



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN**

**APLICACIÓN DE PROGRAMAS DE CÓDIGO ABIERTO
PARA LA IDENTIFICACIÓN DEL USO Y TIPO DE SUELO,
EMPLEANDO EL MÉTODO DE LOS NÚMEROS DE
ESCURRIMIENTO DE LA USSC.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

BASILIO OSORIO RODRIGUEZ

DIRECTOR DE TESIS

M. en C. LUIS POMPOSO VIGUERAS MUÑOZ



CD. NEZAHUALCOYOTL, EDO. DE MEX.

2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

Facultad de Estudios Superiores Aragón

DIRECCIÓN

BASILIO OSORIO RODRIGUEZ

Presente

Con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Facultad, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobado su tema de tesis y asesor.

TÍTULO: "APLICACIÓN DE PROGRAMAS DE CÓDIGO ABIERTO
PARA LA IDENTIFICACIÓN DEL USO Y TIPO DE SUELO, EMPLEANDO EL MÉTODO DE LOS
NÚMEROS DE ESCURRIMIENTO DE LA USSC"

ASESOR: M. en C. LUIS POMPOSO VIGUERAS MUÑOZ

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Nezahualcóyotl, Estado de México, 28 de Julio de 2016.

EL DIRECTOR

M. en I. GILBERTO GARCÍA SANTAMARÍA GONZÁLEZ



C p Secretaría Académica
C p Jefatura de Carrera de Ingeniería Civil
C p Asesor de Tesis

GGSG/JGPO/mrf

AGRADECIMIENTOS

A dios

Por darme la vida y haberme concebido concluir esta etapa en mi vida, por darme a las personas tan especiales que forman parte de mi familia y por darme la fuerza para vencer los obstáculos que a lo largo del camino se han presentado.

A mis padres

Genaro Osorio y Juana Rodríguez, les estoy muy agradecido por haberme brindado su apoyo incondicional para poder concluir esta etapa de mi vida. Les agradezco por ayudarme a ser quien soy ya que sin sus regaños y consejos no hubiera terminado mis estudios.

A mis hermanas

Por formar parte del gran equipo que me enseñó que se tiene que luchar día con día para ser mejor, espero que estén orgullosos de mí así como yo lo estoy de ellas por lograr sacar adelante a sus pequeños.

A mis abuelitos, tíos, primos

Rodolfo Rodríguez y Petra Zacarías, por su ayuda desinteresada, porque creyeron en mí, por sus sabios consejos que han contribuido a formarme como una persona de bien, gracias Laura por tus regaños que contribuyeron a la conclusión de este trabajo.

A mis profesores

Que contribuyeron a mi formación desde mis primeras letras hasta este momento en que culminó mi licenciatura, gracias por compartir sus conocimientos y por sus invaluable consejos.

A Evangelina García Mayoral

Aunque ya no se encuentra con nosotros, agradezco infinitamente sus regaños y consejos que a temprana edad me motivaron a luchar por ser alguien en la vida y que a pesar de las adversidades siempre habrá una razón para luchar y ser una mejor persona día con día

.

Al M. en C. Luis Pomposo Viguera Muñoz

Por el tiempo, trabajo, y apoyo brindado para la realización del presente trabajo.

Gracias

Basilio Osorio Rodríguez

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

CAPÍTULO II. RELACIÓN LLUVIA – ESCURRIMIENTO

2.1	Generalidades.....	15
2.2	Precipitación.....	15
2.3	Evapotranspiración.....	20
2.4	Escurrimiento.....	29
2.5	Métodos Empíricos e Hidrológicos.....	32
2.6	Números de Escurrimiento.....	32
2.7	Racional Americano.....	43
2.8	Índice Área.....	45
2.9	Hidrograma Unitario.....	45
2.10	Hidrograma Unitario Triangular.....	47

CAPÍTULO III. PROGRAMAS DE CODIGO ABIERTO

3.1	QGIS.....	49
3.2	Características principales.....	49
3.3	Instalación en el sistema.....	51
3.4	Descripción de menús y herramientas.....	53
3.5	Presentación de mapas.....	65

CAPÍTULO IV. OBTENCIÓN Y MANEJO DE LOS MODELOS DE ELEVACIÓN
DIGITAL

4.1 Modelos de elevación digital.....	69
4.2 Mapas de uso de suelo y vegetación.....	88
4.3 Mapas edafológicos.....	95

V. CASO PRÁCTICO DE APLICACIÓN

CONCLUSIONES.....	111
RECOMENDACIONES.....	112
BIBLIOGRAFÍA.....	113

INTRODUCCIÓN

La relación existente entre la precipitación y el escurrimiento ha presentado para la hidrología la necesidad de buscar el modelo que describa el fenómeno y permita conocer los parámetros para estimar los escurrimientos en una cuenca y que los resultados puedan ser utilizados en el diseño de distintas obras hidráulicas ya sean para administración de los recursos hídricos, encauzamientos de ríos o para la protección de inundaciones.

El método de los números de escurrimiento del Servicio de Conservación de Suelos (SCS), es uno de los métodos más empleados hasta el momento para la modelación de la relación precipitación-escurrimiento, este método depende de la precipitación analizada y del número de curva, esta última variable, es función del uso de suelo y vegetación, del tratamiento del terreno, el tipo de suelo, la pendiente del mismo y de su grado de humedad.

En el presente trabajo se hace uso del Sistema de Información Geográfica, empleando el software QGIS para analizar información digital y a partir de éste definir el número de curva de un área geográfica de nuestro territorio nacional, una vez definido el parámetro se estará en la posibilidad de determinar el escurrimiento que tendrá lugar en la cuenca hidrológica. El presente trabajo consta de cinco capítulos, los cuales se describen a continuación.

En el capítulo I se podrá identificar las principales técnicas que se han desarrollado a lo largo del tiempo para realizar el trazado de mapas, el desarrollo de instrumentos que mejoraron la calidad de la información representada y la intervención de la computadora como herramienta para la creación y el análisis de la cartografía digital.

El capítulo II aborda la información referente a la relación que guarda el fenómeno lluvia – escurrimiento, los elementos que intervienen en el proceso como lo es la precipitación, la evapotranspiración y los tipos de escurrimiento que se pueden presentar en una cuenca. A su vez se describen los principales métodos para calcular el escurrimiento que se presentara en la cuenca

hidrológica, entre estos se encuentra el de los números de escurrimiento del servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos, en este método se explica de forma precisa los parámetros considerados para definir el número de curva, valor que permitirá calcular el escurrimiento aproximado que se obtendrá durante una tormenta.

En el capítulo III se comenta sobre el origen del programa QGIS, la forma en que el software es actualizado o complementado para el uso de los usuarios, de igual forma se encuentra la explicación de los procesos que se pueden ejecutar en su interfaz, así el procedimiento para realizar la instalación en un equipo de cómputo. Se describen los principales elementos que fueron utilizados para el desarrollo del presente trabajo y la ubicación de las mismos, así también se proporciona una breve explicación para la visualización de la información en formato digital, ya que es importante presentar la información obtenida al hacer uso de los sistemas de información geográfica y por ello se anexa una breve descripción sobre los elementos que contiene un mapa y la forma de generarlos utilizando las herramientas de QGIS.

En el capítulo IV se explica el concepto de Modelo de Elevación Digital y donde es posible obtener información de calidad respaldada por organismos e instituciones nacionales e internacionales, en nuestro caso utilizaremos información generada y puesta a disposición de forma gratuita por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía(INEGI), así mismo se describe el procedimiento para disponer directamente del portal del INEGI la información de uso de suelo y vegetación, la edafología y las diversas actividades desarrolladas sobre la superficie de nuestro interés.

Ejemplificamos el manejo de la información digital obtenida, el sistema de referencia que debe utilizarse de acuerdo a la ubicación espacial del sitio de estudio y la forma de re proyectar a un sistema de coordenadas conocido. Se realiza la delimitación de una cuenca hidrológica apoyándose en el programa de código abierto GRASS utilizado como complemento en QGIS lo cual permite obtener las microcuencas, los ríos existentes en la zona y la dirección del flujo.

En el capítulo V se presenta la aplicación de la metodología descrita en los primeros capítulos del presente trabajo utilizando el programa de código abierto QGIS y como complemento GRASS 7.0.4, la zona elegida para la aplicación de la metodología corresponde al estado de Guerrero, la cuenca hidrológica en estudio abarca una extensión territorial de 291.09 km², cubre la superficie de los municipios de Atlamajalcingo del Monte, Malinaltepec y Tlacoapa, a la cuenca hidrológica definida se le asignó el nombre de cuenca “Tlacoapa” para una fácil identificación.

Como objetivo del presente trabajo se determinó el parámetro del número de curva realizando la superposición de las distintas capas de información con una misma localización geográfica. A partir de este análisis se identificó que la cuenca hidrológica está compuesta por tres diferentes usos de suelo y estos a su vez representados por seis diferentes valores de número de curva, valor que describe numéricamente las características hidrológicas del terreno.

OBJETIVO

Identificar el uso de suelo de la superficie en una cuenca hidrológica a través del empleo de modelos de elevación digital y de información geográfica disponible para la elaboración de una metodología que facilite el cálculo del escurrimiento superficial en una cuenca.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

A través del paso del tiempo los seres vivos han tenido la necesidad de adaptarse al medio que los rodea para garantizar la supervivencia de su especie, entre ellos se puede situar al ser humano que posee una gran cantidad de cualidades pero principalmente se resalta, la habilidad de sus manos y su inteligencia, la primera le ha permitido tener la capacidad para fabricar herramientas con fines determinados haciendo uso de su inteligencia al crear una serie de técnicas para el máximo aprovechamiento de los recursos que la naturaleza ofrece.

Gracias a las habilidades propias del hombre, se ha logrado la evolución y por ende los descubrimientos que han tenido gran trascendencia a lo largo de la historia, siguiendo esta línea, en la actualidad nos encontramos en la búsqueda y la mejora de herramientas que favorezcan las acciones diarias, aumenten la eficacia, reduzcan costos, proporcionen calidad y acorten los tiempos de producción y entrega del producto.

Dentro de estas herramientas encontramos las computadoras, capaces de procesar o tratar automáticamente a gran velocidad cálculos y procesos mediante la aplicación sistemática de criterios preestablecidos, constituida por el soporte físico y el soporte lógico, también conocidos como Hardware y Software.

En ingeniería civil el uso de la computadora y los softwares específicos permite reducir el tiempo para elaborar los proyectos, así como la calidad de los mismos. Dentro de las tareas en las que interviene la computadora se pueden mencionar las siguientes: presupuestos, planificación, evaluación de la calidad de los materiales, revisión de planos de agrimensura o cartografía, cálculo estructural,

realización de estimaciones de costos y evaluación de proyectos de gran magnitud con los distintos softwares que existen en el mercado.

Antecedentes Históricos

Los primeros indicios acerca del trazado de mapas haciendo uso de perspectivas se remonta al año 1725 en suiza para la elaboración de un dibujo sobre el Monte Pilatos (Lucerna, Suiza). Su construcción se basaba en un procedimiento ideado por el pintor alemán Alberto Durero en el siglo XVI, debido a la imprecisión de este procedimiento el trabajo no tuvo mayor relevancia.

Para el año 1839 aparecieron las primeras fotografías impresas que se conocen, tomadas por el francés Jacques Daguerre (1787-1851) con una cámara de eje horizontal, las cuales dieron inicio a la Fotogrametría Terrestre.

Posterior a esto, la fotogrametría adquiere relevancia con estudios sobre la utilización de fotografías con fines métricos, éstas antes de intentar tomas aéreas, desde globos o dirigibles se realizaban desde los sitios o lugares más altos de las laderas escarpadas.

La evolución de instrumentos que facilitaran la representación de la superficie terrestre se dio a lo largo de varios siglos, fue hasta 1914 cuando la casa Zeiss pudo construir el estereoautógrafo diseñado por Eduard Von Oreil (1877-1941), este instrumento permitía el trazo continuo de rasgos cartográficos, especialmente de las curvas de nivel, lo cual posibilitaba una representación del relieve apegada a la realidad que la que brindaban los procesos de interpolación de la época, además disminuyó el tiempo de trabajo así como los costos altos que implicaba la topográfica tradicional.

Sin embargo las expectativas depositadas en el uso de este instrumento no se cumplieron del todo, debido principalmente a dos factores:

- Durante la primera guerra mundial se comprobó que el método no se podía utilizar para fines militares.
- El procedimiento solo funciona cuando pueden encontrarse estaciones de tomas fijas con vistas libres y favorables al terreno en estudio. Era apto en montañas pero no en regiones llanas con tierras cultivadas y cultivables.

Con la elaboración de nuevos métodos y procedimientos fotogramétricos para la aerotriangulación, se redujo considerablemente el número de puntos de apoyo necesarios en la superficie terrestre. A partir de esto, la fotografía aérea adquiere una rápida y formidable difusión con los restituidores analógicos, a pesar de su elevado costo ya que disminuía y facilitaba los cálculos que intervenían en el proceso.

Con la aparición de la computadora, se desarrollaron modelos para resolver el método fotogramétrico, en 1957 Uki Helava, diseña el primer restituidor analítico basado en la alimentación “on-line” de datos para algoritmos programados y a través de la realimentación recíproca desde el ordenador hacia las porta placas de manera que se hace factible emular la capacidad operativa de las barras guía de los analógicos. Sin embargo fue hasta los años ochenta cuando el precio de los restituidores analíticos fue más accesible consiguiendo así una expansión en su uso.

El restituidor analítico, no dependía de dispositivos ópticos o mecánicos para la formación del modelo, por lo que mejoro la precisión y posibilito el empleo de cualquier tipo de fotografías incluso de imágenes no fotográficas.

Con la evolución de la informática, la posibilidad de almacenamiento de grandes cantidades de datos, la reducción a valores pequeños en los tiempos de procesamientos generó como consecuencia la aparición repentina de los procedimientos digitales de la fotogrametría, su desarrollo se debe principalmente a los avances importantes en las computadoras y estaciones de trabajo, aumento en la velocidad de procesamiento, desarrollo de sistemas de captura y tratamiento de imágenes digitales así como el descenso de los precios de productos informáticos.

Debido a la dificultad para montar cámaras digitales en aeronaves la fotogrametría empleó un procedimiento híbrido que consistía en la obtención de fotografías con la cámara analógica tradicional para posteriormente digitalizarla empleando scanners¹ de alta precisión.

¹ Scanners. Dispositivo que permite realizar la exploración y el registro de una imagen traduciéndola en señales eléctricas para su procesamiento.

Posteriormente a esto se debe tener una consideración especial al tratamiento fotogramétrico de las imágenes satelitales que alcanzan resoluciones del orden de un metro, que vinieron a dar una mejora a la imagen o una preparación de la imagen para la aplicación de procesos de carácter fotogramétrico o cartográfico.

Con la inteligencia artificial y la creación de sistemas expertos y sistemas de integración de datos procedentes de múltiples fuentes ya no son necesarios los restituidores por lo que la fotogrametría se reduce a un simple programa “software” que permite simular una realidad virtual y la posibilidad de animación de imágenes.

El trabajo realizado por Charles Leslie Miller y Robert Arthur Laflamme en 1958 estableció los primeros principios del uso de los modelos digitales para el tratamiento de problemas tecnológicos, científicos y militares, y definían a estos modelos como “la representación estadística de la superficie continua del terreno, mediante un número elevado de puntos selectos con coordenadas XYZ conocidas en un sistema arbitrario”.

La finalidad de su trabajo pretendía acelerar el diseño de carreteras mediante el tratamiento digital de datos del terreno adquiridos por fotogrametría, planteándose una serie de algoritmos para la obtención de pendientes, áreas, volúmenes, etc. Debido a la escasa capacidad de almacenamiento de los ordenadores de la época, hicieron uso de ecuaciones polinómicas para almacenar segmentos de perfiles topográficos.

El trabajo de mayor importancia fue desarrollado por geógrafos y técnicos del Laboratorio de la Universidad de Harvard para Gráficos de Computadora y Análisis Espacial que en 1967, presento el Synagraphic Mapping Technique (SYMAP); este conjunto de programas de manejo de cartografía digital incorporaba, combinaciones de claves alfanuméricas que permitían la generación de mapas de isolíneas a partir de puntos de altitud distribuidos irregularmente, SYMAP constituyo una de las primeras demostraciones de la posibilidad de manejo de la información espacial por medios informáticos.

Posteriormente surgieron programas como el SYMVU, destinado a generar simulaciones 3D de los datos procedentes del SYMAP, o el GRID que en su evolución, constituiría el origen de análisis SIG de tipo Raster, el cual manejaba información en formato matricial y, en general un número considerable de aplicaciones con bases muy diferentes.

En 1974, Estados Unidos implantó el primer sistema informático con base cartográfica para la gestión de recursos hidrológicos haciendo uso de un SIG con gran relevancia desde el punto de vista de la hidrología, a partir de entonces la modelización hidrológica empieza a abrirse paso por nuevas vías, integrando elementos de análisis espacial al tiempo que se mejoran los modelos existentes con las nuevas posibilidades brindadas por la aparición de las tecnologías de base SIG dando origen a los nuevos entornos gráficos y la interfaz gráfica de usuario conocida en sistemas operativos y aplicaciones actuales de sencilla utilización.

En la actualidad existen varios programas que utilizan los sistemas de información geográfica para la obtención de parámetros; sin embargo la mayoría de éstos tienen un costo elevado, ya sea que se realice estudios de gran magnitud o de una mínima superficie. En el presente trabajo se utilizaran programas de código abierto que no tienen costo alguno, proporcionan una interfaz gráfica de usuario de fácil aplicación y que proporcionan datos confiables.

CAPÍTULO II. RELACION LLUVIA ESCURRIMIENTO

2.1 Generalidades

Los proyectos de obras hidráulicas, generan un gran beneficio para la sociedad, independientemente del tipo de obra que se trate, a su vez representa un riesgo para los sectores que se ubiquen aledaños a esta, por seguridad el proyecto de diseño debe sustentarse en datos precisos y en caso de no estar disponibles, utilizar métodos que se aproximen a la realidad.

En la mayoría de los proyectos donde se requieren estudios hidrológicos para realizar el diseño y determinar la operación de obras hidráulicas, es común la carencia de información que determine el escurrimiento en el sitio de interés, por lo general los registros de precipitación se encuentran con mayor facilidad, ya sea en lugares cercanos al sitio de interés o sitios retirados que se ubican dentro de la cuenca que se analiza.

2.2 Precipitación

Es la caída de agua en forma de partículas líquidas o sólidas que alcanzan el suelo. La lluvia es el punto inicial para el estudio de los escurrimientos, del uso y control del agua.

Aspectos principales de la precipitación:

Altura promedio de precipitación. Se refiere a la cantidad de agua que se precipita durante una tormenta, durante un tiempo determinado, y puede ser llamado también como lamina de lluvia, se expresa en mm.

Intensidad, i. Es la cantidad de agua que se precipita en un determinado tiempo, sus unidades son milímetros sobre hora (mm/h).

Duración, d. Intervalo de tiempo en el que sucede la precipitación, por lo general se expresa en horas (h).

Para realizar las mediciones de la precipitación se utilizan dispositivos como el pluviómetro y pluviógrafo, el primero es un dispositivo formado por un recipiente cilíndrico graduado de área transversal al que descarga un embudo que capta el agua de lluvia, con una respectiva área de captación A . El área A es normalmente diez veces mayor que el área del recipiente a , con el objetivo de que por cada mm de lluvia, se deposite un cm en el recipiente, de esta forma se puede realizar lecturas a simple vista hasta una décima de milímetro de lluvia que corresponderá a un milímetro depositado en el recipiente.

El pluviógrafo, es un dispositivo que registra continuamente el incremento de lluvia almacenada en cierto tiempo, existen de tipo mecánico o electrónico, de tal manera que generan un registro de lluvia acumulada a lo largo del tiempo de duración llamado pluviograma. En la figura 2.1.a, cada línea vertical indica que la aguja vuelve a cero habiendo acumulado 10 mm de lluvia, al quitar los descensos del pluviograma se obtiene una gráfica de precipitación acumulada contra el tiempo llamada curva masa de precipitación como se ilustra en la figura b.

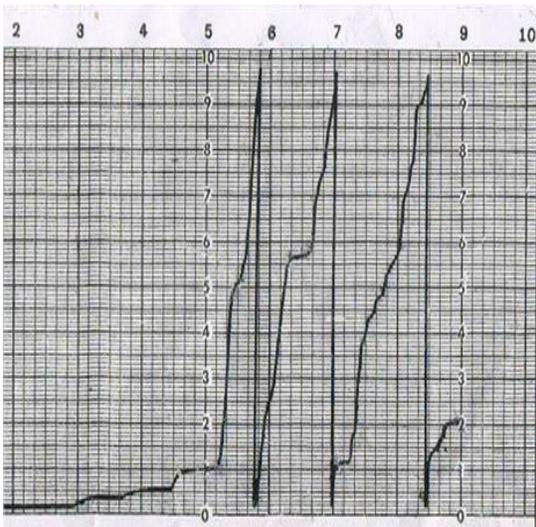


Fig.2.1 a. Registro de pluviógrafo

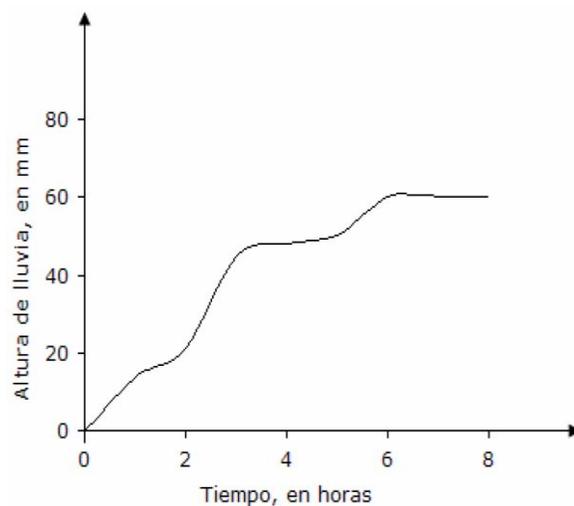


Fig.2.1 b. curva masa de precipitación

A partir de la curva masa de precipitación es posible dibujar diagramas de barras que representan las variaciones de la altura de precipitación o de su intensidad en intervalos de tiempo previamente establecidos, a estos diagramas

de barras se les llama hietogramas. Los hietogramas se construyen dividiendo el tiempo de duración de la tormenta en n intervalos y midiendo la altura de precipitación que ocurrió en cada intervalo, la figura 2.2 ilustra el hietograma durante una tormenta.

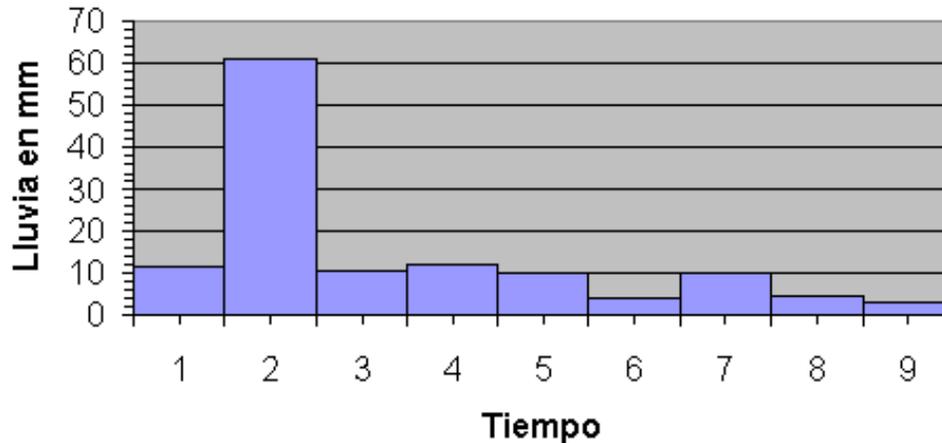


Fig.2.2 Hietograma, precipitación en función del tiempo

Precipitación media

Para determinar la precipitación media en una cuenca, será necesario analizar los registros pluviométricos de las estaciones climatológicas dentro de la zona de estudio o aledañas a esta. Es recomendable utilizar estaciones climatológicas que se encuentren dentro de un rango menor de 5 km del parteaguas².

Para obtener la precipitación media existen tres métodos, 1) *Método Aritmético*, 2) *Método de los Polígonos de Thiessen* y 3) *Método de las Isoyetas*, el primero consiste en obtener el promedio aritmético de las alturas de precipitación registradas en cada estación usada en el análisis:

$$\bar{h}_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_{pi} = \frac{h_{p1} + h_{p2} + \dots + h_{pn}}{n}$$

² Metodología para el Análisis Hidrológico de Cuencas Rurales de Pequeñas Dimensiones. Sergio Daniel Rivera Molina. 2013

Donde

\bar{h}_p = altura de precipitación media

h_{pi} = altura de precipitación registrada en la estación i

n = número de estaciones bajo análisis

Para calcular la precipitación media a través del método denominado *polígonos de Thiessen* es necesario seguir el procedimiento que se describe a continuación:

1. Mediante líneas rectas, unir las estaciones más próximas entre sí, al realizarlo se formarán triángulos en cuyos vértices están las estaciones pluviométricas.
2. Trazar líneas rectas que bisectan los lados de los triángulos, las líneas correspondientes a cada triángulo convergerán en un solo punto.
3. Una vez trazados los puntos anteriores cada estación pluviométrica quedará rodeada por las líneas rectas del paso 2 mismas que formarán los llamados polígonos de Thiessen. El área encerrada por los polígonos y el parteaguas será el área de influencia de cada una de las estaciones que se encuentran en la cuenca que se analiza.
4. La lluvia media se calcula como un promedio pesado de las precipitaciones registradas en cada estación usando como peso el área de influencia correspondiente:

$$\bar{h}_p = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i h_{pi} = \frac{A_1 \cdot h_{p1} + A_2 \cdot h_{p2} + \dots + A_{np}}{A_T}$$

Donde

A_i = área de influencia de la estación i .

A_T = área total de la cuenca

\bar{h}_p = altura de precipitación media

h_{pi} = altura de precipitación registrada en la estación i

n = número de estaciones bajo análisis

La estimación de la lluvia media por el *Método de las isoyetas* se tendrá que trazar, con la información registrada en las estaciones, líneas que unan puntos de igual altura de precipitación llamadas isoyetas. En este método el peso es el área existente entre cada dos isoyetas, el parteaguas de la cuenca y la cantidad que se pesa es la altura de precipitación promedio entre las dos isoyetas, la ecuación siguiente permitirá realizar el cálculo:

$$\bar{h}p = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^{n'} A_i \bar{h}p_i$$

Donde

A_i = área entre cada dos isoyetas y el parteaguas de la cuenca.

A_T = area total de la cuenca.

$\bar{h}p$ = altura de precipitación promedio entre cada dos isoyetas.

h_{pi} = altura de precipitación registrada en la estación i .

n' = numero de areas A_i consideradas.

De los métodos mencionados el que presenta una mayor precisión es el método de las isoyetas ya que toma en cuenta los efectos topográficos en la distribución de la lluvia, el cálculo de la lluvia media dependerá del número de estaciones pluviométricas o pluviográficas analizadas, lo que indica que entre menor sea el número de estaciones, mayor será el error cometido en la estimación de este parámetro.

Al conocer la precipitación media será posible estimar la cantidad de agua que se precipitara en cierta zona y para conocer el comportamiento de una tormenta en particular a lo largo del tiempo será necesario conocer la intensidad y duración de la misma.

2.3 Evapotranspiración

La evapotranspiración es la consideración conjunta de dos procesos diferentes: la evaporación y la transpiración.

La *evaporación* es el fenómeno físico en el que al agua pasa de líquido a vapor y puede producirse desde la superficie del suelo y la vegetación inmediatamente después de la precipitación, desde las superficies de agua (ríos, lagos, embalses) y desde el suelo, agua infiltrada que se evapora desde la parte más superficial del suelo. Se necesitan un intercambio de calor de aproximadamente 600 calorías por cada gramo de agua evaporada, el calor necesario es suministrado por la radiación y conducción de la capa de aire en contacto o por la energía almacenada por debajo de la superficie.

La *transpiración* es el fenómeno biológico mediante el cual las plantas retornan el agua a la atmósfera, toman agua del suelo a través de sus raíces, aprovechan una pequeña parte para su crecimiento y el resto lo transpiran. Este fenómeno está asociado a la fotosíntesis por lo que cerca del 95 por ciento de la transpiración diaria ocurre durante el día, cuando la temperatura disminuye hasta los 4^oC o menos el crecimiento de las plantas cesa por lo tanto la transpiración es muy pequeña.

La transpiración se ve limitada por la tasa a la cual la humedad se encuentra disponible para la planta. El agua disponible varía de acuerdo al tipo de suelo en un rango que va desde 0.5 mm/cm de profundidad para arenas hasta 2 mm/cm de profundidad para arcillas limosas.

Debido a que son fenómenos difíciles de medir por separado y en la mayoría de los casos lo que interesa es medir la cantidad total que se pierde a la atmósfera se consideran en uno solo. El uso consuntivo y la evapotranspiración pueden considerarse iguales, excepto que el primero considera el agua adicional para hacer tejido de la planta.

Evapotranspiración real y evapotranspiración potencial

Se define como Evapotranspiración Potencial (ETP) a la que se producirá si la humedad del suelo y la cobertura vegetal estuvieran en condiciones óptimas, en términos definidos por Thornthwaite se considera como “la pérdida de agua que ocurriría si en ningún momento existiera una deficiencia de agua en el suelo para el uso de la vegetación”, en cambio la Evapotranspiración Real (ETR) será la cantidad de agua que es efectivamente evaporada desde la superficie del suelo y transpirada por la cubierta vegetal. La evapotranspiración real de un área siempre será menor o igual que la evapotranspiración potencial dependiendo de la situación específica.

Una relación entre ETR/ETP y la humedad disponible puede ser desarrollada para diferentes tipos de suelos sobre la base de resultados experimentales. Para la misma razón ETR/ETP, un suelo arenoso tendrá más humedad disponible que un suelo arcilloso, esto quiere decir que para el mismo porcentaje de humedad disponible, la relación de ETR/ETP será menor para el suelo arenoso que para el suelo arcilloso.

La evapotranspiración puede ser estimada a través de mediciones experimentales de campo con instrumentos llamados lisímetros, utilizando parcelas de campo, estudios relativos a las fluctuaciones del nivel freático y el enfoque climático.

Estimación de la Evapotranspiración Potencial

Mediciones Experimentales

Generalmente se utiliza un lisímetro el cual es un tanque que contiene tierra especial fijado en el perímetro del campo donde se requiere conocer la evapotranspiración. En él se cultivan plantas tal como si estuvieran en la superficie de interés. El lisímetro se entierra a nivel del suelo natural y su diámetro puede variar desde los 0.60 hasta los 3.3 m y la profundidad de 1.8 a 3.3 m. Los detalles de este tanque se muestran en la siguiente figura.

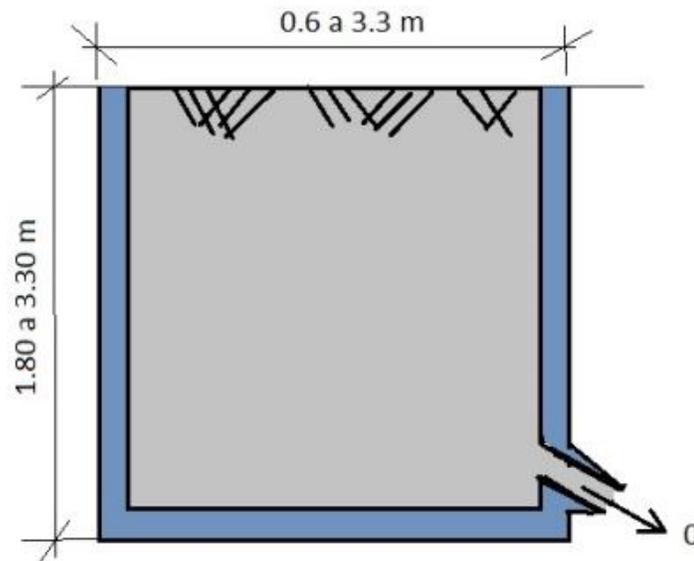


Fig.2.3 Lisímetro

Para la toma de lectura se realizan arreglos para pesar el lisímetro cada vez que se requiera, el flujo de salida se mide mediante un dispositivo de medición. Para evaluar la evapotranspiración se puede emplear la siguiente expresión:

$$P + W = O + ET \pm \Delta s$$

Donde

P = precipitación en el sistema.

W = agua que se suministra.

O = cantidad de agua drenada fuera del sistema.

ET = evapotranspiración.

Δs = humedad del suelo, cuantificada por sondas.

Para producir resultados aproximados a la realidad, las condiciones del suelo, los tipos de plantas y los métodos de aplicación de agua así como el contenido de agua deben estar debidamente elegidos de tal manera que representen la condición natural de su alrededor. Debido al costo y el tiempo que requiere para mantenerlo, la medición de la evapotranspiración por medio del lisímetro solo se realiza con fines experimentales.

Enfoque climático

Existen varias fórmulas que nos permiten evaluar la evapotranspiración potencial con aproximación adecuada para muchos estudios hidrológicos, normalmente con estas fórmulas se calcula la ETP mes a mes para datos medios de una serie de años, posteriormente con la ETP mensual y las precipitaciones mensuales se realiza un balance mes a mes del agua en el suelo con lo que se obtiene la ETR por cada mes del año.

A continuación se mencionan algunos métodos que relacionan la evapotranspiración regional medida y los factores climáticos, resultados de la combinación de enfoques empíricos, analíticos y teóricos.

Método de Penman

En este método el cálculo de la evapotranspiración potencial se realiza a través de una fórmula teórica basada en los principios de presupuesto energético y la transferencia de masa, no incluye las pérdidas de menor importancia, esta se puede expresar de la siguiente forma:

$$ET = \frac{(HA + \alpha E_a)}{(A + \alpha)}$$

Donde ET es la evaporación diaria de la superficie de agua libre en mm/día, H es el balance de calor de un área con cultivos, en otras palabras, la radiación neta en mm de agua por día, α es una constante (constante psicométrico con valor de 0.49 mmHg/⁰C o 0.66mmHg/⁰C), A es la pendiente de vapor saturado contra la curva de la temperatura a la temperatura media del aire dado en la tabla 2.1. E_a es el poder del secado de aire que incluye la velocidad del viento y déficit de saturación, se estima a partir de la relación de energía-presupuesto descrita en la siguiente expresión.

$$E_a = 0.002187(160 + u_2)(e_s - e_a)$$

Donde

u_2 = velocidad media del viento en $\frac{km}{dia}$ medidos 2 m arriba del suelo.

e_s = presión de vapor de saturación a la temperatura media del aire (tabla 2.1).

e_a = presión real de vapor en el aire en mm de Hg.

H = radiación neta diaria en mm de agua evaporable.

$$H = H_a(1 - r)(0.29 \cos \phi + 0.55n/N) - \sigma T_a^4(0.56 - 0.092\sqrt{e_a})(0.10 + \frac{0.9n}{N})$$

Donde

H_a = radiación solar extraterrestre recibida sobre la superficie.

en mm de agua evaporable por día, tabla 4,7.

ϕ = latitud del lugar donde se calculara la ETP.

r = coeficiente de reflexión con valor para cultivos cercanos de 0.15 – 0.25

para tierra esteril de 0.05 – 0.045 y para la superficie del agua como 0.05.

n = duración real de el sol radiante sobre la superficie.

N = número de horas posible de sol brillante (tabla 2.2)

σ = constante de Stefan – boltzman = 2.01×10^{-9} mm/día

T_a = temperatura media del aire en $^{\circ}k$

Tabla 2.1. Presión de vapor de saturación de agua

Temperatura (°C)	Presión de vapor de saturación (e_s)	
	(mmHg)	Milibares
0.0	4.58	6.11
5.0	6.54	8.72
7.5	7.78	10.37
10.0	9.21	12.28
12.5	10.87	14.49
15.0	12.79	17.05
17.5	15.00	20.00
20.0	17.54	23.38
22.5	20.44	27.95
25.0	23.76	31.67
27.5	27.54	36.71
30.0	31.81	42.42
32.5	36.68	48.89
35.0	42.81	57.07
37.5	48.36	64.46
40.0	55.32	73.14
42.5	62.18	84.23
45.0	71.20	94.91

Tabla 2.2. Valores medios mensuales de posibles horas de sol

Mes	Latitud norte en grados					
	0°	10°	20°	30°	40°	50°
Enero	12.1	11.6	11.1	10.4	9.6	8.6
Febrero	12.1	11.8	11.5	11.1	10.7	10.1
Marzo	12.1	12.1	12.0	13.0	11.9	11.8
Abril	12.1	12.4	12.6	13.9	13.3	13.8
Mayo	12.1	12.6	13.1	13.7	14.4	15.4
Junio	12.1	12.7	13.3	14.1	15.0	16.4
Julio	12.1	12.6	13.2	13.9	14.7	16.0
Agosto	12.1	12.4	12.8	13.2	13.8	14.5
Septiembre	12.1	12.9	12.3	12.4	12.5	12.7
Octubre	12.1	11.9	11.7	11.5	11.2	10.8
Noviembre	12.1	11.7	11.2	10.6	10.0	9.4
Diciembre	12.1	11.5	10.9	10.2	9.1	8.1

Método de Christiansen

En este método la ETP está relacionada con varios datos climatológicos, de tal manera que en la ausencia de alguno de estos datos, será tomado el valor medio ausente dado como opción por defecto. Para estimar la ETP se tiene la siguiente ecuación general:

$$ETP = 0.473H_a C$$

Donde ETP está en mm/día, H_a es la radiación extraterrestre de acuerdo a la tabla 2.4 y C es un coeficiente que puede ser determinado por la siguiente expresión:

$$C = C_T C_H C_U C_S C_E C_M$$

$$C_T = 0.393 + 0.02796(T_m) + 0.000119(T_m)^2$$

$$C_U = 0.708 + 0.0034U - 0.0000038U^2$$

$$C_H = 1.25 - 0.0087H_m + 0.000075H_m^2 - 8.5 \times 10^{-9}H_m^4$$

$$C_S = 0.542 + 0.0085S - 7.8 \times 10^{-5}S^2 + 6.2 \times 10^{-7}S^3$$

$$C_E = 0.97 + 0.0000984 E$$

T_m Será la temperatura media diaria del aire en $^{\circ}\text{C}$ con una opción por defecto de 20°C .

U será el movimiento diario del aire en km/día con la opción por defecto de 96.56 km/día.

H_m Es la humedad relativa media medida al medio día con una opción por defecto de 40%.

S Será el porcentaje de horas de sol brillante tomado como $100n/N$ con una opción por defecto de 80%.

E será la elevación del lugar que se estudia con una opción por defecto de 304.88 m.

C_M Representará el coeficiente vegetativo determinado empíricamente. Puede ser tomado de la tabla 2.3, sin mucho error aunque los valores se derivan empíricamente para la latitud de 40^0 en E.U. determinado por Christiansen.

Tabla 2.3. Valor de coeficiente vegetativo C_M .

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
C_M	1.08	1.06	0.93	0.89	0.88	0.87	0.88	0.91	0.99	1.07	1.13	1.16

Tabla.2.4. Incidencia mensual de la radiación solar en el espacio exterior de la tierra (Radiación Extraterrestre), en mm de evaporación de agua por día.

Mes	Latitud norte en grados										
	0^0	10^0	20^0	30^0	40^0	50^0	60^0	70^0	80^0	90^0	
Enero	14.5	12.8	10.8	8.5	6.0	3.6	1.3	--	--	--	
Febrero	15.0	13.9	12.3	10.5	8.3	5.9	3.5	1.1	--	--	
Marzo	15.2	14.8	13.9	12.7	11.0	9.1	6.8	4.3	1.8	--	
Abril	14.7	15.2	15.2	14.8	13.9	12.7	11.1	9.1	7.8	7.9	
Mayo	13.9	15.0	15.7	16.0	15.9	15.4	14.6	13.6	14.6	14.9	
Junio	13.4	14.8	15.8	16.5	16.7	16.7	16.5	17.0	17.8	18.1	
Julio	13.5	14.8	15.7	16.2	16.1	16.1	15.7	15.8	16.5	16.8	
Agosto	14.2	15.0	15.3	15.3	13.9	13.9	12.7	11.4	10.6	11.2	
Septiembre	14.9	14.9	14.4	13.5	10.5	10.5	8.5	6.8	4.0	2.6	
Octubre	15.0	14.1	12.9	11.3	7.1	7.1	4.7	2.4	0.2	--	
Noviembre	14.6	13.1	11.2	9.1	4.3	4.3	1.9	0.1	--	--	
Diciembre	14.3	12.4	10.3	7.9	3.0	3.0	0.9	--	--	--	

Método de Turc

El método se basa en estudios estadísticos de 254 cuencas alrededor del mundo, relaciona evapotranspiración, precipitación y temperatura. Turc propuso la siguiente ecuación para el cálculo de la evapotranspiración:

$$ET = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P}{C_T}\right)^2}}$$

Donde

$ET = \text{Evapotranspiración en } \frac{mm}{año}$.

$P = \text{Precipitación anual en mm.}$

$C_T = \text{Evaporación constante del aire.}$

$$C_T = 300 + 25t + 0.05t^3$$

$t = \text{temperatura media en } ^\circ\text{C.}$

Al incorporar la humedad a la ecuación propuesta, esta puede expresarse de la siguiente forma:

$$ET = \frac{0.013T(58.2H_c + 50)}{T + 15} \quad \text{para } R_h > 50\%$$

$$ET = \frac{0.013T(58.2H_c + 50)}{T + 15} \left(1 + \frac{50 - R_h}{70}\right) \quad \text{para } R_h < 50\%$$

$R_h = \text{Humedad relativa en } \%$.

$H_c = \text{Energía de radiación solar entrante en } \frac{mm}{día} \text{ (tabla 2.4).}$

$T = \text{Temperatura media}$

Ecuación de Thornthwaite

Se desarrolló en 1948 y es una relación exponencial entre la temperatura media mensual y la media de uso consuntivo, la ventaja de este método es que usa datos climatológicos accesibles dando buenos resultados en zonas húmedas con vegetación abundante, la expresión general es la siguiente:

$$ETP = 1.62R_f \left(\frac{10T_m}{T_e}\right)^a$$

$R_f = \text{factor de reducción (Tabla 2.5).}$

$T_m = \text{temperatura media mensual en } ^\circ\text{C.}$

$a = \text{constante}$

$$a = 0.4923 + 0.01792T_e - 0.0000771T_e^2 + 0.000000675T_e^3$$

Donde T_e es el índice de eficiencia anual de temperatura dado por:

$$T_e = \sum_{j=1}^{12} \left(\frac{T_m}{5}\right)^2$$

Para un periodo por ejemplo un mes se calcula con:

$$T_e = \left(\frac{T_m}{5}\right)^{1.514}$$

Tabla 2.5. Factor de reducción R_f utilizado en la ecuación de Thornthwaite.

Latitud	Mes											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0°N	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
10°N	1.00	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
20°N	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.93	0.94
30°N	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
40°N	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81
50°N	0.74	0.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.00	0.92	0.76	0.70

2.4 Escurrimiento

Se entiende por escurrimiento al agua proveniente de la precipitación que corre sobre o bajo la superficie terrestre llegando a un cauce para formar una corriente que finalmente será drenada a la salida de la cuenca, a un almacenamiento o a un lago. Los caminos que puede tomar el agua proveniente de la precipitación son tres: superficial, subsuperficial y subterráneo.

El *escurrimiento superficial* es el agua que fluye sobre la superficie hasta la salida de la cuenca, se relaciona con una tormenta en particular por lo cual el tiempo en que permanece el flujo puede ir desde unos minutos hasta unos días, dicho escurrimiento es producto de la lluvia efectiva o en exceso y origina el escurrimiento directo.

Se puede clasificar en dos tipos: el flujo en la superficie del terreno y el escurrimiento en corrientes. El primero es el agua que fluye en una capa delgada a lo largo de una superficie ancha, cuando el agua llega a un cauce bien definido se forma el escurrimiento en corrientes.

El *escurrimiento subsuperficial*, puede tener velocidades casi como la superficial o como el subterráneo, dependerá de la permeabilidad de los estratos superiores del suelo.

El *escurrimiento subterráneo* es el que permite que algunos ríos continúen con agua durante temporadas sin lluvias, está asociado con el escurrimiento base, puede tardar días o hasta años en llegar al final de la cuenca esto depende de la composición del suelo y no se puede asociar a alguna tormenta en particular.

Esta clasificación es completamente arbitraria y la única finalidad es la modelación para obtener un mejor análisis.

Para calcular el parámetro de escurrimiento que se genera en una cuenca existen métodos que toman en cuenta las características y la precipitación que se presenta. Las primeras se conocen al consultar planos topográficos y de uso de suelo, mientras que la segunda en registros de precipitación proporcionados por las dependencias encargadas o bien a través de métodos para avenidas de diseño.

Los parámetros que tienen mayor influencia para determinar el escurrimiento son los siguientes:

- Precipitaciones
- Área de la cuenca
- Características promedio de la cuenca (forma, pendiente y vegetación).
- Distribución de la lluvia en el tiempo

Una vez que se obtiene la información anterior se procesa para determinar los parámetros que intervienen en el proceso de conversión de lluvia a escurrimiento. Al pasar del tiempo y en la medida que se ha requerido información confiable para

la elaboración de proyectos, se han desarrollado fórmulas empíricas por varios autores y en diferentes países para la estimación del escurrimiento. Debido a que las fórmulas se desarrollaron para determinadas cuencas con características propias no se pueden generalizar y por lo tanto no son confiables, a continuación se presentan tres fórmulas empíricas que toman en cuenta una probabilidad de ocurrencia.

a. Gete

$$Q_{Tr} = (4 + 16 \text{Log } Tr) * A^{0.5}$$

b. Morgan

$$Q_{Tr} = 52.787 * c * A^{0.5}$$

c. Fuller

$$\frac{Q_{Tr}}{Q} = a + b \log Tr * A^{0.5}$$

En donde:

C = coeficiente en función del periodo de retorno.

a y b = parámetros que se obtienen de la muestra.

a = ordenada al origen.

b = pendiente de la recta.

Las demás fórmulas que existen no se presentan ya que solo toman en cuenta el área de la cuenca sin darle importancia a la lluvia y a su distribución, en general las fórmulas empíricas proporcionan valores poco confiables pero dan una idea del orden de los gastos que se pueden presentar.

2.5 Métodos Empíricos e Hidrológicos

Los métodos empíricos e hidrológicos son relativamente fáciles de aplicar, a medida que aumenta el número de parámetros que inciden en los modelos lluvia-escorrimento se vuelven más complejos y a la vez más precisos por lo que los datos que se necesitan son de mejor calidad y confiabilidad.

A continuación se presentan los métodos que por su sencillez son los más utilizados:

Métodos empíricos

1. Método de los números de escurrimiento
2. Racional Americano
3. Índice Área

Métodos hidrológicos

1. Hidrograma Unitario
2. Hidrograma Unitario Triangular

2.6 Método de los Números de Escurrimiento

El método original se desarrolló en la década de los 50's a cargo del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, estaba basado en información de suelos, uso de tierra, condiciones iniciales de humedad y el volumen de la precipitación, y temperatura media anual, que determinaban los parámetros del potencial máximo de retención y la pérdida inicial antes del encharcamiento.

Para un determinado evento de precipitación la lámina de precipitación efectiva o escurrimiento directo P_e es siempre menor o igual a la precipitación total P , de igual forma después que el escurrimiento inicia, la lámina adicional de agua retenida en la cuenca F_a es menor o igual a alguna retención potencial máxima S . Existe una cantidad de precipitación I_a (pérdida inicial antes del encharcamiento) para la cual no ocurrirá esorrentía, también la esorrentía potencial será $P - I_a$. La

hipótesis planteada por el método consiste en que las relaciones de las cantidades reales y las cantidades potenciales son iguales, es decir:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

Por el principio de continuidad:

$$P = P_e + I_a + F_a$$

Resolviendo para P_e se tiene:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)}$$

P_e = lamina de precipitacion efectiva.

P = precipitacion total.

S = potencial máximo de retención.

I_a = pérdidas iniciales por interceptación, almacenamiento y la infiltración.

A través de estudios realizados en diversas cuencas experimentales pequeñas el potencial máximo de retención evolucionó a una ecuación donde el escurrimiento es función únicamente de las condiciones de la cuenca, mismas que se definen con un parámetro llamado "Número de curva" (N), y la precipitación. Considerando los resultados obtenidos se desarrolló una relación empírica mostrada a continuación.

$$I_a = 0.2S$$

$$S = \frac{2540}{N} - 25.4 \quad S \text{ expresada en cm}$$

El método de los números de escurrimiento, reúne las características mencionadas, en este método la lluvia total P se relaciona con la altura de la lluvia efectiva P_e , mediante las curvas mostradas en la figura 2.4. se pueden expresar algebraicamente mediante la ecuación siguiente.

$$P_e = \frac{\left[P - \frac{508}{N} + 5.08 \right]^2}{P + \frac{2032}{N} - 20.32}$$

Donde:

P_e = lamina de precipitacion efectiva en cm.

P = Altura de lluvia total en cm.

N = Numero de Escurrimiento adimensional.

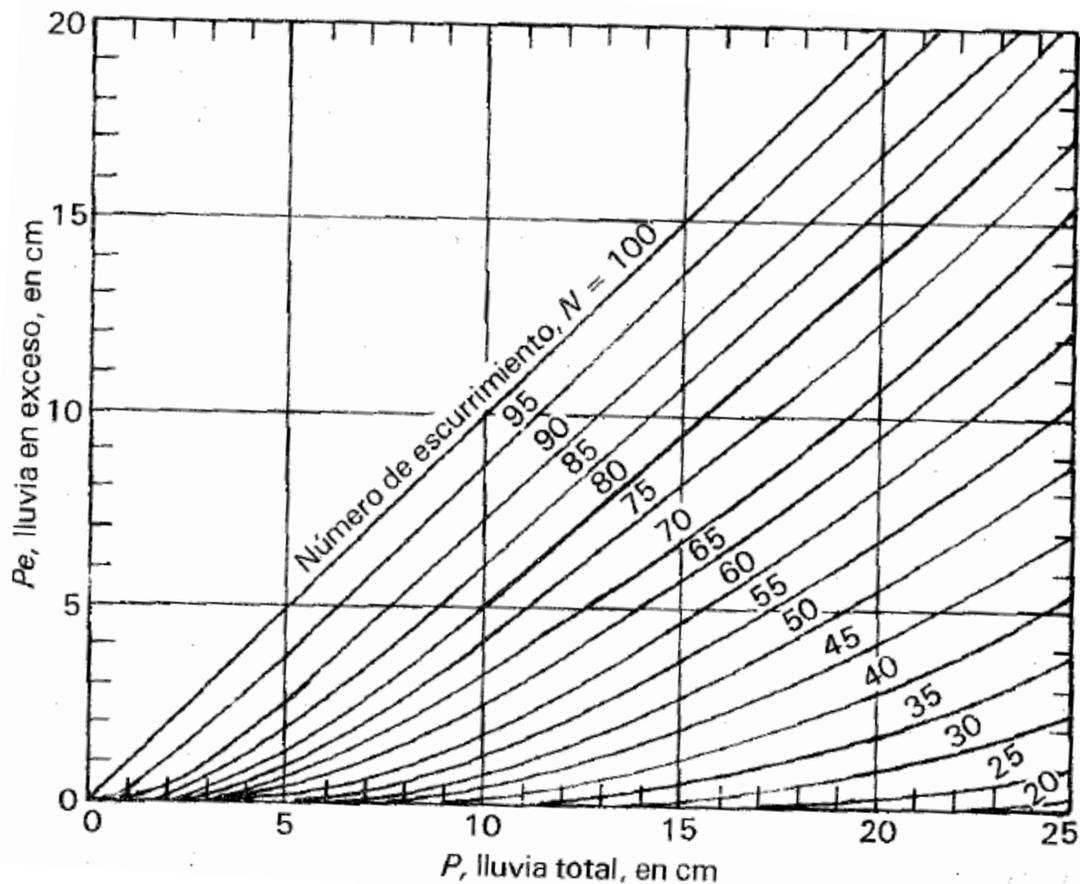


Figura 2.4. Número de Curva a partir de la relación entre precipitación total y precipitación efectiva.

El valor de N será menor para suelos con alta infiltración que para suelos con baja infiltración. El método también toma en cuenta la condición antecedente de humedad (Antecedent Moisture Condition) definida de la siguiente manera.

AMC-I. Bajo potencial de escurrimiento. Suelos secos

AMC-II. Condición promedio. Humedad normal

AMC-III. Suelo húmedo, la cuenca está prácticamente saturada de la lluvia antecedente.

Para suelos negros las pérdidas iniciales se toman como 0.1S para AMC-II y III, mientras que para AMC-I se toma 0.3S y para otro tipo de suelos la pérdida inicial se toma como 0.2S, en general el valor para la abstracción inicial se toma como 0.2S, tomando en cuenta estas consideraciones tenemos lo siguiente:

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

El potencial máximo de retención está relacionado al número N de la siguiente manera:

$$N = \frac{2540}{25.4 + S}$$

El caudal máximo podrá calcularse mediante:

$$Q_p = \frac{0.0208 * A * P_e}{t_p} \quad \text{donde} \quad t_p = 0.6t_c + t_c^{\frac{1}{2}}$$

$$Q_p = \text{caudal máximo en } \frac{m^3}{s}$$

A = área de la cuenca en ha.

P_e = lamina de precipitación efectiva en cm.

t_p = tiempo pico en h.

Para determinar el valor del Número de escurrimiento debemos tomar en cuenta las siguientes características:

- El tipo de suelo.
- El uso del suelo.
- El tratamiento del terreno.
- La precipitación antecedente.

El *tipo de suelo* se refiere al potencial del suelo para absorber humedad y generar precipitación en exceso al final de tormentas de larga duración, dicho proceso ocurre después que los suelos se han mojado y han tenido la oportunidad de expandirse. Por otro lado la velocidad de infiltración será la rapidez con la cual el agua entra por la superficie del suelo, será controlada por las condiciones de este; la velocidad de transmisión es la velocidad con la cual el agua se desplaza dentro del suelo, estará controlada por los horizontes del mismo, a continuación se definen los grupos hidrológicos:

Grupos Hidrológicos

Grupo A. Son suelos que tienen alta tasa de infiltración (8-12mm/h) cuando están mojados, está constituido principalmente por arenas y gravas profundas, con drenaje bueno a excesivo. Las velocidades de transmisión del agua en estos suelos es alta (>7.6mm/h).

Grupo B. Suelos con moderada tasa de infiltración (4-8mm/h), constituido principalmente por suelos con cantidades moderadas de texturas finas a gruesas con drenaje medio y algo profundos. Principalmente suelos arenosos con velocidad de transmisión del agua (3.8 a 7.6mm/h).

Grupo C. Son suelos con baja tasa de infiltración cuando están mojados (1-4mm/h), está constituido por texturas finas y tienen bajas velocidades de transmisión del agua (1.3 a 3.8 mm/h).

Grupo D. Suelos que tienen muy baja tasa de infiltración cuando están mojados (0-1mm/h), en este grupo se destacan los suelos arcillosos con alto potencial de hinchamiento, suelos con nivel freático alto y permanente, con estratos arcillosos cerca de la superficie. La velocidad de transmisión del agua va de (0 a 1.3 mm/h).

En la siguiente tabla se muestra la clasificación de los diferentes tipos de suelo existentes en la superficie de nuestro territorio, se encuentran agrupados de acuerdo a su capacidad de infiltración tomando en cuenta la composición de las diferentes capas que lo conforma, la clasificación ha sido elaborada de acuerdo a la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB) generada a partir de la contribución de diversas organizaciones internacionales, particularmente la Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas (FAO), el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de los Estados Unidos de Norteamérica, la Oficina de Suelos Europea albergada por el Centro de Investigación Conjunta de la Comisión Europea, la Unión de Asociaciones de Ciencia del Suelo de África Occidental y Central, y el Centro Internacional de Información y Referencia en Suelos (ISRIC).

Tabla 2.6. Clasificación hidrológica de los tipos de suelo según su permeabilidad

CLAVE DE CLASIFICACION	SUELOS	TIPO HIDROLOGICO DE SUELO	PERMEABILIDAD	PROPIEDADES
AN	ANDOSOL	A	Muy alta	Arenas con poco limo y arcilla (escurrimiento mínimo)
AR	ARENOSOL			
FL	FLUVISOL			
HS	HISTOSOL			
U	RANQUER			
CL	CALCISOL	B	Buena	arenas finas y limos
LP	LEPTOSOL			
PZ	PODZOL			
RG	REGOZOL			
SC	SOLONCHAK			
FR	FERRALSOL	C	Media	Arenas muy finas, limos y bastante arcilla
CH	CHERNOZEM			
NT	NITISOL			
PH	PHAEZEM			
KS	KASTANOZEM	D	Baja	Arcillas en grandes cantidades, suelos poco profundos con subhorizontes casi impermeables (escurrimiento máximo)
AC	ACRISOL			
AL	ALISOL			
CM	CAMBISOL			
GL	GLEYSOL			
LV	LUVISOL			
SN	SOLONETZ			
VR	VERTISOL			
LX	LIXISOL			
PT	PLINTOSOL			
PL	PLANOSOL			

Fuente. IUSS Working Group WRB, 2015. Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015.

El *uso de suelo*, se refiere al uso que los seres humanos le dan a la superficie terrestre; la cobertura protege del impacto de la lluvia y se puede consultar en mapas que representan: distribución de la vegetación natural e inducida, la localización de áreas dedicadas a la ganadería, las áreas de uso agrícola, forestal y pecuario. Estos mapas son una fuente importante de información para conocer el estado en que se encuentra los diferentes tipos de vegetación y realizar estudios sobre los recursos naturales de una región, en el territorio nacional encontramos los siguientes usos de suelo.

Uso Agrícola. La superficie terrestre se encuentra cubierta por plantaciones forestales, bosques y pastizales cultivados y por los diferentes tipos de agricultura que se practican en nuestro país, puede ser agricultura temporal que es la que depende básicamente del agua de lluvia en el periodo vegetativo y de tipo permanente o nómada. La permanente está sujeta a una actividad continua, y la nómada es la que el hombre efectúa en un lapso de entre 1 y 5 años y la suspende por el agotamiento del suelo y la erosión. Los indicadores de las zonas de agricultura nómada son, pendiente pronunciada, suelo delgado y la huella de la perturbación de la vegetación.

La agricultura de riego es la que asegura el ciclo vegetativo y reproductivo de los cultivos mediante el agua de riego por goteo, gravedad o por bombeo, de igual forma hay agricultura temporal que recibe algún riego de auxilio es decir, riegos eventuales.

De igual forma los cultivos se pueden clasificar en anuales, semipermanentes y permanentes siendo los anuales aquellos que su ciclo vegetativo transcurre en un periodo menor de un año como es el caso del maíz, trigo o frijol; los cultivos semipermanentes tienen una duración variable desde un año hasta diez años, por ejemplo la caña de azúcar, la piña y el plátano. Por otra parte los cultivos permanentes permanecerán en el terreno más de diez años dentro de estos cultivos se encuentran árboles frutales como el durazno, el manzano, el naranjo, el agave, etcétera.

Uso Forestal. La capa superficial de la tierra es destinada a la plantación y manejo de especies arboladas con un fin productivo, los bosques se pueden clasificar de acuerdo a su naturaleza como bosque natural, cultivado, de galería y mesófilo de montaña.

El bosque natural es producto del suelo y clima, no interviene la mano del hombre, en nuestro país la mayoría de los bosques son naturales, por otro lado el bosque cultivado es el que el hombre ha establecido mediante plantaciones por lo general con especies exóticas que tienen como finalidad el uso recreativo y ornamental, mejorar la calidad del aire y en cuanto a los suelos evitar la erosión.

El bosque de galería se localiza a la orilla de los ríos o arroyos con agua permanente o estacional, predominando el bosque de álamo, sauce, sabino y eucalipto.

Uso Pecuario. Este uso de la tierra se presenta cuando se introduce intencionalmente en una región pastos nativos de diferentes partes del mundo bajo un bien elaborado programa de productividad y conservación, estos pastizales son utilizados para la formación de potreros en zonas tropicales donde se introduce algún tipo de ganado como puede ser bovino, caprino, ovino o equino.

Uso Acuícola. Estas superficies son dedicadas al cultivo de especies acuáticas con un fin productivo ya sean peces, anfibios, crustáceos, moluscos, plantas y algas, su utilización puede ser para alimento, para su estudio, recreación o simplemente para conservar la especie.

El tratamiento del terreno tiene relación con las prácticas agrícolas usadas sobre la superficie en estudio, puede ser en surcos, niveles o terrazas.

Al tomar en cuenta la precipitación antecedente se debe realizar una corrección al número N de acuerdo a la altura de precipitación acumulada (P_{AC5}) cinco días antes de la fecha en estudio, en la tabla 2.7 se han concentrado los

valores que deben tomarse en cuenta para las correcciones tomando en cuenta lo siguiente:

- 1) Si $P_{AC5} < 2.5$ cm, se hace corrección A.
- 2) Si $2.5 < P_{AC5} < 5$ cm, no es necesario realizar corrección
- 3) Si $P_{AC5} > 5$ cm se hace la corrección B

Los valores de los números de escurrimiento N concentrados en la tabla 2.8 se han considerado en una condición de humedad media del suelo de la cuenca.

Tabla 2.7. Valores para corrección por precipitación
anterior de los números de escurrimiento.

N	N con corrección A	N con corrección B
0	0	0
10	4	22
20	9	37
30	15	50
40	22	60
50	31	70
60	40	78
70	51	85
80	63	91
90	78	96
100	100	100

Fuente. Aparicio Mijares, F.J. "Fundamentos de
Hidrología de la Superficie", pág. 190.

**APLICACIÓN DE PROGRAMAS DE CÓDIGO ABIERTO PARA LA IDENTIFICACIÓN DEL USO Y TIPO DE SUELO,
EMPLEANDO EL MÉTODO DE LOS NÚMEROS DE ESCURRIMIENTO DE LA USSC.**

Tabla 2.8. Números de Escurrimiento N.

USO DE LA TIERRA Y COBERTURA	TRATAMIENTO DEL SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO EN %	TIPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Sin cultivo Cultivos en surco	Surcos rectos	-	77	86	91	94
	Surcos rectos	> 1	72	81	88	91
	Surcos rectos	< 1	67	78	85	89
	Contorneo	> 1	70	79	84	88
	Contorneo	< 1	65	75	82	86
	Terrazas	> 1	66	74	80	82
	Terrazas	< 1	62	71	78	81
Cereales	Surcos rectos	> 1	65	76	84	88
	Surcos rectos	< 1	63	75	83	87
	Contorneo	> 1	63	74	82	85
	Contorneo	< 1	61	73	81	84
	Terrazas	> 1	61	72	79	82
	Terrazas	> 1	59	70	78	81
Leguminosas o praderas con rotación	Surcos rectos	> 1	66	77	85	89
	Surcos rectos	< 1	58	72	81	85
	Contorneo	> 1	64	75	83	85
	Contorneo	< 1	55	69	78	83
	Terrazas	> 1	63	73	89	83
	Terrazas	< 1	51	67	76	80
Pastizales	--	> 1	68	79	86	89
	--	< 1	39	61	74	80
	Contorneo	> 1	47	67	81	88
	Contorneo	< 1	6	35	70	79
Pradera permanente	--	< 1	30	58	71	78
Bosques naturales						
Muy ralo	--	--	56	75	86	91
Ralo	--	--	46	68	78	84
Normal	--	--	36	60	70	77
Espeso	--	--	26	52	62	69
Muy espeso	--	--	15	44	54	61
Caminos						
Terracería	--	--	72	82	87	89
superficie dura	--	--	74	84	90	92
superficie impermeable	--	--	100	100	100	100

Fuente. Aparicio Mijares, F.J. "Fundamentos de Hidrología de la Superficie, pág. 188.

2.7 Método Racional Americano

Es uno de los métodos más simple y utilizado, pues para obtener el gasto máximo toma en cuenta el área de la cuenca, la intensidad de la lluvia y un coeficiente que engloba los efectos combinados del almacenamiento superficial, la evaporación y la infiltración. Este método supone que la lluvia es uniforme y de intensidad constante, dicha intensidad se obtiene de dividir la lluvia entre la suma del tiempo de concentración más el tiempo de lluvia sin escurrimiento. El coeficiente se puede estimar como la relación que existe entre la lluvia en exceso y la lluvia total. Este coeficiente tomara valores entre 0 y 1, puede ser variable en función del periodo de retorno considerado. Para obtener el gasto máximo se aplica la siguiente expresión:

$$Q = 0.278 * C * I * A$$

$$C = \frac{h_e}{h_p}$$

$$I = \frac{h_p}{t_p + t_{se}}$$

Donde

Q = gasto maximo en $\frac{m^3}{s}$.

C = coeficiente de escurrimiento.

A = área drenada en km^2 .

0.278 = factor de conversion a $\frac{m^3}{s}$.

h_e = lluvia en exceso en mm.

h_p = lluvia total en mm.

t_{se} = tiempo de lluvia sin escurrimiento en hr.

t_c = tiempo de concentracion en hr.

El tiempo de concentración es el tiempo requerido para permitir que el flujo de toda el área tributaria logre alcanzar el punto de desagüe. Carl Frederick Izzard desarrollo la siguiente ecuación para obtener el tiempo de concentración:

$$t_c = 526.76kL^{\frac{1}{3}}i_e^{-\frac{2}{3}} \quad \text{y } k \text{ esta dado por } k = \frac{2.76 \times 10^{-5}i_e + c}{s^{\frac{1}{3}}}$$

Donde

L = distancia de flujo en m.

s = pendiente

c = coeficiente de retardo

i_e = exceso de precipitación en $\frac{mm}{h}$.

El valor del coeficiente de retardo estará en función del tipo de superficie.

Tabla 2.9 Coeficiente de retardo de Izzard	
Superficie	c
Pavimento de asfalto muy liso	0.0070
Pavimento de arena y alquitrán	0.0075
Concreto	0.012
Pavimento de grava y alquitrán	0.017
Suelo limpio sin vegetación	0.046
Vegetación rastrera densa	0.060

Las formulas empíricas descritas serán aplicables cuando $i_e * L < 3800$.

2.8 Método Índice Área

Este método es similar al método racional, pero no toma en cuenta el coeficiente de escurrimiento, para estimar la intensidad de lluvia toma en cuenta la precipitación en exceso, la siguiente expresión nos permite calcular el caudal:

$$Q = \frac{0.278 * h_e * A}{t_c + t_{se}}$$

Donde

$Q = \text{gasto en } \frac{m^3}{s}$.

$A = \text{área drenada en } km^2$.

$0.278 = \text{factor de conversión a } \frac{m^3}{s}$.

$h_e = \text{lluvia en exceso en } mm$.

$t_{se} = \text{tiempo de lluvia sin escurrimiento en } hr$.

$t_c = \text{tiempo de concentración en } hr$.

2.9 Hidrograma Unitario

El Hidrograma unitario se define como la relación de gasto contra tiempo del escurrimiento directo producido por una lluvia efectiva, que cae con intensidad uniforme sobre toda la cuenca durante un tiempo, el tiempo será cualquier valor menor que el tiempo de concentración. Su utilidad se basa en la observación de que todas las lluvias sobre una cuenca, con la misma duración, producirán escorrentía durante iguales duraciones de tiempo y las ordenadas del Hidrograma de escorrentía serán proporcionales al exceso de precipitación.

El hidrograma unitario puede ser construido a partir de registros de precipitación presentes en la cuenca y del caudal en la corriente.

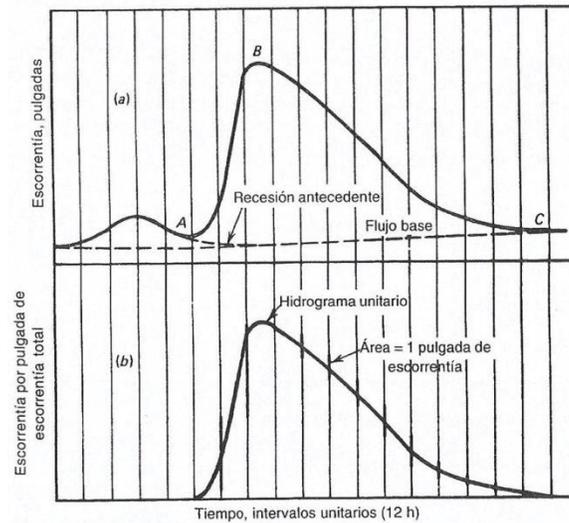


Fig. 2.5. Hidrograma Unitario

En la figura 2.5.a del punto A hasta C representa el hidrograma de una lluvia con duración unitaria supuesta de 12 horas, la figura 2.3.b es obtenida al sustraer la precipitación antecedente y el flujo base y dividir las ordenadas por la escurrimiento total, esta última representara el hidrograma unitario de 12 horas para la cuenca de drenaje.

Para la aplicación del concepto de hidrograma unitario a áreas urbanas pequeñas de 0.04 hasta 38 km², se han desarrollado ecuaciones paramétricas que permiten determinar la forma del hidrograma basadas en las características físicas de la cuenca, son las siguientes:

$$T_R = 4.1L^{0.23}S^{-0.25}I^{-0.18}\Phi^{1.57}$$

$$Q = 13.27A^{0.96}T_R^{-1.07}$$

$$T_B = 71.21AQ^{-0.95}$$

$$W_{50} = 12.08A^{0.93}Q^{-0.92}$$

$$W_{75} = 7.21A^{0.79}Q^{-0.78}$$

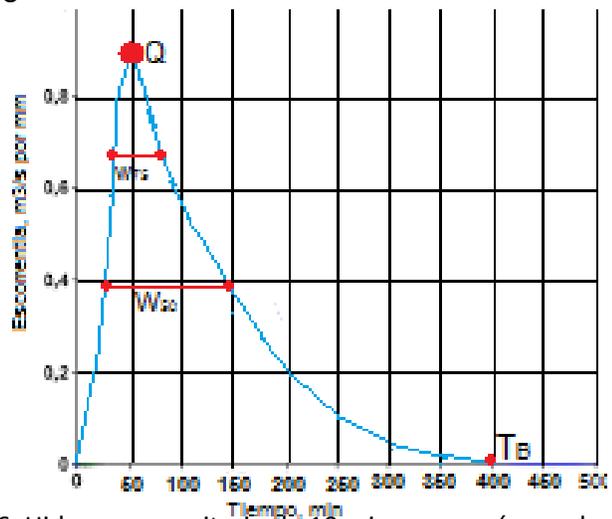


Figura 2.6. Hidrograma unitario de 10 min para un área urbana

Donde

T_R = tiempo de acrecencia del hidrograma en min.

Q = descarga pico, en $\frac{m^3}{s}$ por milimetro de lluvia neta

T_B = tiempo base del hidrograma en min.

W_{50} = ancho del hidrograma en min, al 50%Q

W_{75} = ancho del hidrograma en min, al 75%Q

L = distancia total a lo largo del canal principal en m.

S = pendiente del canal principal.

I = impermeabilidad en %.

Φ = factor de transporte adimensional (0.6 – 1.3).

A = área de la cuenca en km^2

Estas ecuaciones están basadas en una unidad de tiempo de 10 minutos.

2.10 Hidrograma Unitario Triangular

Este método permite estimar el hidrograma unitario en la salida de la cuenca cuando se presenta una tormenta, es indispensable que se conozcan las características fisiográficas de la cuenca. El primer paso es obtener el gasto pico en base al área de la cuenca, el tiempo de concentración y el tiempo de retraso con las siguientes expresiones:

$$q_p = 0.208 \frac{A}{t_p}$$

Donde

q_p = gasto pico unitario $m^3/s/mm$

A = área de la cuenca en km^2

t_p = tiempo pico en h.

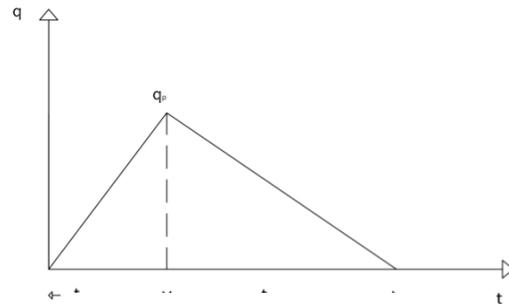


Figura 2.7 Hidrograma unitario

Al igual que

$$t_p = \sqrt{t_c} + 0.6t_c \qquad t_r = 1.67t_p$$

Donde

t_c = tiempo de concentracion en h.

t_r = tiempo de retraso en h.

El hidrograma de escurrimiento directo en la cuenca se calcula multiplicando las ordenadas del Hidrograma Unitario Triangular por la lluvia en exceso, expresada en mm.

CAPÍTULO III. PROGRAMAS DE CODIGO ABIERTO

3.1 Q GIS Software empleado en los SIG

Es un sistema de Información Geográfica (SIG) de código abierto que de acuerdo a registros tiene su origen en mayo de 2002, es licenciado bajo GNU-General Public License. Es un proyecto oficial de Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). El software de este tipo por lo general es de alto costo económico, y de acuerdo a este aspecto, el programa QGIS busca una perspectiva viable para que las personas que tengan acceso a una computadora puedan utilizarlo.

El software permite instalarse en sistemas operativos como Linux, Unix, Mac OSX, Windows y Android, soporta numerosos formatos y funcionalidades de datos vectoriales, datos Raster y bases de datos, todo esto implica que sea ágil en su uso y cuente con una agradable interfaz gráfica para el usuario,

En un principio el objetivo de QGIS fue proporcionar un visor de datos GIS, posteriormente y ya que es un proyecto voluntario ha sido complementado por las contribuciones de código, corrección e informe de errores, documentación y promoción lo cual ha logrado que cada vez más usuarios lo utilicen para sus necesidades de visualización en sus datos diarios.

3.2 Características Principales

✓ VER DATOS

Se puede ver y superponer datos vectoriales y datos Raster en diferentes formatos y proyecciones sin convertir a un formato interno o común. Los formatos admitidos incluyen:

- Tablas y vistas habilitadas para operaciones espaciales utilizando PostGIS, SpatiaLite y MS SQL Spatial.
- Ráster y formatos de imágenes admitidos por la biblioteca GDAL (Geospatial Data Abstraction Library) instalada, por ejemplo GeoTIFF, ERDAS IMG, ArcInfo ASCII GRID, JPEG, PNG, etc.

✓ **EXPLORACIÓN DE DATOS Y DISEÑO DE MAPAS**

Se puede componer mapas y explorar datos espaciales interactivamente con una Interfaz Gráfica de Usuario amigable. Mencionamos algunas de las herramientas disponibles en la GUI:

- Explorador QGIS
- Re proyección al vuelo
- Gestor de Base de Datos
- Diseñador de mapas
- Panel de vista general
- Marcadores espaciales
- Identificación/selección de características
- Características de etiquetado
- Cambio de simbología vectorial y Raster

✓ **CREAR, EDITAR, GESTIONAR Y EXPORTAR DATOS**

Puedes crear, editar, manejar y exportar capas de vectores y Raster en diferentes formatos. QGIS ofrece lo siguiente:

- Crear y editar archivos shape y capas vectoriales GRASS.
- Complemento de georeferenciador para geocodificar imágenes.
- Apoyo para visualizar y editar datos de Open Street Map.
- Capacidad para crear tablas de base de datos espaciales desde archivos shape.
- Mejor manejo de tablas de bases de datos espaciales.
- Herramientas para la gestión de tablas de atributos vectoriales.
- Opción para guardar capturas de pantalla como imágenes georreferenciadas.
- Herramienta para exportar DXF con capacidades aumentadas de explorar estilos y plugins que realizan funciones parecidas a CAD.

✓ **ANALIZAR DATOS**

Permite realizar análisis de datos espaciales en bases de datos espaciales y otros formatos OGR usando las herramientas del lenguaje de programación Python. Actualmente realiza análisis de vectores, muestreo, geo procesamiento, y geometría.

PUBLICACION DE MAPAS EN INTERNET

QGIS se puede utilizar para exportar datos a un archivo de mapa y publicarlos en Internet utilizando un servidor de mapas.

3.3 Instalación en el Sistema

La instalación de QGIS es bastante sencilla, cuenta con un instalador autónomo, lo único que se tendrá que verificar es si tenemos un procesador de 32 o 64 bits, el paquete de datos se encuentra disponible en el sitio oficial de QGIS, en la dirección electrónica siguiente: <http://www.qgis.org/es/site>. Existen varias versiones, en nuestro caso se instalara la versión **2.16.2** lanzada el 26 de julio de 2016.

Paso 1. Descargar el software

La descarga del software demorara dependiendo de la velocidad de descarga, al finalizar ubicaremos la aplicación en la carpeta contenedora para iniciar la instalación.



Fig. 3.1 Instalador autónomo de QGIS

Paso 2. Ejecutar el software y aceptar las indicaciones que genera automáticamente para su instalación.

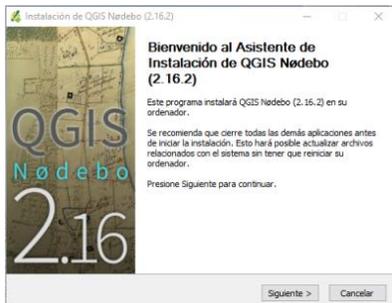


Fig. 3.2 a. Asistente de instalación.

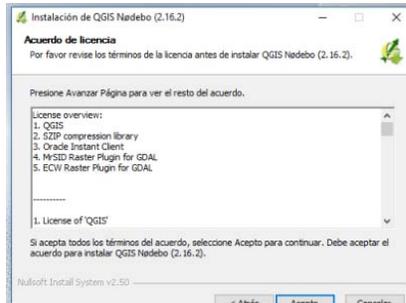


Fig. 3.2 b. Aceptar acuerdo de licencia

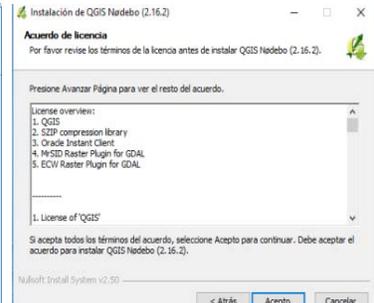


Fig. 3.2.c. Elegir ubicación para instalación

Paso 3. Finalizar la instalación, a partir de este momento podremos empezar a utilizar QGIS.

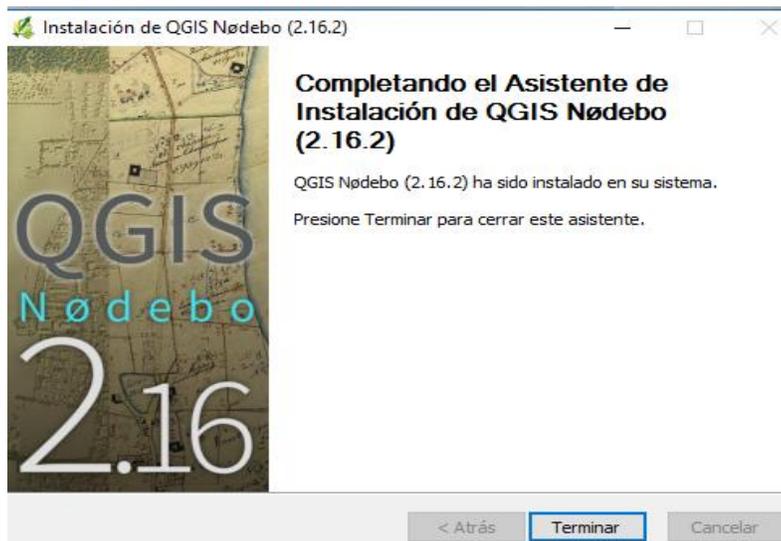


Fig. 3.3. Paso final del proceso de instalación

Paso 4. Ejecutar el programa, basta con ir al acceso directo y dar doble clic para que el programa se inicie.

3.4 Descripción de Herramientas

Al iniciar el programa se presentara una Interfaz Gráfica de Usuario similar a la mostrada a continuación, la interfaz puede cambiar, esto depende del sistema operativo que esté utilizando.

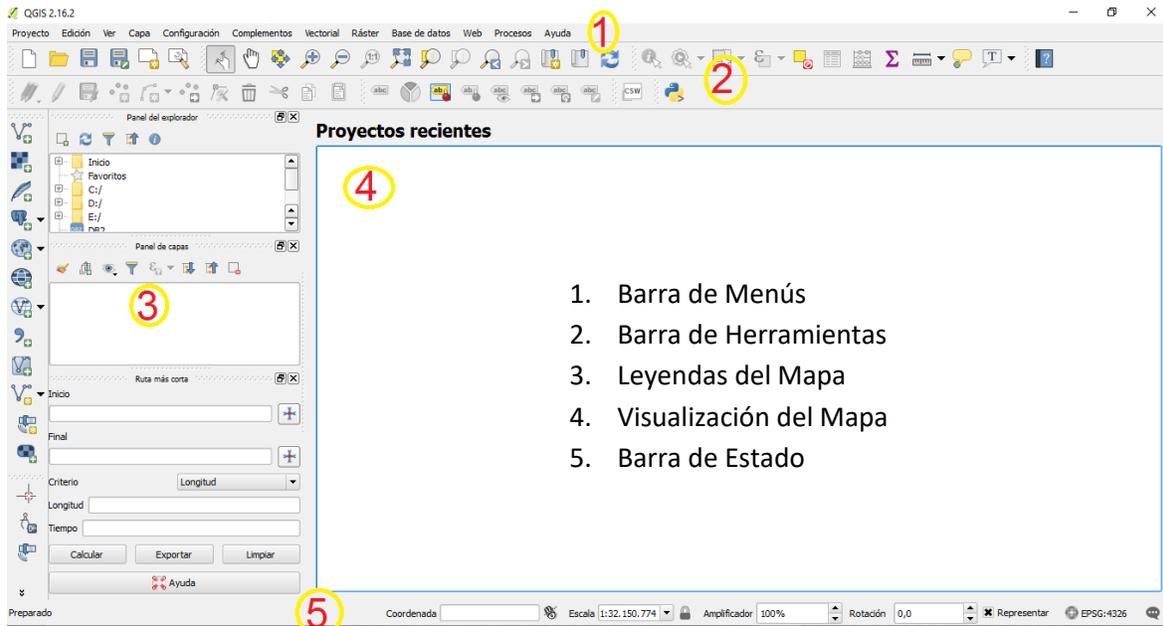


Fig. 3.4. Interfaz Gráfica de Usuario

1. Barra de menús

Permite el acceso a varias características de QGIS mediante un menú jerárquico estándar. A continuación se resumen algunas opciones de menú, junto con los iconos asociados, algunas opciones de menú solo aparecerán si se carga el elemento correspondiente.



Fig. 3.5. Barra de menú

Menú proyecto

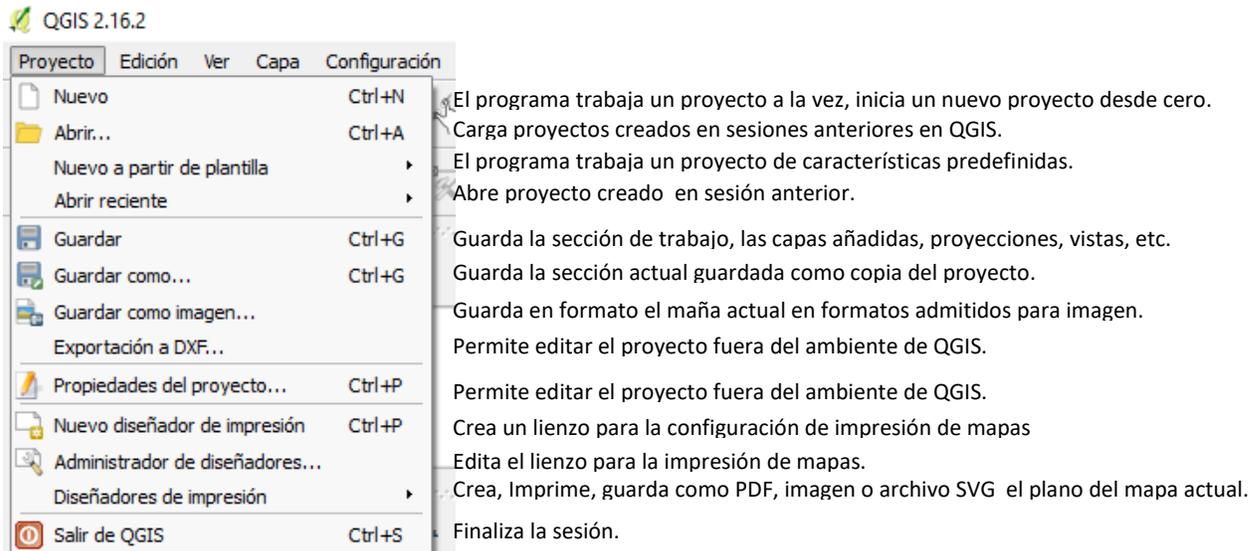


Fig. 3.6. Menú proyecto

Menú edición

 **Rehacer y Deshacer.** Hace y deshace las operaciones de edición de vectores, solo se selecciona con un clic para seleccionar, los objetos se revertirán al estado que tenían antes de la operación.

 **Copiar, Pegar objetos espaciales.** Estas se pueden aplicar para características seleccionadas entre capas del mismo proyecto.

 **Añadir objetos espaciales.** Añade nuevas características como puntos, líneas y polígonos en la capa de trabajo actual. Para crear características con esta herramienta, primero digitalizar la geometría, a continuación introduzca sus atributos.

 **Mover objetos espaciales.** Permite cambiar objetos de su posición actual en el entorno de trabajo.



Simplificar objeto espacial. Permite reducir el número de vértices de una función, siempre y cuando la geometría sea válida, también se puede simplificar muchas características a la vez o características de múltiples partes.



Añadir anillo. Crea un espacio dentro de un área existente, el área entre los límites interior y exterior se mantienen como un polígono.



Añadir parte. Añade a una entidad seleccionada una entidad múltiple, multilínea o varios polígonos. La nueva pieza debe ser digitalizada fuera de la existente esta se debe seleccionar antes del proceso.



Rellenar anillo. Digitaliza un polígono dentro del anillo existente.



Borrar anillo. Borra los anillos dentro de un polígono existente, haciendo clic en el interior del agujero, solo funciona con las entidades poligonales y de múltiples polígonos.



Borrar parte. Elimina partes de una superficie, funciona con todas las geometrías de varias partes: puntos, líneas y polígonos, se puede utilizar para eliminar totalmente el componente geométrico de una función.



Remodelar objetos espaciales. Cambia la forma de las entidades de línea y polígono. Sustituye a la línea o polígono parte de la primera a la última intersección con la línea original.



Desplazar curva. Se aplica a la capa editada o a la capa de fondo en este caso se crea una copia de las líneas/ anillos y los añade a la capa de editado.



Dividir objetos espaciales. Divide funciones, solo se tiene que dibujar una línea a través de la entidad que se quiere dividir.



Dividir partes. Divide en múltiples partes una pieza de manera que se incrementa el número de partes de la función. Solo se dibuja una línea en la parte que se desea dividir.



Combinar objetos espaciales. Combina características, en un nuevo cuadro de dialogo puede elegir el valor que debe elegir cada una de las partes seleccionadas.



Combinar los atributos de los objetos seleccionados. Aplica mismos atributos a las funciones sin la unión de sus límites. Como resultado todos los objetos seleccionados tendrán las mismas entradas de atributo.



Rotar símbolo de puntos. Cambia la rotación de los símbolos de puntos en el mapa.

Menú Ver

En general, este menú Permite desplazarse a través del mapa, acercar, alejar, seleccionar capas, otra opción es navegar con la rueda del mouse, la barra espaciadora y las teclas de flecha.



Desplazar mapa



Acercar zum



Alejar zum



Desplazar mapa a la selección



Zum a la capa



Zum a la selección



Zum anterior



Zum siguiente



Zum a la resolución nativa

Menú capa

Crear capa



Nueva capa de archivo shape. Permite la creación de una nueva capa que se añadirá al mapa. Solo se necesita añadir los atributos deseados en cada uno de los parámetros que darán origen a la nueva capa.



Nueva capa Spatialite. El primer paso consiste en seleccionar una base de datos existente o crear una nueva base, se le da un nombre a la nueva capa, definimos el tipo de capa y especificamos las coordenadas de referencia. Q gis añadirá automáticamente la nueva capa.



Crear nueva capa GPX. Se requiere cargar el complemento GPS si es primera vez que se utiliza el programa y no se ha cargado, posteriormente se abrirá el cuadro de dialogo Administrador de complementos en donde se activa la casilla GPS.



Nueva capa borrador temporal. Son capas que no se guardan, se descartan al cerrar el programa.

Añadir capa

El submenú añadir capa nos proporciona la facilidad de agregar capas que se han creado previamente y seguir trabajando desde el punto donde se suspendió en sesiones anteriores, es posible cargar las capas mencionadas en el submenú crear capa, de igual forma en este submenú permite anexar a nuestro entorno Q GIS una capa vectorial o Raster.



Añadir capa Vectorial. Permite cargar una capa de un archivo (archivo shape, o capa DXF) cuando se añade una capa se asigna un color al azar, el cuadro de dialogo permitirá definir las propiedades para dicha capa.

Un archivo shape actualmente consiste de varios archivos con el mismo nombre y con diferentes extensiones, a continuación se mencionan:

1. Archivo .shp contiene las geometrías de los objetos espaciales, puede ser los puntos o los vértices.
2. Archivo .dbf contiene los atributos o descripciones que tiene cada uno de los elementos.
3. Archivo del índice .shx contiene un índice para el pareo entre archivos y facilitar las búsquedas.
4. Archivo .prj contiene la información del sistema de coordenadas, la proyección cartográfica, el datum y las unidades que usa el shape file para registrar los elementos geográficos.



Añadir capa Raster. Agrega un archivo Raster el cual contiene las características sobre, por encima o por debajo de la superficie de la tierra, de igual forma que en los archivos con formato shape podremos explorar el número de capas y el sistema de coordenadas en que se encuentra referenciado el espacio en estudio.

Menú configuración

El menú configuración permite establecer un Sistema de Referencia de Coordenadas personalizadas para nuestro proyecto, es necesario a través del cuadro de dialogo introducir la longitud y la latitud del sitio, estos datos se pueden obtener directamente de un mapa, posteriormente se verifica que el resultado del sistema de referencia asignado sea correcto. De igual forma en este menú es posible editar la fuente de los datos que se representan en las capas, la presentación y los colores de los mismos, las propiedades generales del diseñador de mapas, las herramientas principales del mapa como puede ser el número de

decimales que se manejaran, las unidades de longitud y de superficie así como las unidades para la medición de ángulos.

Menú complementos

Agrega nuevas características y funciones a la aplicación que son creadas o actualizadas por contribuciones de código o por el equipo de desarrollo de QGIS, son escritos en lenguaje de programación C++ o Python, accediendo al cuadro de dialogo es posible consultar los complementos que se encuentran disponibles, complementos instalados, complementos no instalados y los complementos que han sido actualizados o complementos que se encuentran en fase de prueba, en la siguiente figura se muestra el cuadro de dialogo correspondiente a los complementos que se pueden utilizar en QGIS.

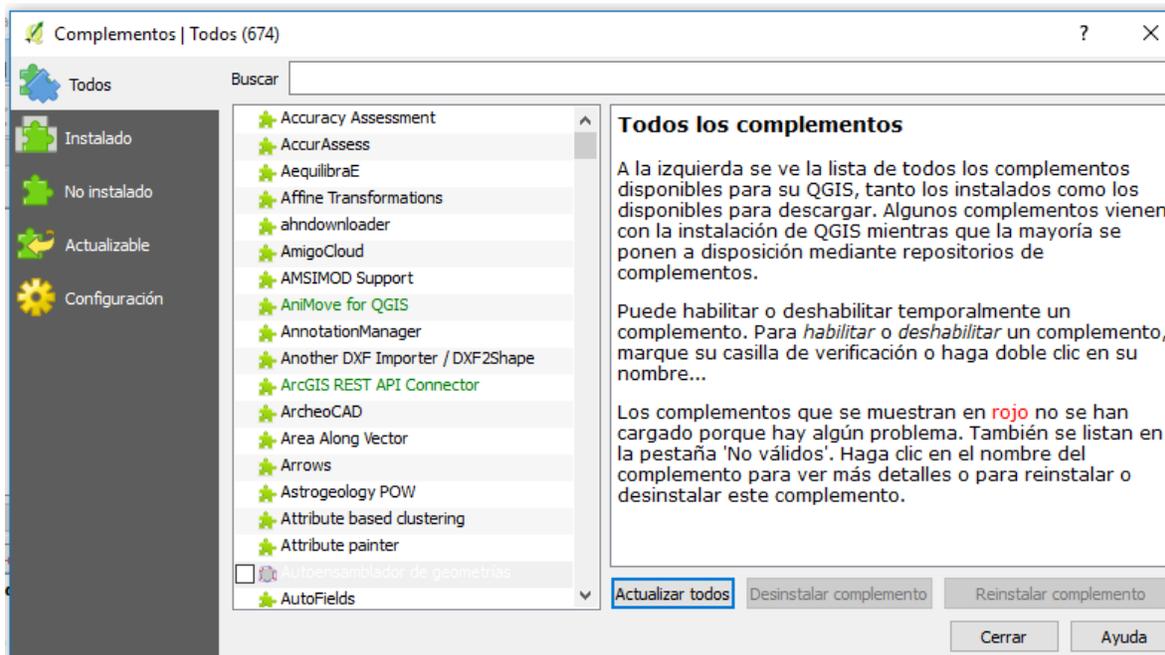


Fig.3.7. Complementos disponibles para el programa QGIS.

Al ejecutar la opción de “Actualizar todo” se buscaran nuevas versiones de los complementos, si un complemento esta listado pero no instalado usar la opción de “Instalar complemento”, la opción “Desinstalar complemento” eliminara el complemento del programa si es requerido nuevamente solo es cuestión de ejecutar la instalación del mismo.

Menú vectorial

Dentro del menú vectorial es posible realizar acciones como: importar un archivo con formato DXF a un archivo con formato *shape* para su edición en entorno GIS, utilizar las herramientas GPS para cargar una capa de datos así como descargar capas desde un receptor GPS y guardarlas asignando un formato de salida.

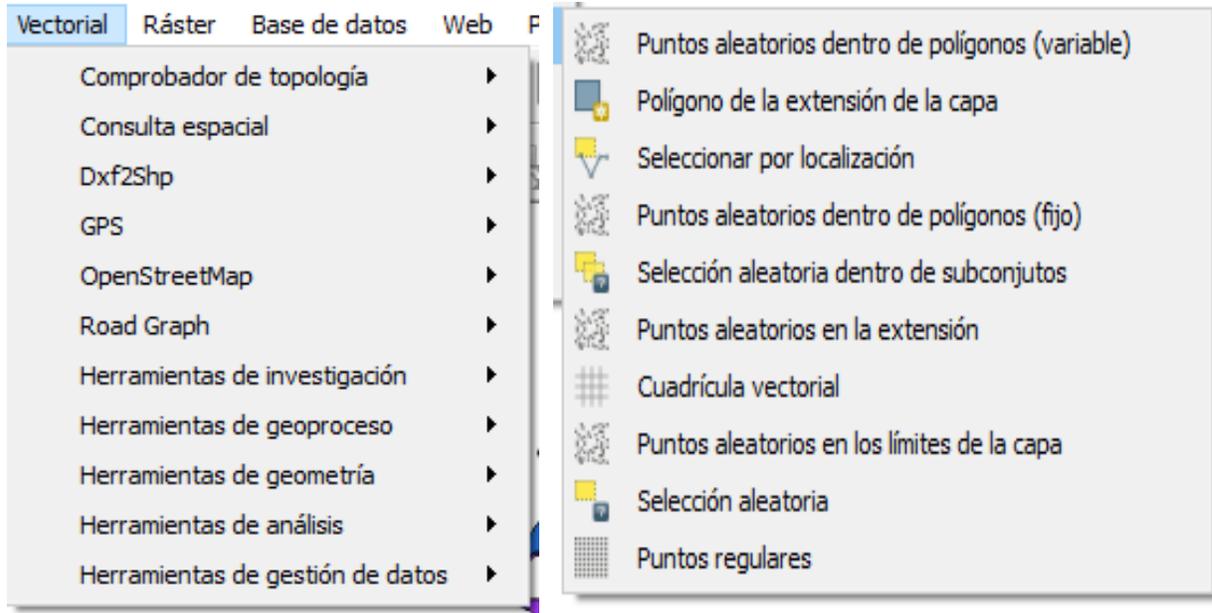


Fig. 3.8. Herramientas disponibles, menú

Las herramientas de investigación permiten realizar una selección de información específica de una o más capas vectoriales, según la información que se requiera, el programa proporciona las distintas opciones ilustradas en la imagen anterior, una de ellas es la selección por localización la cual a través de un cuadro de dialogo requerirá de dos capas vectoriales, una capa de la cual se seleccionara la información y una capa de intersección dando como resultado una nueva capa que se podrá guardar para consulta o edición de la información contenida en ella.

Menú Raster

En este menú se encuentran las herramientas necesarias para editar las capas con formato Raster, en la figura siguiente se ilustran las herramientas, describiremos de forma sencilla las que utilizaremos en el presente trabajo así como la función que realiza.

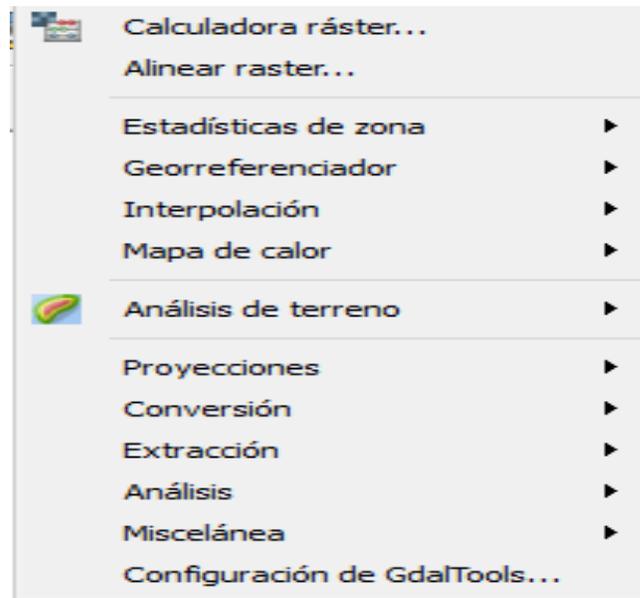


Fig. 3.9. Herramientas disponibles, menú Ráster

Calculadora Ráster. Permite realizar cálculos sobre la base de los valores de píxeles de trama existentes dando como resultado una capa Raster. En la sección capa de resultado es necesario definir la capa de salida, a continuación puede definir la extensión de la zona de cálculo basado en una capa Ráster de entrada o sobre la base de coordenadas X, Y y sobre columnas y filas, para establecer la resolución de la capa de salida.

En la sección de operadores contiene todos los operadores disponibles, actualmente se cuenta con operadores matemáticos y trigonométricos.

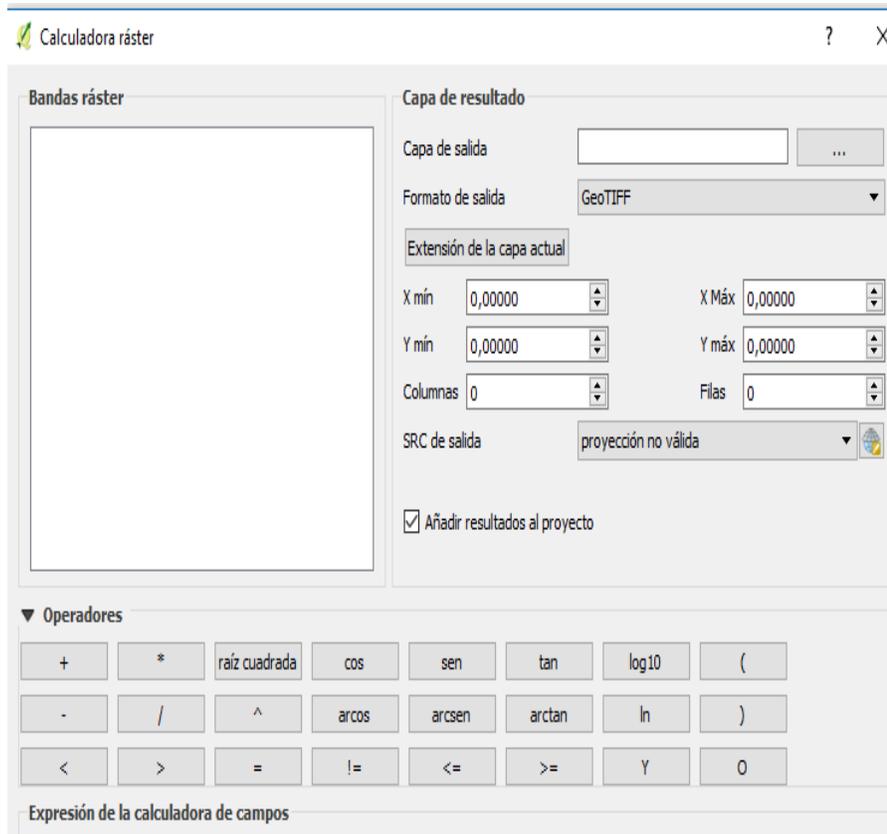


Fig. 3.10. Calculadora Ráster

Estadísticas de zona. Analiza los resultados de una clasificación temática que permite calcular los valores de los píxeles de una capa Raster con ayuda de una capa vectorial de polígonos, se puede calcular la suma, el valor medio y el total de los píxeles que se encuentren dentro de un polígono, al utilizar este complemento se generan columnas de salida en la capa vectorial con un prefijo definido por el usuario.

Análisis de terreno. Realiza un análisis para obtener parámetros como el ángulo de la pendiente de cada celda en grados, el índice irregularidad calculada para cada lugar con un resumen de los cambios en la elevación dentro la cuadrícula de 3x3 píxeles y elaborar un mapa de relieve sombreado de los datos digitales de elevación.

Proyecciones. Dentro de las acciones que se pueden realizar a través de esta herramienta se encuentra la opción de reproyectar un archivo Ráster a un nuevo sistema de referencia, asignar una proyección a un archivo existente generando un archivo Geo Tiff y extraer la proyección de las capas Raster de interés.

Conversión. A través de la herramienta Rasterizar es posible realizar el cambio de formato de un archivo vectorial a un archivo tipo Raster y de igual forma con la herramienta poligonizar cambiar un archivo Raster a un archivo vectorial, será necesario ingresar en el cuadro de dialogo el archivo de entrada que se necesita rasterizar, de ser necesario se podrá cambiar o mantener el tamaño y resolución del Raster existente o definir el tamaño del Raster en pixeles.

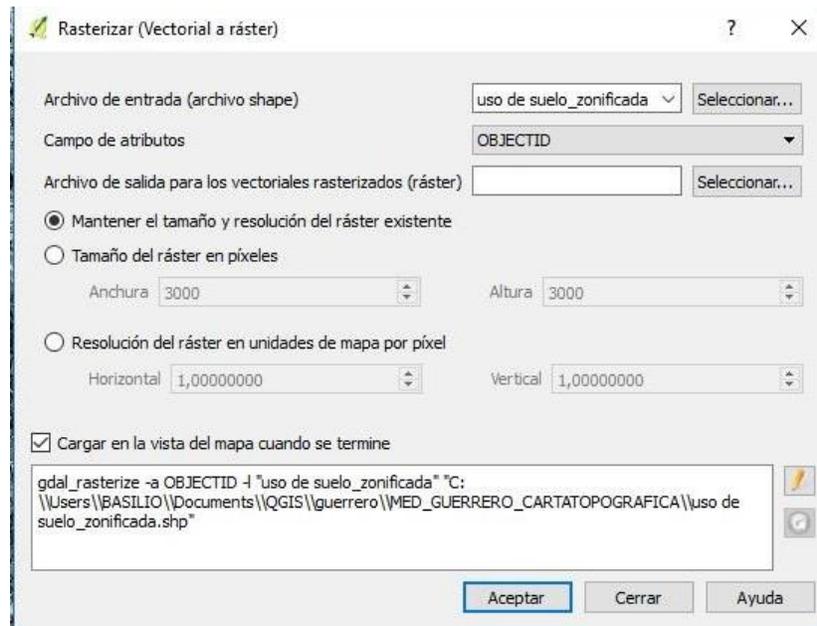


Fig. 3.11. Herramienta conversión tipo de archivo

Extracción. La herramienta extracción, permite elaborar curvas de nivel haciendo uso del atributo altitud contenido en un modelo de elevación digital, los intervalos entre curva y curva serán definidos por el usuario, al ejecutar el algoritmo resultara una capa con formato shape donde estará contenido el mapa de curvas de nivel con sus respectivas elevaciones. Una vez obtenidas las elevaciones se podrá realizar ediciones al formato de las mismas para su presentación.

2. Barra de herramientas

En esta barra se encuentran contenidas las principales herramientas que se utilizan para el manejo de los datos geoespaciales, algunas como base de datos, atributos, componentes, etiquetas, etc. Para la adición o eliminación de una herramienta en el menú *ver, barra de herramientas*, se podrá efectuar este proceso.

3. Leyendas del mapa

En esta área se enlistan los datos cargados por temáticas en forma de capas, en esta área se administra el orden de visualización de las capas sobre el área de despliegue del mapa, para visualizar este panel, es necesario activarlo en la barra de herramientas dando un clic derecho en *menú ver, barra de herramientas* y seleccionar *panel del explorador* de la lista.

4. Visualización del mapa

Los mapas aparecen en esta área, las vistas que se observen dependerán de las capas vectoriales y Raster que se tienen cargadas, en esta sección se puede explorar, el visor de mapa y su descripción están estrechamente relacionados, el visor de mapa reflejan los cambios hechos en esa área.

5. Barra de estado

Esta barra muestra las coordenadas de la posición actual en el mapa a medida que el puntero se desplaza, de igual forma muestra el sistema de coordenadas utilizado y la escala. Si un nuevo complemento o actualización se encuentra disponible aparecerá un mensaje en la barra de estado. Cuando se inicia QGIS la unidad por defecto son los grados y se aplicara a cualquier capa que se cargue al entorno GIS, al hacer clic en el icono de la esquina inferior derecha es posible acceder y cambiar los valores correctos de escala, cambiando grados a metros o asignar un sistema de referencia.

3.5 Presentación de Mapas

Configuración de papel

Para realizar la configuración del papel, en la pestaña diseñador encontramos el submenú que permite configurar el tamaño de la hoja, la posición de la misma y los márgenes de la hoja. En el menú ver encontramos la opción de activar cuadrícula, nos servirá como guía para la creación de marcos que limiten el área de trabajo.

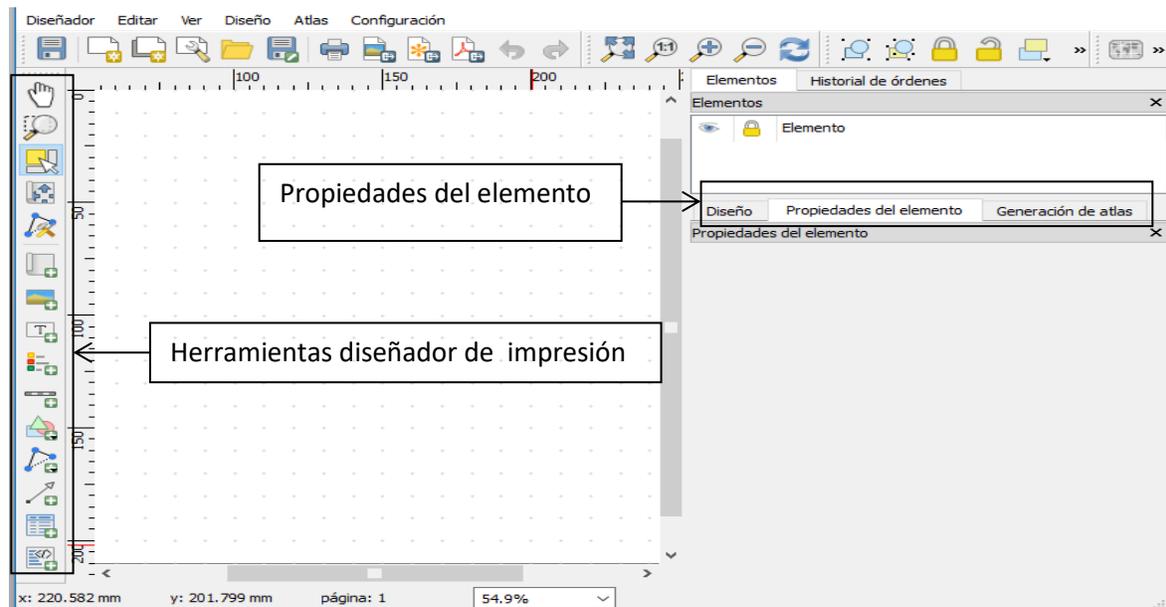


Fig. 3.12. Vista general diseñador de impresión

Agregar marco

Para identificar claramente la información contenida en un mapa, por ejemplo la escala, la orientación, la leyenda y el título, es necesario agruparla por medio de marcos los cuales permiten darle una mayor presentación a través de un borde, de un fondo o de una sombra para el elemento.

Para insertar un marco recurriremos a la herramienta insertar figura geométrica y con la opción insertar rectángulo crearemos un marco, para cambiar las propiedades del marco como son la forma, la posición y tamaño, la rotación, etc. Lo realizaremos en la opción propiedades del elemento.

A continuación se ilustran las herramientas disponibles para la presentación de mapas en la interfaz del programa QGIS.

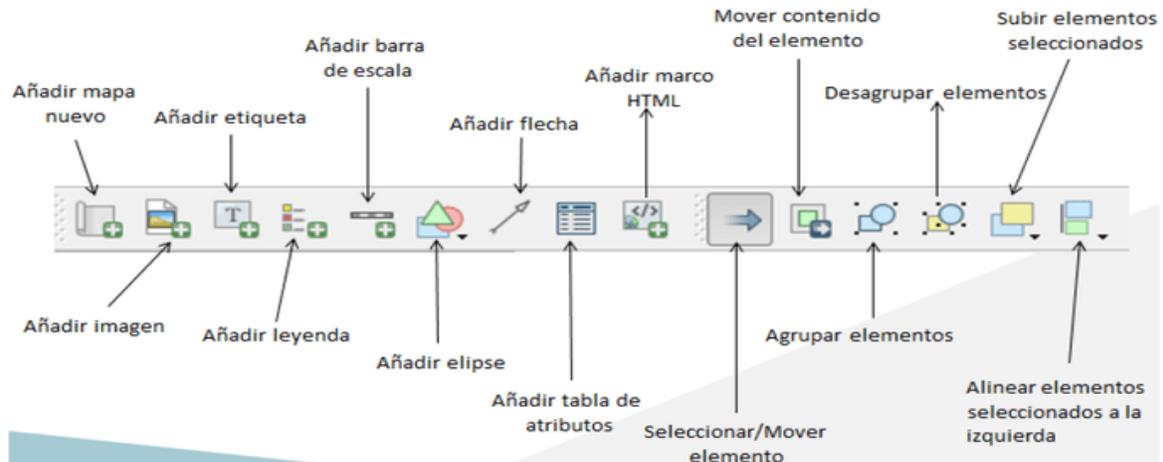


Fig. 3.13 Caja de herramientas del diseñador de impresión

Agregar Título

El título es una descripción breve del tema sobre el cual trata el mapa, para agregarlo utilizamos la herramienta, añadir etiqueta nueva y al igual que en los marcos, cambiamos sus propiedades en la pestaña propiedades del título como puede ser el color, el tamaño, la posición, el tipo de letra, etc.

Agregar leyenda

Una leyenda indica al lector del mapa el significado de los símbolos y colores utilizados para representar alguna variable dentro del mapa, las leyendas contienen textos explicativos y el campo del dato que se utilizó para realizar el mapa se convierte en un encabezado para la leyenda.

Para agregar una leyenda a nuestro mapa nos posicionamos sobre el *shp* al que vamos a dar simbología, con un clic derecho elegimos propiedades. En la ventana propiedades elegimos la opción de estilo, desplegamos la pestaña dando clic en graduado, de esta manera los valores que necesitamos se organizaran por rango.

En la opción columna elegimos el campo del cual necesitamos el dato, en símbolo agregamos algún otro símbolo que queramos que aparezca en la simbología, de igual forma seleccionamos el color con que serán representados los datos. La opción clases nos permite seleccionar la cantidad de intervalos o rangos para los datos, cuando tengamos todas las características necesarias damos clic en clasificar para que aparezcan los datos.

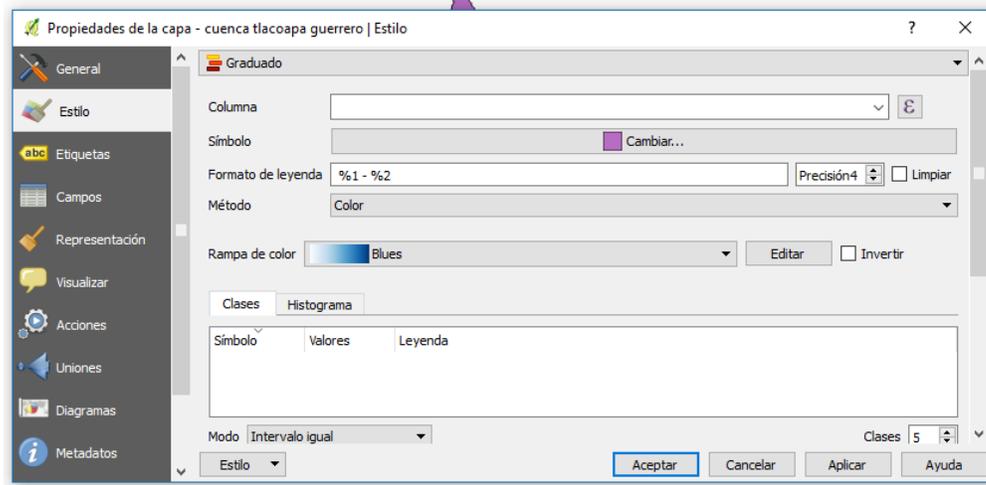


Fig. 3.14. Configuración de leyenda del mapa

En la vista del diseñador seleccionamos añadir leyenda, aparecerá un recuadro en el que estarán las capas que necesitamos, en la pestaña propiedades del elemento podemos darle formato al recuadro de la leyenda así como al tipo de letra de las capas. En el apartado general podemos dar formato a la simbología de la leyenda, también cambiar el tipo de letra de las capas y del título que queremos que aparezca en la leyenda (marco, color de fondo, etc.).

Rosa de los vientos

La rosa de los vientos indica la orientación de cualquier mapa. La rosa de los vientos mantiene una conexión con un marco de datos de tal modo que al girar el marco de datos, la rosa de los vientos también girara con él. Para agregarla a nuestro mapa seleccionamos insertar imagen donde elegiremos las imágenes precargadas por el programa.

Escala gráfica

La barra de escala proporciona una indicación visual del tamaño de las entidades y las distancias entre las entidades en el mapa.

Una escala grafica es una línea o una barra dividida en partes y etiquetada con su longitud sobre el terreno, normalmente en múltiples unidades del mapa, tales como decenas de kilómetros o centenares de millas. Si se amplía o se reduce el mapa, la barra de escala continua siendo correcta.

CAPÍTULO IV. OBTENCIÓN Y MANEJO DE LOS MODELOS DE ELEVACIÓN DIGITAL

4.1 Obtención de Modelos de Elevación Digital

Definición de Modelo de Elevación Digital

Un Modelo de Elevación Digital (MED) es una estructura numérica de datos que proporciona una representación visual de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, permite caracterizar las formas del relieve, morfología del terreno, elementos de origen antrópico y a su vez conocer la vegetación presente sobre la superficie.

Los valores de altura están contenidos en modelos de datos tipo Raster generado a partir del uso de cómputo y software especializado, o bien a partir de datos tipo vectorial llamados TIN (Red de Triángulos Irregulares).

Modelo de datos Raster.

Está basado en localizaciones espaciales, a cada una de las cuales se les asigna el valor de la variable para la unidad elemental de superficie.

Los datos se interpretan como el valor medio de unidades elementales de superficie no nula que cubren el terreno con una distribución regular, con recubrimiento total del área representada, estas unidades se llaman celdas. Esta estructura se obtiene al superponer una retícula sobre el terreno y extraer la altitud media de cada celda, cada una de esas celdas representa una región geográfica.

Modelo de datos vectorial

Está basado en entidades u objetos geométricos definidos por las coordenadas de sus nodos y vértices.

Los atributos del terreno se representan mediante puntos, líneas o polígonos con sus respectivos atributos. Los puntos se definen mediante un par de valores de coordenadas con un atributo de altitud, las líneas mediante un vector de puntos y los polígonos mediante una agrupación de líneas.

Base de Datos

Los Modelos de Elevación Digital son creados por organismos cartográficos que por la cantidad de recursos que reciben de entidades gubernamentales o privadas han puesto a disposición del público de forma gratuita las bases de datos a las cuales se puede acceder a través de internet, a continuación enumeramos las dos principales a nivel mundial, así como la base de datos para nuestro país proporcionado por el INEGI.

ASTER GDEM

El Modelo de Elevación Digital Global fue creado por la NASA y el Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón a partir de 1,3 millones de imágenes estéreo, recogidas por el Radiómetro Espacial Avanzado de Emisiones y Reflexión (ASTER). Estas imágenes están disponibles sin cargo a los usuarios en todo el mundo a través de descargas electrónicas desde su portal oficial, este MED abarca el 99% de la superficie de la tierra con una resolución de aproximadamente 30 metros.

Para poder tener acceso a una extensión de interés en el modelo ASTER GDEM, necesitamos ingresar al portal del sistema de observación de la NASA, dentro del portal podremos observar un mapa en versión satélite, en este podremos delimitar la extensión que deseamos obtener.



Fig. 4.1. Vista principal del portal del Sistema de Observación de la NASA.

MED SRTM

La misión SRTM fue un proyecto internacional llevado a cabo en cooperación entre la NASA, el Centro Aeroespacial de Alemania, la Agencia Espacial Italiana y la Agencia de Inteligencia Geoespacial de los Estados Unidos, el resultado fue un Modelo Digital de Elevaciones de alta resolución y calidad uniforme, los datos fueron tomados con la técnica de interferometría, con radar de apertura sintética, el tiempo de obtención de los datos fue de once días por dos sistemas de radar montados en el transbordador espacial Endeavor.

Los datos los proporciona gratuitamente a través de internet el servicio Geológico de Estados Unidos, únicamente requiere registro en el sitio para proceder a elegir el Raster de interés para el proyecto.

Los datos proporcionados tienen un formato .HGT, estos deben ser procesados previamente para poder ser utilizados por los sistemas de información geográfica.

Continuo de Elevaciones Mexicano

El continuo de elevaciones mexicano proporciona un producto con representación continua del relieve continental mexicano, en él se representan las elevaciones del territorio continental mexicano, mediante valores que indican puntos sobre la superficie de la tierra y dichos puntos están definidos por coordenadas (X, Y) y (Z) el cual representa la altura de dichos puntos. Los puntos se encuentran distribuidos de forma regular.

El CEM tuvo su origen a partir de la Ley del Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica (LSNIEG), que en su artículo 26, señala, que el Subsistema Nacional de Información Geográfica y del Medio Ambiente en su componente geográfico generara datos de relieve continental, insular y submarino.

En el año 2003 fue puesto a disposición del público la primera versión del CEM en la página del INEGI, posteriormente en 2007 se generaron continuos de

la red hidrográfica, cuerpos de agua y curvas de nivel a escala 1:50000. Contar con esta información ha representado ventajas importantes, principalmente para disponer de datos completos y actualizados a los cuales se puede acceder con facilidad y de esta derivar productos con mayor calidad, la segunda versión del CEM se concluyó en el año 2010.

Para el trabajo que desarrollaremos utilizaremos la versión 3.0 generada en el 2012 y puesta a disposición de los usuarios en 2013, la característica principal es la resolución de 15 m, las dos anteriores contaban con una resolución de 30 metros.

Obtención de MED del Continuo de Elevaciones Mexicano

1. Como primer paso, debemos entrar a la página web del INEGI, en la sección de Geografía, elegimos el Menú de temas del cual se desplegara una lista de opciones en donde elegiremos la que señala, Datos de Relieve. En la imagen siguiente se puede observar este proceso.



Fig. 4.2 Portal en línea del INEGI.

2. Una vez dando clic en el menú, Datos de Relieve nos dirigirá al contenido de este, aquí podremos indicar la información que deseamos consultar.

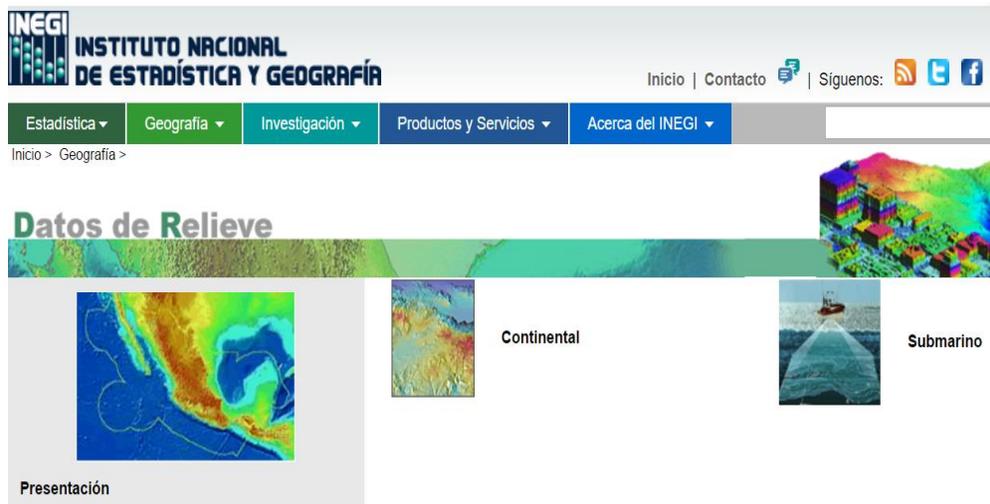


Fig. 4.3 Información disponible sobre el relieve del territorio nacional.

- a) **Opción submarino:** proporciona información que permite conocer las características del relieve submarino y la representación cartográfica de la superficie terrestre haciendo uso de curvas de nivel batimétricas.
- b) **Opción continental:** contiene la información necesaria para la representación a través de los MED las formas de montañas, mesetas, valles, terrazas, etc. Es aquí donde podremos descargar el CEM:



Fig. 4.4 Relieve continental, conjunto de datos disponibles

3. Al seleccionar el menú continental, en productos y servicios podremos identificar la opción de nuestro interés, al ingresar tendremos las opciones ilustradas en seguida:



Fig. 4.5 Opción de descarga para el CEM.

En esta sección se encuentran los aspectos relevantes sobre el CEM como son, su historia, sus objetivos, sus ventajas etc. En la parte final se encuentra la opción “Descargar” daremos clic para ingresar.

4. Se abrirá una nueva página similar a la mostrada en la imagen siguiente con la opción disponible respecto a la resolución del modelo de elevación digital.



Fig. 4.6 Resolución disponible para el MED

Opción 1, permitirá definir la resolución del MDE, esto se ejecutara de forma muy simple, solo es cuestión de seleccionar el tipo de resolución, dependerá de la precisión de los datos que deseamos obtener.

Opción 2, podremos seleccionar la cobertura geográfica de interés, a continuación se detalla las distintas formas de hacerlo.

- **Nacional.** Genera ligas para iniciar la descarga del territorio nacional en su totalidad formado por 11 partes compactadas dispuestos en archivos con extensión .rar, será necesario descargar todas las partes para una correcta descompactación.
- **Área Geoestadística Estatal.** Esta opción delimita los estados que conforman la República Mexicana para seleccionar alguno en particular directamente en el mapa o a través de una lista y así poder acceder a la información que contiene.
- **Área definida por el usuario.** Utilizando la herramienta Dibujar área se dibuja un rectángulo sobre el mapa en donde se localice el sitio de interés, el área máxima para la descarga se ajustara según la resolución seleccionada, una vez definida el área solo es necesario dar clic en la liga para descargar los datos.
- **Carta topográfica 1:50000.** Al hacer clic sobre esta sección, el mapa del territorio nacional se seccionara en una retícula en donde cada celda representa una carta topográfica, seleccionamos la carta topográfica que contenga el área geográfica que deseamos analizar y procedemos a descargar la información seleccionada.

Los formatos en los que se distribuyen la información son los siguientes, BIL (Banda entrelazada por línea), para la descarga de todo el territorio y por entidad federativa en formato tipo Raster, y para las descargas por selección de área y carta topográfica en formato TIF.

MANEJO DE LOS MODELOS DE ELEVACIÓN DIGITAL

Para ilustrar el uso del programa, descargaremos la información a través del proceso descrito anteriormente, la información de nuestro interés la requeriremos con una resolución de 15m y con la opción, Geoestadística Estatal, seleccionaremos directamente en el mapa el Estado de Guerrero para que se genere el enlace que nos permitirá descargar el paquete de información de este estado, abordaremos el manejo de la información obtenida.

El archivo pesa alrededor de 100 MB por lo que demorará unos minutos para que finalice su descarga, el archivo por lo general se guardará automáticamente en alguna carpeta del sistema, será importante cambiar su ubicación a una carpeta conocida del sistema e identificar la información. Una vez ubicada en una carpeta conocida se procederá a extraer la información, debido a su tamaño la información se encuentra comprimida en un archivo con extensión .rar.

A continuación ilustraremos el manejo de los modelos de elevación digital haciendo uso del programa de código abierto QGIS:

Agregar Modelo de Elevación Digital

La información obtenida se encuentra en formato tipo Raster por lo que para agregarlo al entorno de QGIS utilizaremos la herramienta añadir capa, opción capa Raster. A través del cuadro de diálogo ubicamos el archivo de interés con extensión .bil y lo agregamos.

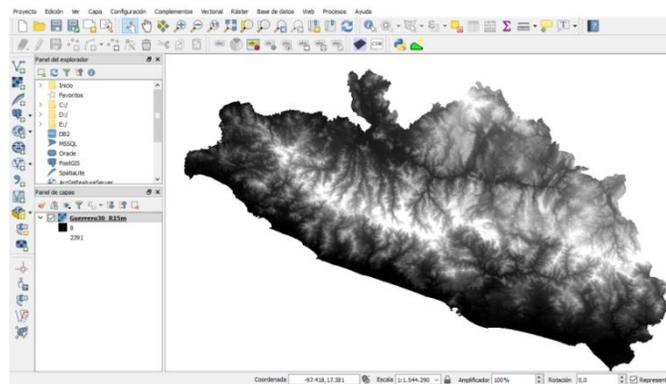


Fig. 4.7 Entorno de trabajo Q GIS con MED

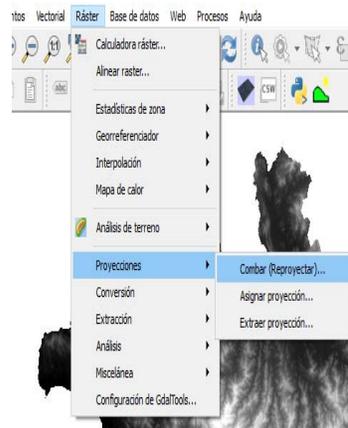
Para agregar una capa vectorial, postGIS, SpatiaLite, WCS etc. Se tendrá que seguir el mismo procedimiento señalado anteriormente con la opción de la capa que deseemos trabajar.

Reproyección a coordenadas UTM

La información de tipo Raster que proporciona el CEM tiene un sistema de coordenadas que QGIS no reconoce, razón por la cual será necesario reproyectar a un sistema de coordenadas de latitud, longitud y elipsoide de referencia WGS84, en este caso trabajaremos en un sistema de proyección más cómodo refiriéndonos al sistema de proyección Universal transversal de Mercator(UTM), será necesario ubicar la Zona UTM donde se encuentre el sitio de interés que deseamos analizar, el territorio nacional se ubica dentro de la Zona 11N a la Zona 16N.

La información obtenida del estado de Guerrero se encuentra cubierto en su totalidad por la Zona UTM 14N en caso de trabajar información de otra entidad, habrá que consultar la Zona en la cual se localiza el sitio en estudio.

Para realizar la Reproyección al sistema de coordenadas UTM hacemos uso del menú Raster donde seleccionamos el submenú proyecciones y en seguida Combar (Reproyectar), haciendo esto nos generara un cuadro de dialogo donde será necesario agregar la capa de entrada, guardar la capa de salida, indicar el sistema de referencia de origen y el sistema de referencia de destino, esto lo podremos seleccionar en el cuadro de dialogo donde se encuentran enlistados los sistemas de referencia de coordenadas de todo el mundo. A continuación se ilustra el proceso descrito.



APLICACIÓN DE PROGRAMAS DE CÓDIGO ABIERTO PARA LA IDENTIFICACIÓN DEL USO Y TIPO DE SUELO, EMPLEANDO EL MÉTODO DE LOS NÚMEROS DE ESCURRIMIENTO DE LA USSC.

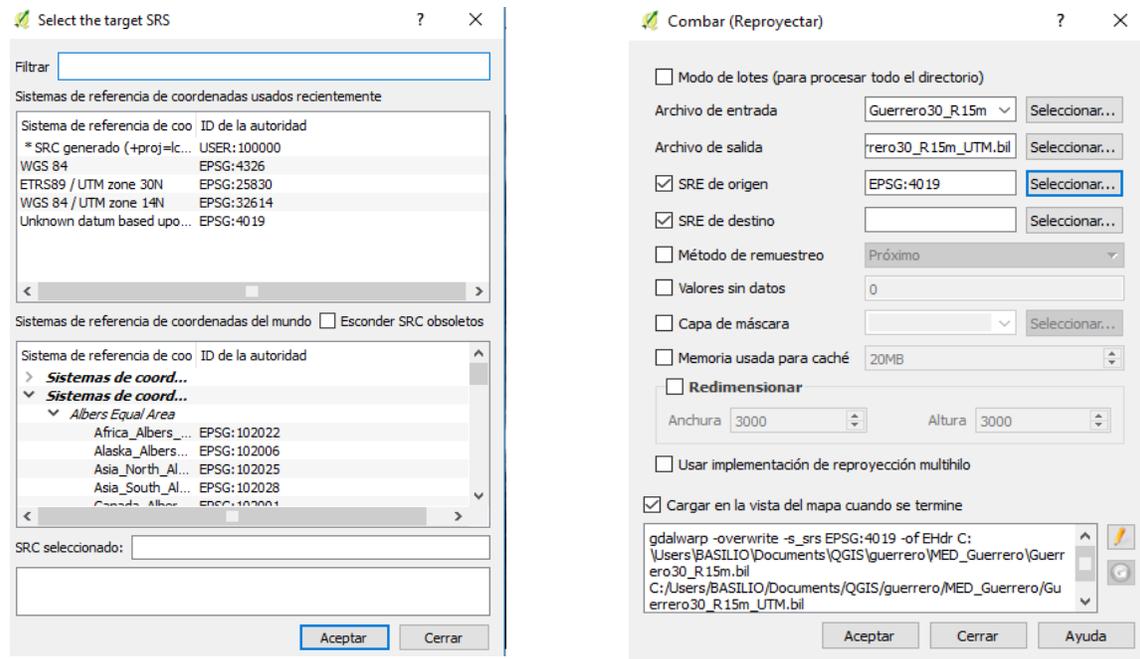


Fig. 4.8 Reproyección a coordenadas UTM.

Obtención de curvas de nivel

Ingresamos al menú Raster y con la herramienta extracción seleccionamos curvas de nivel para que se genere el cuadro de dialogo que solicitara definir las propiedades para esta capa. Es necesario guardar los procesos que realicemos para que se conserven, para definir las curvas de nivel solo será necesario indicar el intervalo entre curvas de nivel así como determinar el atributo para que se adjunte el campo de altitud de otra forma no será posible generar el mapa de elevaciones.

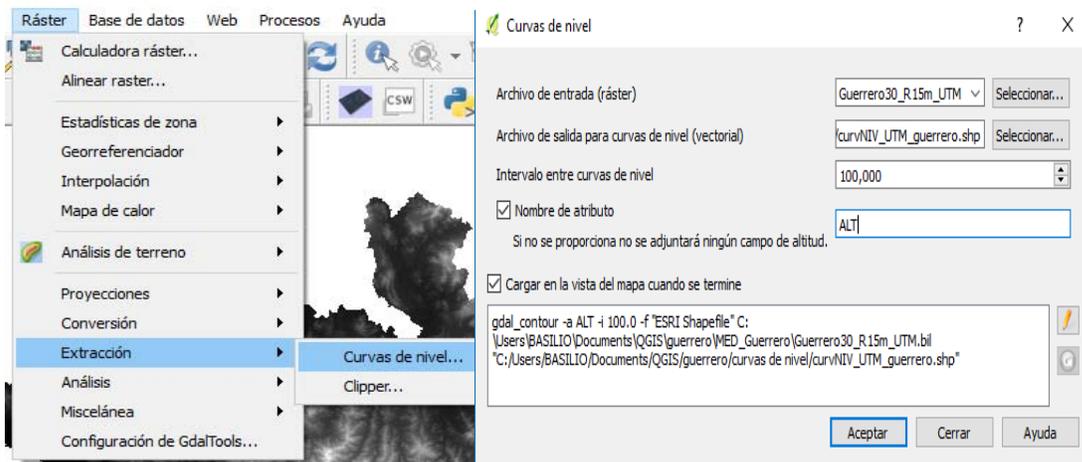


Fig. 4.9 Herramienta para generar curvas de nivel.

Delimitación de cuencas

Una vez que tengamos nuestro Modelo de Elevación Digital en coordenadas planas (UTM) nos dirigimos al menú complementos, donde seleccionaremos el complemento que nos permitirá crear un nuevo directorio de mapas o abrir uno existente.

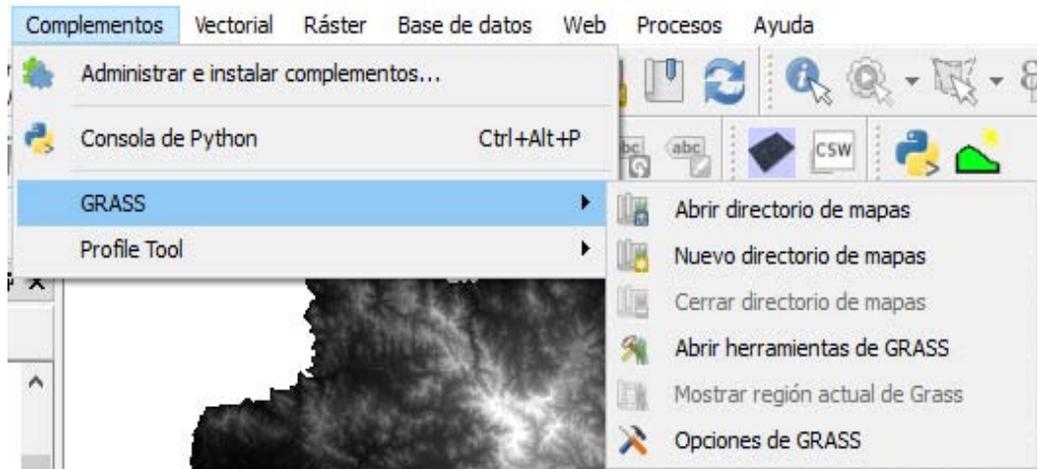


Fig. 4.10 Identificación y uso de complemento GRASS

El SIG GRASS (Geographic Resources Analysis Support System) es un paquete de software de uso libre que permite la gestión de datos geospaciales, procesamiento de imágenes, gráficos y mapas, además el modelado espacial y la visualización de todos estos. En este trabajo lo utilizaremos como un complemento de QGIS la versión GRASS7.0.4.

La creación del nuevo directorio en el sistema lo podremos realizar a través del siguiente cuadro de dialogo.

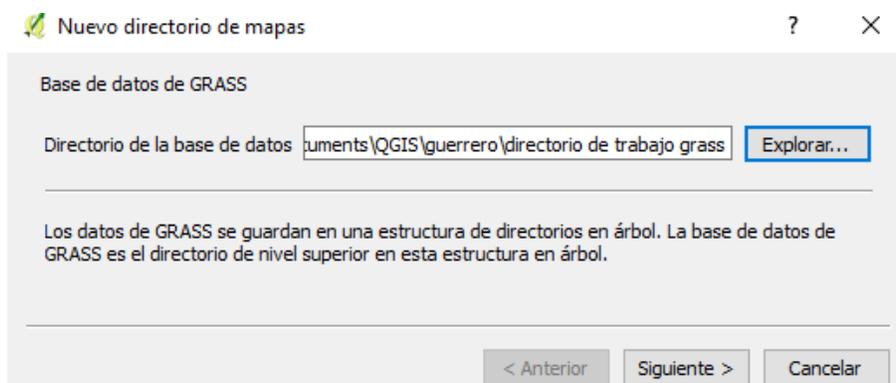


Fig. 4.11 Configuración directorio GRASS

Oprimiendo siguiente podremos crear la localización de mapas para nuestro proyecto.

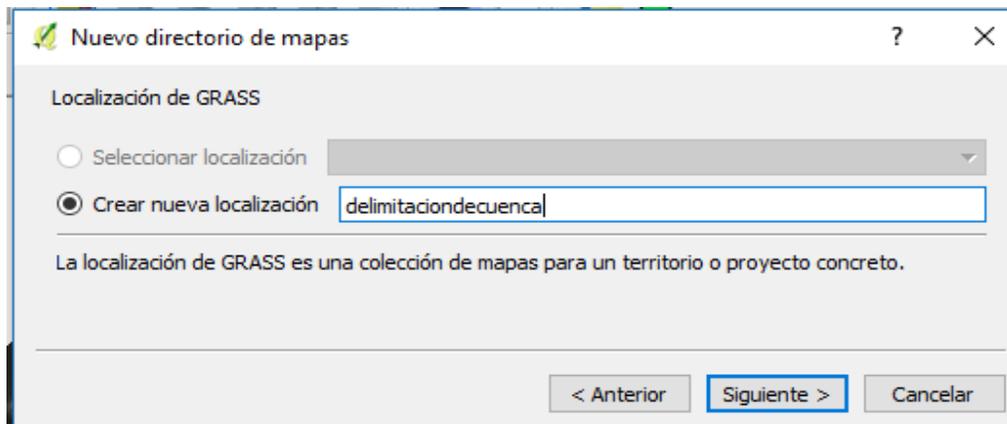


Fig. 4.12 Localización de directorio

Será necesario definir el sistema de coordenadas, recordemos que la información que estamos trabajando se encuentra en la zona UTM 14N por lo cual la seleccionamos, de igual forma definimos el entorno de trabajo en el cual se encuentra la zona que estamos analizando.

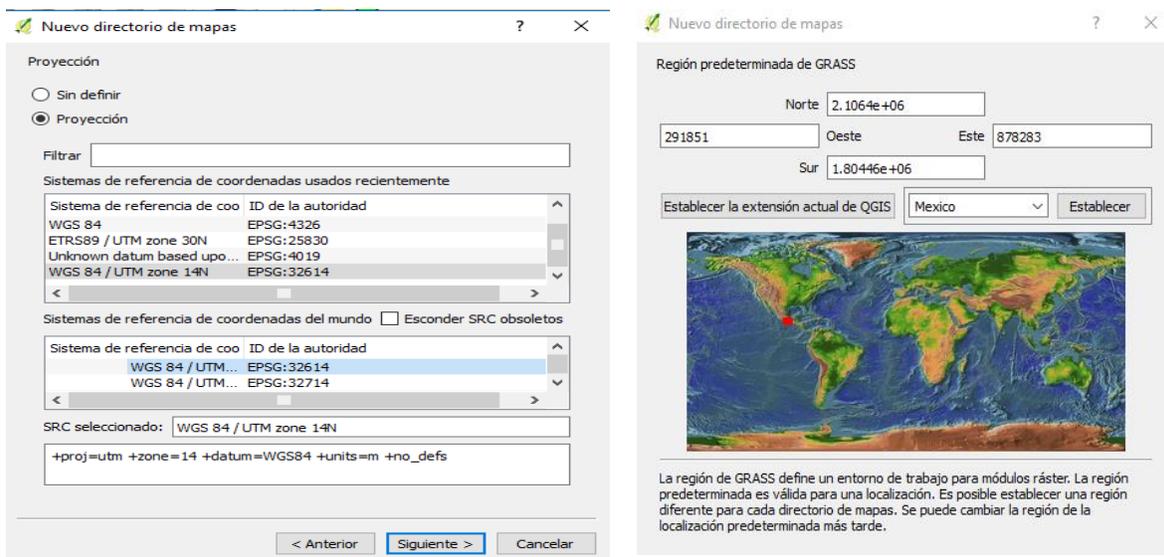


Fig. 4.13 Configuración de sistema de referencia para entorno GRASS.

Asignamos un nombre para el directorio donde se almacenara la información específica de la cuenca de interés que deseamos analizar, dicho directorio se establecerá como el directorio de mapas de trabajo actual.

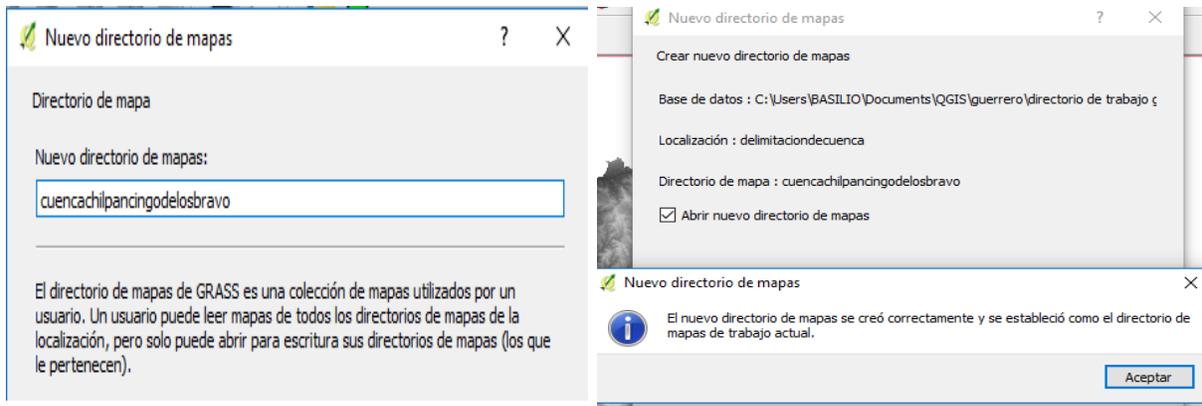


Fig. 4.14 Localización específica de información para un proyecto en GRASS.

Indicamos un entorno de trabajo ya que la zona UTM 14N puede ser bastante amplia, lo haremos con las herramientas del complemento Grass como se aprecia a continuación.

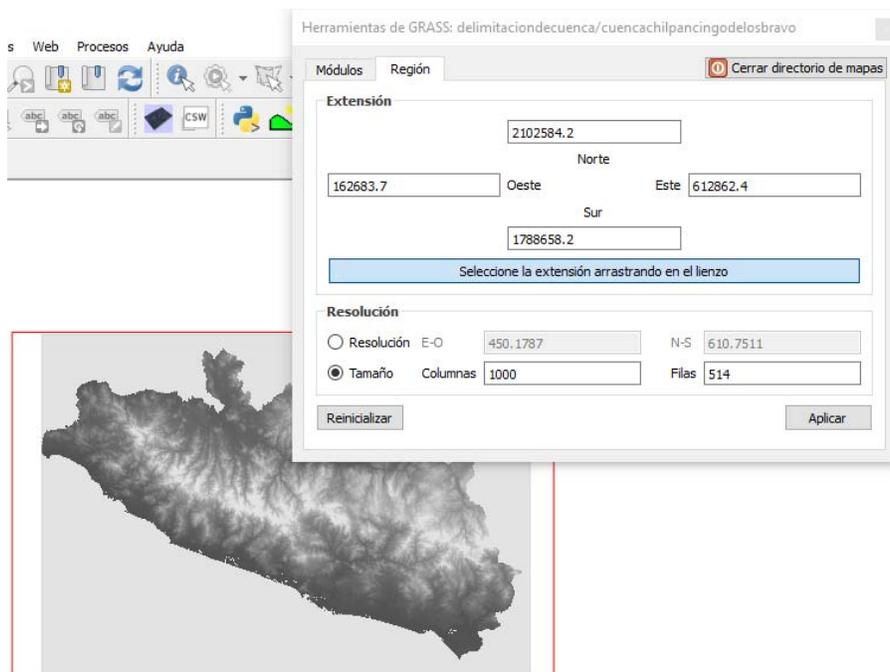


Fig. 4.15 Delimitación de entorno de trabajo con herramienta de GRASS.

Para iniciar a utilizar el complemento Grass será necesario llevar el archivo Raster a un entorno de trabajo Grass para lo cual usando el módulo administración de atributos, importar Raster desde la vista de QGIS realizamos el proceso, a continuación se ilustra la ruta para definirlo.

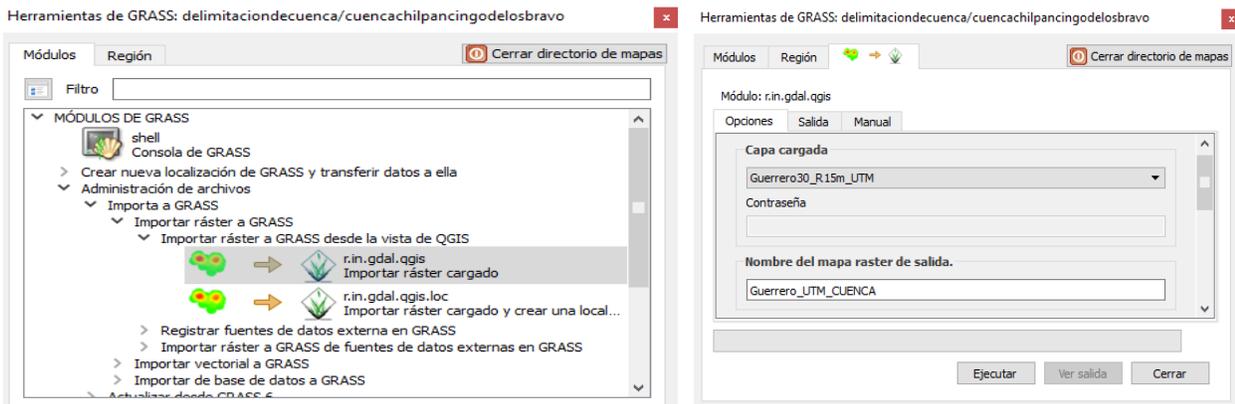


Fig. 4.16 Importar Raster de QGIS a GRASS.

El siguiente paso es delimitar la cuenca, para lo cual utilizando el módulo de Grass, modelos hidrológicos, análisis de cuenca, y anexando los datos solicitados por el cuadro de dialogo en este caso será la capa de entrada y el nombre de cada una de las capas que serán generadas una vez finalizado el proceso. Se ilustra el proceso descrito.

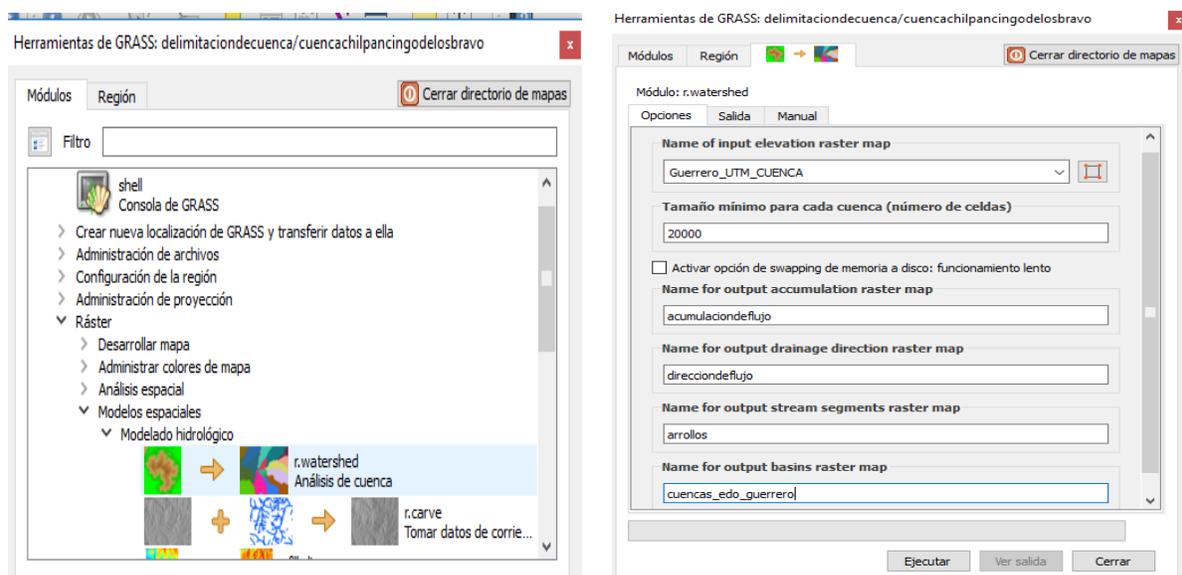


Fig. 4.17 Delimitación de microcuencas

Una vez finalizado el proceso se habrá creado una serie de capas que representaran las características propias del terreno analizado, entre estas se encuentra la acumulación de flujo, dirección de flujo, los arroyos localizados en el área de estudio y de igual forma se habrá generado la delimitación de microcuencas, la figura 4.18 muestra esta delimitación.



Fig. 4.18 Microcuencas identificadas en zona de estudio

Delimitación de microcuencas con Grass

Con el módulo de Grass, administración de archivos, conversión de tipo de mapas, convertimos cada una de las capas que tienen un formato Raster a un formato vectorial para poder analizarla en el entorno QGIS.

Se ha generado un mapa de microcuencas, sin embargo es posible que para los proyectos de ingeniería se requiera conocer las características de una cuenca que englobe dos o más microcuencas, para identificar un área mayor se utiliza el curso que siguen los ríos y el sitio donde desemboca, a continuación se menciona el procedimiento a seguir utilizando las herramientas de QGIS.

Con la herramienta  selección de objetos espaciales por polígono, identificamos y seleccionamos el río de nuestro interés, una vez realizado el

procedimiento anterior en el menú vectorial y con la herramienta selección por localización ingresamos las capas que contienen la información requerida y ejecutamos la operación.

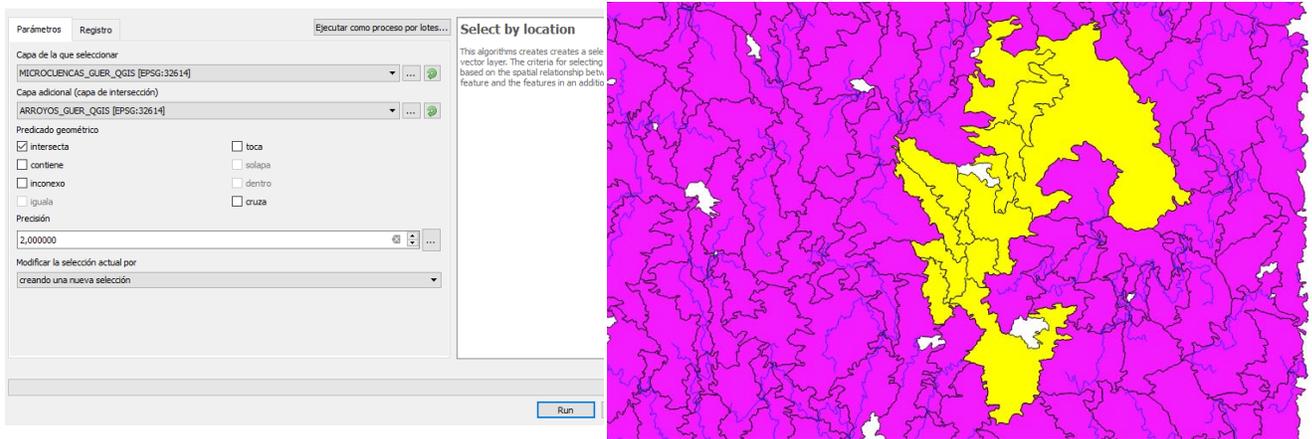


Fig. 19 Selección por localización de microcuencas que alimentan un arroyo.

En la figura 19 se aprecian las microcuencas que alimentan al río en estudio, ahora es necesario guardar solamente los objetos espaciales, en el menú capa seleccionamos el submenú, guardar como, de esta forma asignaremos una ubicación, configurado este proceso ejecutamos el algoritmo y al finalizar obtendremos una vista similar a la mostrada en la figura 4.20.

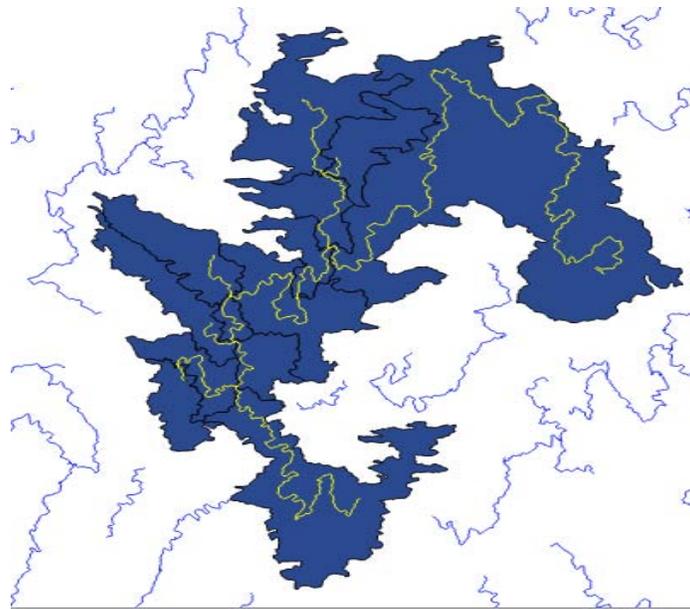


Fig. 4.20 Microcuencas que aportan caudal al río en estudio.

Para poder analizar únicamente el río que hemos definido como el de interés será necesario ingresar a la tabla de atributos de los elementos espaciales y rellenar el campo “etiqueta” con la calculadora de campos, herramienta que nos permitirá realizar cálculos sobre los valores recogidos en campos de la tabla de atributos, asignamos los valores indicados a continuación y una vez finalizado solo será necesario aceptar.

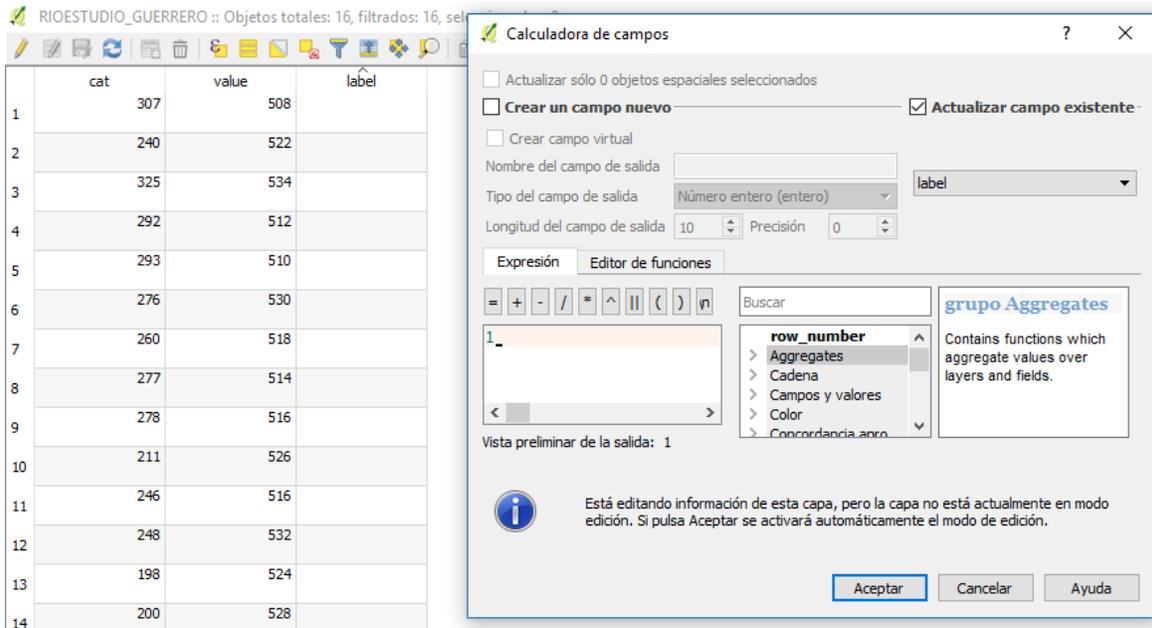


Fig. 4.21 Calculadora de campos

Mediante el menú vectorial y la herramienta de geo proceso, dissolve, se abrirá el cuadro de dialogo que nos requerirá la capa de entrada que se quiere dissolve así como el campo ID requerido, en este caso “etiqueta”, será necesario asignar un nombre a la capa del elemento dissolve, ejecutamos el algoritmo y nos generara el elemento ilustrado a continuación.

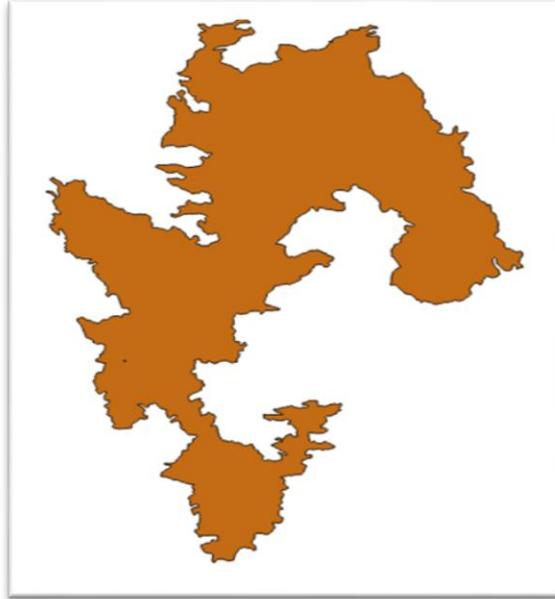


Fig. 4.22 Cuenca hidrológica de interés en zona de estudio.

Se ha generado un solo elemento compuesto por las microcuencas que aportan un gasto al río de interés. Ahora en el menú procesos en la caja de herramientas buscamos la opción cortar elementos vectoriales con polígonos para aislar el río de interés de los que se identificaron en el estudio general y de esta forma obtener el río y la superficie que le aportara caudal.

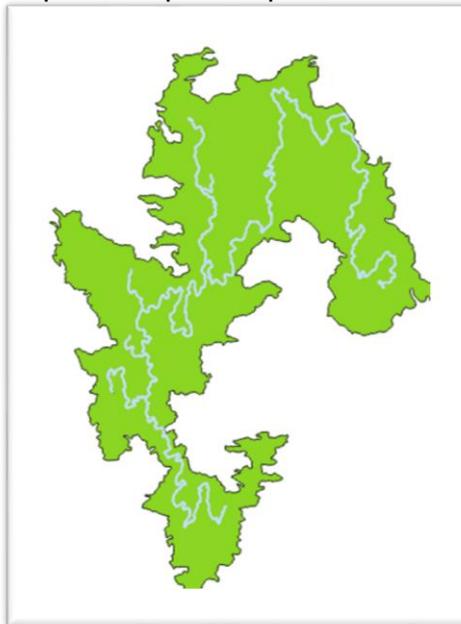


Fig. 4.23 Vista general de la cuenca aislada

Para conocer el área de drenaje y el perímetro de la cuenca que se ha definido entramos a la tabla de atributos de la capa y activando el conmutador de edición (), agregamos el campo nuevo () que se requiere conocer, se asigna un nombre, el tipo de información que maneja el campo, pueden ser números o texto y la longitud de los caracteres que permitirá. Realizando lo anterior se hará uso del dialogo de expresiones para indicar la función que operara sobre la capa de interés, en este caso la cuenca.

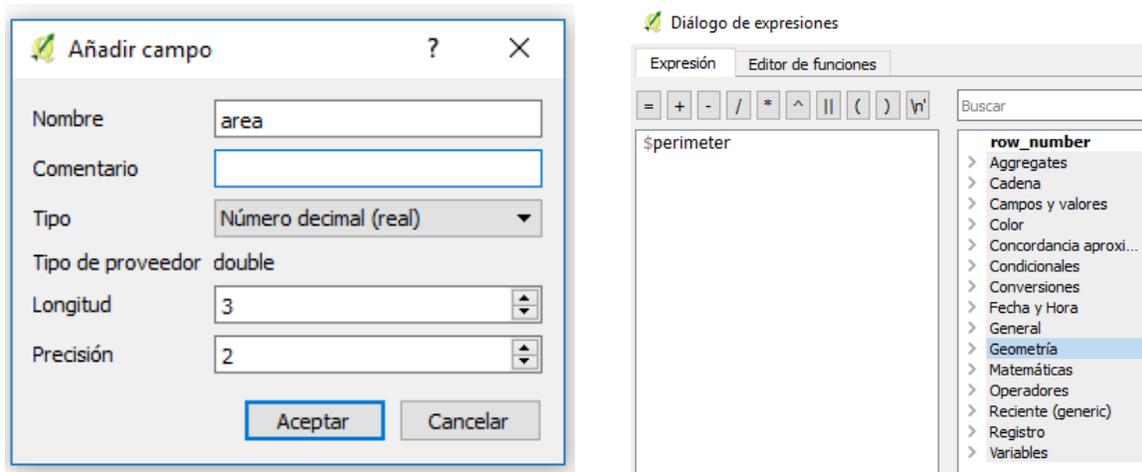


Fig. 4.24 Añadir campo, área y perímetro de la cuenca.

Una vez definidas las características de los campos y las funciones con sus respectivos operadores aceptamos para que se nos generen los procesos, actualizamos la tabla de atributos y tendremos las características requeridas, para el ejercicio que se está realizando se tendrá un área de drenaje de 503.24 km² y un perímetro de 360.76 km.

La tabla de atributos presenta la base de las entidades geográficas que permite la visualización, consulta y el análisis de los datos, esta tabla está constituida por filas que representan un objeto y columnas que representan las características de los objetos, estos campos pueden almacenar un tipo de información específica, compuesta principalmente por tres tipos de datos, texto, un número o una fecha.

4.2 Mapas de uso de suelo y vegetación

Al igual que los Modelos de Elevación Digital, los mapas de uso de suelo y vegetación han sido elaborados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, la información cubre la totalidad del territorio nacional. A partir de 1978 se inició la generación de cartografía sobre la cubierta vegetal y el uso de suelo en México en diversas escalas; 1:50000, 1:250000 y 1:1000000. La información es de carácter público y se encuentra en formato Shape, lo cual permite que la información se pueda trabajar en cualquier programa de Sistemas de Información Geográfica, dándole mayor rapidez al proceso de actualización de los datos cartografiados.

La información existente de uso de suelo y vegetación escala 1:250000 ha sido creada a través de cinco series en diversos periodos, serie I: 1985, serie II: 1993, serie III: 2002, serie IV: 2007, y serie V: 2011. La serie V de uso de suelo y vegetación consta de 149 conjuntos de datos digitales y un conjunto nacional de formato Shape. Esta información se obtuvo a partir de la interpretación visual de imágenes Landsat TM5 del año 2011 multiespectrales y respaldada con trabajos de verificación de campo.

Los datos que conforman los mapas están estructurados en 13 capas, 6 de puntos, 6 de polígonos y 1 de líneas, estas capas, representan las diferentes características propias de la cobertura vegetal y los usos a que se dedica una vez que han cambiado las principales actividades agrícolas y ganaderas, así como la ubicación de líneas y puntos de importancia ecológica.

Los usos de suelo y vegetación están contenidos en las siguientes capas que conforman la serie V:

NOMBRE DE LA CAPA	GEOMETRIA	CLAVE DE CLASIFICACION
Vegetación	Polígonos	Usvs5v
Agricultura	Polígonos	Usvs5g
Aspecto matorral	Polígonos	Usvs5a
Nomadismo	Polígonos	Usvs5n
Altura de vegetación	Polígonos	Usvs5h
Cobertura arbórea	Polígonos	Usvs5d
Especies vegetales	Puntos	Usvs5e
Cultivos	Puntos	Usvs5c
Actividades pecuarias	Puntos	Usvs5p
Actividades forestales	Puntos	Usvs5f
Sitios de importancia ecológica	Puntos	Usvs5i
Otras actividades	Puntos	Usvs5o
Líneas de importancia ecológica	Líneas	Usvs5l

Tabla 4.1 Capas de Uso de suelo y vegetación

La información se encuentra estructurada a partir de una base de datos que contiene la información referente a un tema en particular y que permite visualizar y obtener gráficos de la totalidad o bien de una región de interés. Las capas mencionadas anteriormente están comprendidas en un grupo de archivos que representan la parte grafica espacial y un componente tabular, integrado por una serie de tablas que se relacionan con el componente gráfico y lo describen. Los datos principales que presenta la información son la referencia geográfica y las características topológicas que le permiten contener información y cuantificar sus áreas, longitudes y ubicación.

El proceso para obtener la información en formato digital es similar al realizado para la descarga de los MED, se encuentra disponible en el portal oficial del INEGI, la versión Beta del sitio presenta mayor facilidad de manejo para la obtención de mapas de uso de suelo y vegetación ya que se encuentran categorizados por tema, área geográfica, e insumos.

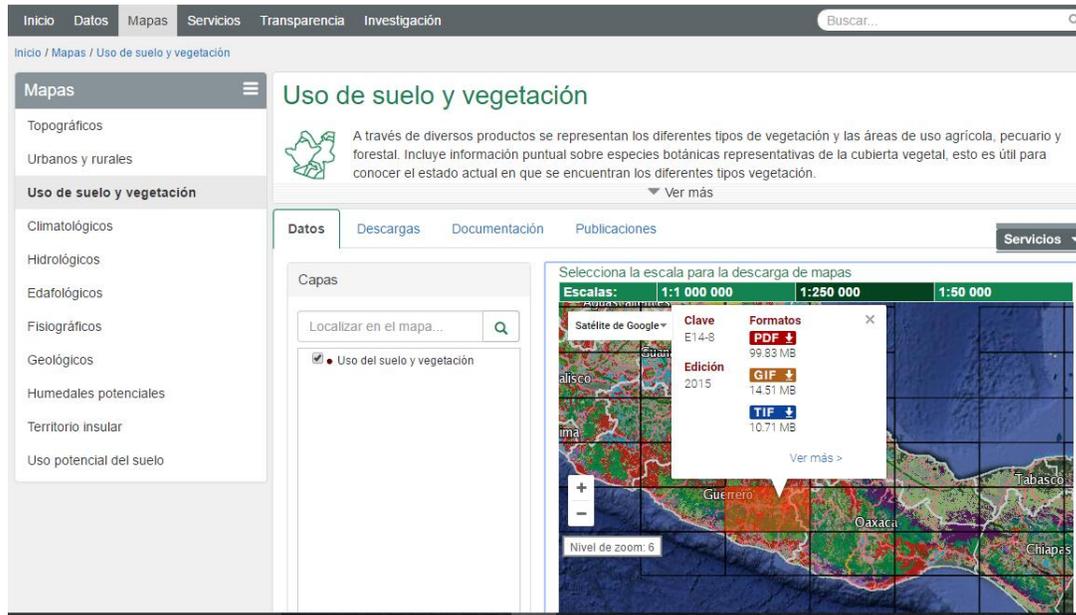


Fig. 4.25 Vista general portal de INEGI

Procedimiento para obtener los mapas de uso de suelo y vegetación:

1. Seleccionar el tipo de mapa de nuestro interés.
2. Elegir la escala para la descarga del mapa, se generara una retícula sobre todo el territorio de la República Mexicana.
3. Al seleccionar la retícula en donde se encuentra el sitio que deseamos analizar, podremos seleccionar entre los múltiples formatos el que se adecue a nuestras necesidades.
4. Al descargar la información solo será necesario ubicarla en una carpeta conocida del sistema para su posterior procesamiento.

Los mapas de uso de suelo y vegetación se presentan en formato vectorial y la información que contiene la capa podrá ser analizada haciendo uso de las herramientas de QGIS. Para definir o extraer un área en particular, ingresar al menú vectorial y con la herramienta geoprosesos, cortar, seleccionamos las capas que se ajusten a las extensiones que se requieren analizar, al identificar cada uno de los usos, podremos identificar las extensiones para cada superficie, a continuación se muestra la información proporcionada por esta capa contenida en la tabla de atributos.

APLICACIÓN DE PROGRAMAS DE CÓDIGO ABIERTO PARA LA IDENTIFICACIÓN DEL USO Y TIPO DE SUELO, EMPLEANDO EL MÉTODO DE LOS NÚMEROS DE ESCURRIMIENTO DE LA USSC.

	OBJECTID	CVE_V	TIP_INFO	TIP_ECOV	TIP_VEG	DESVEG	FASE_VS	OTROS	AREA
53	80586	VSa/BPQ	ECOLÓGICA-FLORÍSTICA-FISONÓMICA	BOSQUE DE CONÍFERAS	BOSQUE DE PINO-ENCINO	SECUNDARIA	ARBUSTIVA	NO APLICABLE	4.59
54	80612	VSa/BPQ	ECOLÓGICA-FLORÍSTICA-FISONÓMICA	BOSQUE DE CONÍFERAS	BOSQUE DE PINO-ENCINO	SECUNDARIA	ARBUSTIVA	NO APLICABLE	2.66
55	80613	VSa/BPQ	ECOLÓGICA-FLORÍSTICA-FISONÓMICA	BOSQUE DE CONÍFERAS	BOSQUE DE PINO-ENCINO	SECUNDARIA	ARBUSTIVA	NO APLICABLE	3.07
56	80616	VSa/BPQ	ECOLÓGICA-FLORÍSTICA-FISONÓMICA	BOSQUE DE CONÍFERAS	BOSQUE DE PINO-ENCINO	SECUNDARIA	ARBUSTIVA	NO APLICABLE	10.65
57	80618	VSa/BPQ	ECOLÓGICA-FLORÍSTICA-FISONÓMICA	BOSQUE DE CONÍFERAS	BOSQUE DE PINO-ENCINO	SECUNDARIA	ARBUSTIVA	NO APLICABLE	35.17
58	80619	VSa/BPQ	ECOLÓGICA-FLORÍSTICA-FISONÓMICA	BOSQUE DE CONÍFERAS	BOSQUE DE PINO-ENCINO	SECUNDARIA	ARBUSTIVA	NO APLICABLE	0.20
59	80642	VSa/BPQ	ECOLÓGICA-FLORÍSTICA-FISONÓMICA	BOSQUE DE CONÍFERAS	BOSQUE DE PINO-ENCINO	SECUNDARIA	ARBUSTIVA	NO APLICABLE	12.58
60	82209	VSA/BPQ	ECOLÓGICA-FLORÍSTICA-FISONÓMICA	BOSQUE DE CONÍFERAS	BOSQUE DE PINO-ENCINO	SECUNDARIA	ARBÓREA	NO APLICABLE	2.23
61	82214	VSA/BPQ	ECOLÓGICA-FLORÍSTICA-FISONÓMICA	BOSQUE DE CONÍFERAS	BOSQUE DE PINO-ENCINO	SECUNDARIA	ARBÓREA	NO APLICABLE	0.05
62	82812	VSa/BQ	ECOLÓGICA-FLORÍSTICA-FISONÓMICA	BOSQUE DE ENCINO	BOSQUE DE ENCINO	SECUNDARIA	ARBUSTIVA	NO APLICABLE	0.42
63	82829	VSa/BQ	ECOLÓGICA-FLORÍSTICA-FISONÓMICA	BOSQUE DE ENCINO	BOSQUE DE ENCINO	SECUNDARIA	ARBUSTIVA	NO APLICABLE	2.63
64	82833	VSa/BQ	ECOLÓGICA-FLORÍSTICA-FISONÓMICA	BOSQUE DE ENCINO	BOSQUE DE ENCINO	SECUNDARIA	ARBUSTIVA	NO APLICABLE	2.23
65	82835	VSa/BQ	ECOLÓGICA-FLORÍSTICA-FISONÓMICA	BOSQUE DE ENCINO	BOSQUE DE ENCINO	SECUNDARIA	ARBUSTIVA	NO APLICABLE	3.33
66	82839	VSa/BQ	ECOLÓGICA-FLORÍSTICA-FISONÓMICA	BOSQUE DE ENCINO	BOSQUE DE ENCINO	SECUNDARIA	ARBUSTIVA	NO APLICABLE	0.08
67	82845	VSa/BQ	ECOLÓGICA-FLORÍSTICA-FISONÓMICA	BOSQUE DE ENCINO	BOSQUE DE ENCINO	SECUNDARIA	ARBUSTIVA	NO APLICABLE	2.93
68	82878	VSa/BQ	ECOLÓGICA-FLORÍSTICA-FISONÓMICA	BOSQUE DE ENCINO	BOSQUE DE ENCINO	SECUNDARIA	ARBUSTIVA	NO APLICABLE	0.63
69	82897	VSa/BQ	ECOLÓGICA-FLORÍSTICA-FISONÓMICA	BOSQUE DE ENCINO	BOSQUE DE ENCINO	SECUNDARIA	ARBUSTIVA	NO APLICABLE	5.72
70	86840	VSa/BQP	ECOLÓGICA-FLORÍSTICA-FISONÓMICA	BOSQUE DE ENCINO	BOSQUE DE ENCINO-PINO	SECUNDARIA	ARBUSTIVA	NO APLICABLE	0.66
71	86842	VSa/BQP	ECOLÓGICA-FLORÍSTICA-FISONÓMICA	BOSQUE DE ENCINO	BOSQUE DE ENCINO-PINO	SECUNDARIA	ARBUSTIVA	NO APLICABLE	2.92
72	86847	VSa/BQP	ECOLÓGICA-FLORÍSTICA-FISONÓMICA	BOSQUE DE ENCINO	BOSQUE DE ENCINO-PINO	SECUNDARIA	ARBUSTIVA	NO APLICABLE	3.68
73	106732	ZU	ZONA URBANA	NO APLICABLE	NO APLICABLE	NO APLICABLE	NO APLICABLE	ZONA URBANA	0.25

Fig. 4.26 Tabla de atributos para capa de uso de suelo y vegetación.

La información está contenida en columnas y filas, a continuación se menciona el tipo de información a la que hace referencia o las características de cada objeto enlistado.

Clave: contiene el código numérico que indica cada una de las clases definidas en cada capa de información.

Tip_inf: se refiere a la agrupación vegetal que se presenta en la información (ecológica-florística-fisonómica, agrícola-pecuario-forestal o complementaria.

Tip-ecov: se presenta el tipo de ecosistema vegetal al que corresponde la información.

Tip_veg: contiene el nombre de cada uno de los tipos de vegetación que se presentan en la información.

Desveg: presenta el nombre de la etapa sucesional en que se encuentra el tipo de vegetación, puede ser primaria, considerada cuando la vegetación no presenta alteración significativa o la degradación no es tan manifiesta o vegetación secundaria cuando un tipo de vegetación es eliminado o alterado por diversos factores humanos o naturales.

Fase_vs: se refiere al estado que guarda la vegetación secundaria

Otros: contiene aquellas características de la información diferentes al tipo de vegetación.

Información Ecológica-florística-fisonómica.

Se enlistan los diferentes sistemas manejados por el hombre y que constituyen los usos del suelo a partir de la modificación de la cobertura vegetal.

Información Agrícola- pecuario-forestal

Agrícola. Presenta los diferentes tipos de agricultura que se desarrollan en nuestro país, de igual forma también plantaciones forestales, bosques y pastizales cultivados.

Pecuario. Lugares donde se realiza la explotación ganadera de manera intensiva o extensiva para la obtención de productos como carne, leche, huevo, etc.

Forestal. Superficie donde se da la utilización de especies forestales cultivadas a propósito o bien manejadas para la obtención de productos como madera, aceites, o celulosa.

Información complementaria

Se incluyen los elementos que no forma parte de la cobertura vegetal, se considera: cuerpos de agua, áreas desprovistas de vegetación, asentamientos humanos, zonas urbanas.

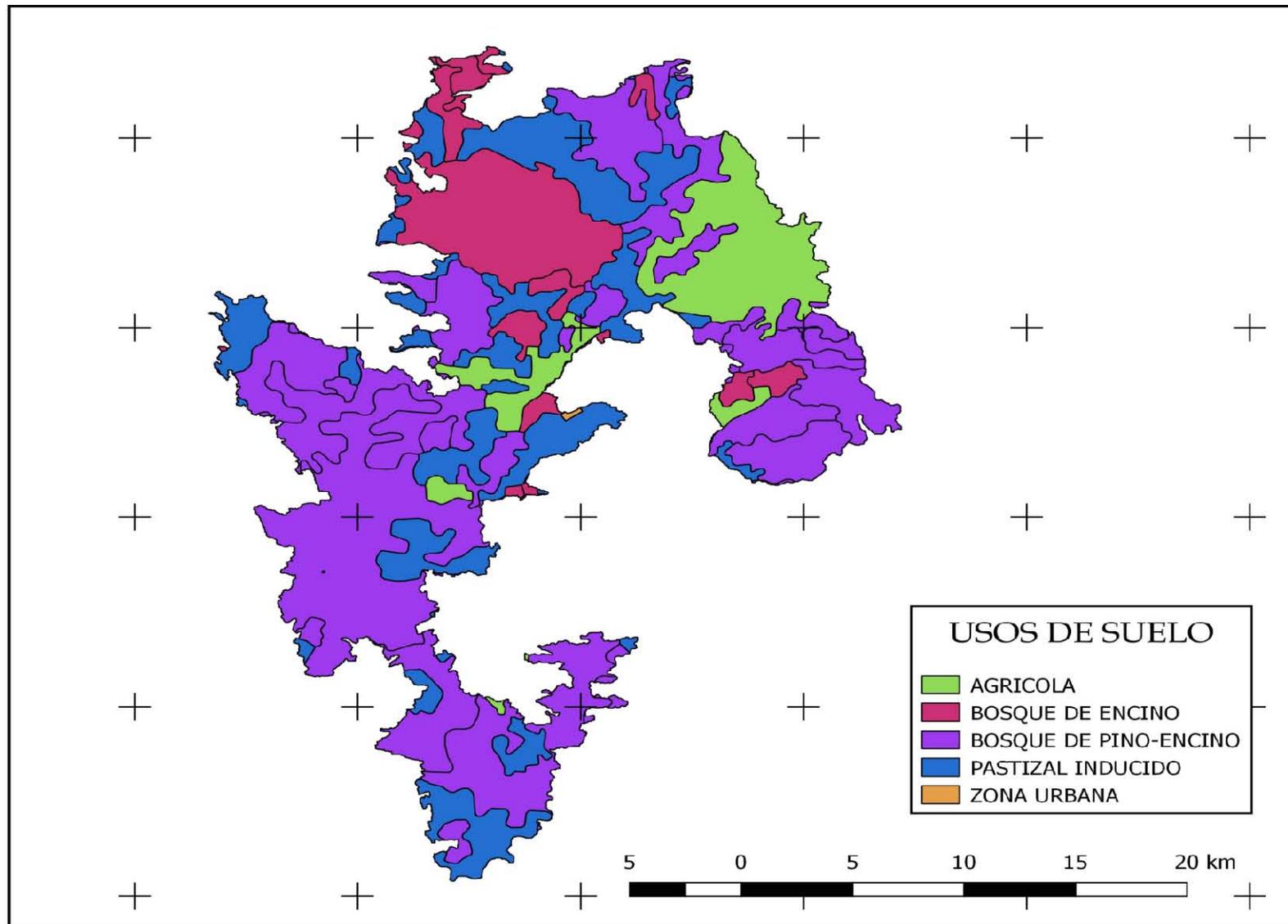


Fig. 4.27 Agrupaciones vegetales presentes en el área de estudio.

4.3 Mapas Edafológicos

Los mapas edafológicos contienen la representación cartográfica de las características morfológicas, físicas y químicas de los suelos, para conocer las cualidades de los suelos permite hacer un uso racional especialmente en actividades relativas a la explotación agrícola, y en labores de reforestación.

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía ha generado el conjunto de datos vectoriales de suelos con información acerca de la textura superficial dominante y en su caso las limitantes químicas (sal, sodio) o físicas (roca, tepetate, pedregosidad), características principales que afectan el uso y manejo del suelo. La información se encuentra disponible en versión digital en archivos vectoriales con extensión *SHP, el proceso para obtenerlos es prácticamente similar al procedimiento realizado para la obtención de mapas de uso de suelo y vegetación.

La información se encuentra disponible en escalas 1:250,000 con una cobertura por hoja de $1^{\circ} \times 2^{\circ}$ y 1:1,000,000 con una cobertura de $4^{\circ} \times 6^{\circ}$, de igual forma se puede disponer del continuo nacional con escala 1:250,000. La información edafológica contenida en las capas vectoriales presenta la distribución geográfica de los suelos en el país, para su clasificación se utilizó el Sistema Internacional Base Referencia Mundial del Recurso Suelo (WRB) publicado en 1999 por la Sociedad Internacional de las Ciencias del suelo, Centro Internacional de Referencia e Información en suelos (ISRIC) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO/ UNESCO).

En las cartas edafológicas, se delimitan con líneas continuas las unidades edafológicas y con colores el tipo de suelo predominante de varias unidades de suelo o de una sola, estas unidades se denominan en función de la clasificación de los perfiles y factores ambientales como el clima, la geología, la vegetación, el uso de suelo, la geología, la topografía y la geomorfología. Se identifican por medio de una clave jerarquizada constituida por uno, dos y hasta tres tipos de suelo siendo predominante la primera.

La información obtenida de la plataforma del INEGI contiene en la tabla de atributos la distribución geográfica de los suelos así como su jerarquización, para su comprensión a continuación se describen las claves que identifican los suelos y de igual forma sus características. Como ejemplo tenemos el siguiente tipo de suelo: **VRhu+LVcr-Is-n/3**.

VR se refiere al primer tipo de unidad y es predominante sobre el segundo en este caso se conoce como Vertisol caracterizado por su alto contenido de arcilla la cual se expande con la humedad formando sobre la superficie pequeños montículos conocidos como micro relieve gilgai, **hu** se refiere al subtipo de suelo conocido como pelico y significa negro. **LV** es el segundo tipo de suelo presente llamado Luvisol caracterizado por la acumulación de arcilla en el subsuelo, **cr** corresponde al subtipo de suelo conocido como crómico cuyo significado es rojizo. **Is** se refiere a la fase química y se refiere a la presencia de sales solubles en el suelo los cuales limitan o impiden el desarrollo de los cultivos. Se puede identificar la fase ligeramente salina identificada en la carta con el símbolo **Is**, fase caracterizada por la baja presencia en los suelos, la fase moderadamente salina, identificada por el símbolo **ms**, presenta un alto contenido de sales en el subsuelo lo que impide que la mayoría de los cultivos no se desarrollen o el rendimiento de estos sea disminuido, para la fase fuertemente salina, **fs** se presenta cuando el suelo tiene el mayor nivel de salinidad limitando el desarrollo de los cultivos.

A su vez el símbolo **n** representa una fase química conocida como fase sódica, se presenta cuando existe una gran concentración de sodio que impide o limita el desarrollo de los cultivos se presentan dos intervalos, sódico cuando $15 \leq n < 40\%$ y $N < 40\%$, por último se encuentra indicada la clase textural de los suelos dentro de los 30 cm superficiales, esta indica el tamaño general de las partículas que forman el suelo, el número 1 representa los suelos arenosos de textura gruesa con contenido mayor de 65% de arena, el número 2 se refiere a los suelos de textura media, equilibrados en cuanto al contenido de arena, arcilla y limo, por último el número 3 denota los suelos arcillosos de textura fina, contenido

mayor al 35% de arcilla con un mal drenaje, escasa porosidad, y desfavorables para el laboreo.

En la figura 4.28, se muestra la clasificación hidrológica de los suelos de acuerdo a su capacidad para conducir el agua.

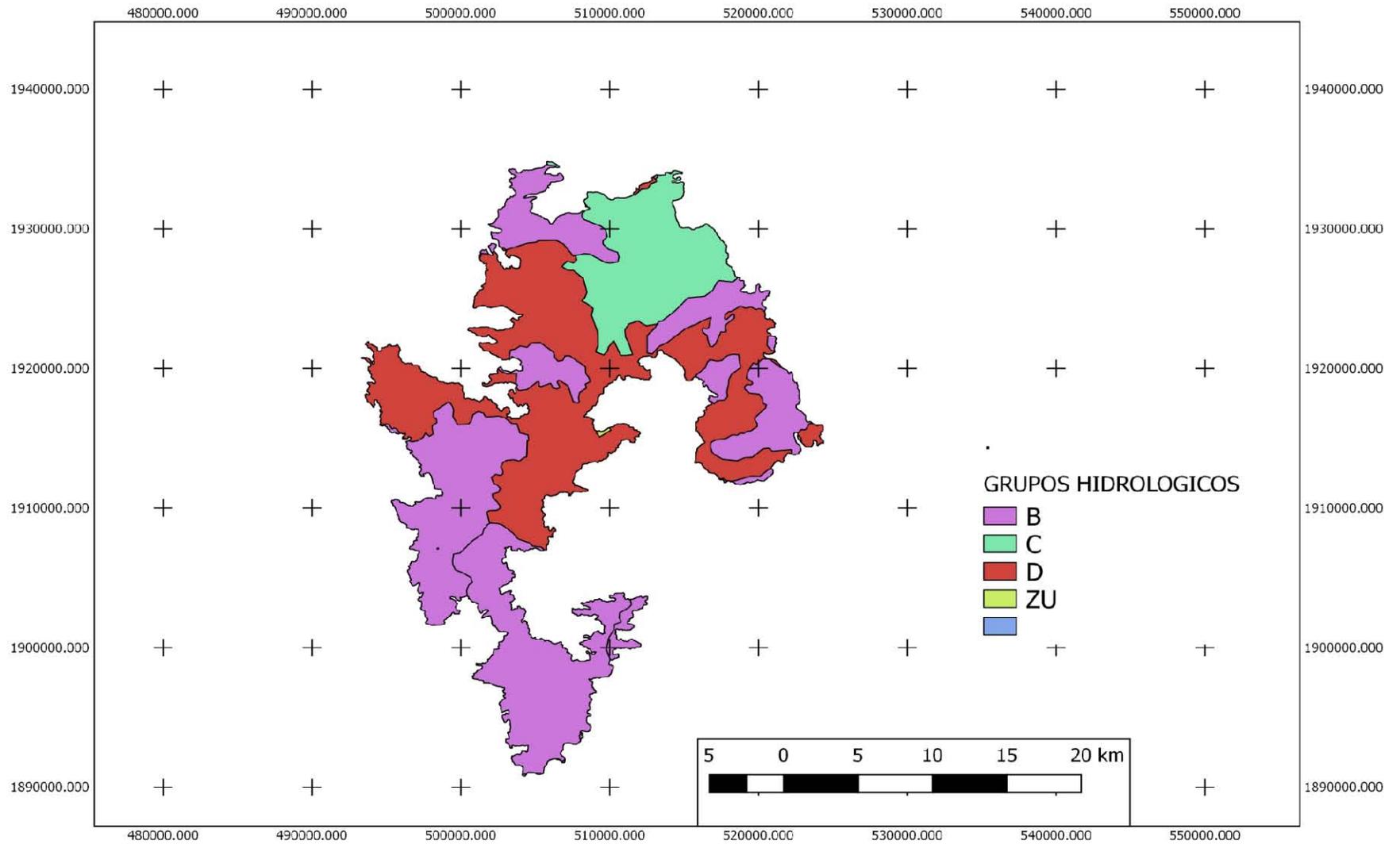


Fig. 4.28 capacidad de infiltración de los suelos.

CAPITULO V. CASO PRÁCTICO DE APLICACIÓN

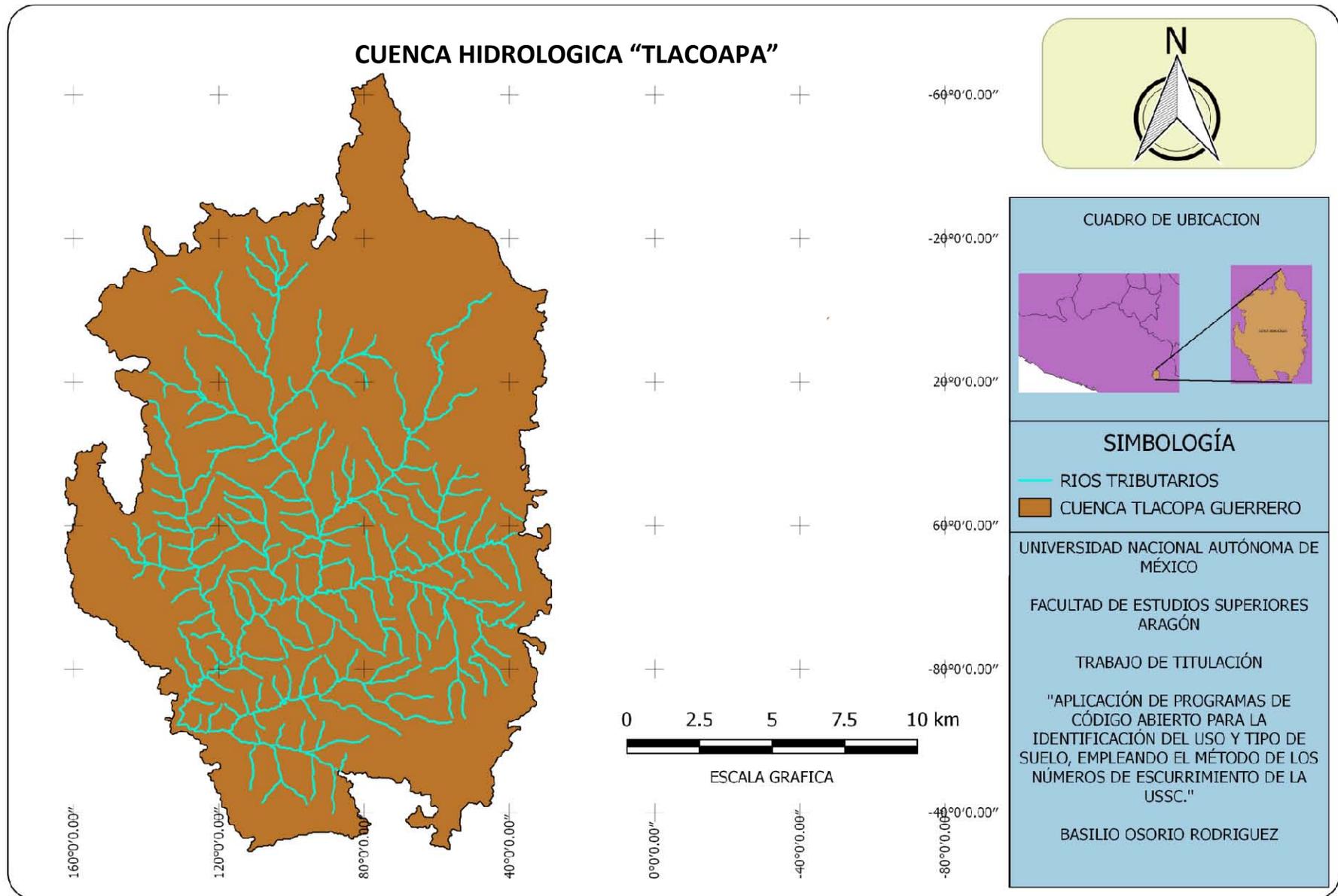
El territorio nacional mexicano cuenta con una superficie continental³ de 1,960,189 km², esta superficie se caracteriza por ser muy accidentada, el país se divide en 15 provincias fisiográficas, estas son la península de Baja California, la Llanura Sonorense, la Sierra Madre Occidental, las Sierras y Llanuras de Norteamérica, la Sierra Madre Oriental, la Gran Llanura de Norteamérica, la Llanura costera del Golfo Norte, la Meseta central, el Eje Neovolcánico, la Península de Yucatán, la Sierra Madre del sur, la Llanura Costera del Pacífico, la Llanura costera del Golfo Sur, la Sierras de Chiapas Guatemala y la Cordillera Centroamericana.

El sitio elegido para aplicar la metodología explicada anteriormente se encuentra en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del sur y en la subprovincia de la cordillera costera del sur, la cuenca hidrológica definida abarca la extensión territorial de tres municipios del estado de Guerrero los cuales son Tlacoapa, Atlamajalcingo del Monte y Malinaltepec. Abarca una superficie de 291.09 km² y un perímetro de 140.32 km.

Desde el punto de vista de su salida, existen fundamentalmente dos tipos de cuenca, endorreica y exorreica, en este caso la cuenca que se ha definido presenta las características de una cuenca exorreica debido a que el punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca, mejor dicho el cauce principal se incorpora a otra corriente.

A continuación se presenta la cuenca hidrológica definida al utilizar los programas de código abierto utilizando la información disponible del territorio nacional mexicano, así mismo se presenta la red de drenaje para la cuenca.

³ INEGI. Marco Geoestadístico Nacional 2010.



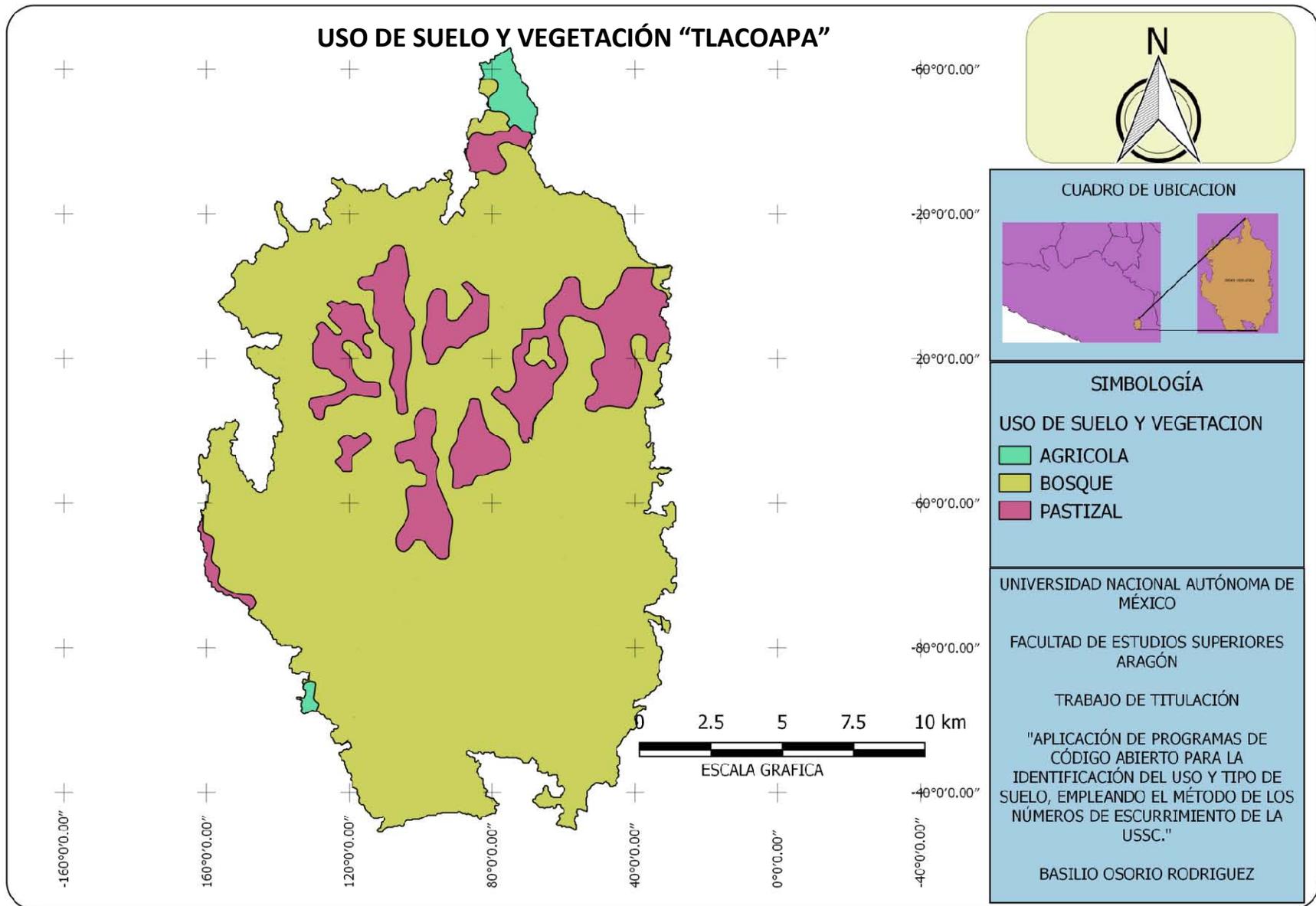
La red de drenaje se describe principalmente por el orden de las corrientes, la longitud de sus tributarios, la densidad de la corriente y densidad de drenaje. Las corrientes pueden dividirse en tres clases generales dependiendo del tipo de escurrimiento, así mismo se encuentra relacionado con las características físicas o las condiciones climáticas de la cuenca, de esta manera, una corriente puede ser efímera, intermitente o perenne. El relieve de la superficie que conforma la cuenca en estudio propicia la presencia de corrientes efímeras y corrientes perenne.

Para definir el orden de las corrientes es necesario conocer el grado de bifurcación dentro de la cuenca, el procedimiento más común para esta clasificación considera como corriente de orden uno aquella que no tienen ningún tributario; de orden dos a las que solo tienen tributarios de orden uno; de orden tres a las que solo tienen tributarios de orden dos, de esta forma el orden de la corriente principal indica la extensión de la red de corrientes dentro de la cuenca, en la cuenca que estudiamos se tienen una corriente de orden 4.

Uso de suelo y vegetación

En el área comprendida por la cuenca se predominan tres tipos de uso de suelo y vegetación, bosque, pastizal inducido y uso agrícola, de estos tres los bosques abarcan una superficie de 246.24 km² equivalente al 84.6%, para el pastizal inducido 41.36 km² equivalente al 14.20% mientras que para el uso agrícola se tiene una superficie de 3.49 km² equivalente al 1.20% de la superficie total.

En el mapa mostrado a continuación se presenta la distribución del uso de suelo existente.



Edafología

De acuerdo a la información recabada en la cuenca hidrológica definida, encontramos cuatro tipos de suelo predominantes, a continuación se hace una descripción breve de los mismos:

1. **Regosol.** Suelo somero poco desarrollado por lo que no se presentan capas muy diferenciadas entre sí, son pobres en materia orgánica y están asociados con Litosoles y afloramientos de roca o tepetate. Se incluyen en este grupo los suelos arenosos costeros. Forman un grupo remanente taxonómico que contiene todos los suelos que no pudieron acomodarse en alguno de los otros grupos.
2. **Cambisol.** Este tipo de suelo se encuentra en cualquier tipo de vegetación o clima, menos en suelos áridos, contiene pequeñas acumulaciones de arcilla, carbonato de calcio, fierro o manganeso: con espesores mayores a 25 cm y son de material parental de textura media a fina derivados de un amplio rango de rocas.
3. **Leptosol.** Son suelos muy someros sobre roca continua y suelos extremadamente pedregosos, de origen parental procedente de varios tipos de roca continua o de materiales consolidados con menos de 20% en volumen de tierra fina y es particular de zonas con graves problemas de erosión.
4. **Acrisol.** Suelo agrio y muy ácido, se caracteriza por tener acumulación de arcillas en el subsuelo, son moderadamente propensos a la erosión.

Para apreciar la distribución del tipo de suelo presente en la superficie de la cuenca hidrológica se generó el siguiente mapa donde se visualiza solo la información correspondiente a la zona de estudio.

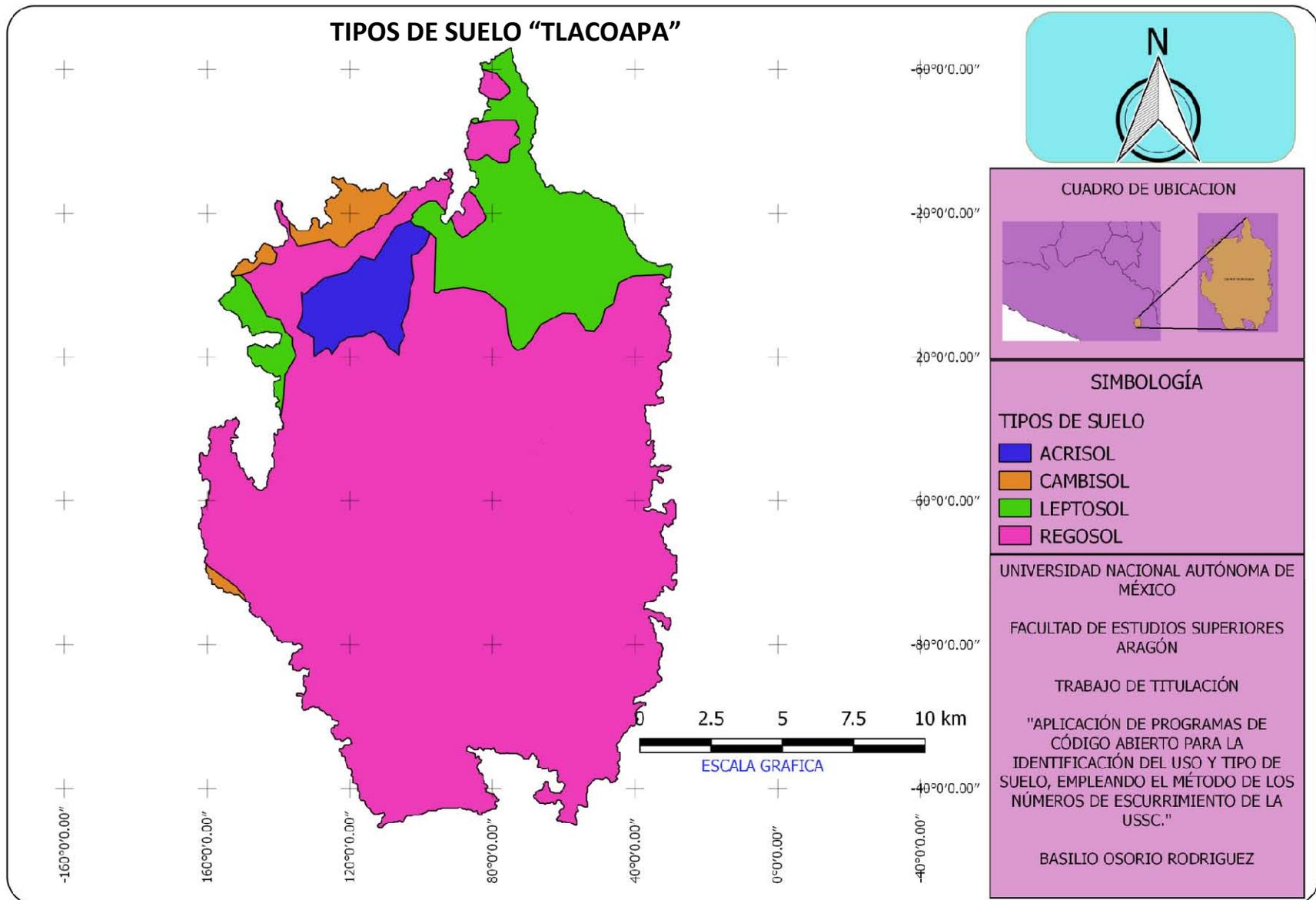


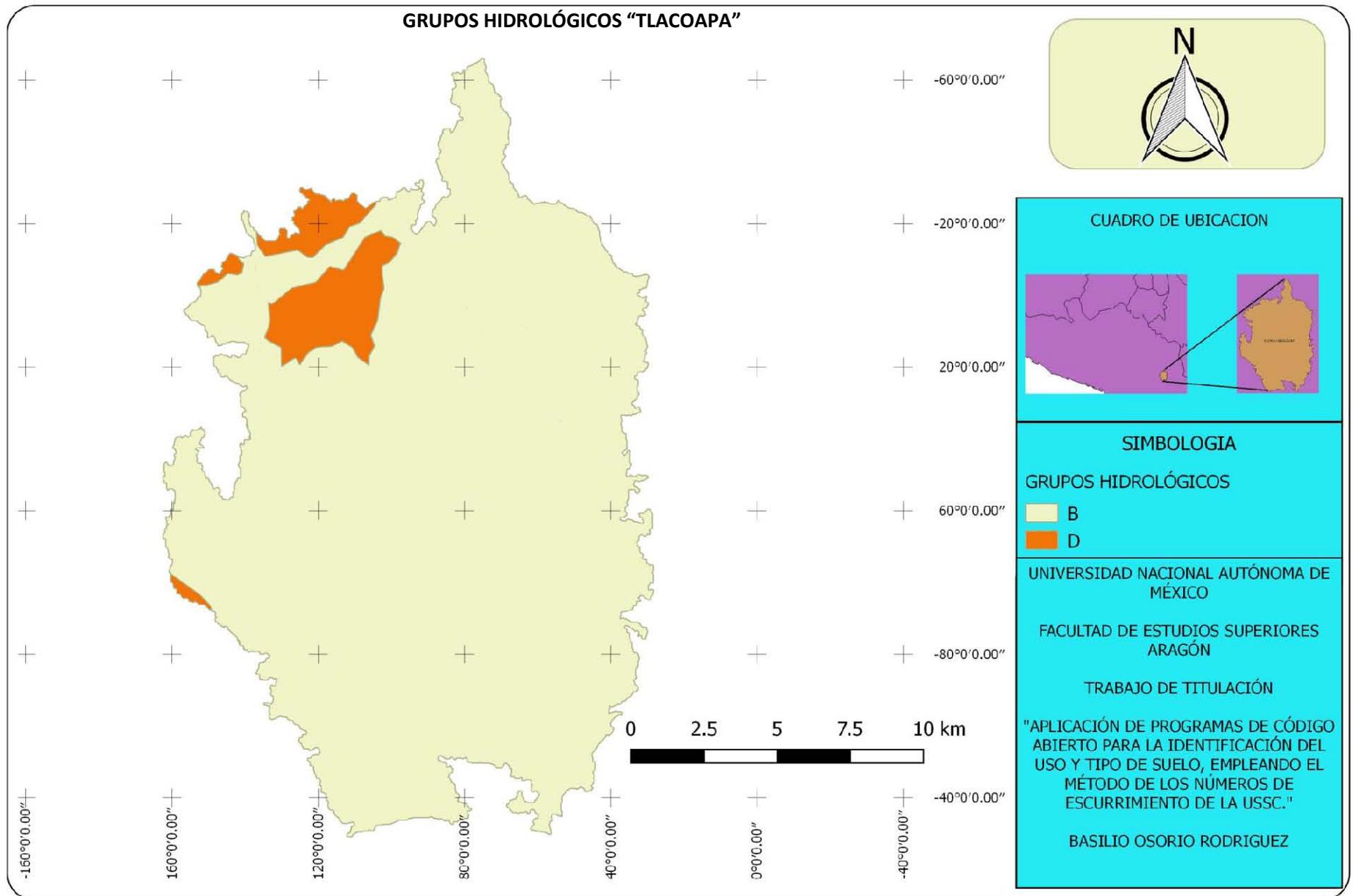
Tabla. 5.1 Cuadro de Superficies

Tipo de suelo	Superficie en km ²
Regosol	237.37
Cambisol	5.62
Leptosol	37.04
Acrisol	11.06

El suelo con mayor presencia en la superficie de la cuenca es el Regosol, en este tipo de suelo se identificó la existencia de bosque de encino y bosques de pino en su mayoría y en menor parte bosques combinados, en gran parte de la superficie se presenta una fase de vegetación secundaria lo cual indica modificaciones a la estructura e incluso el cambio de la composición florística de la comunidad, el tipo de suelo Leptosol tiene mayor superficie y en gran parte de esta se presenta el uso de suelo dedicado al pastizal inducido originado a partir del desmonte de la vegetación o zonas agrícolas abandonadas.

Ya que hemos identificado los parámetros necesarios para definir un número de curva de acuerdo al método de los números de escurrimiento, clasificamos la superficie de nuestra cuenca de acuerdo a la condición hidrológica de los suelos existentes, de esta forma se cuenta con una mayor cantidad de elementos para definir el número de curva que aumente la precisión para la obtención del escurrimiento real en la cuenca hidrológica.

En la cuenca predominan los suelos con moderada tasa de infiltración constituidos principalmente por suelos con cantidades moderadas de texturas finas a gruesas con drenaje medio, abarca un área de 274.43 km² mientras que los suelos con muy baja capacidad de infiltración con alto contenido de arcilla abarcan 16.66 km².



Se han definido las características requeridas para determinar el número de curva de acuerdo al criterio de los números de escurrimiento, identificamos en la capa de uso de suelo y vegetación los usos a los que se destinan las áreas de la cuenca, de igual forma analizamos los tipos de suelo sobre los que crece la vegetación existente para poder determinar la clasificación hidrológica de los mismos.

Es necesario realizar un análisis del terreno con el fin de obtener una reclasificación de la pendiente existente en la superficie de la cuenca hidrológica, el programa QGIS contiene la herramienta análisis del terreno en el menú Raster, al realizar el análisis al modelo de elevación digital de la cuenca hidrológica "Tlacoapa" arrojo como resultado la existencia de pendientes mayores al 1%, esta característica intervendrá para definir el número que corresponde a cada una de las áreas identificadas.

Utilizando las herramientas de gestión de datos, en específico, combinar capas vectoriales, ubicada en el menú vectorial, realizamos la combinación de los mapas que definen el uso de suelo y vegetación y la capa que contiene la información de los distintos tipos de suelo identificados en la cuenca, esta información agrupa la superficie de la cuenca de acuerdo a un número de curva que identifique la capacidad del suelo para conducir los escurrimientos superficiales y/o subterráneos.

La información presentada en la tabla 2.6 y 2.8 del capítulo II son fuentes principales para la presentación del mapa de número de curva ya que utilizando sus parámetros y al efectuar una comparación entre los mismos podremos definir los parámetros a utilizar al realizar la interpolación entre las capas que contienen la información requerida por el método de los números de escurrimiento, una vez identificada la superficie con su respectivo número de curva podremos editar la capa en formato shape para identificar claramente el parámetro de nuestro interés, anteriormente se mencionó el procedimiento para efectuarse, el siguiente mapa ilustra la distribución espacial del número de curva en la superficie de la cuenca hidrológica "Tlacoapa".

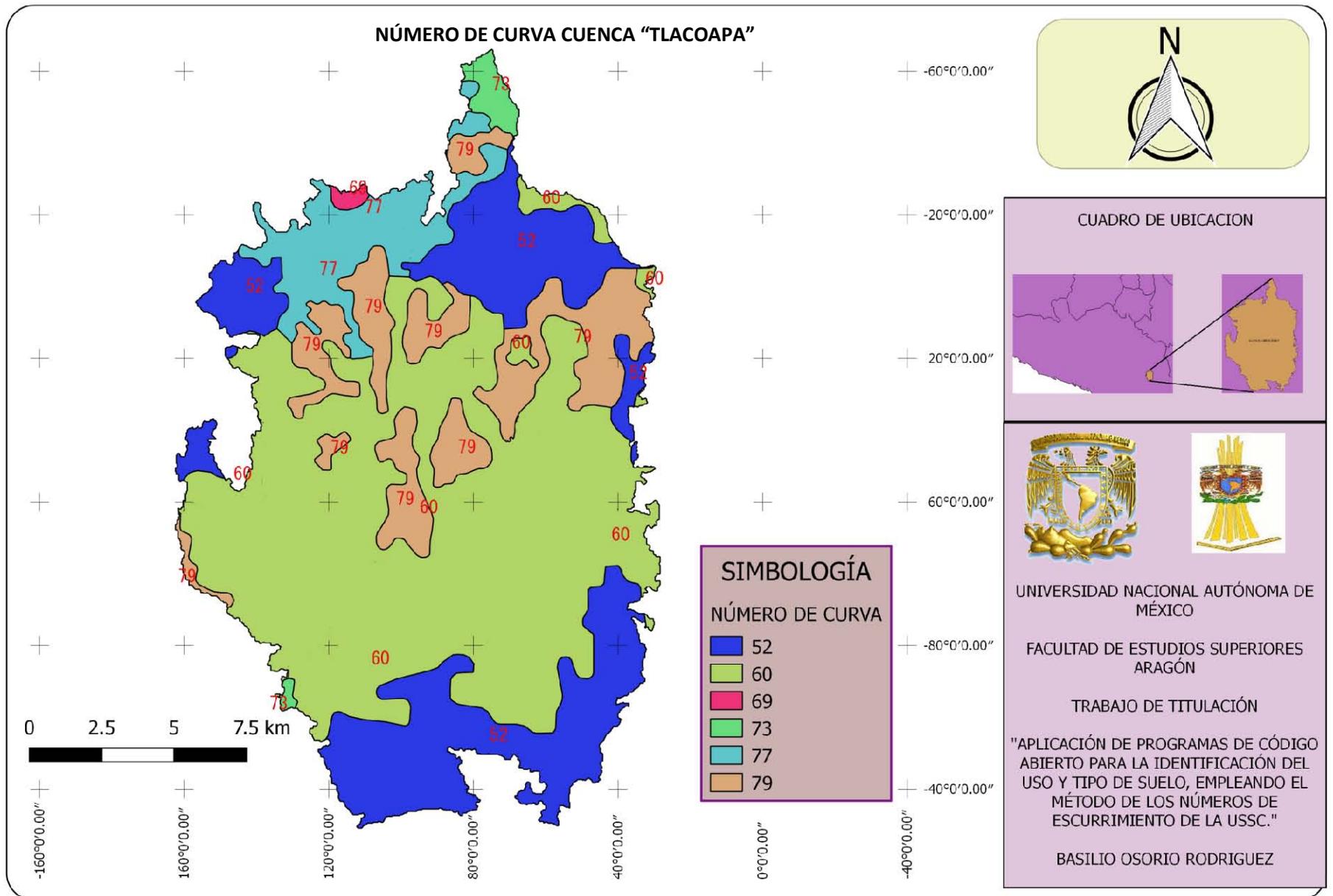


Tabla 5.1 Numero de curva para la cuenca "Tlacoapa"

NÚMERO DE CURVA	SUPERFICIE EN Km ²
52	70.33
60	153.66
69	0.80
73	3.49
77	21.45
79	41.36

Se ha definido el número de curva que representa la superficie de la cuenca hidrológica en estudio, se tiene que para una superficie de 70.33 km², el número de escurrimiento representativo es 52 ya que el suelo se encuentra compuesto por suelo Regosol con una moderada tasa de infiltración, constituido principalmente por suelos con cantidades moderadas de texturas finas a gruesas con drenaje medio.

De igual forma el suelo Regosol con bosques como cubierta vegetal se definió un número de curva igual a 60, principalmente son suelos arenosos con moderada velocidad de transmisión del agua.

Para suelos de tipo Cambisol compuestos por pequeñas acumulaciones de arcilla, carbonato de calcio y con espesores mayores a 25 cm con cubierta vegetal de bosques de pino se ha definido un NC igual a 69.

Para suelos de tipo Leptosol con uso de suelo destinado a la agricultura, con moderada tasa de infiltración y pendientes mayores al 1% se calculó el número de curva igual a 73 en condiciones normales.

Con una superficie de 21.45 km² y cubierta vegetal de bosques de pino – encino se calculó un número de curva igual a 77.

La ultima clasificación se dio para un número de curva igual a 79, la superficie identificada por este parámetro son las zonas en donde se localizan pastizales, es decir superficies aisladas o separadas de acuerdo a la línea marcada por la población de las zonas cercanas.

Con la información obtenida calcularemos un valor medio del número de curva tomando en cuenta las características principales de la superficie existente en la cuenca hidrológica, los datos que se refieren a precipitación serán ilustrativos. A partir de ello calcularemos el coeficiente de escurrimiento para una tormenta que tiene una altura total de precipitación de 70 mm tomando en cuenta que en los cinco días anteriores se presentó una precipitación acumulada de 65 mm.

Es necesario calcular un numero de curva medio que represente a la cuenca hidrológica, a continuación se presenta el resultado.

$$\bar{N} = 52(24.16) + 60(52.79) + 69(0.27) + 73(1.20) + 77(7.37) + 79(14.21) = 62.20$$

Dado que la precipitación antecedente es mayor a 2.5 cm, el valor del número de curva obtenido debe ser modificado de acuerdo a la corrección B de la tabla 2.7.

El valor corregido para N es 79.54.

Con el valor del número de curva corregido y con el valor de precipitación de 70 mm se obtiene que la precipitación efectiva que se presenta en la cuenca es:

$$P_e = \frac{\left[70 - \frac{508}{79.54} + 5.08\right]^2}{70 + \frac{2032}{79.54} - 20.32} = 2.65 \text{ cm}$$

A partir de la precipitación efectiva que se presentara en nuestra cuenca y una vez contando con un valor para el tiempo pico y el tiempo de concentración se podrá calcular el caudal en el punto de salida de la cuenca.

CONCLUSIONES

El presente trabajo de investigación ha permitido exponer la metodología para la identificación del uso de suelo, el tipo de suelo, su condición hidrológica y la forma del relieve, datos que una vez procesados con el sistema de información geográfica permitieron obtener el parámetro de número de curva y de esta forma calcular el valor del escurrimiento que se presentara en la cuenca hidrológica.

Hacer uso de los sistemas de información geográfica disminuye el tiempo de ejecución de un proyecto, hoy en día existen múltiples softwares empleados en los SIG con los cuales es posible analizar información geográfica de todo tipo, sin embargo los altos costos para adquirir la licencia y poder hacer uso de ellos ha hecho que únicamente empresas e instituciones puedan adquirirlo. Por esta razón se hizo uso de programas de código abierto los cuales se encuentran a disposición de la persona que esté interesado en la utilización sin importar el fin que persiga.

Al hacer uso del programa QGIS se analizaron datos de diversa índole correspondiente a un área específica con lo cual se describió el uso del programa, los algoritmos a ejecutar para obtener un producto como lo fue el número de curva y a partir de esto con la información adecuada sobre registros de precipitación calcular el escurrimiento que se tendrá sobre la superficie de la cuenca y con esto dar paso a la ejecución de proyectos que beneficien y propicien el desarrollo de las comunidades o instituciones interesadas.

Analizar la información digital existente haciendo uso de un SIG es relativamente sencillo, al hacerlo se convierte en fuente clave para la generación de datos necesarios en proyectos de tipo hidráulico, el presente trabajo ilustra de forma sencilla los pasos a seguir para delimitar una subcuenca hidrológica, se espera que genere interés en los futuros ingenieros y de esta forma simplificar los procesos necesarios para la obtención de datos confiables para el diseño y rediseño de proyectos ingenieriles.

RECOMENDACIONES

El uso de sistemas de información geográfica está adquiriendo mayor relevancia en la actualidad por lo cual es importante que estudiantes y profesionistas de ingeniería adquieran especial interés por el software estudiado en el presente trabajo ya que, permite la generación de trabajos de calidad, la reducción en el tiempo de generación de proyectos y la precisión de los mismos.

Obtener información de distintas fuentes aumentara la certeza de los datos obtenidos, se recomienda hacer una comparación entre la información generada por el software QGIS y los datos generados por organismos como el INEGI.

Los programas de código abierto generan información confiable, y cada vez son más utilizados por lo cual, es importante difundir sus características y las ventajas que tiene su implementación en la ingeniería.

BIBLIOGRAFIA

Aparicio Mijares, F, J. 1992. Fundamentos de Hidrología de la Superficie. Editorial Limusa, S.A. de C.V.

Felicísimo, A.M. 1994. Modelos Digitales del Terreno. Introducción y aplicaciones en las Ciencias Ambientales. Pentalfa, Oviedo.

Fallas, J. 2007. Modelos Digitales de Elevación. Teoría, métodos de interpolación y aplicaciones.

G. K. Raphael. 1975. Hidrología Moderna, editorial continental.

Patra K.C. 2008. Hidrology and Water Resources Engineering. Alpha Science International Ltd. Second Edition.

Melero E. 2014. Taller introductorio al uso de Quantum Gis. Equipo interinstitucional de información geoespacial.

Tara Athan. 2014. Quantum Gis, Guia de Usuario Version 1.6.0. Proyecto Mixto Suizo para el RIC Guatemala.

Olaya F. V. 2004. Hidrología computacional y modelos digitales del terreno.

IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México, 2004.). Guía para la interpretación de cartografía edafología: escala 1:250 000: Serie III.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México, 2014). Guía para la interpretación de cartografía: uso de suelo y vegetación: escala 1:250,000: serie V.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México, 2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Atlamajalcingo del Monte, Guerrero.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México, 2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Malinaltepec, Guerrero.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México, 2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tlacoapa, Guerrero.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Consultado 20-06-2017 en <http://www.beta.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/index.jsp>.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Consultado 10-07-2017 en <http://www.beta.inegi.org.mx/>.

Equipo de Desarrollo de QGIS, (2016). QGIS Sistema de Información geográfica consultado en 22-04-2016 en <https://www.qgis.org/es/site/>.