



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA

**“OBTENCIÓN DEL NÚMERO DE CURVA (NC) PARA
LA REPÚBLICA MEXICANA MEDIANTE EL USO DE
SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA,
APLICANDO LA METODOLOGÍA DEL TR-55”**

POR:

FÉLIX HERNÁNDEZ JIMENEZ

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR: DR. EDUARDO REINOSO ANGULO

MÉXICO, D.F. ENERO 2014



**DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/142/2013**

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**Señor
FÉLIX HERNÁNDEZ JIMÉNEZ**
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor DR. EDUARDO REINOSO ANGULO que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted conforme a la opción I. "Titulación mediante tesis o tesina y examen profesional", para obtener su título en INGENIERIA CIVIL

**"OBTENCIÓN DEL NÚMERO DE CURVA (CN) PARA LA REPÚBLICA MEXICANA
MEDIANTE EL USO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, APLICANDO LA
METODOLOGÍA DEL TR-55."**

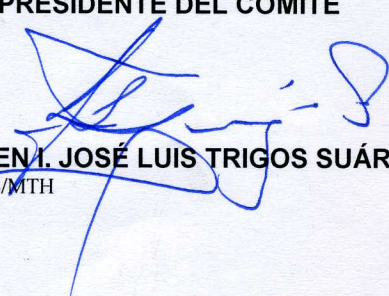
INTRODUCCIÓN

- I. ASPECTOS GENERALES.**
- II. METODOLOGÍA Y CRITERIOS APLICADOS PARA GENERAR LAS VARIABLES INVOLUCRADAS EN EL NÚMERO DE CURVA PARA LA REPÚBLICA MEXICANA.**
- III. VALORES DE NÚMERO DE CURVA PARA LA REPÚBLICA MEXICANA MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**
- IV. CONCLUSIONES.
BIBLIOGRAFÍA**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 5 de Noviembre de 2013
EL PRESIDENTE DEL COMITÉ


M. EN I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ
JLTS/MTH

Agradecimientos

En la vida se presentan innumerables circunstancias, unas te hacen caer, otras no te dejan seguir y te estancan, otras te hacen levantarte, afortunadamente, y otras, mejor aún, te hacen seguir subiendo; siendo la vida un proceso en el que se presentan esas circunstancias me resulta grato decir gracias a la vida.

Agradezco a mis padres por darme vida, a mi familia y amigos, y a todas aquellas personas que a lo largo de mi camino se han presentado y que directa e indirectamente forman parte de lo que ahora soy. Un reconocimiento muy emotivo a mi hermana Lucia y mi amigo Rubén quienes siempre me han dado su apoyo, y uno muy sentido a mi amigo Jesús.

Para obtener el título de Ingeniero Civil opte por la modalidad de examen profesional mediante tesis, modalidad que implica elegir un tema, desarrollarlo, registrarlo, presentarlo y aprobarlo, esto ha sido una carrera larga, muy larga, es por eso que hago un agradecimiento al Instituto de Ingeniería de la UNAM, muy en especial a mi director de tesis el Dr. Eduardo Reinoso Angulo, quien además de ser un gran profesional y profesional dentro de su área de trabajo, su mayor virtud se encuentra en crear, apoyar y guiar a aquellas personas con voluntad, también doy gracias a sus colaboradores por el apoyo en la realización de esta tesis.

Por último, pero no menos importante, doy gracias por mi formación académica y humana a tan grandiosa institución como lo es la Universidad Autónoma de México (UNAM), quien a través del CCH y posteriormente de la Facultad de Ingeniería me dijeron que si se puede, me dicen que si se pudo y que aún hay más. ¡ Gracias UNAM !

	Página
Introducción	2
Capítulo 1 Aspectos generales	4
1.1. Objetivo	5
1.2. Número de Curva (NC)	5
1.3. Metodología TR-55 “Hidrología urbana para cuencas pequeñas”	5
1.4. Sistemas de Información Geográfica (SIG)	8
1.5. Aplicación del Número de Curva	12
Capítulo 2 Metodología y criterios aplicados para generar las variables involucradas en el Número de Curva para la República Mexicana	13
2.1. Grupos de suelo	13
2.1.1. Clasificación de los suelos en México	14
2.1.2. Criterios y metodología en la asignación del grupo de suelo	18
2.2. Uso de suelo y condición hidrológica	25
2.2.1. Descripción de los usos de suelo establecidos en el TR-55	26
2.2.2. Características de la condición hidrológica establecidas en el TR-55	27
2.2.3. Uso de suelo y condición hidrológica en México: criterios y metodología	28
2.3. Asignación del valor de Número de Curva	40
Capítulo 3 Valores de Número de Curva para la República Mexicana mediante Sistemas de Información Geográfica	43
3.1 Mapa de grupos de suelos	43
3.2 Mapa de condición hidrológica	45
3.3 Mapa de Número de Curva	51
Capítulo 4 Conclusiones	53
Bibliografía y referencias	55
Anexo 1. Tablas de NC contenidas en el TR-55	56
Anexo 2. Número de Curva por región hidrológica	61

Introducción

El Número de Curva (NC) para la República Mexicana, aplicando la metodología del TR-55 “Hidrología urbana para cuencas pequeñas”, publicada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), que se presenta en este trabajo de tesis, es producto de una investigación amplia, detallada y debidamente sustentada en las referencias bibliográficas citadas en este mismo documento. La realización de esta tesis se pretende como una aplicación adecuada del método del Número de Curva, además de ser una contribución al conocimiento y fungir como herramienta útil y confiable en el estudio de la hidrología en México.

A lo largo de este documento se establecen los procedimientos, consideraciones y limitantes, en la aplicación del método establecido en el TR-55 “Hidrología urbana para cuencas pequeñas”, para las condiciones del territorio mexicano, presentando los resultados y conclusiones de este trabajo de investigación. El TR-55 presenta una serie de tablas en las cuales se establecen valores empíricos de NC que corresponden a las condiciones del territorio de EU, estos valores han sido establecidos para una combinación de factores como lo son: el tipo de suelo, el uso que se le da al suelo y la condición hidrológica que se presenta en la zona de estudio.

El camino para la asignación de valores de NC que más se ajustan a las condiciones del país inicia y se basa en la información generada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) siendo la principal fuente para la elaboración de esta tesis. Para designar un valor de NC correspondiente a cada región del país, valores ya establecidos en las tablas del TR-55, fue necesario, como primer paso, adecuar los tipos de suelo presentes en México a los grupos de suelo utilizados por el TR-55; la clasificación de suelos en México se basa en la clasificación de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO); posteriormente hubo que identificar los usos de suelo dentro del territorio mexicano, el uso de suelo hace referencia a la actividad que se realiza dentro del área de estudio, pudiendo tratarse de una zona urbana, un suelo de cultivo, áreas con vegetación (selvas, bosques, matorrales, etc.), zonas de desierto, entre otros, de la mano del uso de suelo se encuentra la condición hidrológica, para la cual se contemplaron aquellos factores que intervienen en la infiltración y el escurrimiento, tales como: la textura del suelo, la presencia de hierba, hojarasca, cobertura de la vegetación o el tratamiento que se le da a los suelos de cultivo, resultando en una condición hidrológica con calificaciones extremas de *buena* para aquellas áreas con las condiciones máximas favorables a la infiltración, y de *pobre* en áreas con condiciones desfavorables a la infiltración, lo que implica un menor y mayor escurrimiento superficial, respectivamente. La combinación de estos factores permite asignar los valores de NC que más se ajustan a las condiciones del territorio mexicano.

El INEGI proporciona información digital que permitió establecer los valores de NC mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). La importancia de los SIG radica en los beneficios que proporcionan la manipulación de gran cantidad de información, beneficios

que se traducen en rapidez, accesibilidad y representación de los datos. La representación de la información juega un papel muy importante en la generación y asignación del NC, ya que permite realizar un análisis en forma visual de la distribución de los NC's dentro del país. La aplicación de los SIG, en la realización de esta tesis, permitió la generación de mapas en los que se muestra la condición hidrológica y la distribución de los tipos de suelo dentro del territorio nacional para, finalmente, realizar una combinación de la información contenida en los mapas anteriores y obtener un mapa con los valores NC presentes en México, adicionalmente se elaboró una serie de mapas en donde se presenta los resultados de grupos de suelo, condición hidrológica y NC, por región hidrológica.

Finalmente, las consideraciones anteriores condujeron a un trabajo de tesis con una estructura de tres capítulos. El capítulo primero, *Aspectos generales*, presenta una descripción de la metodología establecida por el TR-55, el uso y las características de los SIG, una descripción del NC y su aplicación, además del objetivo del tema de tesis; en el capítulo dos titulado *Metodología y criterios aplicados para generar las variables involucradas en el Número de Curva para la República Mexicana* se presenta a detalle los tipos y usos de suelo, y la condición hidrológica de México, también se detallan los criterios y la metodología a la que se llegó y que permitió la aplicación de la metodología del TR-55; el tercer y último capítulo, *Número de Curva para la República Mexicana mediante Sistemas de Información Geográfica*, resulta un capítulo en el que se describe el proceso para la elaboración del mapa de NC mediante el uso de SIG; detallando el software y comandos utilizados, además de los datos de entrada requeridos; también se presentan los mapas de grupos de suelo, condición hidrológica, y como resultado final se muestra el mapa de NC que corresponde a las características de la República Mexicana. También se incluyen las conclusiones generadas con la elaboración de esta tesis, además de incorporar un par de anexos en los que se presenta: las tablas de NC contempladas en el manual del TR-55 y los mapas de NC por región hidrológica de la República Mexicana.

Capítulo 1

Aspectos generales

La finalidad de estudiar el comportamiento del agua surge de las necesidades y requerimientos del ser humano, necesidades tan básicas como hidratarse y requerimientos tan grandes como el almacenamiento y control de este recurso. El agua, además de ser la sustancia con mayor abundancia en el planeta, es indispensable para los seres vivos y su estudio condujo a concebir la Hidrología como una ciencia.

La Hidrología en una región se ve modificada por factores como clima, topografía, geología, edafología, vegetación y actividades humanas, de ahí que una definición aceptada la contempla como la “ciencia que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres humanos” (Chow, V. T., 1992). La Hidrología permite estudiar eventos de precipitación, donde el escurrimiento, parte de la precipitación frenada por las corrientes de la cuenca y que circula sobre o bajo la superficie terrestre, juega un papel muy importante en el análisis de cuencas, y al cual es posible dividir en el agua que se infiltra (escurrimiento base) y el agua que escurre (escurrimiento directo).

Una cuenca aforada, en donde se cuenta con un hidrograma (gráfica del gasto en función del tiempo), permite separar el escurrimiento base del escurrimiento directo; sin embargo, ante la ocurrencia de posibles eventos, y recientemente visto con un enfoque de aprovechamiento del agua de lluvia, surge la necesidad de realizar estimaciones de escurrimiento directo tanto en cuencas aforadas como en cuencas no aforadas. Criterios como el de la capacidad de infiltración media, el del coeficiente de escurrimiento, o el del Servicio de Conservación de suelos de los Estados Unidos (USSCS) son algunos de los criterios utilizados para el cálculo de la altura de precipitación efectiva, aquella que contribuye al escurrimiento directo, para la aplicación de estos criterios es necesario contar con registros simultáneos de volúmenes de escurrimiento y alturas de precipitación; es decir, son criterios válidos para cuencas aforadas. Para estimar la altura de precipitación efectiva en cuencas para las cuales no existen registros de aforo, se ha planteado un concepto conocido como: “*Método del Número de Curva o de escurrimiento*”, este método es propuesto por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (USSCS) y para su aplicación es necesario determinar el valor de Número de Curva (NC), el cual se determina en función de ciertas características de la cuenca en estudio. Existen otros criterios para cuencas sin aforo son el método de Horton (involucra valores de constantes empíricas), el de Hershfield (cociente de la evapotranspiración y la precipitación mensual), por mencionar algunos.

Para la Hidrología como para cualquier ciencia, la implementación de la tecnología como una herramienta útil en la realización de cálculos, estimaciones, presentación de datos, e incluso

simulaciones viene a complementar y propiciar un crecimiento en el avance científico; existen herramientas basadas en Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permiten al usuario acceder a grandes cantidades información de manera rápida, ordenada y, sobre todo, permite interactuar y analizar información espacial, presentado resultados de manera gráfica.

1.1. Objetivo

Mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica, generar valores de Número de Curva (NC) para la República Mexicana, aplicando la metodología del TR-55 “Hidrología urbana para cuencas pequeñas”, teniendo como base las características y condiciones del territorio mexicano.

1.2. Número de Curva (NC)

El NC es un valor adimensional asociado a un nivel de infiltración empleado en el cálculo de la altura de precipitación efectiva con el método del mismo nombre, *método del Número de Curva de escurrimiento*.

El método del Número de Curva de escurrimiento es una alternativa para la estimación del escurrimiento directo, derivado de la precipitación total o de diseño, de gran utilidad en cuencas no instrumentadas.

Los valores de NC dependen del tipo y uso de suelo, además de la condición hidrológica; que a su vez depende de factores como el relieve del terreno (pedregosidad), tratamiento (terrazas, surcos rectos, etc.) del suelo en el caso de los cultivos, y de las condiciones de la vegetación.

El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (USSCS), ahora llamado Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (NRCS, por sus siglas en inglés) se ha encargado de calcular valores empíricos de NC, y proporciona una serie de tablas en las que se consideran diferentes características del suelo y de su cubierta vegetal.

1.3. Metodología del TR-55 “Hidrología urbana para cuencas pequeñas”

La publicación técnica 55 (TR-55 “Hidrología urbana para cuencas pequeñas”) emitida por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) en 1986, es una revisión a la metodología implementada por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) desde 1975, la revisión incluye los resultados de investigaciones recientes y de la experiencia generada por la aplicación de la edición original.

Esta metodología permite estimar la altura de precipitación efectiva que se presenta durante una tormenta, su aplicación es recomendada para cuencas pequeñas, enfocando su atención en

cuenas urbanizadas de los Estados Unidos. El escurrimiento directo que ocurre durante una tormenta queda descrito por la siguiente ecuación:

$$h_{pe} = \frac{(h_{pT} - I_a)^2}{(h_{pT} - I_a) + S} \quad (1.1)$$

Donde:

h_{pe} = altura de precipitación efectiva (plg.),

h_{pT} = altura de precipitación total o de diseño (plg.),

S = potencial máximo de retención después de comenzado el escurrimiento, y

I_a = infiltración inicial (plg.).

La infiltración inicial (I_a) engloba todas las pérdidas antes de presentarse el escurrimiento directo, en ella se contemplan aspectos como: el agua retenida en depresiones, el agua retenida por la vegetación, el agua evaporada, y el agua que se infiltra. Los estudios más recientes han llevado a formular una expresión empírica que permite estimar la infiltración inicial; cuyos valores resultantes son de carácter variable debido a que se encuentran relacionados con el tipo de suelo y su cobertura; tal expresión queda de la siguiente manera:

$$I_a = 0.2 S \quad (1.2)$$

La ecuación 1.2 se describe en función del potencial máximo de retención del suelo (S), mismo que se presenta una vez comenzado el escurrimiento y que se determina con la ecuación:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (1.3)$$

Donde:

CN = Número de Curva, valor empírico establecido en las tablas de NC de esta metodología, mismas que se incorporan en el Anexo 1 de este documento, y que depende de las características del suelo. Las tablas limitan los valores de NC en un rango con valor mínimo de 30 y máximo de 98

Sustituyendo la ecuación 1.2 en la ecuación 1.1 obtenemos que:

$$h_{pe} = \frac{(h_{pT} - 0.2 S)^2}{(h_{pT} + 0.8 S)} \quad (1.4)$$

Definida la ecuación que permite obtener la altura de precipitación efectiva, podemos apreciar que la solución de dicha ecuación depende del valor de NC, contenido en el potencial máximo de retención (ecuación 1.3), teniendo en cuenta que la altura de precipitación total (h_{pT}) resulta de una cantidad de lluvia medio o esperado.

Como ya se ha mencionado, los valores de NC son valores empíricos, y se encuentran en función de algunas características del suelo en el área en estudio, para asignar un valor de NC, el TR-55 establece, como información imprescindible, definir las siguientes características:

a) Grupo de suelo.- las tablas contenidas en el TR-55 asignan un valor de NC para cada grupo de suelo, clasificados en A, B, C o D, según la clasificación del USDA; siendo el grupo A los suelos con mayor permeabilidad y menor cantidad de arcilla, y el grupo D aquellos suelos de menor permeabilidad y con alto contenido de arcilla.

Dentro del TR-55 se realiza una descripción de los suelos muy general, recurriendo al “National Engineering Handbook”, publicación emitida por USDA y el NRCS, se describe a los cuatro grupos con las siguientes características:

- Grupo A: se describen como suelos con bajo potencial de escurrimiento, cuya tasa de infiltración, para las capas cercanas a la superficie del suelo, resulta mayor a los 144 mm/h, incluso cuando se encuentran totalmente humedecidos, además de presentar un contenido de arcilla menor al 10%, y un 90% o más de arena y grava.
- Grupo B: suelos con tasa de infiltración moderada, que va de los 36.1 mm/h a los 144 mm/h, esto para las capas superiores. Son suelos que presentan un porcentaje de contenido de arcilla entre el 10% al 20%, y un contenido de arena de entre 50% y 90%.
- Grupo C: suelos con una tasa baja de infiltración para las capas próximas a la superficie del suelo (3.6 mm/h – 36.1 mm/h), y un contenido de arcilla entre el 20% y el 40%, con un contenido de arena menor al 50%.
- Grupo D: estos suelos presentan contenidos de arcilla mayores al 40%, y contenidos de arena menores al 50%, y son suelos con una tasa de infiltración muy baja, menor de 3.6 mm/h.

b) Uso de suelo o tipo de cobertura.- define el uso que se le da al suelo, es decir, el tipo de cobertura de la cuenca o área de estudio, diferenciando si se trata de suelos dedicados al cultivo, suelos con o sin vegetación, zonas urbanas, etc. Los distintos tipos de suelo para los que la metodología ha desarrollado los valores de NC se presentan en las tablas 1a, 1b, 1c y 1d, contenidas en el *Anexo 1*, ya antes mencionado, y se resumen en lo siguiente:

Tabla 1. Descripción de los usos de suelo, o tipos de cobertura, establecidos en las tablas de Número de Curva de escurrimiento del TR-55, las tablas se encuentran contenidas en el *Anexo 1*.

Tablas contenidas en el <i>Anexo 1</i> .	Uso de suelo
Tabla 1a. Número de Curva de escurrimiento (NC) para áreas urbanas	Áreas urbanas desarrolladas completamente Áreas urbanas en desarrollo
Tabla 1b. Número de Curva de escurrimiento (NC) para tierras agrícolas cultivadas	Barbecho Cultivos en fila Grano pequeño Cerca de semilla de leguminosa o legumbres por difusión
Tabla 1c. Número de Curva de escurrimiento (NC) para tierras agrícolas	Pasturas, praderas o semejantes Prado Brush Bosques Granjas-edificios, calles, caminos, y predios circundantes
Tabla 1d. Número de Curva de escurrimiento (NC) para tierras áridas y semiáridas	Vegetación Herbácea Roble - Álamo Temblón Piñón - Enebro Artemisa con hierba de sotobosque Arbustos o Matorral de desierto

- c) Condición hidrológica.- indica los efectos de las condiciones o el tipo de tratamiento (en cultivos) del suelo , en general, se estima por características visibles del terreno como: la densidad de la cubierta vegetal, los residuos (hojarasca) de la vegetación y la textura o el relieve del suelo, refiriéndose a la textura como la pedregosidad o bordes del terreno, de tal forma que una buena condición hidrológica indicará que el suelo posee un potencial de escurrimiento bajo, contrario a una mala condición hidrológica en donde el potencial de escurrimiento se supone como alto.

Para una cuenca en la que se presenta una combinación de distintos usos y grupos de suelo, el cálculo de NC se realizará como un compuesto mediante un promedio ponderado.

El uso de las tablas, para determinar el valor correspondiente de NC para un uso y grupo de suelo, y una condición hidrológica, se simplifica en los puntos siguientes:

1. Identificar el uso del suelo que se encuentra dentro de la cuenca. Los usos de suelo de vivienda o zona urbana requieren un conocimiento del porcentaje de área pavimentada, y los suelos cultivados requieren de la técnica o tratamiento empleada (surcos, terrazas, contorno).
2. Una vez determinado el uso de suelo es necesario asignar el nivel o calificación de la condición hidrológica para ese uso de suelo.
3. Por último es necesario localizar el grupo de suelo que se presenta y elegir el NC correspondiente para ese grupo, uso y condición hidrológica de suelo.

Obtenido el valor de NC se sustituye en la ecuación 1.3 y, posteriormente, el valor resultante se ha de sustituir en la ecuación 1.4 para obtener una altura de precipitación efectiva.

1.4. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los SIG se refieren a “un conjunto de elementos computacionales, datos geográficos y recursos o capital humano que con base en una metodología, son capaces de capturar, almacenar, procesar y presentar en todas sus formas información espacial y debidamente georeferenciada atendiendo a múltiples propósitos” (Pineda, 2012).



Figura 1 Representación esquemática de los componentes que integran los SIG.

Se puede decir que el uso de los SIG se basa en la representación de objetos o mapas reales mediante formatos digitales que almacenan y representan la información real. Permitiendo la superposición de mapas de información real, mediante capas (cada capa con temática diferente), para dar origen a nueva información; en general, funcionan con la representación de los datos o información real mediante dos tipos de formato: el formato *vectorial* (shape) y el formato *ráster*. La información vectorial utiliza coordenadas cartesianas y se utiliza para representar elementos que tienen un límite o frontera definida, mientras que la información en formato ráster representa el espacio por medio de matrices que se integran de celdas denominadas píxeles, esta información cubre la totalidad del espacio, de gran ventaja para consultar valores en cualquier punto. La figura 2 ejemplifica la diferencia entre los dos tipos de datos, a partir de un modelo.

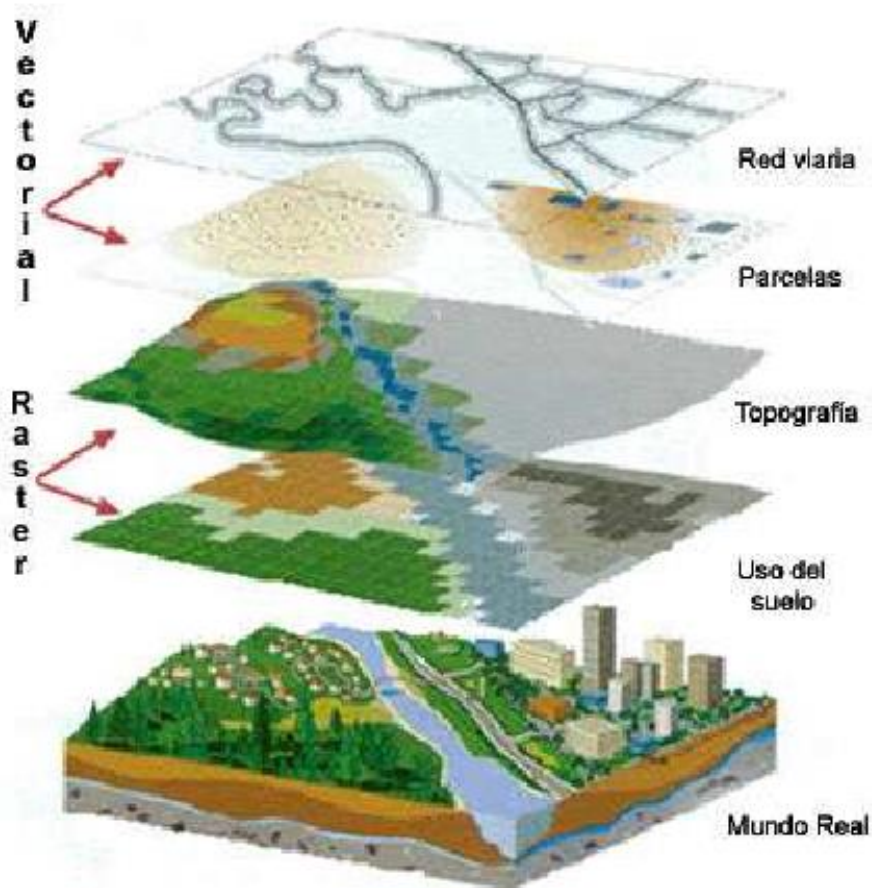


Figura 2. Ejemplo de un modelo de información en formato vectorial y formato ráster, partiendo de un modelo real.

En lo que refiere a los elementos computacionales, específicamente al software de los SIG, es importante mencionar aquellas características que permiten el manejo de la información dentro de un programa de cómputo.

La información geográfica contenida en los SIG permite distinguir y relacionar dos tipos de base de datos, para una representación datos vectorial:

- a) base de datos espacial: corresponde a datos existentes en el espacio, los cuales se representan por medio de puntos, líneas y polígonos, en un lenguaje informático, mismos que se deben establecer en un sistema de referencia geográfico lo cual permitirá identificar y relacionar los objetos sobre la superficie de la Tierra.
- b) base de datos descriptiva: está constituida por información alfanumérica que se almacena en una tabla de atributos, es decir, es el elemento que da nombre a las características geográficas.

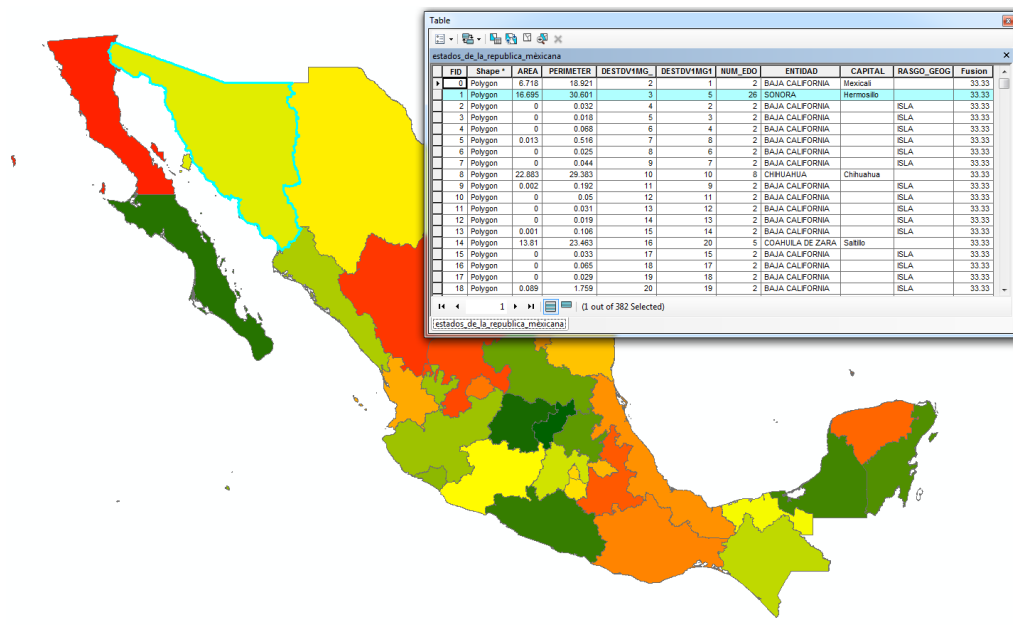


Figura 3. Imagen de la República Mexicana donde se representa la división territorial por estados mediante una base de datos espacial en forma de polígonos; la tabla de datos sobre el mapa representa la base de datos descriptiva de los polígonos, resaltando el polígono y la información que corresponde al estado de Sonora.

Un programa de cómputo relaciona ambas características tomando en cuenta aspectos de posición, descripción y de topología. Los datos posicionales establecen donde está el elemento; los topológicos nos dicen la ubicación con respecto a otros elementos y los descriptivos dicen qué y cómo es el elemento en cuestión.

En cuanto a los datos contenidos en un ráster se componen de filas y columnas de celdas, con el pixel como unidad menor, cada celda almacena un valor único que pueden ampliarse mediante el uso de las bandas del ráster para representar los colores RGB (rojo, verde, azul), o una tabla extendida de atributos con una fila para cada valor único de celda.

Otra de las tantas ventajas de los SIG es la utilización de un sistema de coordenadas, este sistema es el que permite referenciar los elementos geográficos por medio de una latitud y longitud. La representación gráfica de los puntos sobre la superficie terrestre se lleva a cabo mediante dos tipos de proyecciones:

- **Proyección Universal Transversal Mercator (UTM):** es sistema cilíndrico, tangente al elipsoide de un meridiano; con eje en el plano del ecuador donde los meridianos se presentan por rectas paralelas y los paralelos son rectas perpendiculares a los meridianos; la red de meridianos y paralelos es ortogonal y presentan la misma deformación lineal; se divide en 60 zonas de 6° de amplitud; y utiliza unidades de metro. En la siguiente figura se muestra la representación de esta proyección.

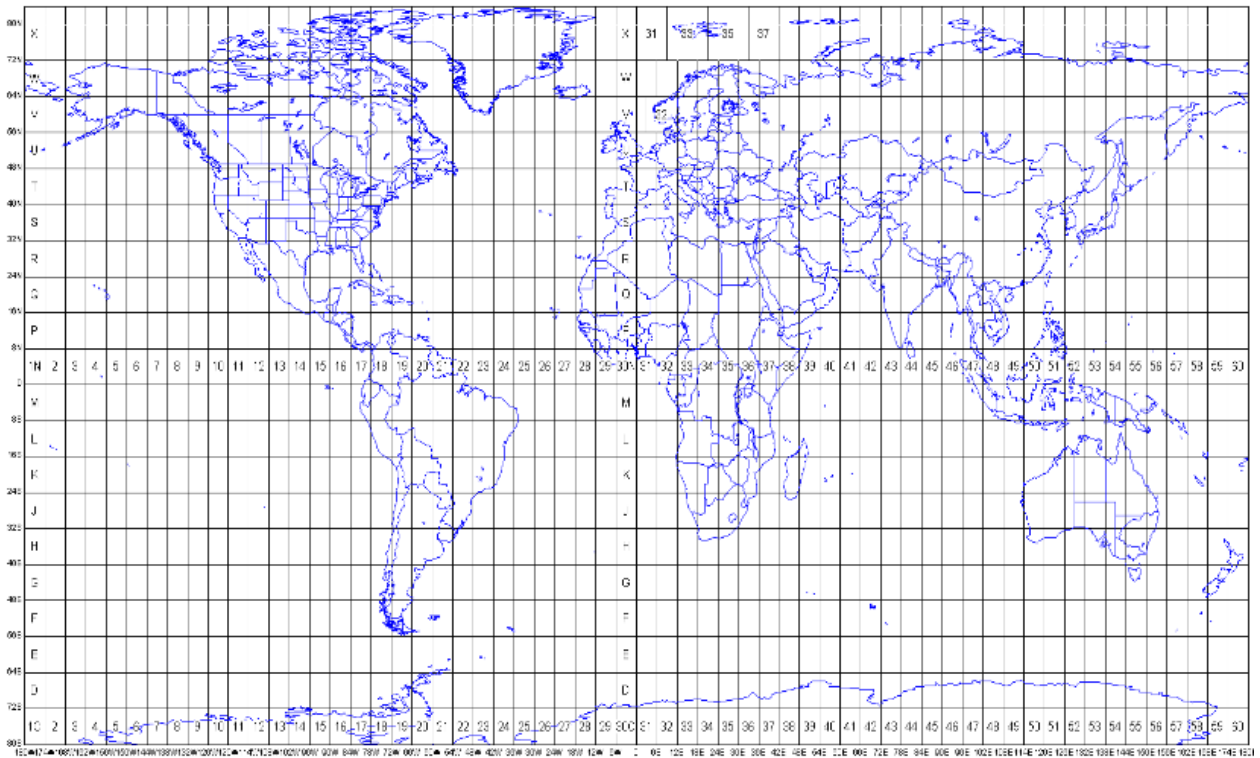


Figura 4. Proyección Universal Transversal Mercator (UTM)

- **Proyecciones cartográficas:** se entiende por proyección cartográfica a la correspondencia biunívoca entre los elementos de una superficie curvilínea tridimensional y su proyección en un plano. Básicamente utiliza tres tipos de proyecciones: cónica, cilíndrica y polar.

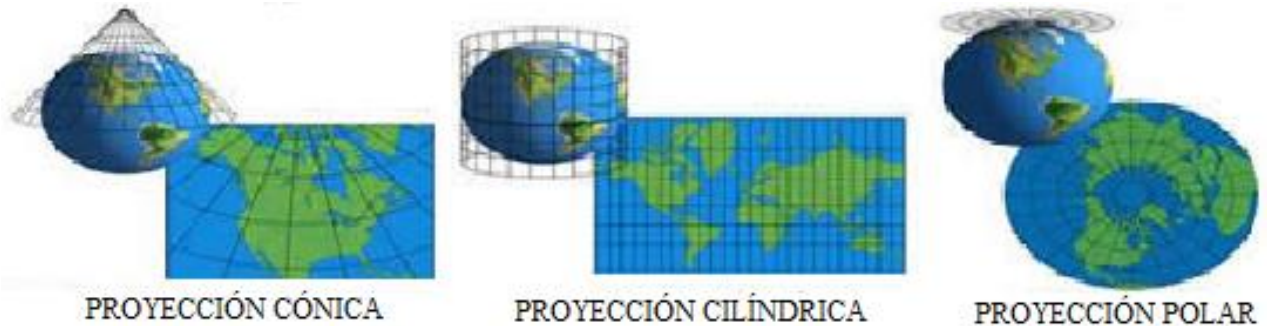


Figura5 Representación de proyecciones cartográficas.

Entre las tareas que puede desempeñar un SIG se encuentran las siguientes:

- Entrada y organización de datos: ingresar información visual y alfanumérica, compatible con el lenguaje computacional, para digitalizarla.
- Manipulación de datos: consiste en el manejo y operación de la información almacenada, la escala y el tipo de proyección.
- Administración de la información: manejo y administración de grandes volúmenes de información.
- Búsquedas: una vez que un SIG se encuentra funcionando o en operación, es posible hacer uso de toda la información almacenada y realizar una búsqueda de manera exacta.
- Análisis: con la información almacenada, es posible analizar dicha información, observando patrones y tendencias del comportamiento de ciertos eventos, y también es posible simular escenarios distintos con el fin de formular y tomar decisiones. Un análisis de proximidad permite localizar objetos, zonas, construcciones, rutas, etc.
- Superposición: permite la superposición de mapas con diferentes temáticas que permite generar nueva información o buenos efectos de visualización para la presentación de la información.
- Visualización: permite presentar la información en un formato universal por medio de mapas y gráficos.

1.5. Aplicación del Número de Curva

Anteriormente se estableció el NC como un valor determinante en el cálculo de precipitación efectiva con el método del mismo nombre, derivado de lo anterior, estrictamente, el NC tiene por aplicación calcular la altura de precipitación efectiva.

Estimar el escurrimiento directo permite determinar la infiltración durante una tormenta, siendo el NC parte medular del método para calcular la lluvia que escurre, es posible decir que mediante el NC, aplicado en la ecuación de altura de precipitación efectiva, resulta de gran utilidad en actividades como:

- Diseño de obras hidráulicas.
- Operación de obras hidráulicas.
- Útil en la estimación de recarga acuífera y de cuerpos de agua como ríos y lagunas.
- Análisis de zonas propensas a inundación.
- Análisis de cuencas.
- Diseño de alcantarillado.
- Aprovechamiento del agua de lluvia en cultivos.

Capítulo 2

Metodología y criterios aplicados para generar las variables involucradas en el Número de Curva para la República Mexicana

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, a través del Servicio de Conservación de Suelos (SCS), ha desarrollado valores de NC que corresponden a usos de suelo y cubierta vegetal de aquel país. Teniendo en cuenta que las condiciones de uso y tipo de suelo de cada región o país no son las mismas, existe la necesidad de establecer un criterio que permita la aplicación del método bajo distintas condiciones; es decir, asignar los valores de NC calculados por el SCS a las características de otra región, México para el caso de esta tesis.

Determinar el valor de NC que corresponde a las condiciones de vegetación y al tipo de suelo de la República Mexicana dependerá, en gran medida, de la información disponible, por tanto, asignar el NC mediante el uso de SIG requiere de información específica y sustentada que permita su manejo mediante un equipo de cómputo y un software adecuado.

Antes de iniciar con la obtención del NC mediante SIG, fue necesario realizar un análisis de la información disponible y útil que permitiera establecer criterios y una metodología que justifique los requerimientos del método establecido en el TR-55, y que cuya aplicación permita alcanzar el objetivo de este proyecto; por lo que, a lo largo de este capítulo se detallan aquellos factores necesarios para la generación de los valores de Número de Curva en el país.

2.1. Grupos de suelo

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) considera el contenido de arcilla y arena como una característica distintiva de cada grupo de suelo, que se asocia, a su vez, a una tasa de infiltración, siendo el contenido de arena y arcilla la característica principal que permitió establecer una clasificación adecuada de los suelo de México dentro de los cuatro grupos de suelo del USDA y que son considerados por el TR-55.

Los tipos de suelo en México se clasifican y asignan según el sistema internacional “Base Referencial Mundial del Recurso Suelo” publicado en 1999, en conjunto, por la Sociedad Internacional de las Ciencias del Suelo, el Centro Internacional de Referencia e Información en Suelos (ISRIC) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO/UNESCO), clasificación que se encuentra modificada y adecuada a las condiciones ambientales del país, por la Dirección General de Geografía del INEGI.

2.1.1. Clasificación de los suelos en México

A través de la cartografía edafológica del país; siendo la edafología aquella que se encarga del estudio de la composición y naturaleza de los suelos y su relación con el entorno que lo rodea; el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) proporciona información (Serie III, 2009), referenciada geográficamente, sobre el recurso suelo, información referente a sus características morfológicas, propiedades físicas y químicas, y a las limitantes más severas para su uso y manejo, tales como: profundidad, pedregosidad, salinidad, textura de los primeros 30cm, entre otras. La información edafológica se presenta en un formato digital compatible (shapefile) con los SIG, cosa que facilitó su manejo y consulta.

La estructura que presenta el INEGI, para la clasificación de los suelo, básicamente se compone de un tipo de suelo y una unidad calificadora, estructura que se detalla en el punto 2.1.2. De la información contenida en el Diccionario de Datos Edafológicos escala 1:250 000 Serie III 2009, correspondiente a la cartografía de edafología, se presenta la Tabla 2, que corresponde a los tipos de suelo presentes dentro del territorio mexicano.

Tabla 2. Listado de los tipos de suelo, y clave correspondiente, presentes en la edafología de México.

Clave	Nombre	Clave	Nombre
AC	Acrisol	LP	Leptosol
AL	Alisol	LX	Lixisol
NA	Andosol	LV	Luvisol
AR	Arenosol	NT	Nitisol
CL	Calcisol	PH	Phaeozem
CM	Cambisol	PL	Planosol
CH	Chernozem	PT	Plintisol
DU	Durisol	RG	Regosol
FL	Fluvisol	SC	Solonchak
GY	Gipsisol	SN	Solonetz
GL	Gleysol	UM	Umbrisol
HS	Histosol	VR	Vertisol
KS	Kastañozem		

La información contenida en la carta edafológica del INEGI arrojó un total 25 tipos de suelo, para los cuales se presenta una breve descripción de sus características (referencias 6 y 10):

1. *Acrisol*: suelo agrio y muy ácido, se caracterizan por tener acumulación de arcillas en el subsuelo. Son moderadamente susceptibles a la erosión.
2. *Alisol*: son suelos que tienen mayor contenido de arcilla en el subsuelo que el suelo superficial como resultado de procesos pedogenéticos, tienen baja saturación de bases, con arcillas de alta actividad en todo el horizonte árgico.

3. *Andosol*: suelos de origen volcánico de color negro, alta capacidad para retener humedad. Son muy susceptibles a la erosión eólica.
4. *Arenosol*: suelos arenosos de textura gruesa (diámetro de partícula >2.0mm) con más del 65% de arenas, poseen alta permeabilidad. Son suelos poco desarrollados tanto residuales como transportados.
5. *Calcisol*: los calcisoles acomodan suelos en los cuales hay una acumulación secundaria sustancial de calcáreo, están muy extendidos en ambientes áridos y semiáridos que presentan vegetación natural escasa y dominada por arbustos y árboles xerófitos y/o pastos efímeros.
6. *Cambisol*: suelo joven, se encuentran en cualquier tipo de vegetación o clima, menos en suelos áridos, con pequeñas acumulaciones de arcilla, carbonato de calcio, fierro o manganeso; con espesores mayores a 25 cm y son de material parental de textura media a fina derivados de un amplio rango de rocas.
7. *Chernozems*: literalmente tierra negra, son suelos alcalinos ubicados en zonas semiáridas o de transición hacia climas más lluviosos. Son suelos que sobrepasan, comúnmente, los 80 cm de profundidad con una capa superior rica en materia orgánica y en nutrientes, con alta acumulación de caliche suelto o ligeramente cementado en el subsuelo.
8. *Durisol*: principalmente asociados con superficies antiguas en ambientes áridos y semiáridos y acomodan suelos muy someros a moderadamente profundos, Moderadamente bien a bien drenados.
9. *Fluvisol*: suelo de río, poco desarrollados, medianamente profundos, estructura débil o suelta. Presenta capas alternas de arenas con piedras o gravas redondeadas. Son muy permeables. Suelos arenosos, ligeros. Textura gruesa.
10. *Gipsisol*: presenta una acumulación secundaria sustancial de yeso. Estos suelos de encuentran en la parte más seca de la zona de clima árido, lo que explica que los sistemas líderes de clasificación de suelos hayan denominado a muchos de ellos como suelos de desierto.
11. *Gleysol*: suelo pantanoso, en México predominan más los suelos pantanosos con textura arcillosa, se encuentra en zonas donde se acumula y estanca el agua la mayor parte del año, con profundidad dentro de los 50 cm, tienen textura fina, por lo que su drenaje interno es lento. Son de color pardo a gris y su contenido de materia orgánica va de moderado a alto.
12. *Histosol*: literalmente, suelos de tejidos orgánicos, con contenidos muy altos de materia orgánica (más del 20% en peso), generalmente de color negro, esponjoso, ligero y con alta capacidad de retención de humedad. Se encuentran restringidos a sitios donde se acumulan desechos orgánicos, tales como pantanos y lechos de antiguos lagos. Xochimilco es un ejemplo representativo en el país. Frecuentemente tienen olor a podrido y una importante acumulación de salitre.
13. *Kastañozems*: estos suelos tienen un perfil similar al de los Chernozems pero el horizonte superficial rico en humus es de menor espesor y no tan oscuro como el de los Chernozems y muestran acumulaciones de carbonatos secundarios más prominentes.

14. *Leptosol*: suelos muy someros sobre roca continua y suelos extremadamente gravillosos y/o pedregosos, de origen parental procedente de varios tipos de roca continua o de materiales no consolidados con menos de 20 por ciento (en volumen) de tierra fina y es particular de zonas fuertemente erosionadas.
15. *Lixisol*: comprenden suelos que tienen mayor contenido de arcilla en el subsuelo que en el suelo superficial como resultado de procesos pedogenéticos (especialmente migración de arcilla) llevando a un horizonte árgico en el subsuelo.
16. *Luvisol*: suelo con acumulación de arcilla que se presenta en zonas templadas o tropicales lluviosas. Los luvisoles tienen arcillas de alta actividad en todo el horizonte árgico y alta saturación con bases a ciertas profundidades. Suelos con alta susceptibilidad a la erosión.
17. *Nitisol*: suelos que se presentan en zonas como Yucatán y Campeche, de color rojizo muy brillante, enriquecidos de arcilla en todo su espesor, suelos muy profundos de por lo menos 150cm de profundidad. Son producto de la meteorización muy fina de rocas y son ricos en Fe.
18. *Phaeozems*: acomodan suelos de pastizales relativamente húmedos y regiones forestales en clima moderadamente continental. Los Phaeozems son muy parecidos a Chernozems y Kastañozems pero están más intensamente lixiviados.
19. *Planosol*: generalmente, característico de relieves planos que se inundan en alguna parte del año, medianamente profundos, entre 50 y 100 cm. Tiene subsuelo muy arcilloso, o bien roca o tepetate, todos impermeables, lo que disminuye el drenaje considerablemente. Suelo residual de origen aluvial y coluvial arcilloso, lentamente permeables y susceptibles a la erosión.
20. *Plintisol*: suelos con plintita, petroplintita o pisolitos. Tanto la petroplintita como los pisolitos desarrollan a partir de la plintita por endurecimiento. La formación de plintita está asociada con áreas llanas a suavemente inclinadas con agua freática fluctuante o agua superficial estancada.
21. *Regosol*: suelos someros poco desarrollados por lo que no presentan capas muy diferenciadas entre sí, son pobres en materia orgánica y, están asociados con litosoles y afloramientos de roca o tepetate. Se incluyen en este grupo los suelos arenosos costeros. Los regosoles forman un grupo remanente taxonómico que contiene todos los suelos que no pudieron acomodarse en alguno de los otros grupos.
22. *Solonchak*: suelos salinos presentes en lagunas costeras y lechos de lagos, o partes bajas de llanos y valles de la regiones secas del país, son suelos tanto residuales como transportados, ampliamente confinados a zonas climáticas áridas y semiáridas y regiones costeras en todos los climas, notablemente en áreas donde la capa freática ascendente alcanza el suelo o donde hay algo de agua superficial presente.
23. *Solonetz*: Suelos con altas concentraciones de sales, se caracterizan por tener un subsuelo arcilloso con terrones duros en forma de columnas. Presentan un horizonte B con acumulaciones de NaCl dentro de los primeros 100 cm de profundidad. Son suelos tanto residuales como transportados de textura fina.

24. *Umbrisol*: acomodan suelos en los cuales se ha acumulado materia orgánica dentro del suelo superficial mineral hasta el punto en que afecta significativamente el comportamiento y la utilización del suelo, se presentan en regiones húmedas, frescas, principalmente montañosas, con poco o sin déficit de humedad del suelo y son producto de la meteorización de las rocas silíceas.
25. *Vertisol*: presentan alto contenido de arcilla expandible en húmedo. Suelos de Sinaloa, Sonora, Guanajuato, Jalisco, Tamaulipas y Veracruz. Son fértiles pero muy duros que tienen baja susceptibilidad a la erosión, siempre presentan más del 35% de arcilla.

La Tabla 3 presenta las unidades calificadoras de los tipos de suelo que se pueden presentar dentro del territorio mexicano (la descripción de las unidades calificadoras se puede consultar la referencia 9).

Tabla 3. Claves y nombres de las unidades calificadores de los tipos de suelo.

Clave	Nombre	Clave	Nombre	Clave	Nombre	Clave	Nombre
ap	Abrúptico	fi	Fíbrico	gsm	Moliglósico	so	Sódico
ae	Acérico	fo	Fólico	na	Nátrico	sd	Spódico
ac	Acrico	fv	Flúvico	ni	Nítico	sp	Spólico
ao	Acróxico	fg	Frágico	oh	Ótrico	st	Stágnico
ab	Álbico	fu	Fúlvico	om	Ombrico	su	Sulfático
ax	Alcálico	ga	Gárbico	or	Ortico	ty	Takírico
al	Alico	ge	Gélico	oa	Oxiácuico	tf	Téfrico
au	Alúmico	gt	Gelistágnico	ph	Páquico	tr	Térrico
an	Andico	gr	Gérico	lip	Paralítico	ti	Tiónico
aq	Antrácuico	gi	Gíbsico	pe	Pélico	tx	Tóxico
am	Antrico	gy	Gípsico	pt	Pétrico	tu	Túrbico
ah	Antrópico	gp	Gipsírico	pc	Petrocálcico	um	Umbrico
ai	Arico	gc	Glácico	pd	Petrodúrico	gsu	Umbriglósico
ar	Arénico	gl	Gléyico	pg	Petrogípsico	ub	Urbico
ad	Arídico	gs	Glósico	pp	Petroplántico	vt	Vético
az	Arzico	gz	Gréyico	ps	Petrosálico	vm	Vérmico
ca	Calcárico	g	Grúmio	pi	Plácico	vr	Vértico
cc	Cálcico	ha	Háplico	pa	Plágico	vi	Vítrico
cb	Cámbico	hi	Hístico	pn	Plánico	xa	Xántico
en	Carbonático	ht	Hórtico	pl	Plántico	ye	Yérmico
ch	Chérnico	hu	Húmico	pf	Profúndico	c	Cumuli
cl	Clorídico	hg	Hidrágico	pr	Prótico	n	Endo
cr	Crómico	hy	Hídrico	rd	Redúctico	r	Para
cy	Críco	ir	Irrágico	rg	Régico	t	Proto
ct	Cutánico	ll	Lamélico	rz	Réndzico	b	Tapto
dn	Dénsico	le	Léptico	rh	Reico	w	Hipo
dy	Dístrico	li	Lítico	ro	Ródico	p	Epi
du	Dúrico	lx	Líxico	ru	Rúbico	d	Bati
et	Entico	lv	Lúvico	rp	Rúptico	h	Hiper
eu	Eutrico	mg	Magnésico	rs	Rústico	o	Orti
es	Eutrisílico	mz	Mázico	sz	Sálico		
sk	Esquelético	me	Mélanico	sa	Sáprico		
fl	Ferrálico	ms	Mesotrópico	si	Sílico		
fr	Férrico	mo	Mólico	sl	Sílico		

2.1.2. Criterios y metodología en la asignación del grupo de suelo

El proceso para la asignación del tipo de suelo se realizó con base en los siguientes puntos y bajo los criterios que se exponen a continuación, sin olvidar que en el proceso interviene el uso de SIG, proceso detallado en el Capítulo 3:

1. En el shape de edafología se localizaron los tipos de suelo que se presentan, así como el calificador correspondiente a cada tipo de suelo. El shape (Shapefile) es el formato de archivo vectorial más usado en los SIG en donde se guarda la localización de los elementos geográficos y sus atributos, compuesto, principalmente, de tres archivos:

- .shp: archivo en el que se almacenan las entidades geométricas de los objetos.
- .shx: es el archivo en el que se almacena el índice de las entidades geométricas.
- .dbf: conocido como base de datos y es el archivo donde se almacena la información de los atributos de los objetos (tabla de datos que permite acceso a la información del shape mediante una hoja de cálculo).

La información de tipo de suelo dentro del shape de edafología presenta las siguientes características:

- Geometría de la base de datos espacial representada por polígonos; lo que lleva a establecer un grupo de suelo según el USDA, por polígono. El shape presenta un total de 75491 polígonos. La asignación del grupo de suelo se realizará por polígono.
 - El shape agrupa los tipos de suelo en tres grupos por polígono: grupo uno que corresponde al suelo dominante (**G1**), grupo dos o suelo secundario (**G2**) y el grupo tres o suelo terciario **G3**; es decir, cada polígono puede contener uno, dos o hasta tres tipos de suelo.
 - Cada tipo de suelo presenta hasta dos unidades calificadoras (calificador primario “**CP**” y calificador secundario “**CS**”), para la asignación del grupo de suelo según el USDA se contempla sólo al calificador primario.
 - Dentro del shape se presentan un total de 25 tipos de suelo diferentes, más la información complementaria que refiere a los cuerpos de agua, arrecifes, localidades y país extranjero.
2. Entre la información contenida en el shape de edafología, considerada necesaria para asignar un grupo de suelo según el USDA, se encuentra la textura representativa de los suelos, quedando un tipo de textura por cada polígono. La textura presenta una clasificación de tres tipos (gruesa, media y fina) y para cada textura se establecen rangos de contenido de arcilla y arena, y fue precisamente esta característica la que dio pauta a una agrupación de los suelos de México dentro de los grupos establecidos por el USDA.

En la siguiente tabla se puede observar como el contenido de arcilla y arena que establece el INEGI marca la pauta hacia la asignación de un grupo de suelo, requerido para la aplicación de la metodología del TR-55, delimitando a dos posibles grupos de suelo por textura.

Tabla 4. Agrupación de los posibles grupos de suelo según el USDA que corresponden a la textura establecida por el INEGI.

Textura (INEGI)	Grupo de suelo según el USDA
GRUESA: Menos del 18% de arcilla. Más del 65 % de arena	A menos del 10 % de arcilla más del 90 % de arena y grava
	B entre 10 % y 20 % de arcilla entre 50 % y 90 % de arena
MEDIA: Menos del 35% de arcilla (18% al 35%), Menos del 65 % de arena.	B entre 10 % y 20 % de arcilla entre 50 % y 90 % de arena
	C entre 20 % y 40 % de arcilla menos del 50 % de arena
FINA: Más del 35% de arcilla	C entre 20 % y 40 % de arcilla menos del 50 % de arena
	D más del 40 % de arcilla menos del 50 % de arena

3. Como parte de la investigación realizada que permitió la clasificación de los suelos se presentan los siguientes puntos:

- Suelos sin drenaje interno: el agua no pasa, absolutamente, a través de la masa del suelo. En regiones húmedas, el nivel freático está en la superficie o muy cercano a ella durante la mayor parte del año. Un ejemplo típico son los gleysoles, en general los suelos con horizonte Grey¹.
- Suelos de drenaje muy lento: generalmente son suelos básicos (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^{++} y K^{++}) debido a su escasa lixiviación. Presentan una capa freática alta o un horizonte impermeable, o ambos. Los suelos característicos de este tipo de drenaje se encuentra: los fluvisoles sálicos, suelos con horizonte gleyicos, suelos con capas compactadas y/o cementadas, la mayoría de los solonetz y Solonchacks¹.
- Un drenaje lento implica que la saturación de agua se presenta por periodos de una a dos semanas, esto ocurre, particularmente, en regiones templadas húmedas. Los vertisoles, cambisoles vérticos, calcisoles lúvicos y pétricos, gypsisoles, luvisoles vérticos, algunos planosoles, lxisoles y alisoles plínticos, los nitosoles y algunos antrosoles son característicos de este tipo de drenaje¹.
- Un drenaje medio nos dice que la saturación de agua dura pocos días, el suficiente para no dañar cultivos, entre los suelos drenaje de este tipo se encuentran los regosoles, arenosoles, cambisoles, kastañozems, phaeozems, luvisoles, acrisoles y ferrosoles, a acepción de aquellos que presentan características gleyicas y vérticas¹.
- Los suelos con drenaje interno rápido limitan la saturación de agua a unas pocas horas, hecho que genera una intensa lixiviación y la tendencia a la acidificación del suelo.

¹ Instituto Mexicano del Transporte (IMT, SCT). “Génesis, identificación y uso de los suelos de México”. Doc. Técnico No.19, Sanfandila, Qro. 1998. Pag. 107-109, 70.

Muchos regosoles, arenosoles y antrosoles de textura gruesa son típicos de estas condiciones¹

- Drenaje interno muy rápido: el suelo nunca llega a saturarse con agua, son suelos ácidos, pobres en bases y ricos en aluminio y hierro. Su nivel freático se encuentra, por lo general, unos metros bajo la superficie. Drenajes de este tipo son características de suelos con textura gruesa, pobres en arcilla, bases y materia orgánica. Se presenta en suelos aluviales y coluviales muy jóvenes (fluvisol y Regosol, respectivamente) y también en algunos suelos con características dísticas¹.
 - Los suelos formados por cenizas volcánicas corresponden a los andosoles. Tienen alta capacidad de retención de agua, carecen de adhesividad, se presentan como agregados estructurales débiles y porosos y son suelos profundos¹.
 - La materia orgánica es un regulador coloidal que aglutina los suelos arenosos para formar agregados y afloja los suelos arcillosos macizos. Mejoran las características de retención de agua y mejoran el drenaje²
4. Basados en el punto 3, se propone la siguiente clasificación para los suelos presentes en el shape de edafología de México, donde se considera el hecho de que el INEGI contempla suelos cuya definición los describen como muy arcillosos (impermeables), o como granulares (muy permeables), tanto en textura fina, media, como en gruesa. Dicha clasificación pretende asignar el grupo de suelo según el USDA más adecuado; sin caer en el lado conservador que implicaría asignar el grupo de suelo con menor permeabilidad, recordando que la textura nos permitió delimitar a dos grupos de suelo para cada textura, donde ambos grupos serían válidos. La clasificación queda de la siguiente manera:
- a) *Suelos muy arcillosos o drenaje deficiente*: contempla suelos extremadamente arcillosos y aquellos en los cuales sus condiciones son tales que presentan un drenaje casi nulo o muy deficiente (Gleysol, Histosol, Planosol, Plintosol, Solonchak y Solonetz). La deficiencia excesiva en su drenaje permitió asignar el tipo de suelo con las consideraciones más desfavorables en cada textura, independientemente de su calificador, y tal como se muestra en la Tabla 5:

Tabla 5. Grupos de suelo por textura. Tabla válida para suelos con altos contenidos de arcilla o un drenaje interno altamente deficiente.

Textura INEGI	Grupo de suelo según el USDA
Gruesa	B
Media	C
Fina	D

- b) *Suelos medio arcillosos*: suelos que se presentan con contenidos de arcilla en alguna de sus capas (acrisol, alisol, cambisol, gipsisol, lixisol, luvisol, litosol y vertisol). La

¹ Instituto Mexicano del Transporte (IMT, SCT). “Génesis, identificación y uso de los suelos de México”. Doc. Técnico No.19, Sanfandila, Qro. 1998. Pag. 107-109, 70.

² Dr. Gravande Sampat A. (1976). “Física de suelos (principales aplicaciones)”. Editorial Limusa.

clasificación que se presenta en la Tabla 6 que corresponde a los suelos medio arcillosos se establece considerando:

- Los niveles de arcilla son directamente proporcionales a la tasa de infiltración de los suelos, que en combinación con factores, tales como: subsuelo de roca, capas fuertemente sementadas o niveles freáticos próximos a la superficie; merman la infiltración.
- De lo anterior se establece que la asignación de un grupo de suelo según el USDA para la textura *media o fina*, partirá del grupo de suelo con condiciones más favorables a la infiltración, la unidad calificadora proporciona la información que determina el cambio a un grupo de suelo con menor tasa de infiltración.
- La textura *gruesa* se establece como grupo de suelo B, al tratarse de suelos con contenido de arcilla en algunas de sus capas y considerarlos como tipo A implica que se trata de suelos muy permeables.

Tabla 6. Grupos de suelo por textura que corresponden a suelos con contenidos de arcilla medios.

Textura INEGI	Grupo de suelo según el USDA
Gruesa	B
Media	B/C
Fina	C/D

- c) *Suelos con otras características:* aquellos en los cuales las características para su clasificación se basan en la salinidad, acides, contenido de materia orgánica, etc. Para estos suelos, cuyas características no permiten establecer el nivel de permeabilidad o un contenido de arcillas y arenas, determinar el grupo de suelo que correspondiente a cada textura depende de la unidad calificadora. La Tabla 7, que también corresponde a los suelos con características granulares, muestra los grupos de suelo posibles para cada textura, su asignación parte del grupo con tasas de infiltración mayores.

Tabla 7. Grupos de suelo por textura, correspondiente a suelos cuyas características no refieren a un contenido de arcilla o nivel de infiltración, y para aquellos suelos granulares o muy permeables.

Textura INEGI	Grupo de suelo según el USDA
Gruesa	A/B
Media	B/C
Fina	C/D

- d) *Suelos granulares o muy permeables:* agrupa a todos los suelos en los cuales sus características permiten un desalojo interno de agua, considerablemente rápido. Aquellos suelos en las que sus condiciones granulares, pedregosas o cuyos materiales que los componen, los hacen altamente permeables, inmediatamente nos permitió asignar los tipos de suelo con las condiciones más favorables en cuanto a tasa de

filtración, presentando una reducción en su capacidad de infiltración al presentarse un calificador cuyas características representan una disminución a la infiltración. La tabla anterior (Tabla 7) determina los grupos de suelo posibles para suelos con estas características.

5. La tabla 6 y 7 presentan casos en los que habría que decidir el grupo de suelo correspondiente, para ello se estableció como factor de decisión a la unidad calificadora. En estos casos, la asignación de un grupo de suelo parte con el grupo que presenta mejor condición de infiltración, y el cambio de grupo, a uno con tasa de infiltración menor, se realiza cuando el tipo de suelo es acompañado de una unidad calificadora cuyas características representan un factor adverso a la infiltración, recordando que se utilizó la unidad calificadora primaria (CP).

De las unidades calificadoras presentes en el shape se localizaron aquellas cuyos factores representan un obstáculo en la infiltración, factores como: capas de roca o capas fuertemente sementadas, niveles de arcilla considerables o características de suelos pantanosos. La siguiente tabla muestra, en color gris, aquellas unidades calificadoras cuya presencia implicará el cambio a un grupo de suelo con tasa de infiltración menor.

Tabla 8. Lista de las unidades calificadoras que resultan de realizar un filtro en la base de datos del shape de edafología de México, resaltando aquellos calificadores cuya presencia implican una disminución en la capacidad de infiltración del suelo.

Unidades calificadoras presentes en la carta edafológica de México.				
Abrúptico	endosódico	háplico	lúvico	ródico
Álbico	epiesquelético	hipercálcico	mázico	rúbico
Alcálcico	epiglético	hiperdístrico	melánico	rúptico
Ándico	epiléptico	hiperesquelético	mesotrófico	sálico
Arénico	epipétrico	hiperéutrico	mólico	saprihístico
Ardico	epipetrocálcico	hipergípsico	molihúmico	silándico
Calcárico	epipetrodúrico	hiperócrico	nítico	síltico
Cálcico	epipléntico	hipersálico	ócrico	sódico
Crómico	episódico	hipersódico	ortodístrico	takríco
Cutánico	esquelético	hipocálcico	páquico	téfrico
Dístrico	estágnico	hipoferrálico	paralítico	úmbrico
Endoesquelético	eútrico	hipoglético	pélico	umbrihúmico
Endoglético	ferrálico	hipolúvico	pétrico	vértico
Endoléptico	férrico	hipopléntico	petrocálcico	vítrico
Endopétrico	fíbrico	hiposálico	petrodúrico	yérmico
Endopetrocálcico	flúvico	hiposódico	petrosálico	
Endopetrodúrico	fólico	hístico	pléntico	
Endopetrogípsico	gético	húmico	profondico	
Endopléntico	gípsico	léptico	prótico	
Endosálico	glético	lítico	réndzico	

6. De los puntos anteriores fue posible elaborar una tabla de decisión (Tabla 9) que permite la asignación del suelo según el USDA que corresponde a los tipos de suelo presentes en la edafología de República Mexicana.

Los puntos siguientes describen el procedimiento para utilizar la Tabla 9:

- I. Ubicar el tipo de suelo.
- II. Identificar la unidad calificadora que acompaña a cada suelo.

III. Por último, la textura asignada a cada polígono, será la que determina el grupo de suelo que corresponde a ese tipo de suelo y esa unidad calificadora.

Tabla 9. Tabla de decisión para determinar el grupo de suelo según el USDA que corresponde a la edafología de México.

Tipo de suelo (INEGI)	Unidad calificadora	Grupo de suelo según el USDA por textura		
		Gruesa	Media	Fina
Gleysol	abruptico, albico, alcalico, andico, arenico, aridico, calcico, calcico, crómico, cutánico, dístrico, endoesquelético, endoestágnico, endopetrogípsico, endosálico, endosódico, epiesquelético, epipetrogípsico, episálico, episódico, esquelético, estágnico, ferrálico, férrico, fibrico, flúvico, fólico, gélico, gípsico, gipsírico, grúmico, háplico, hipercálcico, hiperdístrico, hiperesquelético, hipergípsico, hiperócrico, hipersálico, hipersódico, hipocálcico, hipoferrálico, hipolúvico, hipoplíntico, hiposálico, hiposódico, hístico, húmico, mázico, melánico, mesotrófico, mólico, molihúmico, nátrico, ócrico, ortodístrico, páquico, paralítico, pélico, petrosálico, prótico, réico, réndzico, ródico, rúbico, rúptico, sálico, saprihístico, silándico, sódico, téfrico, úmbrico, umbrihúmico, vítrico, yérmico.	B	C	D
Histosol				
Planosol				
Plintosol				
Solonchak				
Solonetz	calcárico, endogléyico, endoléptico, endopétrico, endopetrocálcico, endopetrodúrico, endoplíntico, epigléyico, epiléptico, epipétrico, epipetrocálcico, epipetrodúrico, epiplíntico, eútrico, gléyico, hiperéutrico, léptico, lítico, lúvico, nítico, pétrico, petrocálcico, petrodúrico, plíntico, profúndico, síltico, takírico, vértico.			
Acrisol	abruptico, albico, alcalico, andico, arenico, aridico, calcico, calcico, crómico, cutánico, dístrico, endoesquelético, endoestágnico, endopetrogípsico, endosálico, endosódico, epiesquelético, epipetrogípsico, episálico, episódico, esquelético, estágnico, ferrálico, férrico, fibrico, flúvico, fólico, gélico, gípsico, gipsírico, grúmico, háplico, hipercálcico, hiperdístrico, hiperesquelético, hipergípsico, hiperócrico, hipersálico, hipersódico, hipocálcico, hipoferrálico, hipolúvico, hipoplíntico, hiposálico, hiposódico, hístico, húmico, mázico, melánico, mesotrófico, mólico, molihúmico, nátrico, ócrico, ortodístrico, páquico, paralítico, pélico, petrosálico, prótico, réico, réndzico, ródico, rúbico, rúptico, sálico, saprihístico, silándico, sódico, téfrico, úmbrico, umbrihúmico, vítrico, yérmico.	B	B	C
Alisol				
Cambisol				
Gipsisol				
Lixisol				
Luvisol				
Nitosol	calcárico, endogléyico, endoléptico, endopétrico, endopetrocálcico, endopetrodúrico, endoplíntico, epigléyico, epiléptico, epipétrico, epipetrocálcico, epipetrodúrico, epiplíntico, eútrico, gléyico, hiperéutrico, léptico, lítico, lúvico, nítico, pétrico, petrocálcico, petrodúrico, plíntico, profúndico, síltico, takírico, vértico.	B	C	D
Vertisol				
Andosol	abruptico, albico, alcalico, andico, arenico, aridico, calcico, calcico, crómico, cutánico, dístrico, endoesquelético, endoestágnico, endopetrogípsico, endosálico, endosódico, epiesquelético, epipetrogípsico, episálico, episódico, esquelético, estágnico, ferrálico, férrico, fibrico, flúvico, fólico, gélico, gípsico, gipsírico, grúmico, háplico, hipercálcico, hiperdístrico, hiperesquelético, hipergípsico, hiperócrico, hipersálico, hipersódico, hipocálcico, hipoferrálico, hipolúvico, hipoplíntico, hiposálico, hiposódico, hístico, húmico, mázico, melánico, mesotrófico, mólico, molihúmico, nátrico, ócrico, ortodístrico, páquico, paralítico, pélico, petrosálico, prótico, réico, réndzico, ródico, rúbico, rúptico, sálico, saprihístico, silándico, sódico, téfrico, úmbrico, umbrihúmico, vítrico, yérmico.	A	B	C
Arenosol				
Calcisol				
Chermozem				
Durisol				
Fluvisol				
Kastañozem				
Leptosol				
Phaeozems	calcárico, endogléyico, endoléptico, endopétrico, endopetrocálcico, endopetrodúrico, endoplíntico, epigléyico, epiléptico, epipétrico, epipetrocálcico, epipetrodúrico, epiplíntico, eútrico, gléyico, hiperéutrico, léptico, lítico, lúvico, nítico, pétrico, petrocálcico, petrodúrico, plíntico, profúndico, síltico, takírico, vértico.	B	C	D
Regosol				
Umbrisol				

7. Finalmente, la asignación de un grupo de suelo debe ser por polígono; recordando que cada polígono puede presentar hasta tres tipos de suelos y que cada suelo es acompañado de una unidad calificadora; por lo que fue necesario asignar un grupo de suelo según el USDA para cada tipo de suelo que se presenta en cada polígono y posteriormente determinar el suelo que representa a cada polígono. Esta asignación llevó a una serie de combinaciones de grupos de suelo dentro de cada polígono, siendo necesario establecer un grupo de suelo para cada polígono contenido en el shape de edafología se elaboró la Tabla 10, donde se presenta el grupo de suelo por polígono que resulta de las combinaciones que se presentaron dentro del shape de edafología, en donde se considera lo siguiente:

- El suelo G2 y G3, suelo secundario y terciario, respectivamente, son considerados sólo si tienen una presencia de al menos el 20%; por lo que el suelo G1, suelo principal, ocupa el mayor porcentaje en área.
- Cuando se presentan dos grupos de suelo por polígono, rige el grupo de suelo que corresponde al suelo principal (G1), ya que representa una presencia de hasta un 80%.
- Cuando se presentan tres grupos de suelo por polígono, rige el grupo de suelo con mayor presencia.
- Los polígonos cuya información se considera como complementaria dentro del shape de edafología se establecieron de la siguiente manera:
 - Localidad = D; la información del shape no asigna una clasificación edafológica a las zonas urbanas o localidades. Considerando que las zonas urbanas no se encuentran totalmente pavimentadas, resulta coherente decir que el agua de lluvia no escurre en su totalidad y que por tanto existe infiltración.
 - Arrecife = Cuerpo de agua; no requieren tipo de suelo y de acuerdo con el TR-55 se le asigna un número de curva igual a 98.
 - País extranjero = dado que no se requieren, se eliminan los polígonos.

Tabla 10. Tabla de grupo de suelo resultante de las combinaciones de grupos de suelo según el USDA presentes en el shape de edafología de México.

Combinaciones	Grupo de suelo resultante.	
A	A	
AA		
AB		
AAA		
AAB		
ABA		
BAA		
B	B	
BA		
BB		
BC		
BBA		
BBB		
BBC		
BAB		
BCB		
ABB		
CBB		
C		C
CB		
CC		
CD		
CCB		
CCC		
CCD		
CBC		
CDC		
BCC		
DCC		
D	D	
DC		
DD		
DDC		
DDD		
DCD		
CDD		

2.2. Uso de suelo y condición hidrológica

Otro aspecto fundamental para la estimación del escurrimiento efectivo ante la presencia de una tormenta, sin ser de mayor o menor importancia, es la actividad que se realiza en el área de la cuenca en estudio; es decir, el uso que se le da al suelo (zona urbana, agricultura, reserva ecológica, etc.).

Derivado del uso de suelo se encuentran aquellos aspectos que modifican el escurrimiento efectivo, tales como: el porcentaje de áreas pavimentadas (carreteras, calles, estacionamientos, áreas residenciales, etc.); o en los casos de un suelo de cultivo o áreas con vegetación, factores

como: el tratamiento, la densidad de la cubierta, el tipo de cultivo, etc.; estas condiciones que afectan el escurrimiento se interpretan por medio de la condición hidrológica del suelo.

Una condición hidrológica buena implica la presencia de factores que obstruyen el escurrimiento y por tanto favorecen a la infiltración.

2.2.1. Descripción de los usos de suelo establecidos en el TR-55

Antes de establecer una relación entre los tipos de suelo en México y los establecidos en el TR-55, es necesario detallar las características de cada tipo de suelo, o tipo de cobertura, para los cuales se han desarrollado valores de NC. Los siguientes incisos describen las características que permitieron establecer el uso de suelo que más se ajusta al suelo del país:

- a) **Áreas urbanas:** para estimaciones en las que se tiene a la mano información a detalle del área de estudio, se contemplan los siguientes aspectos.
 - *Áreas urbanas desarrolladas completamente:* incluye espacios abiertos (césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.), áreas impermeables (estacionamientos pavimentados, tejados, calzadas, calles y carreteras), distritos urbanos (áreas comerciales e industriales) y áreas residenciales.
 - *Áreas urbanas en desarrollo:* incluye las áreas recién clasificadas con poco desarrollo (sólo áreas permeables, sin vegetación).
- b) **Tierras agrícolas cultivadas:** uso de suelo que se clasifica de acuerdo al tipo de cultivo y en el que, además, se condiciona a la forma o tratamiento del suelo (cultivo de terraza, suelos con residuos de cultivos de cobertura, cultivo en surco recto o contorneado). La división de los suelos destinados a la agricultura se establece de la siguiente forma:
 - *Barbecho:* técnica en la que se deja de sembrar por un periodo largo de tiempo, generalmente empleada como rotación de cultivos.
 - *Cultivos en surco:* el National Engineering Handbook en su capítulo ocho establece que se trata de “cualquier campo de cultivo (maíz, sorgo, soja, remolacha, tomate, tulipanes) plantado en filas lo suficientemente separadas de que la mayor parte de la superficie del suelo está expuesto al impacto precipitaciones durante todo el período vegetativo”.
 - *Cultivos de grano pequeño:* los cultivos de grano pequeño (trigo, avena, cebada, lino) se planta en filas lo suficientemente cerca que la superficie del suelo no está expuesto, excepto durante la siembra y poco después.
 - *Cerca de semillas de leguminosa, legumbres por difusión o rotación de prados:* este tipo de cubierta puede permanecer durante más de un año para protección de la tierra. Corresponde a cultivos de cobertura como: alfalfa, soya perenne, frijol de monte, tréboles, etc.
- c) **Suelos agrícolas:** suelos correspondientes a áreas con algún tipo de cobertura vegetal, la cual se clasifica en:
 - *Pasturas, praderas o semejantes:* se refiere a continuos de forraje para pastoreo.

- *Prado*: hierba continua, protegida del pastoreo y generalmente cortado para heno.
 - *Brush* (maleza - mala hierba - hierba mezclada con brush como elemento principal): maleza con vegetación de característica arbustiva y leñosa.
 - *Bosques combinados con hierba*.
 - *Bosques*
 - *Granjas-edificios, calles, caminos, y mucho circundantes*: se refiere a áreas rurales.
- d) Suelos áridos y semiáridos:
- *Vegetación Herbácea*: mezcla de hierba, mala hierba y arbustos leñosos (brush) de bajo crecimiento, siendo este último el de menor elemento.
 - *Roble - Álamo Temblón*: vegetación leñosa de montaña mezcla de Roble, Caoba de montaña, Maple y otros con características leñosas.
 - *Piñón – Enebro*: Piñón, Enebro o ambos; hierba de sotobosque.
 - *Artemisa con hierba de sotobosque*.
 - *Arbustos o Matorral de desierto*: plantas principales que incluyen el Palo verde, Mezquite, Saltbush, Jarrilla, Prieto y Cactus.

2.2.2. Características de la condición hidrológica establecidas en el TR-55

La condición hidrológica inicial indica los efectos del tipo de cobertura o tratamiento en la infiltración y escurrimiento del agua, y se estimada a partir de la densidad de plantas, los residuos de la cobertura y de las condiciones de la superficie del terreno en el área de estudio. Una Buena condición hidrológica indica que el suelo usualmente tiene bajo potencial de escurrimiento para ese grupo de suelo, tipo de cobertura y tratamiento.

Algunos factores a considerar en la estimación de los efectos de cobertura en la infiltración y escurrimiento son:

- Cubierta o densidad de césped, cultivos u otras áreas vegetativas.
- Cantidad de cubierta en todo el año.
- Cantidad de hierba o leguminosas de semilla cerrada en rotación.
- Porcentaje cubierta de residuos; y
- Grado de rugosidad de la superficie.

Las tablas contenidas en el Anexo 1, establecen las siguientes condiciones para la estimación de la condición hidrológica, dependiendo del uso o tipo de cobertura del suelo:

- **Área forestal**: la Tabla 1c establece los siguientes criterios para la determinación de las condiciones hidrológicas de las áreas forestales.
Pobre: áreas con hojarasca (basura forestal), pequeños árboles, y vegetación de brush que son destruidos por un intenso pastoreo o la quema regular.

Media: bosques que son pastoreados pero no quemados, y algunas hojarasca cubriendo el suelo.

Buena: bosques protegidos del pastoreo, y la hojarasca y vegetación de brush cubren adecuadamente el suelo.

- **Matorral y desiertos:** en la tabla 1d, correspondiente a vegetación árida y semiárida, se establece lo siguiente:

Pobre: < 30% de cobertura (hojarasca, hierba y dosel (copa del árbol) de características leñosas).

Media: 30 a 70% de cobertura.

Buena: > 70% de cobertura.

- **Pastizales:** la asignación de un grado de condición hidrológica para pastizales se encuentra ligada a características como el pasado o pastoreo de las áreas de estudio.

Pobre: < 50% de cobertura del terreno o fuertemente pastoreado con poco mantillo.

Media: 50 a 75% de cobertura del terreno o no tan pastoreado.

Buena: > 75% de cobertura del terreno y ligeramente o sólo ocasionalmente pastoreado.

- **Cultivos:** La tabla correspondiente a cultivos agrícolas (Tabla 1b) establecen que la condición hidráulica está basada en la combinación de factores que afectan el escurrimiento y la infiltración, tal como:

- residuo que cubre la superficie de la tierra (buena \geq 20%), y
- grado de rugosidad densidad y cubierta de áreas vegetativas,
- cantidad cubierta en todo el año,
- cantidad de hierba o cerca de semilla de leguminosa,
- porcentaje del de la superficie.

Resultando en una asignación de condición hidrológica muy abierta, en donde se considera como:

Pobre: se debe a factores que perjudican la infiltración y tienden a incrementar el escurrimiento.

Buena: se debe a factores que mejoran los promedios de infiltración y tienden a decrecer el escurrimiento.

- **Área urbana:** depende del porcentaje de cubierta vegetal (área permeable) o, caso contrario, del porcentaje de área pavimentada (área impermeable).

2.2.3. Uso de suelo y condición hidrológica en México: criterios y metodología

La cartografía de uso de suelo y vegetación serie IV escala 1:250000, en formato shape, proporcionada por el INEGI, contiene información de los tipos de vegetación y agricultura en México, y fue esta información la que permitió asignar el uso de suelo y condición hidrológica de acuerdo a lo requerido por la metodología del TR-55. Dicha cartografía se encuentra conformada por una serie de archivos en formato shape, de los cuales sólo algunos presentan la información necesaria para la realización de esta tesis. La combinación del shape de cobertura arbórea, el de

cubierta vegetal y el de uso agrícola, contenidos en la cartografía de uso de suelo y vegetación, proporcionaron las bases para establecer los usos de suelo y su respectiva condición hidrológica; los siguientes puntos establecen los criterios empleados en la designación de uso de suelo y condición hidrológica en México:

1. Una descripción de la información requerida y contenida en los shapes se describe en los siguientes incisos, mientras que la Tabla 11 muestra la correspondencia de los usos del TR-55 para cada uso de suelo en México.

a) **Cubierta vegetal:** comunidades vegetales definidas por sus características ecológicas, florísticas, fisonómicas y fenológicas (relación que existente entre el clima y el ciclo de vida), así como por su grado de conservación-degradación.

Entre la información que proporciona el shape de cubierta vegetal se encuentra la siguiente:

- *Grupo de vegetación:* clase superior o grupo mayor de vegetación dentro del cual se agrupan los tipos de vegetación en base a sus afinidades ecológicas, florísticas, fisonómicas y fenológicas. Los grupos de vegetación son:
 - Bosque de coníferas
 - Bosque de encino
 - Bosque mesófilo de montaña
 - Selva perennifolia
 - Selva subcaducifolia
 - Selva caducifolia
 - Selva espinosa
 - Pastizal
 - Matorral xerófilo
 - Vegetación hidrófila
 - Sin vegetación aparente
 - Vegetación inducida
 - Vegetación especial
- *Tipo de vegetación:* referente a la comunidad vegetal o vegetación específica, parte de los grupos de vegetación.
 - bosque de ayarín
 - bosque de cedro
 - bosque de oyamel
 - bosque de pino
 - bosque de pino-encino
 - bosque de tascate
 - matorral de coníferas
 - bosque de encino
 - bosque de encino-pino
 - bosque mesófilo de montaña
 - selva alta perennifolia
 - selva alta subperennifolia
 - selva mediana perennifolia
 - selva mediana subperennifolia
 - selva baja perennifolia
 - selva baja subperennifolia
 - selva mediana subcaducifolia
 - selva baja subcaducifolia
 - selva mediana caducifolia
 - vegetación halófila xerófila
 - vegetación gipsófila
 - matorral desértico micrófilo
 - matorral desértico rosetófilo
 - matorral crasicaule
 - matorral sarco-caule
 - matorral sarco-crasicaule
 - matorral sarco-crasicaule de neblina
 - matorral rosetófilo costero
 - matorral espinoso tamaulipeco
 - matorral submontano
 - chaparral
 - mezquital desértico
 - selva de galería
 - bosque de galería
 - manglar
 - vegetación de galería
 - popal
 - tular

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| - selva baja caducifolia | - vegetación de petén |
| - matorral subtropical | - vegetación halófila hidrófila |
| - selva baja espinosa caducifolia | - bosque de mezquite |
| - selva baja espinosa subperennifolia | - vegetación de dunas costeras |
| - mezquital tropical | - palmar natural |
| - pastizal natural | - sin vegetación aparente |
| - pastizal halófilo | - palmar inducido |
| - pastizal gipsófilo | - pastizal inducido |
| - pradera de alta montaña | - sabanoide |
| - sabana | - bosque inducido |
| - vegetación de desiertos arenosos | |

- *Desarrollo de la vegetación:* se refiere a los distintos estados sucesionales de la vegetación natural; es decir, la condición de la vegetación, y se divide en:
 - vegetación primaria: aquella en la que la vegetación no presenta alteración.
 - vegetación secundaria: estado sucesional de la vegetación en el que hay indicios de que ha sido eliminada o perturbada a un grado que ha sido modificada sustancialmente.
- *Fase de la vegetación secundaria:* identifica la fase sucesional que se presenta cuando la vegetación es removida o perturbada, clasificada en:
 - arbórea: vegetación arbórea mayor a los 4 metros de alto.
 - arbustiva: comunidades vegetales dominadas por formas de vida menores a 4 metros de altura.
 - herbácea: aplica para comunidades vegetales dominadas por formas de vida herbáceas, vegetación menor de 2 metros.
- *Información complementaria:* se incluye información que no es parte de la cobertura vegetal ni de las áreas manejadas, pero que inciden sobre ellas, como son:
 - zonas urbanas
 - cuerpos de agua.

b) Cobertura arbórea: distancia entre los elementos superiores dominantes de la comunidad vegetal, en la cual se consideran los siguientes aspectos:

- *Sin cobertura aparente:* se visualizan grandes espacios sin follaje o las copas de los árboles y arbustos mayores están muy espaciados. Con un porcentaje de cobertura menor al 30%.
 - *Cerrado:* se visualizan pocos espacios sin follaje o las copas de los árboles y arbustos mayores están muy cercanos, se le considera un porcentaje de cobertura mayor al 40%.
 - *Abierto:* se visualizan muchos espacios sin follaje o las copas de los árboles y arbustos mayores están relativamente espaciados, presenta un porcentaje de cobertura entre el 10% y 40%.
 - *Ninguno:* el área cubierta por el follaje de árboles y arbustos es muy pequeña o está muy espaciada o no existe.

- c) **Uso agrícola:** Superficies rurales dedicadas a actividades agrícolas las cuales son agrupadas por el tipo de suministro de agua con el que cuentan y la duración del ciclo agrícola de los principales cultivos utilizados en el área.
- *Tipo de agricultura:* Variantes de aprovechamiento agropecuario en base a tipo de suministro de agua y al tipo de actividad productiva.
 - Agricultura de Temporal: cuando el agua necesaria para su desarrollo vegetativo es suministrada por la lluvia.
 - Agricultura de riego: cuando el suministro de agua utilizado para su desarrollo es suministrado por fuentes externas, por ejemplo, un pozo, una presa, etcétera.
 - Agricultura de humedad: Este tipo de agricultura se desarrolla en zonas donde se aprovecha la humedad del suelo, independientemente del ciclo de las lluvias y que aún en época seca conservan humedad, por ejemplo las zonas inundables, como pueden ser los lechos de los embalses cuando dejan de tener agua.
 - Pastizal cultivado: Es el que se ha introducido intencionalmente en una región y para su establecimiento y conservación se realizan algunas labores de cultivo y manejo.
 - Bosque cultivado: aquel que se establece mediante la plantación de diferentes especies arboladas realizadas por el hombre, sobre todo en aquellas áreas que presentan una perturbación debido a las actividades humanas. Estas poblaciones se pueden considerar como bosques artificiales, ya que son consecuencia de una reforestación con árboles de distintos géneros, por lo general, con especies exóticas.
 - Acuícola: la información que se presenta en este tema se refiere a la de la actividad que se dedica a la acuicultura, entendida esta como el cultivo de animales y plantas en el agua. En esta actividad se incluyen peces, reptiles, anfibios, crustáceos, moluscos, plantas y algas; su utilización puede ser para alimento, o bien, para otras actividades que realice el hombre (recreación, estudio, obtención de productos) o para su conservación y protección.
 - *Tipo de cultivo 1:* sistema agrícola por duración del ciclo agrícola para el cultivo principal.
 - Anual: son aquellos cuyo ciclo vegetativo dura solamente un año, por ejemplo, maíz, trigo, sorgo.
 - Semipermanente: su ciclo vegetativo dura entre uno y diez años, como el caso de la papaya, la piña y la caña de azúcar.
 - Permanente: la duración del cultivo es superior a diez años, como el caso del agave, el coco y frutales como el aguacate.
 - *Tipo de cultivo 2:* sistema agrícola por duración del ciclo agrícola para el cultivo secundario.
 - Semipermanente: su ciclo vegetativo dura entre uno y diez años, como el caso de la papaya, la piña y la caña de azúcar.

- Permanente: la duración del cultivo es superior a diez años, como el caso del agave, el coco y frutales como el aguacate.

Teniendo como base la información proporcionada por el INEGI, y el detalle de cada uso de suelo que contempla el TR-55, se presenta la Tabla 11, donde se establece una relación de igualdad entre ambos usos de suelo.

Tabla 11. Muestra la agrupación de los usos de suelo en México dentro de los usos de suelo establecidos en el TR-55.

Clasificación INEGI	Tipo de vegetación INEGI	Uso de suelo TR-55
Áreas forestales	Bosque de Oyamel Bosque de Pino Bosque de Pino-Encino Bosque de Tascate Bosque de Encino Bosque cultivado Bosque de Encino-Pino Bosque Mesófilo de Montaña Bosque de Mezquite Selva mediana subperennifolia Selva mediana perennifolia Selva baja perennifolia Selva alta subperennifolia Selva alta perennifolia Selva mediana caducifolia Selva baja caducifolia Matorral subtropical Selva mediana subcaducifolia Selva baja subcaducifolia Selva baja espinosa caducifolia Selva baja espinosa subperennifolia Mezquital tropical Palmar natural	Tierras Agrícolas: " Bosques "
Matorral y Desiertos	Chaparral Matorral crasicaule Matorral desértico micrófilo Matorral desértico rosetófilo Matorral espinoso tamaulipeco Matorral rosetófilo costero Matorral sarcocaule Matorral sarco-crasicaule Matorral sarco-crasicaule de neblina Matorral submontano Mezquital desértico	Vegetación Árida y semiárida: " Arbusto o Matorral de desierto "
	Vegetación de desiertos arenosos Vegetación de dunas costeras Vegetación gipsófila Vegetación halófila Vegetación halófila xerófila	Vegetación Árida y semiárida: " Vegetación Herbácea "

Tabla 11. Muestra la agrupación de los usos de suelo en México dentro de los usos de suelo establecidos en el TR-55 (continuación).

Clasificación INEGI	Tipo de vegetación INEGI	Uso de suelo TR-55
Pastizales	Pastizal gipsófilo Pastizal halófilo Pastizal natural Pradera de alta montaña Sabana	Tierras Agrícolas: " Pastos y Praderas "
Vegetación Inducida	Bosque inducido Palmar inducido	Tierras Agrícolas: " Bosques "
	Pastizal inducido Sabanoide	Tierras Agrícolas: " Pastos y Praderas "
Vegetación Hidrófila y cuerpos de agua	Bosque de galería Selva de galería Vegetación de galería Tular Popal Vegetación de petén Vegetación halófila hidrófila Manglar Cuerpo de agua	" Área impermeable o cuerpo de agua "
Cultivos	Pastizal cultivado	Tierras Agrícolas: " Pastos y Praderas "
	Agricultura de riego	Tierras agrícolas cultivadas (cultivo en fila)
	Agricultura de temporal	Tierras agrícolas cultivadas (granos pequeños)
	Agricultura de humedad Acuícola	" Área impermeable o cuerpo de agua "
Zonas Urbanas	Zona urbana Localidad Asentamientos humanos	Áreas urbanas " Espacios abiertos "
Desprovisto de vegetación	Desprovisto de vegetación	Tierras Agrícolas: " Brush "
Sin vegetación aparente	Sin vegetación aparente (incluye vegetación efímera de desierto)	Áreas Urbanas del desierto occidental: " Desierto Natural "

2. Una vez identificados los usos de suelo el siguiente paso consiste en determinar la condición hidrológica para esos usos de suelo, a continuación se describe el proceso y fundamentos para la condición hidrológica.

a) **Área forestal:** los criterios contemplados para este tipo de vegetación, al ser de carácter general, nos permite realizar una clasificación adecuada para la asignación de una condición hidrológica, misma que se determina con la combinación de información que resulta de los shapes de cobertura arbórea y cubierta vegetal.

En la Tabla 12 se muestra el proceso en la asignación de condición hidrológica para el grupo forestal, el proceso se describe con los siguientes pasos.

I. Identificar el grupo de vegetación.

- II. Identificar el desarrollo de la vegetación (primaria / secundaria), si es Primaria no requiere de fase y se pasa directamente al punto IV.
- III. Si se presenta un desarrollo de la vegetación secundaria hay que localizar la fase o estado de la vegetación (arbórea, arbustiva o herbácea).
- IV. Establecer la cobertura arbórea en la que se encuentra el grupo de vegetación.
- V. Finalmente la tabla arroja un grado de condición hidrológica para el grupo de vegetación.

Tabla 12. Tabla de decisión en la que se muestra la información requerida, que resulta de la combinación del shape de cubierta vegetal y cobertura arbórea de la República Mexicana, para la asignación de un nivel de condición hidrológica.

Shape de cubierta vegetal					Shape de cobertura arbórea			Condición hidrológica				
Grupos de vegetación	Desarrollo de la vegetación		Fase de la vegetación secundaria			Cobertura arbórea			Pobre	Media	Buena	
	Primaria	Secundaria	Arbórea	Arbustiva	Herbácea	Ninguno / Sin cobertura aparente	Abierta	Cerrada				
Bosque de coníferas	X		N/A			X				X		
Bosque de encino							X				X	
Bosque mesófilo de montaña								X				X
Selva Caducifolia	X		X				X			X		
Selva Perennifolia								X			X	
Selva Subcaducifolia				X				X				
Selva Espinosa									X		X	
Bosque inducido ¹							X			X		
Palmar inducido inducido ¹							X			X		
									X		X	

¹ Tipo de vegetación, contenidos dentro del grupo de vegetación inducida, para los cuales aplica el criterio en la designación de la condición hidrológica.

Notas:

- aplica para los tipos de vegetación contenidos dentro de cada grupo
- N/A = No Aplica
- La X indica presencia o asignación.

Para determinar la condición hidrológica de las áreas forestales se tomó en cuenta lo siguiente:

- La condición hidrológica establecida en el manual (TR-55 “Hidrología urbana para cuencas pequeñas”) se encuentra en función del grado de pastoreo, como característica principal, esto permitió que el desarrollo de la vegetación (primaria / secundaria), dentro de los datos del INEGI, resultara de gran importancia.
- Un desarrollo primario indica que el área se encuentra en condiciones naturales o con un grado de alteración, por el hombre, poco significativo. Esta condición limita a una

condición buena y en algunos casos media, dependerá de la cobertura y de las características de la vegetación.

- Un desarrollo secundario, en el que se establece que el grado de alteración en el entorno es muy significativa, lleva a condiciones que pudieran calificarse como medias o malas, dependerá de la cobertura y las características de la vegetación que corresponda.
- La cobertura arbórea marca parámetros de densidad en la vegetación existente, que al combinarse con las características de la vegetación (vegetación perenne o caducifolia, clima, condiciones de humedad, tipo de hoja, etc.) proporcionan, a groso modo, el nivel de hojarasca, aspecto que también se toma en cuenta en el TR-55.

b) Matorral y desiertos: correspondiente a vegetación árida y semiárida, en donde se tienen rangos en el porcentaje de la cobertura para la asignación de una condición hidrológica, establecidos en el punto 2.2.2 de este documento; y en combinación con la información del INEGI se presenta la siguiente tabla (siguiendo los pasos del I al IV del inciso anterior (a)):

Tabla 13. Tabla de decisión en la que se muestra la información requerida, que resulta de la combinación del shape de cubierta vegetal y cobertura arbórea de la República Mexicana, para la asignación de un nivel de condición hidrológica.

Shape de cubierta vegetal						Shape de cobertura arbórea			Condición hidrológica				
Grupo de vegetación	Desarrollo de la vegetación			Fase de la vegetación			Cobertura arbórea						
	Primaria	Secundaria	No aplicable / No disponible	No aplicable	Arbustiva	Herbácea	No aplicable / Ninguno / sin cobertura	Abierta	Cerrada	Pobre	Media	Buena	
Matorral Xerófilo	X			N/A			X			X			
								X			X		
									X		X		
	X			X			N/A			X			
					X		X			X			
								X			X		
									X			X	
						X			X				
						X			X				
			X	X	N/A		X	N/A		X			
Desprovisto de Vegetación	N/A		X	N/A			X	N/A		X			

Donde:
 N/A = No Aplica
 X = presencia o asignación.

c) **Pastizales:** la asignación de un grado de condición hidrológica para pastizales se encuentra ligada a características como el pastado o pastoreo de las áreas de estudio. Dicha característica facilitó la asignación de una condición hidrológica para este grupo de vegetación, para lo cual se hicieron las consideraciones siguientes:

- De acuerdo con el INEGI un desarrollo primario en la vegetación, indica que el área se encuentra en condiciones naturales o con un grado de alteración, por el hombre, poco significativo. De lo anterior es posible hacer la consideración de que los pastizales se encuentran sin ser pastados, cosa que permite asignar un NC para pastizales protegidos en donde no se requiere de condición hidrológica.
- Un desarrollo secundario en el que se establece que el grado de alteración en el entorno es muy significativa, y que la vegetación se encuentra en periodo de recuperación.
- Utilizando la fase de desarrollo secundaria, información de los tipos y grupos de vegetación, se establecieron los criterios necesarios para la asignación de una condición hidrológica correspondiente a cada caso de este grupo. La Tabla 14 nos muestra, con más detalle, el proceso en el que se contemplan las descripciones anteriores.

Tabla 14. Tabla de decisión en la que se muestra la información requerida para la asignación de un nivel de condición hidrológica de los pastizales de México.

Grupo de vegetación	Shape de cubierta vegetal				Condición hidrológica		
	Desarrollo de la vegetación		Fase de la vegetación		Pobre	Media	Buena
	Primaria	Secundaria	Arbustiva	Herbácea			
Pastizales	X		N/A		Aplica criterio de pastizal protegido del pastoreo, donde no requiere condición hidrológica		
		X	X				X
					X		X
Donde: N/A = No Aplica X = presencia o asignación.							

d) **Vegetación inducida:** se considera en este grupo a aquellas formas de vegetación que no son autóctonas (propias del lugar) y que ha sido introducida por el hombre por diferentes causas (reforestación, por ejemplo).

En este grupo la condición hidrológica se aplica de acuerdo al tipo de vegetación del que se trate. La Tabla 15 proporciona los criterios a utilizar para los tipos de vegetación contenidos en este grupo:

Tabla 15. Tabla de decisión en la que se muestra la información requerida para la asignación de un nivel de condición hidrológica de la vegetación inducida en México.

Shape de cubierta vegetal				Shape de cobertura arbórea			Condición hidrológica			
Grupo de vegetación	Tipo de vegetación	Fase de la vegetación			Cobertura arbórea			Pobre	Media	Buena
		Primaria	Secundaria	No aplicable / No disponible	No aplicable / Ninguno / sin cobertura	Abierta	Cerrada			
Vegetación inducida	Bosque inducido	N/A	X	X			X			
	Palmar inducido				X		X			
						X		X		
	Pastizal inducido Sabanoide	Aplica criterio de pastizal protegido del pastoreo, donde no requiere condición hidrológica								

Donde:
 N/A = No Aplica
 X = presencia o asignación

En el caso de áreas forestales, debido a su condición de inducida, se descartó la condición hidrológica buena, quedando dos condiciones posibles (media y pobre).

Aplicar el criterio de pastizales (inciso c) no es posible debido a que no se cuenta con información de la fase de la vctación, por lo que la cobertura arbórea es la que decidió la condición hidrológica.

- e) **Vegetación Hidrófila y cuerpos de agua:** la vegetación de este tipo presenta como característica principal la presencia de un suelo húmedo, pantanoso o con nivel freático muy cerca de la superficie. Las características anteriores conducen a un valor NC máximo (NC=98), y para lo cual no se requiere de condición hidrológica.

Tabla 16. Tabla que muestra los tipos de vegetación que corresponden a la vegetación hidrófila, para la cual no se requiere de condición hidrológica.

Grupo de vegetación	Tipo de vegetación	Condición Hidrológica
Vegetación Hidrófila	Bosque de Galería Selva de Galería Vegetación de Galería Tular Vegetación de Petén Vegetación Halófila hidrófila	No aplica condición hidrológica (NC=98)
Cuerpo de agua	Cuerpo de agua	No aplica condición hidrológica (NC=98)

f) **Cultivos:** la condición hidrológica para cultivos se estableció como se muestra a continuación.

Tabla 17. Tabla de condición hidrológica para los cultivos presentes en el shape de usos agrícola de México.

Shape de uso agrícola			Condición Hidrológica
Tipo de Agricultura	Tipo de Cultivo 1	Tipo de Cultivo 2	
Temporal	Anual	Permanente	Buena
		Semipermanente	Buena
		Ninguno	Pobre
	Semipermanente	Permanente	Buena
		Semipermanente	N/A
		Ninguno	Pobre
	Permanente	Permanente	N/A
		Semipermanente	N/A
		Ninguno	Pobre
Riego	Anual	Permanente	Buena
		Semipermanente	Buena
		Ninguno	Pobre
	Semipermanente	Permanente	Buena
		Semipermanente	N/A
		Ninguno	Pobre
	Permanente	Permanente	N/A
		Semipermanente	N/A
		Ninguno	Pobre
Humedad	Anual	Permanente	N/A (NC=98)
		Semipermanente	N/A (NC=98)
		Ninguno	N/A (NC=98)
	Semipermanente	Permanente	N/A (NC=98)
		Semipermanente	N/A (NC=98)
		Ninguno	N/A (NC=98)
	Permanente	Permanente	N/A (NC=98)
		Semipermanente	N/A (NC=98)
		Ninguno	N/A (NC=98)
Bosque cultivado	Permanente	N/A	Buena
Pastizal cultivado	Permanente	N/A	N/A; utilizamos criterio de pastizal protegido
Donde: N/A = No Aplica			

La Tabla 17 es resultado de las siguientes consideraciones, para una asignación de la condición hidrológica:

- De acuerdo con el INEGI la agricultura de temporal cuenta con, mínimo, el 80% de su periodo o ciclo con cobertura. De esto se deduce que se trata de una condición favorable ya que la mayor parte del año se encuentra con vegetación.
- La agricultura de riego implica suelos con cierto grado de humedad, y características que permiten el escurrimiento, sobre todo en la técnica de riego por gravedad o agua rodada. Esta condición no es favorable para la infiltración.
- La agricultura de humedad se practica en suelos saturados con mal drenaje. Este tipo de agricultura se desarrolla en zonas donde se aprovecha la humedad del suelo, independientemente del ciclo de las lluvias y que aún en época seca conservan humedad, por ejemplo las zonas inundables, como pueden ser los lechos de los embalses cuando dejan de tener agua. Condición que rápidamente nos coloca en un nivel pobre de condición hidrológica.
- Un tipo de cultivo anual establece que el cultivo puede durar todo el ciclo o que se puede realizar dos cultivos en el año (ya sea por temporada o los dos al mismo tiempo). Lo que implica un suelo trabajado (textura rugosa debida al arado), con buena cubierta vegetal y con presencia de desechos de cultivos (cultivo de cobertura: ayuda como abono natural, evita la compactación del suelo, etc.).
- Los cultivos permanentes y semipermanentes no requieren de suelos tan trabajados y su mantenimiento se basa en el abono periódico y, el combate de plagas y enfermedades. Lo que se considera una textura de suelo desfavorable para infiltración.
- La combinación de dos tipos de cultivos se considera como una condición favorable para la infiltración, debido a que proporciona mayor densidad de la cubierta vegetal, una textura más rugosa (dependiendo de los cultivos presentes) y generan mayor residuos de cobertura.
- Para el caso de pastizal cultivado se utiliza el criterio de pastizal protegido de pastoreo, para lo cual no se requiere de condición hidrológica.
- Los Bosques cultivados al ser protegidos se consideró una condición hidrológica buena.

g) Zona Urbana: en la cartografía de uso de suelo y vegetación, escala 1:250 000, no es posible determinar características como el porcentaje de área pavimentada; aspecto fundamental en la asignación de la condición hidrológica. La asignación del valor de NC se establece como un promedio de los valores para área urbana, para lo cual no se requiere condición hidrológica.

2.3. Asignación del valor de Número de Curva

Habiendo establecido los grupos de suelo que se ajustan a la edafología de México y establecidos los usos de suelo y condición hidrológica que más se adapta a las condiciones del país, fue posible asignar un valor de NC, valores establecidos en las tablas del TR-55 “Hidrología urbana para cuencas pequeñas” (Anexo 1). Los valores de NC que corresponden a las características del país se presentan en la siguiente tabla, que al igual que las tablas del TR-55 dependen del tipo de vegetación o uso, la condición hidrológica y el grupo de suelo:

Tabla 18. Asignación del Número de Curva para los usos de suelo que se presenta en la República Mexicana y su correspondencia con el uso de suelo establecido en las tablas del TR-55 “Hidrología urbana para cuencas pequeñas”

Clasificación INEGI	Uso de suelo TR-55	Tipo de vegetación INEGI (uso)	Condición Hidrológica	Número de Curva (NC) por grupo de suelo			
				A	B	C	D
Áreas forestales	Tierras Agrícolas: "Bosques"	Bosque de Oyamel	Pobre	45	66	77	83
		Bosque de Pino					
		Bosque de Pino-Encino					
		Bosque de Tascate					
		Bosque de Encino					
		Bosque cultivado					
		Bosque de Encino-Pino	Media	36	60	73	79
		Bosque Mesófilo de Montaña					
		Bosque de Mezquite					
		Selva mediana subperennifolia					
		Selva mediana perennifolia					
		Selva baja perennifolia					
		Selva alta subperennifolia	Buena	30	55	70	77
		Selva alta perennifolia					
		Selva mediana caducifolia					
		Selva baja caducifolia					
		Matorral subtropical					
		Selva mediana subcaducifolia					
Selva baja subcaducifolia							
Selva baja espinosa caducifolia							
Selva baja espinosa subperennifolia							
Mezquital tropical							
Palmar natural							

Capítulo 2. Metodología y criterios aplicados para generar las variables involucradas en el Número de Curva para la República Mexicana

Tabla 18. Asignación del Número de Curva para los usos de suelo que se presenta en la República Mexicana y su correspondencia con el uso de suelo establecido en las tablas del TR-55 “Hidrología urbana para cuencas pequeñas” (continuación).

Clasificación INEGI	Uso de suelo TR-55	Tipo de vegetación INEGI (uso)	Condición Hidrológica	Número de Curva (NC) por grupo de suelo			
				A	B	C	D
Matorral y Desiertos	Vegetación Árida y semiárida: "Arbusto o Matorral de desierto"	Chaparral	Pobre	63	77	85	88
		Matorral crasicaule					
		Matorral desértico micrófilo					
		Matorral desértico rosetófilo	Media	55	72	81	86
		Matorral espinoso tamaulipeco					
		Matorral rosetófilo costero					
Matorral sarcocaula	Buena	49	68	79	84		
Matorral sarco-crasicaule							
Matorral sarco-crasicaule de neblina							
		Matorral submontano					
		Mezquital desértico					
	Vegetación Árida y semiárida: "Vegetación Herbácea"	Vegetación de desiertos arenosos	Pobre	63 ¹	80	87	93
		Vegetación de dunas costeras	Media	55 ¹	71	81	89
		Vegetación gipsófila					
		Vegetación halófila	Buena	49 ¹	62	74	85
		Vegetación halófila xerófila					
Pastizales	Tierras Agrícolas: "Pastos y Praderas"	Pastizal gipsófilo	Pobre	68	79	86	89
		Pastizal halófilo	Media	49	69	79	84
		Pastizal natural	Buena	39	61	74	80
		Pradera de alta montaña					
		Sabana	Protegidos del pastoreo ²	30	58	71	78
Pastizal cultivado	Protegidos del pastoreo	30	58	71	78		
Vegetación Inducida	Tierras Agrícolas: "Bosques"	Bosque inducido	Pobre	45	66	77	83
			Media	36	60	73	79
			Buena	30	55	70	77
	Tierras Agrícolas: "Pastos y Praderas"	Pastizal inducido	Pobre	68	79	86	89
			Media	49	69	79	84
			Buena	39	61	74	80
		Sabanoide					

¹ La tabla del TR-55 no considera un NC para un suelo del grupo A, en este caso se asignará los NC de arbustos y matorral de desiertos

² Los pastizales con desarrollo de la vegetación PRIMARIO no requieren condición hidrológica y se asignan con los valores de NC correspondientes pastizal protegido, como se marca en la metodología.

Capítulo 2. Metodología y criterios aplicados para generar las variables involucradas en el Número de Curva para la República Mexicana

Tabla 18. Asignación del Número de Curva para los usos de suelo que se presenta en la República Mexicana y su correspondencia con el uso de suelo establecido en las tablas del TR-55 "Hidrología urbana para cuencas pequeñas" (continuación).

Clasificación INEGI	Uso de suelo TR-55	Tipo de vegetación INEGI (uso)	Condición Hidrológica	Número de Curva (NC) por grupo de suelo			
				A	B	C	D
Vegetación Hidrófila y cuerpos de agua	"Área impermeable o cuerpo de agua"	Bosque de galería Selva de galería Vegetación de galería Tular Popal Vegetación de petén Vegetación halófila hidrófila Manglar Cuerpo de agua	N/A	98			
Cultivos	Tierras agrícolas cultivadas (cultivo en fila)	Agricultura de riego	Pobre	69	78	84	87
			Buena	64	74	81	84
	Tierras agrícolas cultivadas (granos pequeños)	Agricultura de temporal	Pobre	63	74	81	84
			Buena	60	72	80	83
"Área impermeable o cuerpo de agua"	Agricultura de humedad Acuícola	N/A	98				
Zonas Urbanas	Áreas urbanas "Espacios abiertos"	Zona urbana Localidad Asentamientos humanos	N/A	52	70	80	84
Desprovisto de vegetación	Tierras Agrícolas: "Brush"	Desprovisto de vegetación	Pobre	48	67	77	83
Sin vegetación aparente	Áreas Urbanas del desierto occidental: "Desierto Natural"	Sin vegetación aparente (incluye vegetación efímera de desierto)	N/A	63	77	85	88
Donde: N/A = No Aplica							

Capítulo 3

Número de Curva para la República Mexicana mediante Sistemas de Información Geográfica

En capítulos previos se ha hablado sobre los beneficios y componentes implicados en el uso de SIG, llegando a este punto, en el que se dispone de una metodología, resulta necesario describir los procesos y resultados obtenidos en la elaboración del mapa de Número de Curva.

Para la obtención del mapa del Número de Curva con apoyo de SIG, siendo éste el objetivo de la tesis, fue necesario generar mapas en formato shape con información del tipo de suelo (grupos de suelo según el USDA) y condición hidrológica (involucra el uso de suelo) del país. Recordando que el *Capítulo 2* de este documento, detalla la información contenida y requerida para determinar la condición hidrológica, tipo y usos de suelo; así como la metodología empleada para la obtención de NC representativo del territorio mexicano.

A lo largo de este capítulo se detalla el uso de los SIG en la elaboración de dichos mapas, resultando en un capítulo muy técnico, sin dejar a un lado el hecho de que la generación del NC mediante SIG es un objetivo al que se llega por varios caminos.

Este último capítulo presenta la aplicación de la metodología elaborada que justifica el uso del TR-55 “Hidrología urbana para cuencas pequeñas”. El procesamiento de la información mediante SIG se realizó con ayuda del programa de computo ArcGIS (ArcMap 10)

3.1. Mapa de grupos de suelo

Habiendo establecido y descrito una metodología, y teniendo a la mano la información necesaria para asignar el grupo de suelo que requiere la metodología, el siguiente paso es obtener el mapa correspondiente a los grupos de suelo que se presentan en el país y cuyo proceso se describe mediante los siguientes puntos:

1. Un primer paso es contar con un software que permita el manejo de información espacial, para lo cual se optó por ArcMap. ArcMap es un programa desarrollado por el Instituto de Investigación de Sistemas Ambientales (ESRI, por sus siglas en inglés), instituto especializado en el desarrollo de software para el manejo de SIG, que permitió la realización de esta tesis.
2. Cargar los archivos con la información requerida, como se establece en la metodología. En este punto cargamos el shape de edafología (escala 1:250 000, 2009), cuya base de datos espacial se encuentra representada por polígonos.
3. Se aplica la metodología descrita en el Capítulo 2, sección 2.1.2. Una descripción técnica del proceso en ArcMap se resume en:

- Como primera acción realizada al shape de edafología; aplica a todos los shapes utilizados para determinar el NC; mediante ArcMap, consiste eliminar los polígonos que corresponden a país extranjero y realizar un recorte, con la herramienta *clic*, quedando un shape con polígonos de edafología e información complementaria (localidad, cuerpo de agua y arrecife) dentro del territorio de la República Mexicana.
- En ArcMap, abrir la tabla de atributos (mediante ArcMap es posible acceder a la información contenida, donde se muestra el número de polígonos, puntos o líneas y la información que corresponde a cada uno, dicha información se despliega en forma de tabla) y eliminar los campos o atributos no requeridos, conservando como datos de entrada, información para determinar el Grupo de suelo según el USDA correspondiente a cada polígono, los campos siguientes:
 - N_G1: grupo de suelo dominante o primario.
 - N_G2: grupo de suelo secundario.
 - N_G3: grupo de suelo terciario.
 - N_CP_G1: unidad calificadora primaria de N_G1.
 - N_CP_G2: unidad calificadora primaria de N_G2.
 - N_CP_G3: unidad calificadora primaria de N_G3.
 - Textura
- Crear un identificador (número o símbolo único) para cada uno de los datos contenidos en la tabla de datos, este procedimiento se realiza directamente en la tabla de datos, el identificador tiene como función servir de conector biunívoco con información de otro conjunto de datos.
- Como lo establece la metodología, es necesario asignar un tipo de suelo por cada grupo de suelo en el que se presente una unidad edafológica; una, de varias formas, de realizar esto, es mediante una hoja de Excel. Trabajar con el archivo *.dbf* del shape mediante una hoja de Excel permitió asignar el tipo de suelo correspondiente a cada polígono, siguiendo la metodología establecida en apartado 2.1.2 de este documento. Es importante mencionar que los cambios en la tabla de datos realizados en Excel no modifican los datos del shape, y que la extensión en la que se guardan los cambios son las de una hoja de cálculo de Excel. Sin olvidar que es necesario asignar un grupo de suelo según el USDA por cada suelo contenido en el polígono; pudiéndose presentar hasta tres suelos distintos; de la combinación de grupos de suelo que se presenta dentro de cada polígono habrá que determinar un grupo de suelo resultante y que será el que representa al polígono en cuestión.
- Teniendo el tipo de suelo que corresponde a cada polígono en una hoja de cálculo de Excel, guardada como *.xlsx*, realizamos una unión de tabla mediante ArcMap, utilizando la herramienta *join*, este comando asigna la información de la hoja de cálculo a cada elemento del shape, gracias al identificador único, creado con anterioridad, que debe estar contenido tanto en la tabla de atributos del shape, como en la hoja de cálculo. Al realizar el *join* de tabla es necesario exportar como nuevo shape, esto se debe a que la

información de la tabla de Excel no forma parte del shape, aun cuando la información se despliega en la tabla de atributos.

- Adicionar datos al shape implica generar un shape de mayor peso y, por tanto, el procesamiento de la información resulta más lento, tratando de evitar esto se realizó una conjunción de la información mediante la herramienta *dissolve*, pasando de un shape de 75490 a 13948 polígonos, donde cada polígono contiene un grupo de suelo, salvo la información complementaria, dando como resultado el shape de grupos de suelo. Las herramientas de ArcMap permiten acceder a la información de una manera relativamente fácil y en un periodo corto de tiempo, el tiempo de procesamiento de la información es variado y depende, principalmente, de la cantidad de datos y de las características del equipo de cómputo.
4. Adicionalmente; dado que el grupo de suelo forma parte de la información requerida para determinar el NC y que sólo se requieren los datos contenidos dentro del shape; es posible realizar una presentación de la información contenida en el shape, en este caso el grupo de suelo, asignando colores, información estadística en forma de gráficos o tablas, imágenes, escalas, etc.

La representación del shape grupos de suelo, creado del proceso anterior, se creó el mapa siguiente (*Figura 6*), donde se muestra la distribución de los 4 grupos de suelo, según la clasificación del USDA, dentro del territorio de la República Mexicana, y al que también se le ha incorpora un gráfico que muestra el porcentaje en área ocupado por cada grupo de suelo, de la figura 6 se puede apreciar lo siguiente:

- La mayor parte del territorio mexicano se encuentra conformado por un suelo C (53.4%).
- El grupo de suelo A es el de menor presencia, cubriendo un 4.3% del territorio mexicano con una distribución mayoritaria al noroeste del país (Baja California, Baja California Sur y Sonora).
- El segundo grupo de suelo con mayor presencia es el grupo de suelo B con un 26.6% y presenta una distribución uniforme.
- El 14.9% del territorio es ocupa por un suelo D, este grupo de suelo tiene mayor presencia en la parte centro y sureste de la República Mexicana.

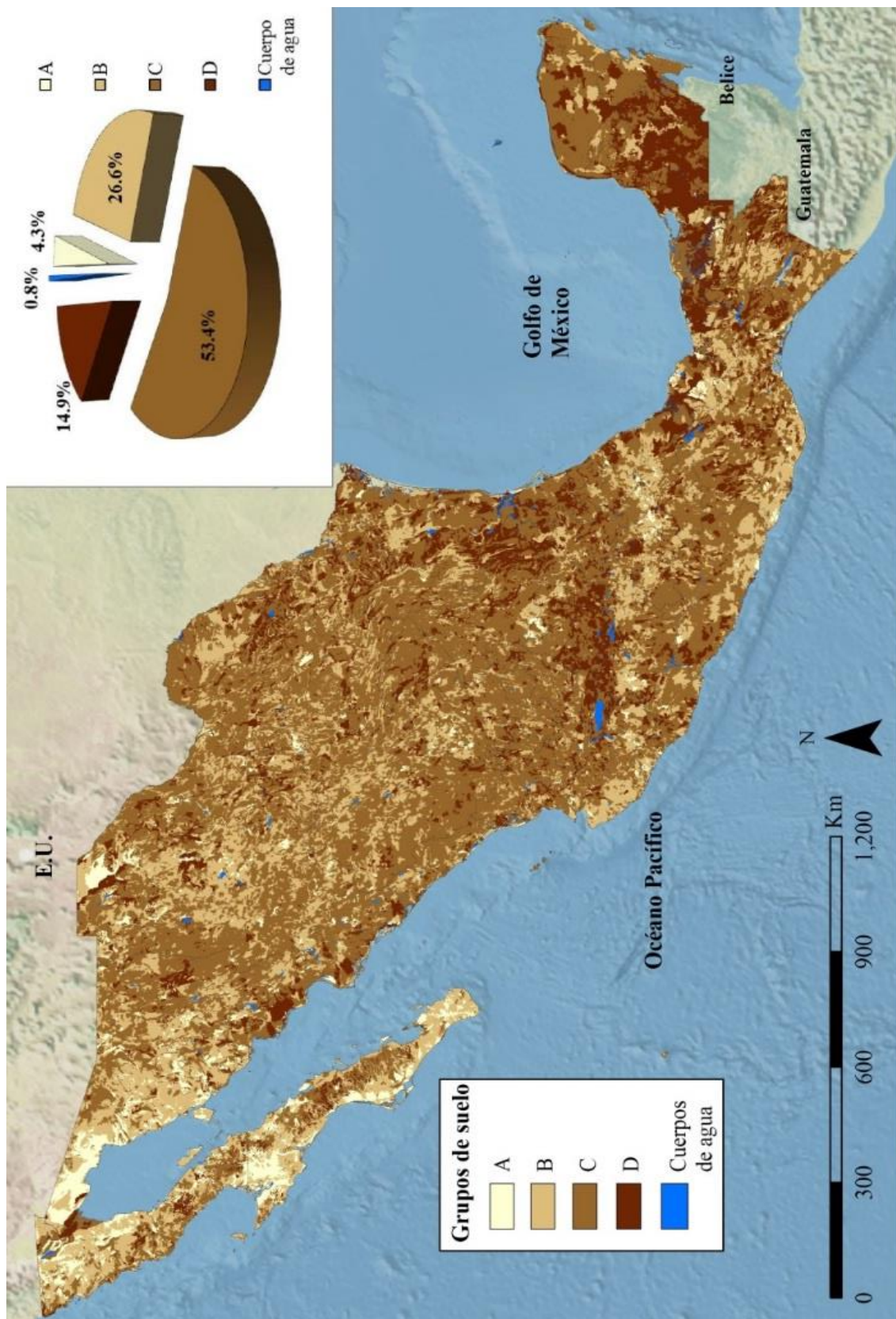


Figura 6. Mapa en el que se muestra la distribución y el porcentaje de área por grupo de suelo dentro del territorio mexicano.

3.2. Mapa de condición hidrológica

La construcción del mapa de condición hidrológica implica haber establecido el uso de suelo. Para obtener un archivo en formato shape con información del uso de suelo y condición hidrológica como lo requiere la metodología del TR-55 “Hidrología urbana para cuencas pequeñas” se realizó lo siguiente, con la información disponible y haciendo uso de ArcMap:

1. El shape de uso de suelo y vegetación, escala 1:250 000 serie IV, se encuentra constituido de una serie de archivos en formatos shape (capas), de los cuales requerimos los siguientes:
 - Shape de cubierta vegetal: shape en el cual eliminamos la información no necesaria, conservando sólo la siguiente información:
 - TIP_ECOV: grupos de vegetación.
 - TIP_VEG: tipo de vegetación que se presenta dentro de cada grupo de vegetación.
 - DESVEG: desarrollo de la vegetación (primario/secundario).
 - FAS_VS: fase de la vegetación secundaria.
 - OTROS: indica si se trata de zona urbana, cuerpo de agua o zona urbana, asentamiento humano o no aplicable.
 - Shape de cobertura arbórea: del que se requiere la siguiente información de entrada para asignar una condición hidrológica a la cubierta vegetal.
 - TIP_ECOV: grupo de vegetación.
 - TIP_VEG: tipo de vegetación que se presenta dentro de cada grupo de vegetación.
 - DESVEG: desarrollo de la vegetación (primario/secundario).
 - COB_ARB: cobertura arbórea.
 - Shape de uso agrícola: en el cual requerimos de la siguiente información.
 - TIPAGES: proporciona información de acuerdo a las variantes del aprovechamiento agropecuario, de acuerdo al tipo de suministro de agua y actividad productiva (agricultura de riego, temporal o humedad, cultivo de pasto, bosque o actividad acuícola).
 - TIP_CUL1: proporciona información sobre el tipo de cultivo principal, por duración del ciclo agrícola (anual, semipermanente y permanente).
 - TIP_CUL2: proporciona información sobre el tipo de cultivo secundario, por duración del ciclo agrícola (semipermanente, permanente, ninguno).

Una condicional para la utilización de los shapes es la base de datos espacial, cuya representación deberá estar representada por polígonos.

2. Determinar el uso de suelo para el shape de cubierta vegetal y uso agrícola que se adapta a los usos de suelo que se contemplan en las tablas de NC de la metodología del TR-55, proceso que se realizó por separado.

Trabajar con el archivo *.dbf* de ambos shape, por separado, mediante una hoja de Excel permitió asignar el uso de suelo correspondiente a cada polígono, posteriormente

realizamos un *join* de tabla para adherir la información generada y guardada en formato de Excel, que corresponde a cada shape, sin olvidar la importancia de crear un identificador único, tanto en el shape como en la tabla creada en Excel. Para determinar el uso de suelo correspondiente aplicamos la información de la *Tabla 11*, contenida en el punto 2.3 del *Capítulo 2*.

3. La asignación de condición hidrológica se realiza por separado, de un lado se encuentra el shape de uso agrícola y por otro lado el de cubierta vegetal, recordando que la metodología propuesta en esta tesis requiere la información del shape de cobertura arbórea para determinar la condición hidrológica de cubierta vegetal.

En este punto aplicamos la metodología planteada en el apartado 2.2.3, que nos permite asignar un nivel de condición hidrológica y para lo cual se realizó lo siguiente:

- Uso agrícola: se asigna la condición hidrológica mediante una hoja de cálculo y se realiza un *join* de tabla para anexar la información de la hoja de cálculo; nuevamente exportamos como nuevo shape.
 - Cubierta vegetal: en este caso fue necesario realizar una combinación de la información contenida en el shape de cubierta vegetal y el shape de cobertura arbórea, para lo cual utilizamos la herramienta *intersect* del ArcMap, al utilizar esta herramienta generamos un nuevo shape que contiene la información de ambos shapes dentro de su tabla de atributos. Trabajando la información del shape generado asignamos la condición hidrológica mediante una hoja de Excel, en donde se abre el archivo con extensión *.dbf* del shape generado, posteriormente realizamos un *join* de tabla y exportamos como nuevo shape.
4. Habiendo asignado la condición hidrológica por separado, para cubierta vegetal y usos agrícola, resulta práctico tener un solo shape de condición hidrológica, para lo cual aplicamos la herramienta *intersect* a los shapes generados de condición hidrológica, por ultimo aplicamos *dissolve* al shape resultante de la intersección, acción que genera un archivo shape de menor peso y mayor facilidad de manejo, de esta manera se ha generado el Shape con información de usos de suelo y condición hidrológica de la República Mexicana.

Durante el proceso en la asignación de un nivel de condición hidrológica se presentaron los siguientes casos:

- El shape de uso agrícola presenta polígonos sin información (no aplicable) que corresponden a la información del shape de cubierta vegetal, y viceversa, debido a que forman parte del shape de uso de suelo y vegetación.
- En el cruce de información entre el shape de cubierta vegetal y cobertura arbórea se presenta lo siguiente:
- La cobertura arbórea sólo se presenta para algunos tipos de vegetación.

- En algunos casos en los que la información de grupos y tipos de vegetación, contenida en ambos shapes, no presentaban la misma información, siendo que se trata del mismo polígono, en este caso rige el grupo de vegetación del shape de cubierta vegetal que es el encargado de asignar el tipo de vegetación.
- El desarrollo de la vegetación también presenta casos en los que no coincide la información de ambos shapes, para lo cual se toma la información del shape de cubierta vegetal. Sólo se toma el desarrollo de la vegetación del shape de cobertura arbórea en los casos en los que el shape de cubierta vegetal no presente esta información y siempre y cuando la se trate de un desarrollo de tipo primario.

El mapa de la *Figura 7* es la representación del shape condición hidrológica que se obtuvo, del proceso, donde N/A representa, de acuerdo con la metodología, zona urbana, localidad, asentamiento humano o aquellos usos que no requieren condición hidrológica (pastizal protegido; engloba los pastizales con desarrollo de la vegetación primaria y los pastizales cultivados; y las áreas sin vegetación aparente). En el mapa se aprecia lo siguiente:

- gran parte del territorio mexicano se encuentra con una condición hidrológica pobre, principalmente en la parte norte, salvo la parte correspondiente a la Sierra Madre Occidental en donde se concentra gran parte de los suelos con condición hidrológica buena.
- El sureste del país (Campeche, Quintana Roo y Yucatán) presentan características medias de condición hidrológica.

Lo anterior permite establecer que en la mayor parte del país se presentan condiciones poco favorables para la infiltración; debido especialmente a la presencia y abundancia de vegetación; del agua de lluvia, situación que propicia mayor escurrimiento superficial.

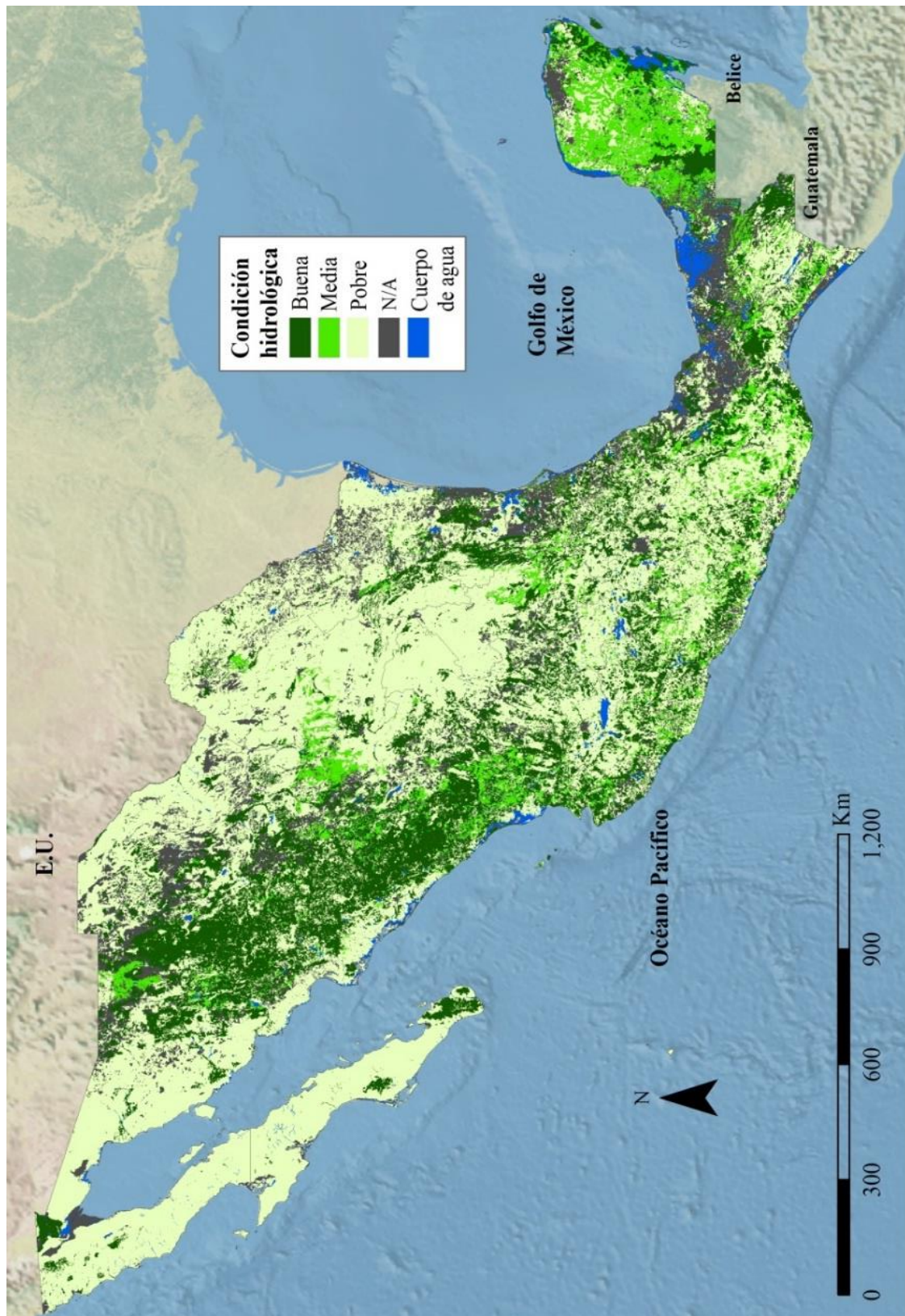


Figura 7. Mapa en el que se muestra la distribución de la condición hidrológica del territorio mexicano, dependiendo del uso de suelo. N/A contempla a aquellos polígonos en los que no se requiere condición hidrológica para determinar el NC.

3.3. Mapa de Número de Curva

Finalmente se llega al objetivo de esta tesis de investigación, la obtención del mapa de Número de Curva, para lo cual es necesario contar los shapes de condición hidrológica y grupos de suelo, antes generados.

La unión de ambos shapes se realizó con un *intersect*, lo que da origen al shape con las características o información necesaria para asignar el NC para cada polígono del nuevo shape; la asignación del Número de Curva se realiza como se ha venido haciendo, manejando el archivo con extensión *.dbf* en Excel y enlazando la información mediante un *join* de tabla. Para asignar el valor de Número de Curva que corresponde a la intersección de tipo de suelo, uso de suelo y condición hidrológica, que se presentan en la República Mexicana, utilizamos *Tabla 18* contenida en el punto 2.3 del *Capítulo 2*.

En la elaboración del mapa de NC se contempló:

- El shape generado de la unión entre condición hidrológica y grupos de suelo, sólo requiere de la siguiente información para establecer un valor de NC:
- Grupo de suelo.
- Uso de suelo.
- Condición hidrológica.
- Los cuerpos de agua rigen en la asignación de NC, por lo que en los casos en los que, tratándose del mismo polígono, la información proporciona un grupo de suelo y una condición hidrológica con información designada como cuerpo de agua, o viceversa, se asignara el valor NC que corresponde a cuerpo de agua, esto se debe a la falta de un grupo de suelo, uso de suelo o condición hidrológica impide la aplicación de la metodología.

Los valores de NC establecidos por el TR-55 que corresponden a las características del país, se muestran en la Figura 8, donde es posible apreciar que la mayor parte del territorio de México se encuentra cubierto por valores de NC que van de 71 a 90, concentrándose en zonas llanas del país. La presencia de valores altos de NC indicara que las características para suelo con esos valores son poco favorables en la retención del agua de lluvia, cosa que genera mayor escurrimiento efectivo. También se puede observar que los valores entre 51 y 70, se presentan en la zona montañosa del país, lo cual resulta lógico dado que el agua escurre con mayor facilidad debido a la topografía del terreno.

Por último es importante mencionar que los valores de NC se establecieron para cada polígono y que la metodología propuesta en esta tesis permite elaborar el shape con dichos valores.

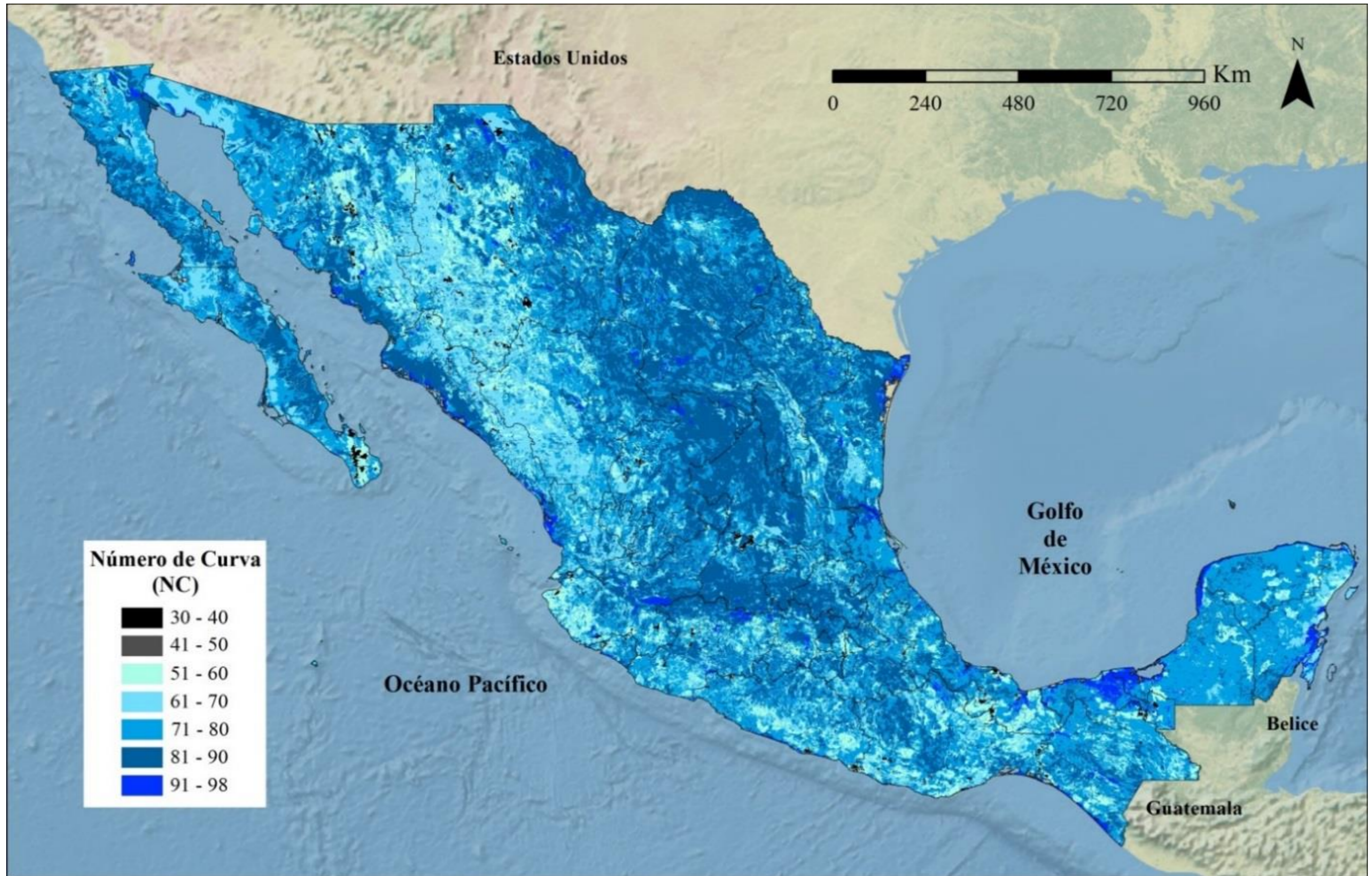


Figura 8. Mapa en el que se muestra la distribución de los NC dentro del territorio mexicano.

Capítulo 4

Conclusiones

El TR-55 “Hidrología urbana para cuencas pequeñas”, establece valores empíricos de NC, valores representativos de las condiciones de los suelos de EU, por lo que establecer una metodología que permita relacionar esos valores con las condiciones de suelo en la República Mexicana tubo como limitante principal la información disponible del país.

La asignación del grupo de suelo según el USDA que se ajusta a la edafología del país, aplicando la metodología formulada en este trabajo, arroja resultados que indican que la mayor parte del territorio mexicano, con un 53.4% de área cubierta, corresponde a un grupo de suelo C; el segundo sitio es ocupado por un grupo de suelo B, con presencia del 26.6%; esto implica niveles de infiltración de medios a bajos.

De acuerdo con el mapa de condición hidrológica generado, en el territorio mexicano se encuentra cubierto, mayormente, por un nivel de condición hidrológica pobre, cuya presencia es más notoria en la parte norte del país, exceptuando la parte montañosa.

El resultado de esta tesis corresponde a los NC generados para la República Mexicana (Tabla 18) mediante el uso SIG (mapa de Número de Curva, *Figura 8*) que corresponden a las condiciones del suelo de la República Mexicana, para lo que se generó una clasificación del suelo y sus condiciones que justifican la aplicación de la metodología establecida en el TR-55 “Hidrología urbana para cuencas pequeñas”.

Los valores de NC obtenidos y representados en el mapa de Número de Curva permiten observar, la distribución de los valores de dichos valores dentro del país. La distribución de estos valores indica que la mayor parte de los N, valores medios y bajos, se presentan en la parte llana del país y que la mayor parte de los NC con valores altos se presentan en la región montañosa del país.

Se generó la Tabla 11 es el resultado de haber establecido una metodología para la clasificación de los usos de suelo que se presentan en el territorio mexicano dentro de los usos que se contemplan en las tablas del TR-55 “Hidrología urbana para cuencas pequeñas”, y es posible aplicara a regiones con uso de suelo similar.

La investigación realizada permitió generar una clasificación del tipo de suelo (*Tabla 9*), según la clasificación da la FAO, dentro de los grupos de suelo que el USDA maneja, por lo que su aplicación se generaliza y no sólo es aplicable a México.

Aplicar SIG en la realización de esta tesis requirió de un nivel mínimo de conocimiento en el uso del software (ArcGIS), además de que el manejo de grandes cantidades de información disminuye la velocidad en el procesamiento de los datos.

Los valores de NC para áreas urbanas del país representa el mayor reto para seguir con esta línea de investigación, y esto se debe a que no se cuenta con información, en formato shape, que permita establecer características como áreas pavimentadas o espacios con vegetación dentro de las zonas urbanas.

El desarrollo de esta tesis se presenta como una contribución al estudio de la hidrología de la República Mexicana, presentando un método para generar la variable de NC haciendo uso de SIG, variable que permite calcular la altura de precipitación efectiva en cuencas en las que no se tiene datos de aforo.

Bibliografía y referencias

1. Aparicio Mijares, Francisco J. (1991). “**Fundamentos de hidrología de superficie**”. Limusa, pp. 187-191.
2. Chow, Ven Te (1994). “**Hidrología Aplicada**”. McGRAW-HILL, pp. 1-5,143-158.
3. Gravande Sampat A. (1976). “**Física de suelos (principales aplicaciones)**”. Editorial Limusa.
4. Instituto Mexicano del Transporte (Qro. 1998). “**Génesis, identificación y uso de los suelos de México**”. Doc. Técnico No.19, pp. 107-109, 70.
5. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México, marzo 2009). “**Diccionario de datos edafológicos Serie III, escala 1:250 000**”.
6. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México, 2004.). “**Guía para la interpretación de cartografía edafología: escala 1:250 000 :Serie III**”.
7. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México, marzo 2010). “**Diccionario de datos uso de suelo y vegetación Serie IV, escala 1:250 000**”.
8. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México, 2009.). “**Guía para la interpretación de cartografía uso de suelo y vegetación: escala 1:250 000 :Serie III**”.
9. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), et.al. (Primera actualización 2007). “**Base Referencial Mundial del Recurso Suelo**”.
10. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, Roma 2009). “**Guía para la descripción de suelos**”, 4ª edición, pp. 23, 34.
11. Pineda Rodríguez, Juan E. (México, 2012).Tesis de licenciatura, “Uso de los Sistemas de Información Geográfica en la Ingeniería Civil”.
12. United States Department of Agriculture (Septiembre 1997). “**National Engineering Handbook Hydrology**”.
13. United States Department of Agriculture (Junio 1986). “**Technical Release 55: Urban Hydrology for small Watersheds**”
14. Descripción de la WRB Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (fecha de consulta: 31 marzo de 2013), link de consulta:
http://edafologia.ugr.es/programas_suelos/practclas/clasol/comun/subunwrb.htm
15. Definición de Brush (fecha de consulta: 12 abril de 2013), link de consulta:
<http://80.24.165.149/drupal/?q=node/102>
16. Estudios de caso sobre la evaluación de la degradación de los bosques (fecha de consulta: 5 abril de 2013), link de consulta: <http://www.fao.org/docrep/012/k8593s/k8593s00.pdf>
17. Las zonas áridas y semiáridas de México y su vegetación (fecha de consulta: 15 abril de 2013), link de consulta: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/668/zonas.pdf>
18. Los tipos de México su clasificación vegetación (fecha de consulta: 17 abril de 2013), link de consulta:
[http://www.ibiologia.unam.mx/sociedad/www/pdf/BSBM%2087/MS1018/Miranda%20y%20Hernandez-X%201963%20\(BSBM28%2029-176\)%20sobretiro-e%20.pdf](http://www.ibiologia.unam.mx/sociedad/www/pdf/BSBM%2087/MS1018/Miranda%20y%20Hernandez-X%201963%20(BSBM28%2029-176)%20sobretiro-e%20.pdf)
19. Página del INEGI (fecha de consulta: 22 abril de 2013), link de consulta: <http://www.inegi.org.mx/>
20. Página de CONAGUA (fecha de consulta: 1 octubre de 2013) link de consulta: <http://www.cna.gob.mx/>
21. Vegetación y uso de suelo (fecha de consulta: 5 abril de 2013), link de consulta:
<http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/411/cap2.pdf>

Anexo 1

Tablas de NC contenidas en el TR-55

Tabla 1a. Número de Curva de escurrimiento (NC) para áreas urbana. (1)				
Descripción de la cobertura	Número de Curva			
Tipo de cobertura y condición hidrológica	A	B	C	D
Áreas urbanas desarrolladas completamente (vegetación establecida):				
Espacios abiertos (césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.) (3):				
condición mala (cobertura vegetal < 50%)	68	79	86	89
condición regular (cobertura vegetal del 50% al 75%)	49	69	79	84
condición buena (cobertura vegetal > 75%)	39	61	74	80
Áreas impermeables:				
estacionamientos pavimentados, tejados, calzadas (excluyendo derecho de vía)	98	98	98	98
calles y carreteras:				
pavimentadas; con cunetas y alcantarillado (excluyendo derecho de vía)	98	98	98	98
pavimentadas; con zanjas abiertas (incluyendo derecho de vía)	83	89	92	93
caminos de grava (incluyendo derecho de vía)	76	85	89	91
caminos de terracería.	72	82	87	89
Áreas urbanas del desierto occidental:				
Desierto natural (sólo áreas permeables) (4)	63	77	85	88
Desierto artificial (con barreras de maleza impermeable, matorral desértico con 1 a 2 pulgadas de arena o grava y bordes de cuenca)	96	96	96	96
Distritos urbanos:				
Promedio porcentual de área impermeable.(2)				
Áreas comerciales y de negocios (85% impermeable)	89	92	94	95
Áreas industriales (72% impermeable)	81	88	91	93
Distritos residenciales por tamaño promedio de lote.				
Promedio porcentual de área impermeable.(2)				
506 m ² 65%	77	85	90	92
1012 m ² 38%	62	75	83	87
1349 m ² 30%	57	72	81	86
2024 m ² 25%	54	70	80	85
4047 m ² 20%	51	68	79	84
8094 m ² 12%	46	65	77	82
Áreas urbanas en desarrollo:				
Áreas recién clasificadas (sólo áreas permeables, sin vegetación) (5)	77	86	91	94
1 Condición de escurrimiento medio, y Ia = 0.2 S				
2 Muestra el promedio porcentual de área impermeable que fue utilizado para desarrollar un NC. Otros supuestos son los siguientes: áreas impermeables directamente conectados con el sistema de drenaje, áreas impermeables tienen un NC de 98, y las áreas permeables son consideradas equivalentes a espacios abiertos en condición hidrológica buena.				
3 Muestra el NC que es equivalente para aquellos pastos. Un NC compuesto puede ser calculado por otras combinaciones de espacio abierto-tipo de cobertura.				
4 Un NC compuesto para paisaje de desierto natural debería ser calculado utilizándolas figuras 2.3 o 2.4 basadas en el porcentaje de área impermeable (NC=98) y el NC para el porcentaje de área permeable. El NC para área permeable se asume al equivalente para desierto en condición hidrológica pobre.				
5 Un NC compuesto usado para designar medidas temporales durante la clasificación y construcción puede ser calculado usando la figura 2.3 o 2.4 basados en el grado de desarrollo (porcentaje de área impermeable) y el NC es para las nuevas áreas permeables clasificadas.				

Tabla 1b. Número de Curva de escurrimiento (NC) para tierras agrícolas cultivadas (1)						
Descripción de la cobertura			Número de Curva			
Tipo de cobertura	Tratamiento (2)	Condición hidrológica(3)	A	B	C	D
Barbecho.	Suelo desnudo	—	77	86	91	94
	Residuos de cultivo de cobertura (CR)	Pobre	76	85	90	93
		Buena	74	83	88	90
Cultivos en fila	Fila recta (SR)	Pobre	72	81	88	91
		Buena	67	78	85	89
	SR + CR	Pobre	71	80	87	90
		Buena	64	75	82	85
	Contorneados (C)	Pobre	70	79	84	88
		Buena	65	75	82	86
	C+CR	Pobre	69	78	83	87
		Buena	64	74	81	85
	Contorneados y Terrazas (C&T)	Pobre	66	74	80	82
		Buena	62	71	78	81
	C&T + CR	Pobre	65	73	79	81
		Buena	61	70	77	80
Grano pequeño	Fila recta (SR)	Pobre	65	76	84	88
		Buena	63	75	83	87
	SR + CR	Pobre	64	75	83	86
		Buena	60	72	80	84
	Contorneados (C)	Pobre	63	74	82	85
		Buena	61	73	81	84
	C+CR	Pobre	62	73	81	84
		Buena	60	72	80	83
	Contorneados y Terrazas (C&T)	Pobre	61	72	79	82
		Buena	59	70	78	81
	C&T + CR	Pobre	60	71	78	81
		Buena	58	69	77	80
Cerca de semilla de leguminosa o legumbres por difusión	Fila recta (SR)	Pobre	66	77	85	89
		Buena	58	72	81	85
	Contorneados (C)	Pobre	64	75	83	85
		Buena	55	69	78	83
	Contorneados y Terrazas (C&T)	Pobre	63	73	80	83
		Buena	51	67	76	80

1 Condición de escurrimiento medio, y $I_a = 0.2 S$

2 Residuos de cultivo de cobertura aplica sólo si el residuo es al menos el 5% de la superficie a lo largo del año.

3 La condición hidráulica está basada en la combinación de factores que afectan el escurrimiento y la infiltración, incluyendo (a) densidad y cubierta de áreas vegetativas, (b) cantidad cubierta en todo el año, (c) cantidad de hierba o cerca de semilla de leguminosa, (d) porcentaje del residuo que cubre la superficie de la tierra (buena $\geq 20\%$), y (e) grado de rugosidad de la superficie.

Pobre: factores que perjudican la infiltración y tienden a incrementar el escurrimiento.

Buena: factores que mejoran los promedios de infiltración y tienden a decrecer el escurrimiento.

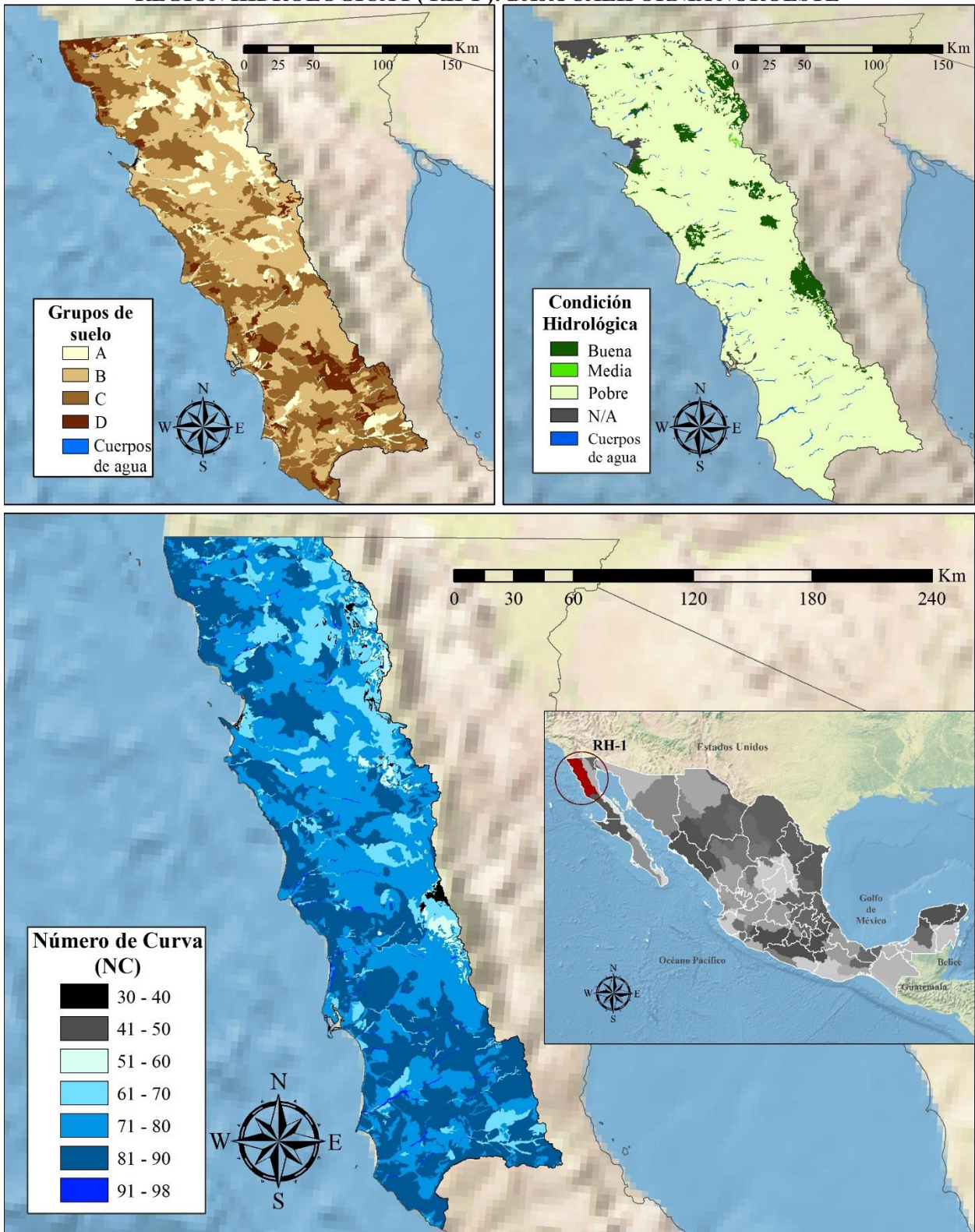
Tabla 1c. Número de Curva de escurrimiento (NC) para tierras agrícolas (1)					
Descripción de la cobertura		Número de Curva			
Tipo de cobertura	Condición hidrológica	A	B	C	D
Pasturas, praderas o semejantes (áreas continuas de forraje para pastoreo). ²	Pobre	68	79	86	89
	Media	49	69	79	84
	Buena	39	61	74	80
Prado (pastos continuos, protegida del pastoreo y generalmente cortado para heno)	—	30	58	71	78
Brush (maleza - mala hierba - hierba mezclada con brush como elemento principal): maleza con vegetación de característica arbustiva y leñosa. ³	Pobre	48	67	77	83
	Media	35	56	70	77
	Buena	30 ⁴	48	65	73
Bosques combinados con pasto (huerto o arboles cultivados). ⁵	Pobre	57	73	82	86
	Media	43	65	76	82
	Buena	32	58	72	79
Bosques. ⁶	Pobre	45	66	77	83
	Media	36	60	73	79
	Buena	30 ⁴	55	70	77
Granjas-edificios, calles, caminos, y predios circundantes.	—	59	74	82	86
<p>1 Condición de escurrimiento medio, y $I_a = 0.2 S$</p> <p>2 Pobre: < 50% de cobertura del terreno o fuertemente pastoreado con poco mantillo. Media: 50 a 75% de cobertura del terreno o no tan pastoreado. Buena: > 75% de cobertura del terreno y ligeramente o sólo ocasionalmente pastoreado.</p> <p>3 Pobre: < 50% de cobertura del terreno. Media: 50 a 75% de cobertura del terreno. Buena: > 75% de cobertura del terreno.</p> <p>4 El Número de Curva actual es menor que 30; usar NC=30 para cálculos de escurrimiento.</p> <p>5 Los NC's mostrados fueron calculados para áreas cubiertas con 50% bosque y 50% hierba (pasto). Otra combinación de condiciones puede ser calculada de los NC's para bosques y pasturas.</p> <p>6 Pobre: áreas con hojarasca (basura forestal), pequeños árboles, y vegetación de brush que son destruidos por un intenso pastoreo o la quema regular. Media: bosques que son pastoreados pero no quemados, y algunas hojarasca cubriendo el suelo. Buena: bosques protegidos del pastoreo, y la hojarasca y vegetación de brush cubren adecuadamente el suelo.</p>					

Tabla 1d. Número de Curva de escurrimiento (NC) para tierras áridas y semiáridas. (1)					
Descripción de la cobertura		Número de Curva			
Tipo de cobertura	Condición hidrológica.²	A³	B	C	D
Vegetación Herbácea (mezcla de hierba, mala hierba y arbustos leñosos(brush) de bajo crecimiento, siendo este último el de menor elemento)	Pobre		80	87	93
	Media		71	81	89
	Buena		62	74	85
Roble - Álamo Temblón (vegetación leñosa de montaña mezcla de Roble, Caoba de montaña, Maple y otros con características leñosas)	Pobre		66	74	79
	Media		48	57	63
	Buena		30	41	48
Piñón - Enebro (Piñón, Enebro o ambos; hierba de sotobosque)	Pobre		75	85	89
	Media		58	73	80
	Buena		41	61	71
Artemisa con hierba de sotobosque.	Pobre		67	80	85
	Media		51	63	70
	Buena		35	47	55
Arbustos o Matorral de desierto (Plantas principales que incluyen Palo verde, Mezquite, Saltbush, Jarrilla, Prieto y Cactus)	Pobre	63	77	85	88
	Media	55	72	81	86
	Buena	49	68	79	84
<p>1 Condición de escurrimiento medio, y $I_a = 0.2 S$</p> <p>2 Pobre: < 30% de cobertura (hojarasca, hierba y dosel (copa del árbol) de características leñosas). Media: 30 a 70% de cobertura. Buena: > 70% de cobertura.</p> <p>3 Los NC's para el grupo A han sido desarrollados solo para arbustos de desierto.</p>					

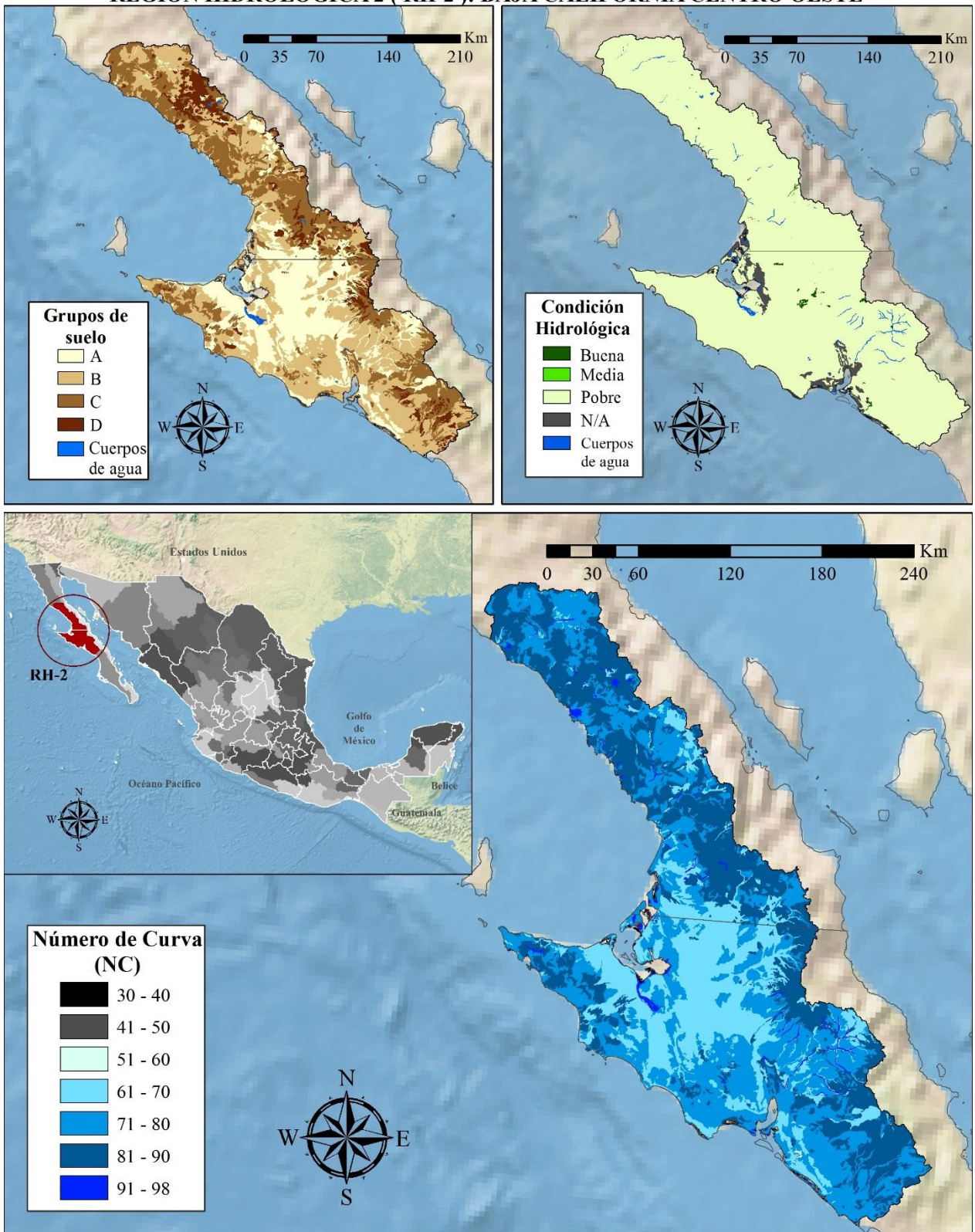
Anexo 2

Anexo 2 Número de Curva por región hidrológica

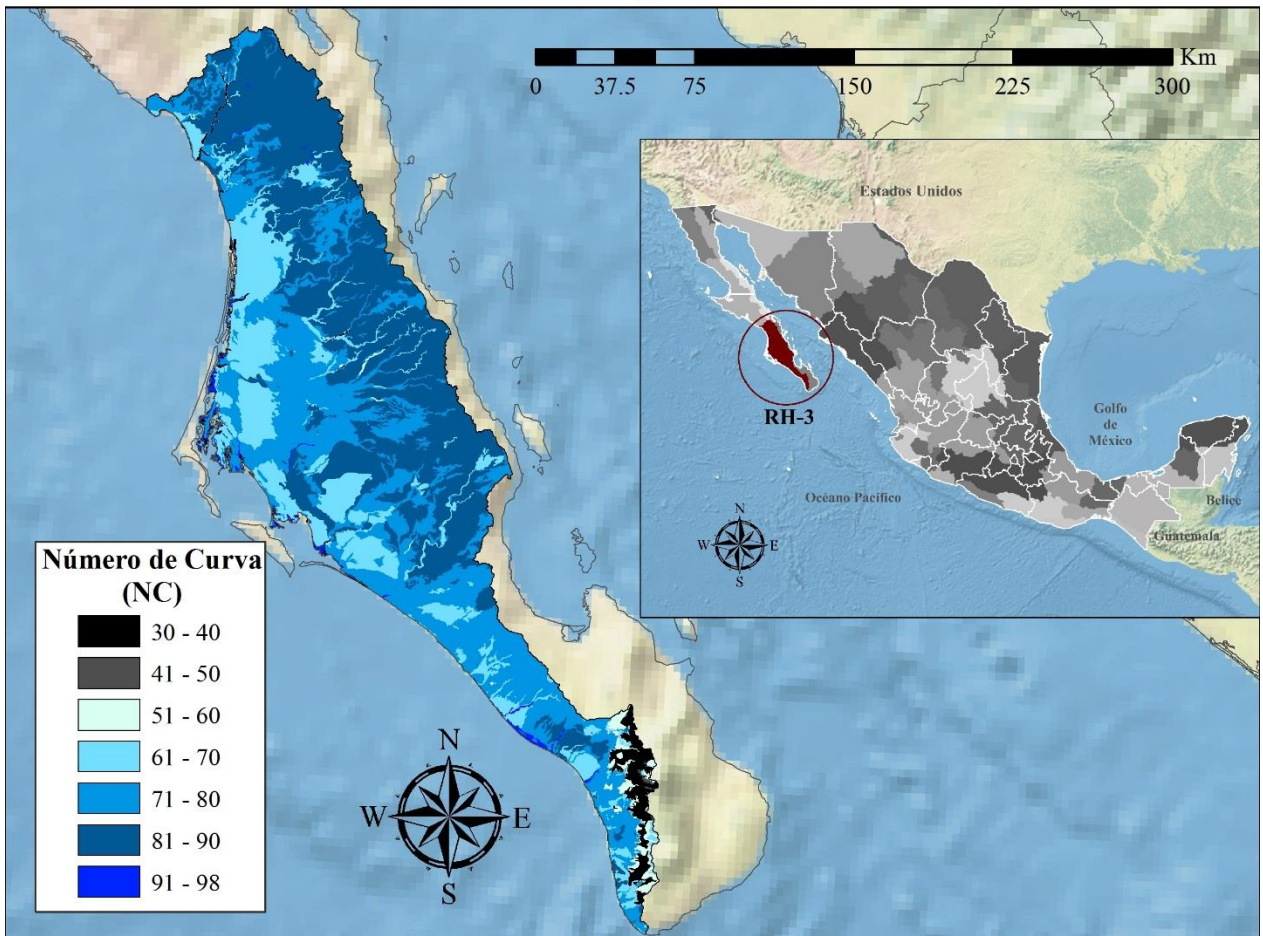
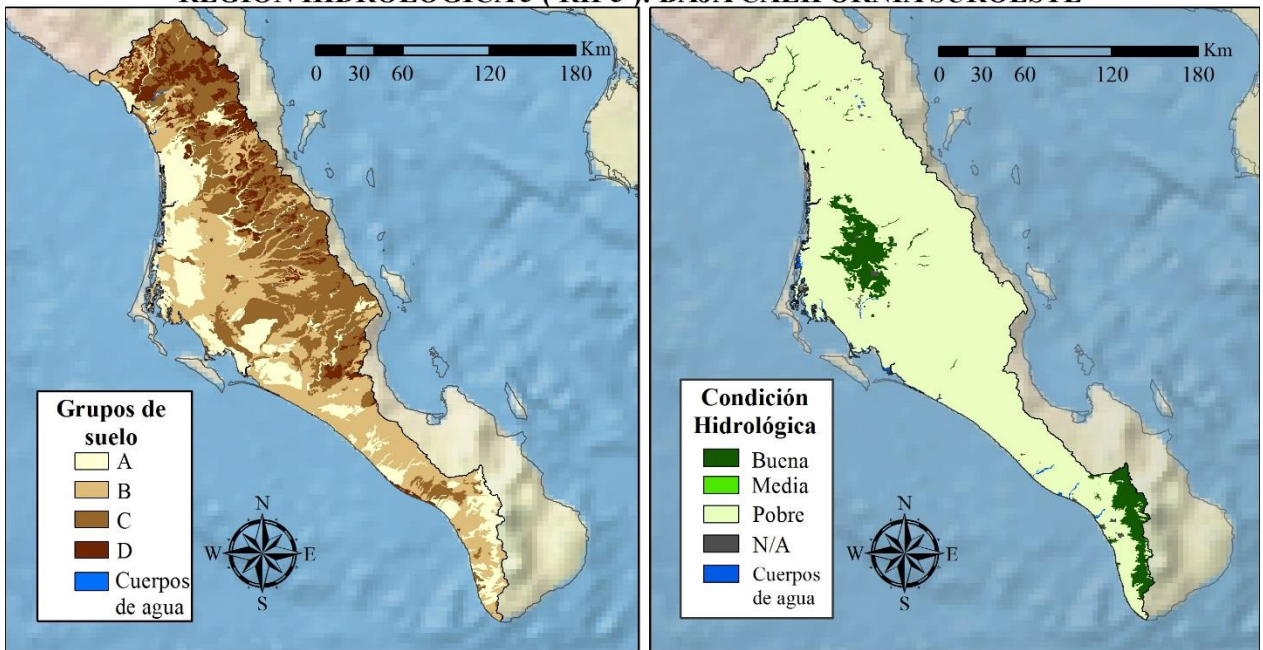
REGIÓN HIDROLÓGICA 1 (RH-1): BAJA CALIFORNIA NOROESTE



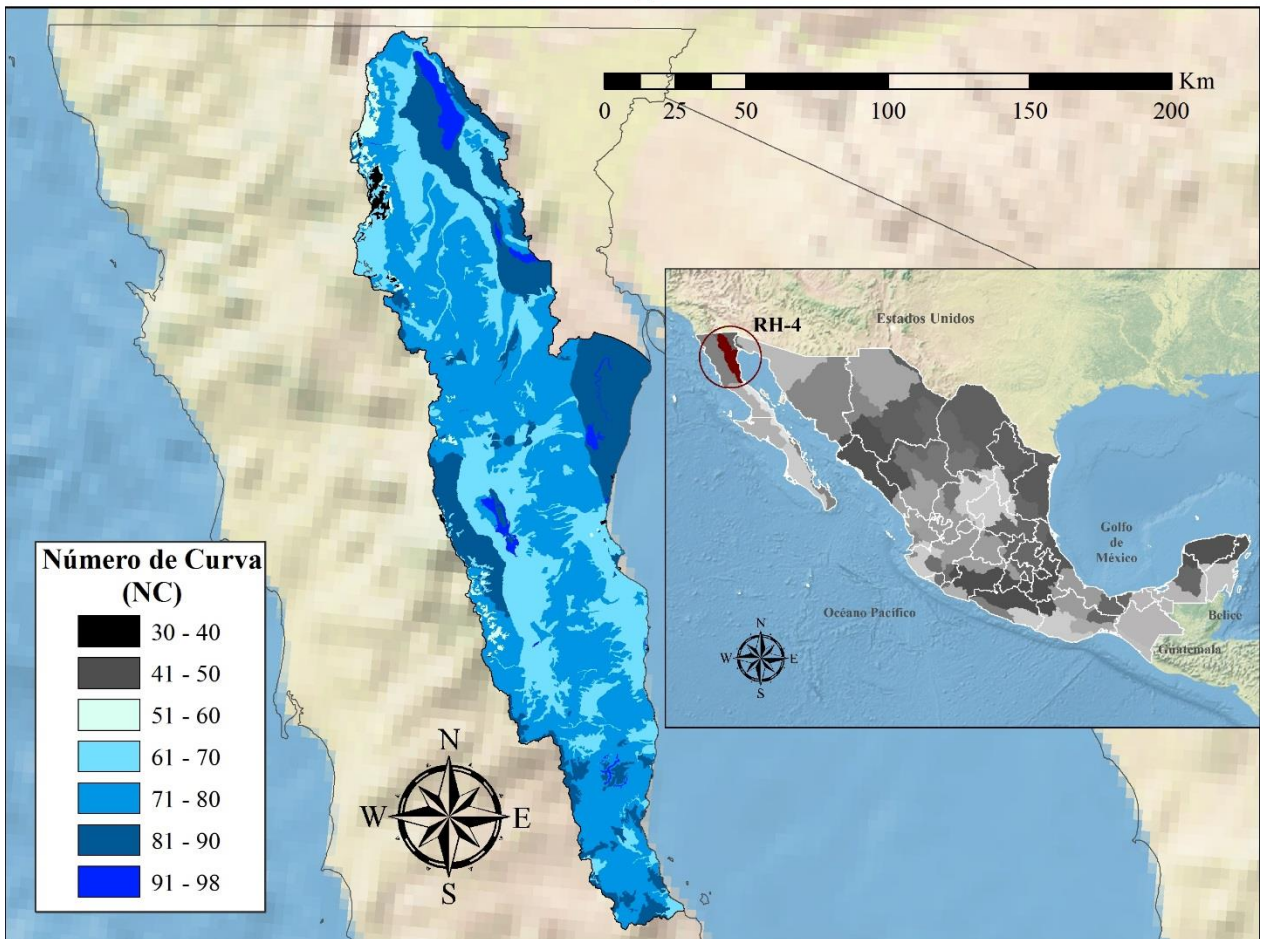
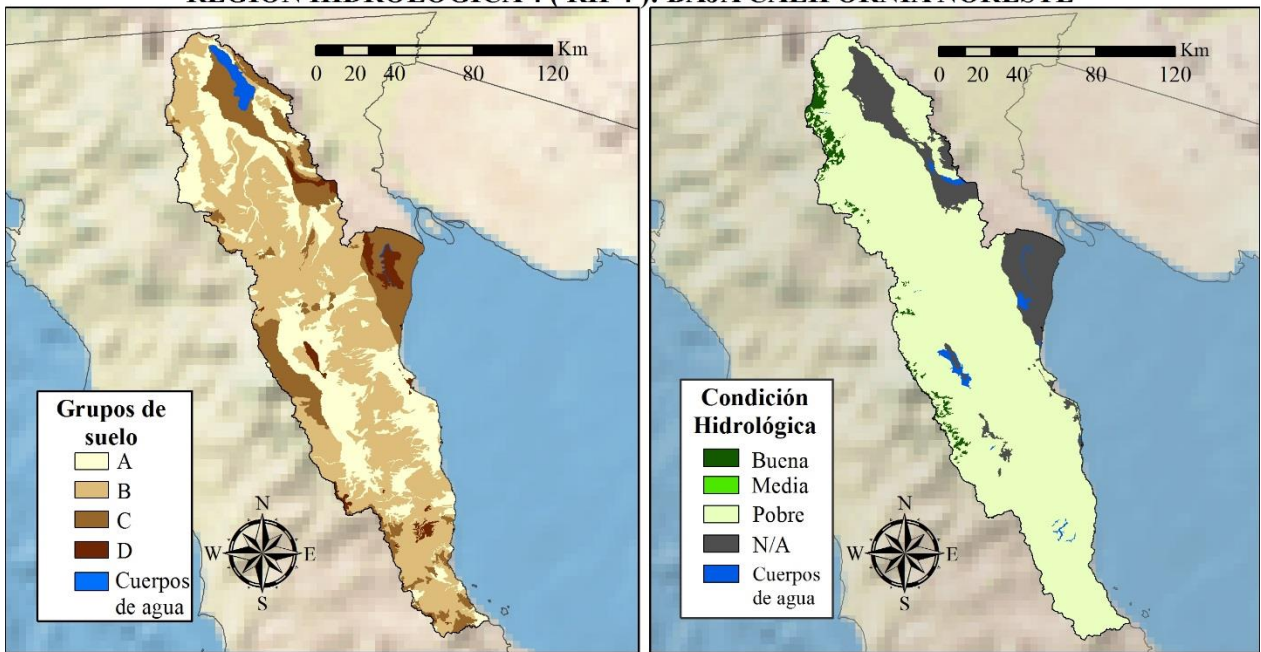
REGIÓN HIDROLÓGICA 2 (RH-2): BAJA CALIFORNIA CENTRO OESTE



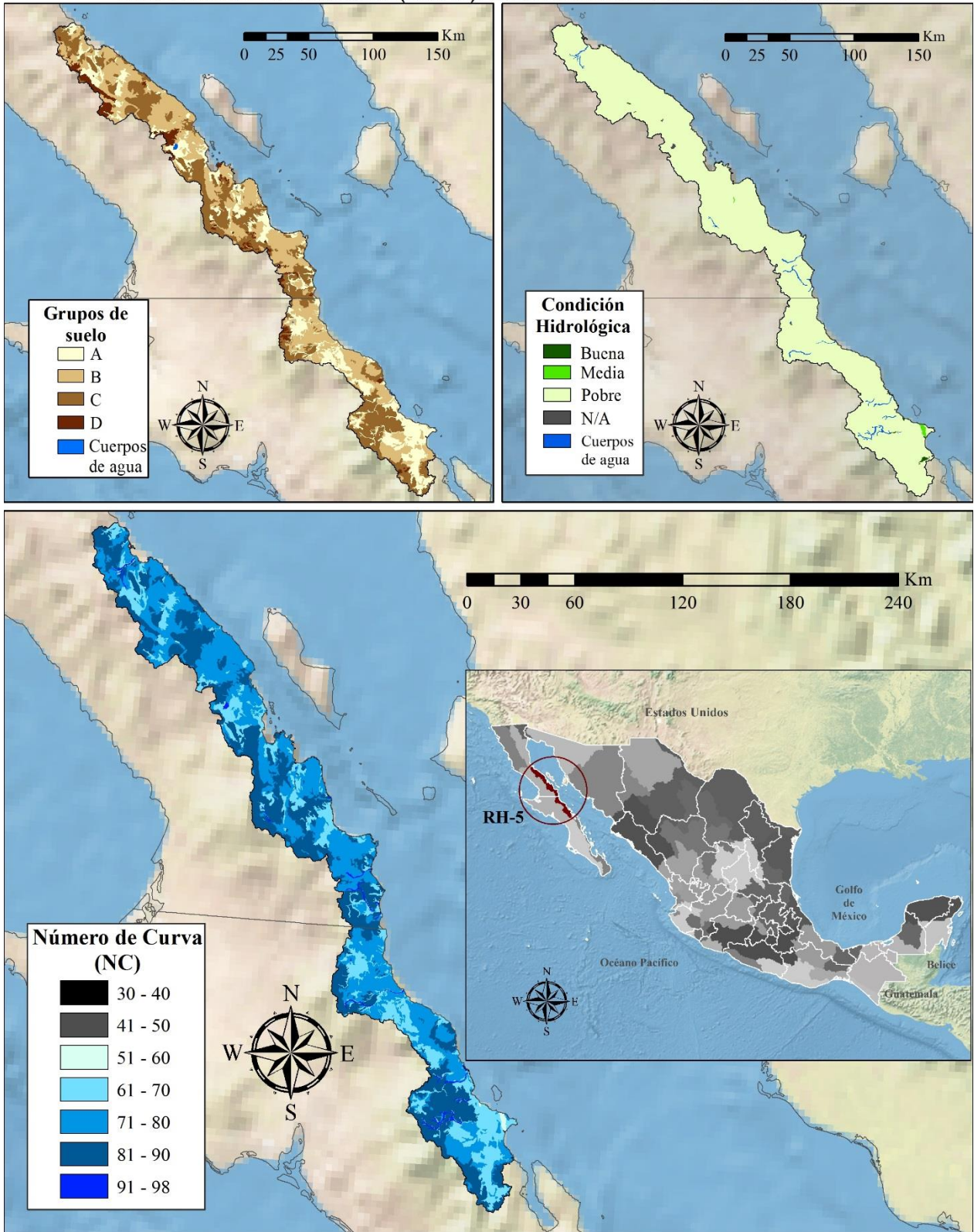
REGIÓN HIDROLÓGICA 3 (RH-3): BAJA CALIFORNIA SUROESTE



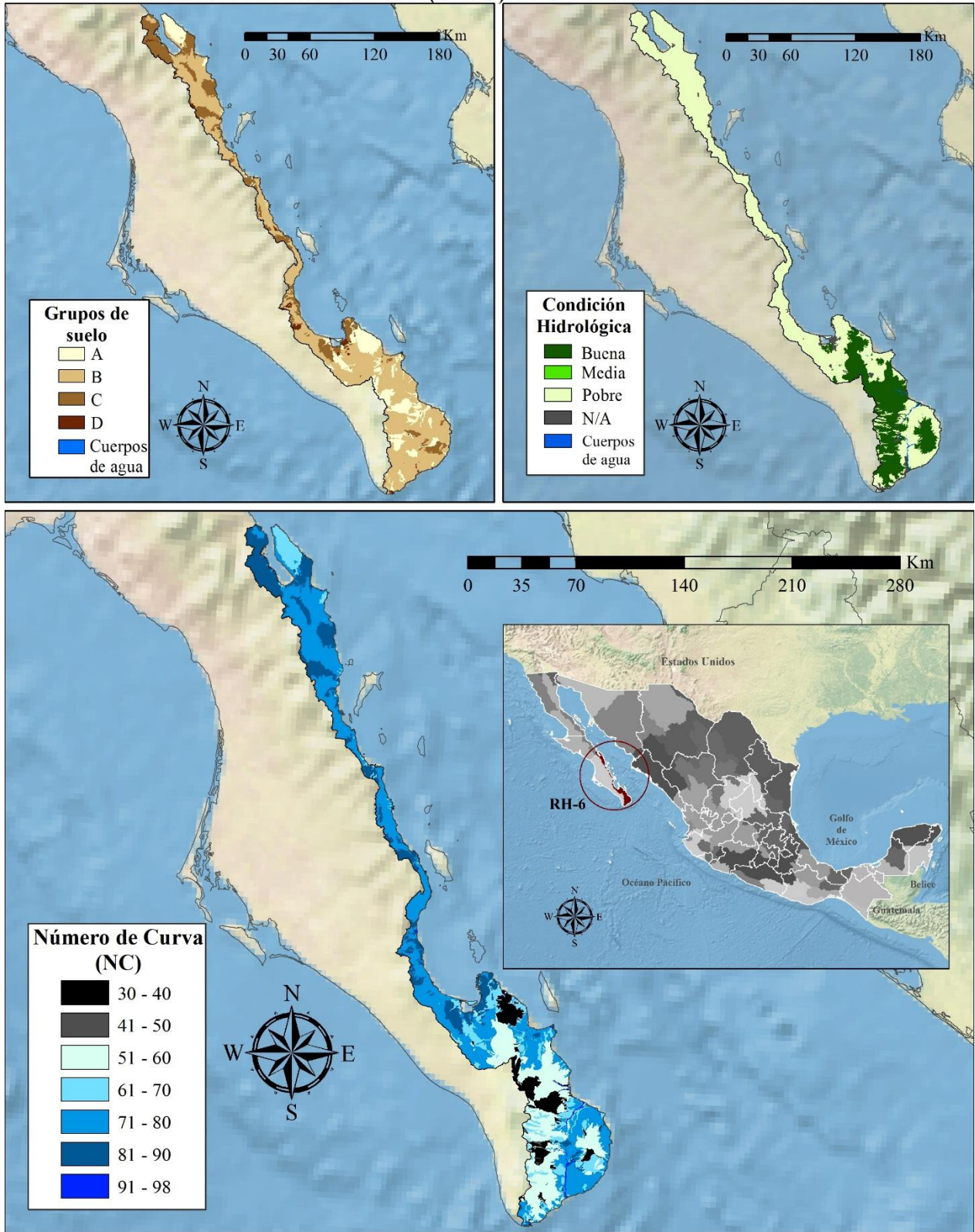
REGIÓN HIDROLÓGICA 4 (RH-4): BAJA CALIFORNIA NORESTE



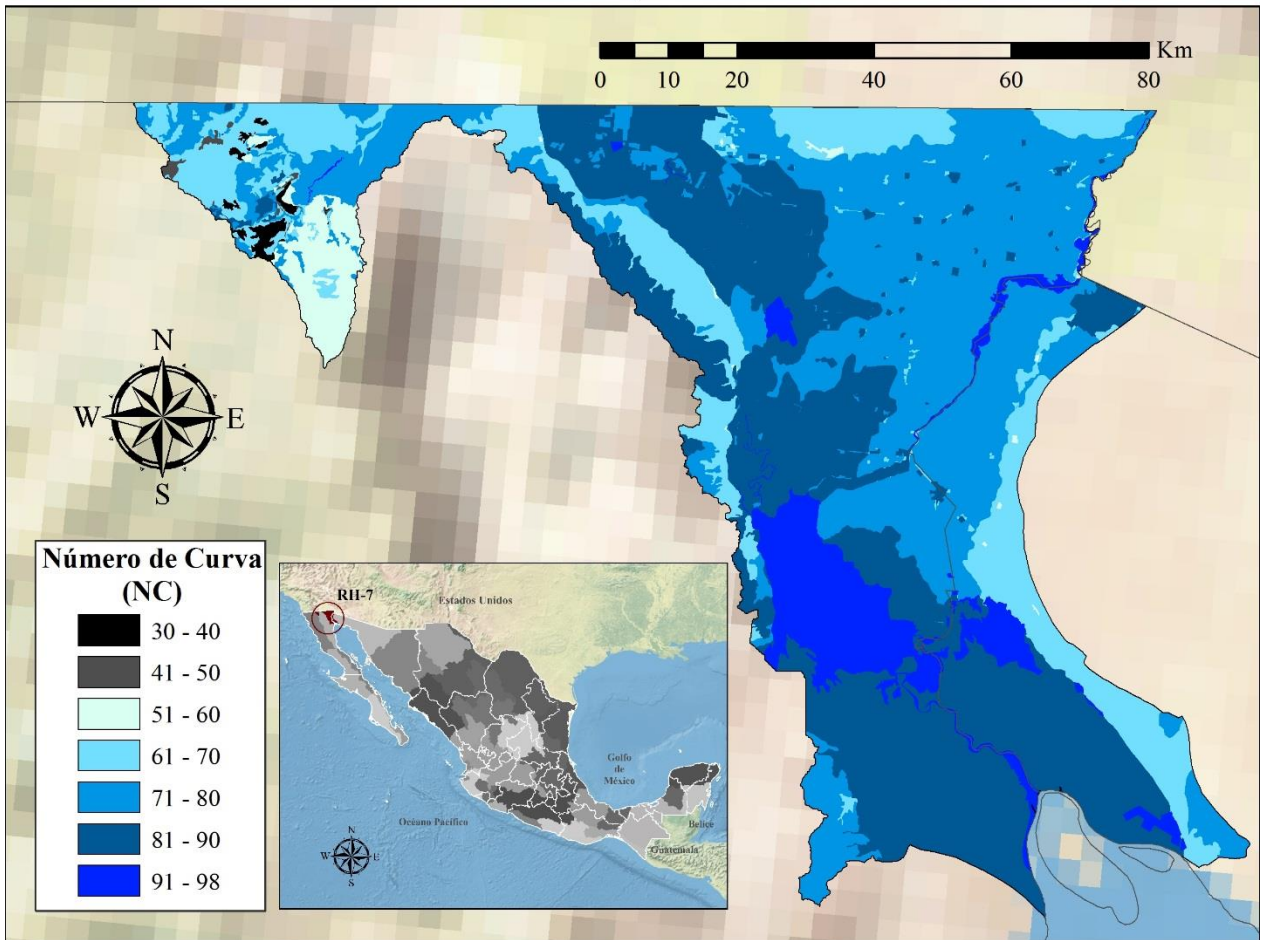
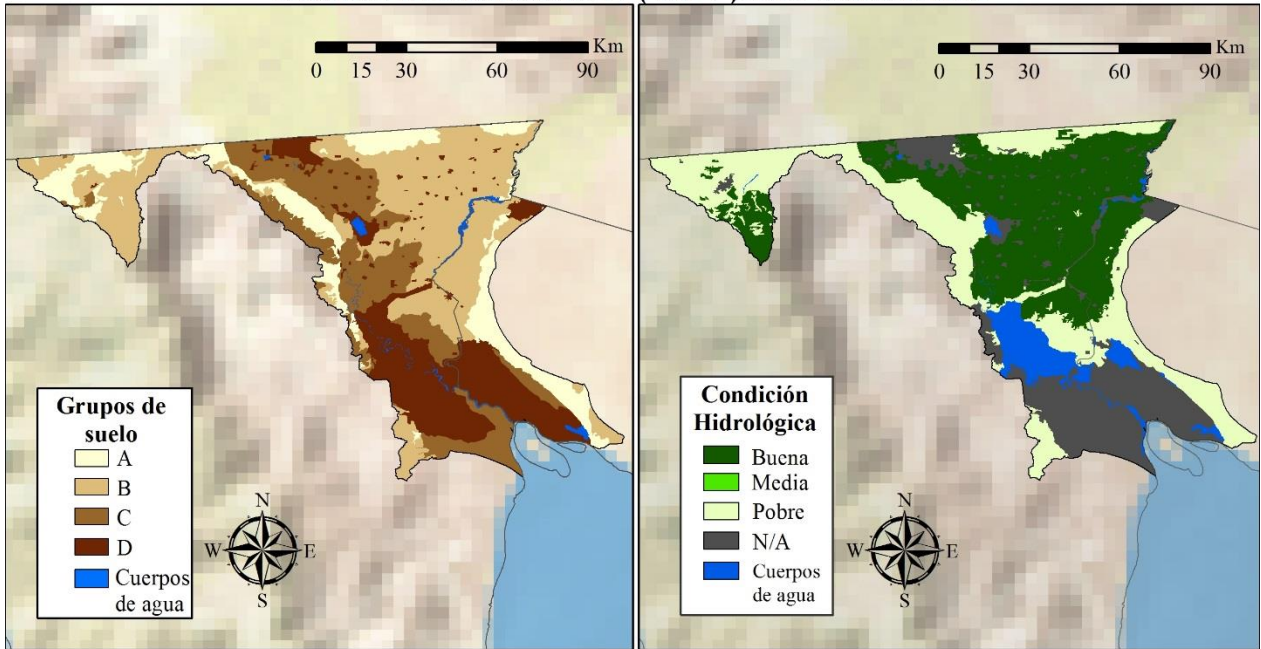
REGIÓN HIDROLÓGICA 5 (RH-5): BAJA CALIFORNIA CENTRO ESTE



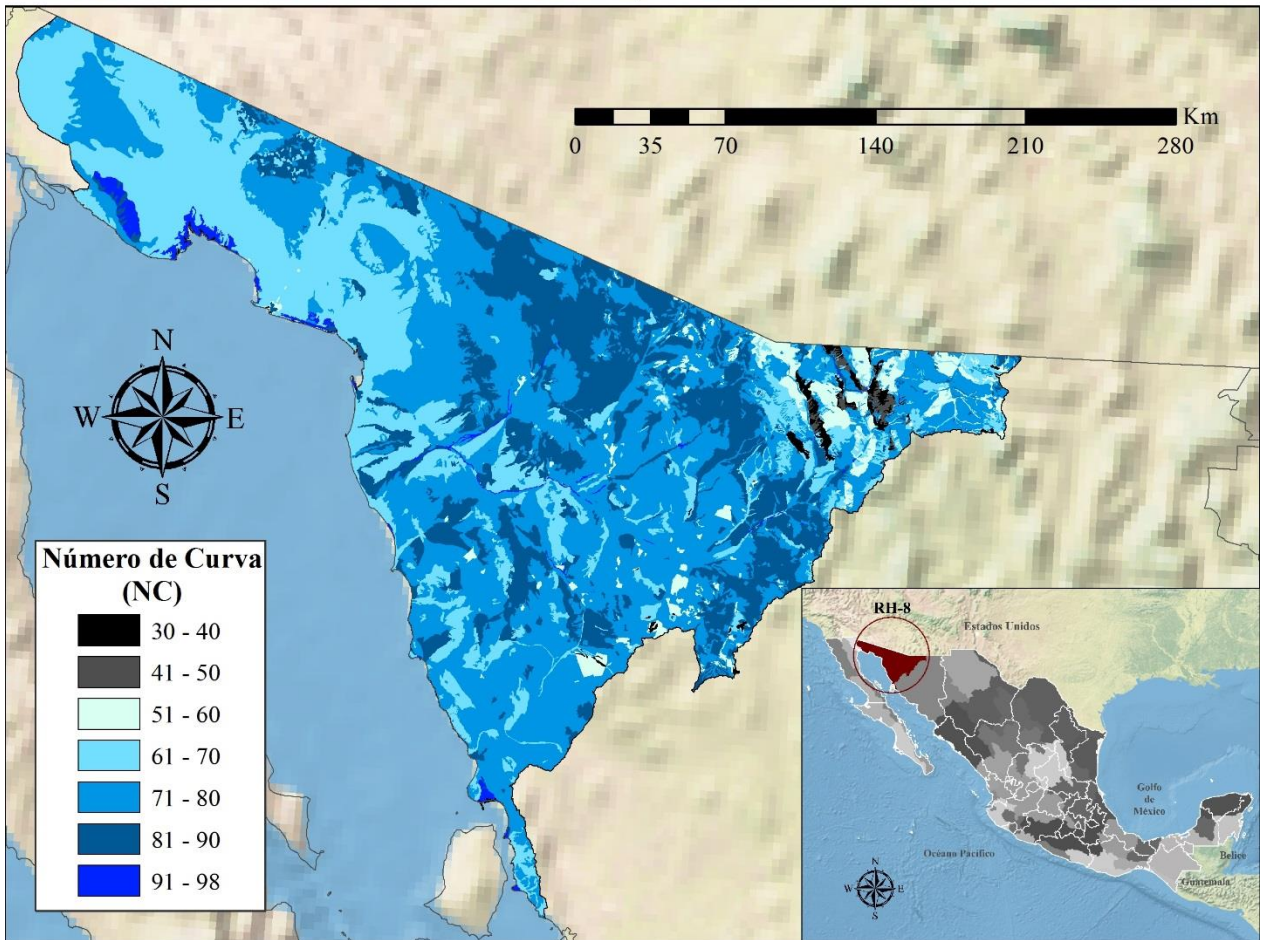
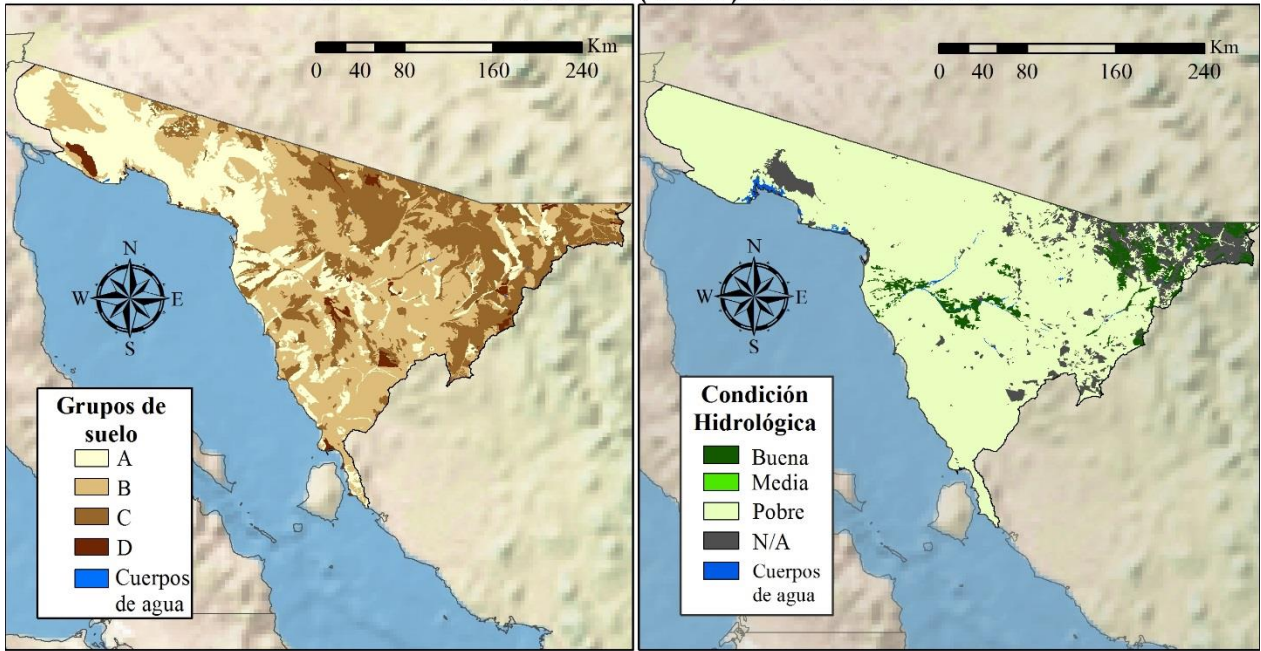
REGIÓN HIDROLÓGICA 6 (RH-6): BAJA CALIFORNIA SURESTE



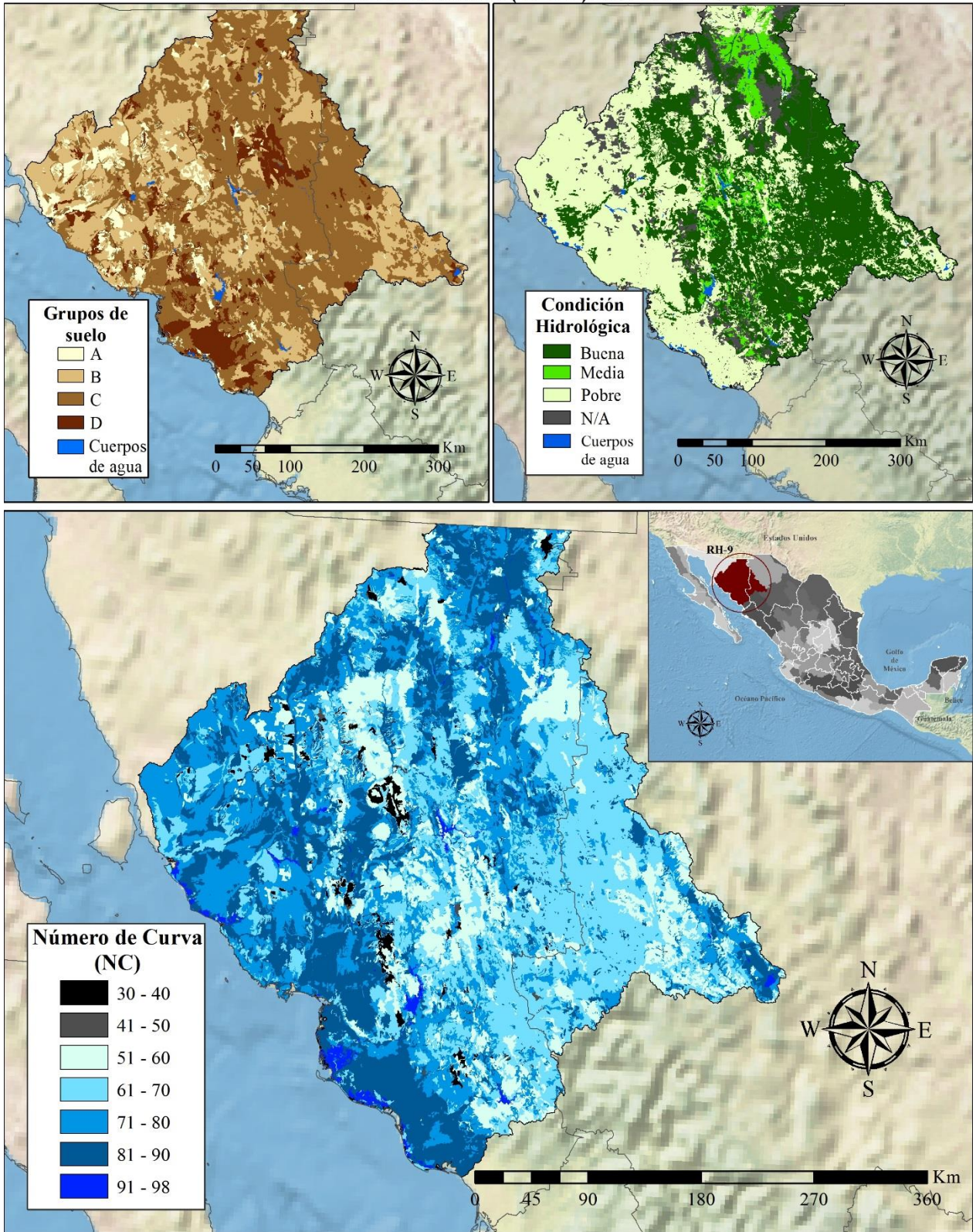
REGIÓN HIDROLÓGICA 7 (RH-7): RÍO COLORADO



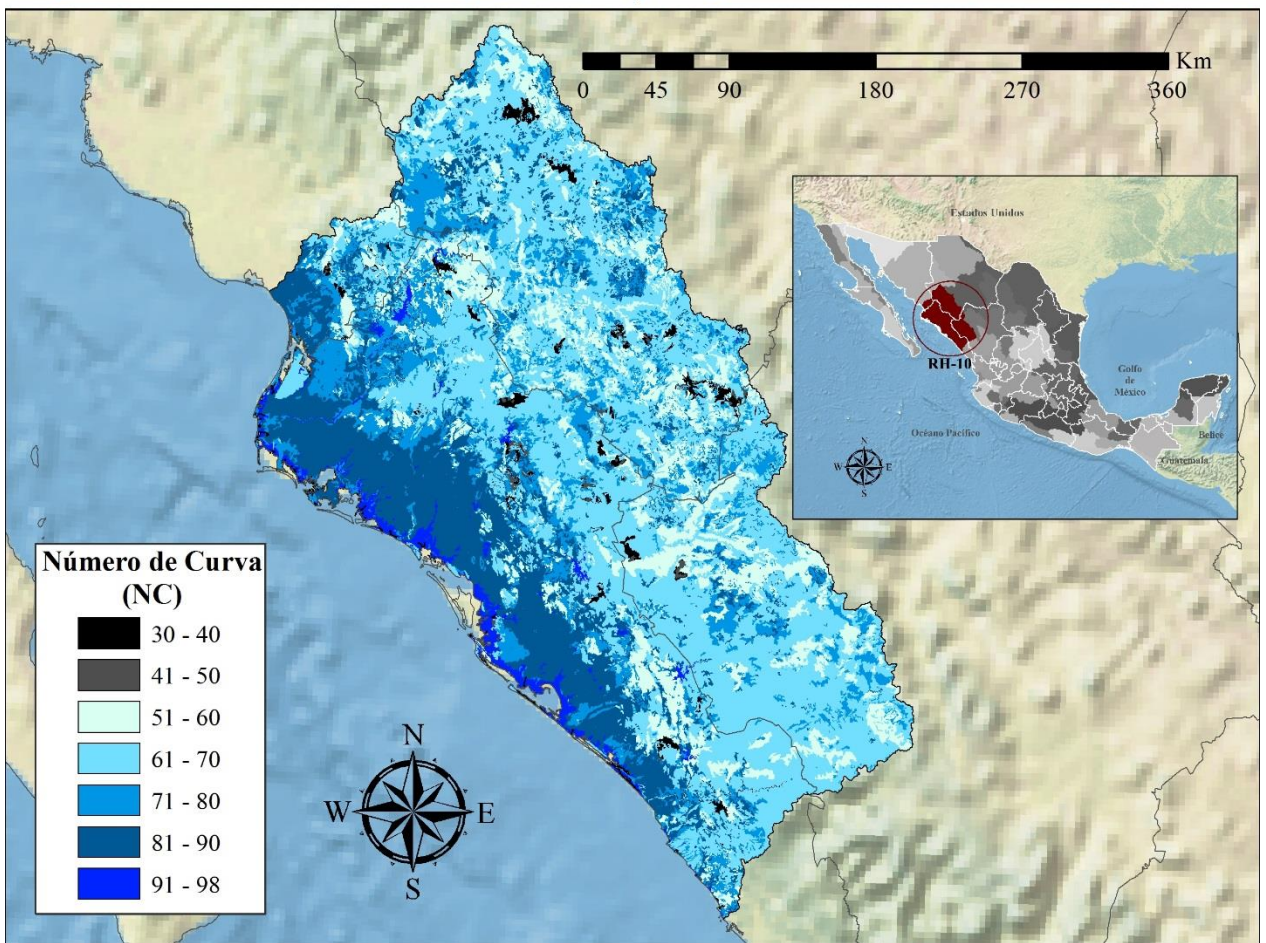
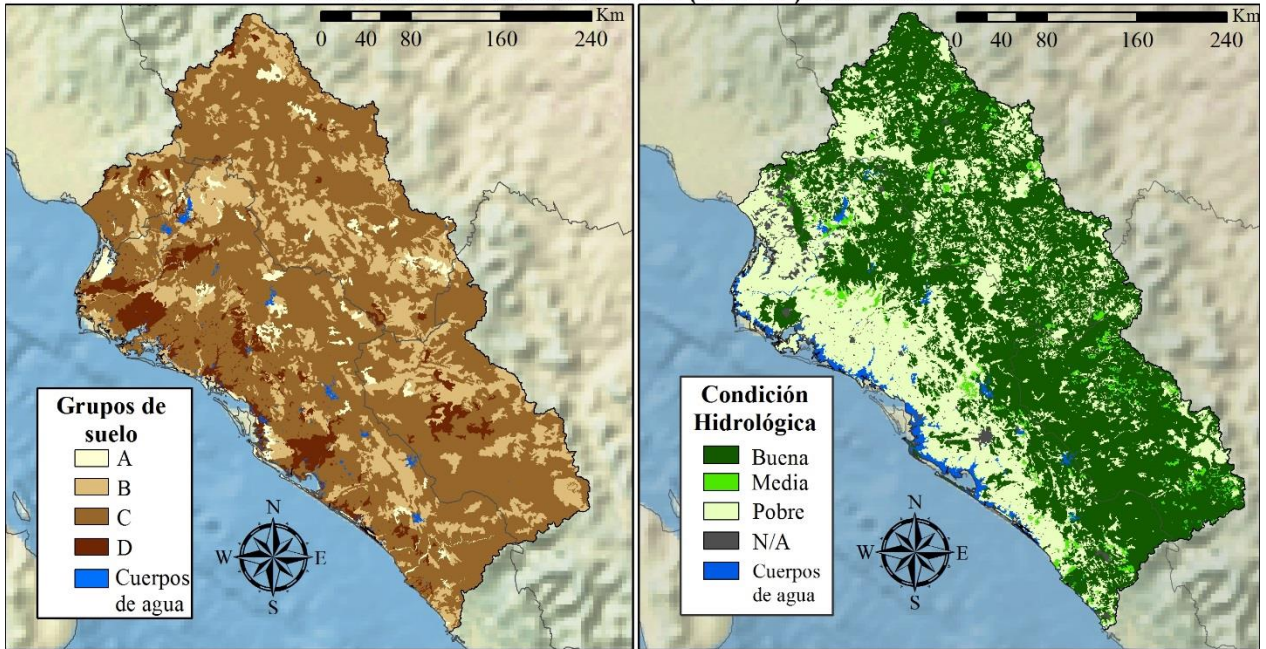
REGIÓN HIDROLÓGICA 8 (RH-8): SONORA NORTE



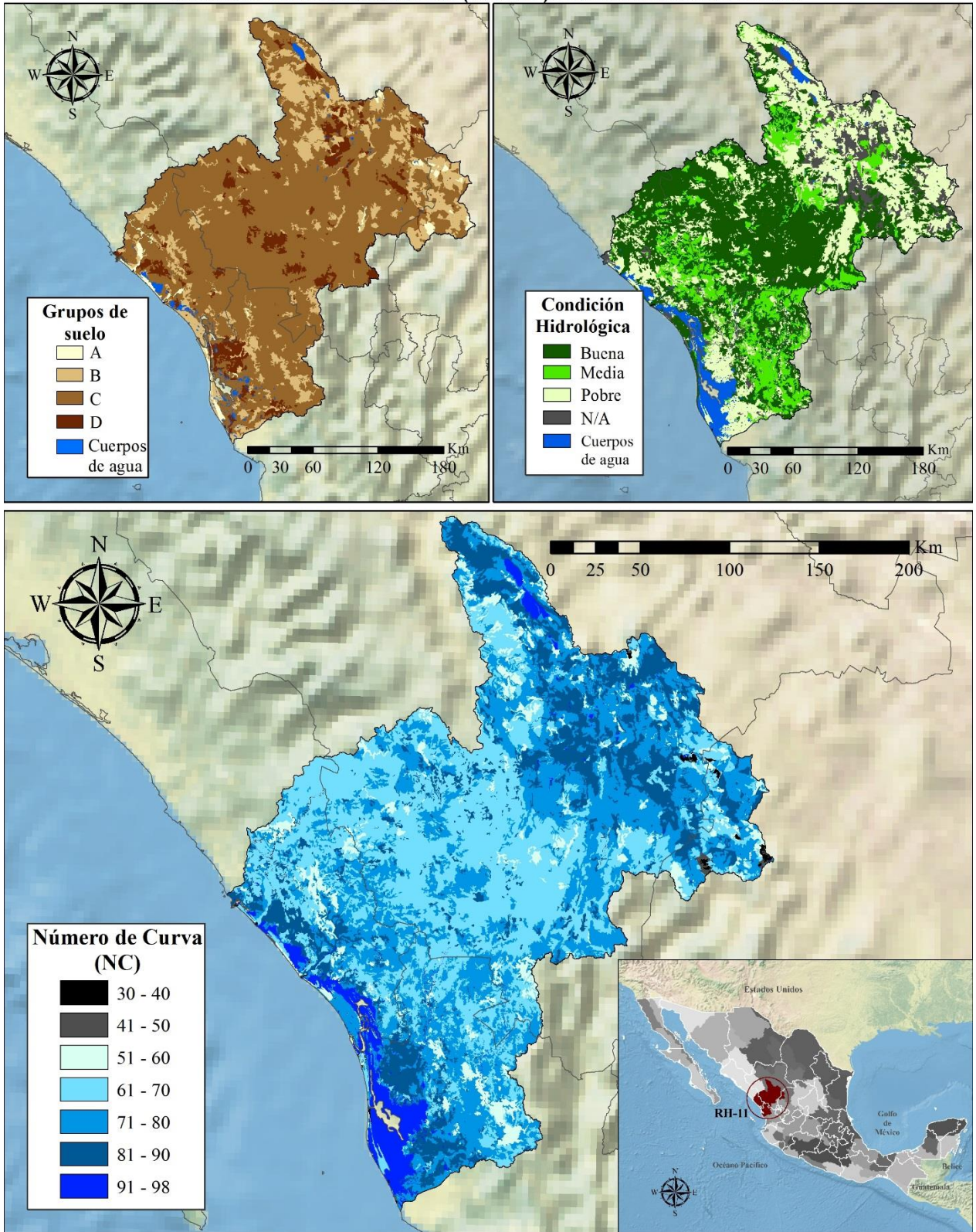
REGIÓN HIDROLÓGICA 9 (RH-9): SONORA SUR



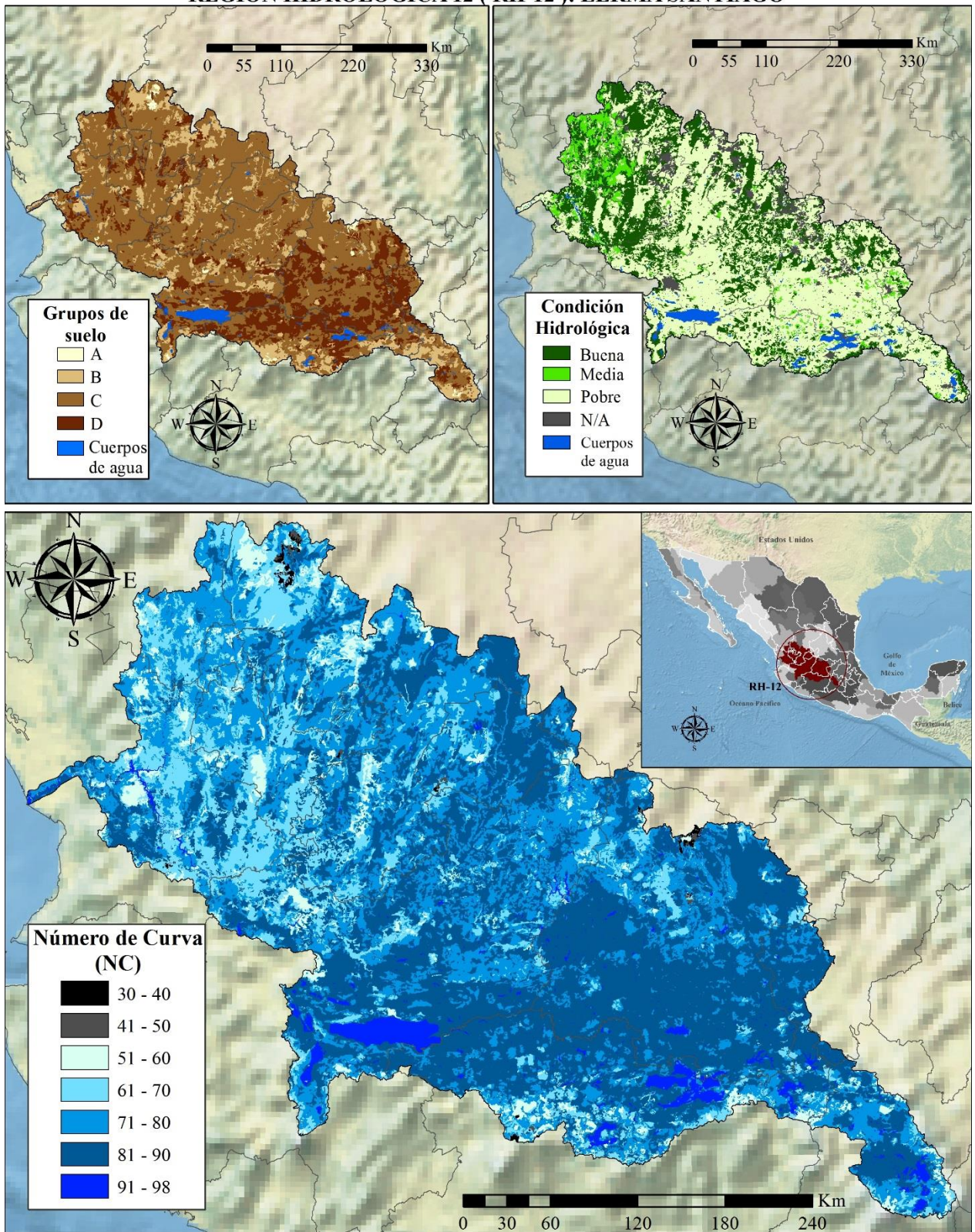
REGIÓN HIDROLÓGICA 10 (RH-10): SINALOA



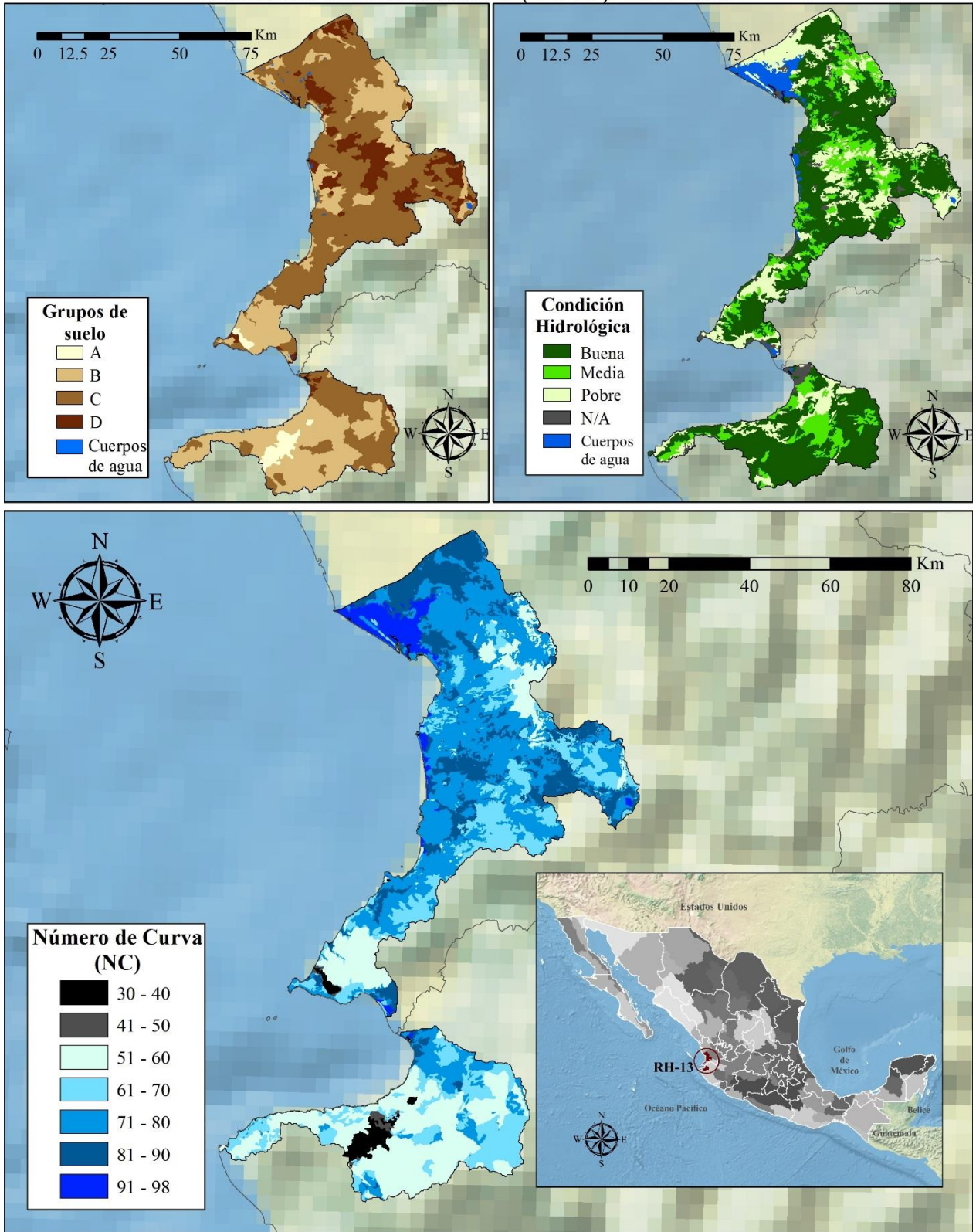
REGIÓN HIDROLÓGICA 11 (RH-11): PRESIDIO SAN PEDRO



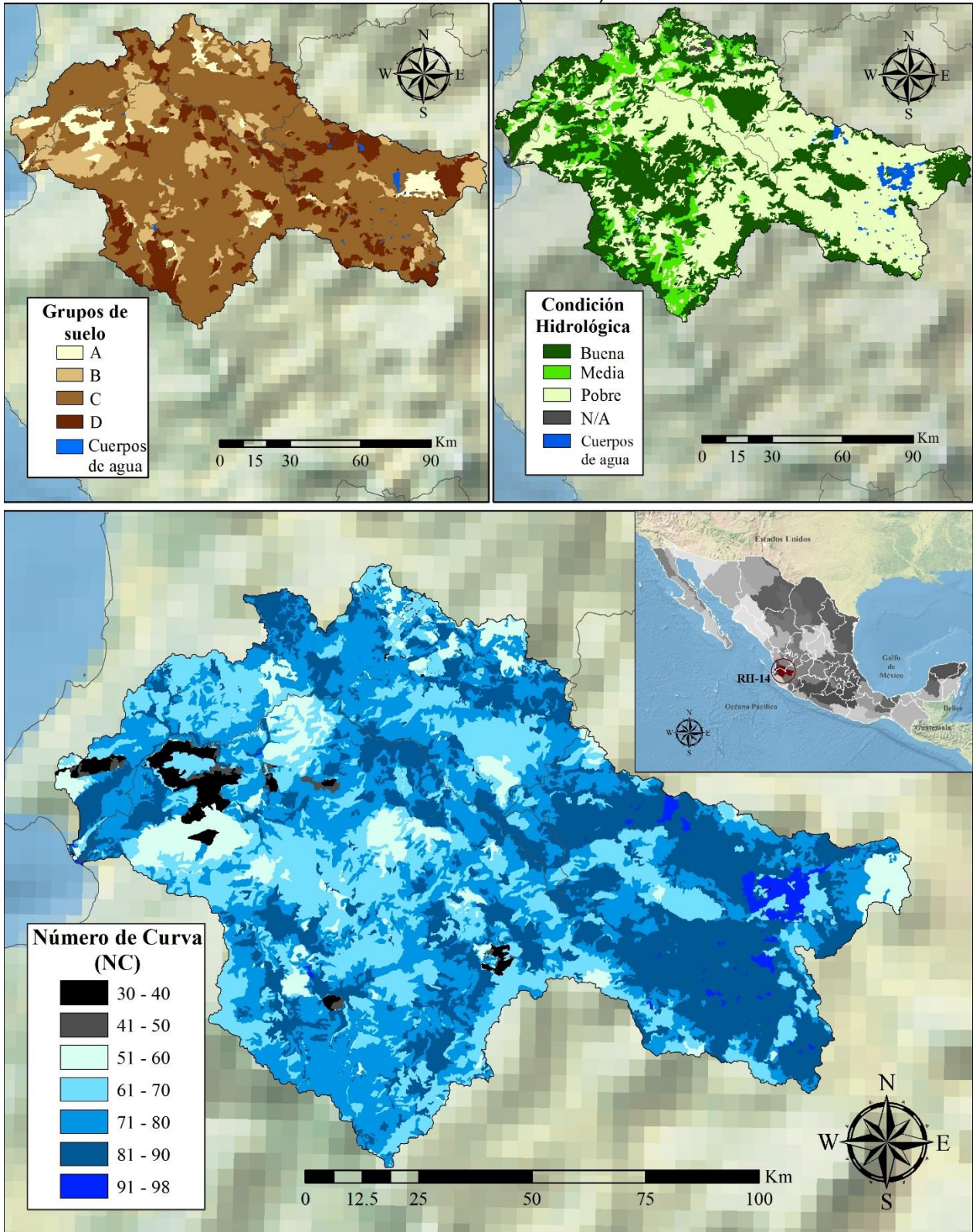
REGIÓN HIDROLÓGICA 12 (RH-12): LERMA SANTIAGO



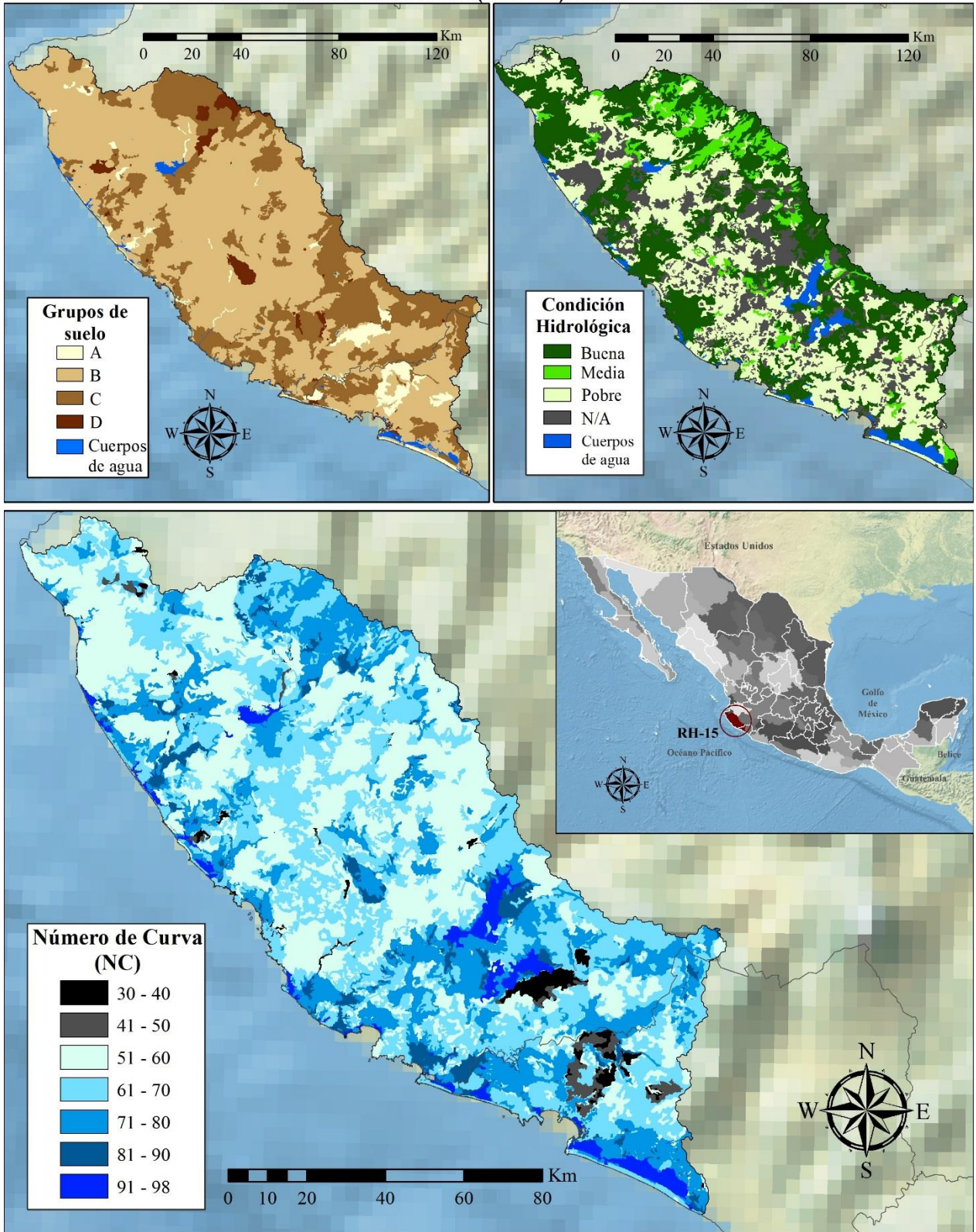
REGIÓN HIDROLÓGICA 13 (RH-13): HUICICILA



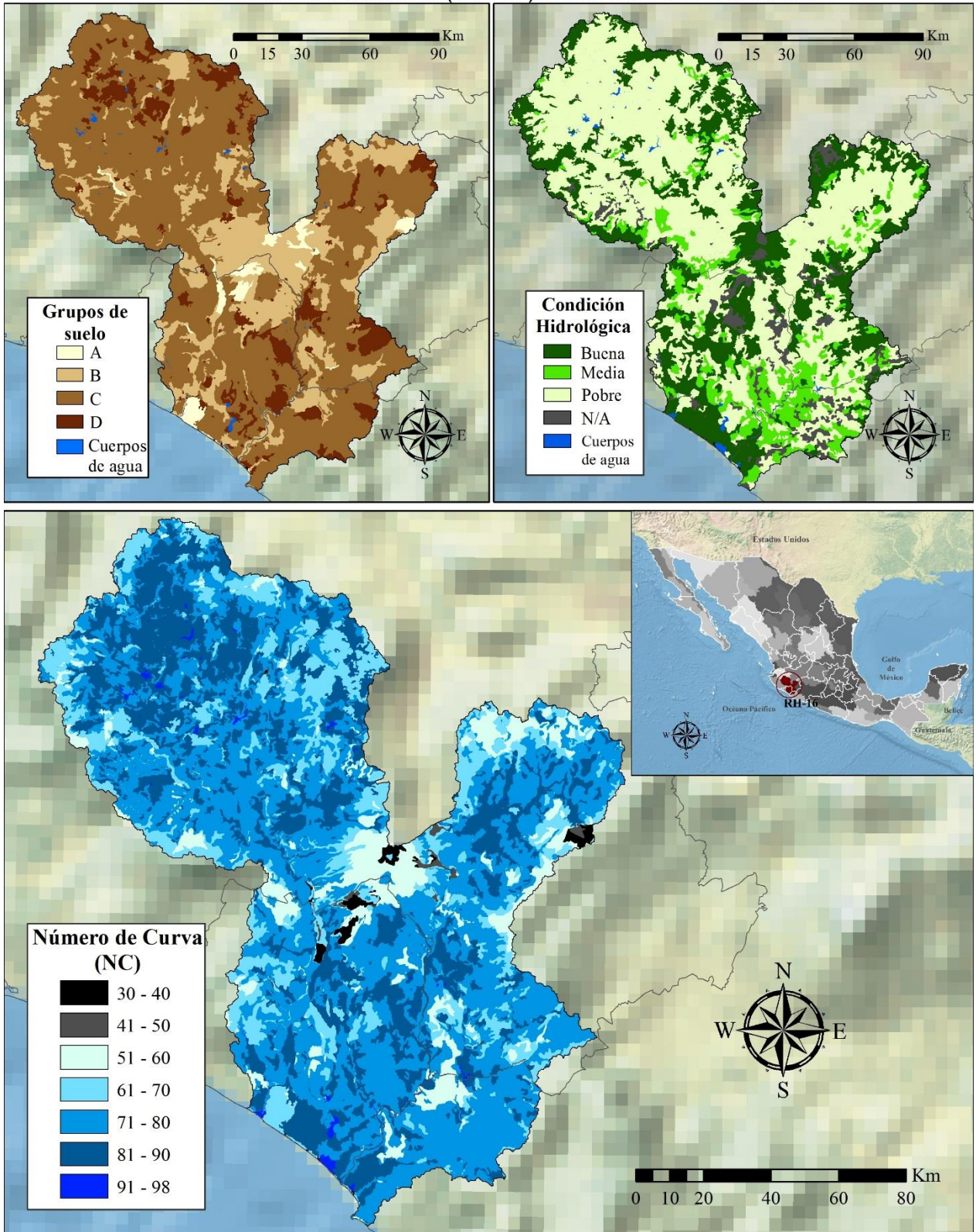
REGIÓN HIDROLÓGICA 14 (RH-14): RIO AMECA



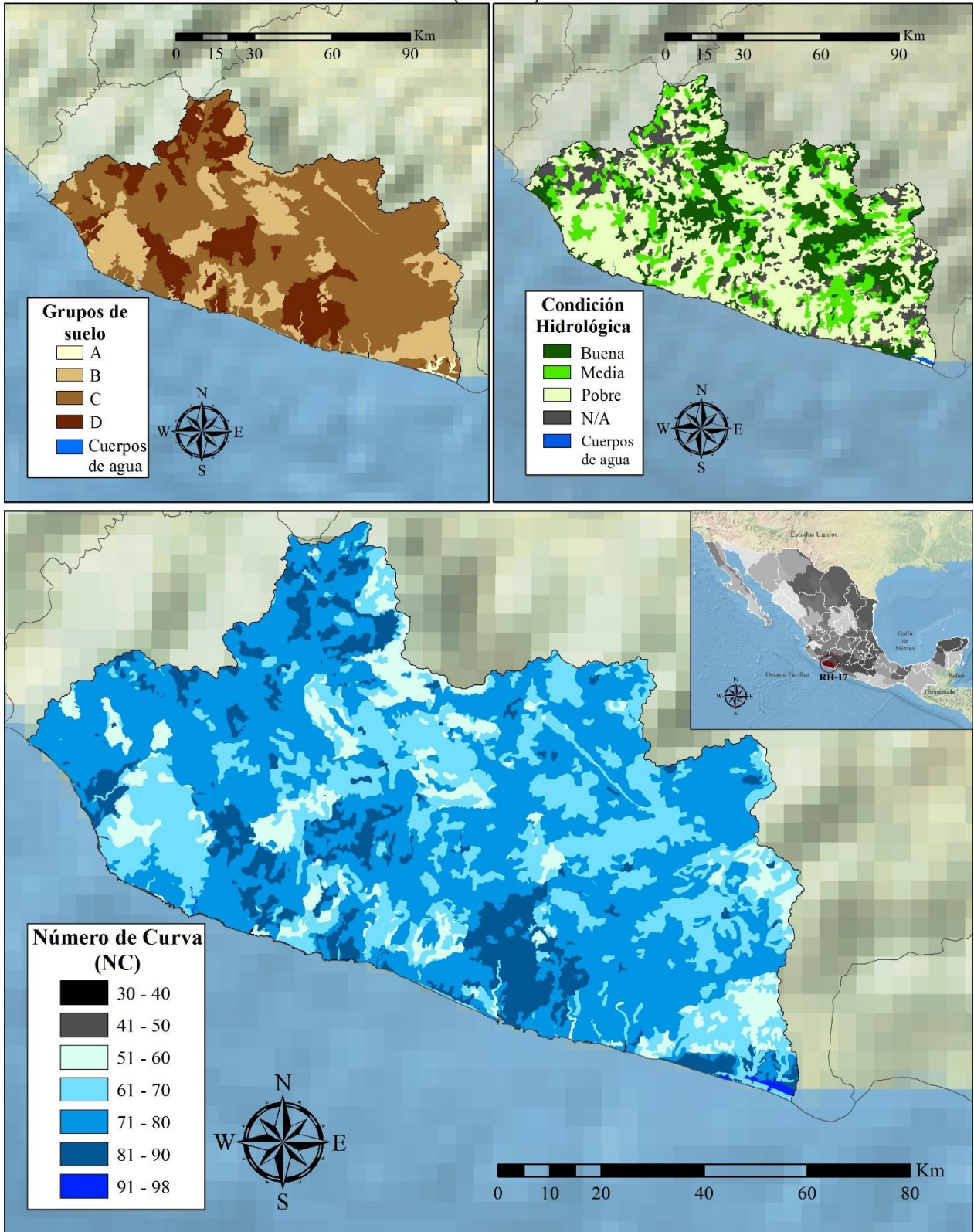
REGIÓN HIDROLÓGICA 15 (RH-15): COSTA DE JALISCO



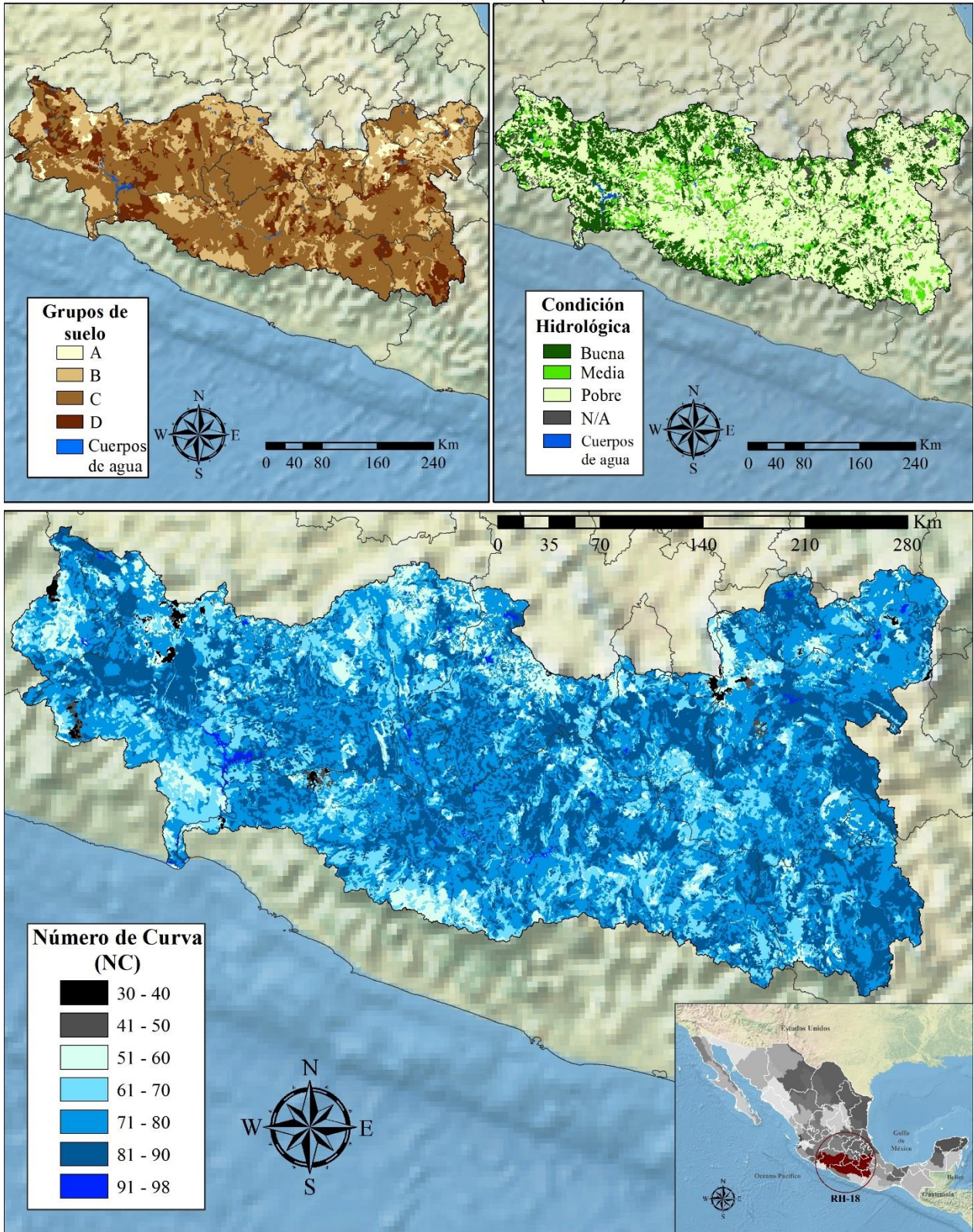
REGIÓN HIDROLÓGICA 16 (RH-16): ARMERIA-COAHUAYANA



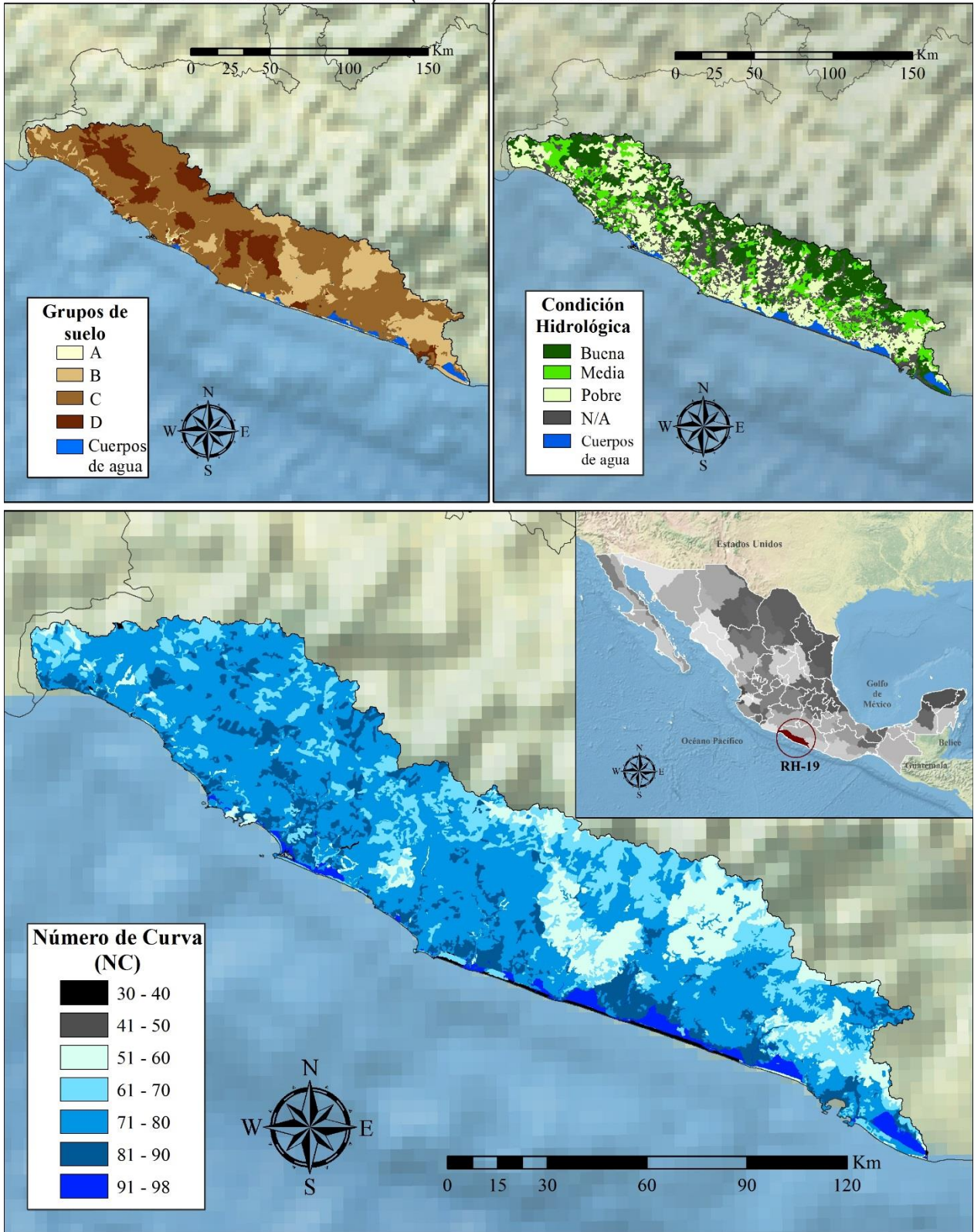
REGIÓN HIDROLÓGICA 17 (RH-17): COSTA DE MICHOACÁN



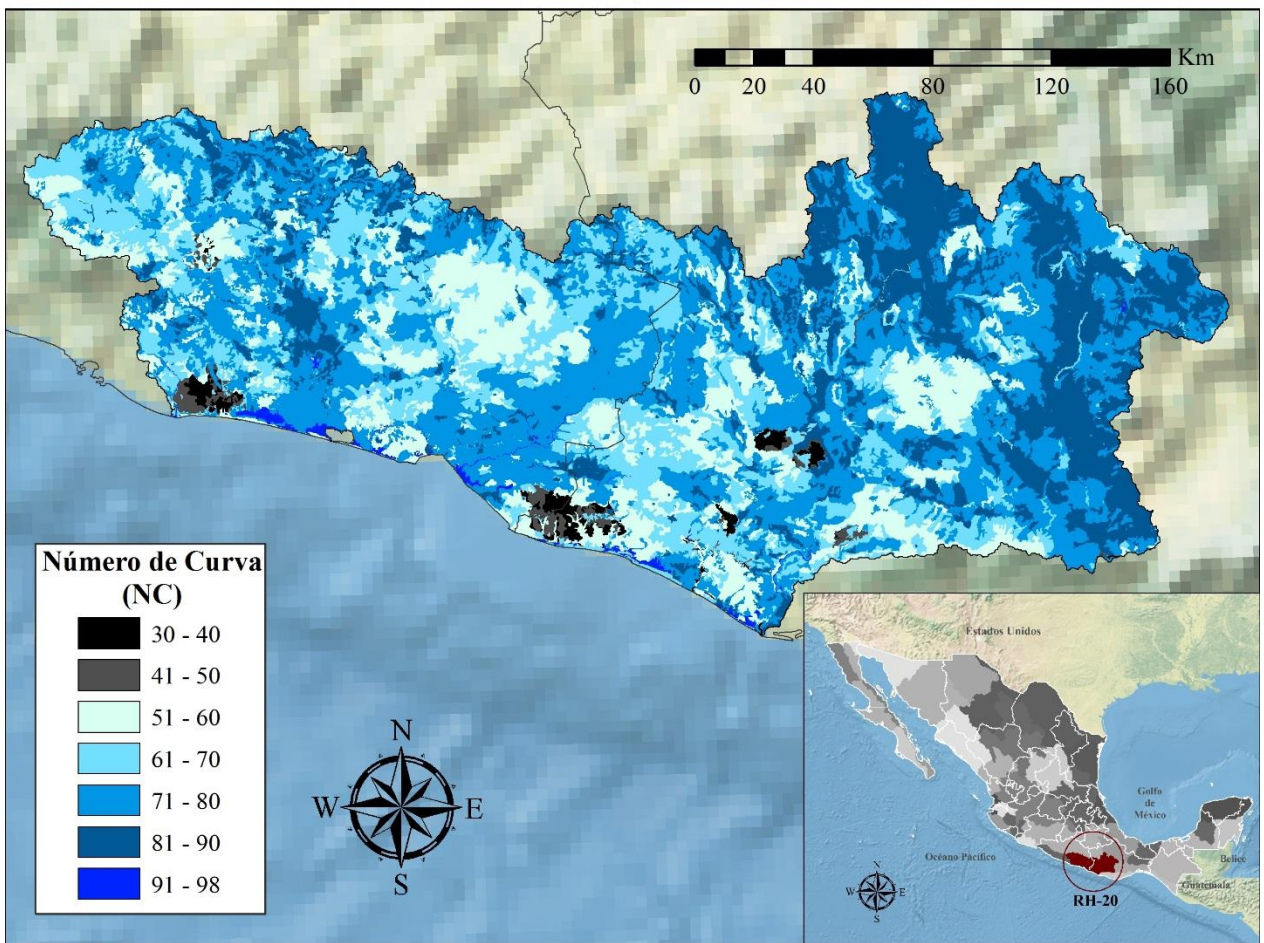
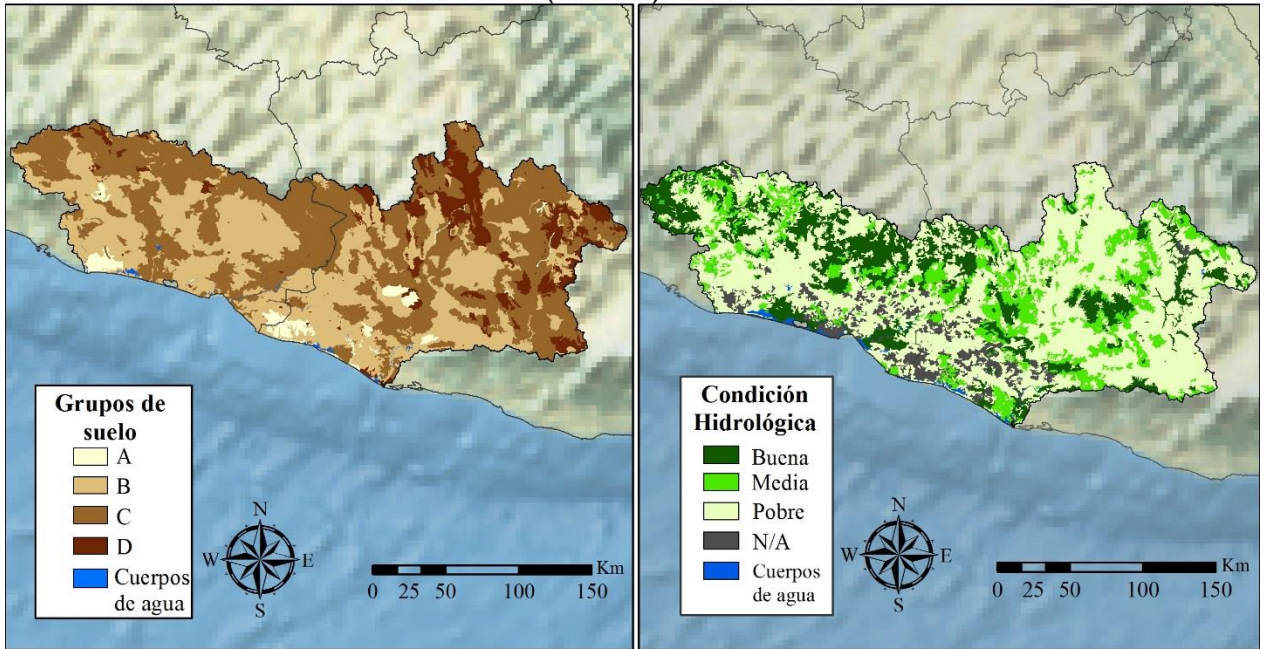
REGIÓN HIDROLÓGICA 18 (RH-18): BALSAS



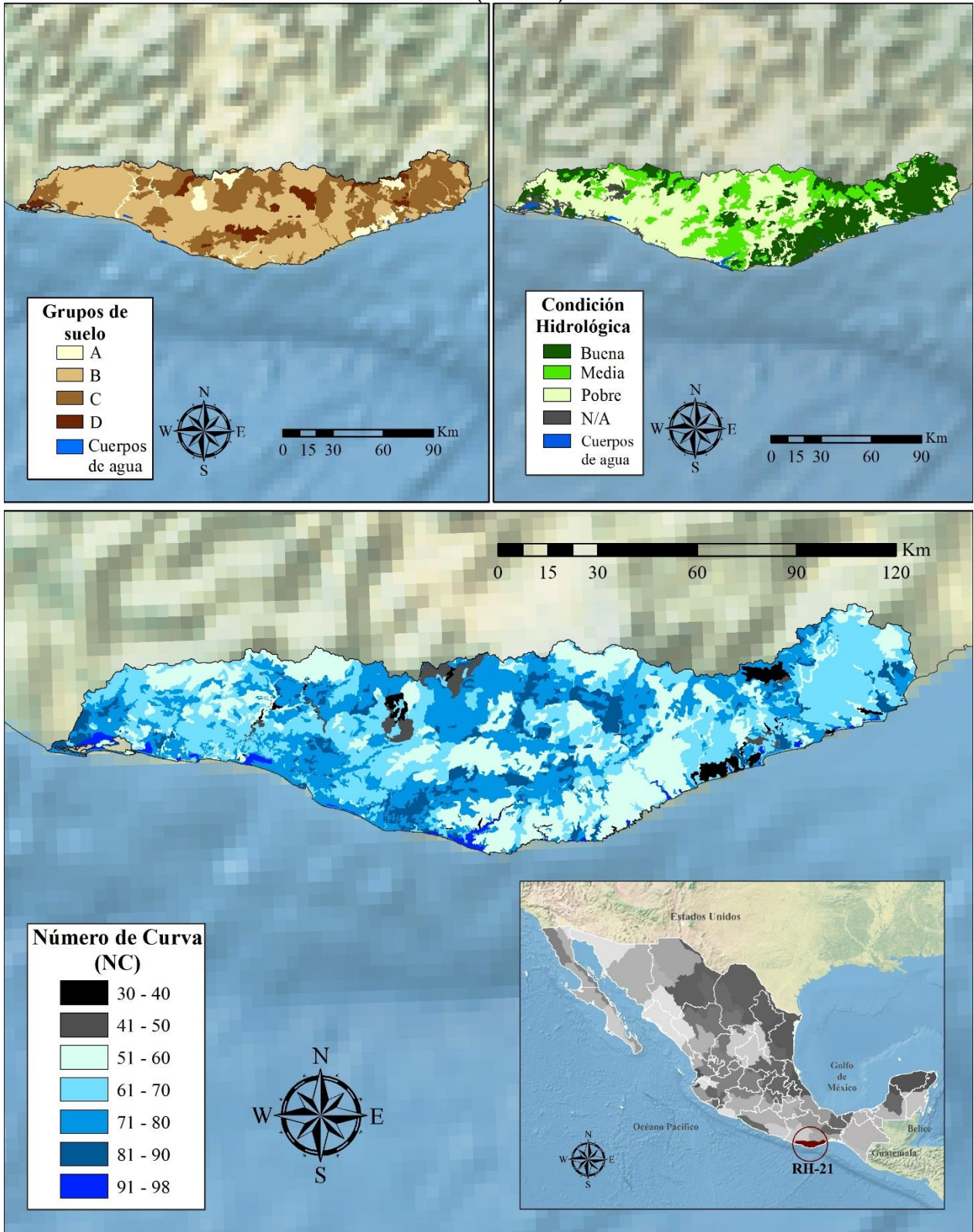
REGIÓN HIDROLÓGICA 19 (RH-19): COSTA GRANDE DE GUERRERO



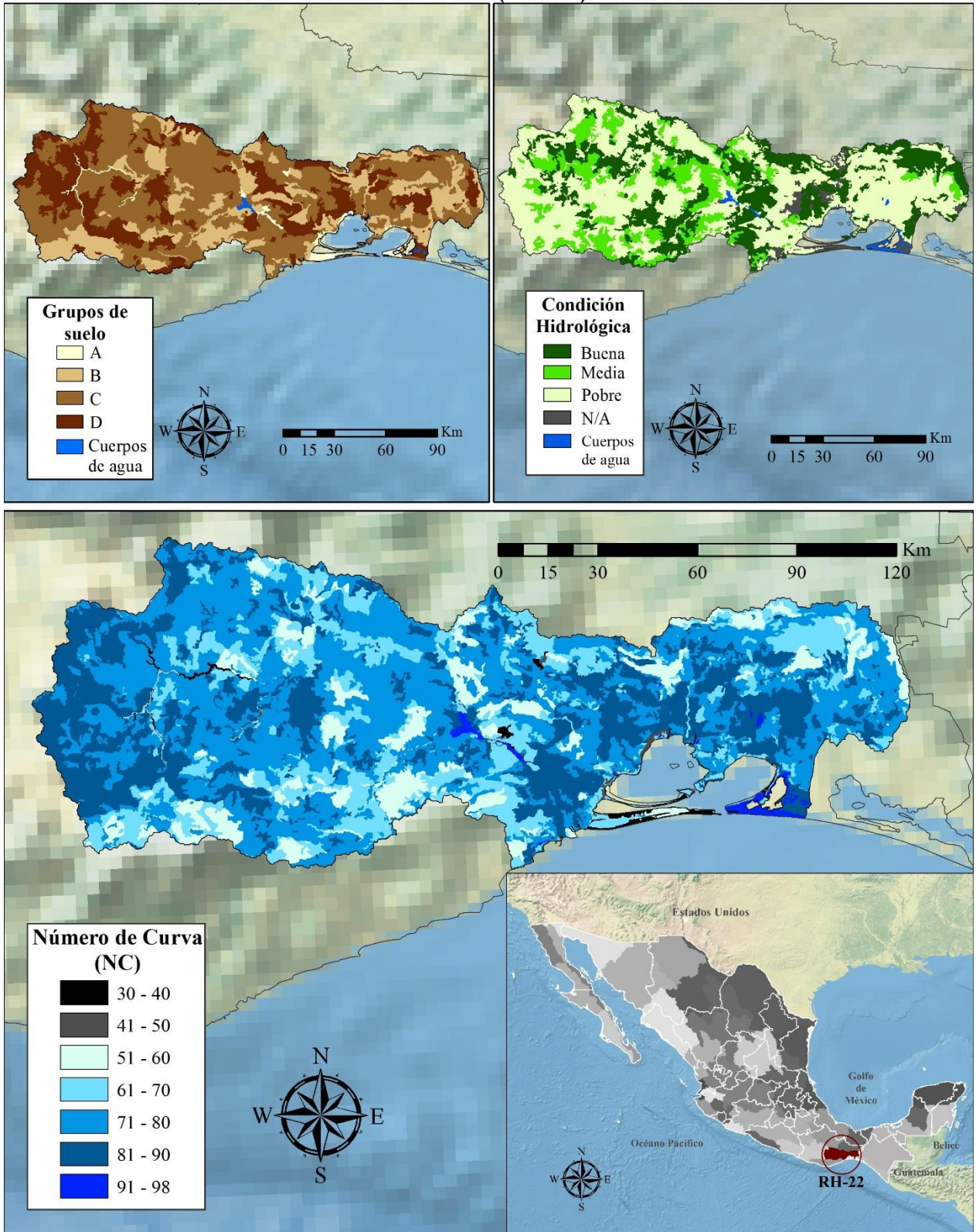
REGIÓN HIDROLÓGICA 20 (RH-20): COSTA CHICA DE GUERRERO



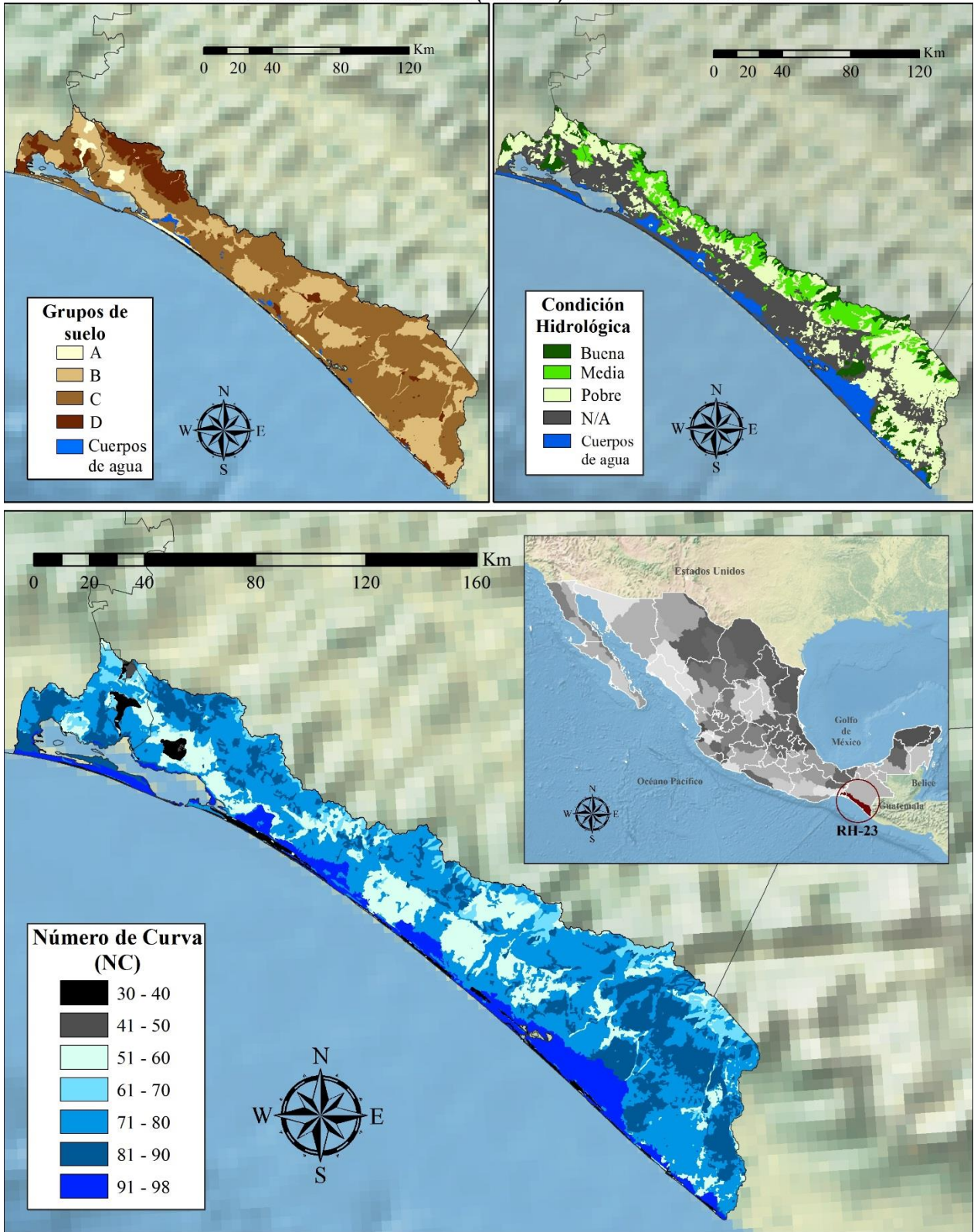
REGIÓN HIDROLÓGICA 21 (RH-21): COSTA DE OAXACA



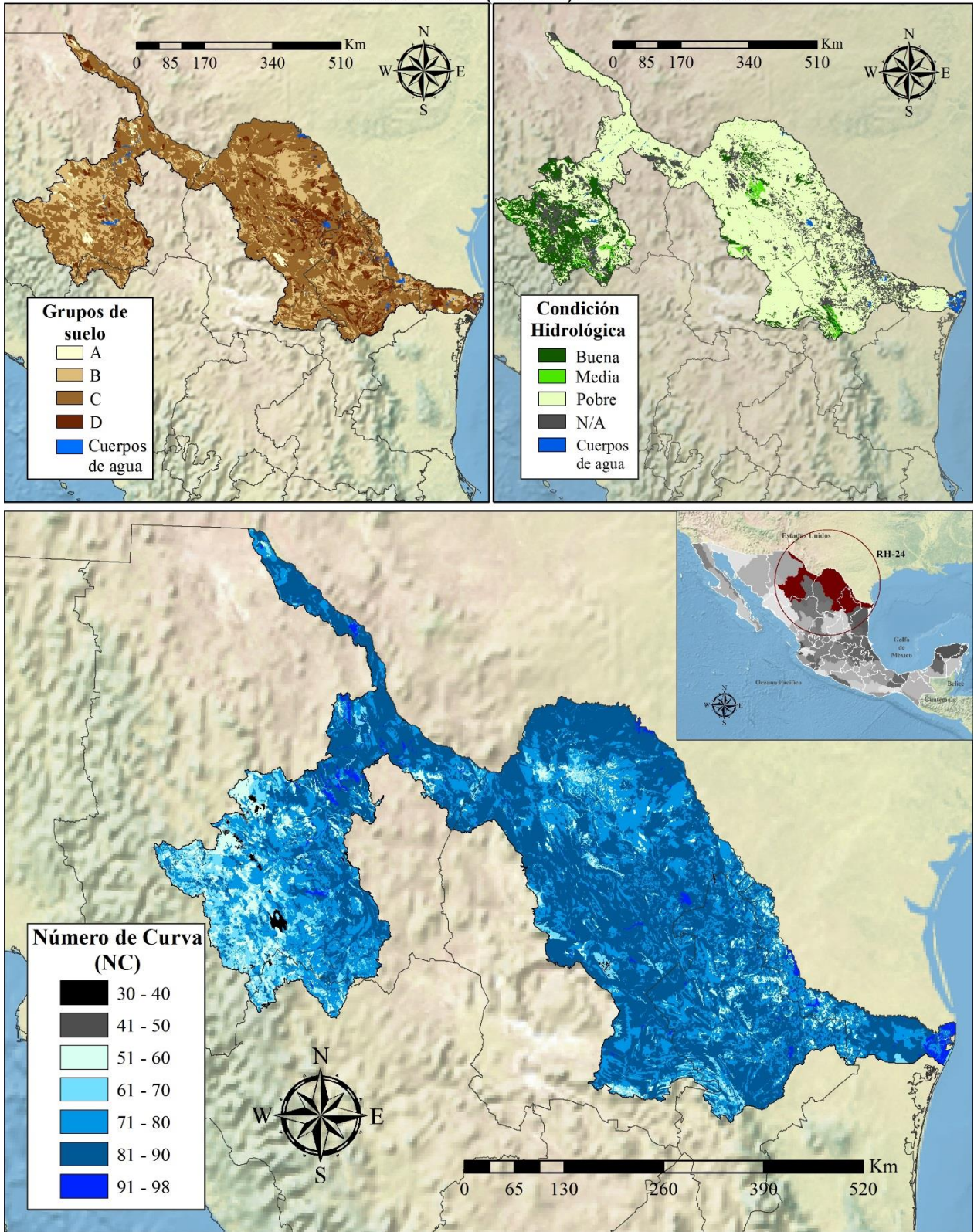
REGIÓN HIDROLÓGICA 22 (RH-22): TEHUANTEPEC



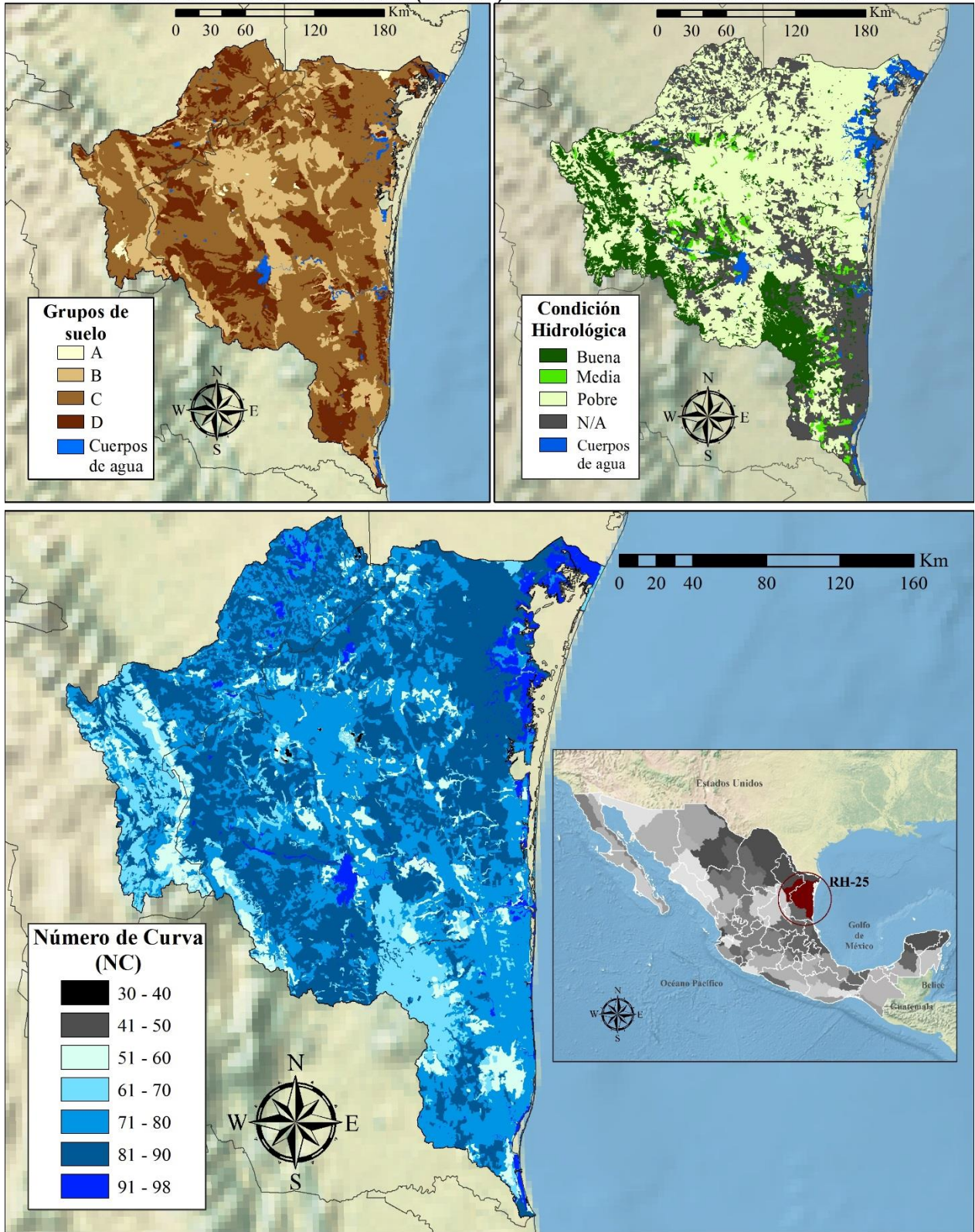
REGIÓN HIDROLÓGICA 23 (RH-23): COSTA DE CHIAPAS



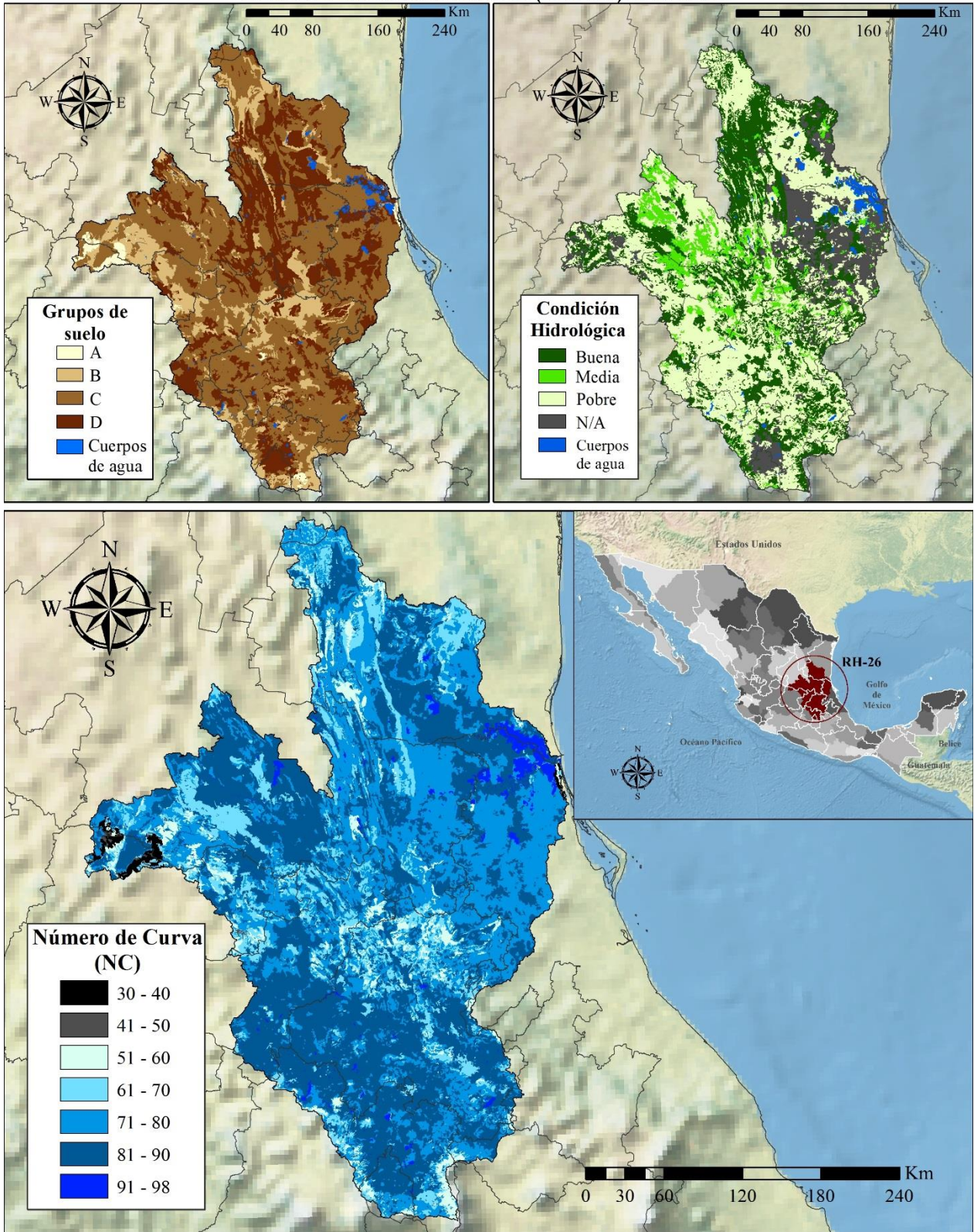
REGIÓN HIDROLÓGICA 24 (RH-24): BRAVO CONCHOS



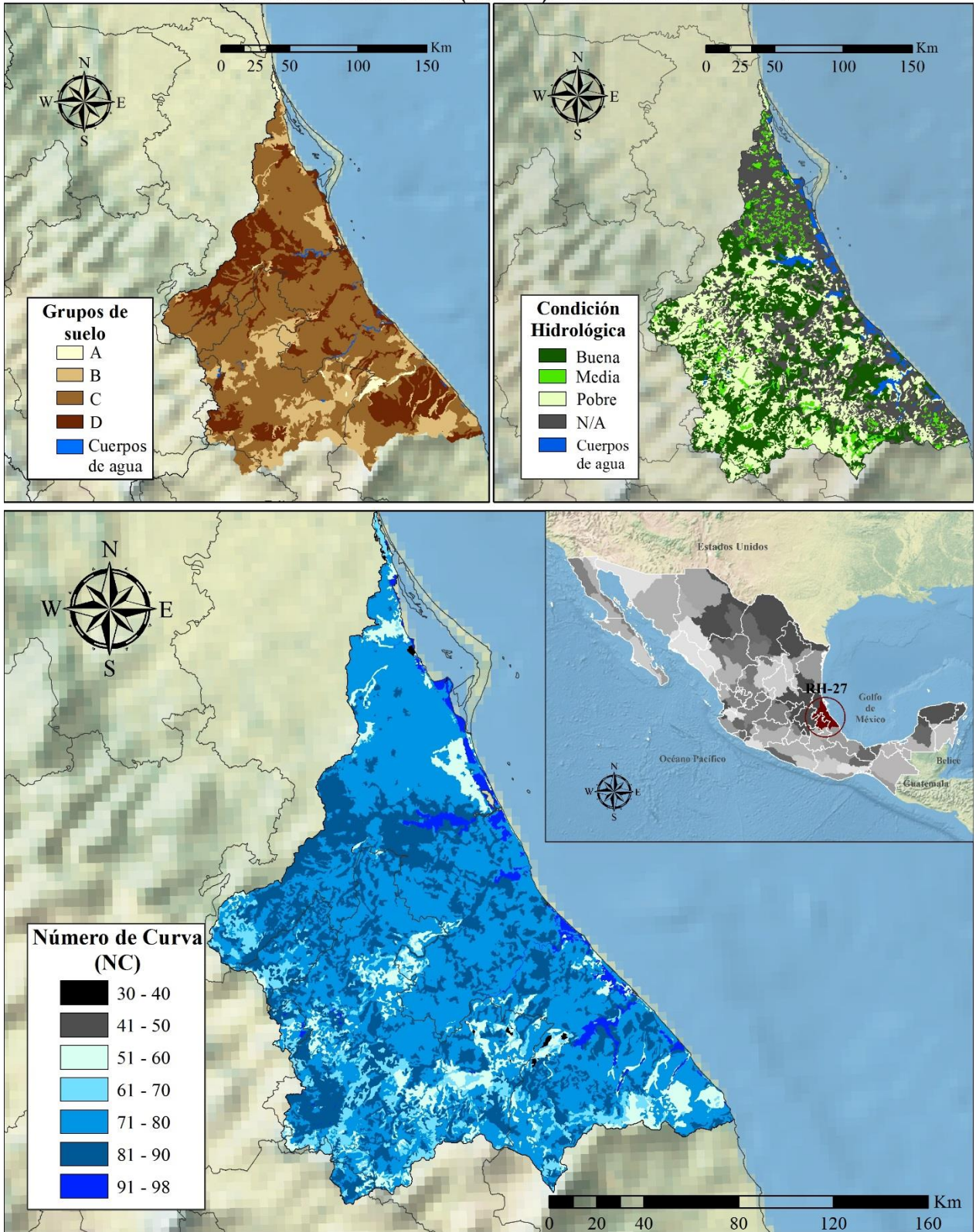
REGIÓN HIDROLÓGICA 25 (RH-25): SAN FERNANDO SOTO LA MAR



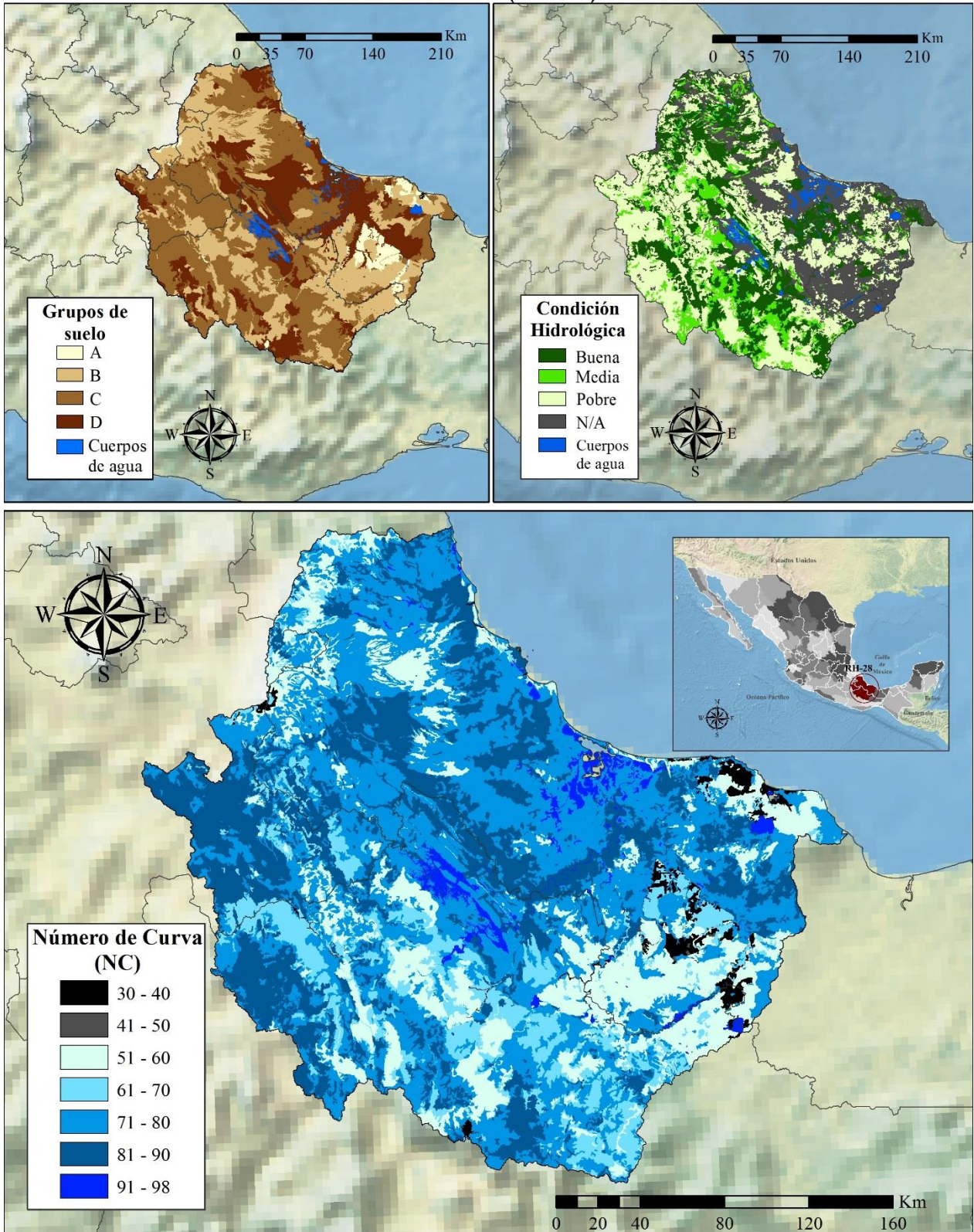
REGIÓN HIDROLÓGICA 26 (RH-26): PÁNUCO



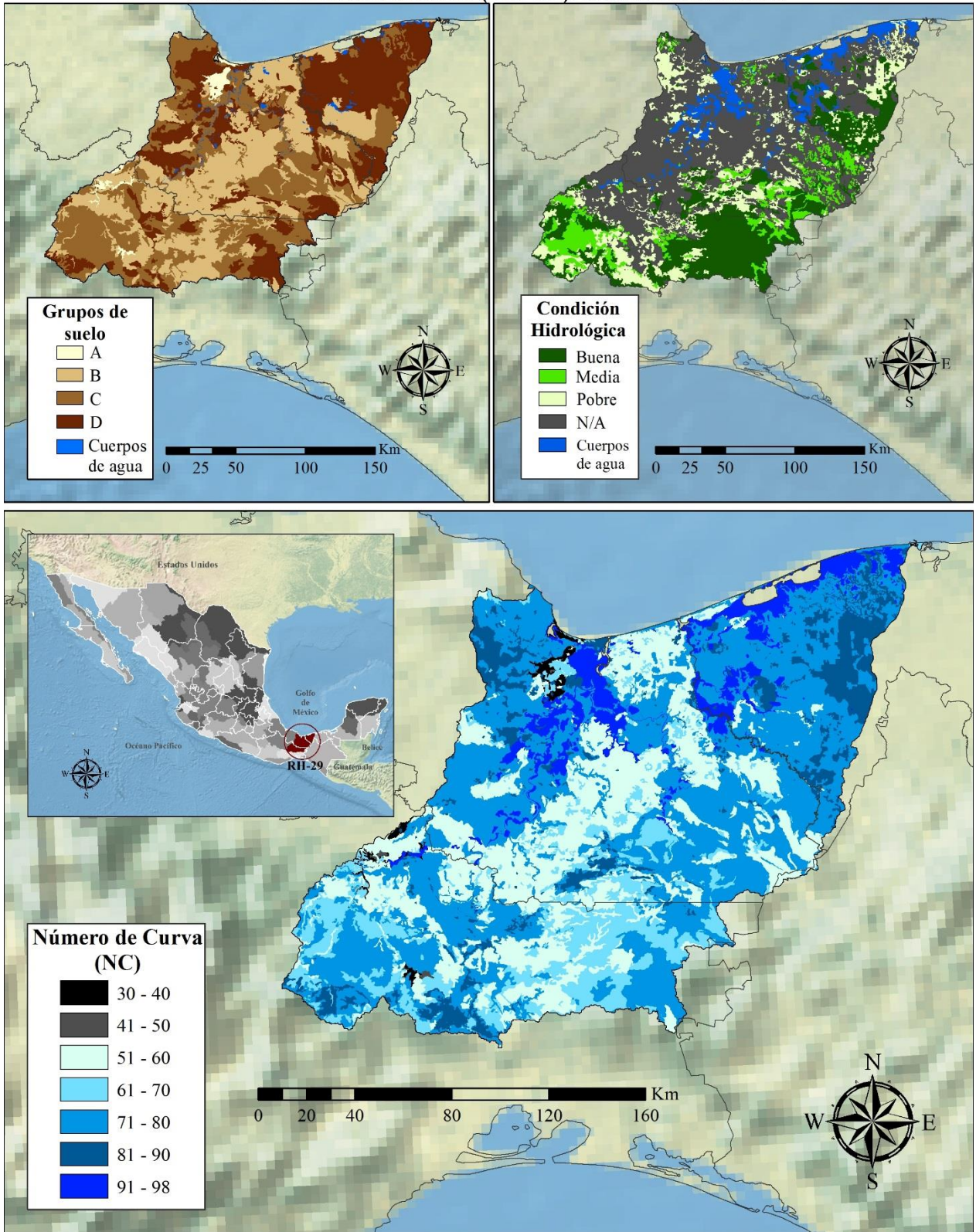
REGIÓN HIDROLÓGICA 27 (RH-27): NORTE DE VERACRUZ



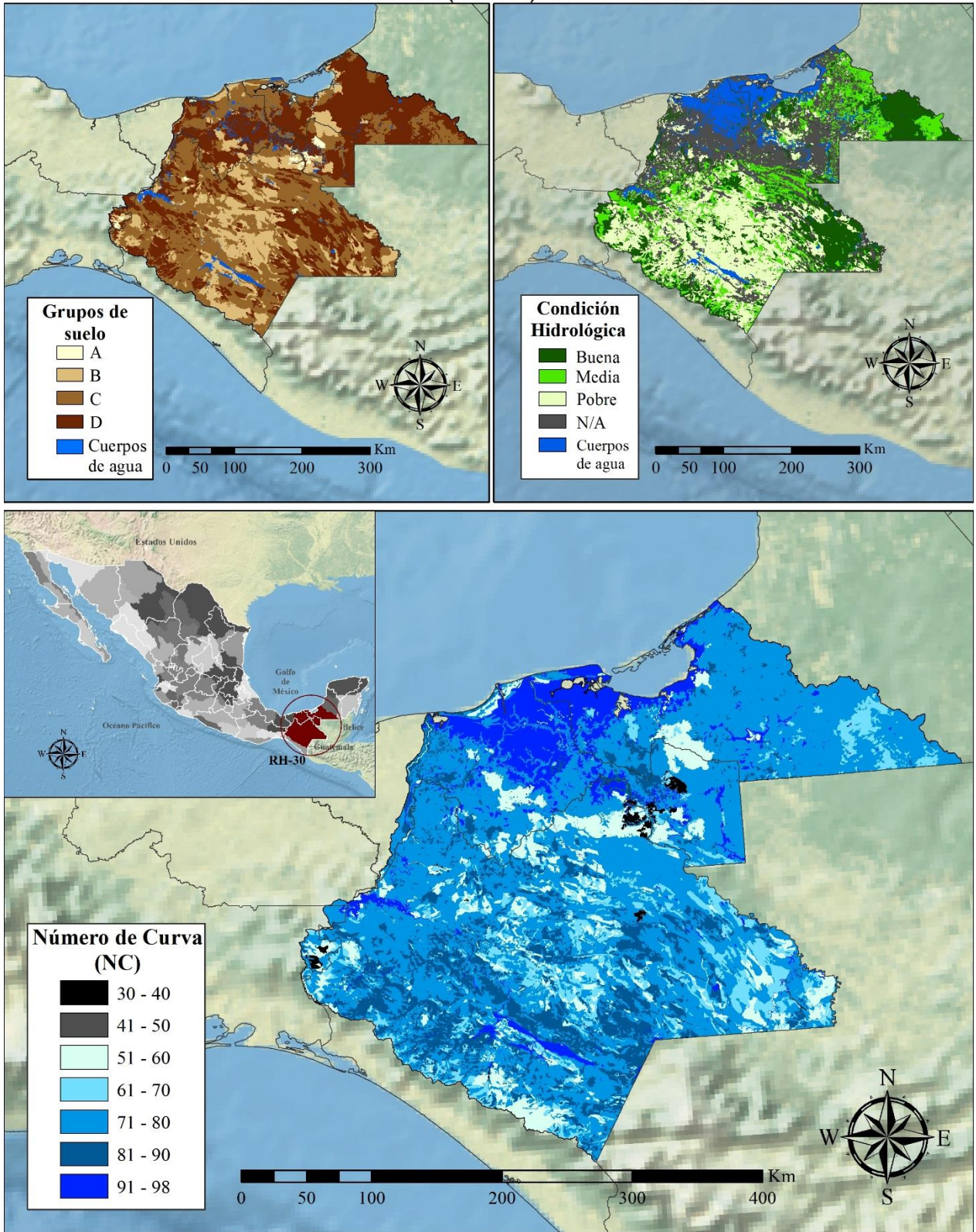
REGIÓN HIDROLÓGICA 28 (RH-28): PAPALOAPAN



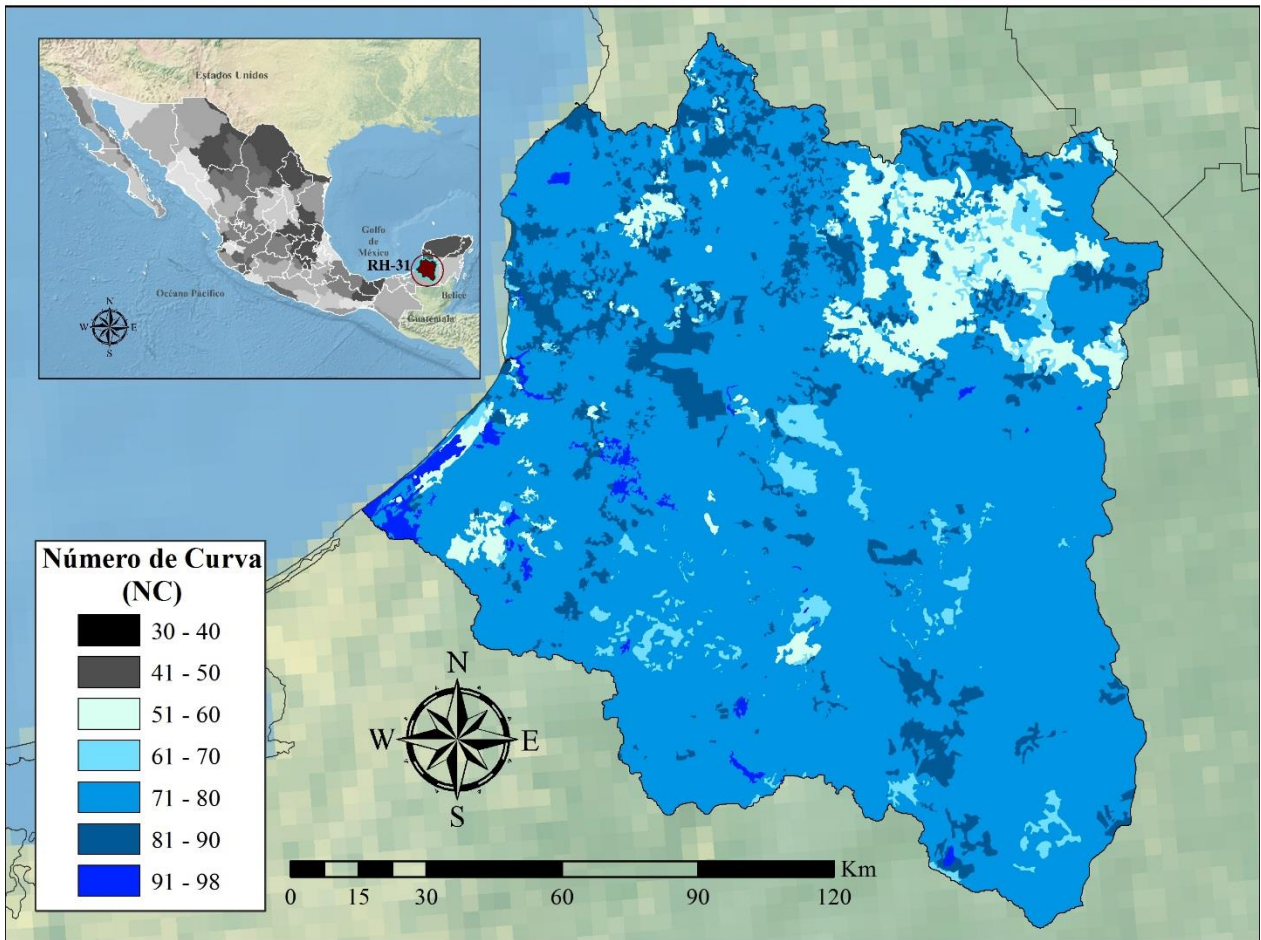
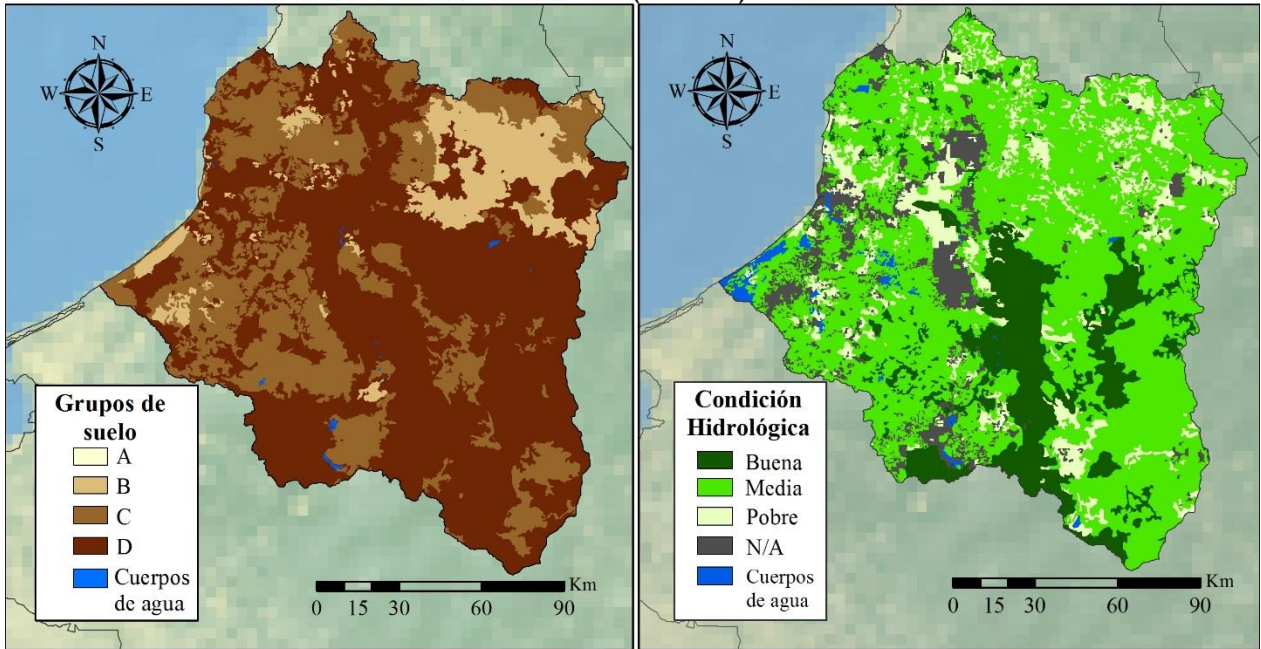
REGIÓN HIDROLÓGICA 29 (RH-29): COATZACOALCOS



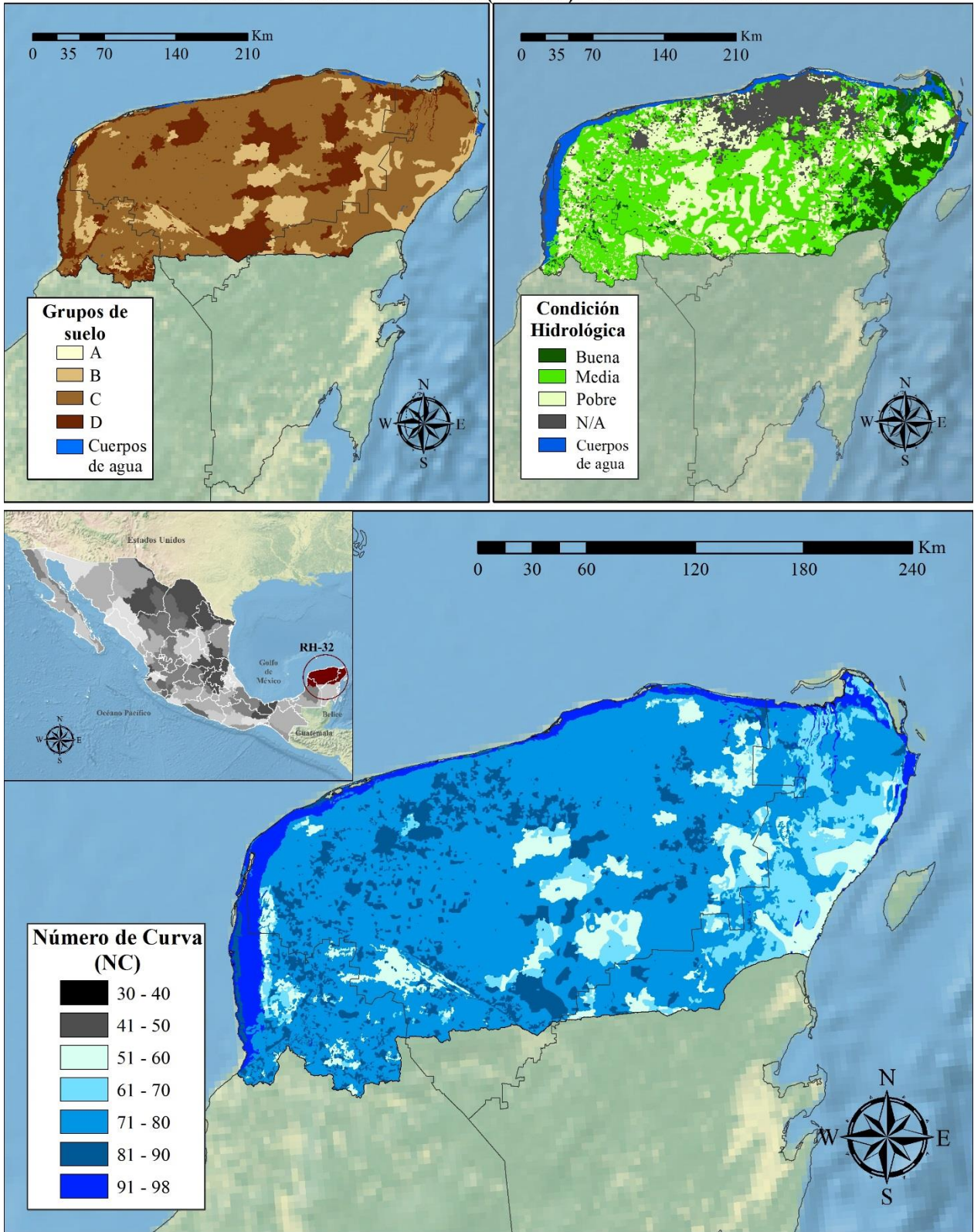
REGIÓN HIDROLÓGICA 30 (RH-30): GRIJALVA-USUMACINTA



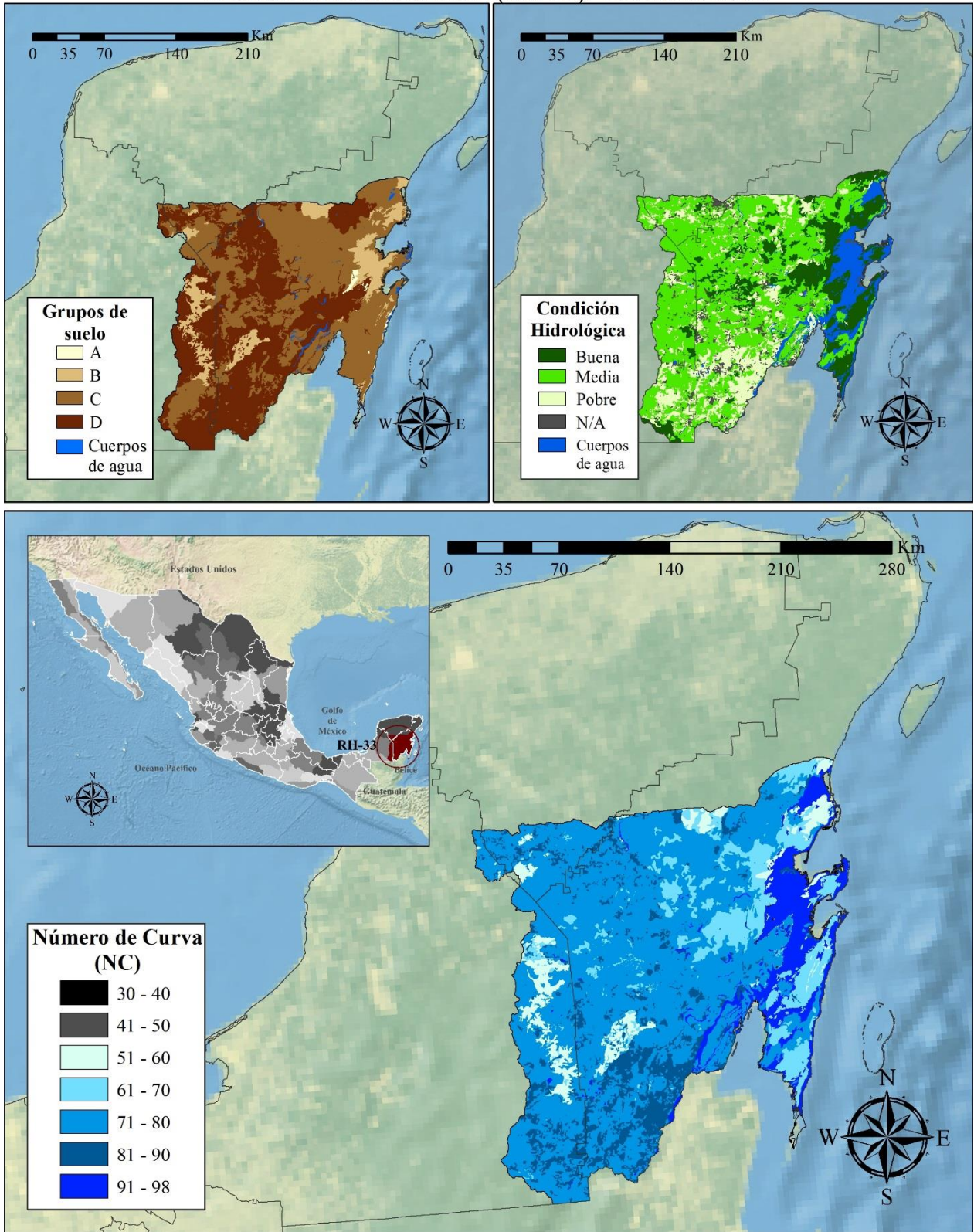
REGIÓN HIDROLÓGICA 31 (RH-31): YUCATÁN OESTE



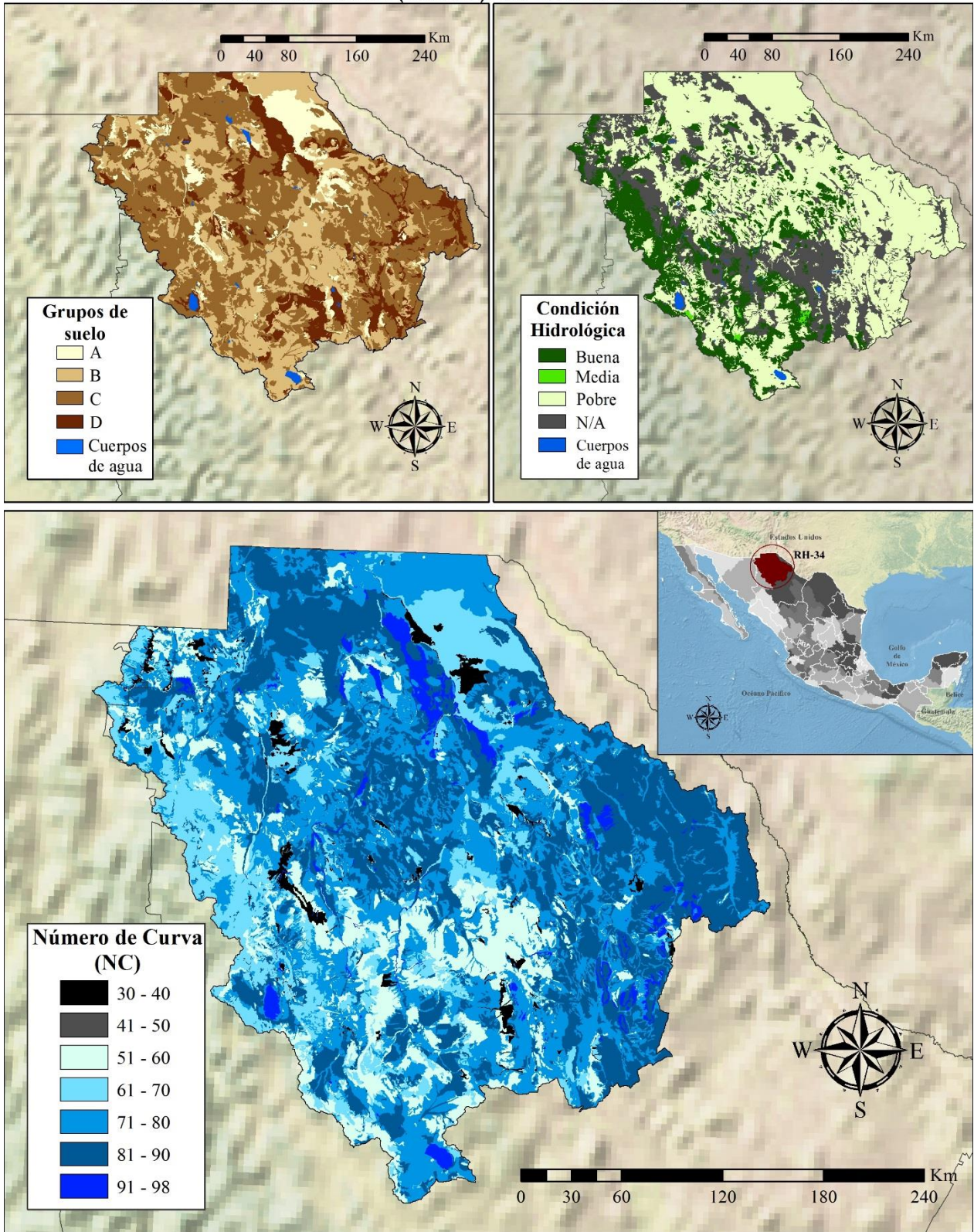
REGIÓN HIDROLÓGICA 32 (RH-32): YUCATÁN NORTE



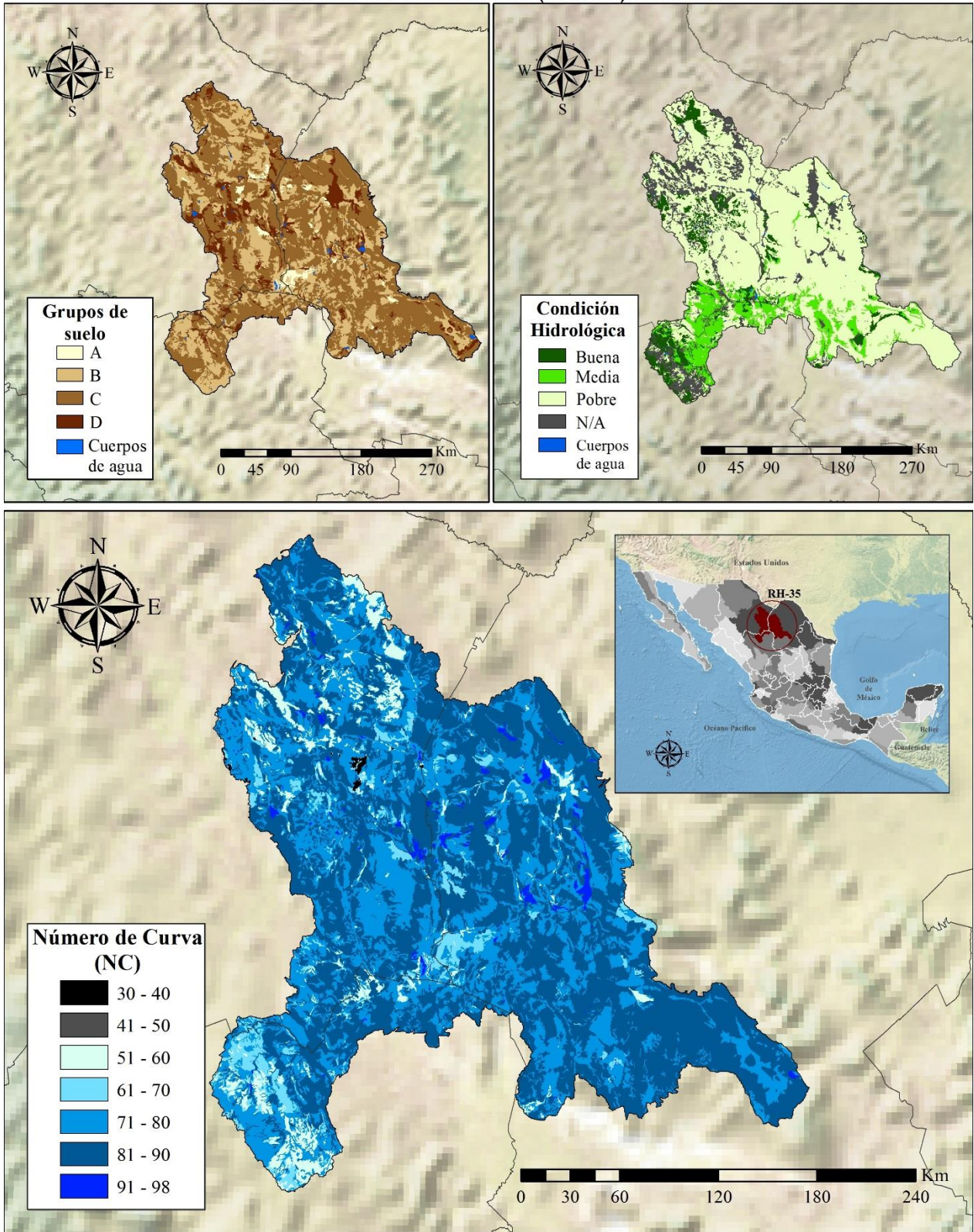
REGIÓN HIDROLÓGICA 33 (RH-33): YUCATÁN ESTE



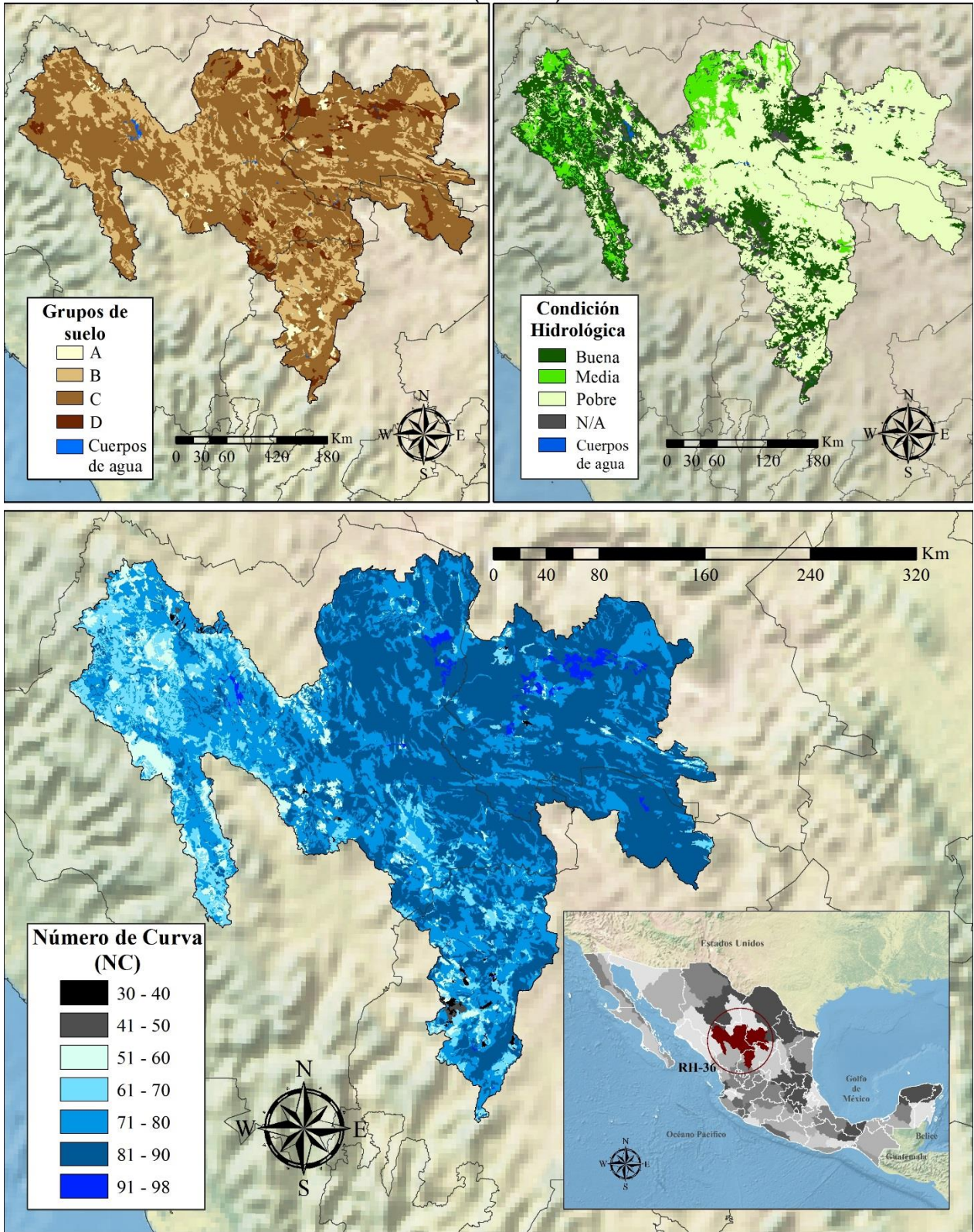
REGIÓN HIDROLÓGICA 34 (RH-34): CUENCAS CERRADAS DEL NORTE



REGIÓN HIDROLÓGICA 35 (RH-35): MAPIMI



REGIÓN HIDROLÓGICA 36 (RH-36): NAZAS AGUANAVAL



REGIÓN HIDROLÓGICA 37 (RH-37): EL SALADO

