniendo en cuenta que el índice de uso del agua de la cuenca con categoría alta se da en esta parte.

Para proponer las recomendaciones se analizaron las coberturas y uso del suelo de la cuenca en su parte alta, con el fin de establecer acciones de acuerdo a estos usos y coberturas que permitan minimizar los impactos que se están generando en estas zonas debido a las actividades que allí se desarrollan.

La cobertura de Bosques y Áreas Seminaturales es el mayor porcentaje de cobertura de la cuenca, que equivale a un 51%. Esta cobertura se encuentra mayormente representada por los bosques de galería y bosques abiertos con un porcentaje de 16% y por la vegetación secundaria de igual forma con un porcentaje de 16%.

En segunda instancia se encuentran los Territorios Agrícolas con un porcentaje de cobertura de 36%, la cual, a su vez se encuentra representada por la cobertura de pastos limpios con un porcentaje poco menos de la mitad, siendo del 16% y la segunda cobertura más predominante es la de mosaico de pastos y cultivos con un porcentaje de 9%.

Tabla 21. *Matriz de recomendaciones para la conservación y uso sostenible del recurso hídrico.*

MATRIZ DE RECOMENDACIONES										
			Recomendaciones	Objetivos	Acciones	Actores	Documento guía			
		Componente Ambiental	Restauración ecológica de las áreas erosionadas y afectadas en la cuenca	Ejecutar actividades de restauración ecológica para las zonas de fragmentación en la cuenca	Cerramiento del bosque, enriquecimiento y suplementación, implementación de cercas vivas, y establecimiento de franjas protectoras de cuerpos de agua.	Sector público, privado, comunidad y alcaldía de Ocaña.	Plan Nacional de Restauración Ecológica. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.			
	Bosques y áreas seminaturales	Componen	Conservación de la biodiversidad de los bosques en la cuenca	Realizar un inventario de Fauna y Flora para el área de bosques de galería y bosques abiertos que sirva como guía para actividades de reforestación	Determinación de especies objeto de conservación y reforestación en los bosques de galería con el fin de promover regulación hídrica a través de la conservación de la biodiversidad.	Sector público, privado, comunidad y alcaldía de Ocaña.	Manual de métodos para el desarrollo de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos, Alexander Von Humboldt.			
		Componente Social	Implementación de guardabosques para los bosques de galería y bosques abiertos	Llevar a cabo la creación de un programa de guardabosques comunitario	Capacitación de la comunidad para llevar a cabo actividades de control y vigilancia a los recursos naturales con el fin de fomentar la conservación de las cuencas y apropiación del territorio por parte de la comunidad.	Sector público, privado, comunidad y alcaldía de Ocaña.	Manual para capacitación de guardaparques Volumen I. Alan Moore.			
	Territorios Agrícolas Componente Ambiental		Conservación de la biodiversidad en paisajes rurales	Realizar la identificación de oportunidades de conservación de la cuenca río Tejo parte alta	Caracterización biológica del paisaje rural, identificación de elementos del paisaje con valor de conservación.	Sector público, privado, comunidad y alcaldía de Ocaña.	Herramientas de manejo para la conservación de biodiversidad en paisajes rurales. Fabio H. Lozano- Zambrano			

	Ganadería sostenible	Llevar a cabo la implementación de prácticas de ganadería sostenible para disminuir el impacto generado por la actividad ganadera	Implementación de rotación de potreros.		Implementación de Buenas Prácticas Ganaderas: Principios Básicos. Palomino Paula y otros.		
			Implementación de sistemas silvopastoriles.	Sector público, privado, comunidad y alcaldía de Ocaña.	Manual 1. Establecimiento de Sistemas Silvopastoriles. Federación Colombiana de Ganaderos.		
			Aprovechamiento del estiércol para la elaboración de compostaje.	-	Guía Técnica para el Aprovechamiento de Residuos Orgánicos a través de Metodología de compostaje y lombricultura. Alcaldía mayor de Bogotá.		
Componente Social	Desarrollo endógeno	Realizar procesos de articulación comunitaria con el fin de crear y visibilizar proyectos productivos autónomos	Creación de un comité municipal para el desarrollo económico local; formulación de planes de desarrollo económico local.	Sector público, privado, comunidad y alcaldía de Ocaña.	Guía de Herramientas Municipales para la promoción del Desarrollo Económico Local. CEPAL.		

Capítulo 5. Diagnóstico final

La microcuenca río Tejo es una zona de gran importancia ecológica puesto que provee una gran cantidad de servicios ambientales por encontrarse en una zona de reserva forestal, que permite que se conserven los nacimientos de agua que dan vida al río Tejo y de esta manera, se promueva la regulación hídrica en la cabecera de la cuenca, además de esto provee del recurso hídrico a la zona urbana y rural para el desarrollo de actividades socioeconómicas que permiten el crecimiento de la población.

Este informe es un instrumento que aporta a la planificación de proyectos encaminados a la protección del recurso hídrico y de las zonas de interés ambiental que promuevan la sostenibilidad ambiental en el municipio.

El informe de oferta hídrica se llevó a cabo con base en información actualizada, a escala 1:25000, el cual era de importancia para generar nuevos instrumentos de acción y planificación con respecto al recurso hídrico y en general la conservación y manejo del río Tejo. Adicional a esto se presentaron unas recomendaciones para la conservación y uso sostenible del recurso hídrico que sirvan como base para futuros planes de acción y estrategias encaminadas a mejorar las condiciones de la cuenca.

Capítulo 6. Conclusiones

De acuerdo a la caracterización morfométrica de la microcuenca río Tejo se pudo concluir que es una cuenca pequeña y con una forma alargada y un sistema de drenaje medianamente desarrollado, lo cual incide directamente en el comportamiento hidrológico de la cuenca, en este caso el río Tejo no concentra grandes volúmenes de agua por lo cual tiene una baja susceptibilidad a avenidas torrenciales. Sin embargo, su relieve se caracteriza por ser "ligeramente escarpado", con una pendiente del 38% y esto puede ocasionar que se presenten crecidas, por el aumento de la velocidad de escorrentía y posteriormente cauce problemas de deslizamientos y degradación de la cuenca.

En el proceso de determinación de la precipitación, se llevó a cabo el método de Isoyetas por interpolación IDW y Kriging, en donde se pudo determinar que el método más preciso fue la interpolación Kriging puesto que se acerca más a los datos de registros históricos y distribuye de manera más uniforme las líneas de precipitación para poder obtener un valor más cercano a la realidad.

En la determinación del número de curva de escorrentía se pudo observar que en todas las zonas de la microcuenca río Tejo se presentan altos niveles de abstracciones iniciales, de acuerdo al mapa de número de curva, debido a las características de suelo y coberturas que contribuyen a la reducción de los niveles de escorrentía, por el aumento en la infiltración, retención superficial e intercepción en el suelo y la vegetación.

El estudio de variables de importancia como lo es la oferta hídrica permite establecer una línea de partida con respecto a los recursos que la microcuenca río Tejo puede ofrecer, en este caso, el recurso hídrico es de gran importancia puesto que contribuye al desarrollo social,

ambiental y económico. La oferta hídrica de la microcuenca para el año 2020 corresponde a un volumen de 59 millones de metros cúbicos, siendo una oferta hídrica considerable, sin embargo, teniendo en cuenta que en esta se presenta un índice de uso del agua de categoría alta debido a la presión de demanda de agua para consumo humano en la zona urbana del municipio de Ocaña y demanda de agua para uso agrícola en la zona rural, esta oferta hídrica se ve limitada y es susceptible de escasear en periodos secos, por lo cual es importante realizar estudios adicionales que permitan evaluar el potencial de la microcuenca río Tejo, así como también las amenazas que podrían presentarse tanto para la cuenca como para la población que se beneficia de esta.

Gracias a la aplicación de metodologías basadas en el manejo de herramientas como los sistemas de información geográfica, es posible llevar a cabo gran variedad de estudios que permitan caracterizar las cuencas hidrográficas que son de gran importancia para el desarrollo social y ambiental de diversas regiones y además permiten construir bases sólidas para la formulación de estrategias de manejo del recurso hídrico y en general de las cuencas hidrográficas que proveen a la población de diversos servicios ambientales para satisfacer sus necesidades y las necesidades del ecosistema para su óptimo funcionamiento.

Capítulo 7. Recomendaciones

Se recomienda a la Unidad Técnica Ambiental llevar a cabo este tipo de estudios con mayor periodicidad con el fin de recolectar la mayor cantidad de información para poder tomar decisiones y proponer estrategias con respecto a la conservación, manejo y uso sostenible del recurso hídrico y en general de la cuenca hidrográfica.

La determinación del índice de escasez es importante para evaluar la demanda del recurso hídrico con respecto a la oferta disponible, por lo cual se recomienda asignar este trabajo a un próximo pasante para continuar con el proceso.

Se recomienda promover las prácticas sostenibles especialmente en la parte alta de la cuenca, teniendo en cuenta que esta es la zona de regulación hídrica, partiendo de la matriz de recomendaciones que se propuso en el presente trabajo en el apartado de resultados, con el fin de proponer estrategias encaminadas a la conservación, manejo y uso sostenible del recurso hídrico.

Referencias

- Alcaldía Municipal de Ocaña Norte de Santander. (26 de 06 de 2018). *Alcaldía municipal de Ocaña*. Obtenido de Al caldía municipal de Ocaña: http://www.ocana-nortedesantander.gov.co/directorio-institucional/unidad-tecnica-ambiental-uta
- Burbano, L. L., & Zarama, M. V. (1996). La Importancia de la Hidrología en el Manejo de Cuencas Hidrográficas. *Revista de Ciencas Agrícolas*.
- Camino, M., Bó, M., Cionchi, J., Río, J. D., Armentia, A. d., & Marco, S. D. (2018). Estudio morfométrido de las cuenca de drenaje de la veriente del sudese de la provincia de Buenos Aires. *Revista Universitaria de Geografía*, 5,6,7.
- Cardona, B. L. (05 de 05 de 2016). *Repositorio USAC*. Obtenido de http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/1/Conceptos%20b%C3%A1sicos%20de%20Mo rfometr%C3%ADa%20de%20Cuencas%20Hidrogr%C3%A1ficas.pdf
- Carmona, D. A. (2016). *Universidad Militar Nueva Granada*. Obtenido de Procedimeinto para calcular la Oferta Hídrica Superficial por Método Relación Lluvia-Escorrentía, Caso de Estudio Cuenca Quebrada Apauta para el año 2015:

 https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/15513/SalazarCarmonaDiego Andres2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Convenio CORPONOR. (2005). *Plan de Manejo Ambiental Río Tejo*. Ocaña, Norte de Santander.
- CORPONOR. (2001). Plan de Manejo Ambiental Río Tejo. Ocaña, Norte de Santander.

- Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental, CORPONOR. (Diciembre de 2018). *POMCA Río Algodonal. Actualización*. Obtenido de Análisis Situacional: https://corponor.gov.co/Pomcas_2018/FASE%20DE%20DIAGNOSTICO/Informes.DX. %20pdf/08_AnalisisSituacional_Algodonal_1605_vf.pdf
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. (Marzo de 2018). CVC. Obtenido de POMCA Río La Vieja Capítulo 7 Morfometría:

 https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes_y_Programas/Planes_de_Ordenacion_y
 _Manejo_de_Cuencas_Hidrografica/La%20Vieja%20%20POMCA%20en%20Ajuste/Fase%20Diagnostico/7_CapituloI_Diagnostico_Morfom etria.pdf
- DCTO. 1729. (6 de Agosto de 2002). *Presidencia de la República*. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislac i%C3%B3n_del_agua/Decreto_1729.pdf
- DCTO. 2811. (18 de Diciembre de 1974). *Presidencia de la República*. Obtenido de Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente: https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_2811_de_1974.pdf
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO. (2015). *FAO*. Obtenido de http://www.fao.org/3/a1295s/a1295s02.pdf
- Instituo de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. (2004). *Metodología para el Cálculo del Índice de Escasez de Agua Superficial*. Lima. Obtenido de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021143/metodologia-calculo.pdf

- Instituto Geográfico Agustín Codazi. (2010). *Instituto Geográfico Agustín Codazi*. Obtenido de http://igacnet2.igac.gov.co/intranet/programacion_files/CIAF-COSubagrologia%20V.2012_2.pdf
- Lagrost, L. (2015). *Apuntes de Hidrología. Curso de grado de Ingeniería Civil*. Obtenido de Traducción del capítulo 13 del libro "Engineering Hydrology": http://ing.unne.edu.ar/pub/Modelos%20hidrologicos_Tema9.pdf
- Ley 14. (2016). Congreso de Colombia. *Disposiciones y regulaciones frente al uso del agua.*,

 Artículo 9. Obtenido de

 http://proyectos.andi.com.co/Ambiental/SiteAssets/Paginas/default/PL%20014%20C%20

 2016%20C%C3%B3digo%20del%20Agua.pdf
- Ley 373. (6 de Junio de 1997). *Congreso de Colombia*. Obtenido de Programa para el uso eficiente y ahorro del agua.:

 https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1997/ley_0373_1997.pdf
- Ley 99. (22 de Diciembre de 1993). Congreso de Colombia. *Ley General Ambiental*, Artículo 4, numeral 12.
- Natural Resources Conservation Service. (Julio de 2004). *United States Department of Agriculture*. Obtenido de

 https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17752.wba
- NRCS. (2004). Hydrologic Soil Groups. En *National Engineering Handbook* (pág. Part 630 Hydrology). Estados Unidos. Obtenido de https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17752.wba

- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*. Obtenido de Ilustre Colegio Oficial de Geólogos: https://www.icog.es/TyT/files/Libro_SIG.pdf
- Resolución 865. (22 de Julio de 2004). *Ministra de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial*.

 Obtenido de Metodología para el Cálculo del Índice de Escasez:

 https://www.corporinoquia.gov.co/files/Planeaci%C3%B3n_y_ordenamiento_territorial/
 Resolucion_865_de_2004.pdf
- Sociedad Geográfica de Lima. (2011). *Cartilla Técnica de Cuencas Hidrológicas*. Obtenido de Foro Peruano para el Agua: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf

Apéndices

Apéndice A. Clasificación hidrológica de la cuenca. Tabla de atributos del mapa de suelo.

FID	Shape *	OBSERVACIO	Area	Grupo Hidrológio
(Polygon ZM	Textura moderadamente gruesa	3.889106	В
1	1 Polygon ZM	Texturas medianamente finas (FArA)	0.898544	С
2	2 Polygon ZM	Texturas finas y muy finas	2.078163	D
3	Polygon ZM	Texturas medias, medianamente finas y finas	6.881859	С
4	4 Polygon ZM	Texturas medianamente finas y medias	10.032412	С
5	5 Polygon ZM	Texturas medianamente finas	0.153839	С
6	6 Polygon ZM	Textura moderadamente gruesa	1.59487	В
7	7 Polygon ZM	Textura moderadamente gruesa	1.602482	В
8	B Polygon ZM	Textura moderadamente gruesa	1.465759	В
9	Polygon ZM	Textura moderadamente gruesa	2.134274	В
10	Polygon ZM	Textura moderadamente gruesa	0.555224	В
11	1 Polygon ZM	Textura moderadamente gruesa	0.791069	В
12	Polygon ZM	Textura moderadamente gruesa	2.179292	В
13	Polygon ZM	Textura moderadamente gruesa	0.887902	В
14	4 Polygon ZM	Textura moderadamente gruesa	0.649632	В
15	5 Polygon ZM	Textura moderadamente gruesa	0.356174	В
16	Polygon ZM	Textura moderadamente gruesa	0.728981	В
17	7 Polygon ZM	Textura medianamente fina y gruesa	0.369335	С
18	B Polygon ZM	Textura medianamente fina y gruesa	0.138007	С
19	Polygon ZM	Textura medianamente fina y gruesa	0.066895	С
20	Polygon ZM	Textura media y gruesa	0.063059	С
21	1 Polygon ZM	Textura media y gruesa	0.0806	С
22	Polygon ZM	Texturas medianamente finas (FArA)	0.778955	С
23	Polygon ZM	Texturas medianamente finas (FArA, FAr)	0.000138	С
24	4 Polygon ZM	Texturas medianamente finas	10.467541	С
25	5 Polygon ZM	Texturas medias y medianamente finas	0.557902	С
26	Polygon ZM	Texturas medias y medianamente finas	3.855811	С
27	7 Polygon ZM	Texturas medianamente finas y medias	0.053628	С
28	B Polygon ZM	Texturas medianamente finas y medias	5.090034	С
29	Polygon ZM	Texturas medianamente finas	0.520985	С
30	Polygon ZM	Texturas medianamente finas	1.155866	С
31	1 Polygon ZM	Texturas medianamente finas	2.184104	С
32	Polygon ZM	Texturas medianamente finas	1.131206	С
33	Polygon ZM	Texturas medianamente finas	2.060598	С
34	4 Polygon ZM	Texturas medianamente finas	8.11816	С
35	5 Polygon ZM	Textura medianamente fina y gruesa	1.81754	С
36	Polygon ZM	Texturas medias y medianamente finas	0.071887	С
	7 Polygon ZM	Textura moderadamente gruesa	0.090568	В
38	B Polygon ZM	Zona Urbana	6.480974	D

Apéndice B. Parte de la tabla de atributos del Mapa SoilLUPoly

SoilLUPoly											
Shape ⁴	Cobertura	GH	Landuse	PctA	PctB	PctC	PctD	LUcode	LUvalue	Area_Km2	CN
Polygon ZI	Explotación de materiales de construcción	В	1	0	100	0	0	В	1	0.002386	85
Polygon ZI	Explotación de materiales de construcción	В	1	0	100	0	0	В	1	0.289683	85
Polygon ZI	Explotación de materiales de construcción	В	1	0	100	0	0	В	1	0.046199	85
Polygon ZI	Explotación de materiales de construcción	В	1	0	100	0	0	В	1	0.196573	85
Polygon ZI	Explotación de materiales de construcción	В	1	0	100	0	0	В	1	0.016514	85
Polygon ZI	Explotación de materiales de construcción	В	1	0	100	0	0	В	1	0.010331	85
Polygon ZI	Explotación de materiales de construcción	В	1	0	100	0	0	В	1	0.079418	85
Polygon ZI	Explotación de materiales de construcción	С	1	0	0	100	0	С	1	0.002319	90
Polygon ZI	Explotación de materiales de construcción	D	1	0	0	0	100	D	1	0.000085	92
Polygon ZI	Finca recreativa y/o de descanso	В	1	0	100	0	0	В	1	0.000953	85
Polygon ZI	Otras zonas verdes urbanas	С	1	0	0	100	0	С	1	0.026628	90
Polygon ZI	Otras zonas verdes urbanas	В	1	0	100	0	0	В	1	0.01454	85
Polygon ZI	Otras zonas verdes urbanas	D	1	0	0	0	100	D	1	0.017742	92
Polygon ZI	Otras zonas verdes urbanas	D	1	0	0	0	100	D	1	0.023628	92
Polygon ZI	Otras zonas verdes urbanas	D	1	0	0	0	100	D	1	0.094173	92
Polygon ZI	1. Red vial	В	1	0	100	0	0	В	1	0.017015	85
Polygon ZI	1. Red vial	В	1	0	100	0	0	В	1	0.011734	85
Polygon ZI	1. Red vial	D	1	0	0	0	100	D	1	0.019505	92
Polygon ZI	1. Red vial	С	1	0	0	100	0	С	1	0.031164	90
Polygon ZI	1. Red vial	С	1	0	0	100	0	С	1	0.015594	90
Polygon ZI	1. Red vial	С	1	0	0	100	0	С	1	0.008312	90
Polygon ZI	1. Red vial	В	1	0	100	0	0	В	1	0.000582	85
Polygon ZI	1. Red vial	В	1	0	100	0	0	В	1	0.003522	85
Polygon ZI	1. Red vial	В	1	0	100	0	0	В	1	0.004751	85
Polygon ZI	1. Red vial	В	1	0	100	0	0	В	1	0.000345	85
Polygon ZI	1. Red vial	В	1	0	100	0	0	В	1	0.01581	85
Polygon ZI	1. Red vial	В	1	0	100	0	0	В	1	0.009512	85
Polygon ZI	1. Red vial	В	1	0	100	0	0	В	1	0.017977	85
Polygon ZI	1. Red vial	В	1	0	100	0	0	В	1	0.013659	85
Polygon ZI	1. Red vial	В	1	0	100	0	0	В	1	0.001697	85
Polygon ZI	1. Red vial	В	1	0	100	0	0	В	1	0.010272	85
Polygon ZI	1. Red vial	С	1	0	0	100	0	С	1	0.000347	90
Polygon ZI	1. Red vial	С	1	0	0	100	0	С	1	0.003861	90
Polygon ZI	1. Red vial	С	1	0	0	100	0	С	1	0.000748	90
Polygon ZI	1. Red vial	С	1	0	0	100	0	С	1	0.021104	90
Polygon ZI	1. Red vial	С	1	0	0	100	0	С	1	0.006012	90
Polygon ZI	1. Red vial	С	1	0	0	100	0		1	0.012194	90
Polygon ZI	1. Red vial	С	1	0	0	100	0	_	1	0.020699	90
Polygon ZI	1. Red vial	С	1	0	0	100	0	С	1	0.003128	90

Apéndice C. Asignación del número de curva

6.1	D	CN					
Categoría	Descripción	Α	В	С	D		
	Explotación de materiales de construcción	68	79	86	89		
	Finca recreativa y/o de descanso	68	79	86	89		
	Otras zonas verdes urbanas	68	79	86	89		
Territorios	Red vial	98	98	98	98		
artificializados (1)	Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas	68	79	86	89		
	Tejido Urbano continuo	89	92	94	95		
	Tejido Urbano discontinuo	89	92	94	95		
	Vivienda rural nucleada	68	79	86	89		
	Café	48	68	79	83		
	Cebolla	72	81	88	91		
	Mosaico de cultivos	72	81	88	91		
	Mosaico de cultivos con espacios naturales	72	81	88	91		
Tamihaniaa	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	72	81	88	91		
Territorios Agrícolas (2)	Mosaico de pastos con espacios naturales	72	81	88	91		
	Mosaico de pastos y cultivos	72	81	88	91		
	Otros cultivos permanentes arbustivos	72	81	88	91		
	Pastos arbolados	57	73	82	86		
	Pastos enmalezados	48	67	77	83		
	Pastos limpios	68	79	86	89		
	Arbustal abierto esclerófilo	N/A	80	87	93		
	Arbustal abierto mesófilo	N/A	80	87	93		
	Arbustal denso mesófilo	N/A	80	87	93		
	Áreas erosionadas	72	82	87	89		
	Bosque abierto alto de tierra firme	45	66	77	83		
	Bosque de galería arbolado	45	66	77	83		
Bosques y áreas seminaturales (3)	Bosque de galería con arbustal y herbazal	57	73	82	86		
seminaturales (5)	Bosque de galería mixto	45	66	77	83		
	Herbazal denso de tierra firme con arbustos	N/A	80	87	93		
	Herbazal denso de tierra firme no arbolado	N/A	80	87	93		
	Vegetación secundaria alta	45	66	77	83		
	Vegetación secundaria baja	N/A	80	87	93		
Superficies de agua (5)	Ríos, caños y quebradas	98	98	98	98		