



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Cálculo Del Coeficiente De Escurrecimiento Mediante El Uso De SIG En México

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Civil

P R E S E N T A

Gael Contreras Rueda

DIRECTORA DE TESIS

M. I. Sixta Hinndi Mendoza Pérez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2026



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL
(Titulación con trabajo escrito)**



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado CALCULO DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO MEDIANTE EL USO DE SIG EN MEXICO que presenté para obtener el título de INGENIERO CIVIL es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

GAEL CONTRERAS RUEDA
Número de cuenta: 317523229

Índice

AGRADECIMIENTOS.....	6
RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	8
PROBLEMÁTICA	9
OBJETIVO GENERAL.....	10
OBJETIVO PARTICULAR.....	10
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	10
I. ANTECEDENTES	10
I.1 PRECIPITACIÓN	10
I.1.1 Pluviómetros	11
I.1.2 Pluviógrafos	11
I.1.3 Nivómetros.....	12
I.2 ESCURRIMIENTO.....	13
I.3 EDAFOLOGÍA.....	14
I.4 USO DE SUELO Y VEGETACIÓN	15
I.5 MODELOS HIDROLÓGICOS	15
I.6 PÉRDIDAS.....	15
I.7 METODOLOGÍAS PARA CÁLCULO DE ABSTRACCIONES	16
I.7.1 Número de curva	16
I.7.2 Coeficiente de Escurrimiento	17
I.7.3 Índice de Infiltración	17
I.8 MODELOS LLUVIA ESCURRIMIENTO.....	18
I.8.1 Hidrograma Unitario Triangular	18
I.8.2 Método del Hidrograma Sintético de Chow	19
I.8.3 Método Racional	20
I.9 COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO POR MEDIO DE TABLAS.....	20
II. SIG EN HIDROLOGÍA.....	26
II.1 SISTEMAS DE COORDENADAS	26
II.1.1 Proyección Cónica.....	26
II.1.2 Proyección Cilíndrica.....	27
II.1.3 Proyección Plana	27
II.2 TIPOS DE INFORMACIÓN UTILIZADA.....	28
II.2.1 Formato ráster.....	28
II.2.2 Formato vectorial	29
II.3 APLICACIONES EN HIDROLOGÍA	30
III. APLICACIÓN EN LA REPÚBLICA MEXICANA.....	30
III.1 FUENTES DE INFORMACIÓN.....	31
III.1.1 Continuo de Elevaciones Mexicano CEM	31
III.1.2 Usos de suelo y vegetación INEGI	31
III.2 CORRELACIÓN DE DATOS	31
III.3 MAPA USOS DE SUELO Y VEGETACIÓN RECLASIFICADO.....	34



III.4	MAPA DE PENDIENTES DEL TERRENO EN MÉXICO	36
III.5	MAPAS DE COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO DE LA REPÚBLICA MEXICANA	37
IV.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	44
IV.1	APLICACIÓN EN UNA CUENCA	44
IV.2	OBTENCIÓN DEL CE A TRAVÉS DE LA PRECIPITACIÓN	57
IV.3	COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	57
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	60
VI.	ANEXOS.....	61
VII.	REFERENCIAS	82

Ilustración 1	Precipitación líquida (Thyssen M. , 2005)	11
Ilustración 2	Pluviógrafo de flotador (Sanchez San Roman, 2022).....	12
Ilustración 3	Proyección cónica de Lambert (ArcGIS, 2021).....	27
Ilustración 4	Proyección cilíndrica (ArcGIS, 2021)	27
Ilustración 5	Proyección planar (ArcGIS, 2021).....	27
Ilustración 6.	Representación de un ráster, (QGIS, 2024).....	29
Ilustración 7	Representación de un vector, (QGIS, 2024).....	29
Ilustración 8.	Valores del NC según Aparicio.	45
Ilustración 9.	Valores de CN según Escalante y Reyes. (Escalante & Reyes, 2014).	46
Ilustración 10.	Factores de corrección según Escalante y Reyes. (Escalante & Reyes, 2014).	46
Ilustración 11.	Valor del NC promedio.	47

Tabla 1	Límite de precipitación (Chow, 1988).....	17
Tabla 2	Coeficientes de escurrimiento, (Chow, 1988).....	21
Tabla 3	Coeficientes de Escurrimiento Servicio de Conservación de Estados Unidos	22
Tabla 4	Coeficientes de Escurrimiento, (ASCE, 1972).....	23
Tabla 5	Coeficientes de escurrimiento de acuerdo con Michigan State College of Engineers	24
Tabla 6	Características fisiográficas de la cuenca La Soledad	44
Tabla 7.	Coeficientes de escurrimiento para cuenca en estudio	49
Tabla 8	Comparación de los coeficientes de escurrimiento.....	57
Tabla 9	Comparación de gastos.....	57
Tabla 10	Definiciones de los usos de suelo y vegetación (INEGI, 2015)	61
Tabla 11	Uso de Suelo y Vegetación Reclasificada	71

Mapa 1	Tipo de cobertura en México.....	35
Mapa 2	Pendientes de México	36
Mapa 3	Coeficientes de escurrimiento para un Tr de 2 años	37
Mapa 4	Coeficientes de escurrimiento para un Tr de 5 años	38
Mapa 5	Coeficientes de escurrimiento para un Tr de 10 años.....	39
Mapa 6	Coeficientes de escurrimiento para un Tr de 25 años.....	40
Mapa 7	Coeficientes de escurrimiento para un Tr de 50 años.....	41
Mapa 8	Coeficientes de escurrimiento para un Tr de 100 años	42
Mapa 9	Coeficientes de escurrimiento para un Tr de 500 años	43
Mapa 10	Cuenca en estudio	44
Mapa 11	Intersección de la cuenca con el mapa de C.E para un periodo de retorno de 2 años	50
Mapa 12	Intersección de la cuenca con el mapa de C.E para un periodo de retorno de 5 años	51
Mapa 13	Intersección de la cuenca con el mapa de C.E para un periodo de retorno de 10 años	52



Mapa 14 Intersección de la cuenca con el mapa de C.E para un periodo de retorno de 25 años	53
Mapa 15 Intersección de la cuenca con el mapa de C.E para un periodo de retorno de 50 años	54
Mapa 16 Intersección de la cuenca con el mapa de C.E para un periodo de retorno de 100 años	55
Mapa 17 Intersección de la cuenca con el mapa de C.E para un periodo de retorno de 500 años	56



Este trabajo fue desarrollado dentro del Grupo de Enseñanza e Investigación en Ingeniería y Ciencias del Agua (GEIICA).





Agradecimientos

Quiero agradecer a toda mi familia, porque gracias a su confianza y apoyo pude realizar muchos de mis sueños.

A mí madre y a mí padre, por estar siempre apoyándome y otorgándome las herramientas para ser cada día una mejor persona y por todas las oportunidades que me brindaron para lograr ser una mejor persona.

A mi hermana y a mis hermanos, porque gracias a ellos encontré la motivación para dar lo mejor de mí y desempeñarme de una gran forma en la universidad.

A mis amigos, porque sin ellos las cosas hubieran sido diferentes sin el apoyo que me brindaron, sin mencionar todos los momentos de diversión que aliviaron la carga de trabajo que tenía en la carrera.

A mis mascotas Wesie, Tendresse, Bianco, Nuit y Minout por todas esas noches que estuvieron a mi lado mientras terminaba proyectos y porque sin ellos no sería la persona que soy hoy.

Por último, quiero agradecer a la UNAM, porque gracias a esta institución soy una persona con una visión más amplia y enriquecida sobre lo que significa ser ingeniero civil, además de que en esta institución conocí a muchos grandes ingenieros que me formaron y me brindaron las herramientas para ser una persona preparada y exitosa.



Resumen

En este trabajo se presenta una investigación para determinar el coeficiente de escurrimiento que dependerá del uso de suelo y vegetación, útil para aplicar en proyectos dentro de la República Mexicana. Para lograrlo, se investigó en diferentes fuentes bibliográficas coeficientes de escurrimientos obtenidos por diferentes autores, así como las variables relacionadas, tales como el periodo de retorno, la zona en la que se presentan y la pendiente del terreno. Para ello, se determinaron los usos de suelo y vegetación existentes y se calcularon las pendientes que se presentan en la República Mexicana utilizando un modelo digital de elevaciones de INEGI.

Los coeficientes de escurrimiento se ven afectados por las condiciones en las que se encuentra el terreno, como la pendiente, la vegetación y el uso de suelo, así como la actividad humana. En este documento se mostrará bibliografía que contiene coeficientes de escurrimiento, así como las diferentes condiciones en las que se pueden presentar.

Se mostrarán los procedimientos a realizar, como la agrupación de los usos de suelo y vegetación con el objetivo de simplificar la información y sintetizarla en clasificaciones fácilmente identificables, lo que permitirá que se tenga mejor interpretación.

Posteriormente, se realizó la correlación de datos entre las seis clasificaciones de uso de suelo y vegetación y las pendientes obtenidas. De esta forma se observó en qué zonas se presentan cada tipo de clasificación y la pendiente de esta para asignar un coeficiente de escurrimiento adecuado.

Se emplearon herramientas como el Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM) y el conjunto de datos vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI (INEGI, 2017). Dichas herramientas fueron obtenidas de la página de internet del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), siendo ésta la principal fuente de información para la realización de este trabajo.

Finalmente, haciendo uso de las herramientas mencionadas, se realizó un mapa de coeficientes de escurrimiento a nivel nacional, comparando los resultados obtenidos con el método del número de curva.

Introducción

México es un país que cuenta con una gran variedad de entornos ambientales y sociales dentro de su territorio, lo que genera que existan diferentes usos de suelo asociados a cada uno, dependiendo de las condiciones que presenten. A través de los años estos entornos se han ido modificando ya sea por causa natural o humana, lo que ha provocado el cambio de los usos de suelo de los diferentes entornos del país.

Un ejemplo de esto es la mancha urbana, la cual ha ido aumentando con el paso del tiempo, generando así cambios importantes en los usos de suelo de las zonas afectadas por este crecimiento.

Otro ejemplo del cambio del uso de suelo es la selva, que, de acuerdo con la información de la SEMARNAT, la selva ha sido el ecosistema más afectado por el ser humano, quedando únicamente el 41% de selva como vegetación primaria (Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial de la Ciudad de México, 2003).

Al ser un país en donde los usos de suelo se han ido modificando, resulta importante clasificar y determinar cuáles son los usos de suelo actuales en el país con el fin de conocer el tipo de actividad que se presentan en las diferentes zonas.

Esta clasificación resulta útil al momento de obtener información de la ubicación para el desarrollo de proyectos de ingeniería, sin embargo, no siempre es posible obtener toda la información necesaria de la zona. Esto puede ser debido a las características del terreno, como su vegetación, o a la poca accesibilidad que se tiene debido a la zona geográfica en la que se puede encontrar dicho proyecto.

Uno de los datos necesarios para proyectos como obras hidráulicas, construcción de carreteras o la gestión de riesgos en zonas propensas a inundación es el coeficiente de escurrimiento.

El coeficiente de escurrimiento es un parámetro necesario para determinar la capacidad de escurrimiento de una cuenca. Dicho coeficiente tiene su aplicación en modelos lluvia-escurrimiento, así como en modelos de pérdida, los cuales pueden ser calculados haciendo uso de herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Los SIG son conjuntos de información que arrojan datos relacionados con el espacio físico mediante el uso de algún software, (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

El uso de SIG es importante debido a su facilidad para representar diversos datos de forma visual en un mapa, además de que también permite interactuar y relacionar diferentes características geográficas en ellos y permite obtener información sobre zonas de difícil acceso, (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

El propósito del presente trabajo consiste en determinar los diferentes coeficientes de escurrimiento presentes en la República Mexicana mediante el uso de SIG, así como información obtenida de diversos autores.

Problemática

En México, la gran diversidad de usos de suelo hace difícil la integración de información con la cual obtener el coeficiente de escurrimiento en diferentes zonas del país. Por ello, la elaboración de un mapa de coeficientes de escurrimiento para diferentes periodos de retorno representa una gran utilidad, especialmente en zonas de difícil acceso, en las que la información del terreno es escasa.

El coeficiente de escurrimiento es un parámetro que puede ser obtenido a través de diferentes métodos, como por ejemplo el número de curva o el método racional, los cuales requieren información detallada de la cuenca como el tipo de suelo, uso de suelo y condiciones del terreno; sin embargo, estos métodos pueden presentar dificultades en zonas donde no se disponga de todos los datos necesarios. Por otra parte, abordando el coeficiente de escurrimiento mediante el uso de los mapas aquí mostrados, facilita la obtención de dicho parámetro, al solo ser requerida la pendiente del terreno y el uso de suelo de la zona, datos que pueden ser muy accesibles a través de las tablas mostradas aquí o de información obtenida de INEGI.

Este documento se apoya en diversas fuentes, como el INEGI, que proporciona los datos acerca de usos de suelo, vegetación y pendiente del terreno, lo cual permite un mejor acercamiento a los resultados requeridos.

Existen otros documentos que mencionan información relacionada con el tema abordado aquí, sin embargo, el enfoque es diferente. Uno de estos documentos es el proyecto llamado “Mapa Nacional de Números de Escurrimiento (N)” (Rivera & Salas, 2016) en el cual se plantea una problemática similar a la presentada en este documento, pero con la diferencia de que dicho proyecto se enfoca más hacia el diseño de un programa ejecutable del cálculo de números de curva para la República Mexicana.

Por otra parte, hay una tesis llamada “Influencia del cambio de cobertura y uso del suelo en el volumen medio anual de escurrimiento natural (años 1993, 2003 y 2017), en la Parte alta de la cuenca del río La Antigua, Veracruz, México.” (Reyes, 2018) en la cual la problemática principal es determinar que tanto influye el cambio de uso de suelo en el escurrimiento de la cuenca del río La Antigua en diferentes años. Para resolver dicha problemática, el autor utilizó mapas de escurrimiento para los diferentes años en los que realizó la investigación, sin embargo, dichos mapas solo aplican a una sola región y a años específicos, por lo que no se podría utilizar dichos mapas para generalizar los coeficientes de escurrimiento.

Objetivo General

- Realizar una investigación para obtener información precisa sobre coeficientes de escurrimiento, con el fin de crear mapas de coeficientes de escurrimiento para diferentes periodos de retorno.

Objetivo Particular

- Caracterizar los usos de suelo y vegetación en la República Mexicana.
- Crear un mapa detallado de pendientes del terreno en la República Mexicana.
- Determinar el coeficiente de escurrimiento para una zona de estudio mediante el uso de los mapas obtenidos.

Descripción del trabajo

En el primer capítulo “*Antecedentes*” se aborda temas generales sobre diversos fenómenos hidrológicos, tipos de modelos hidrológicos y edafología de México. Se da una descripción general del tema.

En el segundo capítulo “*SIG en Hidrología*” se describen las características de los sistemas de información geográfica y cómo se relacionan con la hidrología.

En el tercer capítulo “*Aplicación en la República Mexicana*” se da información de los usos de suelo y vegetación, así como de las pendientes del terreno, todo proporcionado por INEGI; también se reclasifican los tipos de suelo por tipo de cobertura, se genera un mapa de pendientes de México y se dan los mapas del coeficiente de escurrimiento para diferentes periodos de retorno con base en el uso de suelo y pendiente del terreno.

En el cuarto capítulo “*Análisis de Resultados*” se realiza una aplicación de los mapas sobre una cuenca para obtener su coeficiente de escurrimiento y de esta forma comparar los resultados obtenidos contra un método directo.

En el quinto capítulo “*Conclusiones y Recomendaciones*” se hace una recapitulación de los resultados y se dan recomendaciones para el uso de los mapas generados en este documento.

I. Antecedentes

I.1 Precipitación

La precipitación hace referencia a cualquier forma de agua que cae desde la atmósfera a la superficie terrestre, ya sea en estado líquido (lluvia) o sólido (nieve, granizo). La precipitación se forma a través de diferentes fenómenos atmosféricos, como el ascenso térmico, la orografía o sistemas de baja presión que generen corrientes ascendentes en la atmósfera. (Nueva Escuela Mexicana, 2024).



Ilustración 1 Precipitación líquida (Thyssen M., 2005)

El ascenso térmico hace referencia a la elevación de aire caliente, el cual se expande y posteriormente se enfría, generándose así nubes. Algunos tipos de precipitación de acuerdo con su origen son:

- Precipitación frontal se refiere a la precipitación líquida generada por los sistemas de baja presión que generan corrientes ascendentes provocando así choques de masas de aire, los cuales provocan formación de nubes y por ende causan condensación y precipitación.
- Precipitación orográfica: Este tipo de precipitación es provocada por masas de aire húmedo que ascienden y se encuentran con una barrera montañosa.
- Precipitación convectiva: Este tipo de precipitación es provocada por el calentamiento de la superficie, lo cual genera el ascenso de aire caliente y húmedo el cual, a cierta altura, se enfría, condensándose y generando precipitaciones (Sarochar, Ciapessoni, & Ruiz, 2006).

La precipitación, medida en milímetros, puede ser cuantificada utilizando diferentes equipos, como el pluviómetro, pluviógrafos y nivómetros.

I.1.1 Pluviómetros

Los pluviómetros son dispositivos utilizados para recolectar y medir la cantidad de precipitación en un periodo determinado. (Nueva Escuela Mexicana, 2024). El pluviómetro cuenta con un error de 0.1 mm, siempre y cuando se recoja el agua en una bureta con una sección menor a la de la boca del pluviómetro. La lectura del agua recogida se realiza una vez por día. (Sanchez San Roman, 2022).

I.1.2 Pluviógrafos

Los pluviógrafos registran el cambio o la evolución de la precipitación con el tiempo. Algunos pluviógrafos tienen un flotador el cual hace que suba una plumilla, la cual registra

gráficamente la variación en el tiempo. En general se necesita tomar medidas constantes para llevar un registro continuo del fenómeno. (Sanchez San Roman, 2022).

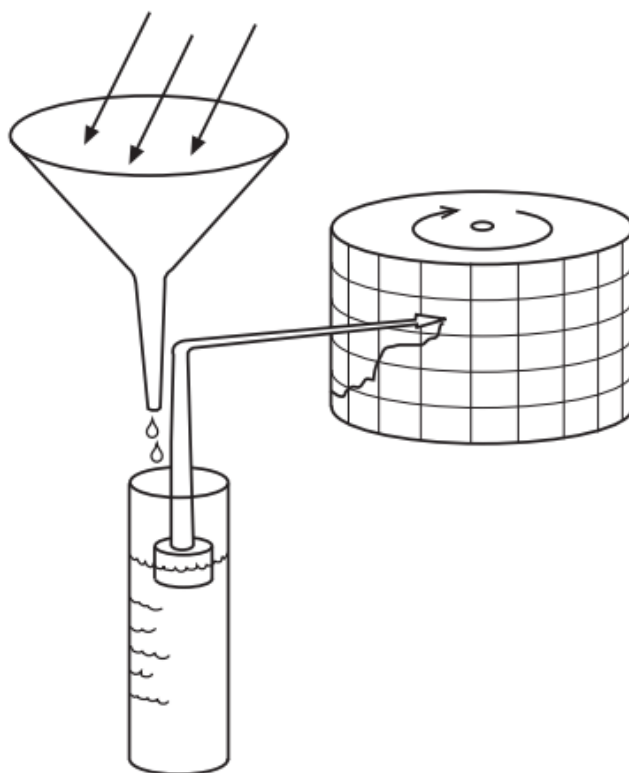


Ilustración 2 Pluviógrafo de flotador (Sanchez San Roman, 2022)

I.1.3 Nivómetros

Los nivómetros registran el espesor y la profundidad de las capas de nieve o granizo. Cuentan con una escala en centímetros los cuales muestran el espesor de la capa de nieve o granizo. Aproximadamente 1 cm de nieve equivale a 1 mm de agua, aunque esto puede variar dependiendo de la densidad de la nieve. (Sanchez San Roman, 2022).

En México, la precipitación se mide a través de una red de estaciones climatológicas convencionales las cuales cuentan con pluviómetros y pluviógrafos. Los pluviómetros miden la cantidad total de lluvia, en milímetros, y los pluviógrafos miden la intensidad y duración de la precipitación (IMTA, 2019).

Las estaciones climatológicas convencionales para la medición del viento utilizan veletas o anemoscopios, para la medición de la temperatura utilizan termómetros tipo “SIX” y para la evaporación utilizan un tanque evaporómetro (Comisión Nacional del Agua, 2013).

Dentro de las estaciones climatológicas están las estaciones sinópticas meteorológicas automáticas (ESMA) las cuales tienen el objetivo de realizar la medición y registros de variables atmosféricas y transmitir esos datos a la base central para ser utilizados y almacenados en bases de datos. Este tipo de estaciones cuentan con sensores para medir la

velocidad y dirección del viento, presión atmosférica, temperatura, humedad relativa, radiación solar y precipitación (Servicio Meteorológico Nacional, 20205).

Por otra parte, también existen las estaciones de radiosondeo, las cuales proporcionan datos de temperatura, humedad, presión y viento a diferentes alturas. Se apoya de un GPS para determinar la presión y la velocidad y dirección del viento (Servicio Meteorológico Nacional, 2023).

I.2 Esgurrimiento

El escurrimiento hace referencia al agua que proviene de la precipitación y que circula, ya sea debajo o sobre la superficie terrestre, y llega a una corriente para ser drenada hasta la salida de una cuenca. (Aparicio F. J., 1989).

El recorrido que sigue el agua hasta la salida de la cuenca es dividido en tres clases: escurrimiento superficial, escurrimiento subsuperficial y escurrimiento subterráneo (Chow, 1988).

Durante el recorrido, el agua precipitada puede cambiar de tipos de escurrimiento, es decir, pasar de escurrimiento superficial a escurrimiento superficial o subsuperficial y salir a la cuenca como escurrimiento superficial. Es importante destacar que la mayor parte del agua superficial regresa a la atmósfera mediante la evaporación (Chow, 1988).

El escurrimiento superficial, también conocido como flujo superficial, es producido una vez que las capas superiores del suelo se saturan y el agua comienza a escurrir sobre la superficie. Este escurrimiento continúa mientras el agua no llegue a cauces bien definidos. Mientras sigue su trayectoria hacia un cauce, el agua se sigue infiltrando en el terreno, llegando incluso a evaporarse en pequeñas cantidades. Este tipo de escurrimiento es el que más rápido llega a la salida de una cuenca. (Aparicio F. J., 1989).

El escurrimiento subsuperficial, también conocido como flujo subsuperficial, se forma al infiltrarse una parte del agua de precipitación cerca de la superficie del suelo y que escorre más o menos paralelamente a la superficie de este. Este tipo de escurrimiento puede tener casi la misma rapidez que el escurrimiento superficial o casi la misma lentitud que el escurrimiento subterráneo. (Aparicio F. J., 1989).

Finalmente, el escurrimiento subterráneo es la parte del agua de precipitación que se infiltra hasta llegar a niveles inferiores al freático. Este tipo de escurrimiento es el que tarda más en llegar a la salida de una cuenca, incluso tardando años en llegar.

Respecto a los tipos de escurrimiento superficial, existen dos tipos: escurrimiento directo y escurrimiento base (Chow, 1988).

El escurrimiento directo está relacionado con una tormenta en particular, y proviene de la precipitación efectiva. Este tipo de escurrimiento está formado por el flujo superficial y el flujo subsuperficial rápido. (Aparicio F. J., 1989).

El escurrimiento directo proviene del exceso de precipitación que no se infiltra en la cuenca, dicho exceso de precipitación se convierte en escurrimiento directo (Chow, 1988).

Por otra parte, el escurrimiento base está formado por agua proveniente de diferentes tormentas ocurridas antes de la considerada, y debido a que se produce bajo el nivel freático, es el que alimenta a las corrientes cuando no hay lluvias. Este tipo de escurrimiento está formado por el flujo subterráneo y el flujo subsuperficial lento. (Aparicio F. J., 1989).

El escurrimiento base no presenta muchas variaciones en periodos sin lluvia (Chow, 1988).

I.3 Edafología

La edafología es la ciencia que estudia el origen, evolución y características del suelo. El suelo es el resultado de la interacción de varios factores ambientales, como el clima o tipo de roca a partir de la cual se originan los suelos (INEGI, 2011).

INEGI realizó una guía de uso de suelo y vegetación (Guía para la interpretación de cartografía Uso del suelo y Vegetación Serie V) en la que se presentan las características conceptuales de la información, así como la ubicación, distribución y extensión de las diferentes comunidades vegetales y tipos de agricultura. Algunos de los objetivos de esta guía son el indicar la distribución de vegetación natural e inducida, identificar las características de vegetación arbórea del país y el ser un apoyo para la generación de estadísticas que permitan cuantificar la cobertura vegetal y el uso del suelo en México, entre otros. (INEGI, 2015).

Asimismo, la información proporcionada por el INEGI permite establecer una clasificación sólida para estudios edafológicos, al relacionar los tipos de cobertura vegetal con las características del suelo, como su textura y capacidad de uso agrícola o forestal. Esta correlación es muy importante para la elaboración de este trabajo, ya que gracias a esto se pudo elaborar el mapa de coeficientes de escurrimiento de México.

También existen diferentes tipos de suelo, los cuales están relacionados al escurrimiento de una cuenca. De acuerdo con la NRCS (Natural Resources Conservation Service), existen 4 diferentes clasificaciones de suelo:

Suelo Tipo A: Presenta un alto índice de infiltración. Se compone principalmente de arena bien drenada. Este tipo de suelo tiene un alto índice de transmisión de agua, por lo que resulta en un potencial de escurrimiento bajo. (Natural Resources Conservation Service)

Suelo Tipo B: Se compone principalmente de suelos con texturas francas. Este tipo de suelo tiene un índice de infiltración moderado. (Natural Resources Conservation Service)

Suelo Tipo C: Posee un índice de infiltración bajo. Se compone de suelos que tienen una capa que impide el movimiento hacia abajo del agua o de suelos con texturas moderadamente finas o finas. Este tipo de suelos tiene un bajo índice de transmisión de agua. (Natural Resources Conservation Service).

Suelos Tipo D: Este tipo de suelo tiene un índice de infiltración muy bajo. Se compone de suelos arcillosos con una gran capacidad de expansión. Este tipo de suelos tiene un muy bajo índice de transmisión de agua. (Natural Resources Conservation Service).

I.4 Uso de suelo y vegetación

El uso de suelo hace referencia, como su nombre lo indica, al aprovechamiento que el ser humano le da al terreno sobre el que se encuentra. Pueden ser para fines agrícolas, de urbanización, industriales, etc. INEGI tiene diferentes guías en los que clasifica el uso de suelo en México.

Por otra parte, la vegetación se refiere a las especies de plantas que corresponden a ciertos climas y relieves (INEGI, 2025).

Cada uso de suelo y vegetación afecta las propiedades hidrológicas del terreno, por lo que, dependiendo de la clasificación dada, se pueden obtener ciertos parámetros como el coeficiente de escurrimiento, diferente para cada clasificación del terreno.

I.5 Modelos Hidrológicos

Los modelos hidrológicos son aproximaciones al sistema real, es decir a los procesos del ciclo hidrológico. Se componen de variables hidrológicas mensurables y sus estructuras son conjuntos de ecuaciones que conectan las entradas con las salidas. (Chow, 1988).

Existen diferentes modelos hidrológicos, como el modelo de parámetros concentrados, el de parámetros distribuidos, determinísticos o estocásticos.

Un modelo de parámetros concentrados es un modelo que representa las características de una cuenca como si fueran uniformes, sin embargo, pierden validez al tiempo que las características del suelo van cambiando debido a acciones del hombre, como la urbanización. (Aparicio F. J., 1990).

Un modelo de parámetros distribuidos es un modelo en el que las variaciones de las características de una cuenca, así como sus procesos, son consideradas explícitamente. Este tipo de modelos son útiles para resolver problemas hidrológicos relacionados con el cambio natural o artificial de una cuenca.

Un modelo determinístico es un modelo en el que todos los parámetros y procesos son considerados libres de variaciones y son conocidos con certeza. (US Army Corps of Engineers, 2000)

Un modelo estocástico, es un modelo que, contrario al modelo determinístico, describe las variaciones e incorpora las descripciones de las predicciones de los resultados de salida. (US Army Corps of Engineers, 2000)

I.6 Pérdidas

Las pérdidas se refieren a la diferencia entre el volumen de agua que llueve en una cuenca y el que escurre a la salida de esta, es decir, son el volumen de agua que no contribuye al escurrimiento directo, dentro de ellas se encuentran: intercepción en plantas y techos, retención en depresiones, evaporación e infiltración.

Las pérdidas por infiltración representan la porción más considerable y dependen del tipo de suelo y uso del suelo que se está analizando.

Es usual calcularlos a través de modelos de abstracciones, los cuales hacen referencia a conceptos que permiten entender la problemática planteada de una forma más simple, enfocándose en lo esencial de la misma para obtener una comprensión clara y de esa forma generar una solución a dicha problemática, (Serna & Polo, 2015).

I.7 Metodologías para cálculo de abstracciones

Existen diversas metodologías para el cálculo de los diferentes modelos de abstracciones. En este trabajo se analizaron los modelos de pérdida, así como los modelos de lluvia-escurrimiento para determinar el uso del coeficiente de escurrimiento en ellos.

I.7.1 Número de curva

El número de curva es un modelo desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos para estimar el escurrimiento directo en la superficie de la cuenca. Este es un método empírico basado en la relación entre lluvia y condiciones del terreno (suelo, manejo, humedad) (Natural Resources Conservation Service).

Al obtener el número de curva, se puede encontrar la precipitación efectiva (P_e), con la que se puede hacer un cociente de la precipitación efectiva entre la precipitación total, dando así un coeficiente de escurrimiento.

$$P_e = \begin{cases} \left[P - \frac{5080}{CN} + 50.8 \right]^2 & \text{si } P - \frac{5080}{CN} + 50.8 > 0 \\ P + \frac{20320}{CN} - 203.2 & \\ 0 & \text{si } P - \frac{5080}{CN} + 50.8 \leq 0 \end{cases} \quad \dots (1)$$

Donde:

P_e = Precipitación efectiva, mm

CN = Número de Curva

Este método puede ser usado aplicando tablas existentes que ya contienen valores del número de curva para cada combinación de uso de suelo, manejo del suelo y la cantidad de lluvia de los últimos 5 días.

Existen tres tipos de condiciones de humedad antecedente (AMC : *Antecedent Moisture Condition*) que se presentan en este modelo:

AMC I: Suelo Seco

AMC II: Condición Media

AMC III: Suelo Húmedo o Saturado

Tabla 1 Límite de precipitación (Chow, 1988)

Grupo AMC	Lluvia antecedente total de 5 días (pulg)	
	Estación inactiva	Estación de crecimiento
I	Menor que 0.5	Menor que 1.4
II	0.5 a 1.1	1.4 a 2.1
III	Sobre 1.1	Sobre 2.1

La precisión de este método aumenta si los eventos lluvia-escorrimento son usados para calibración, (Alves, Rogeiro de Mello, Beskow, Junqueira, & Nearing, 2019).

I.7.2 Coeficiente de Escurrimiento

El coeficiente de escurrimiento es la relación que existe entre la cantidad de agua que escurre en una cuenca y el volumen de precipitación en la misma (Aparicio F. J., 1989) (Thompson, 2007). Esto se puede representar matemáticamente con la siguiente ecuación:

$$C_e = \frac{V_{ed}}{V_{hp}} \quad \dots (2)$$

Donde:

C_e = Coeficiente de Escurrimiento

V_{hp} = Volumen de precipitación total

V_{ed} = Volumen de escurrimiento directo

La ecuación indica el volumen de agua que escurre en la cuenca, por ejemplo, si se tuviera un C_e de 0.15, significa que el 15 % del agua precipitada en la cuenca escurre y el 85 % se infiltra.

I.7.3 Índice de Infiltración

El índice de infiltración es un criterio que asume que “la capacidad de infiltración es constante durante toda la tormenta” (Aparicio F. J., 1989). La metodología para aplicar correctamente este criterio, cuando se cuenta con el hietograma de precipitación y el hidrograma de escurrimiento, es la siguiente:

- Separar el volumen base del hidrograma de la avenida y calcular el volumen de escurrimiento directo
- Calcular la altura de lluvia efectiva hp_e de la siguiente forma:

$$hp_e = \frac{V_{ed}}{A_c} \quad \dots (3)$$

Donde

V_{ed} = Volumen de escurrimiento directo

A_c = Área de la cuenca

- c) “Calcular el índice de infiltración (Φ) trazando una línea horizontal en el hietograma de la tormenta de tal forma que la suma de las alturas de precipitación que queden arriba de esa línea sea igual a hp_e . Finalmente, el índice de infiltración es igual a la altura de precipitación correspondiente a la línea horizontal dividida entre el intervalo de tiempo Δt que dure cada barra del hietograma”. (Aparicio F. J., 1989).

I.8 Modelos lluvia escurrimiento

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), menciona que una cuenca es aquella que abarca un territorio mayor a 50,000 ha, mientras que una subcuenca abarca entre 5,000 y 50,000 ha y una microcuenca menos de 5,000 ha. (IMTA, 2019).

Dependiendo de las características de las cuencas, los modelos de parámetros concentrados son más adecuados para cuencas pequeñas, ya que se pueden asumir condiciones homogéneas, mientras que, para cuencas más grandes, los modelos de parámetros distribuidos son mejores debido a su representación de parámetros hidrológicos.

I.8.1 Hidrograma Unitario Triangular

El hidrograma unitario es un modelo lineal que es usado para inferir el hidrograma resultante de cualquier exceso de lluvia (Chow, 1988).

Para obtener el hidrograma unitario, se pueden utilizar las siguientes ecuaciones.

$$q_p = 0.208 \frac{A_c}{t_p} \quad \dots (4)$$

Donde:

$$t_p = 1.1 t_c$$

A_c = es el área de la cuenca, en km^2

t_p = es el tiempo pico del hidrograma, en h

t_c = es el tiempo de concentración, en h

En este modelo se hacen varias suposiciones las cuales se muestran a continuación.

- La intensidad del exceso de precipitación es constante durante una tormenta.
- Dicho sobrante de precipitación está distribuido de forma uniforme a través del área total de drenaje.
- La duración del escurrimiento directo (DRH) es constante.
- Las ordenadas de los DRH son directamente proporcionales a la cantidad total de escurrimiento directo.

- Para una cuenca dada, el hidrograma final muestra las características constantes de la cuenca.

En condiciones naturales, las suposiciones no se satisfacen de forma perfecta, sin embargo, si se selecciona cuidadosamente, los resultados obtenidos con este método son aceptables para propósitos prácticos, (Chow, 1988).

Una vez obtenido el hidrograma unitario, este se puede utilizar para encontrar los hidrogramas de cualquier exceso de lluvia.

I.8.2 Método del Hidrograma Sintético de Chow

El método del hidrograma sintético de Chow se deriva de los conceptos de hidrogramas unitarios. Este método consiste en que el gasto pico del escurrimiento directo de una cuenca se puede calcular como el producto de la lluvia efectiva por el gasto pico de un hidrograma unitario.

Para el cálculo del gasto pico, q_p , se utiliza la siguiente fórmula:

$$q_p = 0.278 * \frac{1}{d_e} * A * Z \quad \dots (5)$$

Donde:

d_e = duración de la lluvia, hr

A = área de la cuenca, km²

Z = factor de reducción del pico del hidrograma unitario.

$$Z = \begin{cases} 0.73 \left(\frac{d_e}{t_r} \right)^{0.97} & \text{si } 0.05 < \frac{d_e}{t_r} < 0.40 \\ 1.89 \left(\frac{d_e}{t_r} \right)^{0.23} - 1.23 & \text{si } 0.40 < \frac{d_e}{t_r} < 2.00 \end{cases} \quad \dots (6)$$

Se observa que el factor de reducción, Z , depende del periodo de retraso, t_r , el cuál se calcula de la siguiente forma:

$$t_r = 0.00505 \left(\frac{L}{\sqrt{s}} \right)^{0.64} \quad \dots (7)$$

Donde

L = longitud del cauce principal, m

s = pendiente del cauce principal, %

I.8.3 Método Racional

Este método se basa en la suposición de que una lluvia que empieza de forma instantánea con una cierta intensidad i y continúa de forma indefinida, la tasa de escurrimiento continuará hasta que se llegue al tiempo de concentración. De esta forma el producto de la intensidad de lluvia i y el área de la cuenca A es el caudal de entrada al sistema, iA , y la relación entre este caudal y el caudal pico Q , se conoce como coeficiente de escurrimiento, C ($0 \leq C \leq 1$), (Chow, 1988).

La fórmula que describe lo anterior mencionado es la ecuación 8.

Considerando lo anterior y de acuerdo con Ven Te Chow, (Chow, 1988), se pueden hacer otras suposiciones para este método:

- La tasa de escurrimiento pico calculada a la salida de la cuenca es función de la tasa de lluvia promedio durante el tiempo de concentración, esto significa que el caudal pico no resulta de una lluvia más intensa con menor duración.
- El tiempo de concentración utilizado es el tiempo necesario para que el escurrimiento se establezca y fluya desde la parte más remota del área de drenaje hacia el punto de salida de la cuenca.
- La intensidad de lluvia es constante durante toda la tormenta.

El método racional se utiliza para estimar el gasto de un río en función de las características de una cuenca, así como de la precipitación. Este método es utilizado para el diseño de sistemas de alcantarillado debido a su simplicidad. También se considera preliminar y una ventaja es que se puede revisar transitando hidrogramas de caudales (Chow, 1988). Para aplicar este método se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = C * i * A \quad \dots (8)$$

Donde

Q = Gasto pico

C = Coeficiente de Escurrimiento

i = Intensidad de Lluvia

A = Área de la Cuenca

I.9 Coeficiente de escurrimiento por medio de tablas

Existen diversas tablas con coeficientes de escurrimiento ya establecidos por diferentes autores para diferentes enfoques. A continuación, se muestran las tablas que se usaron para la realización de este trabajo:

Tabla 2 Coeficientes de escurrimiento, (Chow, 1988)

Coeficientes de escurrimiento							
	Periodo de retorno (años)						
Características de la superficie	2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.9	0.95	1
Concreto (Área desarrollada)	0.75	0.8	0.83	0.88	0.92	0.97	1
Zonas verdes (jardines, parques, etc)							
Condición pobre (<50% de cubierta de pasto)							
Plano 0 - 2%	0.32	0.34	0.37	0.4	0.44	0.47	0.58
Promedio 2 - 7%	0.37	0.4	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente > 7%	0.4	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición promedio (50 - 75% de cubierta de pasto)							
Plano 0 - 2%	0.25	0.28	0.3	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio 2 - 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente > 7%	0.37	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53	0.6
Condición buena (> 75% de cubierta de pasto)							
Plano 0 - 2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio 2 - 7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente > 7%	0.34	0.37	0.4	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas							
Área de cultivos							
Plano 0 - 2%	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47	0.57
Promedio 2 - 7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.6
Pendiente > 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano 0 - 2%	0.25	0.28	0.3	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio 2 - 7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente > 7%	0.37	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53	0.6
Bosques							
Plano 0 - 2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio 2 - 7%	0.31	0.34	0.36	0.4	0.43	0.47	0.56
Pendiente > 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Tabla 3 Coeficientes de Ecurrimiento Servicio de Conservación de Estados Unidos

Coeficientes de escurrimiento						
		Pendiente				
Cobertura Vegetal	Tipo de suelo	Pronunciada >50%	Alta 50% - 20%	Media 20% - 8%	Suave 8% - 1%	Despreciable <1%
Sin Vegetación	Impermeable	0.8	0.75	0.7	0.65	0.6
	Semipermeable	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5
	Permeable	0.5	0.45	0.4	0.35	0.3
Cultivos	Impermeable	0.7	0.65	0.6	0.55	0.5
	Semipermeable	0.6	0.55	0.5	0.45	0.4
	Permeable	0.4	0.35	0.3	0.25	0.2
Pastos Vegetación Ligera	Impermeable	0.65	0.6	0.55	0.5	0.45
	Semipermeable	0.55	0.5	0.45	0.4	0.35
	Permeable	0.35	0.3	0.25	0.2	0.15
Hierba, Gramma	Impermeable	0.6	0.55	0.5	0.45	0.4
	Semipermeable	0.5	0.45	0.4	0.35	0.3
	Permeable	0.3	0.25	0.2	0.15	0.1
Bosques de Vegetación Densa	Impermeable	0.55	0.5	0.45	0.4	0.35
	Semipermeable	0.45	0.4	0.35	0.3	0.25
	Permeable	0.25	0.2	0.15	0.1	0.05
Valores según el Servicio de Conservación de E.U						
Para zonas que puedan ser quemadas se multiplican los coeficientes de la siguiente forma:						
Cultivos: Multiplicar por 1.10						
Hierbas, pastos y vegetación ligera, bosques y vegetación densa: multiplicar por 1.30						

Tabla 4 Coeficientes de Esgurrimiento, (ASCE, 1972)

Tipo de Superficie		Coeficiente de Esgurrimiento	
		Mínimo	Máximo
Prado	Suelo arenoso, pendiente s , $< 2\%$	0.05	0.1
	Suelo arenoso, $2\% < s < 7\%$	0.1	0.15
	Suelo arenoso, $s > 7\%$	0.15	0.2
	Suelo arcilloso, $s < 2\%$	0.13	0.17
	Suelo arcilloso, $2\% < s < 7\%$	0.18	0.22
	Suelo arcilloso, $s > 7\%$	0.25	0.35
Áreas Comerciales	Áreas del centro de la ciudad	0.7	0.95
	Áreas vecinas	0.5	0.7
Residencial	Casas Aisladas	0.3	0.5
	Condominios Aislados	0.4	0.6
	Condominios Unidos	0.6	0.75
	Suburbios	0.25	0.4
	Departamentos	0.5	0.7
Áreas Industriales	Grandes industrias	0.5	0.8
	Pequeñas	0.6	0.9
	Parques y Jardines	0.1	0.25
Calles	Asfaltadas	0.7	0.95
	Concreto	0.8	0.95
	Ladrillo	0.7	0.85
	Adoquín	0.5	0.7
	Pasajes y paseos peatonales	0.75	0.85
	Techos	0.75	0.95
Otros Usos	Parques, cementerios	0.1	0.25
	Campos de Juego	0.2	0.35
	Patios de Ferrocarriles	0.2	0.4
	Áreas no desarrolladas	0.1	0.3
	Calzadas y alamedas	0.75	0.85
	Techos	0.75	0.95

Valores típicos de esgurrimento de acuerdo con el ASCE (1972)



Tabla 5 Coeficientes de escurrimiento de acuerdo con Michigan State College of Engineers

Uso de suelo	Tr Torment a	Suelo A			Suelo B			Suelo C			Suelo D		
	Años	0%<s<2 %	2%<s<6 %	s>6 %	0%<s<2 %	2%<s<6 %	s>6 %	0%<s<2 %	2%<s<6 %	s>6 %	0%<s<2 %	2%<s<6 %	s>6 %
Tierra Cultivada	<25	0.08	0.13	0.16	0.11	0.15	0.21	0.14	0.19	0.26	0.18	0.23	0.21
	>25	0.14	0.18	0.22	0.16	0.21	0.28	0.2	0.25	0.34	0.24	0.29	0.41
Pasto	<25	0.12	0.2	0.3	0.18	0.28	0.37	0.24	0.34	0.44	0.3	0.4	0.5
	>25	0.15	0.25	0.37	0.23	0.34	0.45	0.3	0.42	0.52	0.37	0.5	0.62
Pradera	<25	0.1	0.16	0.25	0.14	0.22	0.3	0.2	0.28	0.36	0.24	0.3	0.4
	>25	0.14	0.22	0.3	0.2	0.28	0.37	0.26	0.35	0.44	0.3	0.4	0.5
Bosques	<25	0.05	0.08	0.11	0.08	0.11	0.14	0.1	0.13	0.16	0.12	0.16	0.2
	>25	0.08	0.11	0.14	0.1	0.14	0.18	0.12	0.16	0.2	0.15	0.2	0.25
Zona Residencial A<505.86 m ²	<25	0.25	0.28	0.31	0.27	0.3	0.35	0.3	0.33	0.38	0.33	0.36	0.42
	>25	0.33	0.37	0.4	0.35	0.39	0.44	0.38	0.42	0.49	0.41	0.45	0.54
Zona Residencial A<1,011.71 m ²	<25	0.22	0.26	0.29	0.24	0.29	0.33	0.27	0.31	0.36	0.3	0.34	0.4
	>25	0.3	0.34	0.37	0.33	0.37	0.42	0.36	0.4	0.47	0.38	0.42	0.52
Zona Residencial A<1,335.46 m ²	<25	0.19	0.23	0.26	0.22	0.26	0.3	0.25	0.29	0.34	0.28	0.32	0.39
	>25	0.28	0.32	0.35	0.3	0.35	0.39	0.3	0.38	0.45	0.36	0.4	0.5
Zona Residencial A<2,023.43 m ²	<25	0.16	0.2	0.24	0.19	0.23	0.28	0.22	0.27	0.32	0.26	0.3	0.37
	>25	0.25	0.29	0.32	0.28	0.32	0.36	0.31	0.35	0.42	0.34	0.38	0.48
Zona Residencial A<4,046.86 m ²	<25	0.14	0.19	0.22	0.17	0.21	0.26	0.2	0.25	0.31	0.24	0.29	0.35
	>25	0.22	0.26	0.29	0.24	0.28	0.34	0.28	0.32	0.4	0.31	0.35	0.46
Zona Industrial	<25	0.67	0.68	0.68	0.68	0.68	0.69	0.68	0.69	0.69	0.69	0.69	0.7
	>25	0.85	0.85	0.86	0.85	0.86	0.86	0.86	0.86	0.87	0.86	0.86	0.88



Uso de suelo	Tr Tormenta	Suelo A			Suelo B			Suelo C			Suelo D		
	Años	0%<s<2 %	2%<s<6 %	s>6 %	0%<s<2 %	2%<s<6 %	s>6 %	0%<s<2 %	2%<s<6 %	s>6 %	0%<s<2 %	2%<s<6 %	s>6 %
Zona Comercial	<25	0.71	0.71	0.72	0.71	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
	>25	0.88	0.88	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.9	0.89	0.89	0.9
Calles	<25	0.7	0.71	0.72	0.71	0.72	0.74	0.72	0.73	0.76	0.73	0.75	0.78
	>25	0.76	0.77	0.79	0.8	0.82	0.84	0.84	0.85	0.89	0.89	0.91	0.95
Espacios Abiertos	<25	0.05	0.1	0.14	0.08	0.13	0.19	0.12	0.17	0.24	0.16	0.21	0.28
	>25	0.11	0.16	0.2	0.14	0.19	0.26	0.18	0.23	0.32	0.22	0.27	0.39
Estacionamientos	<25	0.85	0.86	0.87	0.85	0.86	0.87	0.85	0.86	0.87	0.85	0.86	0.87
	>25	0.95	0.96	0.97	0.95	0.96	0.97	0.95	0.96	0.97	0.95	0.96	0.97

II. SIG en hidrología

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son un conjunto de información con herramientas informáticas, es decir un software, cuyo objetivo es obtener datos relacionados con el espacio físico.

Un SIG permite crear y visualizar fácilmente datos en un mapa para relacionar fenómenos geográficos de cualquier tipo. (Servicio Geológico Mexicano, 2020)

En el caso de la hidrología, un SIG se puede usar para obtener información sobre uso de suelo, delimitaciones de cuencas, pendientes de terreno, densidad de población, etc.

II.1 Sistemas de coordenadas

Los sistemas de coordenadas geográficas son métodos de referencia que permiten definir ubicaciones en el mundo, a través de una superficie esférica tridimensional (ArcGIS, 2021).

Debido a que se cuantificaron áreas y longitudes, se utilizó un sistema de coordenadas proyectadas. A diferencia de un sistema de coordenadas geográficas, este sistema se compone de longitudes, ángulos y áreas constantes. Es importante mencionar que los sistemas de coordenadas proyectadas siempre están basados en un sistema de coordenadas geográfico basado en una esfera (ArcGis, 2021).

El Marco de Referencia Terrestre Internacional es un sistema de referencia geodésico global que permite definir precisamente la posición y el movimiento de puntos en la superficie terrestre. Debido a que la ubicación de puntos en la tierra cambia con el tiempo provocado por el desplazamiento generado por tectónica de placas, los ITRF (Marco de Referencia Terrestre Internacional) son asociados a una época de referencia (INEGI, 2019).

El artículo 10 de la norma técnica del Sistema Geodésico Nacional establece que “toda estación geodésica de un levantamiento horizontal deberá estar referida al Marco de Referencia Terrestre Internacional definido por el Servicio Internacional de Rotación Terrestre y de Sistemas de Referencia para el año 2008, con datos de la época 2010.0, denominado ITRF08 época 2010.0, asociado al elipsoide de referencia definido en el GRS80” (INEGI, 2011).

Las proyecciones permiten representar la superficie de la tierra sobre una superficie plana, sin embargo, es necesario decidir que proyección se usará, ya que dependiendo de cuál se utilice, se generan distorsiones en ciertos puntos del plano, (Universidad Politécnica de Madrid, 2010).

Las proyecciones más utilizadas en los SIG son: cónica, cilíndrica y planar.

II.1.1 Proyección Cónica

La proyección cónica es tangente a la tierra a lo largo de una línea de latitud, nombrada paralelo estándar. Los meridianos se proyectan sobre la superficie cónica y se encuentran en la punta del cono. Las líneas de latitud se proyectan en el cono como anillos. Finalmente, el cono se corta a lo largo de un meridiano escogido libremente para generar la proyección final. En este tipo de proyección, la distorsión aumenta cuanto más se aleje del paralelo estándar, (ArcGIS, 2025).

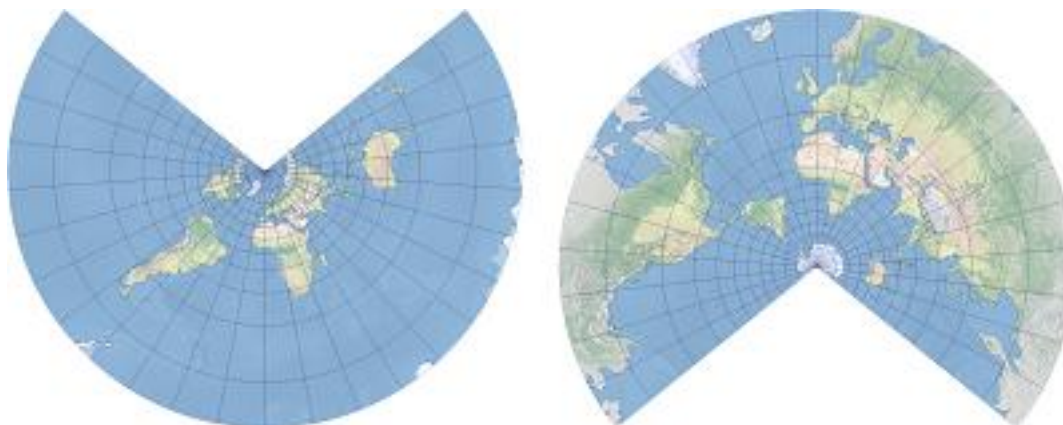


Ilustración 3 Proyección cónica de Lambert (ArcGIS, 2021)

II.1.2 Proyección Cilíndrica

En este tipo de proyección la más utilizada es la proyección de Mercator y la línea de tangencia es el ecuador. “Los meridianos se proyectan geoméricamente sobre la superficie cilíndrica y los paralelos se proyectan matemáticamente, de esta forma se producen ángulos reticulares de 90°. El cilindro se divide a lo largo de cualquier meridiano para producir la proyección cilíndrica final” (ArcGIS, 2025).



Ilustración 4 Proyección cilíndrica (ArcGIS, 2021)

II.1.3 Proyección Plana

Este tipo de proyección, por lo general, es tangente al globo en un punto. Este punto puede ser el Polo Norte, el Polo Sur, un punto en el ecuador o cualquier punto intermedio.

Este punto especifica la orientación y es el foco de la proyección, (ArcGIS, s.f.).



Ilustración 5 Proyección planar (ArcGIS, 2021)

II.2 Tipos de información utilizada

Dentro del software GIS la información espacial se organiza en forma de capas. Dichas capas representan diferentes tipos de datos geográficos. Las capas son jerárquicas, lo que significa que la capa que se ordene hasta arriba es la que se ve primero. Al sobreponer las capas se puede analizar la relación entre los distintos elementos que la componen.

Existen diferentes tipos de capas, como las capas vectoriales, que son compuestas por puntos y líneas; y por otra parte, están las capas ráster, las cuales pueden ser imágenes satelitales, modelos de elevación, etc.

Esta información se puede obtener de diferentes plataformas, como pueden ser INEGI, Google Earth, etc. en las cuales se pueden descargar las capas necesarias para obtener información diversa.

En México se genera este tipo de información desde 1968, con el inicio de la elaboración de la Carta Topográfica escala 1:50,000, posteriormente, en 1977 se elaboran las guías para la interpretación de la cartografía y se define el Marco Geoestadístico Nacional (INEGI, 2018).

La información que se puede encontrar es generada por diferentes dependencias, como el INEGI, la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), etc. las cuales aportan información que es utilizada para generar diferentes mapas, como los de relieve continental, uso de suelo y vegetación, climatología, etc. con los cuales se pueden generar capas que son utilizadas en los softwares GIS.

II.2.1 Formato ráster

Los ráster son datos formados por una matriz de celdas la cual contiene un valor que representa las características del área cubierta por esa celda. Se utilizan cuando la información que necesitamos es continua y no puede ser dividida en características vectoriales, (QGIS project, 2024).

Algunos ejemplos de los formatos raster son:

Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM): Es un modelo que representa las elevaciones del territorio mexicano. (INEGI, 2013).

Modelos Lidar: A partir de estos modelos se pueden generar modelos ráster, como el CEM. (USGS, 2025)

Ráster de Temperaturas: La temperatura se representa como celdas con un valor de temperatura asignado. (ArcGIS, 2026)

Ráster de Precipitación: La precipitación, similar al ráster de temperatura, se representa como celdas con un valor de precipitación asignado.

Los formatos ráster pueden venir como archivos Esri Grid, GeoTIFF, ASCII, CADRG, CIB, DTED.

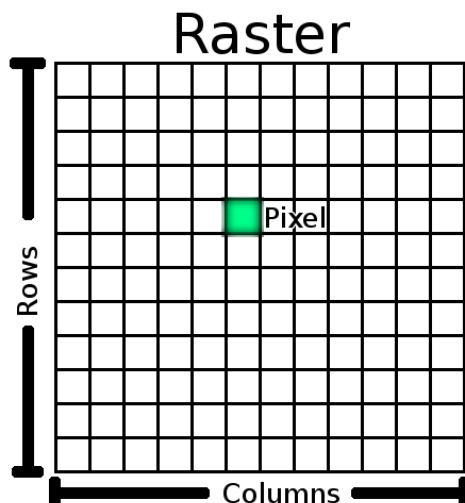


Ilustración 6. Representación de un ráster, (QGIS, 2024)

II.2.2 Formato vectorial

Los datos vectoriales son representados de forma geométrica, dicha geometría está formada por uno o más vértices interconectados, los cuales tienen una posición en el espacio dada por los ejes 'X', 'Y' y 'Z'. Una característica importante es que el eje 'Z' describe ya sea altura o profundidad, pero no puede describir ambas, (QGIS project, 2024).

En resumen, el formato vectorial utiliza puntos, líneas o polígonos con los cuales se hace una representación de entidades del mundo real. Estos formatos contienen atributos los cuales consisten en texto o información numérica que describe a los objetos representados (QGIS project, 2024).

Algunos ejemplos del formato vectorial son: Shapefile, Geopackage, KML, KMZ, Geodatabases, etc.

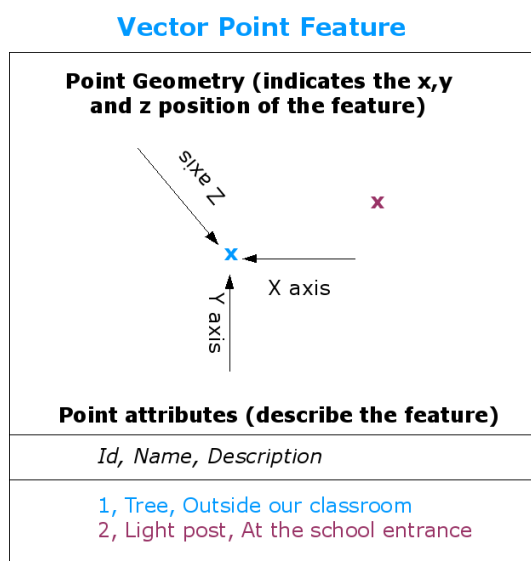


Ilustración 7 Representación de un vector, (QGIS, 2024)

II.3 Aplicaciones en hidrología

El uso del SIG en la hidrología es importante debido a su utilidad en el modelado del terreno al momento de realizar estudios en una cuenca. Asimismo, se pueden procesar y analizar grandes cantidades de datos para finalmente representarlos de forma visual en un mapa, (Geoinnova, 2017).

El uso del SIG también permite gestionar cuencas hidrográficas, permitiendo de esta forma generar modelos hidrológicos con los que se pueden obtener datos como los tiempos de concentración, caudales y volúmenes de escurrimiento (Polo, 2019).

También se puede generar un análisis de variables hidrológicas como la precipitación y la temperatura o la interpolación de datos meteorológicos, además de que permite generar mapas de riesgo hídrico en función del uso de suelo de la zona, su pendiente y capacidad de infiltración.

Adicional a lo anterior mencionado, vale la pena resaltar que se puede utilizar un gran volumen de información, según sea necesario, y la capacidad de procesamiento de la información es muy rápida, además de que se muestra la información requerida de forma clara y dinámica, lo que facilita el análisis de la información.

III. Aplicación en la República Mexicana

Con el fin de crear mapas de coeficientes de escurrimiento para diferentes periodos de retorno, se utilizó la tabla propuesta por Chow (Tabla 2 Coeficientes de escurrimiento, y la propuesta por el USSCS (Tabla 3 Coeficientes de Escurrimiento Servicio de Conservación de Estados Unidos) y junto con información obtenida de INEGI se realizó una reclasificación de acuerdo con el tipo de cobertura y a las pendientes de terreno de la República Mexicana para obtener un mapa de coeficientes de escurrimiento.

El coeficiente de escurrimiento es la relación que existe entre el caudal que fluye en el terreno y al caudal llovido. Existen diferentes coeficientes de escurrimiento en el país, pues estos dependen del uso de suelo y vegetación que se presenten en las zonas estudiadas. Asimismo, se pueden tener zonas en las que se tengan más de un uso de suelo y/o más de una vegetación. En estos casos se propone hacer un promedio ponderado de los coeficientes de escurrimiento de cada uso de suelo y vegetación que se encuentren en dicha zona, para tener un coeficiente aproximado.

Para obtener los coeficientes de escurrimiento necesarios para los estudios requeridos, primero es necesario conocer la descripción de cada uso de suelo en la República Mexicana para posteriormente clasificarlos y de esta forma asignarles un coeficiente de escurrimiento adecuado.

Una vez conocido el uso de suelo y vegetación, se reclasificó dicha información en diferentes categorías para un mejor manejo de la información. Posteriormente se generó un mapa de pendientes de la República Mexicana, el cuál fue utilizado en conjunto con el mapa de usos de suelo y vegetación para asignar un coeficiente de escurrimiento con las tablas previamente mencionadas y de esta forma determinar, de acuerdo con las características del terreno, un coeficiente de escurrimiento para diferentes periodos de retorno.

III.1 Fuentes de información

Para obtener resultados confiables se utilizó información de INEGI, en la cual se utilizó el Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM 3.0) para toda la República descargando un modelo con una resolución de 120 metros. Con este MDT se calculó un mapa de pendientes utilizando un sistema de información geográfica. La pendiente máxima encontrada en México es de Los rangos fueron escogidos con base en los rangos de las tablas de los autores mencionados.

Asimismo, se utilizaron archivos shape obtenidos de la página del INEGI sobre el uso de suelo y vegetación con una escala de 1:250 000.

III.1.1 Continuo de Elevaciones Mexicano CEM

El CEM es un modelo digital de elevaciones tipo terreno desarrollado por el INEGI para representar la topografía del territorio mexicano.

Existen 3 versiones del CEM, siendo la primera versión publicada en 2003 en la página del INEGI. La resolución espacial utilizada en dicha versión era de 30 metros. En 2010 se publicó la segunda versión del CEM, esta versión contaba con una resolución espacial igual a la primera versión, es decir de 30 metros. Finalmente, en 2012 se generó la tercera versión del CEM y fue puesta al público en 2013. En esta versión la resolución espacial utilizada es de 15 metros (INEGI, 2013).

Para el desarrollo del CEM se utilizó un modelo de interpolación reconocido a nivel internacional conocido como ANUDEM, además de fotogramtería aérea, información cartográfica y levantamientos LiDAR (INEGI, 2013).

El CEM está referenciado al ITRF92 época 1980, elipsoide GRS80.

III.1.2 Usos de suelo y vegetación INEGI

Se han realizado 6 series sobre el uso de suelo y vegetación. La Serie I se elaboró entre 1979 y 1991; la Serie II fue elaborada entre 1993 y 1999; la Serie III fue elaborada entre 2002 y 2005; la Serie IV se realizó entre 2006 y 2010; la Serie V se elaboró entre 2011 y 2013; y finalmente la Serie VI se elaboró entre 2014 y 2017 (INEGI, 2017).

Dentro de los objetivos de la realización de estas series se encuentran el mostrar la distribución de los diferentes tipos de vegetación natural e inducida en el país, distinguir las características relevantes de la vegetación arbórea e indicar sitios con actividad forestal.

Con la información proporcionada en estas series se pueden determinar algunas de las características necesarias del terreno para determinar el coeficiente de escurrimiento de la zona de interés.

III.2 Correlación de Datos

Para hacer un análisis más sencillo, todos los usos de suelo y vegetación se reclasificaron en 6 tipos de cobertura: agua, área desarrollada, bosque, cultivo, pastizal y área sin vegetación.

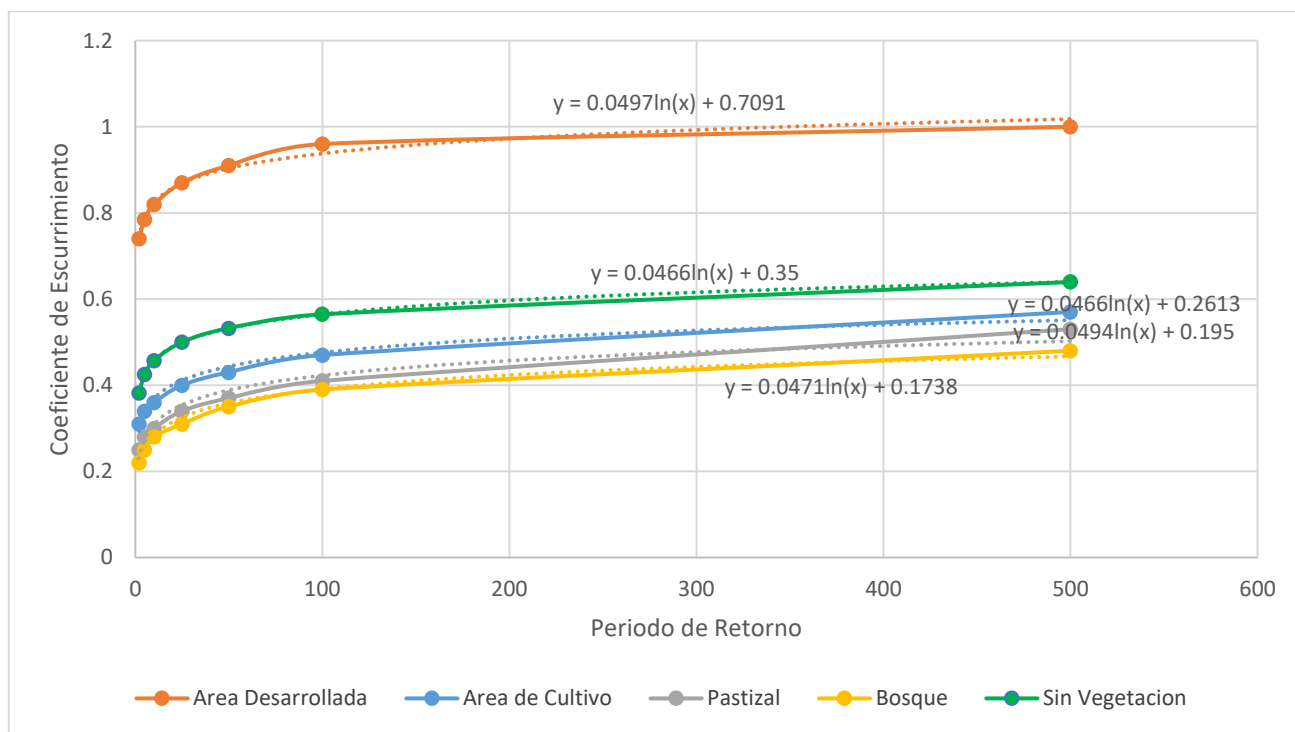
Para el cálculo de los coeficientes de escurrimiento se utilizaron diversas tablas, siendo las más utilizadas la de Chow (Tabla 2 Coeficientes de escurrimiento, y la del Servicio de Conservación de Estados Unidos (Tabla 3 Coeficientes de Escurrimiento Servicio de Conservación de Estados Unidos) debido a las características que presentan.

Ya que la tabla propuesta por Chow no contiene valores para zonas sin vegetación, se utilizaron los valores de la tabla del Servicio de Conservación de los Estados Unidos para suelos sin vegetación semipermeables.

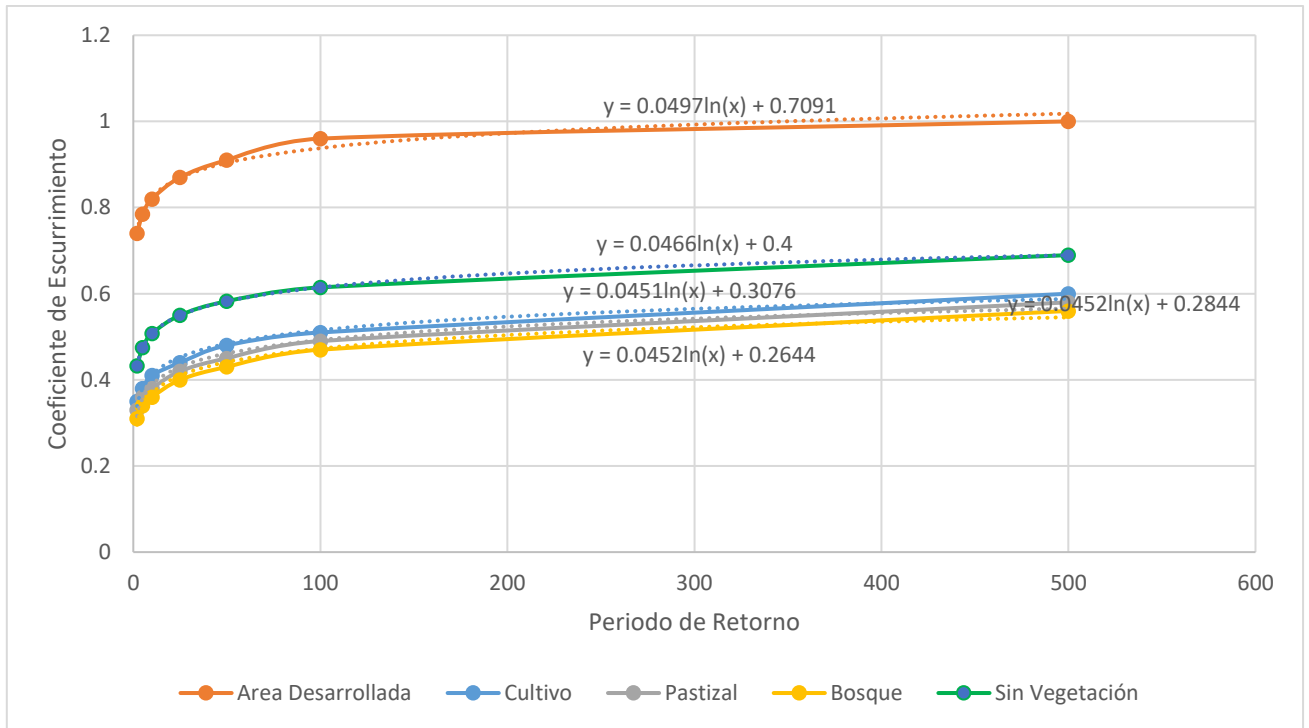
Para una pendiente entre 0% y 1% y para una pendiente entre 0% y 7% se tomó el coeficiente tal cual aparece en la Tabla 2 Coeficientes de escurrimiento, Por otra parte, para una pendiente mayor al 7% se realizó un promedio de los coeficientes que están en la Tabla 2 Coeficientes de escurrimiento,

Utilizando los datos proporcionados en la Tabla 2 Coeficientes de escurrimiento, y la Tabla 3 Coeficientes de Escurrimiento Servicio de Conservación de Estados Unidos, se realizaron gráficas en las que se ajustó una ecuación para los diferentes tipos de cobertura y de esta forma obtener los valores de coeficientes de escurrimiento faltantes.

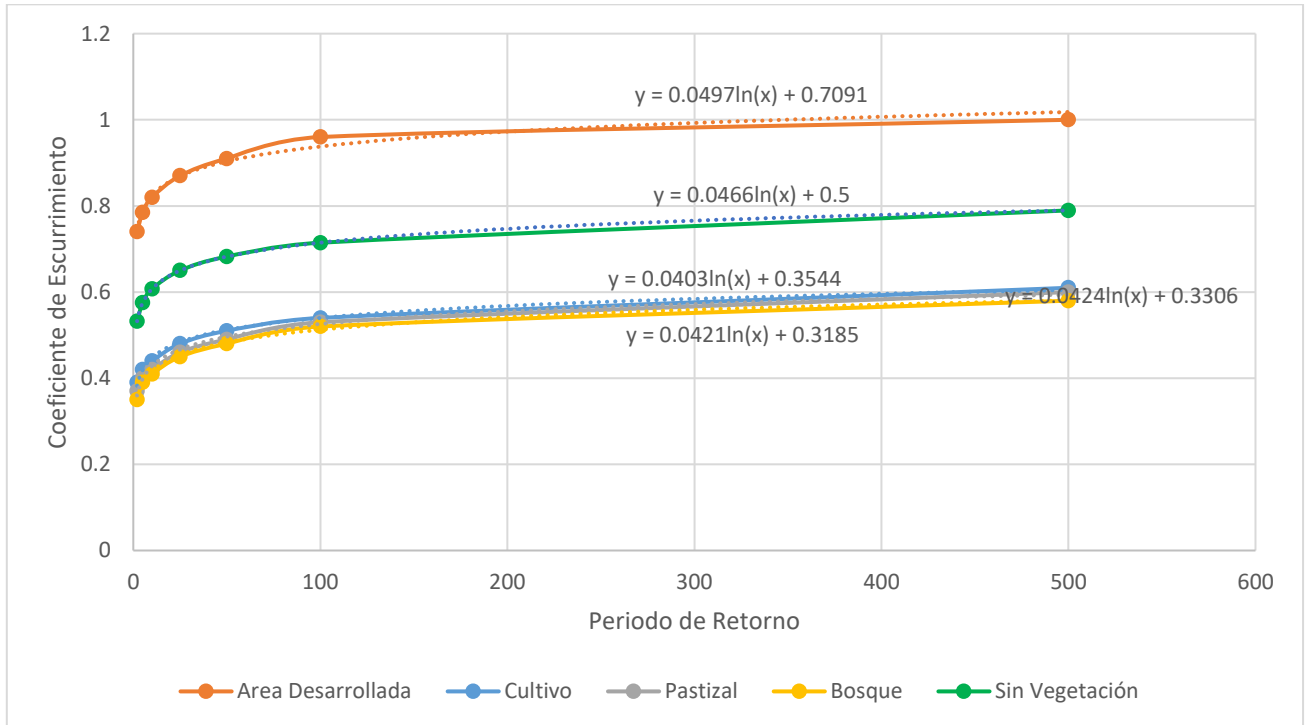
A continuación, se muestran las gráficas con sus ecuaciones para los diferentes tipos de pendientes.



Gráfica 1 Coeficientes de escurrimiento para una pendiente de 0% - 2%



Gráfica 2 Coeficientes de escurrimiento para una pendiente de 2% - 7%

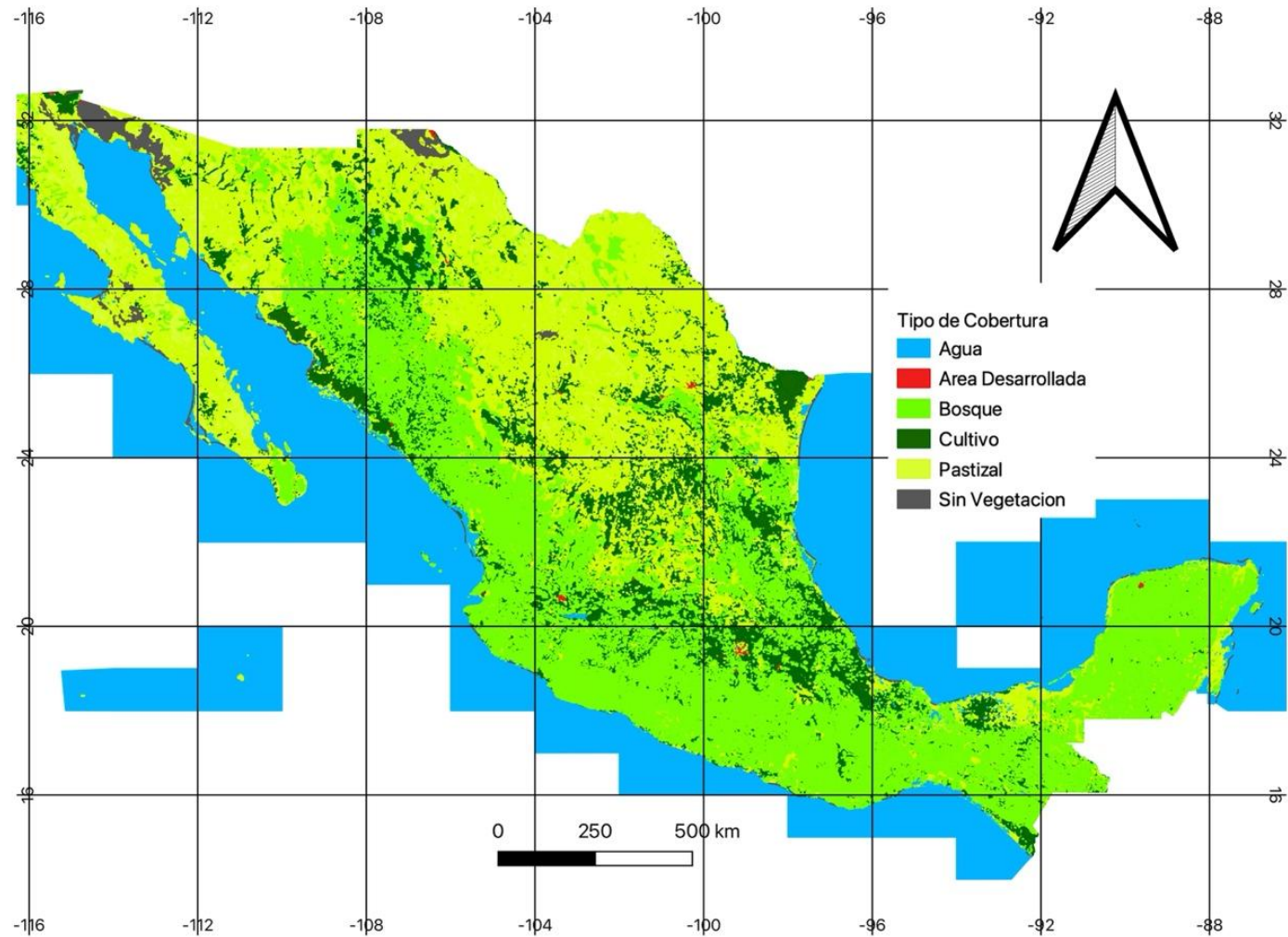


Gráfica 3 Coeficientes de escurrimiento para una pendiente de mayor a 7%



III.3 Mapa usos de suelo y vegetación reclasificado

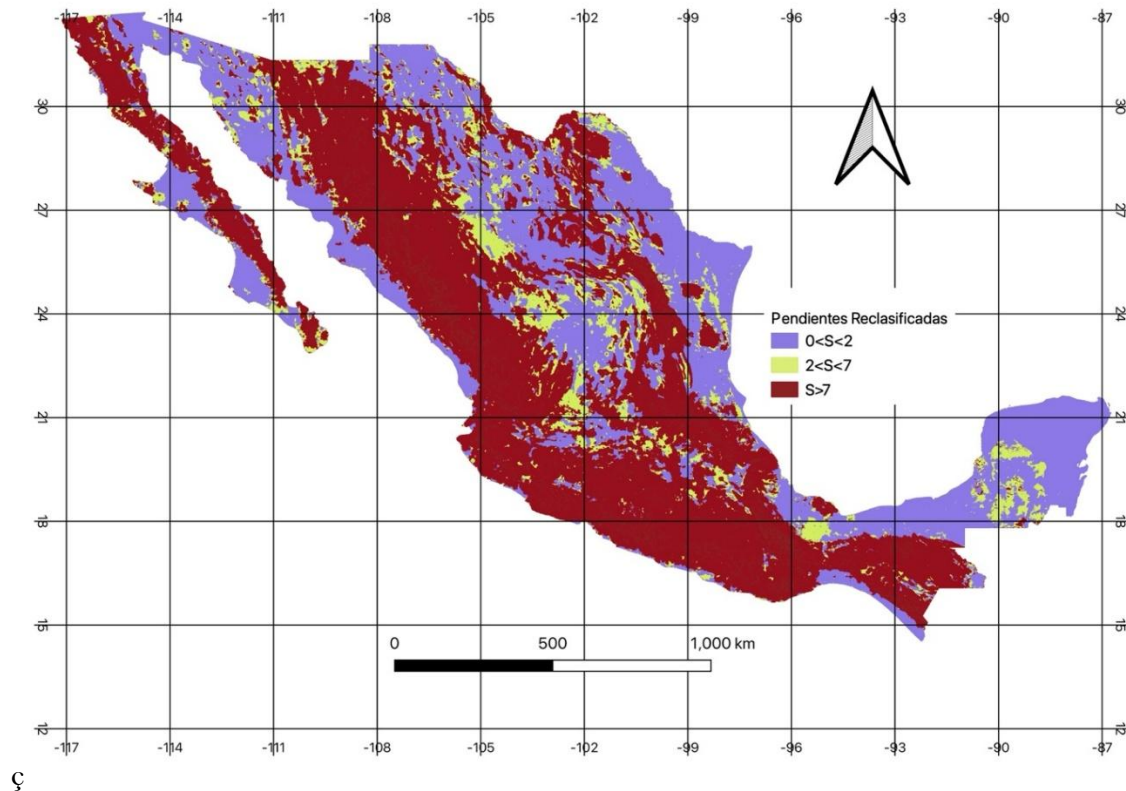
De acuerdo con la reclasificación realizada anteriormente, se realizó un mapa de la República Mexicana utilizando un sistema de información geográfica, al cual se le asignó la información previamente mencionada.



Mapa 1 Tipo de cobertura en México. Elaboración propia

III.4 Mapa de pendientes del terreno en México

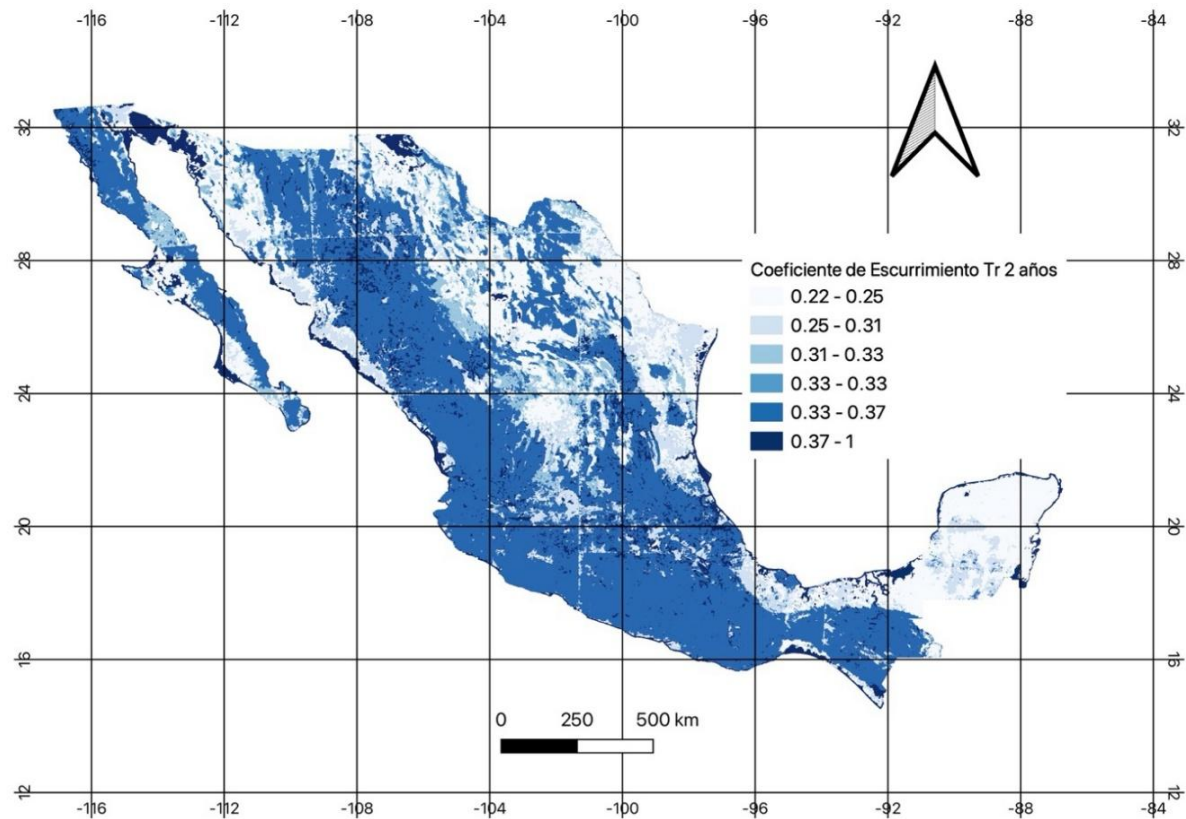
Utilizando un sistema de información geográfica, se obtuvo un mapa de las pendientes de la República Mexicana. Dichas pendientes se establecieron en un primer rango de 0% a 2%; un segundo rango de 2% a 7%; y un tercer rango con pendientes mayores al 7%.



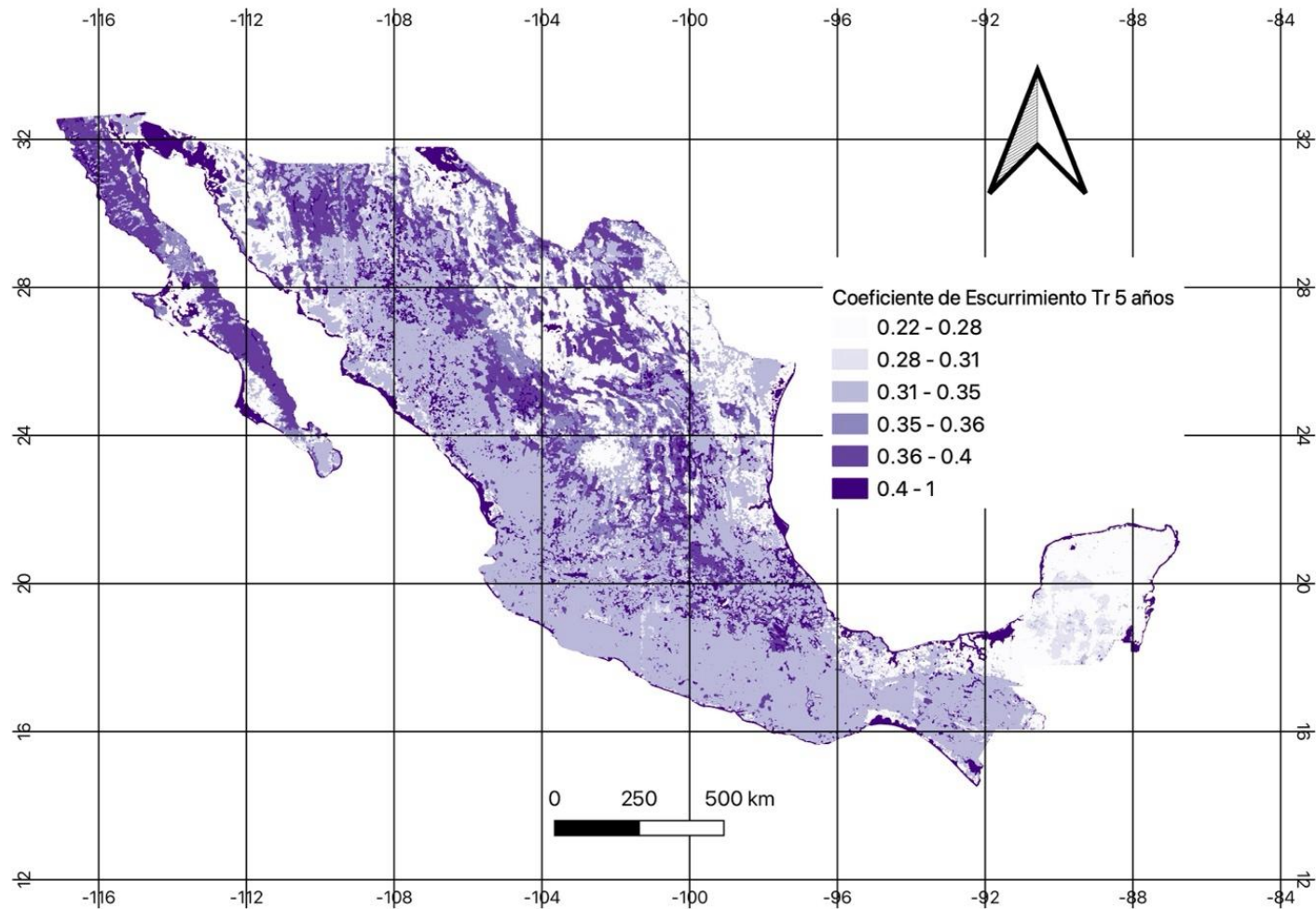
Mapa 2 Pendientes de México. Elaboración propia

III.5 Mapas de coeficiente de escurrimiento de la República Mexicana

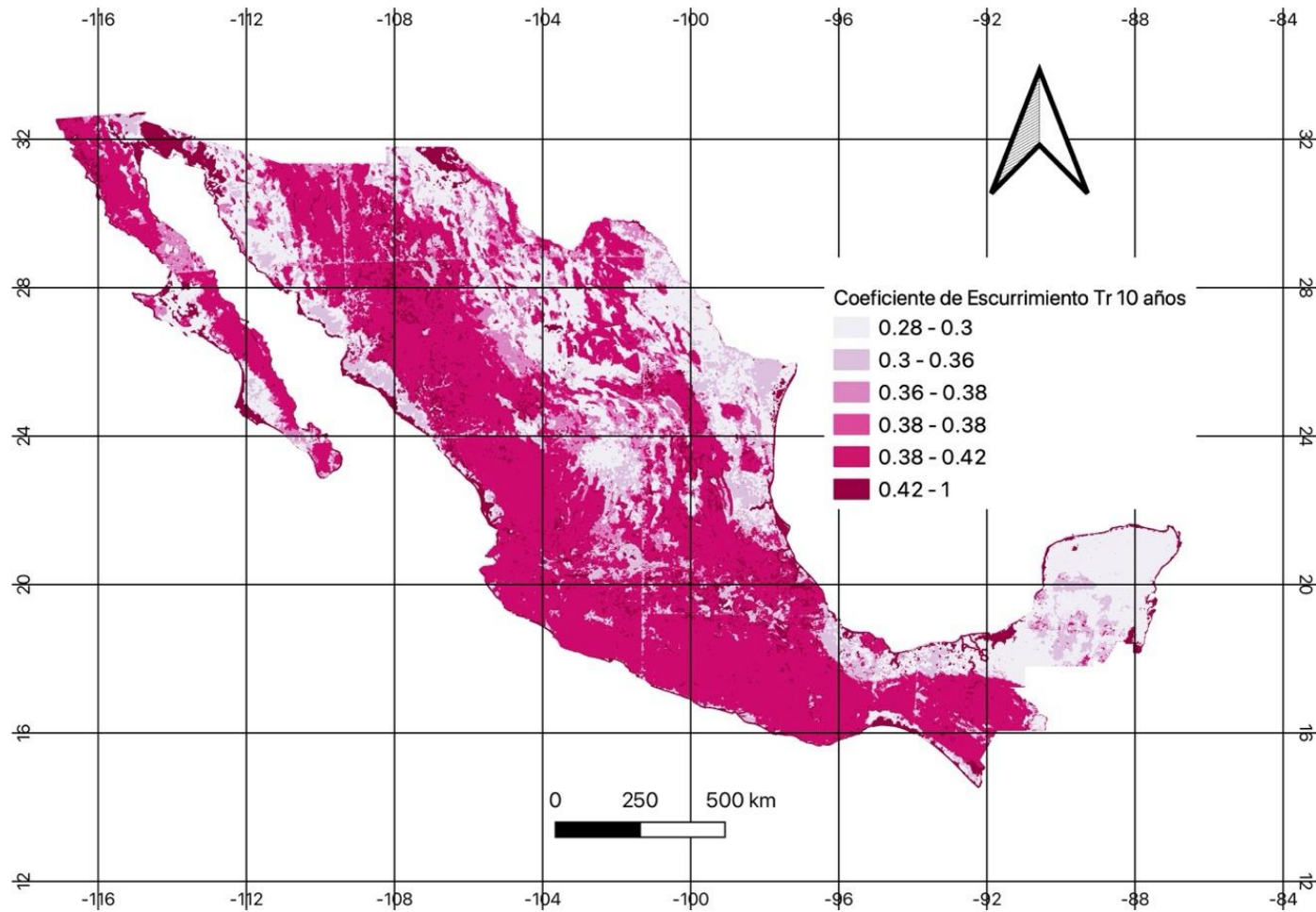
Una vez obtenidos los mapas de tipo de cobertura y de pendientes, se realizaron los mapas de los coeficientes de escurrimiento para diferentes periodos de retorno. Para esto se realizó álgebra de mapas, sobreponiendo los mapas de las pendientes con el mapa de cobertura y utilizando las tablas de coeficientes de escurrimiento para determinar los valores en función de la cobertura y el terreno.



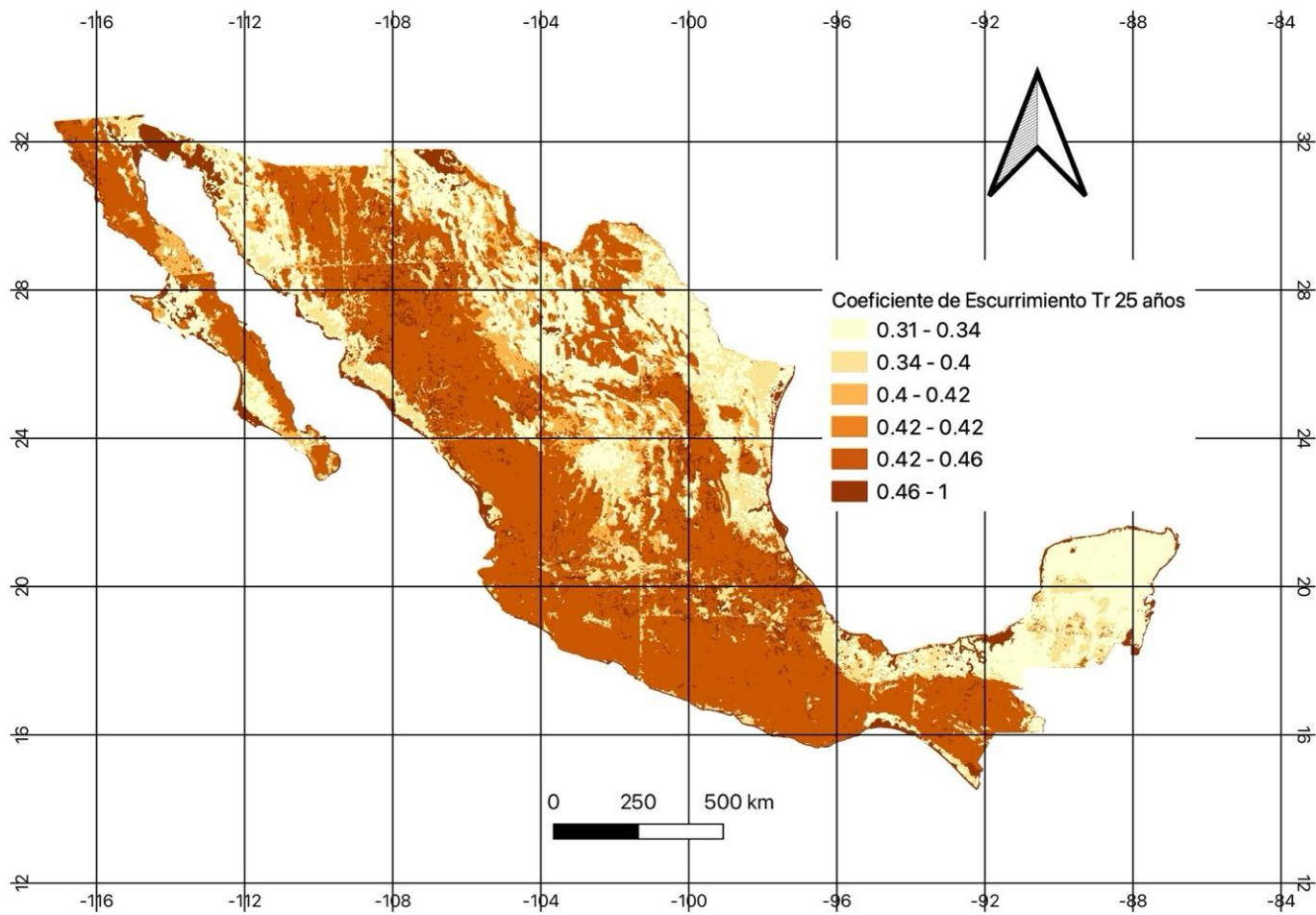
Mapa 3 Coeficientes de escurrimiento para un Tr de 2 años. Elaboración Propia



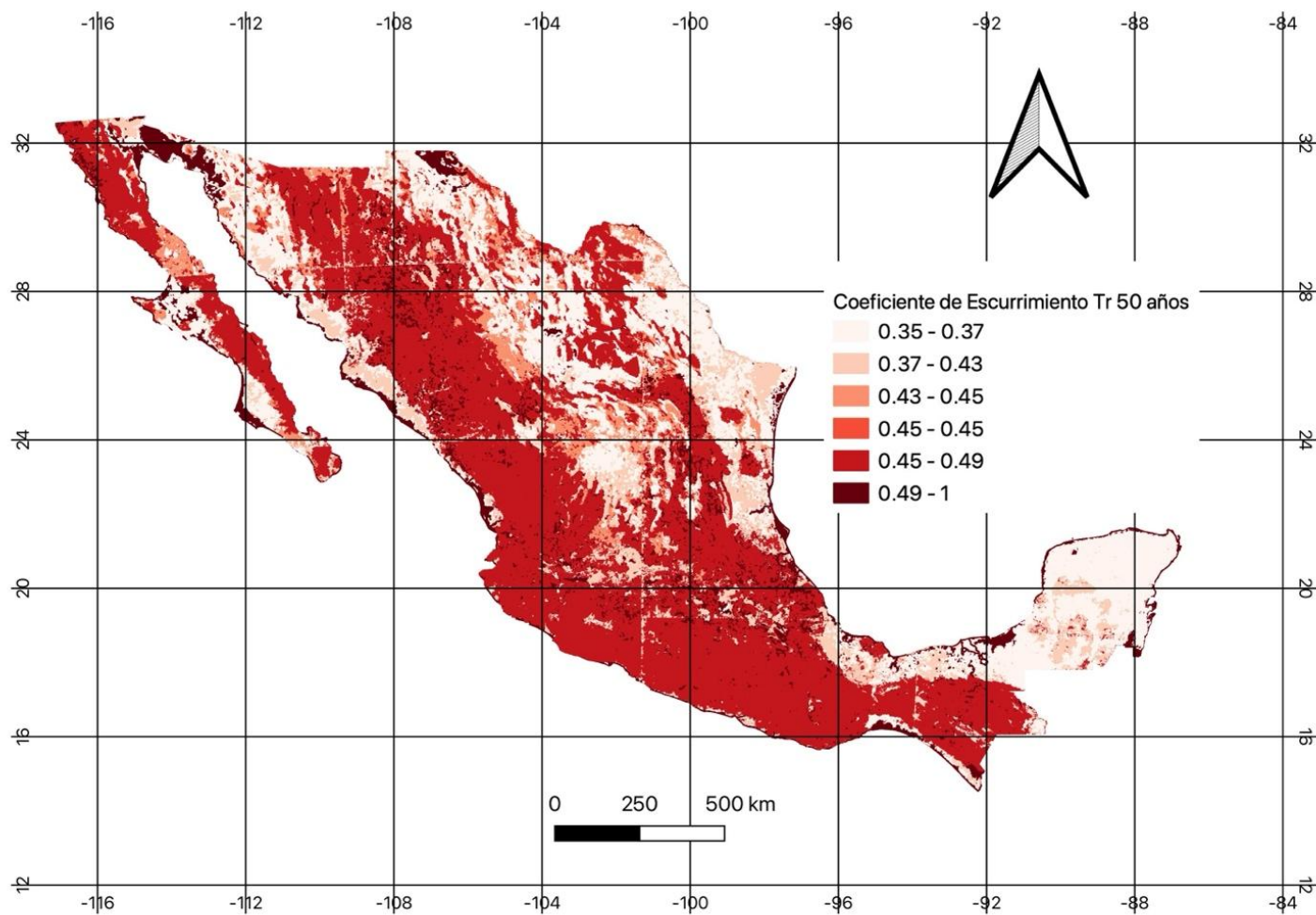
Mapa 4 Coeficientes de escurrimiento para un Tr de 5 años. Elaboración Propia



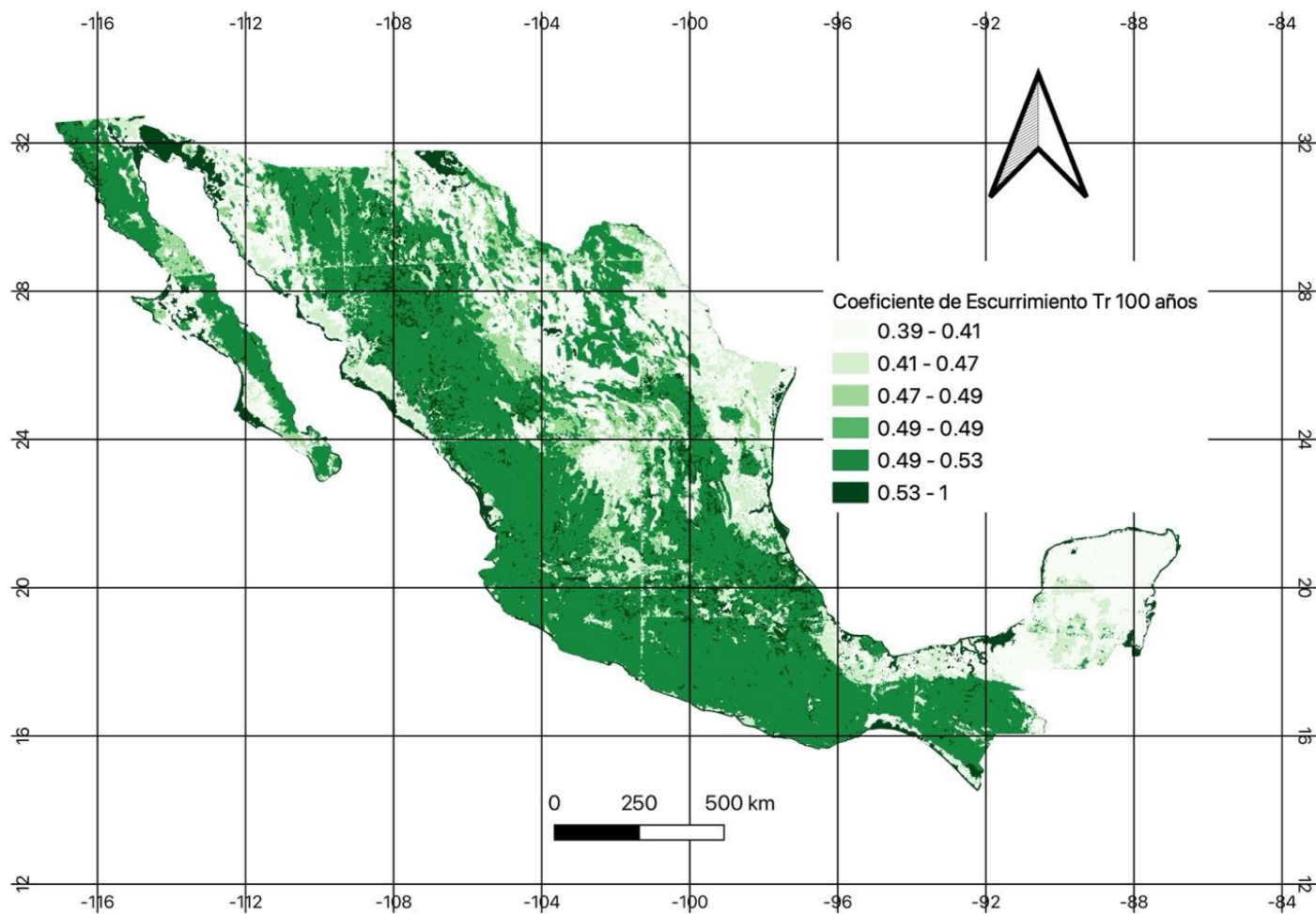
Mapa 5 Coeficientes de escurrimiento para un Tr de 10 años. Elaboración Propia



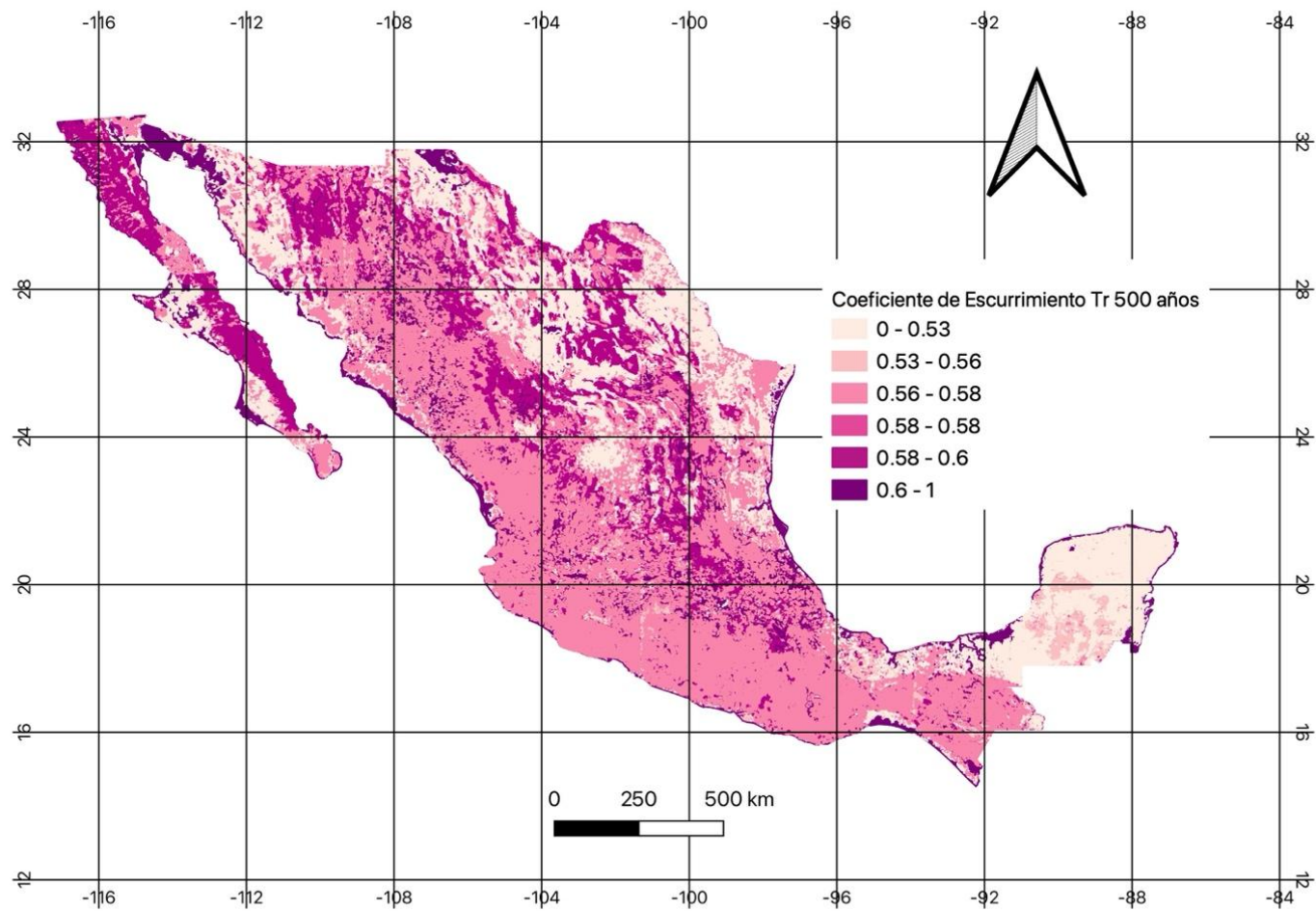
Mapa 6 Coeficientes de escurrimiento para un Tr de 25 años. Elaboración Propia



Mapa 7 Coeficientes de esguimiento para un Tr de 50 años. Elaboración Propia



Mapa 8 Coeficientes de escurrimiento para un Tr de 100 años. Elaboración Propia



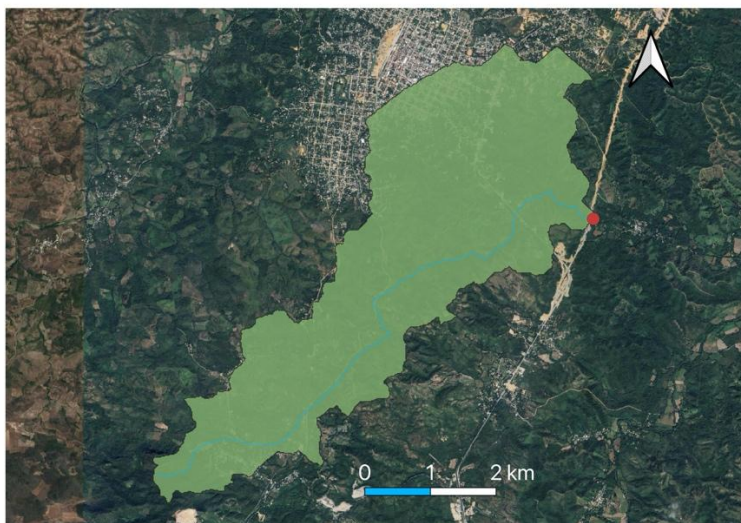
Mapa 9 Coeficientes de escurrimiento para un Tr de 500 años. Elaboración Propia

IV. Análisis de resultados

Para analizar los resultados obtenidos, se realizó un estudio en una cuenca mediante el método de número de curva para obtener los coeficientes de escurrimiento, por otra parte, se realizó el cálculo de los coeficientes de escurrimiento mediante el uso de los mapas realizados.

IV.1 Aplicación en una cuenca

El estudio se realizó en la cuenca del puente La Soledad localizado en el libramiento de la carretera Matías Romero, ubicado en el Istmo de Tehuantepec.



Mapa 10 Cuenca en estudio

La ubicación del centroide de dicha cuenca se encuentra en las coordenadas UTM zona 15 285418.05 N, 1864649.97 W y se obtuvieron las siguientes características:

Tabla 6 Características fisiográficas de la cuenca La Soledad

Característica	Valor
Área (km ²)	17.890
Lcp (km)	9.66
T _C _{Kirpich} (min)	124.92
Pendiente media	0.0121

Una vez obtenidas estas características, se utilizó el método del número de curva para calcular la precipitación efectiva y con ello obtener el coeficiente de escurrimiento.

Para los valores de coeficiente de escurrimiento mediante el número de curva, se clasificaron las diferentes zonas mediante los usos de suelo, tipo de suelo y la clase de textura. Posteriormente, se asignaron los valores del número de curva para condiciones de humedad antecedente II según diferentes autores. A continuación, se muestran los diferentes valores de acuerdo con diversos autores.

Valores de CN para Condiciones de Humedad Antecedente II (Aparicio, 2003)

Uso de la tierra y cobertura	Tratamiento del suelo	Pendiente del terreno [%]	Tipo de Suelo			
			A	B	C	D
Sin cultivo	Surcos rectos	–	77	86	91	94
	Surcos rectos	> 1	72	81	88	91
	Surcos rectos	< 1	67	78	85	89
Cultivos en surco	Contorneo	> 1	70	79	84	88
	Contorneo	< 1	65	75	82	86
	Terrazas	> 1	66	74	80	82
	Terrazas	< 1	62	71	78	81
	Surcos rectos	> 1	65	76	84	88
Cereales	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	80	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						
De terracería	-----	–	72	82	87	89
Con superficie dura	-----	–	74	84	90	92

Ilustración 8. Valores del NC según Aparicio.

Valores de CN para cuencas urbanas y suburbanas para Condiciones de Humedad Antecedente II (Escalante y Reyes, 2014)

Uso del terreno y condición Hidrológica		Tipo de Suelo			
		A	B	C	D
Parques, campos de Golf, cementerios, espacios abiertos, canchas deportivas, etc.					
Condición buena:	Pasto cubriendo un 75% o más de área	39	61	74	80
Condición regular:	Pasta cubriendo de 50 al 75% del área	49	69	79	84
Áreas comerciales	(85% impermeable)	89	92	94	95
Distritos Industriales	(72% impermeable)	81	88	91	93
Zonas Residenciales					
Área m ²	Promedio de impermeabilidad				
500	65%	77	85	90	92
1,000	38%	61	75	83	87
1,350	30%	57	72	81	86
2,000	25%	54	70	80	85
4,000	20%	51	68	79	84
Calzadas, tejados, estacionamientos pavimentados, etc		98	98	98	98
Calles y carreteras pavimentadas con guarnición y alcantarillado		98	98	98	98
Caminos con grava		76	85	89	91
Caminos de tierra		72	52	87	89

Ilustración 9. Valores de CN según Escalante y Reyes. (Escalante & Reyes, 2014).

Una vez determinados los CN, se usó un factor de corrección de acuerdo con el tipo de suelo considerado. Dichos factores se muestran a continuación.

Correccion de CN de acuerdo con las Condiciones de Humedad Antecedente (Escalante y Reyes, 2014)

CN CHA II	CN CHA I	CN CHA III	CN CHA II	CN CHA I	CN CHA III
0	0	0	63	43	80
5	2	13	64	44	81
10	4	22	65	45	82
15	6	30	66	46	82
20	9	37	67	47	83
25	12	43	68	48	84
30	15	50	69	50	84
31	16	51	70	51	85
32	16	52	71	52	86
33	17	53	72	53	86
34	18	54	73	54	87
35	18	55	74	55	88
36	19	56	75	57	88
37	20	57	76	58	89
38	21	58	77	59	89
39	21	59	78	60	90
40	22	60	79	62	91
41	23	61	80	63	91
42	24	62	81	64	92
43	25	63	82	66	92
44	25	64	83	67	93
45	26	65	84	68	93
46	27	66	85	70	94
47	28	67	86	72	94
48	29	68	87	73	95
49	30	69	88	75	95
50	31	70	89	76	96
51	31	70	90	78	96
52	32	71	91	80	97
53	33	72	92	81	97
54	34	73	93	83	98
55	35	74	94	85	98
56	36	75	95	87	98
57	37	75	96	89	99
58	38	76	97	91	99
59	39	77	98	94	99
60	40	78	99	97	100
61	41	78	100	100	100
62	42	79			

Ilustración 10. Factores de corrección según Escalante y Reyes. (Escalante & Reyes, 2014).

Una vez seleccionado el número de curva para cada tipo de uso de suelo, se genera un promedio ponderado con los diferentes números de curva, como se muestra a continuación.

CVE_UNION	DESCRIPCIO	CLASE_TEXT	Edaf_SII_m	ID_CN	USV_EDAF_1	CN	Area	% Area
AH	ASENTAMIENTOS HUMANOS	2	LV	64645	#N/A	85	1258091.892	7.0%
AH	ASENTAMIENTOS HUMANOS	2	ZU	64646	#N/A	85	0.427001953	0.0%
PC	PASTIZAL CULTIVADO	2	LV	103910	69	69	551961.5323	3.1%
PC	PASTIZAL CULTIVADO	2	PH	103912	79	79	25746.70361	0.1%
PC	PASTIZAL CULTIVADO	2	LV	108700	69	69	6472437.451	36.1%
PC	PASTIZAL CULTIVADO	2	PH	108702	79	79	195046.8829	1.1%
PC	PASTIZAL CULTIVADO	2	CM	108707	69	69	1080766.587	6.0%
PC	PASTIZAL CULTIVADO	3	LV	108708	79	79	713437.2271	4.0%
VSa/BQ	VEGETACIÃ“N SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO	2	PH	196298	86	86	83911.95837	0.5%
VSa/BQ	VEGETACIÃ“N SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO	2	LV	196299	79	79	3326205.735	18.6%
VSa/BQ	VEGETACIÃ“N SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO	2	PH	196300	86	86	1716600.189	9.6%
VSa/BQ	VEGETACIÃ“N SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO	2	CM	196301	79	79	496472.0667	2.8%
VSA/SMQ	VEGETACIÃ“N SECUNDARIA ARBÃ“REA DE SELVA MEDIANA SUBPERENNIFOLIA	3	LV	229275	86	86	248689.3381	1.4%
ZU	ZONA URBANA	2	LV	240476	98	98	134.6025391	0.0%
ZU	ZONA URBANA	2	ZU	240477	98	98	1757943.636	9.8%
							77.56	17927446.23

Ilustración 11. Valor del NC promedio.

Una vez sacado el valor promedio del NC, se realizan los hietogramas para los diferentes periodos de retorno, de los cuales se obtiene la precipitación total y la precipitación efectiva.

Los resultados obtenidos con el número de curva se usarán como parámetro para revisar el método de los mapas.

El número de curva se obtiene con la fórmula mostrada a continuación.

$$C_e = \frac{P_e}{P_t} \quad \dots (9)$$

Donde:

Pe = Precipitación efectiva

Pt = Precipitación total

Y la precipitación efectiva se obtiene con la ecuación 1, en el subcapítulo Número de curva.



Se realiza este procedimiento para cada periodo de retorno especificado, obteniendo los diferentes coeficientes de escurrimiento para cada periodo de retorno.

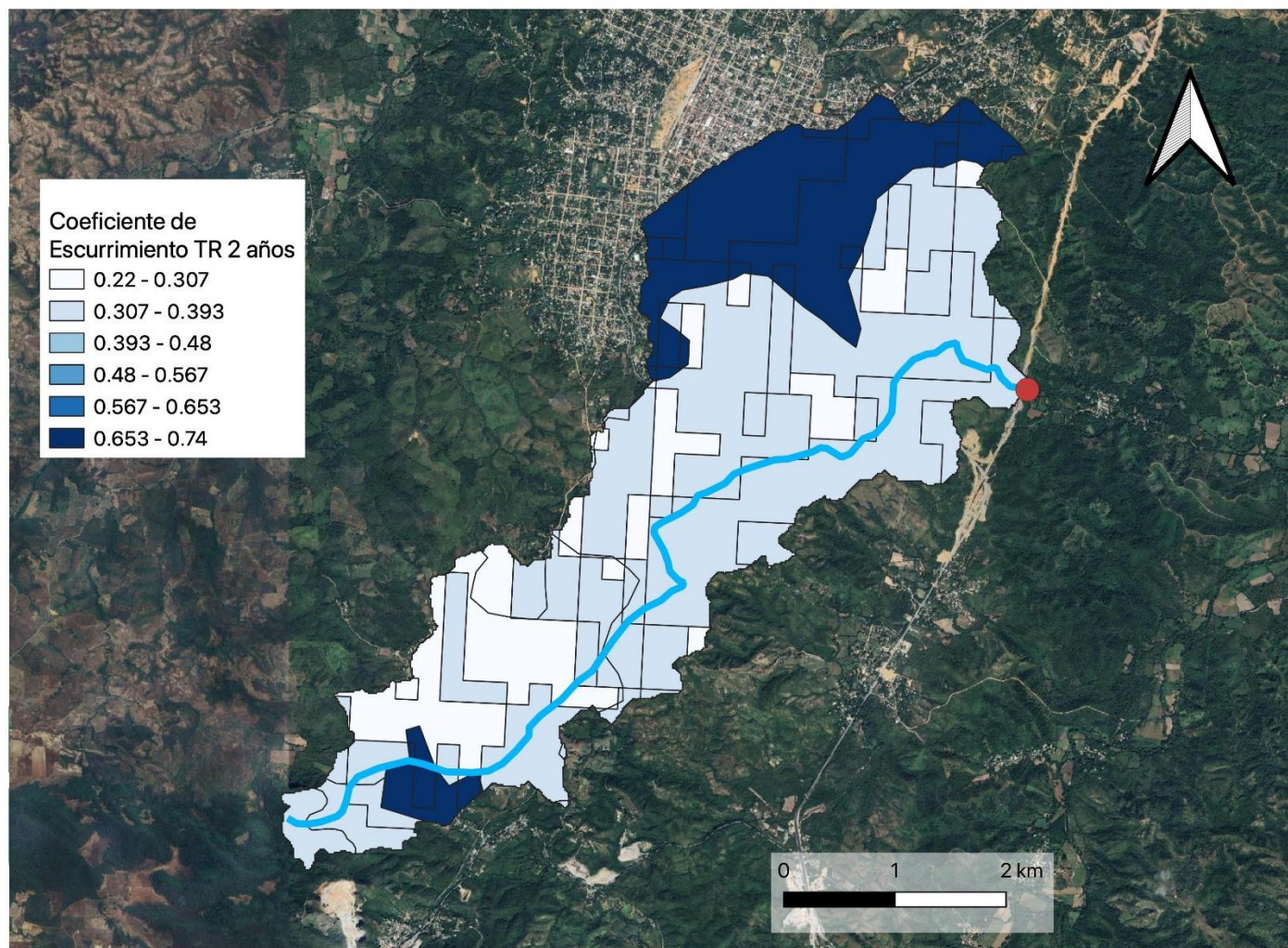
Posteriormente, se utilizaron los mapas de coeficiente de escurrimiento para diferentes periodos de retorno obtenidos en este trabajo, los cuales al intersectar con la cuenca en estudio permitieron conocer los valores asociados con este método, para poder realizar la comparación del método de mapas con el método del número de curva.

A continuación, se muestran los coeficientes de escurrimiento obtenidos mediante la intersección de los mapas de periodos de retorno con la cuenca en estudio.

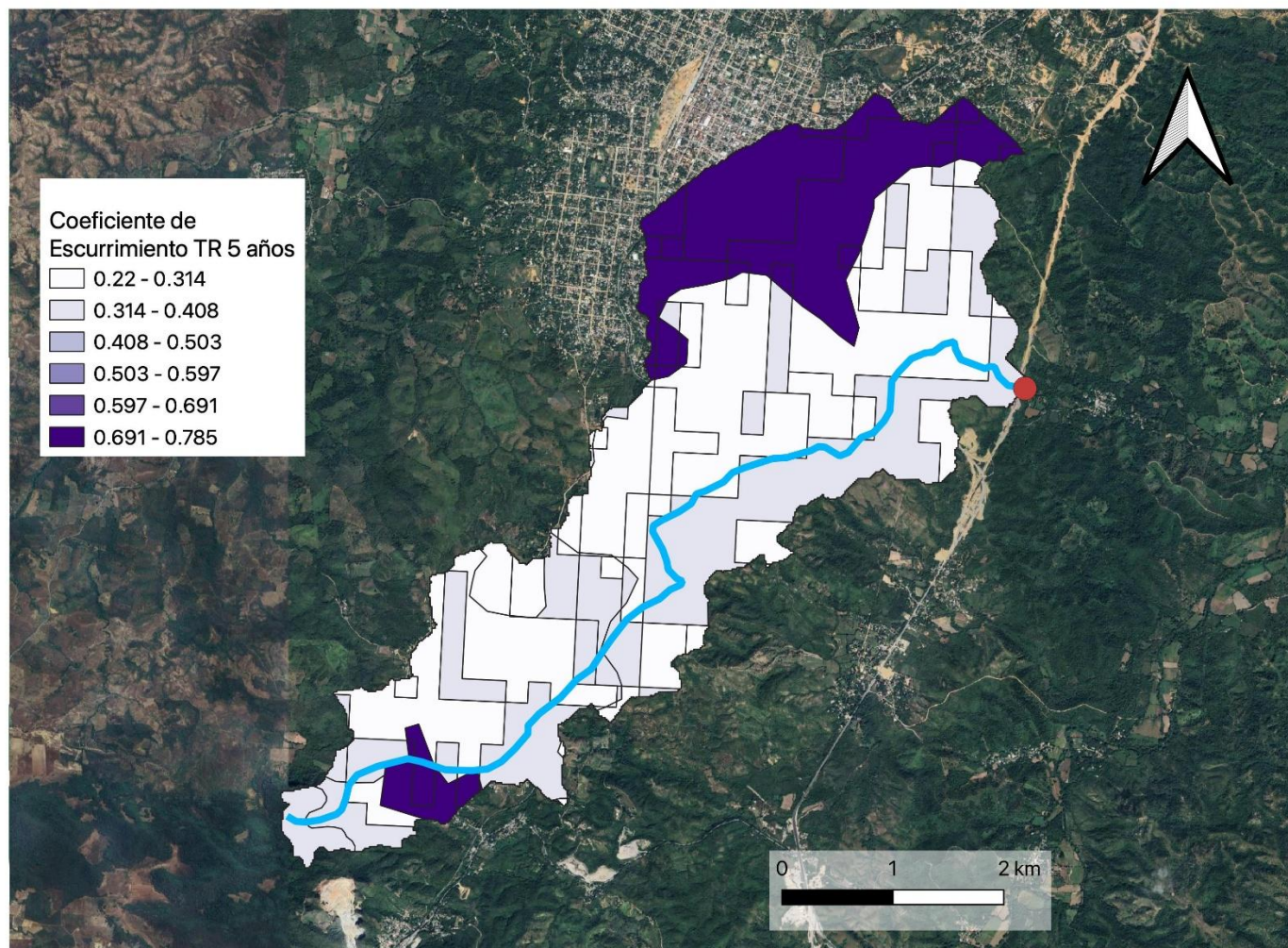


Tabla 7. Coeficientes de escurrimiento para cuenca en estudio

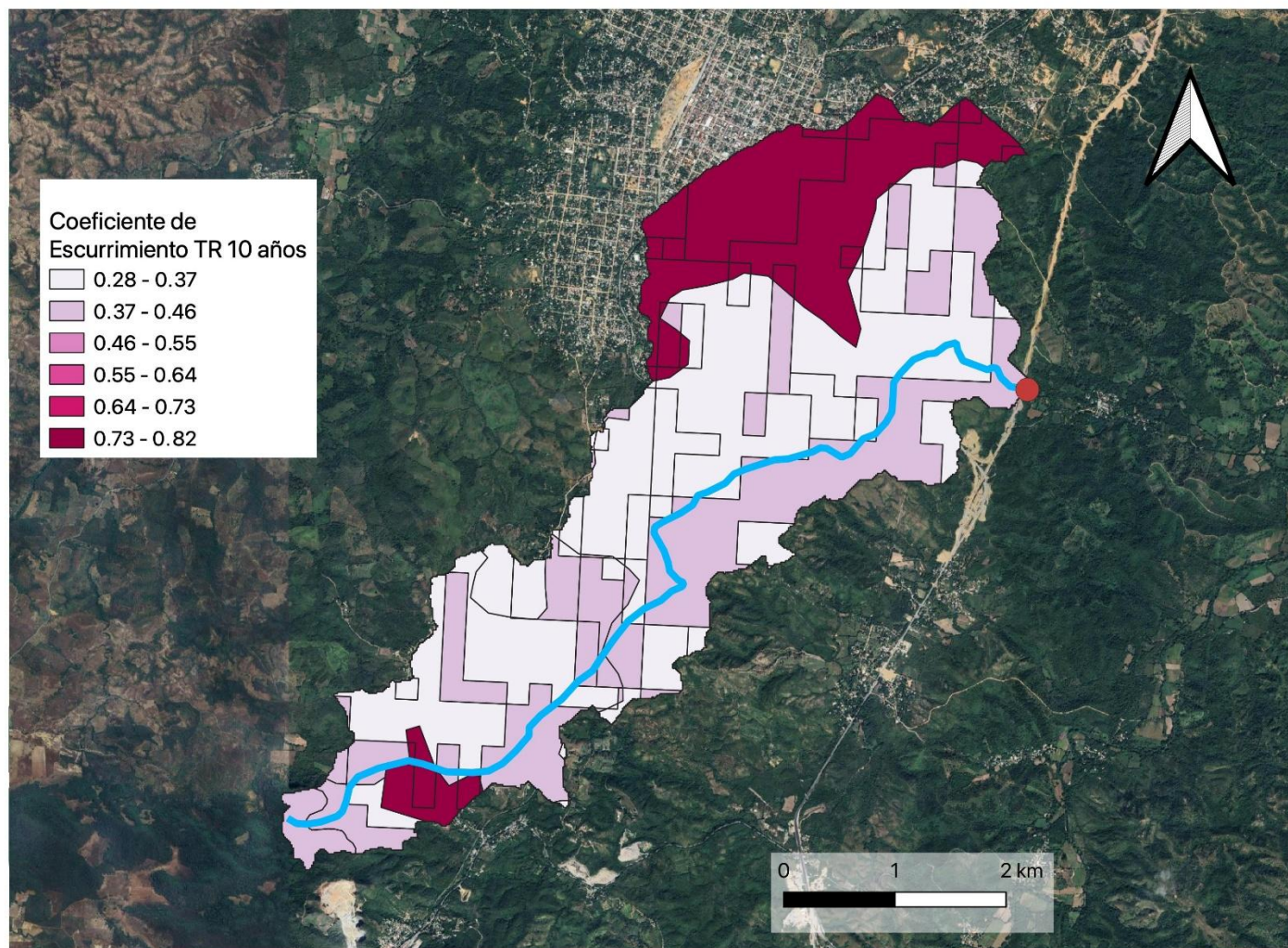
	Uso de Suelo	Área (ha)	CE Tr = 2 años	CE Tr = 5 años	CE Tr = 10 años	CE Tr = 25 años	CE Tr = 50 años	CE Tr = 100 años	CE Tr = 500 años
	Área Desarrollada	400.61							
Pendiente	0<S<2	171.68	0.74	0.785	0.82	0.87	0.91	0.96	1
	2<S<7	207.74	0.74	0.785	0.82	0.87	0.91	0.96	1
	S>7	21.19	0.74	0.785	0.82	0.87	0.91	0.96	1
	Bosque	1026.91							
Pendiente	0<S<2	139.92	0.22	0.22	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
	2<S<7	489	0.31	0.31	0.36	0.4	0.43	0.47	0.56
	S>7	397.98	0.35	0.35	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58
	Pastizal	361.48							
Pendiente	0<S<2	178.47	0.25	0.28	0.3	0.34	0.37	0.41	0.53
	2<S<7	152.17	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
	S>7	30.83	0.37	0.4	0.42	0.46	0.49	0.53	0.6
	Total (ha) =	1789.00							



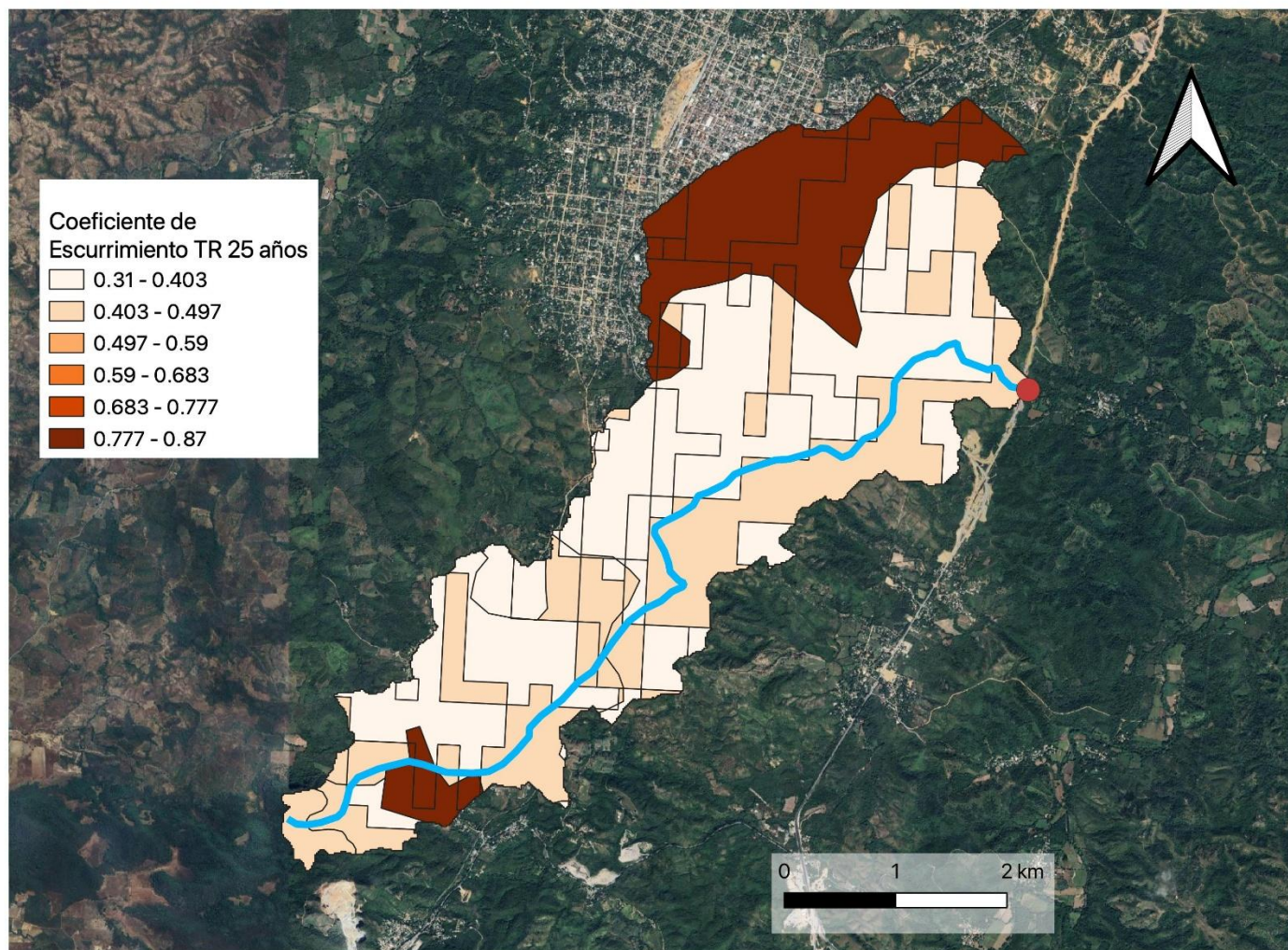
Mapa 11 Intersección de la cuenca con el mapa de C.E para un periodo de retorno de 2 años. Elaboración Propia



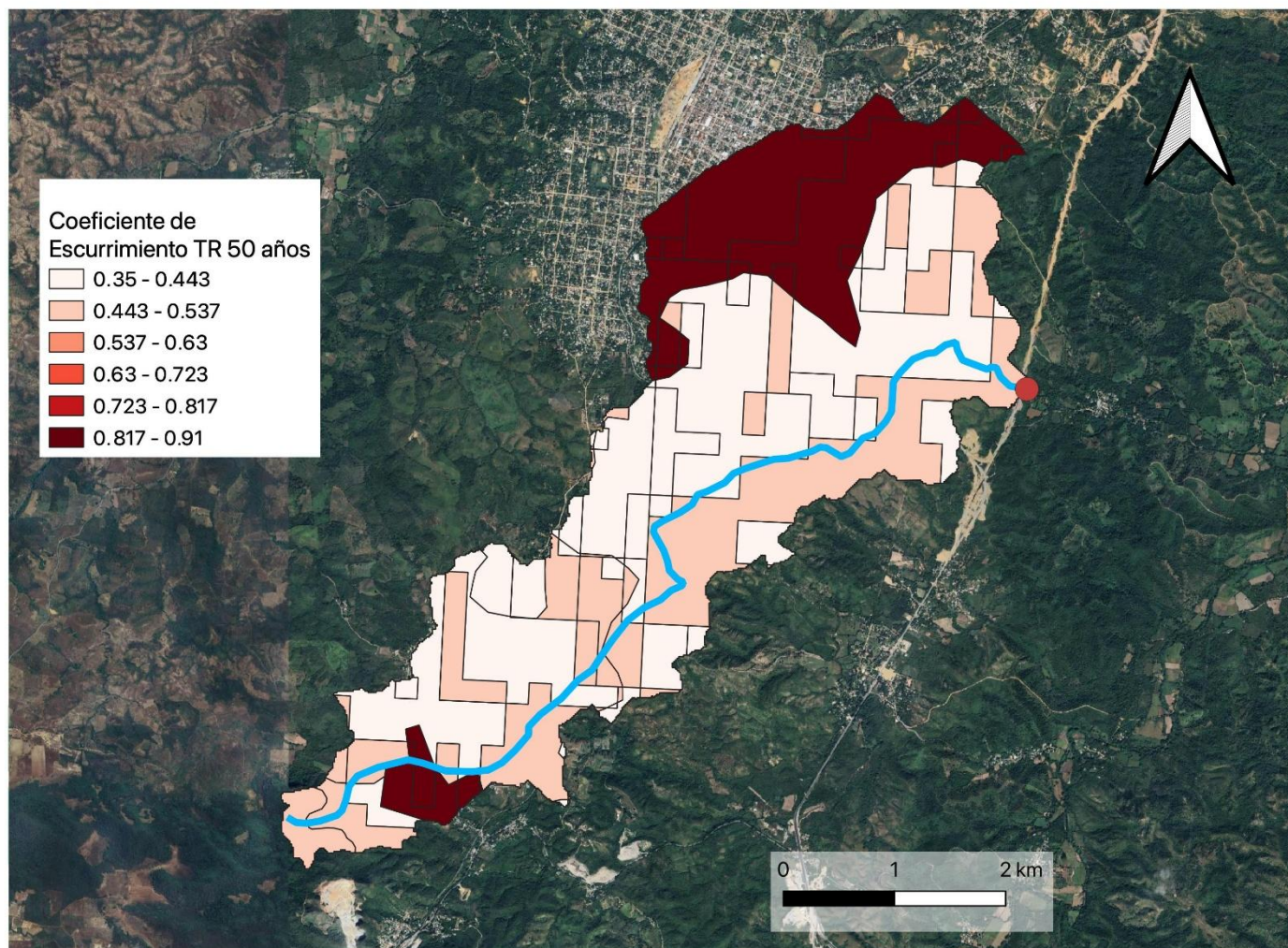
Mapa 12 Intersección de la cuenca con el mapa de C.E para un periodo de retorno de 5 años. Elaboración Propia



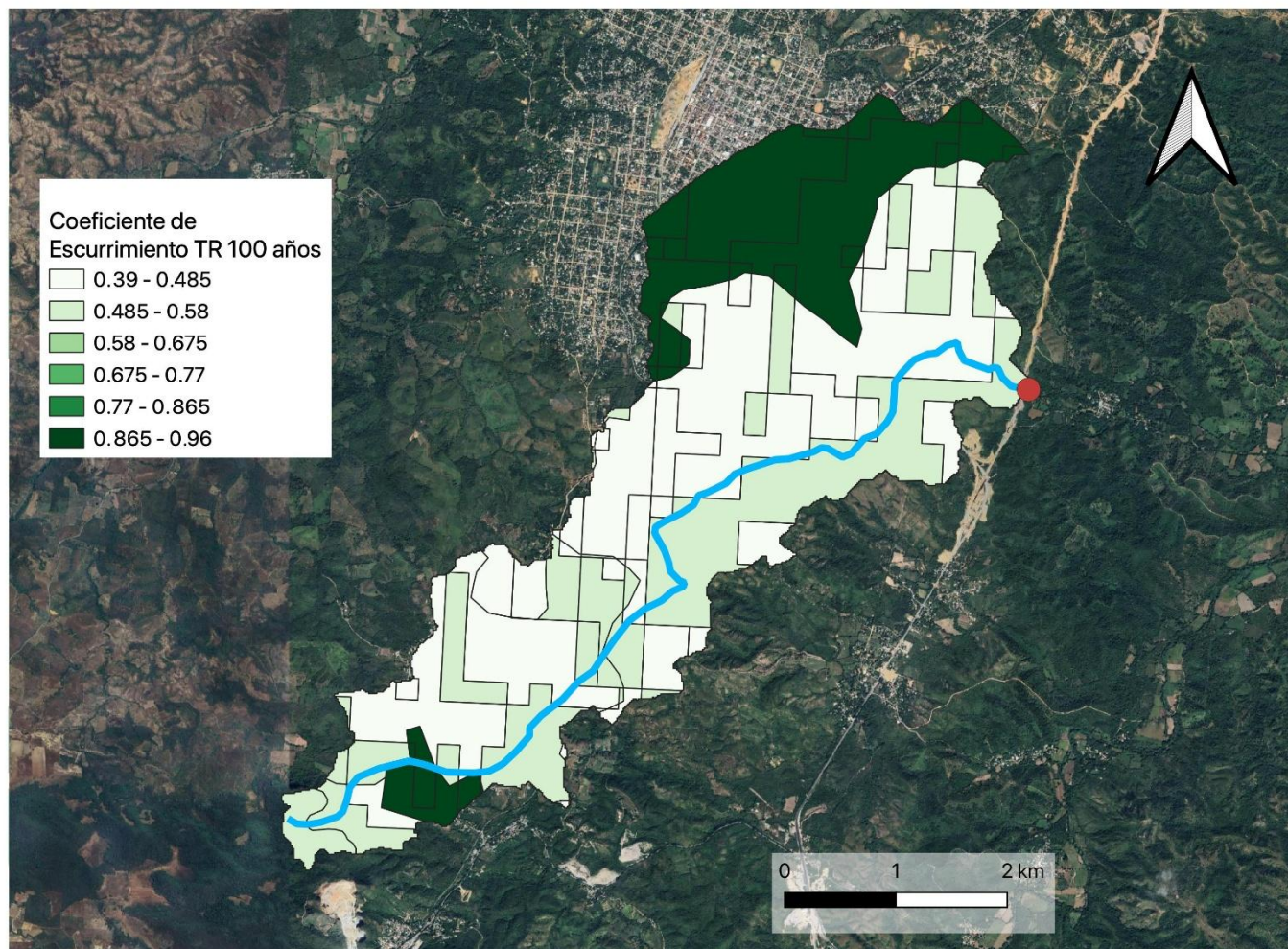
Mapa 13 Intersección de la cuenca con el mapa de C.E para un periodo de retorno de 10 años. Elaboración Propia



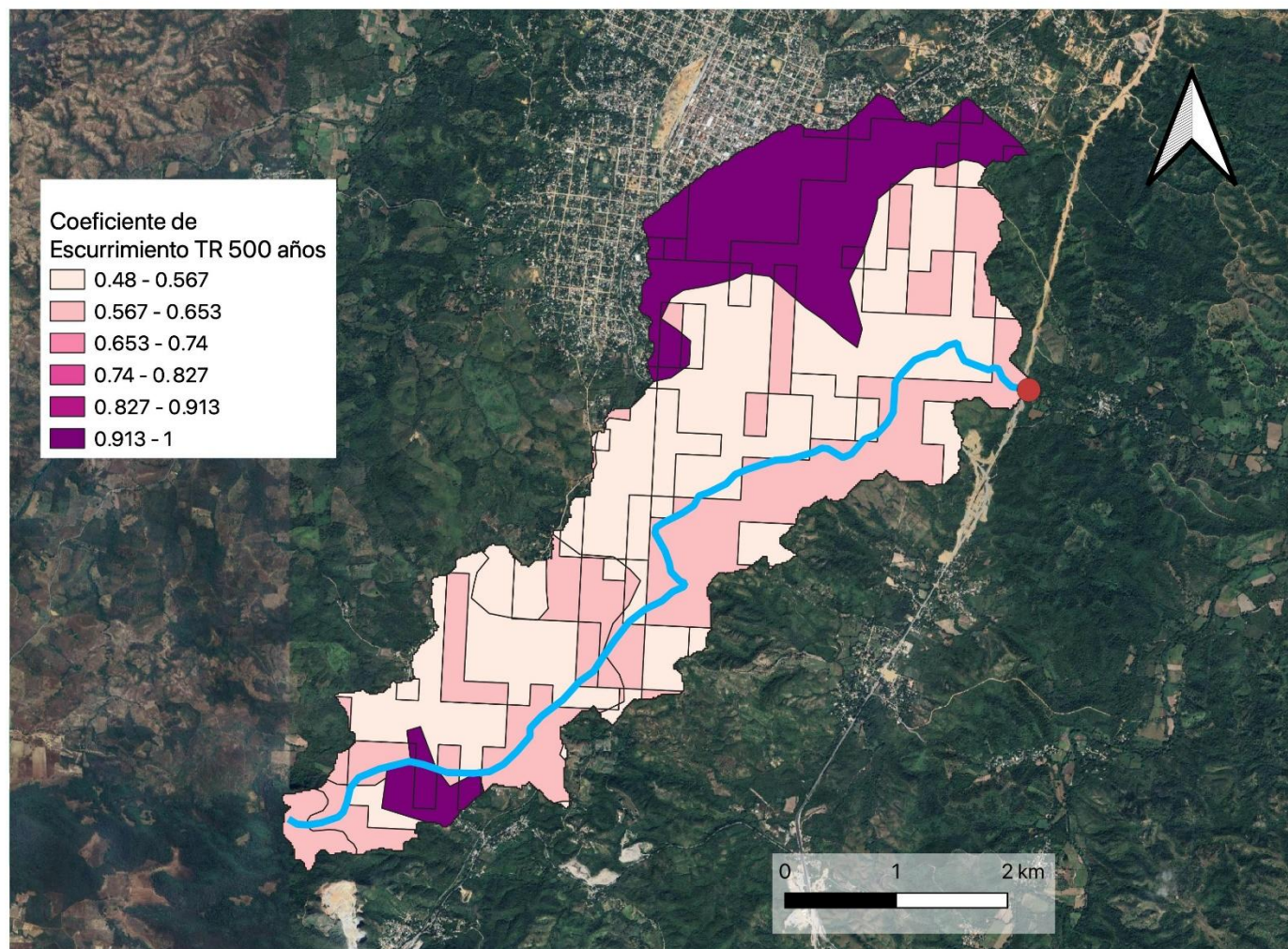
Mapa 14 Intersección de la cuenca con el mapa de C.E para un periodo de retorno de 25 años. Elaboración Propia



Mapa 15 Intersección de la cuenca con el mapa de C.E para un periodo de retorno de 50 años. Elaboración Propia



Mapa 16 Intersección de la cuenca con el mapa de C.E para un periodo de retorno de 100 años. Elaboración Propia



Mapa 17 Intersección de la cuenca con el mapa de C.E para un periodo de retorno de 500 años. Elaboración Propia

IV.2 Obtención del CE a través de la precipitación

Mediante el número de curva y la utilización de mapas, se obtuvieron los siguientes coeficientes de escurrimiento para los diferentes periodos de retorno

Tabla 8 Comparación de los coeficientes de escurrimiento

Tr	Ce (CN)	Ce (Mapas)	% Comparación (Ce CN/Ce Mapas)
2	0.53	0.45	84%
5	0.56	0.46	83%
10	0.58	0.51	87%
25	0.61	0.55	90%
50	0.63	0.58	94%
100	0.64	0.63	98%
500	0.67	0.69	103%

El porcentaje de comparación fue tomado en cuenta respecto al método de número de curva, debido a que este es un método directo.

Asimismo, se calcularon los gastos mediante ambos métodos para comprobar que los resultados fueran similares.

El gasto es directamente proporcional a la intensidad de lluvia, al área y a los diferentes coeficientes de escurrimiento, por lo que dividir los coeficientes de escurrimiento obtenidos con los mapas y con el número de curva, es lo mismo que dividir los gastos obtenidos mediante el número de curva y los obtenidos mediante los mapas, siempre utilizando el método racional para dichos cálculos.

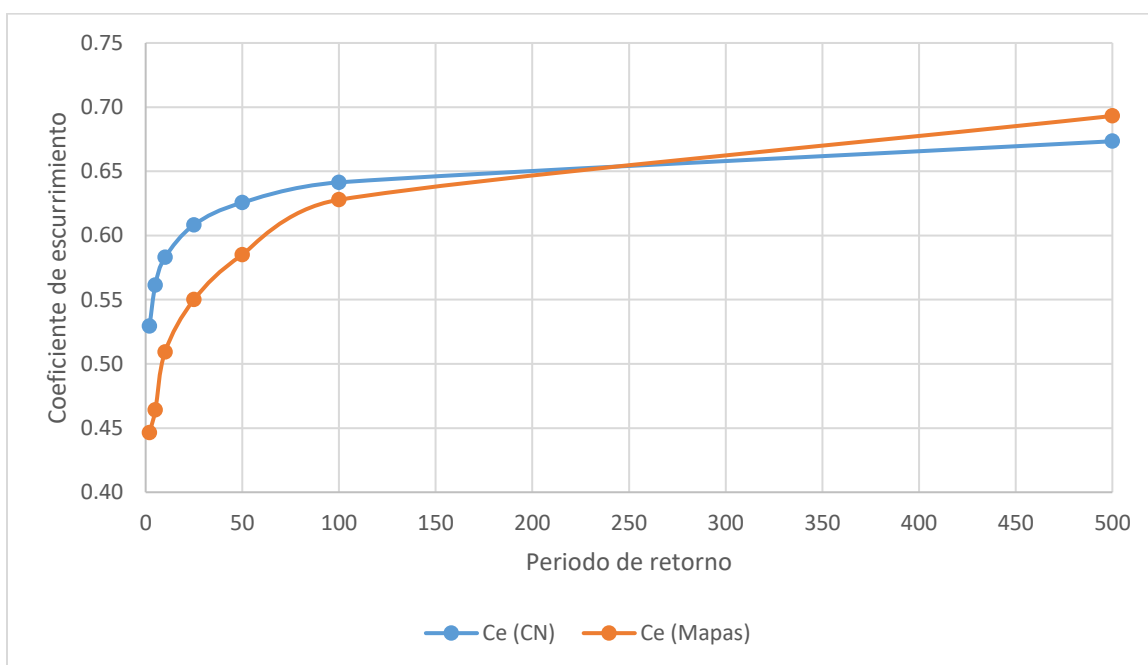
Tabla 9 Comparación de gastos

Tr	i (mm/s)	$Q_{pRac} (CN) \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{pRac} (mapas) \text{ m}^3/\text{s}$	% Comparación
2	24.52	64.57	54.45	84%
5	27.23	76.04	62.84	83%
10	29.28	84.89	74.15	87%
25	31.99	96.78	87.50	90%
50	34.04	105.90	99.03	94%
100	36.09	115.11	112.69	98%
500	40.84	136.80	140.80	103%

IV.3 Comparación de resultados

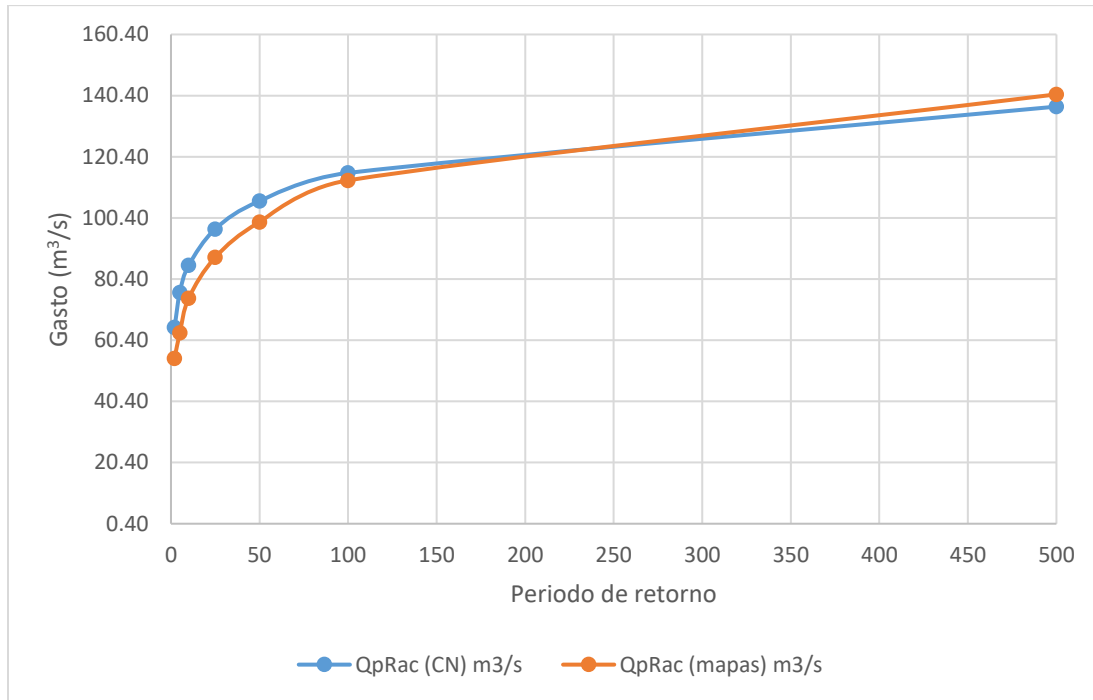
Observando los resultados obtenidos con los métodos de número de curva y los mapas se tiene que el error promedio de los resultados respecto al método de número de curva es del 9%, por lo que se considera aceptable y que el método proporciona resultados adecuados.

A continuación se muestra en una gráfica el error que existe entre los coeficientes de escurrimiento obtenidos mediante el número de curva, así como los obtenidos mediante mapas.



Gráfica 4 Comparación de coeficientes de escurrimiento

De la misma forma, como se mencionó antes, el error de los gastos debe ser la misma debido a la relación que existe entre el gasto y los coeficientes de escurrimiento, otorgando una gráfica similar a la obtenida con los coeficientes de escurrimiento.



Gráfica 5 Comparación de gastos

V. Conclusiones y Recomendaciones

Se calcularon 7 mapas que permiten obtener de forma directa los diferentes coeficientes de escurrimiento presentes en la República Mexicana utilizando información sobre el terreno obtenida de INEGI y de acuerdo con la metodología de Chow, principalmente en zonas donde no es tan accesible la información para obtener de forma directa las características del suelo.

En la cuenca en la que se aplicó la metodología presentada en este trabajo, se utilizó una proyección cónica, con coordenadas de UTM zona 15.

Se comprobó que la comparación de los coeficientes de escurrimiento obtenidos con el método de número de curva y mediante mapas es en promedio del 9% por lo que se puede concluir que los resultados por ambos métodos son similares y aplicables.

Este método puede ser aplicado al momento de realizar diseños hidráulicos de taludes, así como para el cálculo de hidrología urbana.

Si bien estos mapas no son totalmente precisos, sí se pueden usar como un primer acercamiento bastante adecuado, y en las zonas en las que no se pueda obtener información de forma directa, se pueden utilizar los mapas descritos en este trabajo para obtener los coeficientes de escurrimiento.

Es importante resaltar que el uso de estos mapas siempre va a diferir con respecto a un cálculo directo, por lo cual habrá que evaluar la diferencia entre los coeficientes de escurrimiento obtenidos.

Se sugiere realizar comprobaciones en diversos puntos de la República Mexicana, dado que la evaluación se limitó a una única zona de estudio. Asimismo, se aconseja considerar el crecimiento de la mancha urbana con el fin de actualizar estos mapas en el futuro y proporcionar mayor precisión.

VI. Anexos

Tabla 10 Definiciones de los usos de suelo y vegetación (INEGI, 2015)

Uso de Suelo y Vegetación			
ID	Clave	Descripción	Definición
1	ACUI	ACUÍCOLA	Lugar con infraestructura para la explotación y manejo de especies acuáticas con fines de aprovechamiento
2	HA	AGRICULTURA DE HUMEDAD ANUAL	Agricultura que aprovecha la humedad del suelo, su ciclo vegetal dura un año o menos
3	HAP	AGRICULTURA DE HUMEDAD ANUAL Y PERMANENTE	Agricultura que aprovecha la humedad del suelo, el primer ciclo vegetal dura un año o menos y el segundo dura más de 10 años
4	HAS	AGRICULTURA DE HUMEDAD ANUAL Y SEMIPERMANENTE	Agricultura que aprovecha la humedad del suelo, el primer ciclo vegetal dura un año o menos y el segundo dura entre 1 y 10 años
5	HP	AGRICULTURA DE HUMEDAD PERMANENTE	Agricultura que aprovecha la humedad del suelo, el primer ciclo vegetal dura un año o menos y el segundo dura entre 1 y 10 años
6	HS	AGRICULTURA DE HUMEDAD SEMIPERMANENTE	Agricultura que aprovecha la humedad del suelo, el ciclo vegetal dura entre 1 y 10 años
7	HSP	AGRICULTURA DE HUMEDAD SEMIPERMANENTE Y PERMANENTE	Agricultura que aprovecha la humedad del suelo, el primer ciclo vegetal dura entre 1 y 10 años
8	RA	AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL	Agricultura que utiliza agua proporcionada por fuentes externas, el ciclo vegetal dura un año o menos
9	RAP	AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL Y PERMANENTE	Agricultura que utiliza agua proporcionada por fuentes externas, el primer ciclo vegetal dura un año o menos y el segundo dura más de 10 años
10	RAS	AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL Y SEMIPERMANENTE	Agricultura que utiliza agua proporcionada por fuentes externas, el primer ciclo vegetal dura un año o menos y el segundo dura entre 1 y 10 años
11	RP	AGRICULTURA DE RIEGO PERMANENTE	Agricultura que utiliza agua proporcionada por fuentes externas, el ciclo vegetal dura más de 10 años
12	RS	AGRICULTURA DE RIEGO SEMIPERMANENTE	Agricultura que utiliza agua proporcionada por fuentes externas, el ciclo vegetal dura entre 1 y 10 años
13	RSP	AGRICULTURA DE RIEGO SEMIPERMANENTE Y PERMANENTE	Agricultura que utiliza agua proporcionada por fuentes externas, el primer ciclo vegetal dura entre 1 y 10 años y el segundo dura mas de 10 años
14	TA	AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL	Agricultura que ocupa agua de lluvia, el ciclo vegetal dura un año o menos
15	TAP	AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL Y PERMANENTE	Agricultura que ocupa agua de lluvia, el primer ciclo vegetal dura un año o menos y el segundo dura más de 10 años
16	TAS	AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL Y SEMIPERMANENTE	Agricultura que ocupa agua de lluvia, el primer ciclo vegetal dura un año o menos y el segundo dura de 1 a 10 años

17	TP	AGRICULTURA DE TEMPORAL PERMANENTE	Agricultura que ocupa agua de lluvia, el ciclo vegetal dura más de 10 años
18	TS	AGRICULTURA DE TEMPORAL SEMIPERMANENTE	Agricultura que ocupa agua de lluvia, el ciclo vegetal dura de 1 a 10 años
19	TSP	AGRICULTURA DE TEMPORAL SEMIPERMANENTE Y PERMANENTE	Agricultura que ocupa agua de lluvia, el primer ciclo vegetal dura de 1 a 10 años y el segundo dura mas de 10 años
20	AH	ASENTAMIENTOS HUMANOS	Conglomerado demográfico, considerando dentro del mismo los elementos naturales y las obras materiales que lo integran.
21	BC	BOSQUE CULTIVADO	Cubierta arbórea dominada por especies plantadas en una región, en donde se realizan labores de cultivo y manejo para un aprovechamiento forestal.
22	BS	BOSQUE DE AYARÍN	Se presenta en la Sierra Madre Occidental en laderas y cañadas a lo largo de corrientes de agua o valles muy protegidos. Los climas donde se desarrolla son templado y semifrío subhúmedos con lluvias en verano.
23	BB	BOSQUE DE CEDRO	Se presenta en el Eje Neovolcánico, Sierra Madre del Sur, Sierra Madre Occidental y un pequeño bosque en la Isla de Guadalupe. Se desarrolla en climas templados y semifríos, húmedos y semicálidos
24	BQ	BOSQUE DE ENCINO	Se presentan en los macizos montañosos de México. Se desarrollan en climas cálidos, templados húmedos, sub-húmedos a secos
25	BQP	BOSQUE DE ENCINO-PINO	Se distribuyen en la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental, Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur, se desarrollan en climas templados, semifríos, semicálidos y cálidos húmedos y subhúmedos con lluvias en verano
26	BG	BOSQUE DE GALERÍA	Franjas angostas de vegetación en los márgenes de los ríos o arroyos de gran parte del país, generalmente en sitios con climas templados a secos.
27	MK	BOSQUE DE MEZQUITE	Se desarrolla en suelos aluviales de fondo de valle y depresiones en las planicies, común a lo largo de los arroyos y ríos intermitentes en las regiones semiáridas
28	BA	BOSQUE DE OYAMEL	Se presenta en forma de manchones aislados en las serranías de la provincia Eje Neovolcánico, Sierra Madre del Sur, Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental. Se desarrolla en climas templados y semifríos húmedos
29	BP	BOSQUE DE PINO	Se localizan en las cadenas montañosas de todo el país. Los climas donde se desarrolla son templado y semicálido subhúmedos con lluvias en verano
30	BPQ	BOSQUE DE PINO-ENCINO	Se distribuyen en la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental, Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur, se desarrollan en climas templados, semifríos, semicálidos y cálidos húmedos y subhúmedos con lluvias en verano
31	BJ	BOSQUE DE TÁSCATE	Se presentan principalmente en el Eje Neovolcánico, se desarrolla en climas fríos, templado subhúmedo y el semiseco

32	BI	BOSQUE INDUCIDO	Se conforma por especies arbóreas que son producto de actividades de reforestación o bien de introducción deliberada con fines de ornato
33	BM	BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA	Se localizan principalmente en montañas, barrancas y sitios que presentan condiciones favorables de humedad y neblinas frecuentes. Vegetación densa a muy densa
34	ML	CHAPARRAL	Se presenta en las llanuras, valles y lomeríos, se desarrolla en climas semicálidos y semifríos con baja humedad, así como en los templados subhúmedos.
35	H20	CUERPO DE AGUA	Extensión con cubierta de agua
36	ADV	DESPROVISTO DE VEGETACIÓN	Superficie donde la vegetación natural o inducida ha sido eliminada por diferentes actividades humanas.
37	VM	MANGLAR	Se presenta en los litorales del Océano Pacífico, Golfo de California y Océano Atlántico, se desarrolla en zonas con climas cálidos húmedos y subhúmedos y de muy baja altitud. Sitios inundados sin fuerte oleaje o con agua estancada
38	MC	MATORRAL CRASICAULE	Se presenta principalmente en las zonas semiáridas del centro y norte del país, se desarrollan preferentemente sobre suelos someros de laderas de cerros de naturaleza volcánica
39	MDM	MATORRAL DESÉRTICO MICRÓFILO	Este matorral se presenta en las zonas más secas de México, también se desarrolla sobre llanuras y partes bajas de abanicos aluviales.
40	MDR	MATORRAL DESÉRTICO ROSETÓFILO	Se presenta generalmente en casi todas las zonas áridas y semiáridas del centro, norte y noroeste del país.
41	MET	MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO	Se presenta en la porción norte de la Llanura Costera del Golfo Norte y el extremo sur de la Gran Llanura de Norteamérica, se desarrolla en climas semisecos cálidos y muy cálidos con lluvias en verano y escasas a lo largo del año
42	MRC	MATORRAL ROSETÓFILO COSTERO	Se presenta principalmente en Baja California y se desarrolla en climas muy seco y seco
43	MSCC	MATORRAL SARCO-CRASICAULE	Se desarrolla en climas seco y muy seco. Se presenta en las llanuras costeras, lomeríos, mesetas, sierras y valles
44	MSN	MATORRAL SARCO-CRASICAULE DE NEBLINA	Se desarrolla en climas seco y muy seco. Se presenta en las llanuras costeras, lomeríos, mesetas, sierras y valles. La distinción son los abundantes líquenes sobre las especies arbustivas debido a la neblina
45	MSC	MATORRAL SARCOCAULE	Se presentan en terrenos rocosos y suelos someros, desde el sur de Baja California hasta Los Cabos. Se desarrollan en climas secos
46	MSM	MATORRAL SUBMONTANO	Se presentan principalmente en las laderas bajas de la Sierra Madre Oriental. Se desarrolla principalmente en climas seco estepario, desértico y templado
47	MT	MATORRAL SUBTROPICAL	Se presentan principalmente en Sonora y las partes altas de los cañones de la Sierra Madre Occidental. Se desarrollan en climas templados y semicálidos

48	MKE	MEZQUITAL TROPICAL	Se presentan en suelos profundos en altitudes de 1000 m a 2000 m. Se desarrollan en climas subhúmedos a semisecos
49	MKX	MEZQUITAL XERÓFILO	Se presentan en el noroeste del país, en Tampaulipas, Chihuahua, Zacatecas y San Luis Potosí. Se desarrollan en climas secos y muy secos
50	VPI	PALMAR INDUCIDO	Se presentan en el sur del país, en Guerrero, Oaxaca, Tabasco y Veracruz. Es resultado de actividad ganadera o por presencia de fuego en el proceso de tumba
51	VPN	PALMAR NATURAL	Pueden formar bosques aislados, formando parte de selvas. Se desarrollan en climas cálidos húmedos y subhúmedos
52	PC	PASTIZAL CULTIVADO	Cubierta herbácea dominada por gramíneas introducidas en una región, en donde se realizan labores de cultivo y manejo con fines de aprovechamiento pecuario extensivo.
53	PY	PASTIZAL GIPSÓFILO	Se presentan en suelos que contienen gran cantidad de yeso, en el fondo de cuencas cerradas de zonas áridas y semiáridas
54	PH	PASTIZAL HALÓFILO	Se presentan en el fondo de las cuencas cerradas de zonas áridas y semiáridas; y en algunas áreas próximas a las costas afectadas por el mar o por lagunas costeras.
55	PI	PASTIZAL INDUCIDO	Aparece como consecuencia del desmonte de cualquier tipo de vegetación, pero también puede establecerse en áreas agrícolas abandonadas o bien como producto de áreas que se incendian con frecuencia
56	PN	PASTIZAL NATURAL	Se presentan principalmente en la zona de transición entre los matorrales xerófilos y los diversos tipos de bosques. se desarrolla en suelos medianamente profundos de mesetas
57	VA	POPAL	Se presenta en lugares pantanosos o de agua dulce estancada, se desarrolla en zonas con clima cálido húmedo. Sitios permanentemente Inundados
58	VW	PRADERA DE ALTA MONTAÑA	Se presentan en las montañas y volcanes más altos de la república, generalmente arriba de los 3 500 m de altitud
59	VS	SABANA	Se presenta en forma de manchones aislados en las serranías de las provincia Eje Neovolcánico, Sierra Madre del Sur, Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental. Se desarrolla en climas templados y semifríos húmedos
60	VSI	SABANOIDE	Se presenta sobre laderas de cerros con inclinación variable, a veces bastante pronunciada y con suelos que no tienen indicios de drenaje lento.
61	SAP	SELVA ALTA PERENNIFOLIA	Es la vegetación más exuberante de todo México, sus árboles pasan los 30 m de altura. Se desarrollan en las zonas más húmedas del clima A y Cw
62	SBP	SELVA BAJA PERENNIFOLIA	Se presenta en las cimas de los volcanes San Martín y Santa Martha, en el Macizo de Los Tuxtlas, Veracruz.
63	SBC	SELVA BAJA CADUCIFOLIA	Se presenta en las zonas bajas de la Llanura Costera del Pacífico, Jalisco, Colima, Yucatán, Tamaulipas, Puebla y Oaxaca. Se desarrolla en climas similares a los de SBP o un poco más secos

64	SBS	SELVA BAJA SUBCADUCIFOLIA	Se presenta al poniente de Yucatán, al norte de Quintana Roo y en la Costa Maya. Se desarrollan en climas semicálido subhúmedo y seco semicálido
65	SBP	SELVA BAJA SUBPERENNIFOLIA	Se presentan en los "bajales" de Yucatán, Campeche, Quintana Roo y Tabasco. Se desarrolla en climas calido-húmedos y subhúmedos.
66	SG	SELVA DE GALERÍA	Se presenta en la Llanura Costera del Golfo Sur, a lo largo de arroyos y ríos, en zonas de climas cálidos húmedos y subhúmedos
67	SMC	SELVA MEDIANA CADUCIFOLIA	Se desarrolla en climas cálidos subhúmedos. La selva presenta una preferencia por suelos someros pedregosos y sobre laderas de cerros
68	SMS	SELVA MEDIANA SUBCADUCIFOLIA	Se desarrolla en regiones cálidas subhúmedas con lluvias en verano, Se localiza entre los 150 y 1 250 m de altitud
69	SMQ	SELVA MEDIANA SUBPERENNIFOLIA	Se presenta en lugares con pendientes moderadas o regiones planas pero ligeramente más secas y con drenaje rápido
70	DV	SIN VEGETACIÓN APARENTE	Considera las áreas en donde no es visible o detectable alguna comunidad vegetal
71	VT	TULAR	Son plantas acuáticas, distribuida principalmente en altiplanicies y llanuras costeras, se desarrollan en sitios con climas desde cálidos hasta templados
72	VSa/BA	VEGETACION SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE OYAMEL	Complemento a Bosque Mencionado
73	VD	VEGETACIÓN DE DESIERTOS ARENOSOS	Está formado principalmente por arbustos perennes. Se presentan en zonas áridas de Coahuila, Chihuahua, Sonora y Baja California.
74	VU	VEGETACIÓN DE DUNAS COSTERAS	Plantas pequeñas y suculentas que se presentan a lo largo de las costas
75	VG	VEGETACIÓN DE GALERÍA	Se presentan en los márgenes de los ríos y arroyos, siempre bajo condiciones de humedad. Se desarrollan en climas templados a secos
76	VY	VEGETACIÓN GIPSÓFILA	Se desarrollan en climas muy secos, principalmente en los estados de Chihuahua, Durango, Coahuila, Tamaulipas, Zacatecas y San Luis Potosí
77	VHH	VEGETACIÓN HALÓFILA HIDRÓFILA	Se presentan en ambientes litorales que reciben agua salina. Se desarrollan en climas cálidos húmedos o subhúmedos
78	VH	VEGETACIÓN HALÓFILA XERÓFILA	Se presentan sobre suelos con alto contenido de sales en cualquier parte del país. Se desarrollan en zonas áridas y semiáridas del país
79	VSa/BS	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE AYARÍN	Complemento a Bosque Mencionado
80	VSa/BB	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE CEDRO	Complemento a Bosque Mencionado
81	VSa/BQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO	Complemento a Bosque Mencionado

82	VSa/BQP	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO-PINO	Complemento a Bosque Mencionado
83	VSa/BG	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE GALERÍA	Complemento a Bosque Mencionado
84	VSa/MK	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE MEZQUITE	Complemento a Bosque Mencionado
85	VSa/BP	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO	Complemento a Bosque Mencionado
86	VSa/BPQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO-ENCINO	Complemento a Bosque Mencionado
87	VSa/BJ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE TÁSCATE	Complemento a Bosque Mencionado
88	VSa/BM	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA	Complemento a Bosque Mencionado
89	VSa/ML	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE CHAPARRAL	Complemento a Bosque Mencionado
90	VSa/VM	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MANGLAR	Complemento a Bosque Mencionado
91	VSa/MC	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL CRASICAULE	Complemento a Bosque Mencionado
92	VSa/MDM	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL DESÉRTICO MICRÓFILO	Complemento a Bosque Mencionado
93	VSa/MET	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO	Complemento a Bosque Mencionado
94	VSa/MDR	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL DESÉRTICO ROSETÓFILO	Complemento a Bosque Mencionado
95	VSa/MRC	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL ROSETÓFILO COSTERO	Complemento a Bosque Mencionado
96	VSa/MSCC	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL SARCO-CRASICAULE	Complemento a Bosque Mencionado
97	VSa/MSN	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL SARCO-CRASICAULE DE NEBLI	Complemento a Bosque Mencionado
98	VSa/MSC	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL SARCOCAULE	Complemento a Bosque Mencionado
99	VSa/MSM	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL SUBMONTANO	Complemento a Bosque Mencionado

100	VSa/MST	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL SUBTROPICAL	Complemento a Bosque Mencionado
101	VSa/MKE	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MEZQUITAL TROPICAL	Complemento a Bosque Mencionado
102	VSa/MKX	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MEZQUITAL XERÓFILO	Complemento a Bosque Mencionado
103	VSa/VPN	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE PALMAR NATURAL	Complemento a Bosque Mencionado
104	VSa/PY	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE PASTIZAL GIPSÓFILO	Complemento a Bosque Mencionado
105	VSa/PH	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE PASTIZAL HALÓFILO	Complemento a Bosque Mencionado
106	VSa/PN	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE PASTIZAL NATURAL	Complemento a Bosque Mencionado
107	VSa/SAP	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA ALTA PERENNIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado
108	VSa/SAQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA ALTA SUBPERENNIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado
109	VSa/SBC	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA BAJA CADUCIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado
110	VSa/SBK	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA BAJA ESPINOSA CADUCIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado
111	VSa/SBQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA BAJA ESPINOSA SUBPERENNIFOLI	Complemento a Bosque Mencionado
112	VSa/SBP	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA BAJA PERENNIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado
113	VSa/SBS	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA BAJA SUBCADUCIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado
114	VSa/SBP	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA BAJA SUBPERENNIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado
115	VSa/SG	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA DE GALERÍA	Complemento a Bosque Mencionado
116	VSa/SMC	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA MEDIANA CADUCIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado
117	VSa/SMP	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA MEDIANA PERENNIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado

118	VSa/SMQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA MEDIANA SUBPERENNIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado
119	VSa/SMS	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA MEDIANA SUBCADUCIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado
120	VSa/VD	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE VEGETACIÓN DE DESIERTOS ARENOSOS	Complemento a Bosque Mencionado
121	VSa/VU	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE VEGETACIÓN DE DUNAS COSTERAS	Complemento a Bosque Mencionado
122	VSa/VG	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE VEGETACIÓN DE GALERÍA	Complemento a Bosque Mencionado
123	VSa/VH	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE VEGETACIÓN HALÓFILA HIDRÓFILA	Complemento a Bosque Mencionado
124	VSa/VH	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE VEGETACIÓN HALÓFILA XERÓFILA	Complemento a Bosque Mencionado
125	VSA/BS	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE AYARÍN	Complemento a Bosque Mencionado
126	VSA/BB	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE CEDRO	Complemento a Bosque Mencionado
127	VSA/BQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE ENCINO	Complemento a Bosque Mencionado
128	VSA/BQP	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE ENCINO-PINO	Complemento a Bosque Mencionado
129	VSA/BG	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE GALERÍA	Complemento a Bosque Mencionado
130	VSA/MK	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE MEZQUITE	Complemento a Bosque Mencionado
131	VSA/BA	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE OYAMEL	Complemento a Bosque Mencionado
132	VSA/BP	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE PINO	Complemento a Bosque Mencionado
133	VSA/BPQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE PINO- ENCINO	Complemento a Bosque Mencionado
134	VSA/BJ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE TÁSCATE	Complemento a Bosque Mencionado
135	VSA/BM	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA	Complemento a Bosque Mencionado

136	VSA/VM	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE MANGLAR	Complemento a Bosque Mencionado
137	VSA/MKE	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE MEZQUITAL TROPICAL	Complemento a Bosque Mencionado
138	VSA/VPN	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE PALMAR NATURAL	Complemento a Bosque Mencionado
139	VSA/SAP	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA ALTA PERENNIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado
140	VSA/SAQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA ALTA SUBPERENNIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado
141	VSA/SBC	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA BAJA CADUCIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado
142	VSA/SBK	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA BAJA ESPINOSA CADUCIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado
143	VSA/SBQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA BAJA ESPINOSA SUBPERENNIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado
144	VSA/SBP	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA BAJA PERENNIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado
145	VSA/SBS	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA BAJA SUBCADUCIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado
146	VSA/SBP	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA BAJA SUBPERENNIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado
147	VSA/SG	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA DE GALERÍA	Complemento a Bosque Mencionado
148	VSA/SMC	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA MEDIANA CADUCIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado
149	VSA/SMS	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA MEDIANA SUBCADUCIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado
150	VSA/SMQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA MEDIANA SUBPERENNIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado
151	VSA/PT	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE VEGETACIÓN DE PETÉN	Se presentan en medio de zonas de manglar bajo zonas de pantanos en la Península de Yucatán, se desarrollan en sitios con climas cálidos húmedos y subhúmedos
152	VSh/BQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE DE ENCINO	Complemento a Bosque Mencionado
153	VSh/BQP	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE DE ENCINO-PINO	Complemento a Bosque Mencionado

154	VSh/BA	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE DE OYAMEL	Complemento a Bosque Mencionado
155	VSh/BP	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE DE PINO	Complemento a Bosque Mencionado
156	VSh/BPQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE DE PINO- ENCINO	Complemento a Bosque Mencionado
157	VSh/BJ	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE DE TÁSCATE	Complemento a Bosque Mencionado
158	VSh/BM	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA	Complemento a Bosque Mencionado
159	VSh/VM	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE MANGLAR	Complemento a Zona Mencionada
160	VSh/MC	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE MATORRAL CRASICAULE	Complemento a Bosque Mencionado
161	VSh/MJ	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE MATORRAL DE CONIFERAS	Complemento a Bosque Mencionado
162	VSh/MDM	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE MATORRAL DESÉRTICO MICRÓFILO	Complemento a Bosque Mencionado
163	VSh/MDR	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE MATORRAL DESÉRTICO ROSETÓFILO	Complemento a Bosque Mencionado
164	VSh/MET	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO	Complemento a Bosque Mencionado
165	VSh/MRC	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE MATORRAL ROSETÓFILO COSTERO	Complemento a Bosque Mencionado
166	VSh/MSCC	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE MATORRAL SARCO-CRASICAULE	Complemento a Bosque Mencionado
167	VSh/MSN	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE MATORRAL SARCO-CRASICAULE DE NEBLI	Complemento a Bosque Mencionado
168	VSh/VPN	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE PALMAR NATURAL	Complemento a Bosque Mencionado
169	VSh/PN	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE PASTIZAL NATURAL	Complemento a Bosque Mencionado
170	VSh/SAP	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE SELVA ALTA PERENNIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado
171	VSh/SAQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE SELVA ALTA SUBPERENNIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado

172	VSh/SBC	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE SELVA BAJA CADUCIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado
173	VSh/SBK	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE SELVA BAJA ESPINOSA CADUCIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado
174	VSh/SBQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE SELVA BAJA ESPINOSA SUBPERENNIFOLI	Complemento a Bosque Mencionado
175	VSh/SMC	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE SELVA MEDIANA CADUCIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado
176	VSh/SMQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE SELVA MEDIANA SUBPERENNIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado
177	VSh/SMS	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE SELVA MEDIANA SUBCADUCIFOLIA	Complemento a Bosque Mencionado
178	VSh/VU	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE VEGETACIÓN DE DUNAS COSTERAS	Complemento a Zona Mencionada
179	VSh/VH	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE VEGETACIÓN HALÓFILA XERÓFILA	Complemento a Bosque Mencionado

Tabla 11 Uso de Suelo y Vegetación Reclasificada

ID	Clave	Descripción	Clasificación
1	ACUI	ACUÍCOLA	Cultivo
2	HA	AGRICULTURA DE HUMEDAD ANUAL	Cultivo
3	HAP	AGRICULTURA DE HUMEDAD ANUAL Y PERMANENTE	Cultivo
4	HAS	AGRICULTURA DE HUMEDAD ANUAL Y SEMIPERMANENTE	Cultivo
5	HP	AGRICULTURA DE HUMEDAD PERMANENTE	Cultivo
6	HS	AGRICULTURA DE HUMEDAD SEMIPERMANENTE	Cultivo
7	HSP	AGRICULTURA DE HUMEDAD SEMIPERMANENTE Y PERMANENTE	Cultivo
8	RA	AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL	Cultivo
9	RAP	AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL Y PERMANENTE	Cultivo

10	RAS	AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL Y SEMIPERMANENTE	Cultivo
11	RP	AGRICULTURA DE RIEGO PERMANENTE	Cultivo
12	RS	AGRICULTURA DE RIEGO SEMIPERMANENTE	Cultivo
13	RSP	AGRICULTURA DE RIEGO SEMIPERMANENTE Y PERMANENTE	Cultivo
14	TA	AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL	Cultivo
15	TAP	AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL Y PERMANENTE	Cultivo
16	TAS	AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL Y SEMIPERMANENTE	Cultivo
17	TP	AGRICULTURA DE TEMPORAL PERMANENTE	Cultivo
18	TS	AGRICULTURA DE TEMPORAL SEMIPERMANENTE	Cultivo
19	TSP	AGRICULTURA DE TEMPORAL SEMIPERMANENTE Y PERMANENTE	Cultivo
20	AH	ASENTAMIENTOS HUMANOS	Área Desarrollada
21	BC	BOSQUE CULTIVADO	Bosques
22	BS	BOSQUE DE AYARÍN	Bosques
23	BB	BOSQUE DE CEDRO	Bosques
24	BQ	BOSQUE DE ENCINO	Bosques
25	BQP	BOSQUE DE ENCINO-PINO	Bosques
26	BG	BOSQUE DE GALERÍA	Bosques
27	MK	BOSQUE DE MEZQUITE	Bosques

28	BA	BOSQUE DE OYAMEL	Bosques
29	BP	BOSQUE DE PINO	Bosques
30	BPQ	BOSQUE DE PINO-ENCINO	Bosques
31	BJ	BOSQUE DE TÁSCATE	Bosques
32	BI	BOSQUE INDUCIDO	Bosques
33	BM	BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA	Bosques
34	ML	CHAPARRAL	Pastizal
35	H2O	CUERPO DE AGUA	Agua
36	ADV	DESPROVISTO DE VEGETACIÓN	Sin Vegetación
37	VM	MANGLAR	Agua
38	MC	MATORRAL CRASICAULE	Pastizal
39	MDM	MATORRAL DESÉRTICO MICRÓFILO	Pastizal
40	MDR	MATORRAL DESÉRTICO ROSETÓFILO	Pastizal
41	MET	MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO	Pastizal
42	MRC	MATORRAL ROSETÓFILO COSTERO	Pastizal
43	MSCC	MATORRAL SARCO-CRASICAULE	Pastizal
44	MSN	MATORRAL SARCO-CRASICAULE DE NEBLINA	Pastizal
45	MSC	MATORRAL SARCOCAULE	Pastizal

46	MSM	MATORRAL SUBMONTANO	Pastizal
47	MT	MATORRAL SUBTROPICAL	Pastizal
48	MKE	MEZQUITAL TROPICAL	Pastizal
49	MKX	MEZQUITAL XERÓFILO	Pastizal
50	VPI	PALMAR INDUCIDO	Bosques
51	VPN	PALMAR NATURAL	Bosques
52	PC	PASTIZAL CULTIVADO	Pastizal
53	PY	PASTIZAL GIPSÓFILO	Pastizal
54	PH	PASTIZAL HALÓFILO	Pastizal
55	PI	PASTIZAL INDUCIDO	Pastizal
56	PN	PASTIZAL NATURAL	Pastizal
57	VA	POPAL	Bosques
58	VW	PRADERA DE ALTA MONTAÑA	Pastizal
59	VS	SABANA	Pastizal
60	VSI	SABANOIDE	Pastizal
61	SAP	SELVA ALTA PERENNIFOLIA	Bosques
62	SBP	SELVA BAJA PERENNIFOLIA	Bosques

63	SBC	SELVA BAJA CADUCIFOLIA	Bosques
64	SBS	SELVA BAJA SUBCADUCIFOLIA	Bosques
65	SBP	SELVA BAJA SUBPERENNIFOLIA	Bosques
66	SG	SELVA DE GALERÍA	Bosques
67	SMC	SELVA MEDIANA CADUCIFOLIA	Bosques
68	SMS	SELVA MEDIANA SUBCADUCIFOLIA	Bosques
69	SMQ	SELVA MEDIANA SUBPERENNIFOLIA	Bosques
70	DV	SIN VEGETACIÓN APARENTE	Sin Vegetación
71	VT	TULAR	Pastizal
72	VSa/BA	VEGETACION SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE OYAMEL	Pastizal
73	VD	VEGETACIÓN DE DESIERTOS ARENOSOS	Sin Vegetación
74	VU	VEGETACIÓN DE DUNAS COSTERAS	Sin Vegetación
75	VG	VEGETACIÓN DE GALERÍA	Bosques
76	VY	VEGETACIÓN GIPSÓFILA	Pastizal
77	VHH	VEGETACIÓN HALÓFILA HIDRÓFILA	Pastizal
78	VH	VEGETACIÓN HALÓFILA XERÓFILA	Pastizal
79	VSa/BS	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE AYARÍN	Bosques
80	VSa/BB	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE CEDRO	Bosques
81	VSa/BQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO	Bosques

82	VSa/BQP	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO- PINO	Bosques
83	VSa/BG	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE GALERÍA	Bosques
84	VSa/MK	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE MEZQUITE	Bosques
85	VSa/BP	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO	Bosques
86	VSa/BPQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO- ENCINO	Bosques
87	VSa/BJ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE TÁSCATE	Bosques
88	VSa/BM	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA	Bosques
89	VSa/ML	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE CHAPARRAL	Pastizal
90	VSa/VM	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MANGLAR	Pastizal
91	VSa/MC	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL CRASICAULE	Pastizal
92	VSa/MDM	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL DESÉRTICO MICRÓFILO	Pastizal
93	VSa/MET	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO	Pastizal
94	VSa/MDR	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL DESÉRTICO ROSETÓFILO	Pastizal
95	VSa/MRC	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL ROSETÓFILO COSTERO	Pastizal
96	VSa/MSCC	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL SARCO- CRASICAULE	Pastizal
97	VSa/MSN	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL SARCO- CRASICAULE DE NEBLI	Pastizal
98	VSa/MSC	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL SARCOCAULE	Pastizal

99	VSa/MSM	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL SUBMONTANO	Pastizal
100	VSa/MST	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL SUBTROPICAL	Pastizal
101	VSa/MKE	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MEZQUITAL TROPICAL	Bosques
102	VSa/MKX	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MEZQUITAL XERÓFILO	Bosques
103	VSa/VPN	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE PALMAR NATURAL	Bosques
104	VSa/PY	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE PASTIZAL GIPSÓFILO	Pastizal
105	VSa/PH	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE PASTIZAL HALÓFILO	Pastizal
106	VSa/PN	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE PASTIZAL NATURAL	Pastizal
107	VSa/SAP	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA ALTA PERENNIFOLIA	Bosques
108	VSa/SAQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA ALTA SUBPERENNIFOLIA	Bosques
109	VSa/SBC	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA BAJA CADUCIFOLIA	Bosques
110	VSa/SBK	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA BAJA ESPINOSA CADUCIFOLIA	Bosques
111	VSa/SBQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA BAJA ESPINOSA SUBPERENNIFOLI	Bosques
112	VSa/SBP	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA BAJA PERENNIFOLIA	Bosques
113	VSa/SBS	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA BAJA SUBCADUCIFOLIA	Bosques
114	VSa/SBP	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA BAJA SUBPERENNIFOLIA	Bosques
115	VSa/SG	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA DE GALERÍA	Bosques

116	VSa/SMC	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA MEDIANA CADUCIFOLIA	Bosques
117	VSa/SMP	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA MEDIANA PERENNIFOLIA	Bosques
118	VSa/SMQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA MEDIANA SUBPERENNIFOLIA	Bosques
119	VSa/SMS	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA MEDIANA SUBCADUCIFOLIA	Bosques
120	VSa/VD	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE VEGETACIÓN DE DESIERTOS ARENOSOS	Bosques
121	VSa/VU	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE VEGETACIÓN DE DUNAS COSTERAS	Bosques
122	VSa/VG	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE VEGETACIÓN DE GALERÍA	Bosques
123	VSa/VH	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE VEGETACIÓN HALÓFILA HIDRÓFILA	Pastizal
124	VSa/VH	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE VEGETACIÓN HALÓFILA XERÓFILA	Pastizal
125	VSA/BS	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE AYARÍN	Bosques
126	VSA/BB	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE CEDRO	Bosques
127	VSA/BQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE ENCINO	Bosques
128	VSA/BQP	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE ENCINO-PINO	Bosques
129	VSA/BG	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE GALERÍA	Bosques
130	VSA/MK	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE MEZQUITE	Bosques
131	VSA/BA	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE OYAMEL	Bosques
132	VSA/BP	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE PINO	Bosques

133	VSA/BPQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE PINO-ENCINO	Bosques
134	VSA/BJ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE TÁSCATE	Bosques
135	VSA/BM	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA	Bosques
136	VSA/VM	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE MANGLAR	Agua
137	VSA/MKE	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE MEZQUITAL TROPICAL	Bosques
138	VSA/VPN	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE PALMAR NATURAL	Bosques
139	VSA/SAP	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA ALTA PERENNIFOLIA	Bosques
140	VSA/SAQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA ALTA SUBPERENNIFOLIA	Bosques
141	VSA/SBC	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA BAJA CADUCIFOLIA	Bosques
142	VSA/SBK	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA BAJA ESPINOSA CADUCIFOLIA	Bosques
143	VSA/SBQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA BAJA ESPINOSA SUBPERENNIFOLIA	Bosques
144	VSA/SBP	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA BAJA PERENNIFOLIA	Bosques
145	VSA/SBS	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA BAJA SUBCADUCIFOLIA	Bosques
146	VSA/SBP	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA BAJA SUBPERENNIFOLIA	Bosques
147	VSA/SG	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA DE GALERÍA	Bosques
148	VSA/SMC	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA MEDIANA CADUCIFOLIA	Bosques
149	VSA/SMS	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA MEDIANA SUBCADUCIFOLIA	Bosques
150	VSA/SMQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE SELVA MEDIANA SUBPERENNIFOLIA	Bosques

151	VSA/PT	VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE VEGETACIÓN DE PETÉN	Bosques
152	VSh/BQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE DE ENCINO	Bosques
153	VSh/BQP	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE DE ENCINO-PINO	Bosques
154	VSh/BA	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE DE OYAMEL	Bosques
155	VSh/BP	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE DE PINO	Bosques
156	VSh/BPQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE DE PINO-ENCINO	Bosques
157	VSh/BJ	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE DE TÁSCATE	Bosques
158	VSh/BM	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA	Bosques
159	VSh/VM	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE MANGLAR	Agua
160	VSh/MC	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE MATORRAL CRASICAULE	Pastizal
161	VSh/MJ	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE MATORRAL DE CONIFERAS	Pastizal
162	VSh/MDM	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE MATORRAL DESÉRTICO MICRÓFILO	Pastizal
163	VSh/MDR	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE MATORRAL DESÉRTICO ROSETÓFILO	Pastizal
164	VSh/MET	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE MATORRAL ESPINOSO TAMAULIPECO	Pastizal
165	VSh/MRC	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE MATORRAL ROSETÓFILO COSTERO	Pastizal
166	VSh/MSCC	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE MATORRAL SARCO-CRASICAULE	Pastizal
167	VSh/MSN	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE MATORRAL SARCO-CRASICAULE DE NEBLI	Pastizal
168	VSh/VPN	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE PALMAR NATURAL	Bosques

169	VSh/PN	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE PASTIZAL NATURAL	Bosques
170	VSh/SAP	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE SELVA ALTA PERENNIFOLIA	Bosques
171	VSh/SAQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE SELVA ALTA SUBPERENNIFOLIA	Bosques
172	VSh/SBC	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE SELVA BAJA CADUCIFOLIA	Bosques
173	VSh/SBK	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE SELVA BAJA ESPINOSA CADUCIFOLIA	Bosques
174	VSh/SBQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE SELVA BAJA ESPINOSA SUBPERENNIFOLI	Bosques
175	VSh/SMC	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE SELVA MEDIANA CADUCIFOLIA	Bosques
176	VSh/SMQ	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE SELVA MEDIANA SUBPERENNIFOLIA	Bosques
177	VSh/SMS	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE SELVA MEDIANA SUBCADUCIFOLIA	Bosques
178	VSh/VU	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE VEGETACIÓN DE DUNAS COSTERAS	Sin Vegetación
179	VSh/VH	VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE VEGETACIÓN HALÓFILA XERÓFILA	Bosques

VII. Referencias

- Alves, G., Rogeiro de Mello, C., Beskow, S., Junqueira, J., & Nearing, M. (Septiembre de 2019). *Assessment of the Soil Conservation Service–Curve Number method performance in a tropical Oxisol watershed*. Obtenido de Soil and Water Conservation Society:
<https://www.jswnonline.org/content/74/5/500>
- Aparicio, F. J. (1989). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Ciudad de México, México: Editorial Limusa.
- Aparicio, F. J. (1990). *Repositorio Institucional*. Obtenido de Modelación Hidrológica:
http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1247/RIH_051.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- ArcGIS. (2021). *Lambert cónica conforme*. Obtenido de ArcGISDesktop:
<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/map/projections/lambert-conformal-conic.htm>
- ArcGIS. (2021). *Qué son los sistemas de coordenadas geográficas*. Obtenido de ArcGISDesktop:
<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/map/projections/about-geographic-coordinate-systems.htm>
- ArcGis. (2021). *Qué son los sistemas de coordenadas proyectadas*. Obtenido de ArcGISDesktop:
<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/map/projections/about-projected-coordinate-systems.htm>
- ArcGIS. (2021). *Tipos de Proyección*. Obtenido de ArcGISDesktop:
<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/map/projections/projection-types.htm>
- ArcGIS. (2025). *Proyecciones Cilíndricas*. Obtenido de ArcMap:
<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/map/projections/cylindrical-projections.htm>
- ArcGIS. (2025). *Proyecciones Cónicas*. Obtenido de ArcMap:
<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/map/projections/conic-projections.htm>
- ArcGIS. (Enero de 2026). *¿Qué son los datos ráster?* Obtenido de ArcMap:
https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/raster-and-images/what-is-raster-data.htm?utm_source=chatgpt.com
- ArcGIS. (s.f.). *Proyecciones Planas*. Obtenido de ArcMap:
<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/map/projections/planar-projections.htm>
- Chow, V. T. (1988). *Hidrología Aplicada*. Estados Unidos de América: McGRAW-HILL, Inc.
- Comisión Nacional del Agua. (30 de marzo de 2013). Estaciones climatológicas. Ciudad de México, México.
- División de Ingenierías Civil y Geomática. (s.f.). Obtenido de Tema V. Infiltración: <http://dicyg.fi-c.unam.mx/~rruiz/Hidrologia/TEMA%20V.pdf>
- Escalante, C. S., & Reyes, L. C. (2014). *Hidrología Básica*. Morelos: IMTA.



- Geoinnova. (26 de abril de 2017). *SIG aplicados a la hidrología*. Obtenido de SIG y Desarrollo: <https://geoinnova.org/blog-territorio/sig-aplicados-a-la-hidrologia/>
- Gonzalez, F. D. (2023). *Estudio HHS Puente 9 PK 167+200 Palomares*. Ciudad de México.
- IMTA. (1 de Agosto de 2019). *Gobierno de México*. Obtenido de ¿Qué es una cuenca?: <https://www.gob.mx/imta/articulos/que-es-una-cuenca-211369>
- IMTA. (29 de Julio de 2019). La importancia de medir el agua de lluvia. Ciudad de México, México.
- INEGI. (Abril de 2011). *EL CAMBIO DE MARCO DE REFERENCIA TERRESTRE INTERNACIONAL (ITRF) EN MÉXICO*. Obtenido de INEGI: https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/geodesia_activa/doc/el_cambio_de_itrf.pdf
- INEGI. (2011). *Guía para la Interpretación de Cartografía*. Obtenido de https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825231606.pdf
- INEGI. (2013). *Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0)*. Obtenido de INEGI: https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/relieve/continental/doc/continuo_elevaciones.pdf
- INEGI. (2015). *Guía para la Interpretación de cartografía: Uso de suelo y vegetación: Escala 1:250000: Serie V*. México: INEGI.
- INEGI. (2017). *Guía para la interpretación de cartografía Uso del Suelo y Vegetación*. Obtenido de INEGI: https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825092030.pdf
- INEGI. (2018). *Hitos de la información geoespacial en México 1968-2018*. Obtenido de INEGI: https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825007036.pdf
- INEGI. (2019). *Marco de referencia ITRF en México y su relación con WGS84 y NAD27*. Obtenido de INEGI: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/gnss/doc/702825109226.pdf>
- INEGI. (2025). *Usa la estadística y la geografía para descubrir México*. Obtenido de Cuéntame de México: <https://cuentame.inegi.org.mx/descubre/geografia/vegetacion/>
- Natural Resources Conservation Service. (s.f.). *Hydrologic Groups*. Obtenido de <https://efotg.sc.egov.usda.gov/references/Delete/2017-11-11/hydrogroups.htm>
- Nueva Escuela Mexicana. (2024). *Precipitaciones: Tipos, Cómo se Miden y su Importancia*. Obtenido de Nueva Escuela Mexicana: <https://nuevaescolamexicana.org/precipitaciones/>
- Polo, R. B. (27 de Julio de 2019). *Los sistemas de información geográfica y sus aplicaciones en hidrología*. Obtenido de iagua: <https://www.iagua.es/blogs/rebeca-benayas-polo/sistemas-informacion-geografica-y-aplicaciones-hidrologia-0>
- Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial de la Ciudad de México. (Septiembre de 2003). *Cambios en el uso del suelo*. Obtenido de Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales: <https://paot.org.mx/centro/ine->

semarnat/informe02/estadisticas_2000/informe_2000/02_Vegetacion/2.2_Cambios/inde
x.htm

QGIS project. (22 de Enero de 2024). *Datos Raster*. Obtenido de QGIS Documentation:
https://docs.qgis.org/3.28/es/docs/gentle_gis_introduction/raster_data.html

QGIS project. (22 de enero de 2024). *Datos Vectoriales*. Obtenido de QGIS Documentation:
https://docs.qgis.org/3.28/es/docs/gentle_gis_introduction/vector_data.html

Reyes, Z. G. (Diciembre de 2018). *Research Gate*. Obtenido de
https://www.researchgate.net/publication/343252281_Influencia_del_cambio_de_cobertura_y_uso_del_suelo_en_el_volumen_medio_anual_de_escorrimento_natural_anos_1993_2003_y_2017_en_la_Parte_alta_de_la_cuenca_del_rio_La_Antigua_Veracruz_Mexico?tp=eyJjb250ZXh

Rivera, P. R., & Salas, M. S. (Diciembre de 2016). *Repositorio IMTA*. Obtenido de
https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/1745&ved=2ahUKEwirweadp-aPAxVVIgoFHXO7NO0QFnoECCQQAQ&usq=AOvVaw09tLLclhNvAi3uNi_encOi

Rueda, G. C. (2024). Cálculo del Coeficiente de Escurrimiento Mediante el Uso de SIG en México. *XXXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica Medellín-Colombia*, 10.

Sanchez San Roman, J. (marzo de 2022). *Universidad de Salamanca*. Obtenido de Precipitaciones:
<https://hidrologia.usal.es/temas/Precipitaciones.pdf>

Sarochar, R., Ciapessoni, H., & Ruiz, N. (4 de Septiembre de 2006). Precipitaciones convectivas y estratiformes en la Pampa Húmeda: una aproximación a su separación y aspectos climatológicos de ambas. Buenos Aires, Argentina.

Serna, E. M., & Polo, J. (2015). Lógica y abstracción en la formación de ingenieros: una relación necesaria. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 15(2).

Servicio Geológico Mexicano. (22 de Marzo de 2017). *Sistemas de información geográfica*. Obtenido de Servicio Geológico Mexicano:
<https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/SIG/Introduccion-SIG.html>

Servicio Geológico Mexicano. (3 de Septiembre de 2020). Obtenido de Sistemas de información geográfica: <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/SIG/Introduccion-SIG.html>

Servicio Meteorológico Nacional. (20205). Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAS). Ciudad de México, México.

Servicio Meteorológico Nacional. (1 de diciembre de 2023). #Podcast Meteorología para llevar. Episodio 29: Radiosondeo. Ciudad de México, México.

Thompson, D. (2007). *The Rational Method*. Minden, Nevada, Estados Unidos de América.

Thyssen, M. (6 de Agosto de 2005). Rain Near the Village Lunde. Lunde, Denmark.

Thyssen, M. (6 de Agosto de 2005). Rain near the village Lunde, Funen, Denmark. Dinamarca.

Universidad Politécnica de Madrid. (2010). *Conceptos Cartográficos*. Madrid: Instituto Geográfico Nacional.



US Army Corps of Engineers. (Marzo de 2000). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS*. Obtenido de [https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Technical%20Reference%20Manual_\(CPD-74B\).pdf](https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Technical%20Reference%20Manual_(CPD-74B).pdf)

USGS. (24 de Julio de 2025). *What data sources are used to produce the 3D Elevation Program (3DEP) DEMs?* Obtenido de USGS: https://www.usgs.gov/faqs/what-data-sources-are-used-produce-3d-elevation-program-3dep-dems?utm_source=chatgpt.com