



# UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales  
Departamento de Geología

USO DE VEHÍCULOS AÉREOS NO  
TRIPULADOS Y FOTOGRAMETRÍA DIGITAL  
EN EL ESTUDIO DE INUNDACIÓN EN UNA  
ZONA URBANA: CASO ARROYO LOS  
OLIVOS, HERMOSILLO, SONORA

## TESIS

Para obtener el Título de  
Geólogo

Departamento de Geología



**P R E S E N T A:**

**Ana Sofía García Yeomans**

**Hermosillo, Sonora, Febrero del 2017**

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por ser mi guía, por haberme permitido llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional y por haberme dado salud para lograr mis objetivos.

A la Universidad de Sonora, en especial al Departamento de Geología por el espacio y medios proporcionados para el desarrollo de este trabajo y por abrirme sus puertas para formarme profesionalmente.

Al M.C. Ismael Minjárez Sosa por aportarme sus valiosos conocimientos, por su paciencia, constancia y dedicación que me brindó en este trabajo.

A mi directora de tesis M.C. Alba Martínez Haros por impulsar el desarrollo de mi formación profesional, por sus consejos, dedicación, esfuerzo y sobretodo paciencia en este trabajo, además de brindarme su valiosa amistad.

Al M.C. Javier Valencia Saucedo por su tiempo, aportación de conocimientos e importante colaboración en este trabajo.

A Arturo Morales y Miguel Maldonado por su valiosa colaboración en el trabajo de campo.

A mis padres Rafael García y Cristina Yeomans por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida, por su ejemplo de sacrificio y esfuerzo, por ser mi fuente de motivación para superarme día con día, pero más que nada, por su amor.

A mis hermanos Rafael, Mayra y Karla que siempre han estado junto a mí, apoyándome en todo momento, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

A José Armijo por ser mi compañero en todo momento, por apoyarme incondicionalmente y ser parte esencial en mi formación académica y personal.

A Alán Hernández y Christian Guerrero por su amistad y por acompañarme en todo el trayecto de mi carrera.

A María Méndez, Sofía Haro y Karla Botello por apoyarme siempre, por ser mis confidentes y por estar presentes en todos mis logros y en los momentos difíciles.

## DEDICATORIA

*Este trabajo está dedicado a mis padres **Rafael García** y **Cristina Yeomans**, pilares fundamentales en mi vida, quienes desinteresadamente han depositado todo su apoyo y sacrificios para que pueda cumplir cada uno de mis sueños. Gracias por creer en mí.*

## RESUMEN

El presente trabajo muestra en un sentido amplio la utilidad de la fotogrametría digital utilizando un vehículo aéreo no tripulado para la realización de un estudio de peligro de inundación del área de estudio.

Utilizando un vehículo aéreo no tripulado y con el apoyo de puntos de control, se generó un levantamiento fotogramétrico sobre el área de estudio. Mediante un software especializado en procesamientos fotogramétricos fue posible la obtención de un modelo digital de elevación preciso, el cual sirvió como base para realizar una modelación de tránsito de avenidas. También se generó una ortofotografía, proporcionando la visualización del terreno. Posteriormente se elaboró un estudio hidrológico de la cuenca de estudio para determinar los gastos máximos en los períodos de retorno de 5, 10, 50 y 100 años.

Los datos fotogramétricos y los datos del estudio hidrológico se utilizaron para realizar una modelación de tránsito de avenidas, obteniendo como resultado mapas de inundación por períodos de retorno, ilustrando una simulación de láminas de inundación, en los cuales se muestra la altura de avenidas y el área afectada por el peligro.

El área de estudio se encuentra dentro de una cuenca urbana en el Arroyo Los Olivos, localizado al sur de la ciudad de Hermosillo, al poniente de la carretera Federal No. 15 (salida Hermosillo - Guaymas) a un costado del Cerro de Las Víboras. Presenta relieves muy suaves con elevaciones que van desde los 209 hasta los 250 msnm.

La modelación de tránsito de avenidas se realizó desde la calle Haciendas del Sur hasta llegar al Boulevard Libertad, esto a causa de la problemática que presenta el área, atribuida a la mala planeación del crecimiento urbano, la falta de cultura de limpieza y la deficiencia de infraestructura adecuada para la prevención y protección de eventos de inundación.

Los mapas de inundación indican que el peligro por altura de inundación es más intenso entre la calle Azalia hasta el Boulevard Libertad, ubicadas aguas abajo del cauce principal, esto debido a que la topografía en esta parte del cauce es más estrecha y profunda. Sin embargo, aguas arriba del cauce se ve más afectado por la extensión del agua, provocado por la poca profundidad del cauce principal.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Estudios Previos .....	1
1.2. Problemática del Área de Estudio.....	4
1.3. Objetivos del Estudio .....	10
1.4. Conceptos Básicos .....	10
2. GENERALIDADES.....	11
2.1. Localización .....	11
2.2. Marco Geológico .....	11
2.2.1. Geología Regional.....	11
2.2.2. Geología Local .....	14
2.3. Topografía.....	16
2.4. Geomorfología .....	18
2.5. Edafología .....	21
2.6. Vegetación .....	23
2.7. Hidrografía .....	24
2.8. Análisis Climático .....	27
2.8.1. Precipitación .....	27
2.8.2. Temperatura .....	29
3. METODOLOGÍA .....	32
3.1. Levantamiento Fotogramétrico Aéreo.....	32
3.1.1. Usos de la Fotogrametría Digital con Vehículos Aéreos No Tripulados.....	32
3.1.2. Reconocimiento del Área .....	33
3.1.3. Toma de Puntos de Control.....	33
3.1.4. Vuelo del Vehículo Aéreo No Tripulado y Obtención de Fotografías .....	34
3.1.5. Procesamiento de Datos .....	34
3.2. Estudio Hidrológico .....	35

3.2.1. Cálculo del Área de la Cuenca .....	35
3.2.2. Cálculo de la Pendiente del Cauce .....	35
3.2.3. Coeficiente de Escurrimiento “Ce” .....	36
3.2.4. Tiempo de Concentración .....	37
3.2.5. Intensidad – Duración – Frecuencia.....	37
3.2.6. Cálculo de Gasto de Diseño para Distinto Período de Retorno “Tr” .....	38
3.2.7. Generación de Hidrogramas .....	39
3.3. Modelación de Tránsito de Avenidas .....	39
3.4. Generación de Mapas de Inundación .....	39
4. LEVANTAMIENTO FOTOGRAFÉMTRICO AÉREO .....	40
4.1. Toma de Puntos de Control .....	40
4.2. Orientación de Fotografías Aéreas .....	41
4.3. Nube de Puntos y Ortofotografía .....	42
4.4. Modelo Digital de Elevación.....	43
5. ESTUDIO HIDROLÓGICO .....	44
5.1. Características Físicas de la Cuenca.....	44
5.2. Cálculo de Parámetros Hidrológicos mediante el Método Racional .....	46
5.2.1. Coeficiente de Escurrimiento “Ce” .....	46
5.2.2. Tiempo de Concentración .....	48
5.2.3. Intensidad Máxima de Lluvia por Período de Retorno .....	48
5.2.5. Cálculo de Gasto de Diseño para Distinto Período de Retorno “Tr” .....	48
5.2.6. Hidrogramas .....	49
6. MODELACIÓN DE TRÁNSITO DE AVENIDAS .....	55
7. MAPAS DE INUNDACIÓN .....	57
7.1. Zona Inundable por Período de Retorno.....	57
7.2. Altura de Inundación por Período de Retorno.....	62
8. RESULTADOS .....	71

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	72
10. BIBLIOGRAFÍA.....	74
11. ANEXOS.....	77
11.1. Memoria Topográfica de Secciones.....	77

### **CONTENIDO DE TABLAS**

Tabla 1. Unidades geomorfológicas .....	19
Tabla 2. Precipitación (mm).....	28
Tabla 3. Temperatura máxima, estación Hermosillo (26139).....	30
Tabla 4. Temperatura mínima, estación Hermosillo (26139).....	31
Tabla 5. Valores recomendados para coeficiente de escurrimiento.....	36
Tabla 6. Puntos de control.....	40
Tabla 7. Características físicas de la cuenca .....	44
Tabla 8. Coeficiente de escurrimiento .....	46
Tabla 9. Tiempo de concentración .....	48
Tabla 10. Intensidad máxima de lluvia por período de retorno.....	48
Tabla 11. Gasto máximo por período de retorno.....	48
Tabla 12. Suma de gastos máximos por período de retorno.....	49
Tabla 13. Longitud de secciones .....	55
Tabla 14. Área afectada por la lámina de inundación por período de retorno.....	62
Tabla 15. Altura máxima de inundación de cada sección en el período de retorno de 5 años.....	67
Tabla 16. Altura máxima de inundación de cada sección en el período de retorno de 10 años.....	68
Tabla 17. Altura máxima de inundación de cada sección en el período de retorno de 50 años.....	69



Tabla 18. Altura máxima de inundación de cada sección en el período de retorno de 100 años .....	70
--	----

### **CONTENIDO DE GRÁFICAS**

Gráfica 1. Precipitación Promedio Mensual.....	27
Gráfica 2. Temperatura máxima, estación Hermosillo (26139) .....	29
Gráfica 3. Temperatura mínima, estación Hermosillo (26139).....	31
Gráfica 4. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia.....	38
Gráfica 5. Hidrogramas por período de retorno de 5 años .....	51
Gráfica 6. Hidrogramas por período de retorno de 10 años .....	52
Gráfica 7. Hidrogramas por período de retorno de 50 años .....	53
Gráfica 8. Hidrogramas por período de retorno de 100 años .....	54

### **CONTENIDO DE PLANOS**

Plano 1. Localización del área de estudio .....	13
Plano 2. Geología .....	15
Plano 3. Topografía .....	17
Plano 4. Geomorfología.....	20
Plano 5. Edafología .....	22
Plano 6. Vegetación .....	25
Plano 7. Hidrografía.....	26
Plano 8. Nomenclatura de las subcuencas de estudio.....	45
Plano 9. Coeficiente de escurrimiento .....	47
Plano 10. Croquis de la secuencia de sumas de los gastos máximos por período de retorno de cada subcuenca .....	50
Plano 11. Distribución de secciones.....	56
Plano 12. Zona inundable en el período de retorno de 5 años.....	57

Plano 13. Zona inundable en el período de retorno de 10 años.....	58
Plano 14. Zona inundable en el período de retorno de 50 años.....	59
Plano 15. Zona inundable en el período de retorno de 100 años.....	60
Plano 16. Zona inundable en los períodos de retorno de 5, 10, 50 y 100 años .....	61
Plano 17. Altura de inundación en metros en el período de retorno de 5 años.....	63
Plano 18. Altura de inundación en metros en el período de retorno de 10 años.....	64
Plano 19. Altura de inundación en metros en el período de retorno de 50 años.....	65
Plano 20. Altura de inundación en metros en el período de retorno de 100 años.....	66

### **CONTENIDO DE FIGURAS**

Figura 1. Mosaico de fotografías aéreas orientadas con apoyo de puntos de control	41
Figura 2. Nube de puntos densa (A) y Ortofotografía (B).....	42
Figura 3. Modelo digital de elevación .....	43

### **CONTENIDO DE FOTOS**

Foto 1. Calle Lauro Gálvez, presencia de basura en el cauce principal.....	5
Foto 2. Avenida Xólotl y Lauro Gálvez, drenes de alcantarillado tapados por escombros y una llanta .....	5
Foto 3. Calle Haciendas del Sur, asentamiento urbano a orillas del cauce principal ....	6
Foto 4. Calle Eucalipto, cauce principal con presencia de basura .....	6
Foto 5. Avenida Ardillas, se puede observar la acumulación de agua debido a un taponamiento .....	7
Foto 6. Calle Lirio, cauce principal obstruido por escombros .....	7
Foto 7. Calle Jazmín, asentamiento urbano a orillas del cauce principal con presencia de basura.....	8
Foto 8. Calle Magnolia, lámina de agua con una altura de aproximadamente 30 centímetros provocada por el pase del cauce principal.....	8

Foto 9. Calle Violeta. Lámina de agua con una altura aproximada de un metro.....	9
Foto 10. Calle Toboso Amarillo, lámina de agua con altura aproximada de un metro, nótese también el asentamiento urbano a orillas del cauce.....	9
Foto 11. Estación total Trimble R4 .....	33
Foto 12. Vehículo aéreo no tripulado Phantom 3 Professional .....	34
Foto 13. Levantamiento de un punto de control situado en una referencia visible.....	40

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Estudios Previos

El uso de los vehículos aéreos no tripulados para este tipo de estudio es relativamente nuevo, por lo que fue posible la recopilación de algunos artículos que sirvieran de apoyo para el procesamiento de datos fotogramétricos. Específicamente el área de estudio no cuenta con estudios previos de inundación, sin embargo se han elaborado varias publicaciones como atlas y/o programas estatales para la prevención de desastres, algunos de los cuales se mencionan en este trabajo:

Jacinto Santamaría Peña, Teófilo Sanz Méndez, 2011, "Fundamentos de la Fotogrametría". Este estudio cubrió un gran vacío característico de las enseñanzas de Ingeniería Técnica (no topográfica), especialmente tras la aplicación de los nuevos planes de estudio, en el campo no bien definido de la cartografía, la topografía y la fotogrametría.

Moisés Díaz Cabrera, 2011, "Análisis Fotogramétrico de Imágenes Adquiridas por un Avión No Tripulado". Este trabajo trata en un sentido amplio el uso de imágenes aéreas, se estudia la posibilidad de realizar fotomosaicos, a partir de la superposición de imágenes aéreas de una determinada zona rural.

Daniel Santos Clavero, 2014, "Fotogrametría usando Plataforma Aérea UAV (Unmanned Aerial Vehicle)". Este proyecto consiste en el uso de un UAV para realizar un levantamiento fotogramétrico en una zona controlada.

Alba Coello Romero, Gonzalo Ballesteros Abellán, 2015, "Fotogrametría de UAV de Ala Fija y Comparación con Topografía Clásica, Universidad Politécnica de Madrid". Se realizó un estudio comparativo utilizando dos procedimientos diferentes para la obtención de mapas y modelos digitales del terreno. Por un lado, realizando un levantamiento de una zona determinada mediante GPS y por otro lado mediante fotogrametría aérea utilizando un vehículo aéreo no tripulado.

Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, 2015, "Los Drones y sus Aplicaciones a la Ingeniería Civil". Muestra las distintas aplicaciones de los drones en todo el ámbito de la Ingeniería Civil.

Fernández Chacón, J. P. Galve, 2015, "Técnicas Remotas para el Análisis Multiescala y Multitemporal de Fenómenos Superficiales". En este trabajo se analizaron las ventajas y desventajas de utilizar las diferentes técnicas y sensores de teledetección, para el estudio de procesos geológicos activos a diferentes escalas: desde una escala regional, como

puede ser el estudio de parte de la provincia de Granada con datos InSAR ENVISAT, hasta una escala decamétrica, como puede ser un talud de cualquier infraestructura lineal (monitoreado con TLS y UAV), en este caso de la carretera A-348 Torvizcón –Cádiar en Alpujarra.

Joffre Vicente Villareal Moncayo, 2015, "Análisis de la Precisión de Levantamientos Topográficos mediante el Empleo de Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV) respecto a la Densidad de Puntos de Control". Se analizó la precisión de levantamientos topográficos mediante el empleo de drones respecto a la densidad de puntos de control en el campus de la Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.

CENAPRED, 2001, "Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México". Este trabajo tiene como propósito difundir conocimientos sobre los peligros e identificación de los riesgos de desastres que se presentan en el país derivados de los fenómenos de origen geológico, hidrometeorológico, químico, sanitario y socio-organizativo.

Status Consulting. Inc., Universidad Nacional Autónoma de México, Colegio de Sonora, 2004, "Adaptación al Cambio Climático". Este estudio tiene como objetivo principal la identificación y evaluación de las posibilidades de adaptación a los impactos previsibles del cambio climático futuro sobre los recursos hídricos en el norte de México.

FG Asociados, CEA, 2008, "Estudios Geofísicos e Hidrogeológicos para el Diseño de Obras de Infiltración Artificial a los Acuíferos y Control de Inundaciones en Hermosillo". Tiene como objetivos determinar la topografía de la ciudad de Hermosillo, identificar zonas de inundación, realizar sondeos geofísicos para determinar la permeabilidad, determinar los materiales estratificados de los acuíferos y acuitados, determinar los niveles freáticos y estáticos, identificar los sitios potenciales para realizar obras de infiltración de lluvia en zonas de inundación urbana y realizar la propuesta de obras de infiltración para la recarga del acuífero y control de inundaciones, todo esto con la finalidad de caracterizar la permeabilidad en zonas de inundación donde puedan realizarse obras de infiltración para el control de inundaciones y recarga de los acuíferos de Hermosillo.

Alejandra Montijo González, José Ismael Minjarez Sosa, Alberto Villa Terán y Francisco Javier Grijalva Noriega, Universidad de Sonora, 2009. "Estudio de Inundaciones Repentinas de una Cuenca Urbana en la Ciudad de Hermosillo, Sonora, México". En este trabajo se presenta el estudio de peligros de inundación repentina de una cuenca urbana en la Ciudad de Hermosillo, Sonora, provocadas por lluvias de diferentes períodos de retorno.

Mario Ordaz, Marco Antonio Torres y Ramón Domínguez, Colegio de Ingenieros Civiles de México, A.C., Instituto de Ingeniería UNAM, 2013, "Vulnerabilidad y Riesgo por Inundaciones". Proporcionaron conocimientos y técnicas con los cuales sea posible la estimación del riesgo asociado a las inundaciones causadas por el vertido controlado de las aguas excedentes de una presa.

Saúl Peña Coronado, UNISON, 2000, "Análisis de Riesgos Naturales de la Ciudad de Hermosillo, Sonora, utilizando los Sistemas de Información Geográfica y Sensores Remotos". Este trabajo está directamente relacionado con la problemática actual que se tiene en la Ciudad de Hermosillo, con relación a la peligrosidad de los fenómenos naturales y a la gran cantidad de desastres que ocasionan.

Protección Civil, 2004, "Atlas de Riesgos del Municipio de Hermosillo" Este trabajo se realizó con la finalidad de conjuntar la información necesaria para la planeación de la protección civil y la prevención, atención oportuna, auxilio a la población y restablecimiento de servicios en caso de desastres, accidentes o emergencias. Incluye la información fundamental relativa a los diferentes agentes perturbadores que en un momento dado pudieran afectar al municipio y a la población que congrega. Este trabajo se ha basado en la información proporcionada por las diferentes instituciones y dependencias de las administraciones públicas federales, estatales y municipales, así como especialistas en la materia, que tienen la responsabilidad de detectar, registrar, dar seguimiento y estudiar los diferentes fenómenos perturbadores.

H. Ayuntamiento de Hermosillo, Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo, Unidad Municipal de Protección Civil, 2014, "Atlas de riesgos del Municipio de Hermosillo". Este trabajo tiene como objetivo generar la cartografía de peligros apoyado por Sistemas de Información Geográfica (SIG), que permita a las autoridades municipales, construir una sólida estrategia, que puedan instrumentar acciones preventivas, correctivas, de mitigación y/o restauración de los riesgos potenciales, ya sea por fenómenos naturales y/o antropogénicos en el Municipio.

Alba Lucina Martínez Haros, 2014, "Evaluación de Peligro de Remoción de Masa: Caso Colonia Piedra Bola, Hermosillo, Sonora". Propone una metodología para evaluar los Procesos de Remoción en Masa (PRM) en las laderas de un entorno urbano, ejemplificado en la ladera de la Sierra Tecoripita en la Colonia Piedra Bola (Pedregal de la Villa), Hermosillo, Sonora.

Yuriky Concepción Amaya Encinas, 2015, "Evaluación de Peligro por Inundación en una Zona Urbana: Caso Colonia Urbi Villa del Rey, Hermosillo, Sonora". En este proyecto

se determinó el peligro por inundación pluvial en la colonia Urbi Villa del Rey, mediante la utilización de la fórmula racional para el cálculo de gastos máximo por período de retorno y una simulación hidrológica en el software HEC-HMS para determinar el tránsito de avenidas de las rejillas de drenaje pluvial que comunican la colonia Urbi Villa del Rey II y I.

## 1.2. Problemática del Área de Estudio

Las inundaciones constituyen el riesgo geológico más destructivo y que más víctimas producen, tanto a escala nacional como mundial. La vulnerabilidad por inundaciones en Hermosillo se incrementa y algunos de los factores que provocan estos fenómenos pueden ser causados por el crecimiento de la zona urbana, asentándose en las cercanías o en el propio cauce de las corrientes consideradas como zonas de alto riesgo, así como la obstrucción de canales, la construcción de viviendas, la pavimentación de avenidas, etc.

Aun cuando la ciudad de Hermosillo, Sonora, se encuentra en una región árida con niveles bajos de precipitación, se han reportado eventos extraordinarios de precipitación, como por ejemplo los eventos ocurridos en el 2002 con precipitaciones de 104 milímetros y también el que se presentó en el 2010 donde se registraron precipitaciones por arriba de los 80 milímetros, alcanzando un máximo de 103 milímetros, a partir de la presencia de lluvias torrenciales y de corta duración características de estas zonas, situación que podría agravarse por el desarrollo de infraestructura urbana que se está llevando a cabo en la ciudad (Montijo et al., 2011).

Particularmente el área de estudio es propensa a este tipo de agente perturbador, es por esto que se dispuso a realizar un estudio detallado de peligro de inundación. La causa de inundación puede ser atribuida al crecimiento urbano, el cual ocasiona que se estreche la superficie donde escurre el agua. Este tipo de problemática se puede llegar a solventar con la adecuada planeación del crecimiento urbano y propuestas de construcción de infraestructuras preventivas en las áreas de afectación.

Se debe mencionar que la falta de cultura de limpieza contribuye a la generación de inundaciones, ya que el cauce principal se encuentra lleno de basura y escombros, provocando que se tapen los drenajes y que la lámina de agua se desborde.

Las siguientes fotos (Fotos 1 - 10) muestran unas horas después de lo ocurrido el día 7 de septiembre del 2016 provocado por el Huracán Newton en Hermosillo, Sonora, con un acumulado de lluvia de 61 milímetros. Las fotografías se tomaron desde aguas arriba hasta aguas abajo del cauce principal de estudio.



Foto 1. Calle Lauro Gálvez, presencia de basura en el cauce principal



Foto 2. Avenida Xólotl y Lauro Gálvez, drenes de alcantarillado tapados por escombros y una llanta





**Foto 3. Calle Haciendas del Sur, asentamiento urbano a orillas del cauce principal**



**Foto 4. Calle Eucalipto, cauce principal con presencia de basura**



**Foto 5. Avenida Ardillas, se puede observar la acumulación de agua debido a un taponamiento**



**Foto 6. Calle Lirio, cauce principal obstruido por escombros**



**Foto 7. Calle Jazmín, asentamiento urbano a orillas del cauce principal con presencia de basura**



**Foto 8. Calle Magnolia, lámina de agua con una altura de aproximadamente 30 centímetros provocada por el pase del cauce principal**



Foto 9. Calle Violeta. Lámina de agua con una altura aproximada de un metro



Foto 10. Calle Toboso Amarillo, lámina de agua con altura aproximada de un metro, nótese también el asentamiento urbano a orillas del cauce.

### 1.3. Objetivos del Estudio

Para llevar a cabo la elaboración de este estudio se tomaron en cuenta los siguientes objetivos:

1. Mostrar la utilidad de los vehículos aéreos no tripulados y de la fotogrametría digital para la realización de un estudio de peligro de inundación dentro de una cuenca urbana ubicada en Hermosillo, Sonora.
2. Elaborar un estudio hidrológico de la cuenca de estudio para determinar los gastos máximos en los períodos de retorno de 5, 10, 50 y 100 años.
3. Utilizar los datos fotogramétricos y los datos del estudio hidrológico para realizar una modelación de tránsito de avenidas por medio del software HEC-RAS 4.1.0.
4. Utilizar las herramientas de sistemas de información geográfica disponibles (ArcGIS 10) para la elaboración de mapas de inundación que muestren una simulación de láminas de inundación, estimando la altura de avenidas y el área afectada por el peligro.

### 1.4. Conceptos Básicos

A modo de complemento y para un mejor entendimiento, en el presente estudio es necesario mencionar algunos conceptos relacionados con el estudio de peligro de inundación y el uso de los vehículos aéreos no tripulados, los cuales se definen a continuación:

**Peligro:** Se define como la probabilidad de ocurrencia, dentro de un período específico de tiempo en un área determinada, de fenómenos naturales potencialmente peligrosos (Varnes, 1984). Éstos pueden ser sismos, movimientos masivos y repentinos de tierras, inundaciones, sequías, huracanes, etc. Todos ellos ocurren con un contraste de frecuencias e intensidades, las cuales producen diferentes niveles de impacto ambiental.

**Inundación:** Es aquel evento que debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay, y por lo general, daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura (CENAPRED, 2007).

**Período de Retorno:** El período de retorno se define como el intervalo de recurrencia, al lapso promedio en años entre la ocurrencia de un evento igual o mayor a una magnitud dada (SAGARPA, 2012).

**Fotogrametría:** Etimológicamente, la palabra fotogrametría se deriva de las palabras griegas *photos*, que significa luz; *gramma*, que significa lo que está dibujado o escrito, y *metrón*, que significa medir. Usando en conjunto esas palabras, fotogrametría significa medir gráficamente por medio de la luz. Es la ciencia de realizar mediciones e interpretaciones confiables por medio de las fotografías, para de esa manera obtener características métricas y geométricas (dimensión, forma y posición), del objeto fotografiado (ISPRS, s.f.).

**Fotogrametría Digital:** Permite realizar todos los procesos fotogramétricos mediante el uso de computadores. (Jauregui, s.f.).

## 2. GENERALIDADES

### 2.1. Localización

La ciudad de Hermosillo se ubica geográficamente entre los 110°55' y 111°04' de longitud oeste y, los 28°59' y 29° 12', de latitud norte del meridiano de Greenwich, con una extensión territorial de 14,153 ha (INEGI, 2015)

El área de estudio se ubica al sur de la ciudad de Hermosillo, entre las coordenadas 110°58'59.83" y 110°57'06.35" de longitud oeste y 29°02'14.50" y 29°00'30.19" de latitud norte del meridiano de Greenwich (al poniente de la carretera Federal No. 15, salida Hermosillo - Guaymas) a un costado del Cerro de Las Víboras, cercano al balneario Santa Clara y la gasolinera Gastop Hermosur, entre las colonias Costa del Sol, Casa Linda, Los Alcatraces y Los Olivos, pasando por el Boulevard Adolfo López Mateos hasta llegar al Boulevard Libertad (Plano 1).

### 2.2. Marco Geológico

#### 2.2.1. Geología Regional

En la región de Hermosillo se encuentran aflorando rocas cuyas edades varían desde el Paleozoico hasta el Holoceno (Plano 2. Geología), las cuales están constituidas principalmente por rocas sedimentarias, ígneas y en una menor proporción rocas metamórficas (Atlas de Riesgos del Municipio de Hermosillo, 2014)

#### Paleozoico

Estas rocas afloran principalmente en los Cerros El Molinito, Santa Gertrudis, La Morena, La Campana, Sierra Los Leyva, entre otros; con edad Carbonífero – Pérmico, mismas que representan una facie de plataforma (Peiffer, 1978). Se observan en pequeños

afloramientos, constituidas principalmente por rocas carbonatadas que fueron afectadas por cuerpos intrusivos ígneos en algunos lugares, provocando metamorfismo de contacto.

### **Mesozoico**

Afloran en la Sierra La Flojera, Cerro Prieto y Cerro las Hilachas, ubicadas a lo largo de la carretera que conduce a Mazatán. Al SE de Hermosillo afloran calizas, limolitas, areniscas, alternancia de calizas, cuarcitas, y secuencias vulcano-sedimentarias, afectadas por cuerpos intrusivos ácidos cuyo emplazamiento se da en el Cretácico tardío-Terciario temprano (Rodríguez, 1981).

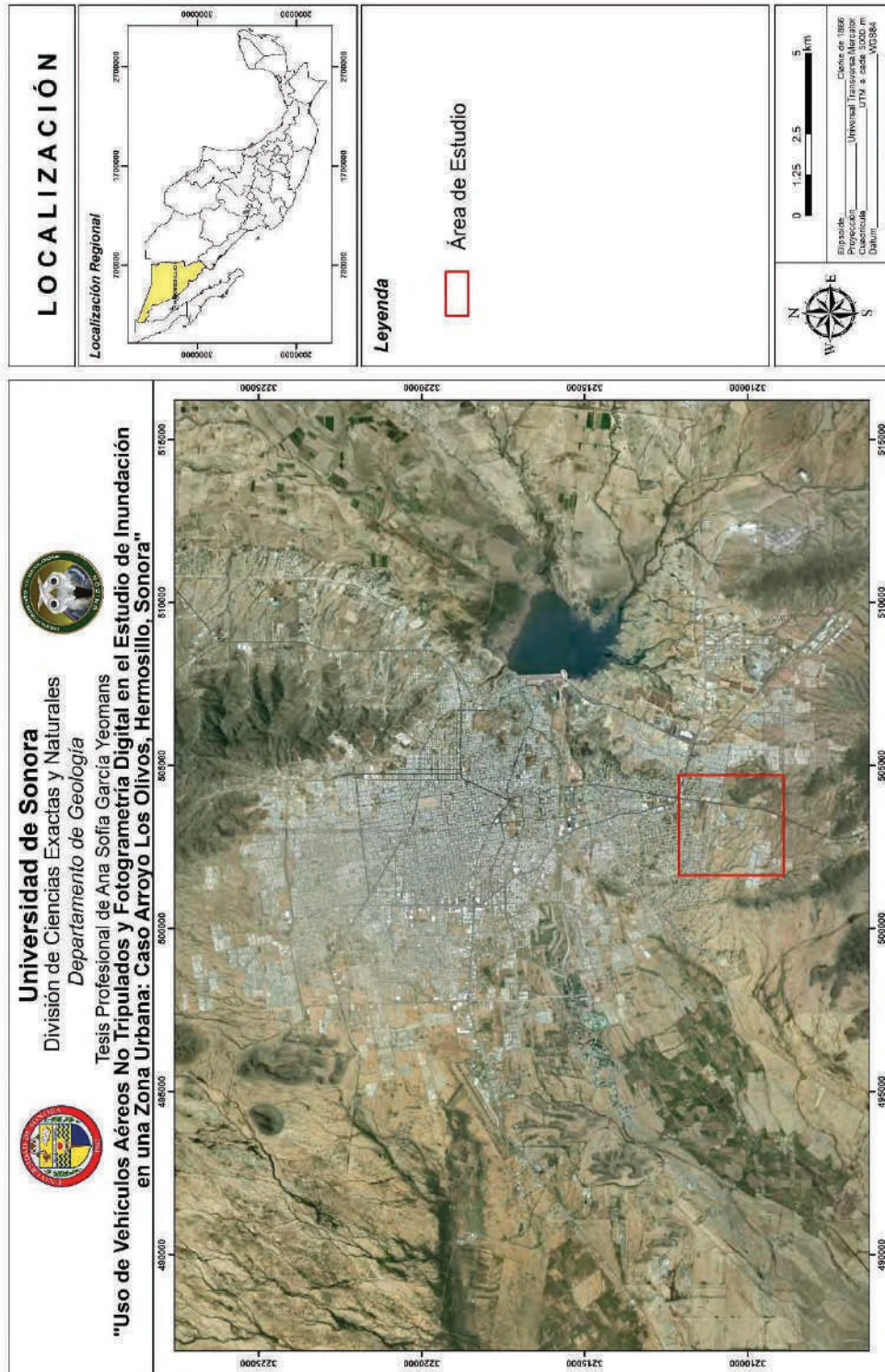
### **Terciario**

Se caracteriza principalmente por brechas sedimentarias mal consolidadas; al sur-orientado del Cerro El Picacho, al NE de Hermosillo se encuentran cubiertas por un conglomerado con fragmentos de origen volcánico e intrusivo (Rodríguez, 1981). Estas rocas pueden correlacionarse con la Formación Báucarit (King, 1939).

Las rocas volcánicas están representadas por basaltos, tobas, dacitas y andesitas. Los basaltos se encuentran cubriendo discordantemente a los cerros Las Ánimas y El Picacho al NE de Hermosillo. Las tobas tienden a formar cerros aislados. Las dacitas afloran al orientado del poblado Molino de Camou, cuyo aspecto es cóncavo. Las andesitas son de colores gris oscuro, muy compactos y de grano fino, afloran al norte de las dacitas. (Rodríguez, 1981).

### **Rocas Ígneas Intrusivas**

Hay numerosos cuerpos batolíticos del Cretácico tardío – Terciario temprano que tienden a alterar la disposición estructural de secuencias paleozoicas y mesozoicas, mismas que son afectadas por fallamiento normal que las ponen en contacto con unidades terciarias (Grijalva y Castillo, 1988).





## 2.2.2. Geología Local

### Mesozoico-Rocas Intrusivas

Son rocas graníticas-granodioritas que se encuentran aflorando principalmente en La Sierra del Espinazo Prieto en la parte norte de Hermosillo, con una orientación de afloramiento NW-SE. Estas rocas también afloran en la zona urbana de Hermosillo principalmente en los cerros El Mariachi, El Coloso, El Ranchito, y hacia el sur del cerro de La Cementera y Piedra Bola (Sierra Tecoripita); además en el norte, este y noroeste de la Sierra Agua Lurca.

En los altos topográficos que están al borde de la Carretera Federal No. 15, en la parte meridional de la ciudad y salida a Guaymas, afloran granitos y ortoclasa en cristales bien desarrollados y abundantes. Este intrusivo está cortado por numerosos diques de composición principalmente básica (Rodríguez, 1981).

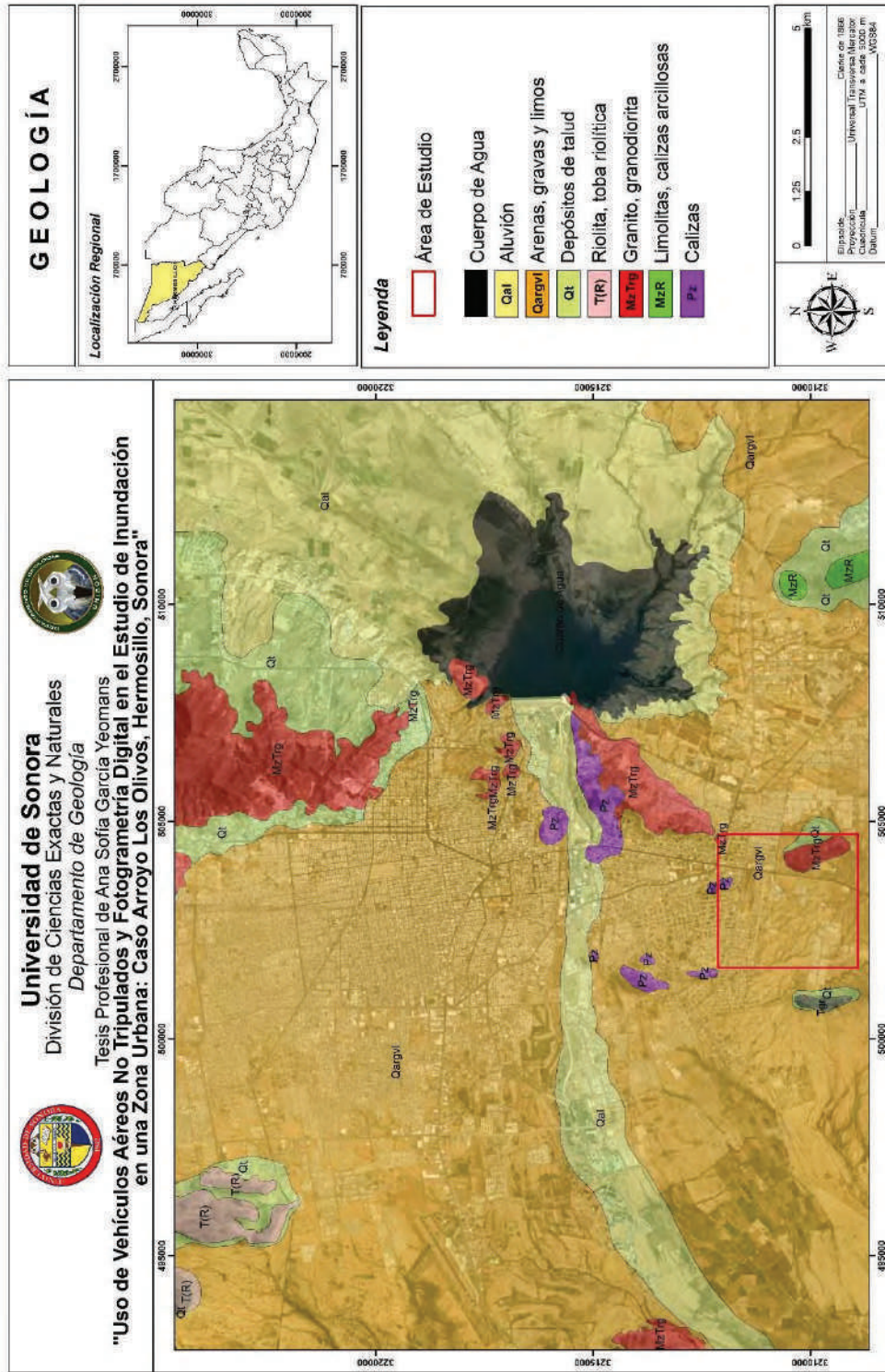
### Cuaternario

Corresponde a depósitos aluviales que cubren gran parte de la superficie de estudio; se producen por el acarreo y relleno de material no consolidado de arroyos y abanicos aluviales; consisten de arcillas, arenas y gravas desde gránulos hasta cantos que rellenan las partes bajas (Rodríguez, 1981).

### Sedimentos

Arenas, gravas y limos: estos depósitos consisten principalmente de gravas mal clasificadas, arenas y limos, los cuales son producto de la erosión de las sierras que se encuentran en los alrededores y de materiales acarreados por los ríos. La composición de estos sedimentos es variable, conteniendo partículas y fragmentos de rocas principalmente intrusivas y sedimentarias.

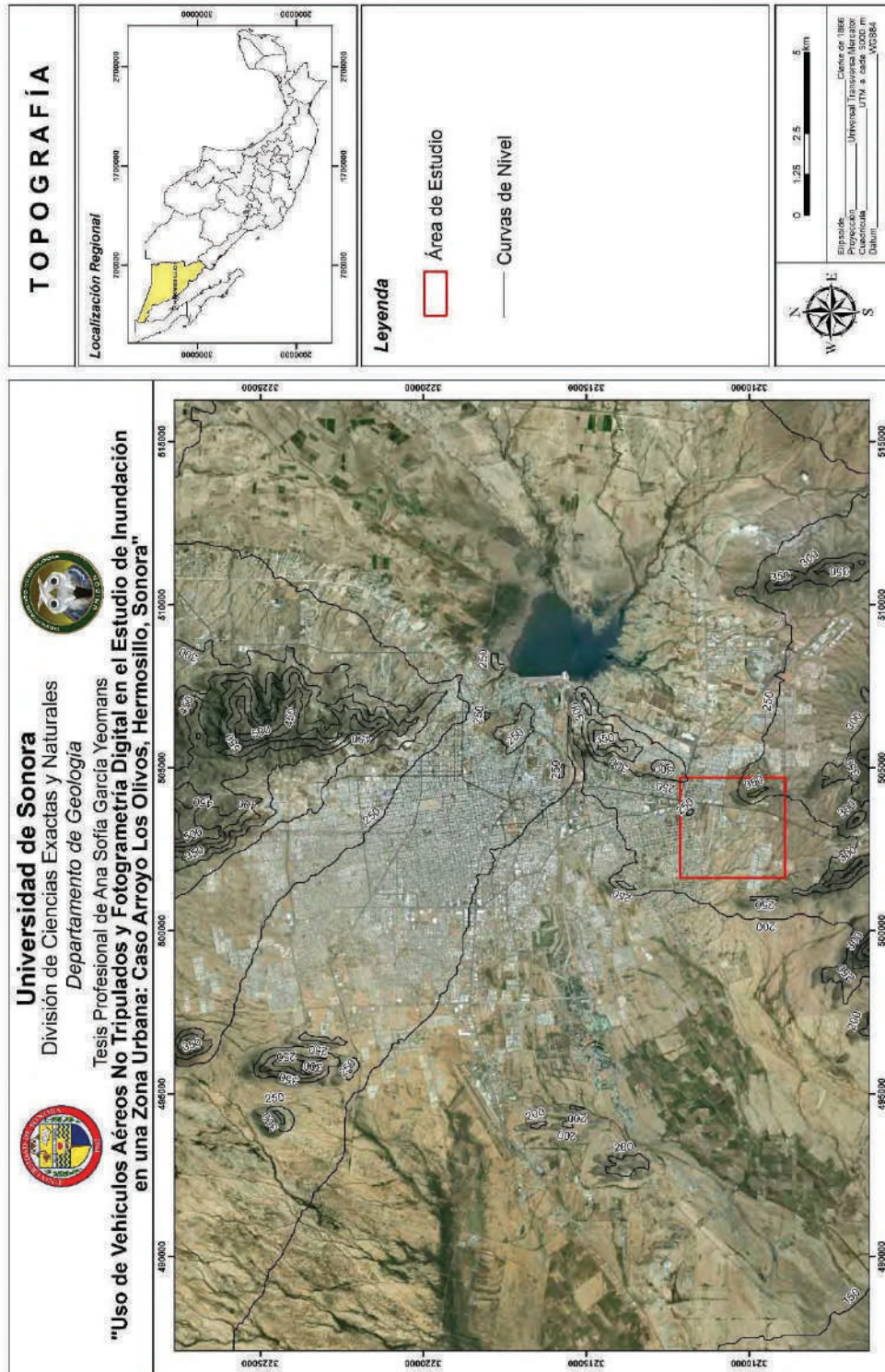
Talud: están formados de clastos procedentes principalmente de las rocas intrusivas del área, en los flancos del cerro de Las Víboras. El tamaño de los componentes es variable, desde bloques de varios metros hasta del tamaño de la arcilla (Rodríguez, 1981).



### **2.3. Topografía**

Los relieves más importantes en Hermosillo son al norte Sierra Espinazo Prieto (Bachoco), al oriente C. de la Cementera y Sierra Tecoripa (Piedra Bola, Las Lomas y Akiwiki). Al sur Centro del Ecológico, Sierra Agualurca y C. de La Virgen, al poniente C. El Apache, C. Las Minitas, C. El Palo Verde y en el centro el C. de La Campana, C. del Coloso, El Mariachi, Matanza (INEGI, 2015). Las elevaciones de la ciudad varían desde los 170 metros sobre el nivel del mar hacia la costa y 850 metros del nivel del mar hacia la Sierra Espinazo Prieto.

El área de estudio presenta relieves muy suaves, a pesar de estar ubicada a un lado del Cerro de Las Víboras que tiene una altura de 370 msnm. Las alturas del área estudiada presenta elevaciones que van desde los 209 hasta los 250 msnm (Plano 3).



## 2.4. Geomorfología

La geomorfología estudia todas las formas del relieve producto de la interacción de procesos internos y externos de la corteza terrestre, estableciendo los métodos de investigación y cartografía que reflejen las condiciones durante el proceso de su formación y características topográficas específicas de cada unidad de mapeo.

La geomorfología aplicada se ocupa de la solución de diversos problemas relacionados con el relieve y de interés práctico para el hombre, por ejemplo: localización de yacimientos minerales e hidrocarburos; planificación de uso del suelo, combate a la erosión de suelo, delimitación de peligros y riesgos, construcción de grandes obras de ingeniería.

Debido a que en el área de estudio no se tienen trabajos previos de mapeo geomorfológico, se decidió elaborar un mapa donde se muestre el aspecto general de la geología y las formas del relieve (Plano 4. Geomorfología).

En el mapa geomorfológico se utilizaron varios parámetros para la clasificación de unidades, como son geoformas, altura relativa, pendiente, litología y uso del suelo. Material detrítico depositado en las partes bajas de los lomeríos y laderas montañosas.

La estabilidad de la pendiente se clasificó en cuatro categorías, denominándose como estable para una pendiente entre los 0-10°, metaestable entre 10-25°, inestable entre 25-35° y abrupta mayor a 35°.

Otro parámetro tomado en cuenta para la delimitación geomorfológica es la litología, observando en la zona altos topográficos con variaciones graníticas, volcánicas y metavolcánicas; los materiales areno-gravosos corresponden a las planicies divergentes, los arroyos tributarios y el cauce fluvial principal, incluyendo la influencia urbana en el cambio de uso del suelo.

La ciudad de Hermosillo presenta 30 unidades geomorfológicas (Atlas de Riesgos para el Estado de Sonora, 2008) las cuales se describen a continuación en la Tabla 1, y se observan en el Plano 4.

El plano de geomorfología muestra que el área de estudio se encuentra en una planicie aluvial divergente superior, además del Cerro de las Víboras que es un lomerío bajo metaestable de granodiorita con un piedemonte metaestable de conglomerado polimíctico y arenas.


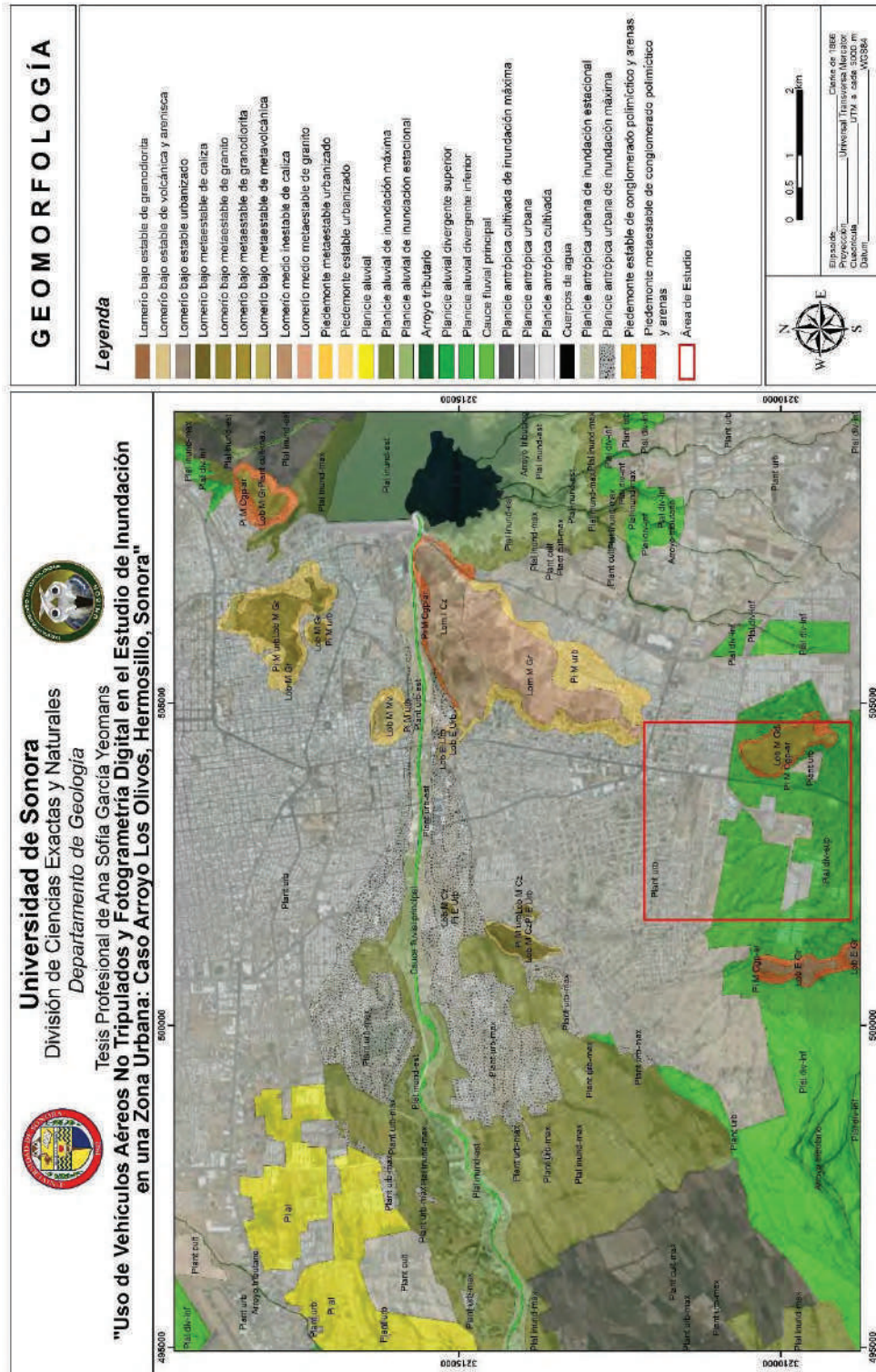
Simbología	Unidad geomorfológica
	Ladera montañosa alta abrupta de granodiorita
	Lomerío bajo estable de granodiorita
	Lomerío bajo estable de volcánica y arenisca
	Lomerío bajo estable urbanizado
	Lomerío bajo metaestable de caliza
	Lomerío bajo metaestable de granito
	Lomerío bajo metaestable de granodiorita
	Lomerío bajo metaestable de metavolcánica
	Lomerío medio inestable de caliza
	Lomerío medio metaestable de granito
	Lomerío medio metaestable de volcánica
	Lomerío alto abrupto de volcánica
	Piedemonte metaestable urbanizado
	Piedemonte estable urbanizado
	Piedemonte estable de conglomerado polimíctico y arenas
	Piedemonte metaestable de conglomerado polimíctico y arenas
	Planicie aluvial
	Planicie aluvial de inundación máxima
	Planicie aluvial de inundación estacional
	Arroyo tributario
	Planicie aluvial divergente superior
	Planicie aluvial divergente inferior
	Cauce fluvial principal
	Planicie antrópica cultivada de inundación máxima
	Planicie antrópica urbana
	Planicie antrópica cultivada
	Planicie antrópica urbana de inundación estacional
	Planicie antrópica urbana de inundación máxima
	Cuerpos de agua

Tabla 1. Unidades geomorfológicas



Plano 4. Geomorfología

## 2.5. Edafología

La ciudad de Hermosillo presenta suelos poco desarrollados, estos suelos son Feozem, Litosol, Regosol, Vertisol, Xerosol y Yermosol (INEGI, 2004). A continuación se describen los suelos y en el Plano 5. Edafología se muestra la distribución de éstos:

**Feozem (Hh+Re/2/G):** Suelo con superficie oscura, de consistencia suave, rica en nutrientes y materia orgánica.

**Litosol (l+Re+Rc/1):** Suelos muy delgados, su espesor es menor de 10 cm, descansa sobre un estrato duro y continuo, tal como roca, tepetate o caliche.

**Regosol (Re+Rc/1/n):** Suelos poco desarrollados, constituidos por material suelto semejante a la roca.

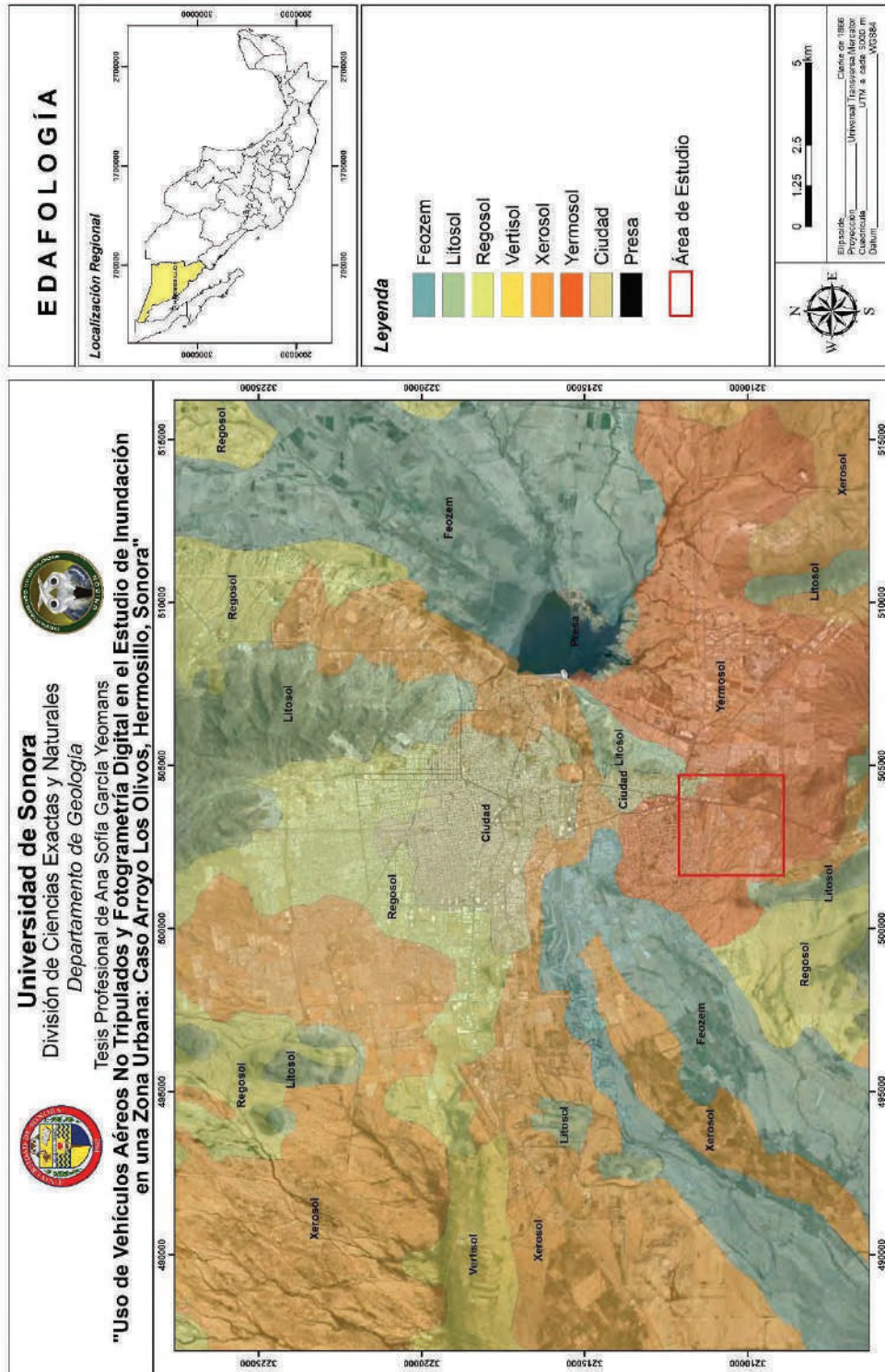
**Vertisol (Vc+Xh/3/G):** Suelos muy arcillosos, con grietas anchas y profundas cuando están secos; si se encuentran húmedos son pegajosos; su drenaje es deficiente.

**Xerosol (Xk+Rc/2/G):** Suelos áridos que contienen materia orgánica; la capa superficial es clara, debajo de ésta puede haber acumulación de minerales arcillosos y/o sales, como carbonatos y sulfatos.

**Yermosol (Yh+Re/1):** Se caracteriza por tener una capa superficial de tonalidades claras y un subsuelo rico en arcillas semejante a la capa superficial. En ocasiones presenta acumulación de cal o yeso en el subsuelo.

El plano de edafología muestra que en el área de estudio solo se localiza el tipo de suelo Yermosol y en una pequeña porción el suelo Xerosol, esto es debido a la pequeña extensión del área.





Plano 5. Edafología

## 2.6. Vegetación

La vegetación en el estado de Sonora es muy diversa, cuenta con una gran variedad de especies. En las regiones secas se encuentran árboles como el mezquite y el Torote, ya que tienen sistemas de adaptación como crecer a la orilla de riachuelos y en las faldas de los cerros, no suelen ser muy altos para contrarrestar la fuerza del viento y tener la madera muy dura y raíces largas que penetran en la tierra hasta encontrar un depósito de agua. La ciudad de Hermosillo presenta vegetación de matorral sarcocaulé, mezquital xerófilo, matorral desértico micrófilo, bosque inducido y pastizal inducido (INEGI, 2009).

**Matorral Sarcocaulé:** Tipo de vegetación caracterizado por la dominancia de arbustos de tallos gruesos (carnosos), retorcidos frecuentemente y algunos con corteza papirácea (textura semejante al papel). Se encuentran sobre terrenos rocosos y suelos someros en regiones costeras de la llanura sonorense. Se ubica en la región de lomeríos y elevaciones medias, sobre suelos someros de laderas de cerros. Es un matorral abierto o medianamente denso y florísticamente rico.

**Mezquital Xerófilo:** En esta categoría están incluidos un conjunto grande de tipos de vegetación (matorrales rosetófilos, sarcocaulés, crasicaulés, etc.). Vegetación dominada por arbustos, típica de las zonas áridas y semiáridas. Se trata del tipo de vegetación más extenso en México. Estas plantas permanecen verdes durante la temporada seca, ya que obtienen agua subterránea mediante sus largas raíces. Por esta razón crecen en suelos profundos y planos.

**Matorral Desértico Micrófilo:** Es el tipo de matorral de zonas áridas y semiáridas de mayor distribución en México, formado por arbustos de hoja o foliolo pequeño. Se desarrolla principalmente sobre terrenos aluviales más o menos bien drenados y puede estar formado por asociaciones de especies sin espinas, con espinas o mezclados; asimismo pueden estar en su composición otras formas de vida, como cactáceas, izotes o gramíneas. Durante la época seca el estrato herbáceo prácticamente desaparece, pero en época de lluvias germina con rapidez, dando un cambio importante a su aspecto.

**Bosque Inducido:** Se considera en este grupo aquellas poblaciones que no son autóctonas y que han sido introducidas por el hombre por diferentes causas (reforestación, por ejemplo). Esta agrupación vegetal se conforma por especies arbóreas que son producto de actividades de reforestación o bien de introducción deliberada con fines de ornato.

**Pastizal inducido:** Es aquel que surge cuando es eliminada la vegetación original. Este pastizal puede aparecer como consecuencia de desmonte de cualquier tipo de vegetación; también puede establecerse en áreas agrícolas abandonadas o bien como producto de

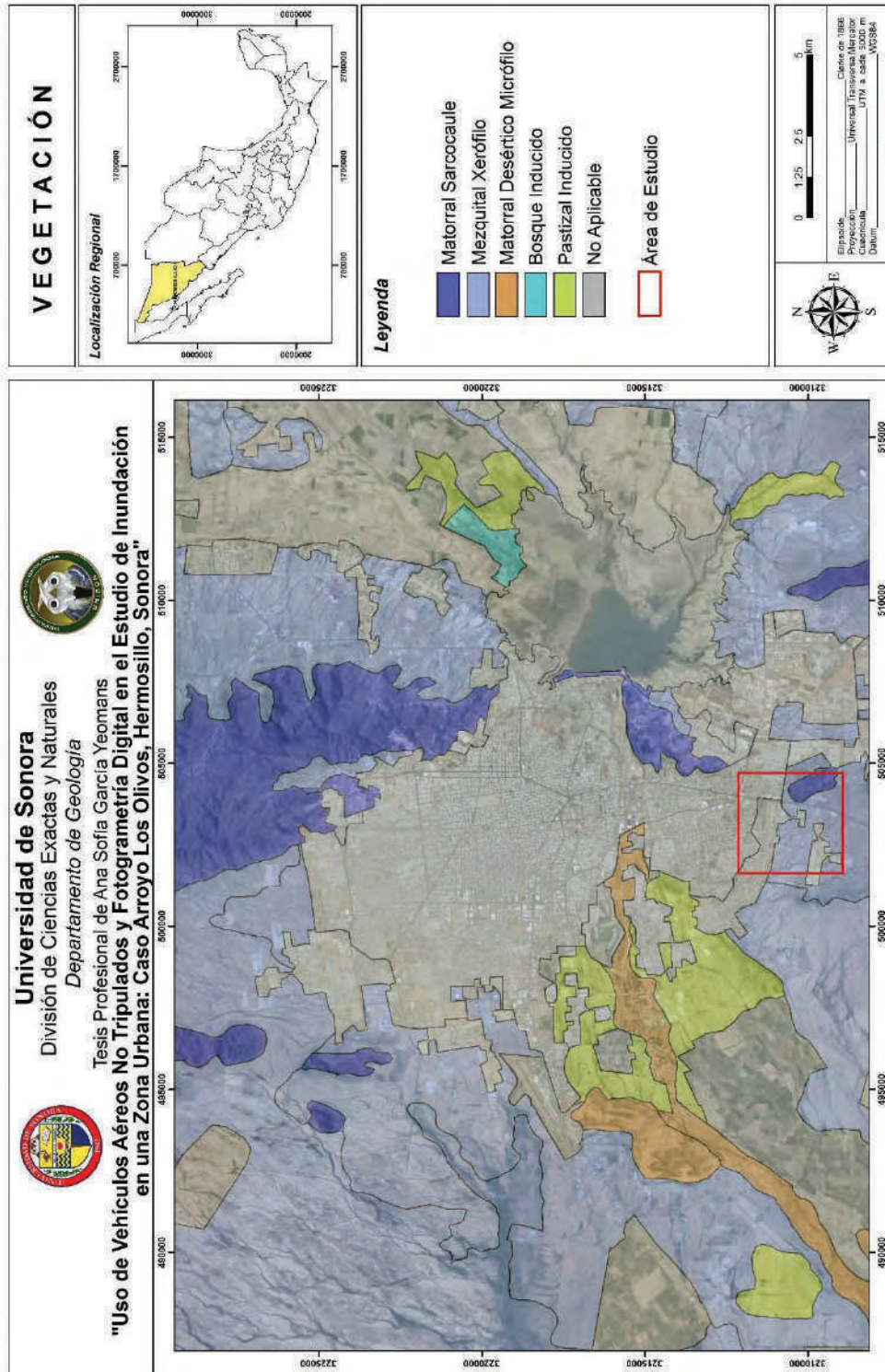
áreas que se incendian con frecuencia. Son de muy diversos tipos y cabe señalar que no hay pastizales que pudieran considerarse como totalmente libres de alguna influencia humana.

El plano de vegetación (Plano 6) muestra que en el área de estudio solo se localizan los tipos de vegetación mezquital xerófilo y matorral sarcocaulé, esto debido a la pequeña extensión del área. La fuente de información marca el casco urbano y algunas zonas de cultivo como zona no aplicable. (Guía para la interpretación de cartografía y uso de suelo y vegetación. INEGI, 2009).

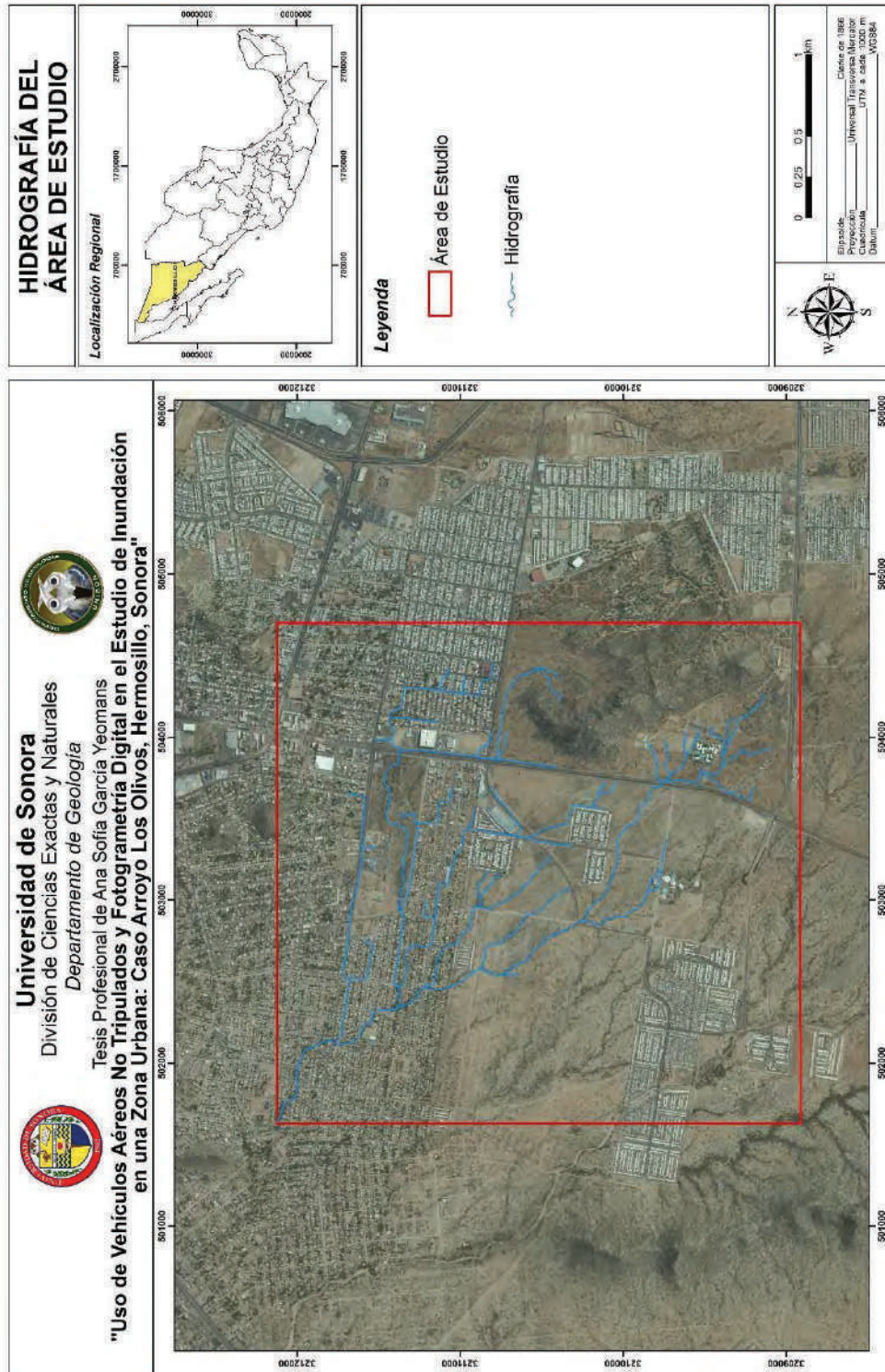
## **2.7. Hidrografía**

Los recursos hidrológicos del municipio se componen básicamente por los Ríos Sonora y San Miguel, que confluyen a pocos kilómetros al este de la cabecera municipal. El más importante es el Río Sonora el cual nace en el noreste del estado y es el único con caudal permanente. El Río San Miguel con una cuenca de 8,427 kilómetros, nace en los municipios de Horcasitas y las serranías de los municipios de Cucurpe y Rayón, cuenta con la presa Abelardo L. Rodríguez. (Atlas de Riesgos para el Estado de Sonora, 2008).

La ciudad de Hermosillo pertenece a la Región Hidrológica Sonora Sur RH09, que cuenta con una superficie de 17,472 km<sup>2</sup>, abarca la Cuenca del Río Sonora y la del Río Bacoachi. La hidrografía del área de estudio pertenece a la Cuenca del Río Sonora (Plano 7).



Plano 6. Vegetación



Plano 7. Hidrografía

## 2.8. Análisis Climático

### 2.8.1. Precipitación

La precipitación más significativa se presenta en los meses de julio a septiembre, con rangos de 40 a 100 milímetros; también se presentan precipitaciones en los meses de noviembre a febrero, debido al tipo de lluvias denominadas regionalmente como "las equipatas de invierno". En la Tabla 2 y en la Gráfica 1 se muestran los registros de Precipitación promedio mensual (Estación Hermosillo Norte 26139, SMN – CONAGUA, 2014).

Gráfica 1. Precipitación Promedio Mensual

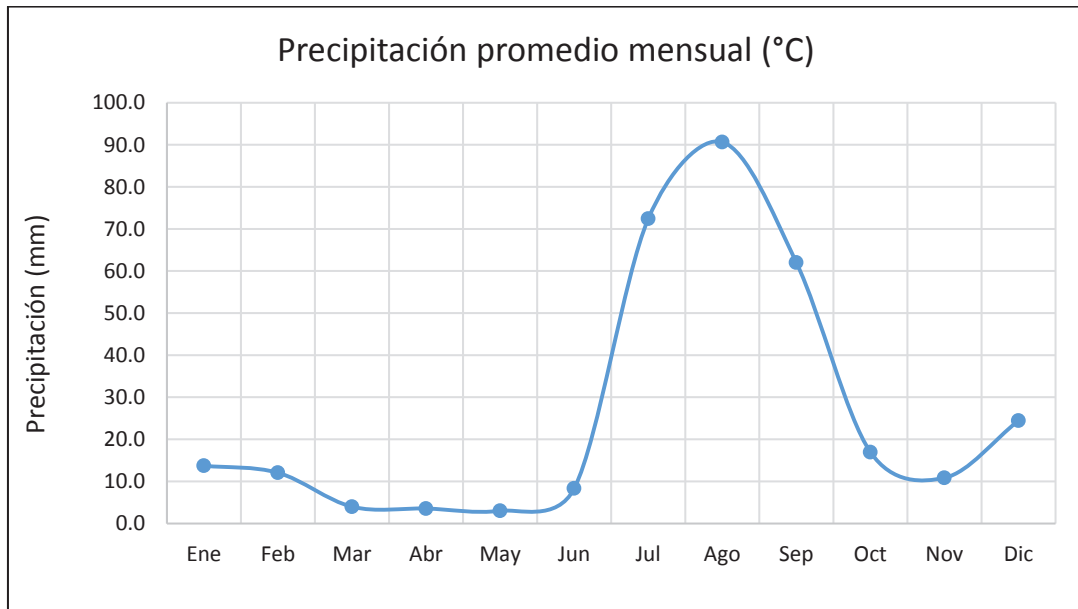


Tabla 2. Precipitación (mm)

Precipitación (mm)													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
1982	15.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	51.4	32.6	13.9	0.0	9.9	126.4	250.1
1983	32.8	17.8	27.7	17.4	0.0	0.0	124.6	83.5	111.0	18.8	34.3	32.3	500.2
1984	70.5	1.6	0.0	2.6	8.0	44.7	110.7	185.7	26.0	17.1	8.7	89.2	564.8
1985	18.0	15.1	0.6	5.0	0.0	0.0	54.3	157.3	102.0	31.9	15.3	2.3	401.8
1986	1.0	20.6	4.3	2.9	56.4	56.4	118.2	108.5	123.9	7.1	0.5	30.5	530.3
1987	0.0	29.8	0.2	6.7	2.3	4.6	48.1	46.3	8.5	0.0	0.0	18.4	164.9
1988	10.5	0.3	7.7	2.2	0.2	0.0	130.3	60.8	142.2	10.0	0.0	49.7	413.9
1989	38.1	3.3	6.3	0.0	0.0	0.0	115.8	103.5	106.3	3.3	1.7	13.2	391.5
1990	22.2	1.2	0.0	0.0	3.2	41.6	107.1	279.0	102.9	0.0	0.0	0.0	557.2
1991	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.3	0.5	19.4	46.0	106.2
1992	36.9	46.1	21.7	3.1	0.0	0.0	33.4	209.8	31.8	0.0	0.0	37.8	420.6
1993	60.3	25.5	0.8	48.2	5.4	23.6	14.3	86.5	68.2	10.5	5.7	22.2	371.2
1994	0.0	3.4	0.5	0.0	0.0	0.3	13.6	87.8	35.7	18.4	35.0	127.7	322.4
1995	16.5	77.0	1.5	0.0	0.0	0.0	77.1	63.4	6.5	27.0	26.6	0.0	295.6
1996	0.0	6.4	0.0	0.0	0.0	4.1	67.4	101.9	24.5	0.0	0.0	0.0	204.3
1997	0.0	0.7	0.0	9.5	19.2	0.0	47.1	82.9	32.0	0.0	3.9	66.3	261.6
1998	0.0	37.0	2.9	0.0	0.0	1.0	27.4	46.9	44.9	6.0	6.0	0.2	172.3
1999	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	6.8	111.2	104.0	48.8	23.7	0.0	4.9	299.6
2000	0.0	0.0	22.9	0.0	0.0	1.0	111.4	107.7	42.0	172.2	9.2	0.0	466.4
2001	1.4	0.0	1.2	5.2	0.0	23.4	89.4	57.4	18.7	83.2	0.0	1.8	281.7
2002	2.3	1.1	1.1	4.4	0.0	0.0	54.4	49.1	53.1	0.0	47.1	51.2	263.8
2003	0.0	11.5	3.2	0.0	0.0	20.7	77.6	67.7	95.0	8.8	0.0	0.0	284.5
2004	20.3	2.3	22.1	6.0	0.0	0.0	63.5	17.3	53.4	13.3	7.1	26.9	232.2
2005	39.7	50.7	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	18.4	0.0	0.0	0.0	110.6
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.6	76.1	106.0	152.1	56.9	0.0	7.1	405.8
2007	4.9	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0	160.6	71.7	161.8	0.0	25.2	0.0	425.9
2008	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.4	107.1	37.3	1.6	11.7	0.8	198.1
2009	1.9	3.7	0.0	0.0	0.3	7.5	35.9	66.0	18.2	21.9	1.2	0.0	156.6
2010	29.0	25.0	0.5	0.0	0.0	0.0	131.6	98.2	63.3	9.4	0.0	0.0	357.0
2011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	102.8	67.8	52.7	0.0	74.1	0.7	298.1
2012	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	23.1	47.4	147.9	35.4	0.0	0.0	19.2	273.5
2013	14.0	4.5	0.4	0.0	0.0	0.0	77.9	96.5	113.2	1.0	4.6	7.7	319.8
PROM	13.7	12.0	4.0	3.5	3.0	8.3	72.4	90.7	62.0	17.0	10.9	24.5	322.0

### 2.8.2. Temperatura

La temperatura del área se evaluó con base en los registros de la estación meteorológica 26139 Hermosillo; ubicada dentro del municipio en las coordenadas UTM 2886595.62 y 503333.15. Cuenta con una base de datos que va de 1962 a 2014. Como se puede observar en la Tabla 3 y Gráfica 2, Temperatura máxima, y en la Tabla 4 y Gráfica 3, Temperatura mínima, sólo se consideraron los datos del año 1992 al 2014 (Estación Hermosillo Norte 26139, SMN – CONAGUA, 2014).

Gráfica 2. Temperatura máxima, estación Hermosillo (26139)

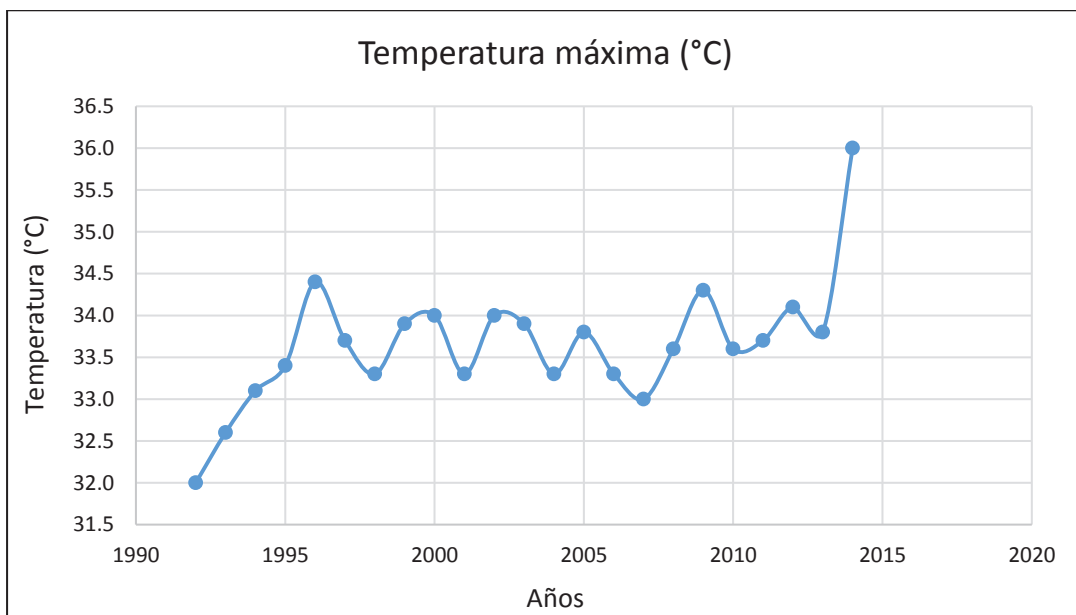
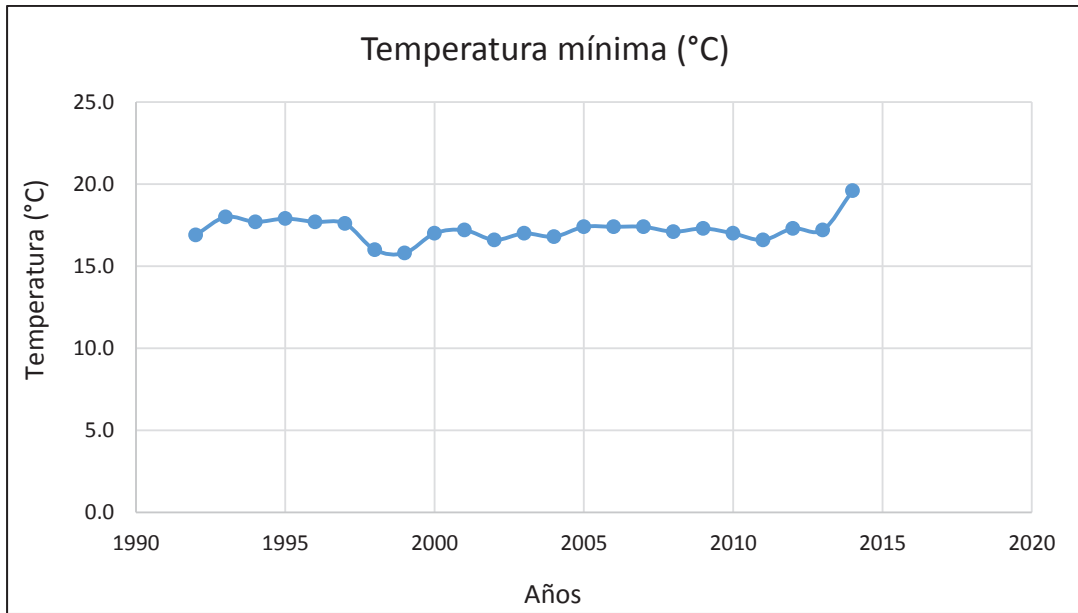




Tabla 3. Temperatura máxima, estación Hermosillo (26139)

Temperatura máxima (°C)													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Temp. Máx.
1992	22.0	24.9	26.5	34.5	37.3	41.8	38.8	36.7	38.2	35.2	26.6	21.1	32.0
1993	22.3	23.1	30.4	35.9	37.8	41.8	39.6	38.1	36.6	33.3	27.6	24.3	32.6
1994	26.2	25.3	30.3	34.0	37.0	42.5	42.8	39.5	37.3	34.8	26.0	21.9	33.1
1995	22.4	26.8	29.8	32.3	35.8	41.2	40.7	38.6	38.4	37.3	30.5	26.9	33.4
1996	27.4	28.2	30.7	35.8	39.5	42.6	41.0	38.7	36.6	34.8	30.1	27.1	34.4
1997	24.4	26.2	33.6	31.4	39.8	41.1	42.0	40.4	38.9	35.2	29.8	21.6	33.7
1998	25.0	23.5	28.8	32.6	36.2	41.8	43.1	40.3	38.4	35.7	30.5	23.7	33.3
1999	26.9	29.1	30.2	31.5	38.3	40.2	38.8	39.1	38.5	37.4	32.5	24.7	33.9
2000	28.9	29.2	30.0	35.9	39.9	41.4	40.5	37.7	39.0	34.5	25.0	25.7	34.0
2001	23.2	25.5	28.9	32.7	39.9	41.1	39.9	40.3	39.8	34.3	30.0	24.1	33.3
2002	24.3	28.3	29.3	35.2	39.4	43.2	41.1	39.6	39.9	32.8	31.1	23.6	34.0
2003	29.1	25.5	29.8	32.9	39.1	41.8	40.9	38.7	38.1	35.6	28.9	26.3	33.9
2004	23.5	25.1	33.7	32.7	39.6	42.7	41.8	41.1	36.6	33.3	25.6	24.2	33.3
2005	23.8	23.4	29.4	34.3	38.4	41.8	42.3	39.4	40.8	35.3	31.5	25.2	33.8
2006	26.0	29.0	29.2	34.5	39.5	42.4	40.8	39.1	36.1	28.9	30.5	23.7	33.3
2007	20.7	26.7	31.7	33.3	38.0	42.5	40.3	38.7	36.9	35.8	29.0	22.2	33.0
2008	22.9	27.0	30.9	35.8	36.5	42.8	39.3	37.7	39.2	36.6	30.3	24.4	33.6
2009	26.6	28.5	31.2	34.1	40.0	40.0	42.5	41.5	39.3	33.4	30.7	23.6	34.3
2010	24.7	25.1	30.4	32.3	37.6	42.2	41.6	39.5	39.9	33.9	28.4	27.3	33.6
2011	23.7	25.2	32.9	35.3	37.4	42.7	41.3	41.0	40.2	36.9	27.2	21.0	33.7
2012	27.4	25.8	30.5	34.9	40.1	42.7	38.8	39.7	38.3	35.4	31.1	24.3	34.1
2013	23.2	25.2	32.9	34.6	38.4	43.1	40.5	40.0	38.5	34.2	29.5	24.9	33.8
2014	28.1	30.4	31.8	34.9	38.7	43.5	40.4	39.4	37.2	-	-	-	36.0

**Gráfica 3. Temperatura mínima, estación Hermosillo (26139)**



**Tabla 4. Temperatura mínima, estación Hermosillo (26139)**

Temperatura mínima (°C)													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Temp. Mín.
1992	9.9	9.8	11.5	15.8	19.8	22.6	25.2	24.5	24.3	18.9	10.7	9.7	16.9
1993	12.4	11.4	13.2	16.1	19.4	23.0	25.9	26.4	23.5	19.5	14.5	11.1	18.0
1994	10.1	9.9	13.3	15.4	17.8	25.6	27.1	26.7	24.9	18.2	12.3	11.1	17.7
1995	10.0	13.1	13.7	13.1	17.3	22.3	26.5	26.8	25.4	19.2	15.5	11.5	17.9
1996	9.3	12.9	12.3	15.7	19.5	25.8	27.4	25.6	23.4	18.1	13.3	9.4	17.7
1997	9.3	9.5	14.3	15.3	21.3	23.1	26.4	26.8	26.0	18.3	13.0	8.2	17.6
1998	8.1	7.9	10.2	11.5	16.2	22.2	28.1	26.4	24.2	18.8	11.6	7.1	16.0
1999	6.8	8.6	10.2	13.5	16.1	22.2	26.1	25.3	24.3	18.3	12.3	6.3	15.8
2000	8.2	10.2	10.5	14.8	19.0	25.7	26.0	24.8	23.9	18.8	10.9	11.5	17.0
2001	8.1	9.7	11.5	15.0	20.4	24.4	26.1	25.9	25.6	18.6	13.7	7.3	17.2
2002	8.6	10.4	10.1	16.1	16.9	24.0	26.4	24.7	24.8	15.7	12.6	9.0	16.6
2003	10.3	10.9	10.2	13.4	18.2	22.2	26.5	26.0	24.8	21.0	12.4	7.8	17.0
2004	8.5	7.8	14.6	15.9	18.5	22.3	26.5	26.8	23.6	18.1	10.4	8.9	16.8
2005	10.4	11.1	10.8	14.6	19.4	23.1	27.8	26.7	25.1	18.2	12.5	9.0	17.4
2006	8.6	10.6	11.7	14.9	18.7	25.6	27.2	26.4	23.6	19.5	13.5	8.4	17.4
2007	7.0	10.4	13.3	15.2	18.2	25.6	27.4	26.1	24.7	17.6	13.9	9.5	17.4
2008	8.4	8.4	10.2	14.5	17.8	26.1	26.7	25.7	24.7	18.5	13.9	10.5	17.1
2009	9.9	9.6	13.0	14.7	19.5	23.1	27.7	27.2	23.7	18.2	13.2	7.8	17.3
2010	8.7	9.0	11.0	14.3	16.8	23.4	28.3	28.0	26.9	18.4	10.4	8.8	17.0
2011	7.4	7.0	11.8	14.9	16.7	24.2	26.5	27.4	25.7	19.0	11.8	6.5	16.6
2012	8.8	8.1	10.6	14.9	18.6	24.9	27.3	27.3	25.4	19.0	14.1	8.8	17.3
2013	7.1	7.9	12.9	14.3	18.9	25.1	27.6	26.4	24.6	16.9	15.2	9.7	17.2
2014	10.0	10.9	13.0	16.2	19.0	27.3	27.3	26.7	26.2	-	-	-	19.6

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Levantamiento Fotogramétrico Aéreo

##### 3.1.1. Usos de la Fotogrametría Digital con Vehículos Aéreos No Tripulados

Los vehículos aéreos no tripulados permiten llevar a cabo trabajos fotogramétricos que hasta hace poco tiempo sólo era posible realizar con métodos tradicionales muy costosos. A continuación se describen algunos de los usos que tienen los vehículos aéreos no tripulados en distintas áreas de trabajo.

**Topografía:** Con la introducción de los vehículos aéreos no tripulados es posible aumentar la productividad en un levantamiento topográfico, presentando una alternativa considerable ya que se pueden cubrir grandes extensiones de terreno en tiempo reducido y por ende un ahorro de recursos significativo a comparación de otros métodos tradicionales (Villareal 2015).

**Cartografía:** Permiten la toma de imágenes con alto nivel de detalle de zonas con corta extensión, las cuales son usadas para obtener la cartografía del sitio de estudio, obteniendo una base de datos que se pueden actualizar constantemente en períodos de tiempo relativamente cortos. (Villareal, 2015).

**Ortofotografía:** A través de un software específico es posible realizar una ortofotografía, la cual consiste en una imagen obtenida de manera casi ortogonal al terreno, sin distorsión ni efectos de perspectivas, combinando las características de detalle de una fotografía aérea con las propiedades geométricas de un plano, permitiendo medir longitudes y áreas con muy poco error. Su resolución se mide en cm/px (Navione Drone Services, s.f.). La ortofotografía se utiliza para una mejor observación, la cual facilita el proceso del levantamiento topográfico.

**Control de cuencas hidrográficas:** Permiten controlar y analizar el estado de cuencas hidrográficas, áreas de riesgo de inundación y deslizamientos. Adicionalmente permiten evaluar y cuantificar el nivel de las reservas hidrográficas y su evolución a lo largo de diferentes períodos. (ACRE, 2014).

**Control de zonas de riesgo:** Su uso permite evaluar, documentar zonas de erosión y estudiar su evolución a lo largo del tiempo. Conocidos los resultados se toman las medidas necesarias para mitigar los efectos producidos sobre el terreno (ACRE, 2014).

### 3.1.2. Reconocimiento del Área

La zona estudiada se identificó inicialmente considerando dos etapas:

1. Consulta de imágenes satelitales actuales (Google Earth Pro, 2016).
2. Visitas de campo para observar la topografía del terreno.
  - a. Delimitar los parteaguas y la corriente de la cuenca.
  - b. Planificación del vuelo del vehículo aéreo no tripulado.
  - c. Determinar la ubicación de distintos puntos de control.

### 3.1.3. Toma de Puntos de Control

El vehículo aéreo no tripulado cuenta con un GPS abordo, determinando la posición de las fotografías obtenidas, dicho GPS tiene una moderada precisión. Para transformar el modelo fotogramétrico adquirido en un modelo digital de elevación, es necesario reducir el error de la georreferenciación ubicando puntos de control situados estratégicamente a lo largo del área de estudio, utilizando una estación total Trimble R4 (Foto 11).



Foto 11. Estación total Trimble R4

### 3.1.4. Vuelo del Vehículo Aéreo No Tripulado y Obtención de Fotografías

El equipo que se utilizó para el levantamiento fotogramétrico es un Phantom 3 Professional con una cámara de 12 megapíxeles, lente f/2.8 con un campo de visión de 94° (Foto 12).



Foto 12. Vehículo aéreo no tripulado Phantom 3 Professional

El día 5 de julio del 2016 se realizó el vuelo sobre el eje del cauce principal de la cuenca que tiene una longitud de 3.56 km, capturando fotografías ortogonales y oblicuas a cada 5 segundos, con un traslape del 60% y con una altura aproximada de 250 metros, con un total de 511 fotografías adquiridas.

### 3.1.5. Procesamiento de Datos

Las imágenes obtenidas son fotografías georreferenciadas, la cuales crean un mosaico que consiste en la unión de numerosas fotos traslapadas, cada una de ellas con sus coordenadas correspondientes. Dichas imágenes y puntos de control, se exportan a un software especializado en procesamientos fotogramétricos llamado Agisoft PhotoScan Professional.

Para procesar los datos se debe de establecer el sistema de coordenadas que se utilizó en el levantamiento fotogramétrico, seguido de obtener la posición de las fotografías con el apoyo de los puntos de control, posteriormente se creó una nube de puntos densa definida como el conjunto de los registros adquiridos con coordenadas X, Y, y Z (Saez y Beltrán 2015), destacando que, mientras más puntos, mayor información y detalle se obtiene. Esto permite generar un modelo digital de elevación el cual sirve como base para la elaboración de una modelación de tránsito de avenidas.

## 3.2. Estudio Hidrológico

### 3.2.1. Cálculo del Área de la Cuenca

Una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia, que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida. El área de la cuenca se define como la superficie, en proyección horizontal, delimitada por el parteaguas (Aparicio Mijares, 1992), y fue calculada utilizando sistemas de información geográficas.

### 3.2.2. Cálculo de la Pendiente del Cauce

La pendiente del cauce principal es uno de los indicadores más importantes del grado de respuesta de una cuenca ante una tormenta. La pendiente varía a lo largo del cauce, por lo que es necesario definir una pendiente media (Aparicio Mijares, 1992). Para calcular la pendiente del cauce se utilizó la siguiente fórmula:

$$S = \frac{Cota\ Máx - Cota\ Mín}{L}$$

Donde:

S= Pendiente media (m/m)

L= Longitud del cauce

### 3.2.3. Coeficiente de Esgurrimiento "Ce"

El coeficiente de esgurrimiento representa la relación del caudal que fluye sobre el terreno, al caudal llovido. Este parámetro no debe confundirse con el coeficiente de infiltración. Los valores que se recomiendan son los siguientes (Tabla 5):

**Tabla 5. Valores recomendados para coeficiente de esgurrimiento**

Coeficiente de Esgurrimiento	
	C estándar
Calles	0.9
Estacionamientos	0.85
Zona Industrial Light	0.6
Residencial (plano)	0.6
Residencial (lomerío)	0.1
Taludes	0.6
Parques	0.1
Suelos arenosos y de grava	0.15
Sin urbanizar, escasa vegetación	0.25
Techos	0.95
Asfalto y concreto	0.9
Área comercial	0.5
Residencial (suburbana)	0.25

Se obtiene el valor del coeficiente de esgurrimiento "C" de acuerdo con los tipos de suelos, uso del suelo y pendiente. Cuando el área de drenaje presenta diferentes tipos de suelos, vegetación y pendiente media, el coeficiente de esgurrimiento se obtendrá para cada área parcial y posteriormente se calculará el promedio ponderado utilizando la siguiente fórmula:

$$C = \frac{C_1A_1 + C_2A_2 + \dots + C_iA_i}{A_1 + A_2 + \dots + A_i}$$

Donde C es el coeficiente de esgurrimiento promedio; C1, C2,...,Ci son los coeficientes de esgurrimiento de cada una de las superficies por drenar que conforman la cuenca de estudio; y A1, A2,...,Ai son las áreas parciales que integran la cuenca de estudio (Carrasco Esparza, INEGI, s.f.).

### 3.2.4. Tiempo de Concentración

El tiempo que transcurre entre el inicio de la lluvia y el establecimiento del gasto de equilibrio se denomina tiempo de concentración, y equivale al tiempo que tarda el agua en pasar del punto más alejado hasta la salida de la cuenca (Aparicio Mijares, 1992). El tiempo de concentración  $T_c$  de una cuenca, expresado en minutos, se puede obtener mediante la siguiente expresión (Kirpich, 1940):

$$t_c = 0.0195 \left[ \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right]$$

Donde:

$t_c$ = Tiempo de concentración (min)

$L$ = Longitud de cauce (m)

$S$ = Pendiente media (m/m)

### 3.2.5. Intensidad – Duración – Frecuencia

La ecuación para obtener las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) fue derivada de los registros de la estación meteorológica 26139 Hermosillo (Fernández, 2011) y se muestra a continuación. Ver Gráfica 4.

$$I = \frac{23.63T_r^{0.3047}}{T_c^{0.536}}$$

Donde:

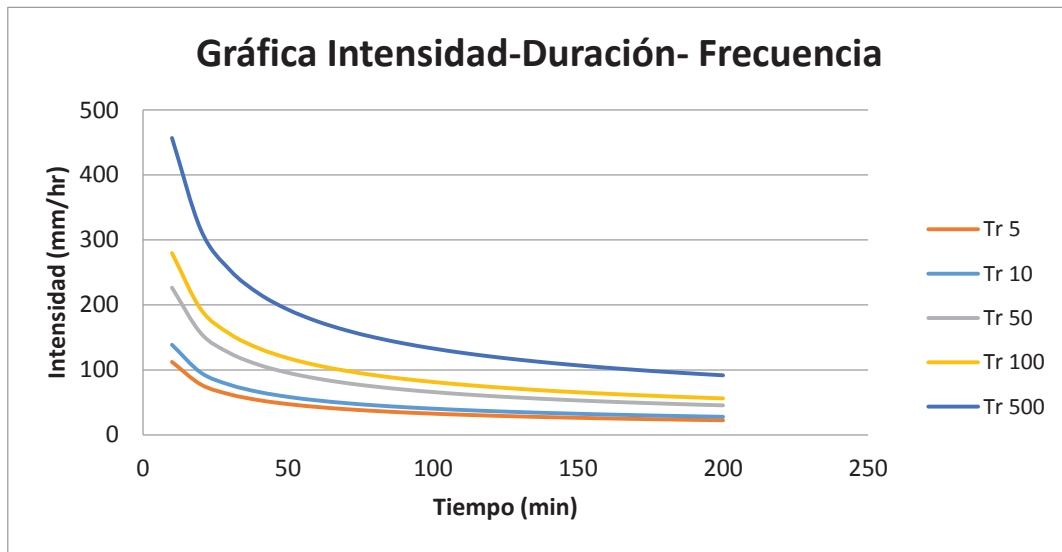
$I$ = Intensidad de la lluvia en cm/hr

$T_r$ = Período de retorno en años

$T_c$ = Tiempo de duración de la tormenta en minutos



**Gráfica 4. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia**



### 3.2.6. Cálculo de Gasto de Diseño para Distinto Período de Retorno “Tr”

El método racional asume que el máximo porcentaje de escurrimiento de una subcuenca pequeña, ocurre cuando la totalidad de tal subcuenca está contribuyendo al escurrimiento, y que el citado porcentaje de escurrimiento es igual a un porcentaje de la intensidad de lluvia promedio (SAGARPA, 2012); lo anterior se expresa mediante la siguiente fórmula utilizando el método racional:

$$Q_p = 0.2778 CiA_c$$

Donde:

$Q_p$ = Gasto máximo posible que puede presentarse en la subcuenca cuando la duración de la precipitación es igual o mayor que el tiempo de concentración. También se le conoce como gasto de equilibrio en  $m^3/s$

$C$ = Coeficiente de escurrimiento que representa la fracción de la lluvia que escurre en forma directa. Para las condiciones de la subcuenca bajo estudio su valor se selecciona de acuerdo el tipo de suelo y vegetación

$i$ = Intensidad de la lluvia en  $mm/h$

$A_c$ = Área de la subcuenca en  $km^2$

### **3.2.7. Generación de Hidrogramas**

Un Hidrograma es la representación gráfica que expresa la variación temporal del caudal en una sección de un río, denominada sección de salida (Juncosa, s.f.).

Se elaboró un Hidrograma para cada subcuenca, y posteriormente para cada período de retorno (5, 10, 50 y 100 años), donde se sumaron los gastos máximos, obteniendo como resultado el gasto máximo por período de retorno de toda la cuenca de estudio.

### **3.3. Modelación de Tránsito de Avenidas**

Mediante los resultados de las sumas de gastos máximos por período de retorno, se utilizó el software HEC-GeoRAS 10 (extensión de ArcGIS 10), el cual crea un archivo de importación al software HEC-RAS que recoge los datos de la geometría del terreno incluyendo el cauce del río, las secciones transversales, las líneas de flujo, etc. Este archivo se importa a HEC-RAS donde se realiza todo el cálculo hidráulico. (Benayas, 2015).

### **3.4. Generación de Mapas de Inundación**

Los resultados obtenidos se exportan a ArcGIS 10 para generar una simulación de láminas de inundación por períodos de retorno de 5, 10, 50 y 100 años y finalmente la obtención de mapas de inundación, mostrando el área afectada por el peligro.

## 4. LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO AÉREO

### 4.1. Toma de Puntos de Control

Se establecieron seis puntos de control en el sistema de coordenadas WGS 84/UTM R12N las cuales se muestran en la Tabla 6. En cada punto se situó una referencia visible para que se pudiesen identificar claramente en las fotografías (Foto 13).



Foto 13. Levantamiento de un punto de control situado en una referencia visible

Tabla 6. Puntos de control

ID	Longitud (m)	Latitud (m)	Altitud (m)
Point 1	503656.27	3209829.58	242.16
Point 2	503363.85	3210010.75	237.49
Point 3	502855.39	3210301.92	228.81
Point 4	502575.95	3210878.21	219.61
Point 5	502182.73	3211609.75	210.83
Point 6	501614.51	3212120.47	206.52

## 4.2. Orientación de Fotografías Aéreas

Con el software Agisoft PhotoScan Professional se ubicaron las fotografías referenciadas con las coordenadas adquiridas con el vehículo aéreo no tripulado, posteriormente con los puntos de control se minimizó el margen de error de 7.3 metros a 4.6 milímetros (Figura 1).

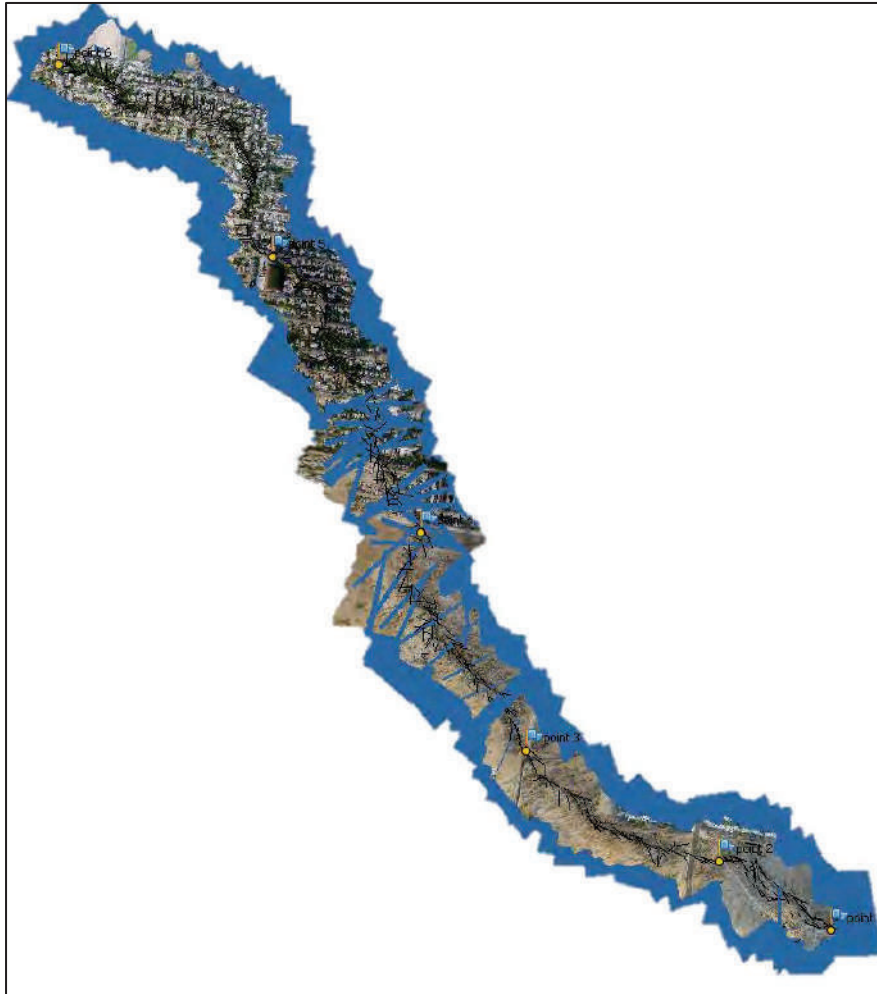


Figura 1. Mosaico de fotografías aéreas orientadas con apoyo de puntos de control

### 4.3. Nube de Puntos y Ortofotografía

Seguido de la orientación de las fotografías se creó una nube de puntos densa, cada punto con sus coordenadas X, Y y Z. Posteriormente se generó una ortofotografía, la cual se utilizó para la modelación de tránsito de avenidas, proporcionando la visualización del terreno (Figura 2).

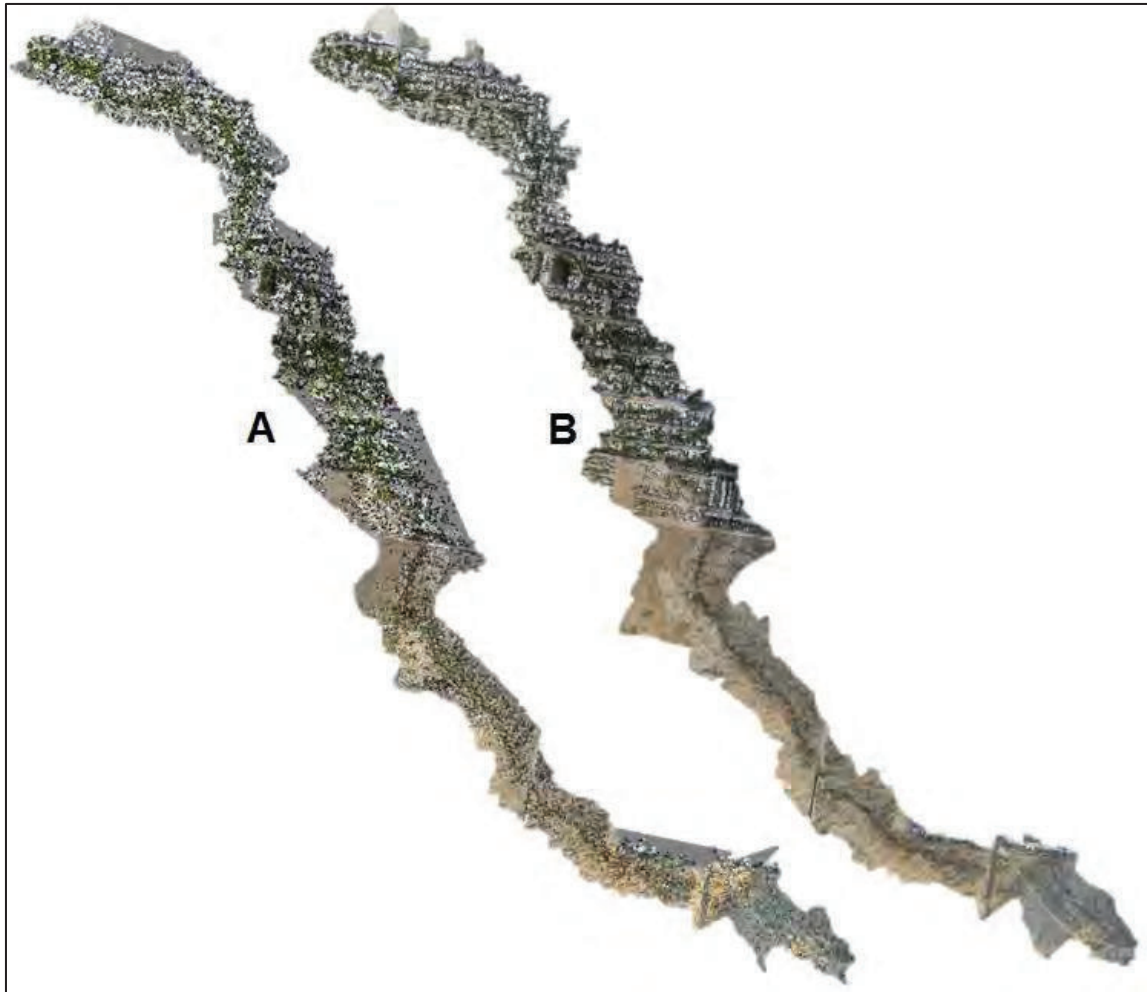


Figura 2. Nube de puntos densa (A) y Ortofotografía (B)

#### 4.4. Modelo Digital de Elevación

El modelo digital de elevación obtenido consiste de una capa raster con un valor de pixel de 10 centímetros, el cual representa el relieve de la superficie tal y como se encuentra, teniendo en cuenta las infraestructuras, edificaciones, vegetación, etc. Por ello se analizó la superficie y se eliminaron y modificaron aquellos puntos en los que se toman por objetos como árboles, bardas, edificios, etc., (Figura 3).

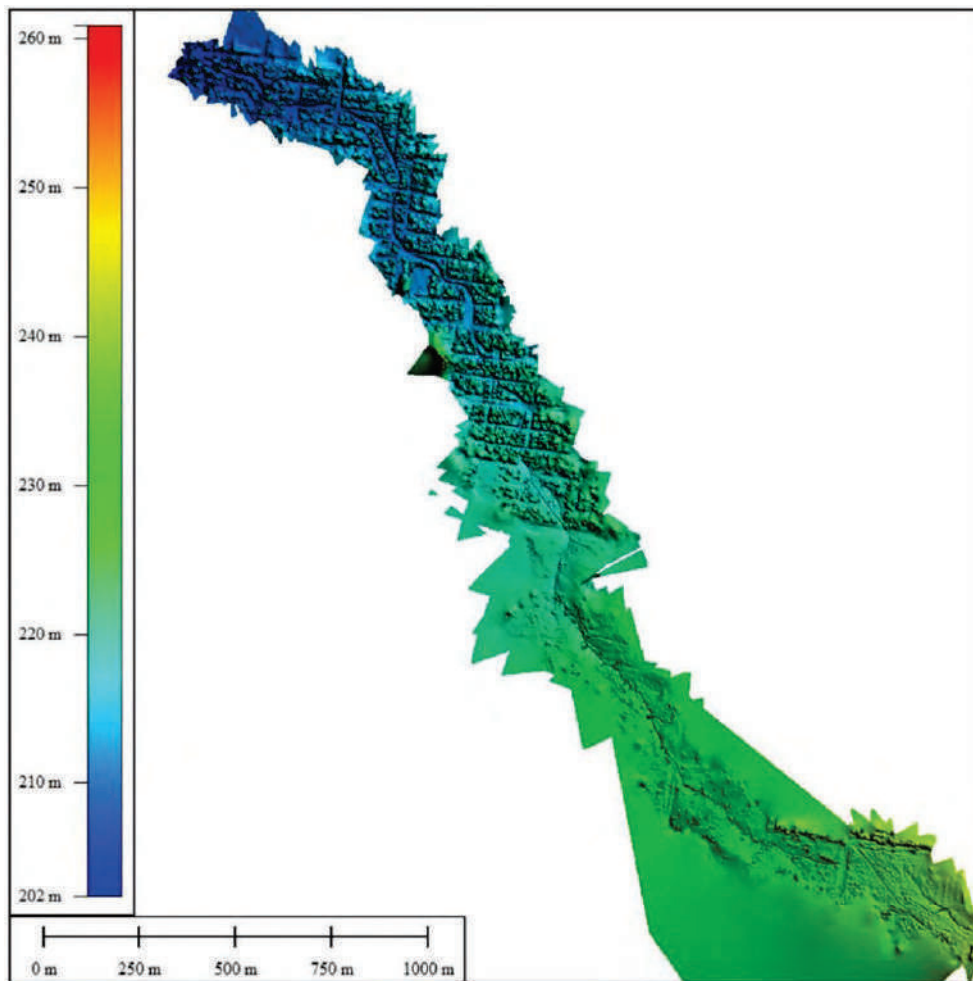


Figura 3. Modelo digital de elevación

## 5. ESTUDIO HIDROLÓGICO

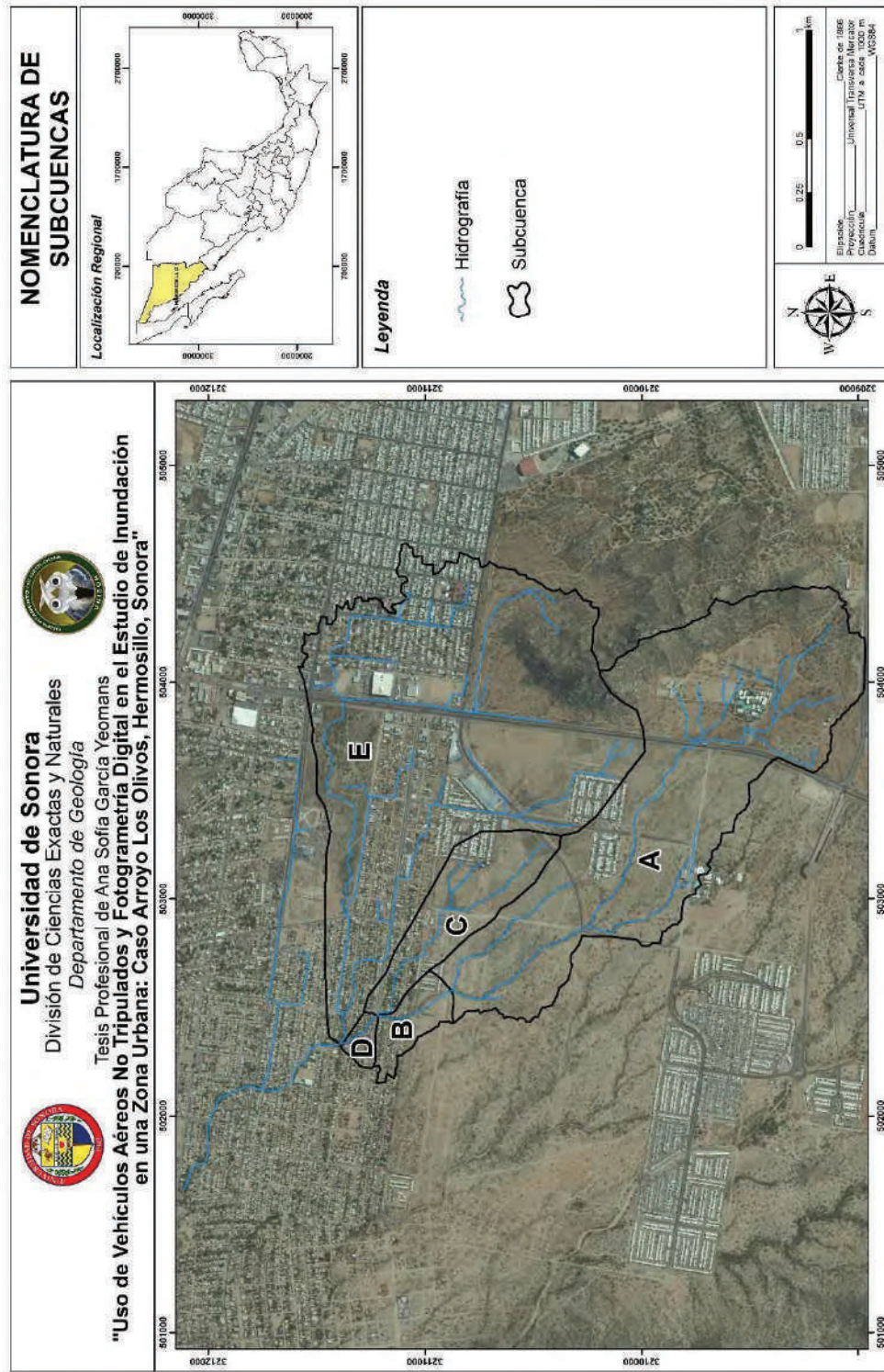
### 5.1. Características Físicas de la Cuenca

La cuenca de estudio tiene un área de 3.84 km<sup>2</sup> y está conformada por cinco subcuencas, a las cuales se les asignó la nomenclatura que se muestra en el Plano 8. El estudio hidrológico se realizó de la porción sur del Cerro de Las Víboras hasta el Boulevard Libertad, esto debido a que se identificó que la población más vulnerable se encuentra hacia el sur de dicho boulevard, dentro de las subcuencas "B" y "D".

El área de cada subcuenca, las cotas máximas y mínimas, así como la longitud de los cauces principales de cada subcuenca fueron identificadas mediante las herramientas de un sistema de información geográfica (ArcGIS 10), seguido de la pendiente del cauce principal de cada subcuenca calculado con la fórmula de la pendiente (Tabla 7).

**Tabla 7. Características físicas de la cuenca**

Subcuenca	A	B	C	D	E
Área (Km <sup>2</sup> )	1.52	0.09	0.28	0.03	1.93
Longitud Cauce Principal (m)	2939.88	389.60	1282.83	227.71	3396.34
Cota Máxima (m)	256.93	216.01	227.58	211.30	269.60
Cota Mínima (m)	216.01	211.30	211.30	209.51	209.51
Pendiente	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02



Plano 8. Nomenclatura de las subcuencas de estudio



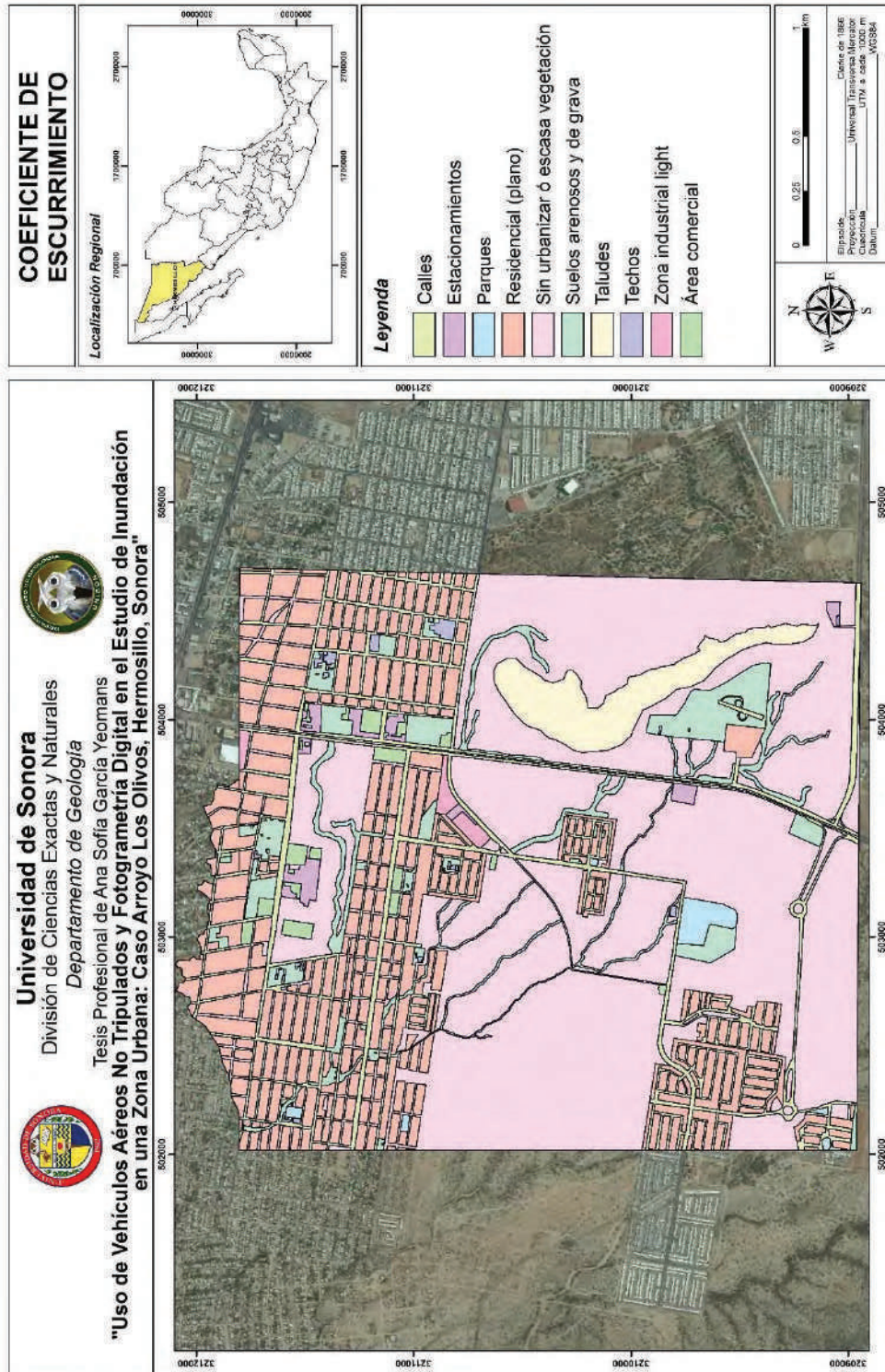
## 5.2. Cálculo de Parámetros Hidrológicos mediante el Método Racional

### 5.2.1. Coeficiente de Escurrimiento "Ce"

En el Plano 9 se determinaron las diferentes áreas de la zona de estudio, delimitadas de acuerdo con los tipos de suelos, uso del suelo y pendiente, cada área tiene un valor de coeficiente de escurrimiento estándar, por lo que se realizó una tabla donde se muestran los datos calculados para la determinación del coeficiente de escurrimiento promedio y ponderado correspondiente a cada subcuenca (Tabla 9).

Tabla 8. Coeficiente de escurrimiento

	C. Std	Área (Km <sup>2</sup> )					C. Ponderado				
		A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Calles	<b>0.90</b>	0.05	0.01	0.02	0.01	0.23	0.03	0.07	0.06	0.19	0.11
Estacionamientos	<b>0.85</b>	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
Zona Industrial Light	<b>0.60</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Residencial (plano)	<b>0.60</b>	0.06	0.05	0.08	0.02	0.55	0.02	0.36	0.18	0.34	0.17
Residencial (lomerío)	<b>0.10</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Taludes	<b>0.60</b>	0.14	0.00	0.00	0.00	0.13	0.05	0.00	0.00	0.00	0.04
Parques	<b>0.10</b>	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Suelos arenosos y de grava	<b>0.15</b>	0.18	0.00	0.02	0.00	0.19	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01
Sin urbanizar, escasa vegetación	<b>0.25</b>	1.08	0.03	0.16	0.00	0.71	0.18	0.07	0.14	0.03	0.09
Techos	<b>0.95</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Asfalto y concreto	<b>0.90</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Área comercial	<b>0.50</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Residencial (suburbana)	<b>0.25</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		<b>TOTAL</b>					<b>0.31</b>	<b>0.51</b>	<b>0.39</b>	<b>0.58</b>	<b>0.47</b>



Plano 9. Coeficiente de escurrimiento

### 5.2.2. Tiempo de Concentración

En la Tabla 9 se muestra el tiempo de concentración calculado de cada subcuenca utilizando la fórmula de Kirpich.

**Tabla 9. Tiempo de concentración**

Subcuenca	A	B	C	D	E
Área (Km <sup>2</sup> )	1.52	0.09	0.28	0.03	1.93
Longitud Cauce Principal (m)	2939.88	389.60	1282.83	227.71	3396.34
Cota Máxima (m)	256.93	216.01	227.58	211.30	269.60
Cota Mínima (m)	216.01	211.30	211.30	209.51	209.51
Pendiente	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
Tiempo de Concentración (min)	47.35	10.55	25.91	8.23	48.25
Tiempo de Concentración (hrs)	0.79	0.18	0.43	0.14	0.80

### 5.2.3. Intensidad Máxima de Lluvia por Período de Retorno

La Intensidad máxima por período de retorno se obtuvo mediante la ecuación de Intensidad-Duración-Frecuencia y el tiempo de concentración determinado por la fórmula de Kirpich. En la Tabla 10 presentan los resultados calculados correspondientes a cada subcuenca.

**Tabla 10. Intensidad máxima de lluvia por período de retorno**

Tr	Intensidad Máxima (mm/hr)				
	A	B	C	D	E
5 años	48.80	109.16	67.42	124.67	48.31
10 años	60.28	134.83	83.28	153.98	59.68
50 años	98.43	220.17	135.99	251.45	97.45
100 años	121.58	271.95	167.97	310.58	120.37

### 5.2.5. Cálculo de Gasto de Diseño para Distinto Período de Retorno "Tr"

A continuación se presenta la Tabla 11 con los resultados de gasto máximo por período de retorno para cada subcuenca, utilizando la fórmula racional.

**Tabla 11. Gasto máximo por período de retorno**

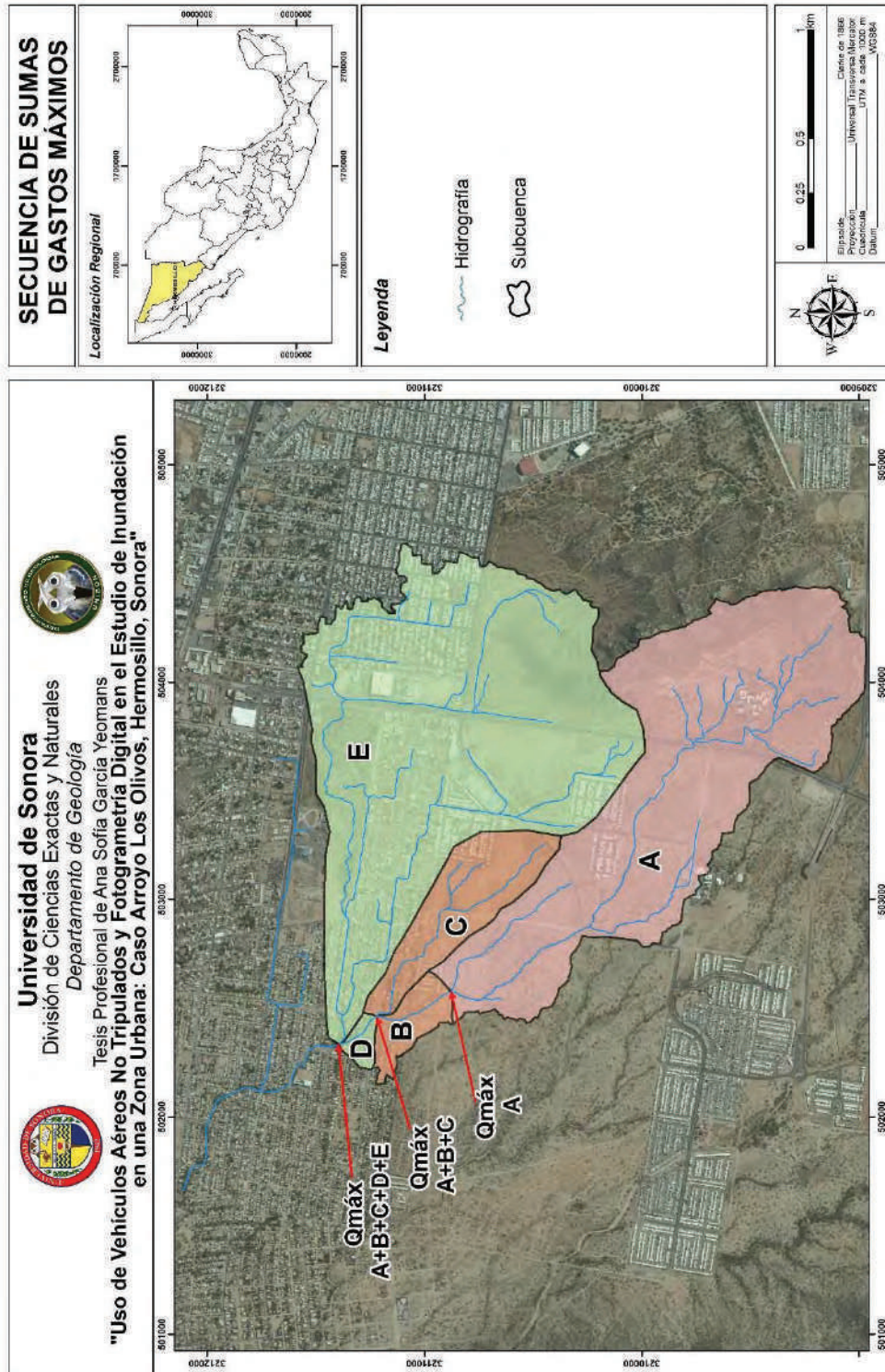
Tr	Gasto Máximo (m <sup>3</sup> /s)				
	A	B	C	D	E
5 años	6.36	1.39	2.01	0.56	12.11
10 años	7.85	1.71	2.48	0.69	14.95
50 años	12.82	2.80	4.06	1.13	24.42
100 años	15.83	3.46	5.01	1.39	30.16

### 5.2.6. Hidrogramas

Para realizar la modelación de tránsito de avenidas se calculó el gasto máximo por período de retorno de toda la cuenca en un mismo intervalo de tiempo, por ello se elaboraron hidrogramas de los gastos máximos por período de retorno correspondientes a cada subcuenca, posteriormente hidrogramas de las sumas de los gastos máximos correspondientes a cada período de retorno (Plano 10, Tabla 12, Gráfica 5 - 8).

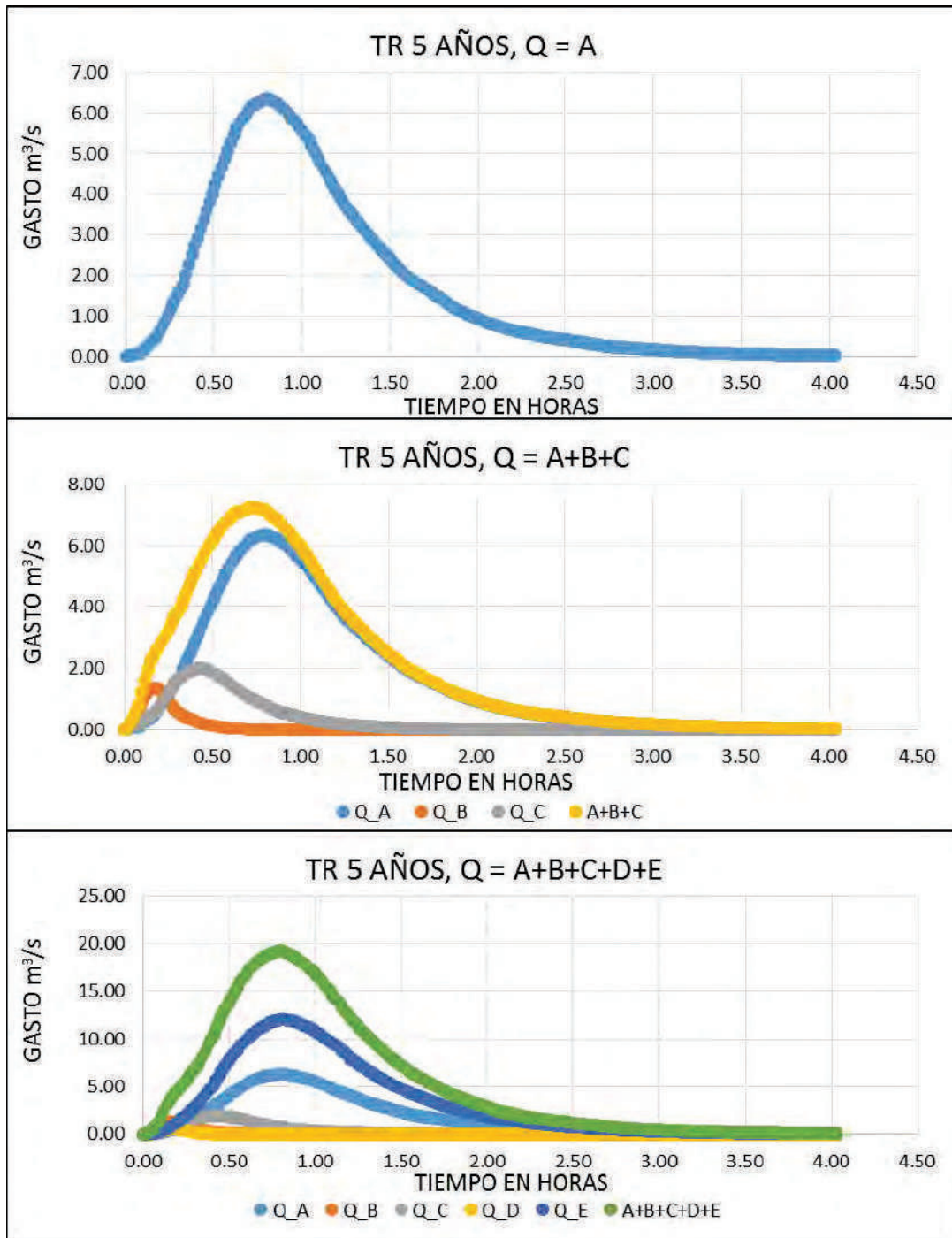
**Tabla 12. Suma de gastos máximos por período de retorno**

Tr	Gasto Máximo (m <sup>3</sup> /s)		
	A	A+B+C	A+B+C+D+E
<b>5 años</b>	6.36	7.24	19.29
<b>10 años</b>	7.85	8.94	23.82
<b>50 años</b>	12.82	14.6	38.9
<b>100 años</b>	15.83	18.04	48.04

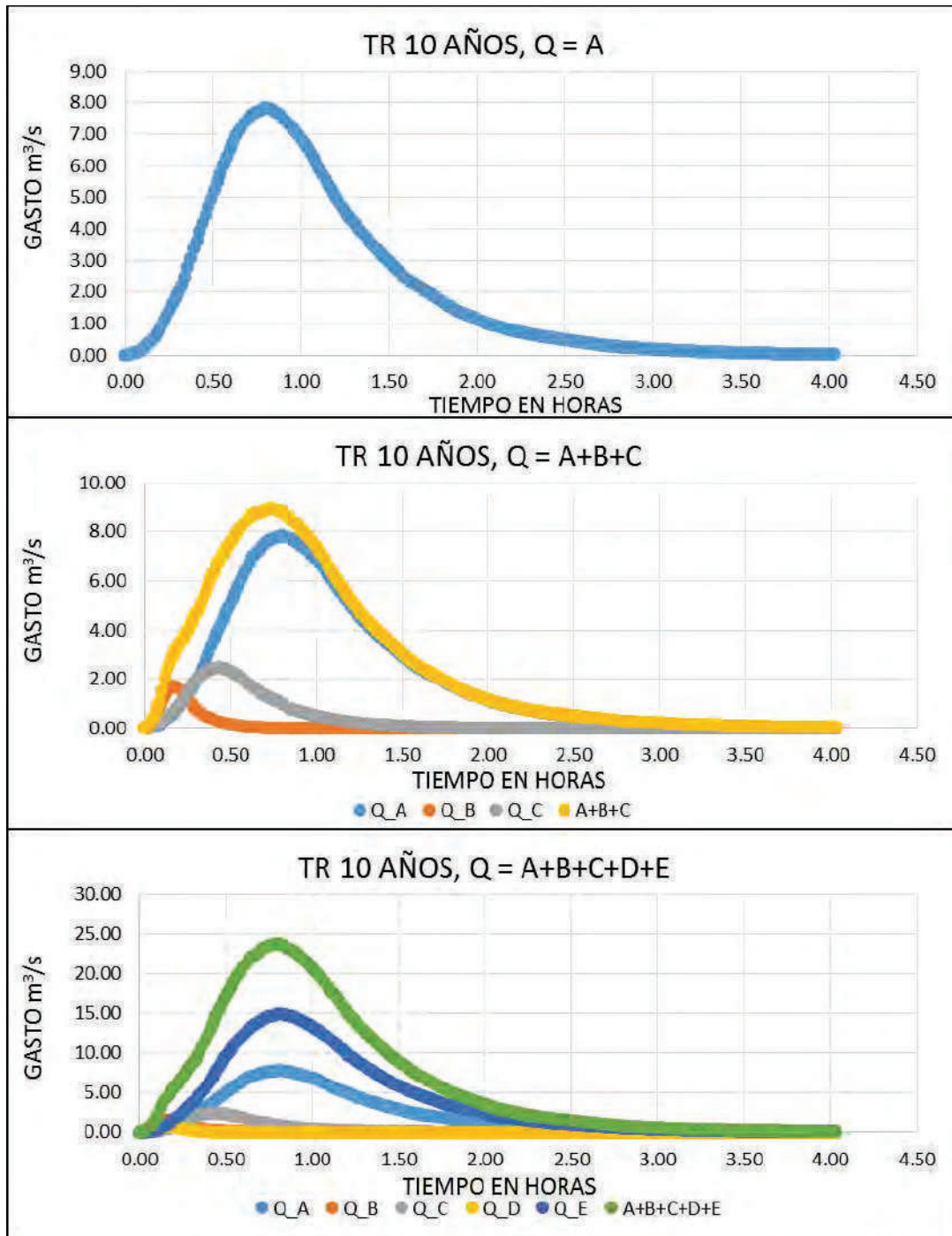


Plano 10. Croquis de la secuencia de sumas de los gastos máximos por período de retorno de cada subcuenca

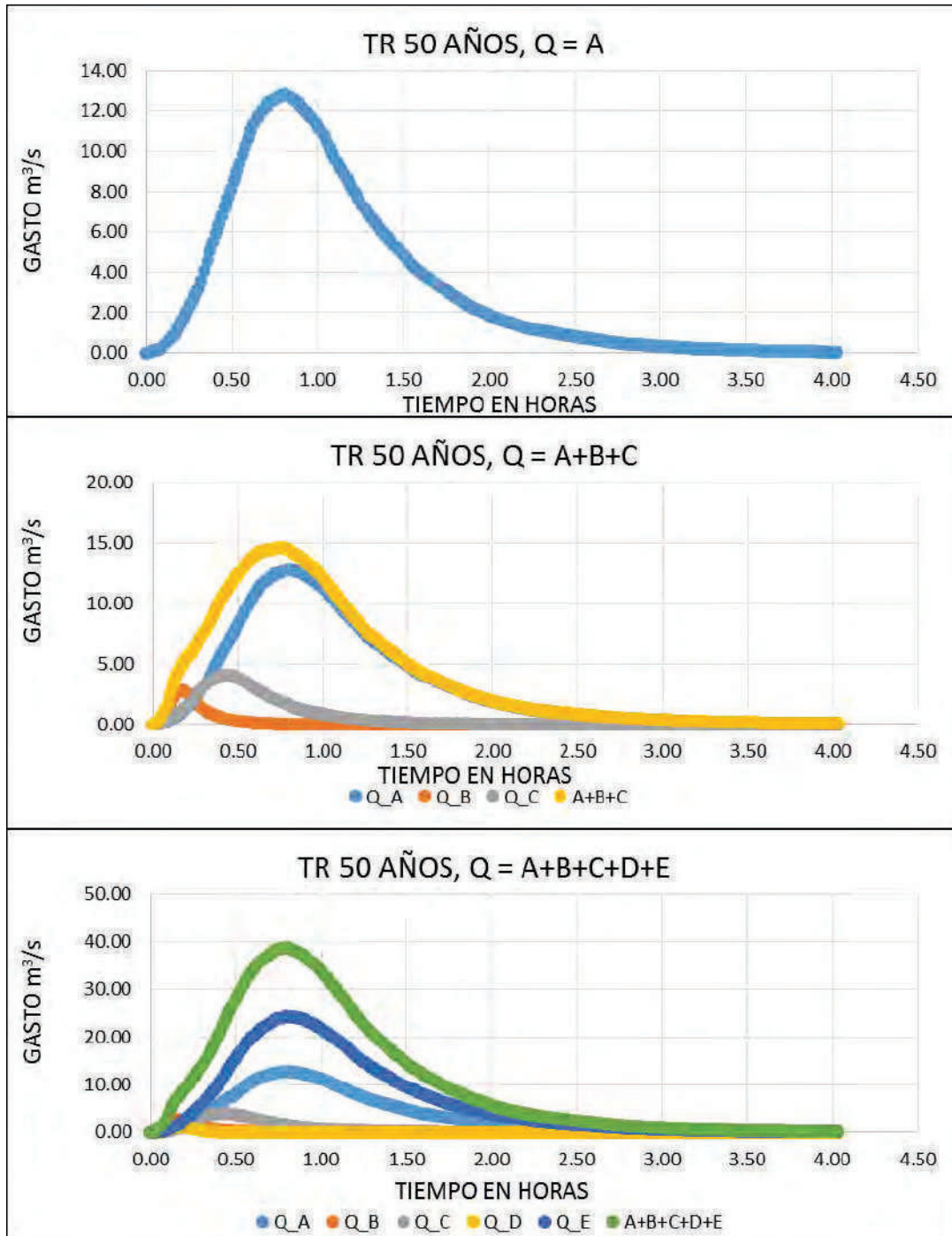
Gráfica 5. Hidrogramas por período de retorno de 5 años



Gráfica 6. Hidrogramas por periodo de retorno de 10 años

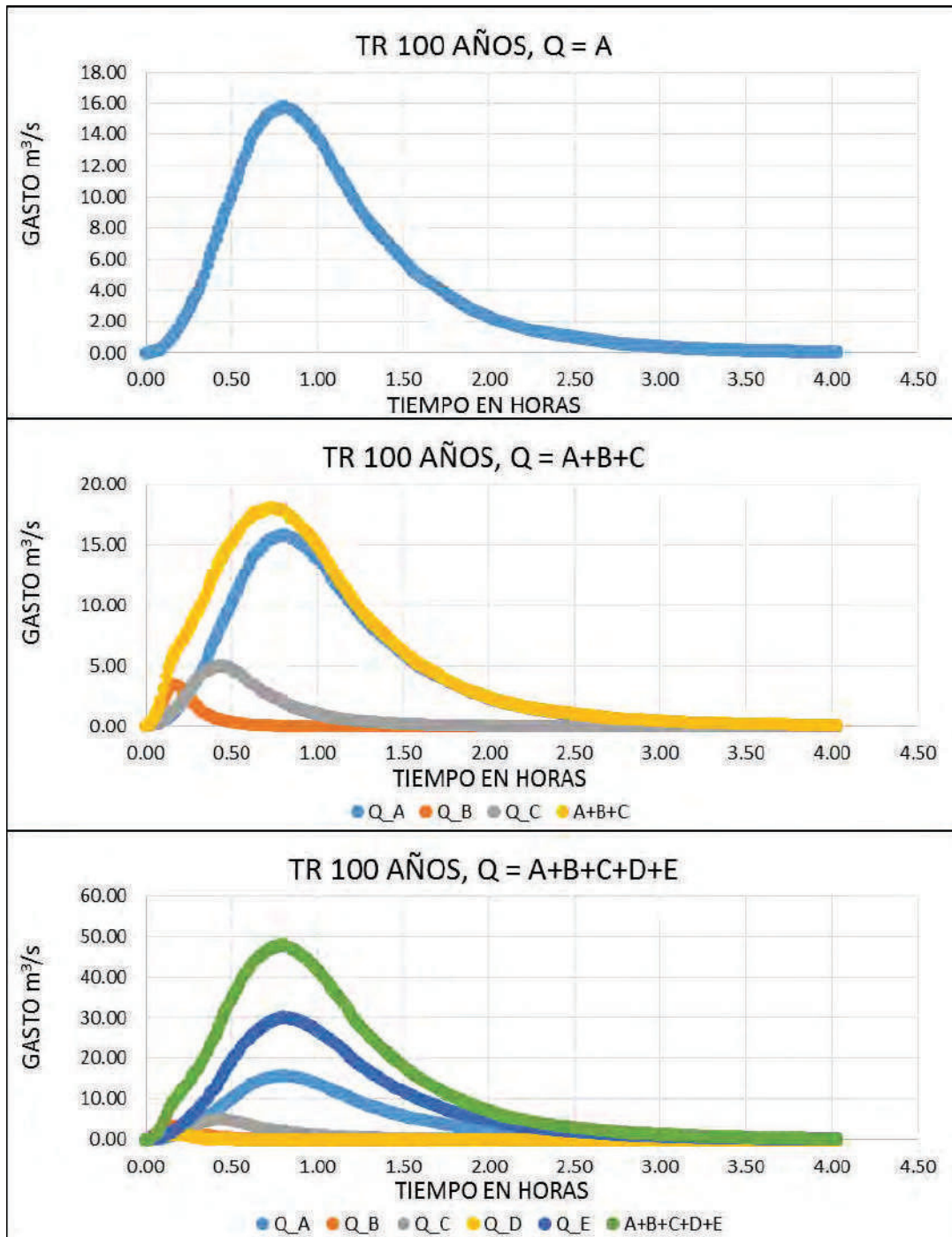


Gráfica 7. Hidrogramas por período de retorno de 50 años





Gráfica 8. Hidrogramas por período de retorno de 100 años

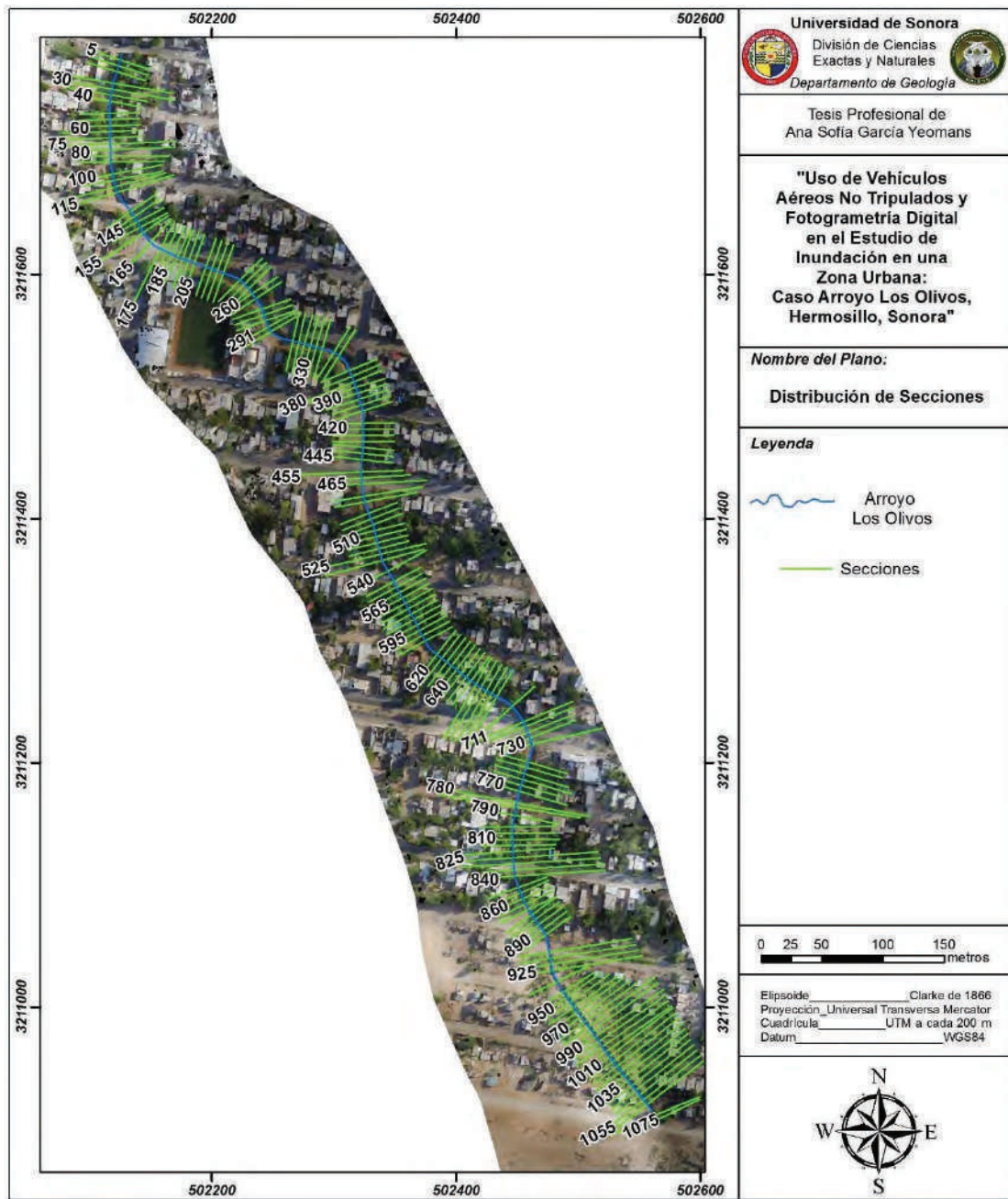


## 6. MODELACIÓN DE TRÁNSITO DE AVENIDAS

Mediante el software HEC-GeoRAS 10 (extensión de ArcGIS 10) se generaron sobre el cauce principal de la cuenca 175 secciones, con un espaciamiento de 5 metros y de una longitud aproximada de 50 metros (Tabla 13 y Plano 11). Posteriormente los datos se exportaron al software HEC-RAS donde se realizó todo el cálculo hidráulico. Los resultados obtenidos se exportaron al software a ArcGIS 10 para finalmente generar mapas de inundación por período de retorno del área de estudio.

Tabla 13. Longitud de secciones

Sección	Longitud (m)	Sección	Longitud (m)	Sección	Longitud (m)	Sección	Longitud (m)	Sección	Longitud (m)
1075	66.46	875	49.94	655	50.04	445	64.40	220	50.03
1071	83.73	870	50.04	650	50.04	440	50.02	215	50.04
1060	101.16	865	50.03	645	50.05	435	50.02	205	50.04
1055	105.68	860	50.03	640	50.05	430	50.01	200	50.04
1050	84.38	855	50.04	635	50.04	425	50.01	195	50.04
1045	85.16	850	50.04	630	50.04	420	50.01	190	50.03
1040	85.96	840	100.12	625	50.04	415	50.02	185	50.05
1035	86.74	835	98.15	620	50.04	405	50.03	180	50.04
1030	87.46	830	113.51	605	50.04	400	50.06	175	85.87
1025	88.21	825	120.76	600	50.02	395	53.54	165	60.95
1020	88.94	820	92.15	595	50.01	390	58.75	155	78.49
1015	89.72	815	60.39	590	50.05	385	73.03	150	50.09
1010	90.51	810	63.61	585	50.03	380	78.25	145	50.03
1005	90.69	805	61.13	580	50.04	375	50.05	140	50.03
1000	91.03	800	60.15	575	50.05	370	50.06	135	50.04
995	91.36	790	62.08	570	50.01	355	48.96	115	93.62
990	92.90	783	116.23	565	50.02	350	50.05	110	87.41
985	92.28	780	124.12	560	50.02	340	50.03	105	64.19
980	92.79	770	65.83	555	50.01	335	50.06	100	65.41
975	77.91	765	59.47	550	50.02	330	50.06	90	68.83
970	74.74	760	66.23	540	60.95	325	50.04	85	72.64
965	71.65	755	62.77	530	83.33	320	50.07	80	76.54
960	69.15	750	55.91	525	93.16	315	50.03	75	96.62
955	64.03	745	58.16	520	50.05	295	50.05	70	76.32
950	58.56	730	84.77	515	50.03	291	50.25	65	63.75
945	54.78	725	65.37	510	50.05	285	50.03	60	50.01
935	53.00	720	64.90	505	50.05	280	50.05	55	50.01
925	99.70	715	77.07	500	50.03	275	50.05	50	50.01
920	97.70	711	86.00	495	50.01	265	50.03	40	50.03
915	95.72	695	70.94	490	50.04	260	50.04	35	66.50
910	93.53	680	68.25	480	68.63	255	50.01	30	93.52
895	50.04	675	68.87	475	74.40	250	50.02	25	85.95
890	50.01	670	72.55	465	78.14	245	50.01	15	50.04
885	50.03	665	74.22	460	72.15	230	50.01	10	50.06
880	50.04	660	76.42	455	96.00	225	50.03	5	50.04

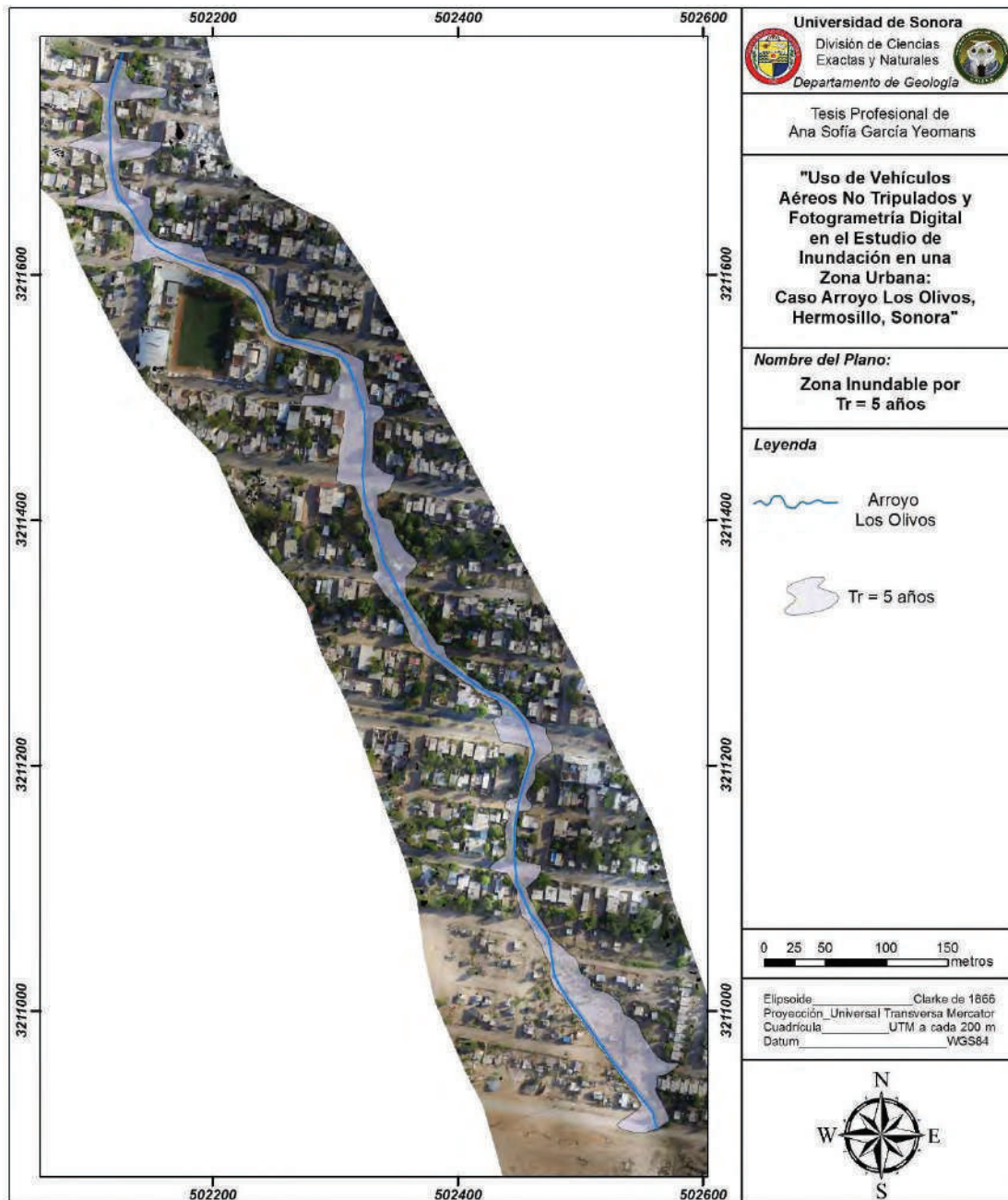


Plano 11. Distribución de secciones

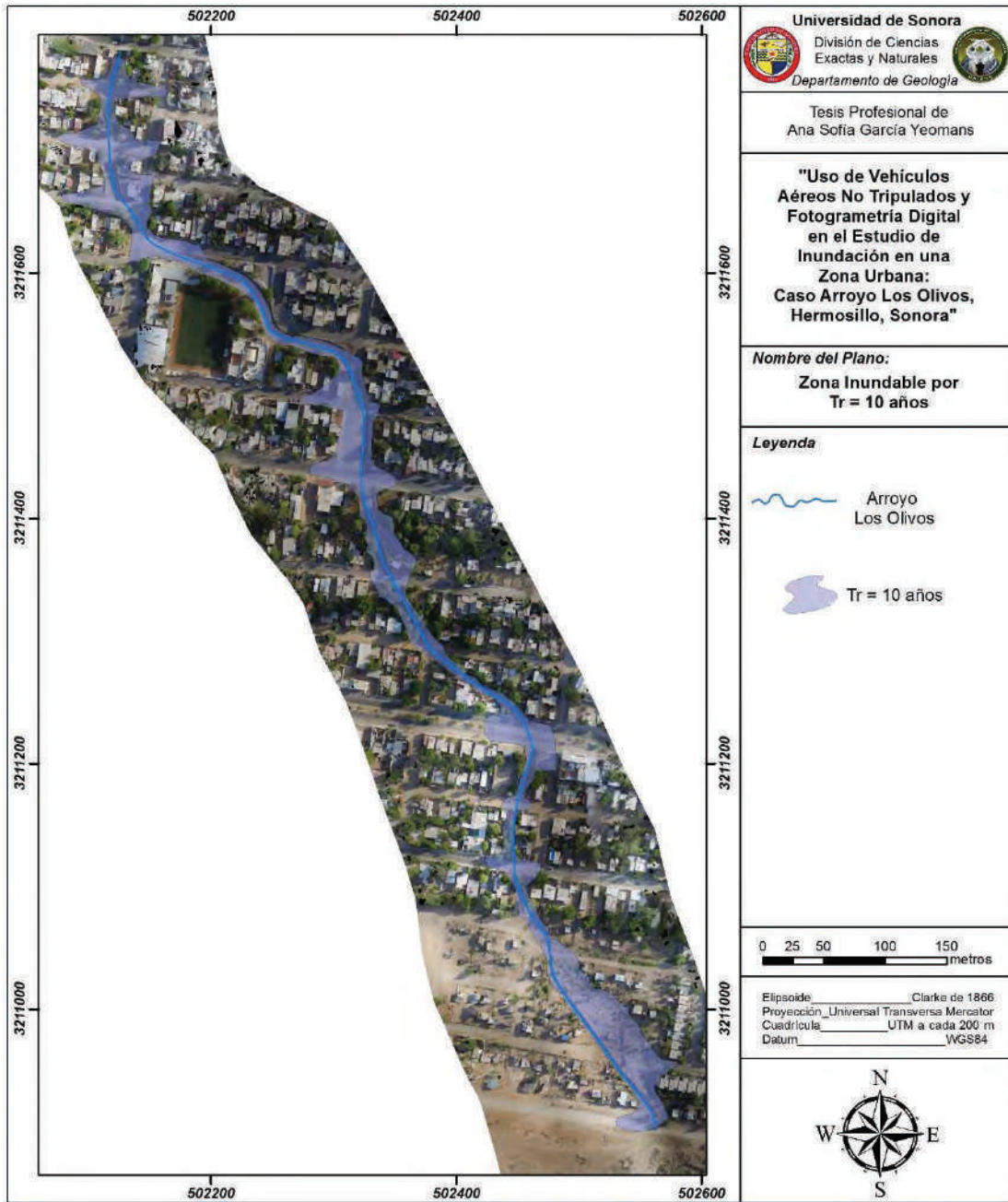
## 7. MAPAS DE INUNDACIÓN

### 7.1. Zona Inundable por Período de Retorno

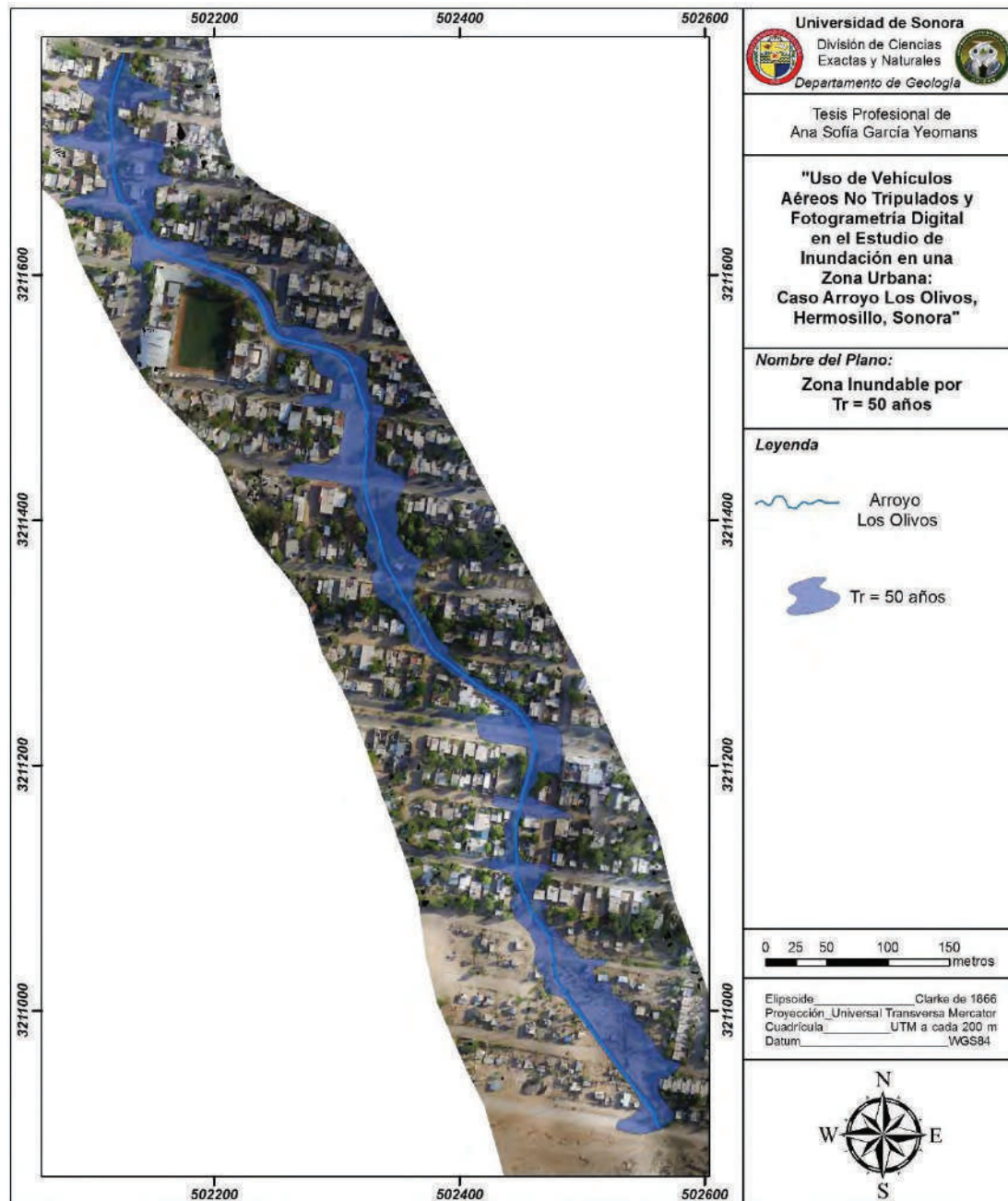
Una vez exportados los cálculos hidráulicos al software ArcGIS 10, se generaron cinco mapas de inundación donde se muestra el área afectada por la lámina de agua en cada período de retorno (Plano 12, 13, 14, 15 y 16).



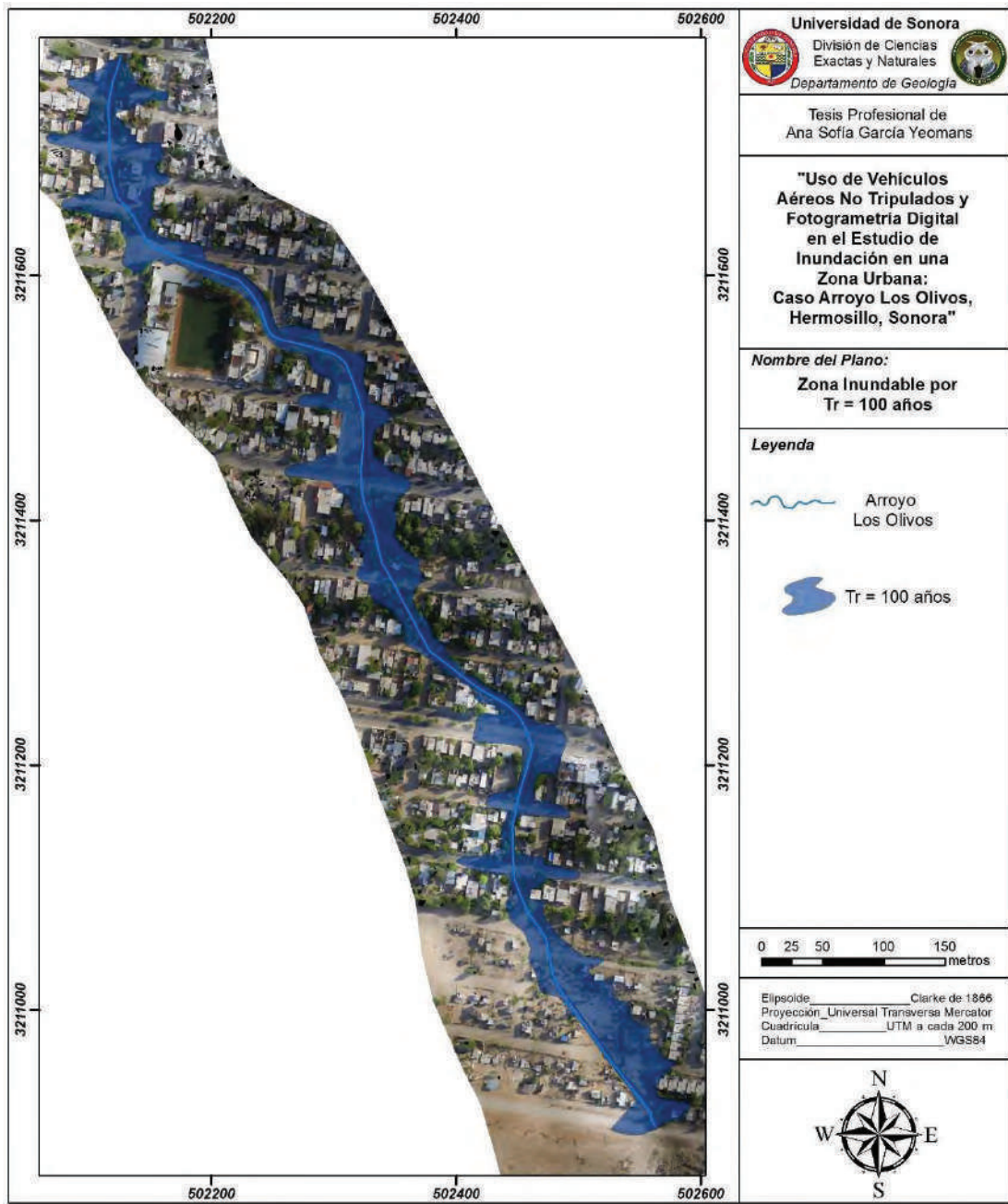
Plano 12. Zona inundable en el período de retorno de 5 años



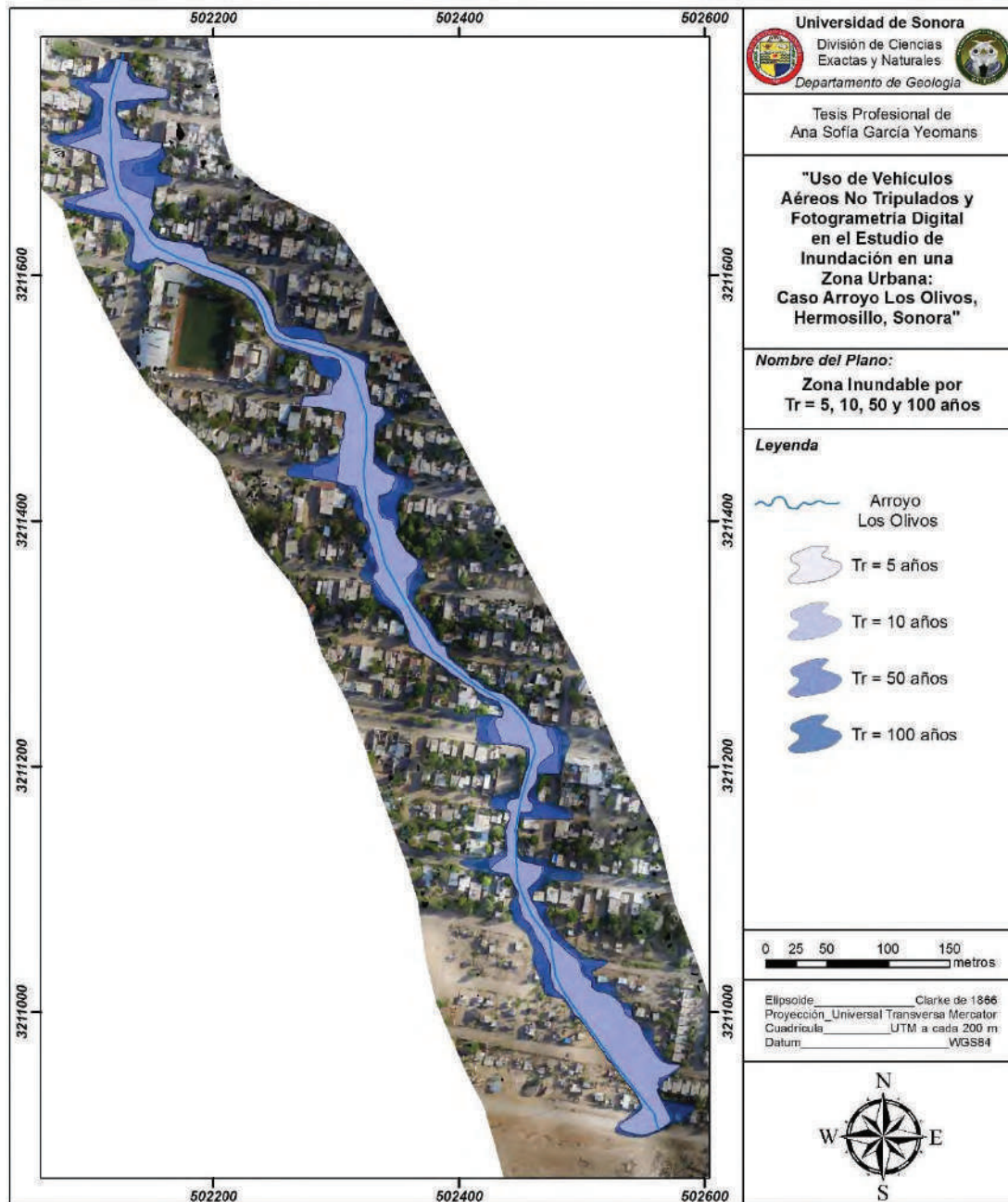
Plano 13. Zona inundable en el período de retorno de 10 años



Plano 14. Zona inundable en el período de retorno de 50 años



Plano 15. Zona inundable en el período de retorno de 100 años



Plano 16. Zona inundable en los períodos de retorno de 5, 10, 50 y 100 años



Como se aprecia en los mapas de inundación por período de retorno, fue posible calcular el área afectada por el peligro de inundación en distintos períodos de retorno, las cuales se muestran en la Tabla 14.

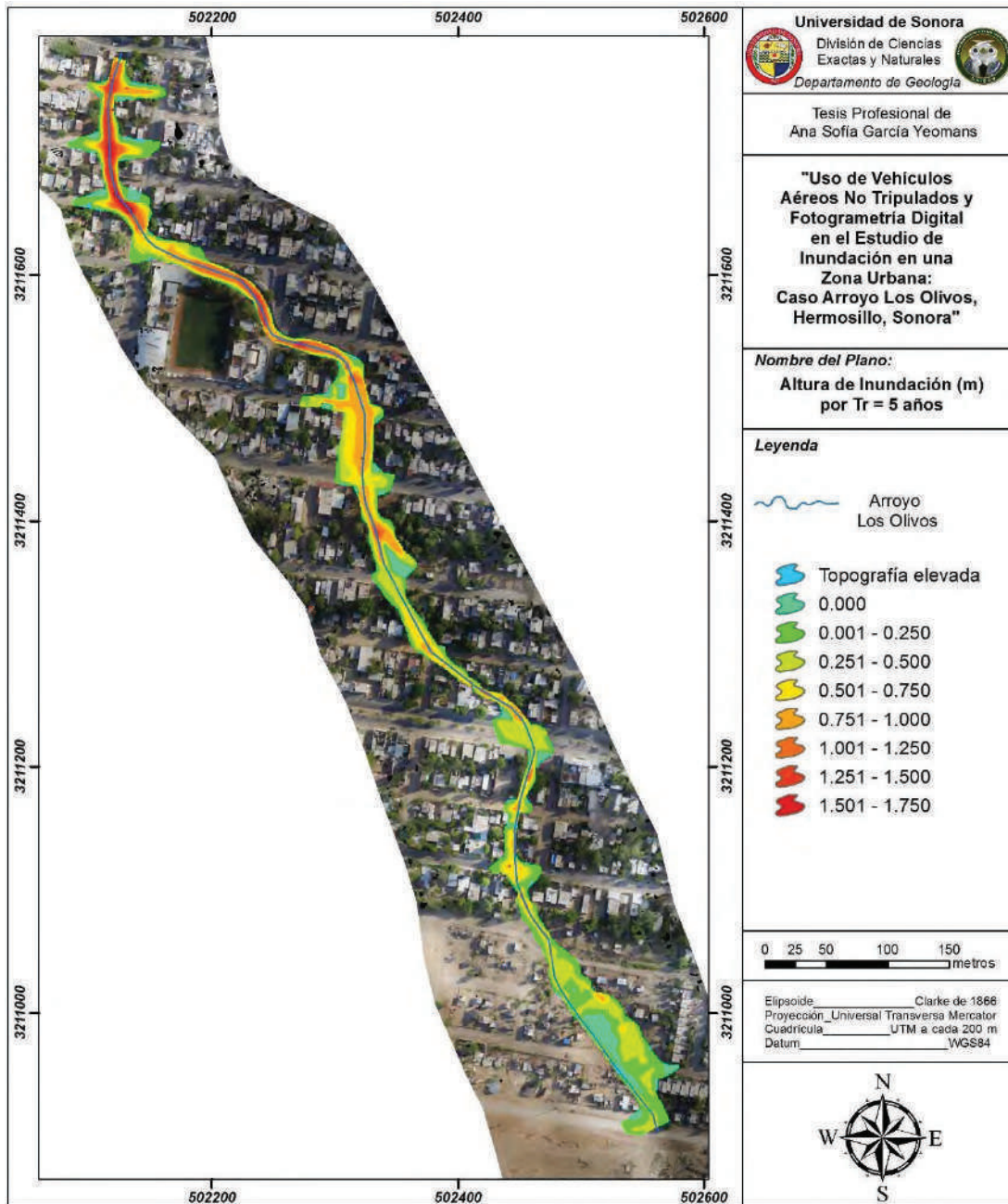
**Tabla 14. Área afectada por la lámina de inundación por período de retorno**

<b>Tr</b>	<b>Área de Inundación (m<sup>2</sup>)</b>
<b>5 años</b>	21,885.28
<b>10 años</b>	24,801.92
<b>50 años</b>	31,052.46
<b>100 años</b>	34,773.90

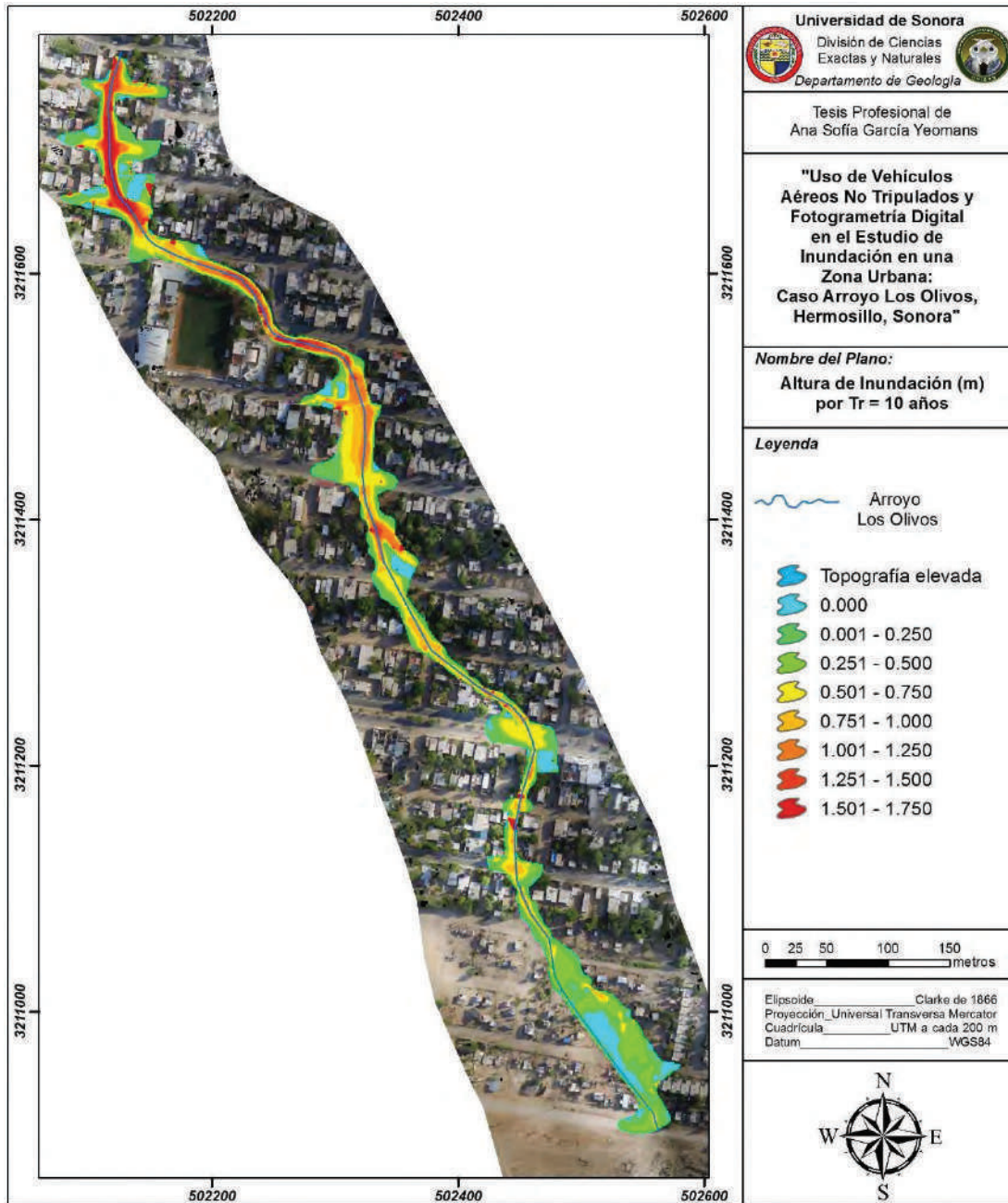
## **7.2. Altura de Inundación por Período de Retorno**

El software HEC-RAS arroja un modelo digital de elevación por período de retorno indicando la altura de inundación sobre el nivel del mar. Para obtener la altura de inundación sobre el terreno, fue necesario restar los valores del modelo digital de elevación de la altura de inundación por período de retorno, con los valores del modelo digital de elevación del terreno.

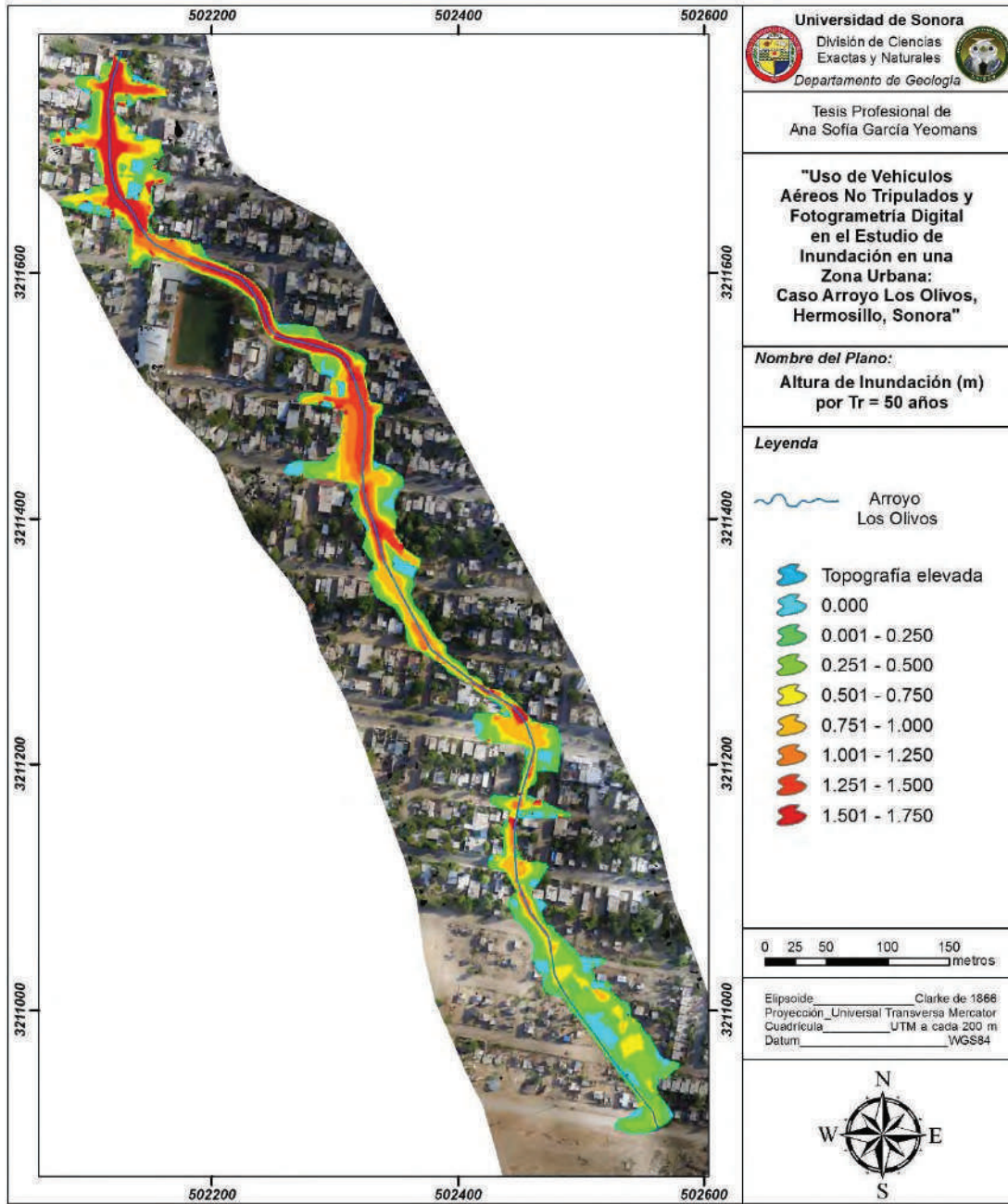
Se generaron cuatro mapas por período de retorno ilustrando sobre el cauce principal la altura de inundación sobre el terreno en metros (Planos 17, 18, 19 y 20). También fue posible calcular la altura máxima de inundación por período de retorno de cada sección y éstas se muestran en las Tablas 15, 16, 17 y 18.



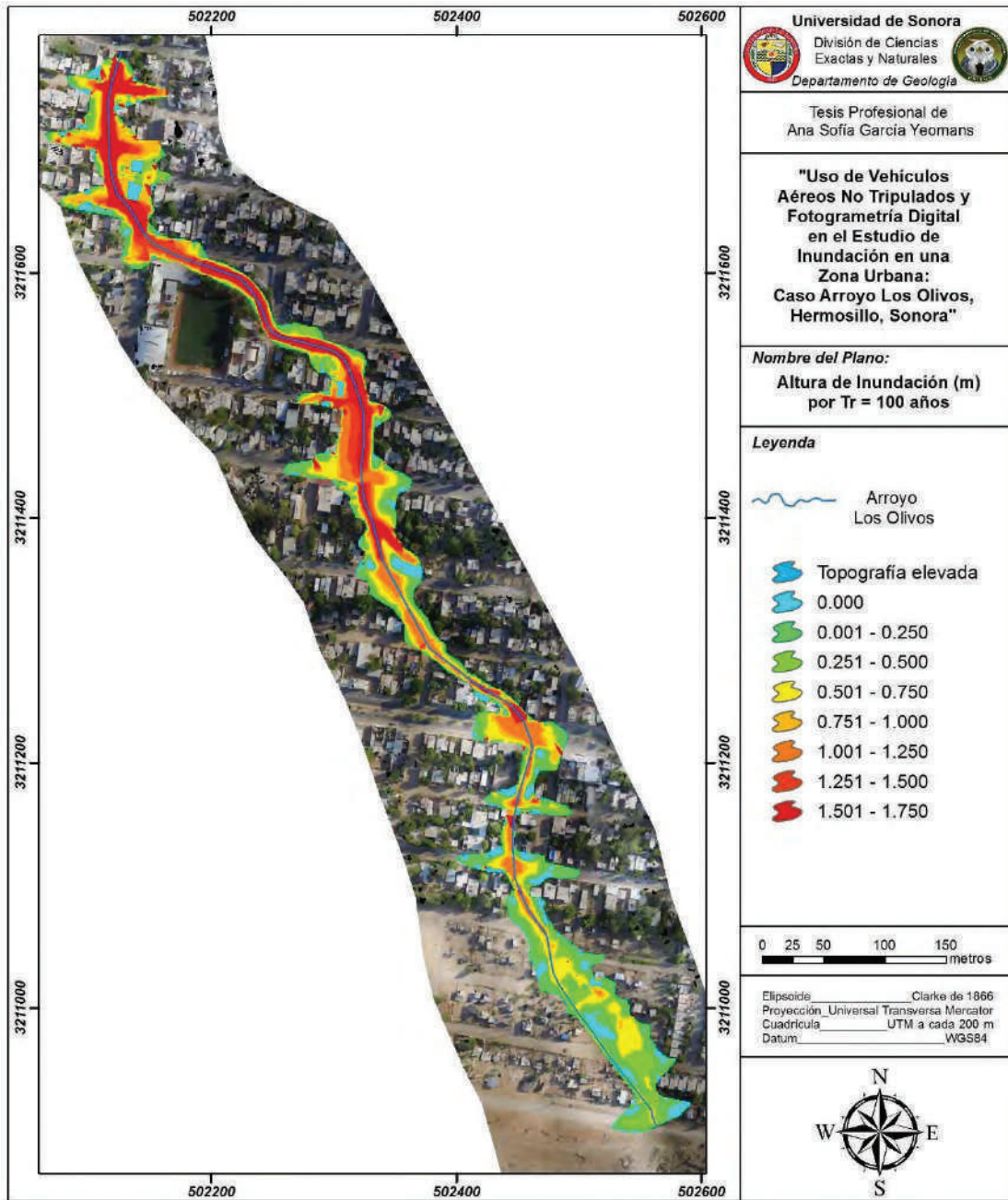
Plano 17. Altura de inundación en metros en el período de retorno de 5 años



Plano 18. Altura de inundación en metros en el período de retorno de 10 años



Plano 19. Altura de inundación en metros en el período de retorno de 50 años



Plano 20. Altura de inundación en metros en el período de retorno de 100 años

**Tabla 15. Altura máxima de inundación de cada sección en el período de retorno de 5 años**

<b>Tr = 5 años</b>									
<b>Sección</b>	<b>Altura máxima de inundación (m)</b>	<b>Sección</b>	<b>Altura máxima de inundación (m)</b>	<b>Sección</b>	<b>Altura máxima de inundación (m)</b>	<b>Sección</b>	<b>Altura máxima de inundación (m)</b>	<b>Sección</b>	<b>Altura máxima de inundación (m)</b>
<b>1075</b>	0.84	<b>875</b>	0.77	<b>655</b>	0.93	<b>445</b>	0.99	<b>220</b>	1.16
<b>1071</b>	0.85	<b>870</b>	0.75	<b>650</b>	0.68	<b>440</b>	0.99	<b>215</b>	1.16
<b>1060</b>	0.31	<b>865</b>	0.76	<b>645</b>	0.73	<b>435</b>	0.98	<b>205</b>	1.02
<b>1055</b>	0.67	<b>860</b>	0.76	<b>640</b>	0.69	<b>430</b>	0.97	<b>200</b>	0.93
<b>1050</b>	0.62	<b>855</b>	1.07	<b>635</b>	0.57	<b>425</b>	0.96	<b>195</b>	0.82
<b>1045</b>	0.55	<b>850</b>	0.96	<b>630</b>	0.63	<b>420</b>	0.95	<b>190</b>	0.82
<b>1040</b>	0.34	<b>840</b>	0.65	<b>625</b>	0.72	<b>415</b>	0.94	<b>185</b>	0.81
<b>1035</b>	0.29	<b>835</b>	0.69	<b>620</b>	0.75	<b>405</b>	0.94	<b>180</b>	0.73
<b>1030</b>	0.20	<b>830</b>	0.69	<b>605</b>	0.75	<b>400</b>	0.91	<b>175</b>	0.65
<b>1025</b>	0.10	<b>825</b>	0.67	<b>600</b>	0.74	<b>395</b>	0.94	<b>165</b>	0.63
<b>1020</b>	-0.08	<b>820</b>	0.57	<b>595</b>	0.73	<b>390</b>	0.94	<b>155</b>	0.83
<b>1015</b>	-0.15	<b>815</b>	0.78	<b>590</b>	0.72	<b>385</b>	0.93	<b>150</b>	1.08
<b>1010</b>	0.33	<b>810</b>	0.79	<b>585</b>	0.71	<b>380</b>	1.07	<b>145</b>	1.10
<b>1005</b>	0.32	<b>805</b>	0.73	<b>580</b>	0.68	<b>375</b>	1.37	<b>140</b>	1.11
<b>1000</b>	0.25	<b>800</b>	0.72	<b>575</b>	0.61	<b>370</b>	0.70	<b>135</b>	1.61
<b>995</b>	0.76	<b>790</b>	1.04	<b>570</b>	0.52	<b>355</b>	1.21	<b>115</b>	1.50
<b>990</b>	0.76	<b>783</b>	0.73	<b>565</b>	0.46	<b>350</b>	1.07	<b>110</b>	1.49
<b>985</b>	0.48	<b>780</b>	0.83	<b>560</b>	0.40	<b>340</b>	1.08	<b>105</b>	1.49
<b>980</b>	0.39	<b>770</b>	0.66	<b>555</b>	0.38	<b>335</b>	1.09	<b>100</b>	1.49
<b>975</b>	0.32	<b>765</b>	0.66	<b>550</b>	0.40	<b>330</b>	1.04	<b>90</b>	1.49
<b>970</b>	0.26	<b>760</b>	0.64	<b>540</b>	0.40	<b>325</b>	1.41	<b>85</b>	1.50
<b>965</b>	0.28	<b>755</b>	1.01	<b>530</b>	0.90	<b>320</b>	1.51	<b>80</b>	1.52
<b>960</b>	0.27	<b>750</b>	0.86	<b>525</b>	0.90	<b>315</b>	1.17	<b>75</b>	1.51
<b>955</b>	0.23	<b>745</b>	0.79	<b>520</b>	0.90	<b>295</b>	0.87	<b>70</b>	1.45
<b>950</b>	0.28	<b>730</b>	0.39	<b>515</b>	0.90	<b>291</b>	1.01	<b>65</b>	1.42
<b>945</b>	0.45	<b>725</b>	0.41	<b>510</b>	1.28	<b>285</b>	1.38	<b>60</b>	1.41
<b>935</b>	0.39	<b>720</b>	0.41	<b>505</b>	1.40	<b>280</b>	1.38	<b>55</b>	1.36
<b>925</b>	0.36	<b>715</b>	0.41	<b>500</b>	1.28	<b>275</b>	1.38	<b>50</b>	1.28
<b>920</b>	0.34	<b>711</b>	0.52	<b>495</b>	1.03	<b>265</b>	1.26	<b>40</b>	1.21
<b>915</b>	0.72	<b>695</b>	0.88	<b>490</b>	0.99	<b>260</b>	1.28	<b>35</b>	1.24
<b>910</b>	0.73	<b>680</b>	0.77	<b>480</b>	0.92	<b>255</b>	1.27	<b>30</b>	1.34
<b>895</b>	0.66	<b>675</b>	0.68	<b>475</b>	0.93	<b>250</b>	1.27	<b>25</b>	1.30
<b>890</b>	0.97	<b>670</b>	1.20	<b>465</b>	0.70	<b>245</b>	1.26	<b>15</b>	1.15
<b>885</b>	0.84	<b>665</b>	1.19	<b>460</b>	0.54	<b>230</b>	1.19	<b>10</b>	1.10
<b>880</b>	0.80	<b>660</b>	1.01	<b>455</b>	0.80	<b>225</b>	1.17	<b>5</b>	0.87

**Tabla 16. Altura máxima de inundación de cada sección en el período de retorno de 10 años**

<b>Tr = 10 años</b>									
<b>Sección</b>	<b>Altura máxima de inundación (m)</b>	<b>Sección</b>	<b>Altura máxima de inundación (m)</b>	<b>Sección</b>	<b>Altura máxima de inundación (m)</b>	<b>Sección</b>	<b>Altura máxima de inundación (m)</b>	<b>Sección</b>	<b>Altura máxima de inundación (m)</b>
<b>1075</b>	0.88	<b>875</b>	0.84	<b>655</b>	1.05	<b>445</b>	1.09	<b>220</b>	1.19
<b>1071</b>	0.89	<b>870</b>	0.85	<b>650</b>	0.77	<b>440</b>	1.09	<b>215</b>	1.18
<b>1060</b>	0.36	<b>865</b>	0.85	<b>645</b>	0.80	<b>435</b>	1.08	<b>205</b>	0.96
<b>1055</b>	0.70	<b>860</b>	0.84	<b>640</b>	0.76	<b>430</b>	1.07	<b>200</b>	1.03
<b>1050</b>	0.66	<b>855</b>	1.15	<b>635</b>	0.66	<b>425</b>	1.05	<b>195</b>	0.93
<b>1045</b>	0.57	<b>850</b>	1.00	<b>630</b>	0.70	<b>420</b>	1.04	<b>190</b>	0.92
<b>1040</b>	0.37	<b>840</b>	0.72	<b>625</b>	0.79	<b>415</b>	1.04	<b>185</b>	0.91
<b>1035</b>	0.32	<b>835</b>	0.76	<b>620</b>	0.83	<b>405</b>	1.04	<b>180</b>	0.83
<b>1030</b>	0.23	<b>830</b>	0.76	<b>605</b>	0.83	<b>400</b>	1.00	<b>175</b>	0.73
<b>1025</b>	0.12	<b>825</b>	0.74	<b>600</b>	0.83	<b>395</b>	1.03	<b>165</b>	0.75
<b>1020</b>	-0.05	<b>820</b>	0.66	<b>595</b>	0.81	<b>390</b>	1.04	<b>155</b>	1.02
<b>1015</b>	-0.11	<b>815</b>	0.86	<b>590</b>	0.80	<b>385</b>	1.03	<b>150</b>	1.25
<b>1010</b>	0.37	<b>810</b>	0.86	<b>585</b>	0.79	<b>380</b>	1.16	<b>145</b>	1.28
<b>1005</b>	0.36	<b>805</b>	0.81	<b>580</b>	0.76	<b>375</b>	1.45	<b>140</b>	1.28
<b>1000</b>	0.25	<b>800</b>	0.80	<b>575</b>	0.68	<b>370</b>	0.77	<b>135</b>	1.79
<b>995</b>	0.72	<b>790</b>	1.10	<b>570</b>	0.57	<b>355</b>	1.37	<b>115</b>	1.73
<b>990</b>	0.72	<b>783</b>	0.83	<b>565</b>	0.53	<b>350</b>	1.26	<b>110</b>	1.73
<b>985</b>	0.61	<b>780</b>	0.93	<b>560</b>	0.54	<b>340</b>	1.27	<b>105</b>	1.66
<b>980</b>	0.44	<b>770</b>	0.71	<b>555</b>	0.55	<b>335</b>	1.29	<b>100</b>	1.66
<b>975</b>	0.35	<b>765</b>	0.70	<b>550</b>	0.55	<b>330</b>	1.25	<b>90</b>	1.66
<b>970</b>	0.30	<b>760</b>	0.69	<b>540</b>	0.56	<b>325</b>	1.61	<b>85</b>	1.69
<b>965</b>	0.32	<b>755</b>	1.06	<b>530</b>	1.05	<b>320</b>	1.70	<b>80</b>	1.71
<b>960</b>	0.31	<b>750</b>	0.90	<b>525</b>	1.05	<b>315</b>	1.33	<b>75</b>	1.70
<b>955</b>	0.27	<b>745</b>	0.92	<b>520</b>	1.06	<b>295</b>	0.99	<b>70</b>	1.62
<b>950</b>	0.31	<b>730</b>	0.52	<b>515</b>	1.06	<b>291</b>	1.12	<b>65</b>	1.58
<b>945</b>	0.49	<b>725</b>	0.53	<b>510</b>	1.44	<b>285</b>	1.50	<b>60</b>	1.57
<b>935</b>	0.44	<b>720</b>	0.54	<b>505</b>	1.56	<b>280</b>	1.50	<b>55</b>	1.52
<b>925</b>	0.42	<b>715</b>	0.54	<b>500</b>	1.43	<b>275</b>	1.50	<b>50</b>	1.43
<b>920</b>	0.41	<b>711</b>	0.64	<b>495</b>	1.15	<b>265</b>	1.32	<b>40</b>	1.36
<b>915</b>	0.80	<b>695</b>	1.00	<b>490</b>	1.11	<b>260</b>	1.36	<b>35</b>	1.42
<b>910</b>	0.86	<b>680</b>	0.87	<b>480</b>	0.98	<b>255</b>	1.35	<b>30</b>	1.50
<b>895</b>	0.66	<b>675</b>	0.78	<b>475</b>	0.99	<b>250</b>	1.35	<b>25</b>	1.48
<b>890</b>	1.03	<b>670</b>	1.29	<b>465</b>	0.80	<b>245</b>	1.34	<b>15</b>	1.29
<b>885</b>	0.92	<b>665</b>	1.27	<b>460</b>	0.64	<b>230</b>	1.23	<b>10</b>	1.23
<b>880</b>	0.88	<b>660</b>	1.11	<b>455</b>	0.91	<b>225</b>	1.20	<b>5</b>	1.00

**Tabla 17. Altura máxima de inundación de cada sección en el período de retorno de 50 años**

<b>Tr = 50 años</b>									
<b>Sección</b>	<b>Altura máxima de inundación (m)</b>	<b>Sección</b>	<b>Altura máxima de inundación (m)</b>	<b>Sección</b>	<b>Altura máxima de inundación (m)</b>	<b>Sección</b>	<b>Altura máxima de inundación (m)</b>	<b>Sección</b>	<b>Altura máxima de inundación (m)</b>
<b>1075</b>	0.99	<b>875</b>	1.08	<b>655</b>	1.30	<b>445</b>	1.46	<b>220</b>	1.38
<b>1071</b>	1.00	<b>870</b>	1.12	<b>650</b>	0.99	<b>440</b>	1.45	<b>215</b>	1.36
<b>1060</b>	0.47	<b>865</b>	1.10	<b>645</b>	0.95	<b>435</b>	1.45	<b>205</b>	1.38
<b>1055</b>	0.85	<b>860</b>	1.09	<b>640</b>	0.91	<b>430</b>	1.44	<b>200</b>	1.24
<b>1050</b>	0.77	<b>855</b>	1.42	<b>635</b>	0.87	<b>425</b>	1.42	<b>195</b>	1.28
<b>1045</b>	0.63	<b>850</b>	1.16	<b>630</b>	0.91	<b>420</b>	1.42	<b>190</b>	1.27
<b>1040</b>	0.47	<b>840</b>	0.94	<b>625</b>	0.95	<b>415</b>	1.41	<b>185</b>	1.28
<b>1035</b>	0.41	<b>835</b>	0.96	<b>620</b>	1.04	<b>405</b>	1.42	<b>180</b>	1.20
<b>1030</b>	0.31	<b>830</b>	0.97	<b>605</b>	1.05	<b>400</b>	1.37	<b>175</b>	1.17
<b>1025</b>	0.20	<b>825</b>	0.94	<b>600</b>	1.05	<b>395</b>	1.41	<b>165</b>	1.29
<b>1020</b>	0.05	<b>820</b>	0.81	<b>595</b>	1.03	<b>390</b>	1.42	<b>155</b>	1.45
<b>1015</b>	0.00	<b>815</b>	1.09	<b>590</b>	1.02	<b>385</b>	1.41	<b>150</b>	1.67
<b>1010</b>	0.49	<b>810</b>	1.10	<b>585</b>	0.99	<b>380</b>	1.55	<b>145</b>	1.72
<b>1005</b>	0.48	<b>805</b>	1.05	<b>580</b>	0.96	<b>375</b>	1.84	<b>140</b>	1.72
<b>1000</b>	0.34	<b>800</b>	1.04	<b>575</b>	0.87	<b>370</b>	1.30	<b>135</b>	2.23
<b>995</b>	0.84	<b>790</b>	1.28	<b>570</b>	0.83	<b>355</b>	1.91	<b>115</b>	2.24
<b>990</b>	0.83	<b>783</b>	1.15	<b>565</b>	0.85	<b>350</b>	1.78	<b>110</b>	2.23
<b>985</b>	0.72	<b>780</b>	1.26	<b>560</b>	0.87	<b>340</b>	1.84	<b>105</b>	2.15
<b>980</b>	0.58	<b>770</b>	0.85	<b>555</b>	0.88	<b>335</b>	1.84	<b>100</b>	2.11
<b>975</b>	0.47	<b>765</b>	0.79	<b>550</b>	0.88	<b>330</b>	1.79	<b>90</b>	2.15
<b>970</b>	0.41	<b>760</b>	0.81	<b>540</b>	0.88	<b>325</b>	2.12	<b>85</b>	2.17
<b>965</b>	0.45	<b>755</b>	1.21	<b>530</b>	1.38	<b>320</b>	2.18	<b>80</b>	2.18
<b>960</b>	0.45	<b>750</b>	0.96	<b>525</b>	1.38	<b>315</b>	1.97	<b>75</b>	2.18
<b>955</b>	0.39	<b>745</b>	1.09	<b>520</b>	1.38	<b>295</b>	1.38	<b>70</b>	2.16
<b>950</b>	0.40	<b>730</b>	0.84	<b>515</b>	1.38	<b>291</b>	1.56	<b>65</b>	2.11
<b>945</b>	0.61	<b>725</b>	0.85	<b>510</b>	1.76	<b>285</b>	1.92	<b>60</b>	2.03
<b>935</b>	0.57	<b>720</b>	0.85	<b>505</b>	1.88	<b>280</b>	1.91	<b>55</b>	1.98
<b>925</b>	0.54	<b>715</b>	0.85	<b>500</b>	1.72	<b>275</b>	1.93	<b>50</b>	1.82
<b>920</b>	0.50	<b>711</b>	0.96	<b>495</b>	1.52	<b>265</b>	1.55	<b>40</b>	1.86
<b>915</b>	0.86	<b>695</b>	1.33	<b>490</b>	1.42	<b>260</b>	1.65	<b>35</b>	1.94
<b>910</b>	0.93	<b>680</b>	1.20	<b>480</b>	1.45	<b>255</b>	1.64	<b>30</b>	1.98
<b>895</b>	0.92	<b>675</b>	1.08	<b>475</b>	1.39	<b>250</b>	1.67	<b>25</b>	1.96
<b>890</b>	1.22	<b>670</b>	1.57	<b>465</b>	1.19	<b>245</b>	1.67	<b>15</b>	1.79
<b>885</b>	1.11	<b>665</b>	1.48	<b>460</b>	1.03	<b>230</b>	1.50	<b>10</b>	1.63
<b>880</b>	1.08	<b>660</b>	1.49	<b>455</b>	1.31	<b>225</b>	1.40	<b>5</b>	1.31



**Tabla 18. Altura máxima de inundación de cada sección en el período de retorno de 100 años**

<b>Tr = 100 años</b>									
<b>Sección</b>	<b>Altura máxima de inundación (m)</b>	<b>Sección</b>	<b>Altura máxima de inundación (m)</b>	<b>Sección</b>	<b>Altura máxima de inundación (m)</b>	<b>Sección</b>	<b>Altura máxima de inundación (m)</b>	<b>Sección</b>	<b>Altura máxima de inundación (m)</b>
1075	1.06	875	1.22	655	1.43	445	1.63	220	1.47
1071	1.07	870	1.25	650	1.14	440	1.61	215	1.44
1060	0.55	865	1.23	645	1.02	435	1.60	205	1.55
1055	0.95	860	1.20	640	1.02	430	1.59	200	1.39
1050	0.83	855	1.55	635	0.98	425	1.58	195	1.48
1045	0.66	850	1.27	630	1.02	420	1.57	190	1.47
1040	0.48	840	1.04	625	1.04	415	1.56	185	1.48
1035	0.46	835	1.07	620	1.15	405	1.57	180	1.41
1030	0.36	830	1.08	605	1.17	400	1.51	175	1.39
1025	0.24	825	1.04	600	1.17	395	1.55	165	1.50
1020	0.09	820	0.89	595	1.15	390	1.57	155	1.66
1015	0.07	815	1.21	590	1.14	385	1.57	150	1.86
1010	0.56	810	1.22	585	1.11	380	1.71	145	1.93
1005	0.55	805	1.19	580	1.07	375	1.98	140	1.94
1000	0.38	800	1.18	575	1.00	370	1.44	135	2.45
995	0.88	790	1.38	570	0.98	355	2.10	115	2.46
990	0.87	783	1.28	565	1.00	350	1.92	110	2.46
985	0.77	780	1.39	560	1.02	340	1.99	105	2.39
980	0.68	770	1.09	555	1.03	335	1.99	100	2.36
975	0.49	765	0.90	550	1.02	330	1.93	90	2.39
970	0.49	760	0.93	540	1.03	325	2.25	85	2.40
965	0.52	755	1.33	530	1.52	320	2.28	80	2.41
960	0.51	750	0.96	525	1.52	315	2.18	75	2.41
955	0.46	745	1.17	520	1.52	295	1.45	70	2.40
950	0.46	730	1.02	515	1.52	291	1.63	65	2.36
945	0.65	725	1.02	510	1.90	285	1.97	60	2.30
935	0.62	720	1.02	505	2.02	280	1.95	55	2.23
925	0.60	715	1.03	500	1.84	275	1.99	50	2.10
920	0.58	711	1.13	495	1.62	265	1.79	40	2.17
915	0.93	695	1.51	490	1.64	260	1.80	35	2.22
910	1.00	680	1.41	480	1.62	255	1.80	30	2.25
895	0.99	675	1.35	475	1.58	250	1.83	25	2.24
890	1.33	670	1.75	465	1.37	245	1.84	15	2.10
885	1.22	665	1.61	460	1.20	230	1.69	10	1.82
880	1.20	660	1.67	455	1.48	225	1.52	5	1.48

## 8. RESULTADOS

Mediante el levantamiento fotogramétrico se obtuvo como resultado una ortofotografía que proporcionó una visualización detallada y actualizada del terreno. También se obtuvo un modelo digital de elevación preciso, con un error de 4.6 milímetros, el cual se utilizó como base para la modelación de tránsito de avenidas.

Para la modelación de tránsito de avenidas, además de utilizar el modelo digital de elevación como base, también fue necesario realizar un estudio hidrológico de la cuenca de estudio, determinando en los períodos de retorno de 5, 10, 50 y 100 años los gastos máximos de cada subcuenca. Posteriormente se generaron hidrogramas para calcular el gasto máximo por período de retorno de toda la cuenca en un mismo intervalo de tiempo, todo esto con el propósito de realizar la modelación sobre el cauce principal.

En la modelación de tránsito de avenidas se tomó en cuenta la infraestructura urbana asentada en el margen del cauce, así como basura y escombros dentro del cauce principal, los cuales afectan al escurrimiento del agua, incrementando la inundación.

Se obtuvo un modelo digital de elevación de la lámina de inundación sobre el nivel del mar, posteriormente se calcularon las alturas de inundación sobre el terreno. Los valores negativos que se presentan en las alturas de inundación corresponden a la presencia de topografía elevada, como casas, bardas, etc.

Los mapas de inundación reflejan las distintas áreas de afectación con variabilidad en altura de inundación, en el caso de la sección 135, que se encuentra entre las calles Gladiola y Del Álamo Blanco, ubicadas aguas abajo del cauce principal, desde el período de retorno de 5 años presenta una altura máxima de hasta 1.61 metros, intensificándose en el período de retorno de 100 años con altura máxima de hasta 2.45 metros. Estas alturas de inundación están relacionadas con la topografía de la zona, ya que el canal del cauce localizado aguas abajo se encuentra más estrecho y profundo, a diferencia de aguas arriba.

Sin embargo aguas arriba del área se ve más afectado por la extensión del agua, debido a que no hay mucha profundidad en el canal del cauce principal, generando esparcimiento de agua en las calles.

Todo esto afecta severamente a la urbanización asentada en las orillas del cauce, provocando inundaciones, derrumbes, proceso de erosión o depositación de materiales acarreados por la corriente de agua, y pérdidas materiales y/o humanas.

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Un estudio detallado de peligro de inundación requiere de datos precisos de topografía, que son costosos en tiempo y recursos. En los últimos años la fotogrametría digital y los vehículos aéreos no tripulados se han convertido en herramientas muy eficaces para la realización de levantamientos topográficos, ofreciendo una gran cantidad de ventajas para trabajos a grandes escalas.

Los vehículos aéreos no tripulados son una tendencia de solución para la captura de imágenes aéreas y generación de productos topográficos con una alta resolución espacial, mayor precisión y mayor seguridad, todo esto a un costo reducido y en un corto período de tiempo.

Cabe destacar que los vehículos aéreos no tripulados también tienen desventajas, entre ellos se puede mencionar que cuentan con un tiempo de vuelo limitado y en algunos casos se requiere que los vuelos se realicen en más de una sesión; también están sujetos a que las condiciones climáticas sean óptimas para realizar el vuelo, etc.

No obstante, para los fines de este trabajo, se cumplió satisfactoriamente con el objetivo, el cual era realizar un levantamiento topográfico de la zona estudiada, generando un modelo digital de elevación preciso, sirviendo como base para crear una modelación de tránsito de avenidas por medio del software HEC-RAS para determinar el peligro de inundación del área de estudio. También se obtuvo una ortofotografía detallada y actualizada para la visualización del terreno.

La precisión del levantamiento topográfico dependió de la densidad de la nube de puntos y de la ubicación de los puntos de control, siendo éstos fotoidentificables en el área de estudio.

Los software Agisoft PhotoScan Professional, ArcGis 10, HEC-GeoRAS 10 y HEC-RAS fueron las herramientas que facilitaron el procesamiento de la información digital necesaria para realizar modelos hidráulicos, ahorrando tiempo y brindando información precisa.

La modelación de tránsito de avenidas se realizó desde la calle Haciendas del Sur hasta llegar al Boulevard Libertad, esto debido a la problemática que presenta el área, atribuida a la falta de planeación de crecimiento urbano, la falta de cultura de limpieza y la deficiencia de infraestructura adecuada para la prevención y protección de eventos de inundación.

Para lograr solventar la problemática de inundación que presenta el área de estudio, se recomienda una adecuada planeación urbana, construcción de infraestructuras

preventivas en las áreas de afectación y realizar un estudio más detallado de peligro de inundación de los tributarios del cauce principal, ya que las zonas aledañas al área de estudio también presentan este tipo de problemática.

Se recomienda el uso de vehículos aéreos no tripulados para este tipo de estudios, ya que el empleo de esta tecnología presenta más ventajas que inconvenientes, puesto que permite obtener modelos digitales de elevación detallados, producto de las fotografías tomadas de alta resolución, también se puede generar un levantamiento topográfico en lapsos de tiempo reducido, y por lo tanto se obtiene una reducción de recursos, a diferencia de otros métodos de topografía y de fotogrametría aérea tripulada o satelital. También proporciona mayor seguridad, debido a que los accesos de algunas zonas pueden resultar peligrosos. El uso de estos equipos en distintas áreas de trabajo es muy diverso y ofrece una gran cantidad de información actualizada y fácil de obtener.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- ACRE. (2014). *Vehículos-aéreos-no-tripulados.pdf*. In ACRE (Ed.).
- Amaya, E. Y. C. (2015). *Evaluación de Peligro por Inundación en una Zona Urbana: Caso Colonia Urbi Villa del Rey, Hermosillo, Sonora*. Tesis de licenciatura. Universidad de Sonora.
- Aparicio, J. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Editorial Limusa. México, D.F.
- Benayas, R. (2015). *¿Qué es HEC-geoRAS y para qué sirve?* Ciencias Ambientales.
- Carrasco, E. R., INEGI. (s.f.) *Cálculo de gasto o caudal*. P. 9 – 10.
- CENAPRED. (2011). *Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México*.
- Chacón, F. F., Notti, D., Galve, J. P., Pérez, J. V., Azañón, J. M., Mateos, R. M., Gómez-López, J. M. (2015). *Técnicas remotas para el análisis multiescala y multitemporal de fenómenos superficiales*. XIV Reunión Nacional de Cuaternario, Granada.
- Coello, R. A., Ballesteros, A. G. (2015). *Fotogrametría de UAV de Ala Fija y Comparación con Topografía Clásica*. Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica de Madrid, España.
- CONAGUA. <http://www.conagua.gob.mx/>
- Díaz, C. M. (2011). *Análisis Fotogramétrico de Imágenes Adquiridas por un Avión No Tripulado*. Tesis de maestría, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España.
- Fernández, V. O. (2011). *Evaluación de peligros naturales de un sitio y su uso en planeación urbana*. Tesis de licenciatura, Universidad de Sonora.
- FG Asociados, CEA. (2008). *Estudios Geofísicos e Hidrogeológicos para el Diseño de Obras de Infiltración Artificial a los Acuíferos y Control de Inundaciones en Hermosillo*. Universidad Estatal de Sonora.
- Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. (2015). *Los Drones y sus Aplicaciones a la Ingeniería Civil*. Capítulo 5. P. 67 – 75.
- Grijalva, N. J., Castillo, R. J. (1988). *Estudio Geotécnico Aplicado a la Estabilidad de Taludes en el Sitio El Coloso, municipio de Hermosillo, Sonora*. Universidad de Sonora, Departamento de Geología, Hermosillo, Sonora, México.
- Gutiérrez A. G. A. (2012). *Carta Geomorfológica de la Ciudad de Hermosillo, Sonora*.
- H. Ayuntamiento de Hermosillo, Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo, Unidad Municipal de Protección Civil. (2014). *Atlas de riesgos del Municipio de Hermosillo. Hermosillo, Sonora*.
- ISPRS. (s.f.). *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*

- INEGI. (2004). *Guía para la interpretación de cartografía edafología*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI. (2007). *Síntesis de Información Geográfica del Estado de Sonora*.
- INEGI. (2009). *Guía para la interpretación de cartografía de uso del suelo y vegetación: Escala 1:250 00: Serie III*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.
- INEGI. (2015) *Carta Topográfica 1:50,000, Hermosillo H12D41*.
- INEGI. <http://www.inegi.org.mx/>
- Jauregui, L. (s.f.) *Introducción a la Fotogrametría*. P. 1 – 3.
- Juncosa, R. R. (s.f.) *Hidrograma asociado a una precipitación*.
- King, R. E. (1939). *Geological reconnaissance in the northern Sierra Madre Occidental of Mexico: Geological Society of America Bulletin*. V. 50, pp. 1625–1722.
- Kirpich, Z. P. (1940). *Time of concentration of small agricultural watersheds*. Civil Eng. 10 (6) 362.
- Martínez, H. A. L. (2014). *Evaluación de Peligro de Remoción de Masa: Caso Colonia Piedra Bola, Hermosillo, Sonora*. Tesis de maestría, Universidad de Sonora.
- Martínez, M. M., Fernández, R. D., Salas, M. R., SAGARPA. (2012). *Hidrología Aplicada a las Pequeñas Obras Hidráulicas*.
- Minjarez, J. I., Sosa, J. P., Ramírez, L. L., Villa, A., Martínez, A. L., Gutiérrez, G. A., Tapia, E. M., Moncada, J. G., Montijo G., A. (2008). *Atlas de Riesgos para el Estado de Sonora*. FOPREDEN - Unidad Estatal de Protección Civil del Estado de Sonora, p. 37 - 60.
- Montijo, G. A., Minjarez, S. I., Tapia, V. E. (2011). *Evaluación de impacto hidrológico debido a la actividad antropogénica en cuencas urbanas de la ciudad de Hermosillo, Sonora, utilizando sistemas de información geográfica y sensores remotos*. Universidad de Sonora.
- Montijo, G. A., Minjarez, S. I., Villa, T. A., Grijalva, N. F. (2009). *Estudio de Inundaciones Repentinas de una Cuenca Urbana en la Ciudad de Hermosillo, Sonora, México*. Universidad de Sonora
- Navione Drone Services. [www.navione.co](http://www.navione.co)
- Ordaz, M., Torres, M. A., Domínguez, R. Colegio de Ingenieros Civiles de México, A.C., Instituto de Ingeniería UNAM. (2013). *Vulnerabilidad y Riesgo por Inundaciones*.
- Peiffer, R. F. (1978). *Consideraciones sobre el Paleozoico sonorense*; in Roldán-Quintana, Jaime, y Salas, G.A., eds., Libroto-guía. Primer simposio sobre la geología y potencial minero en el Estado de Sonora, Hermosillo. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, p. 5-34.

- Peña C.S. (2000). *Análisis de Riesgos Naturales de la Ciudad de Hermosillo, Sonora, utilizando los Sistemas de Información Geográfica y los Sensores Remotos*. Universidad de Sonora.
- Protección Civil. (2004). *Atlas de Riesgos del Municipio de Hermosillo*
- Rodríguez C. J. L. (1981). *Notas sobre la geología del área de Hermosillo, Sonora*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, vol. 5, no. 1, p. 30-36.
- Saez, P. D., Beltrán, N. A. (2015). *Los Drones y sus Aplicaciones a la Ingeniería Civil*. Capítulo 5: Aplicaciones cartográficas. P. 67 – 70.
- Salas, S. M. A., Jiménez, E. M., CENAPRED. (2007). *Inundaciones: México*. Serie Fascículos, p. 56
- Santamaría, P. J., Sanz, M. T. (2011). *Fundamentos de la Fotogrametría*. Universidad de La Rioja, España.
- Santos, C. D. (2014). *Fotogrametría usando Plataforma Aérea UAV (Unmanned Aerial Vehicle)*. Tesis de licenciatura, Universidad politécnica de Catalunya, Barcelona, España.
- SMN, CONAGUA. (2014). <http://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=son>
- Status Consulting Inc., Universidad Nacional Autónoma de México, Colegio de Sonora. (2004). *Adaptación al Cambio Climático, Hermosillo, Sonora, un Caso de Estudio*.
- Varnes, D. (1984). *Landslide hazard zonation: a review of principales and practice*. Darantiere, Quetigni. Pp. 63 Paris-France
- Villareal, M. J. V. (2015). *Análisis de la Precisión de Levantamientos Topográficos mediante el Empleo de Vehículos Aéreos No Tripulados (UAV) respecto a la Densidad de Puntos de Control*. Tesis de licenciatura, Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.

## 11. ANEXOS

### 11.1. Memoria Topográfica de Secciones

