



UNODC

Oficina de las Naciones Unidas
contra la Droga y el Delito

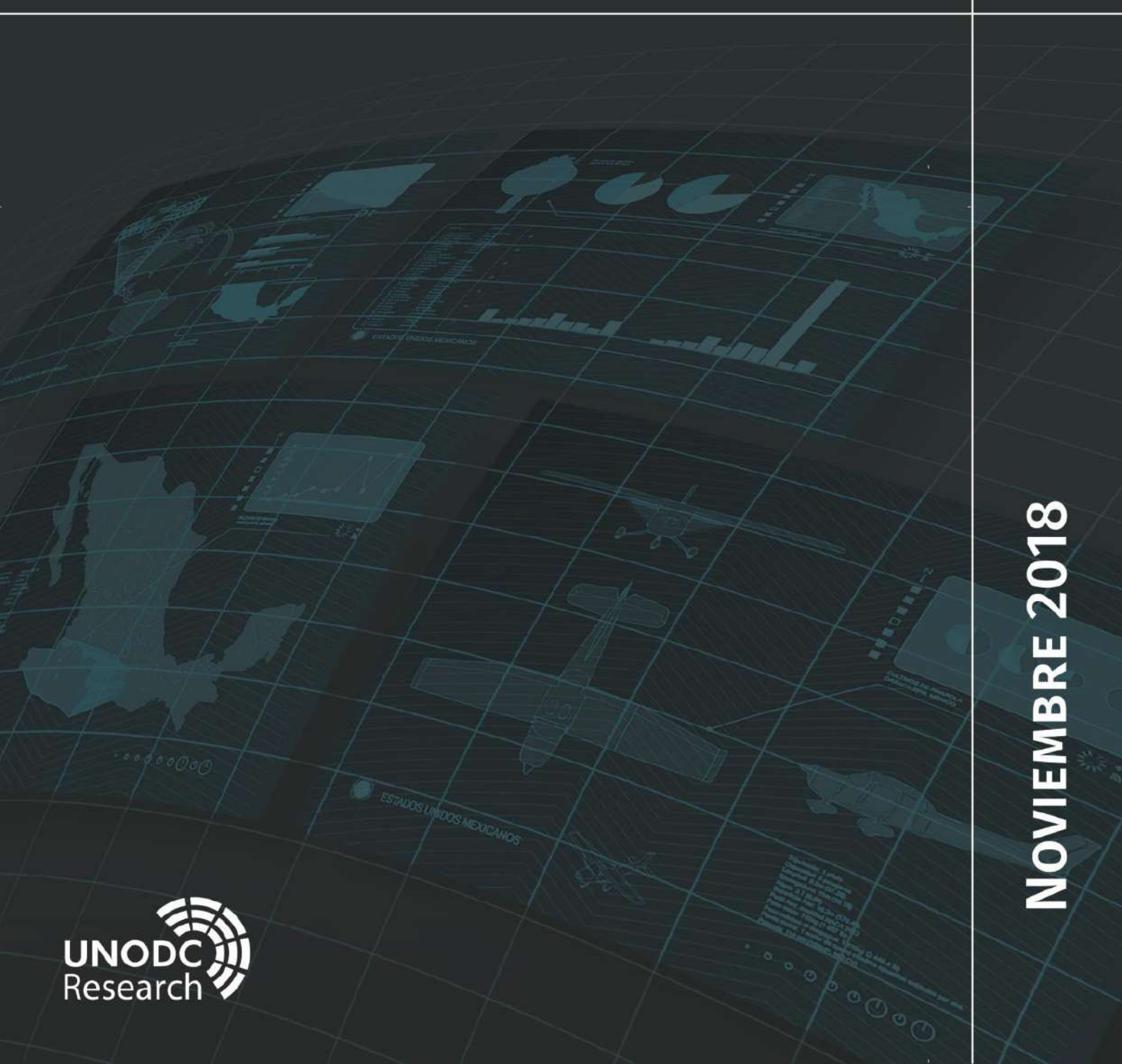
MÉXICO

GOBIERNO DE LA REPÚBLICA



México

Monitoreo de Cultivos de Amapola 2015-2016 y 2016-2017



NOVIEMBRE 2018





MÉXICO

Monitoreo de Cultivos de Amapola 2015-2016 y 2016-2017

Noviembre 2018



UNODC

Oficina de las Naciones Unidas
contra la Droga y el Delito

MÉXICO

GOBIERNO DE LA REPÚBLICA



**Oficina de Enlace y Partenariado en México de la
Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito**

Boulevard Miguel de Cervantes de Saavedra #169, Piso 10

Granada, Miguel Hidalgo,

C.P. 11520, Ciudad de México.

Tel.: +52 (55) 41 70 87 64

Correo electrónico: unodc-mexicofieldoffice@un.org

Sitio web: https://www.unodc.org/mexicoandcentralamerica/es/romex/oficina_LPO.html

Copyright © Naciones Unidas, 2018. Reservados de todos los derechos en el mundo.

La presente publicación puede reproducirse íntegra o parcialmente por cualquier medio para fines educativos o sin ánimo de lucro; no es necesario un permiso especial del titular de los derechos de autor, siempre que se cite expresamente la fuente. La Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC) agradecerá que se le envíe copia de toda publicación que utilice como fuente la presente publicación.

Se sugiere hacer la cita como sigue: *México, Monitoreo de Cultivos de Amapola 2015-2016 y 2016-2017 (MEXK54, 2018).*

La presente publicación no puede revenderse, ni ser utilizada para ningún otro fin comercial sin la autorización previa por escrito de la UNODC. Esa autorización deberá solicitarse de la Subdivisión de Investigación y Análisis de Tendencias de la UNODC, indicando claramente el propósito y la intención de la reproducción.

ISBN:

Fotografías: Proyecto MEXK54/UNODC-LPO México.

Segunda edición: Noviembre 2018

Cuidado editorial en:

Instituto Nacional de Ciencias Penales (INACIPE)

Calle Magisterio Nacional 113, Tlalpan Centro,

C.P. 14000, Ciudad de México, México.



INACIPE

Impreso en México

AGRADECIMIENTOS

La continuidad del monitoreo de cultivos de amapola en México ha sido posible gracias a las contribuciones financieras del gobierno Federal en México, a través de las instituciones involucradas para su ejecución; así como, por los apoyos logísticos y de seguridad proporcionados al personal que integran el proyecto durante los trabajos de oficina y realización de trabajos de campo (SRE, SEDENA, SEMAR y PGR-AIC).

A las Universidades, expertos de UNODC; analistas y técnicos; y al grupo de seguimiento que integran este esfuerzo, por su continuo apoyo y colaboración en las actividades técnicas y logísticas del “Sistema de Monitoreo de Cultivos de Amapola en México”. Así como, por sus apreciables comentarios para la elaboración de este segundo reporte nacional correspondiente a los estudios de monitoreo 2015-2016 y 2016-2017.

Al gobierno Federal de México:

Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE);
Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA);
Secretaría de Marina - Armada de México (SEMAR);
Procuraduría General de la República, a través de la Agencia de Investigación Criminal (PGR-AIC).

Al grupo de seguimiento del proyecto:

Roberto Bernal Benítez, SEDENA
Abel Trejo Castelán, SEMAR
Isaac Morales Tenorio, SRE
José del Carmen Colorado Osorio, SEDENA
Omar Hamid García Harfuch, PGR-AIC
Vidal Diazleal Ochoa, PGR-AIC-PFM
Oscar Aarón Santiago Quintos, PGR-AIC-ONPD
Guillermo Fonseca Leal, PGR-SJAI-CAIA
Edith Bautista García, PGR-AIC-ONPD

A la UNODC:

Antonino De Leo, Representante (LPO-México).
Ángela Me, Jefa del Área de Investigación y Análisis de Tendencias (Viena).
Anja Korenblik, Jefa de la Unidad de Desarrollo y Gestión de Programas (Viena)
Coen Bussink, Oficial de Programas y Líder del Equipo del Programa de Monitoreo de Cultivos Ilícitos (Viena).
Iban Ameztoy, Oficial de Programas y Experto en Sensores Remotos y SIG (Viena)
Irmgard Zeiler, Experta en Investigación (Viena).
Lorenzo Vita, Experto en Sensores Remotos y SIG (Viena).

Al coordinador, técnico y analistas del proyecto:

Jerónimo Solís Guillen, Coordinador de proyecto;
Iván Alberto Trujillo Roura, Asistente Técnico de Análisis y Monitoreo;
Braulio Jesús González Linares, Analista;
José Antonio Domínguez González, Analista;
Juan José Navarrete López, Analista;
Jaime Ulises Saldívar Gaytán, Analista;
Luis Domingo Santamaría Campos, Analista;
Miguel Efrén Barrios Gutiérrez, Analista;
Miguel Ángel Silva Bahena, Analista;
Manuel Sánchez Ávila, Analista;
Marco Antonio Vela Tapia, Analista;
Rodrigo Landeros Mérida, Analista;
Sergio Bello Castañeda, Analista.

A la universidad:

Universidad Nacional Autónoma de México, México (UNAM), a través del Instituto de Geografía.



ABREVIATURAS

AIC	Agencia de Investigación Criminal
CNS	Comisión Nacional de Seguridad
CENAPI	Centro Nacional de Planeación, Análisis e Información para el Combate a la Delincuencia.
CAIA	Coordinación de Asuntos Internacionales y Agregadurías
ICMP	Programa Global de Monitoreo de Cultivos Ilícitos (por sus siglas en inglés)
ONPD	Oficina Nacional de Políticas de Drogas.
PGR	Procuraduría General de la República
PFM	Policía Federal Ministerial
PF	Policía Federal
SJAI	Subprocuraduría Jurídica y de Asuntos Internacionales
SEGOB	Secretaría de Gobernación
SRE	Secretaría de Relaciones Exteriores
SEDENA	Secretaría de la Defensa Nacional
SEMAR	Secretaría de Marina - Armada de México
SNU	Sistema de las Naciones Unidas
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UNODC	Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (por sus siglas en inglés)

GLOSARIO

Término	Definición
Espectro electromagnético	Es el rango de la energía o radiaciones electromagnéticas que tienen longitudes de onda diferentes a todas las radiaciones electromagnéticas posibles.
Fusión	Es la combinación de dos imágenes mediante la que se obtiene de una la calidad visual (resolución espacial) y de la otra los diferentes colores (resolución espectral).
IRc	Espectro infrarrojo utilizado en las imágenes satelitales y fotografías aéreas.
Multiespectral	Imágenes satelitales representadas en diferentes tonalidades de colores dentro del espectro electromagnético (bandas) de acuerdo a las características del sensor.
Ortorectificación	Proceso digital que permite corregir las distorsiones geométricas a las imágenes satelitales o fotografías aéreas ocasionadas por los desplazamientos e inclinación del sensor sobre el relieve del terreno.
Pancromático	Imágenes satelitales representadas en tonalidades de blanco y negro, conforme a las características del sensor.
Percepción remota o Teledetección	Técnica que permite obtener una imagen de la superficie terrestre a través de sensores remotos sin estar en contacto con ella, es decir, situados en satélites o aviones.
Raster	Archivo conformado por una matriz de células (píxeles) organizado en filas y columnas con un valor para cada célula, este archivo puede obtenerse utilizando cualquier tipo de sensores remotos disponibles.
SIG	Sistemas de Información Geográfica.
Sensores remotos	Instrumentos que sirven para obtener imágenes de la superficie terrestre a distancia, como los satélites artificiales y/o cámaras digitales para tomar fotos aéreas.
Ui	Unidad de medida para la cantidad de un tipo de elemento (se utiliza para contabilizar cada uno de los cultivos de amapola destruidos)
VHR	Muy alta resolución espacial contenida en las imágenes satelitales y fotografías aéreas.
HR	Alta resolución espacial contenida en las imágenes satelitales.
VIS	Espectro visible con capacidad de captación por el ojo humano, donde el espectro está conformado por el rojo, verde, y azul.
Script	En informática, es un archivo que contiene instrucciones escritas o códigos de procesamiento por lotes (por sus siglas en inglés)
Geodatabase	Colección de datos espaciales (vectores o raster) administrada como base de datos, también conocida como base de datos geográfica.
Continuo de Elevación Mexicano (CEM)	Es un producto que representa las elevaciones del territorio continental mexicano, mediante valores que indican puntos sobre la superficie del terreno, cuya ubicación geográfica se encuentra definida por coordenadas (X, Y) a las que se le integran valores que representan las elevaciones (Z).

ÍNDICE GENERAL

1. RESULTADOS CLAVE	16
2. INTRODUCCIÓN	19
3. ORGANIZACIÓN DE LAS INSTITUCIONES PARTICIPANTES Y COLABORADORES DEL PROYECTO	22
3.1 Organización y perfil del personal del proyecto.....	23
3.2 Grupo técnico de seguimiento del proyecto	24
4. RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN DE SUPERFICIE SEMBRADA CON AMAPOLA PARA LOS PERIODOS DE MONITOREO 2015-2016 Y 2016-2017	25
4.1 Estimaciones de superficie sembrada con amapola	25
4.2 Imágenes utilizadas para el monitoreo de amapola	29
4.3 Área de cobertura de las imágenes utilizadas para la estimación con cultivos de amapola.....	34
4.4 Análisis exploratorio de tendencias entre las estimaciones de superficie sembrada con amapola entre los periodos de monitoreo 2015-2016 y 2016–2017	40
5. METODOLOGÍA ACTUALIZADA PARA LOS PERIODOS DE MONITOREO DE AMAPOLA 2015-2016 Y 2016-2017.....	41
5.1 Rejilla ortogonal nacional utilizada para extrapolar los marcos muestreo utilizados para las zonas de monitoreo.....	43
5.2 Marco de muestreo utilizado para el monitoreo 2015-2016.....	45
5.2.1 Diseño de muestreo utilizado para el monitoreo de amapola en el estudio 2015-2016	49
5.3 Actualización del mapa nacional de probabilidades para cultivos de amapola por factores determinantes/riesgo.....	52
5.4 Marco de muestreo utilizado para el monitoreo 2016-2017.....	54
5.4.1 Diseño de muestreo utilizado para el monitoreo de amapola en el estudio 2016-2017	57
5.5 Fotointerpretación y medición del área de cultivos de amapola en imágenes satelitales	60
5.6 Análisis en gabinete para la interpretación de los cultivos de amapola mediante imágenes satelitales	61
5.6.1 Flujo de trabajo sistemático de triple revisión para la fotointerpretación de cultivos de amapola utilizando imágenes satelitales.....	63
5.6.2 Actualización del árbol de decisiones para la fotointerpretación temática de cultivos de amapola.....	64
5.6.3 Combinación de bandas espectrales en las imágenes satelitales.....	66
5.6.4 Análisis multitemporal con imágenes de sensores remotos diferentes	67
5.6.5 Actualización de criterios geométricos para delimitar el área de los cultivos de amapola.....	70
5.7 Trabajos de campo para la validación de los cultivos de amapola mediante fotografía aérea	73
5.7.1 Creación del plan de vuelo en los segmentos de la muestra para la colecta de fotografía aérea	74

5.8	Integración de los polígonos de amapola interpretados al geodatabase SIMDA.....	77
5.9	Pre-procesamiento de las imágenes satelitales	78
5.9.1	Softwares utilizados en los procesos de corrección	78
5.9.2	Proceso de fusión de las imágenes	79
5.9.3	Proceso de ortorectificación.....	79
5.9.4	Proceso de recortes de las imágenes.....	80
5.9.5	Proceso de realces de histogramas de las imágenes	81
5.10	Flujo metodológico desarrollado por el proyecto para el monitoreo de cultivos de amapola.....	82
5.11	Fórmulas aplicadas a la estimación estadística para cada periodo de monitoreo	83
5.11.1	Cálculo del área de amapola en 2015-2016.....	83
5.11.2	Cálculo de la varianza y covarianza en 2015-2016 para los intervalos de confianza	83
5.11.3	Cálculo del área de amapola por periodo en 2016-2017	85
5.11.4	Cálculo de la varianza y covarianza en 2016-2017 para los intervalos de confianza	86
5.12	Factor de corrección por tipo de resolución aplicado en el cálculo de la estimación sembrada de amapola para cada periodo de monitoreo	89
5.12.1	Determinación del factor de ajuste para el periodo de monitoreo 2015-2016.....	90
5.12.2	Determinación del factor de ajuste para el periodo de monitoreo 2016-2017.....	92
6. AJUSTE A LA ESTIMACIÓN DE SUPERFICIE SEMBRADA CON AMAPOLA PARA EL ESTUDIO DE MONITOREO 2014-2015.....		94
7. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL ESFUERZO NACIONAL DE DESTRUCCIÓN DE PLANTÍOS ILÍCITOS		95
7.1	Acciones para la destrucción de enervantes en la Secretaria de la Defensa Nacional.....	96
7.2	Acciones para la destrucción de enervantes en la Agencia de Investigación Criminal.....	100
7.3	Resultados del Esfuerzo Nacional	101
7.4	Implementación del Protocolo Nacional de Actuación para la Destrucción de Plantíos Ilícitos	107
ANEXO I: Actualización del mapa nacional de probabilidades para cultivos ilícitos por factores determinantes/riesgo.....		110
ANEXO II: Características de los sensores disponibles y utilizados en el proyecto.....		119
ANEXO III: Descripción del sensor satelital de tipo pasivo-óptico		120
ANEXO IV: Descripción de la utilización de los softwares en el proyecto.....		121
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		122

Índice de Tablas

<i>Tabla 1. Superficie estimada con cultivos de amapola (ha) para 12 meses de monitoreo</i>	25
<i>Tabla 3. Cantidad de imágenes utilizadas por tipo de sensor sobre la muestra de 368 segmentos</i>	31
<i>Tabla 4. Cantidad de imágenes utilizadas por tipo de sensor sobre la muestra de 300 segmentos</i>	31
<i>Tabla 5. Resumen general de la muestra colectada y analizada para los tres periodos del estudio de monitoreo 2015-2016</i>	34
<i>Tabla 6. Número de segmentos con porcentaje de cobertura con imágenes satelitales y fotos aéreas para el estudio de monitoreo 2015-2016</i>	35
<i>Tabla 7. Porcentaje de la cobertura total obtenida con imágenes satelitales y fotos aéreas para el estudio de monitoreo 2015-2016</i>	36
<i>Tabla 8. Resumen general de la muestra colectada y analizada para los tres periodos del estudio de monitoreo 2016-2017</i>	36
<i>Tabla 9. Número de segmentos con porcentaje de cobertura con imágenes satelitales o fotos aéreas para el estudio de monitoreo 2016-2017</i>	37
<i>Tabla 10. Porcentaje de la cobertura total obtenida con imágenes satelitales y fotos aéreas para el estudio de monitoreo 2016-2017</i>	37
<i>Tabla 11. Estimaciones de superficie sembrada de amapola para el marco de muestreo (I) basada en destrucción histórica de cultivos y para el marco de muestreo basado en análisis de riesgo</i>	85
<i>Tabla 12. Estimaciones de superficie sembrada de amapola para el marco de muestro de riesgo basado en probabilidades</i>	88
<i>Tabla 13. Resultado de los coeficientes utilizados para el factor de ajuste 2015-2016</i>	90
<i>Tabla 14. Resultado de los coeficientes utilizados para el factor de ajuste 2016-2017</i>	92
<i>Tabla 15. Comparación de la superficie estimada anterior/ajustada con cultivos de amapola (ha) para 12 meses de monitoreo en 2014-2015</i>	94

Índice de Gráficas

<i>Gráfica 1. Superficies estimadas de cultivo de amapola para los estudios 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017</i>	16
<i>Gráfica 2. Cantidad de imágenes y fotos aéreas por tipo de fuente utilizadas para el monitoreo 2015-2016 y 2016-2017</i>	32
<i>Gráfica 3. Porcentaje del tipo de análisis por resolución para el periodo 2015-2016</i>	33
<i>Gráfica 4. Porcentaje del tipo de análisis por resolución para el periodo 2016-2017</i>	33
<i>Gráfica 5. Diferencia entre los estudios 2015-2016 y 2016-2017</i>	40

Gráfica 6. Coeficientes de varianza con diferentes diseños de muestreo aplicados al área de estudio en México	58
Gráfica 7. Cantidad de imágenes disponibles por segmento para el estudio 2015-2016	67
Gráfica 8. Cantidad de imágenes disponibles por segmento para el estudio 2016-2017	68
Gráfica 9. Regresión lineal entre hectáreas totales y hectáreas en imágenes 2015-2016	90
Gráfica 10. Regresión lineal entre hectáreas totales y hectáreas en imágenes 2016-2017	92
Gráfica 11. Destrucción de amapola (ha)	101
Gráfica 12. Destrucción de amapola (ha)	101
Gráfica 13. Destrucción de plantíos de amapola (Ui).....	102
Gráfica 14. Destrucción de plantíos de amapola (Ui).....	102
Gráfica 15. Aseguramientos de goma de opio.....	103
Gráfica 16. Destrucción de cultivos de amapola	103
Gráfica 17. Aseguramientos de heroína	104
Gráfica 18. Destrucción de amapola 2014.....	104
Gráfica 19. Destrucción de amapola 2015.....	105
Gráfica 20. Destrucción de amapola 2016.....	105
Gráfica 21. Destrucción de amapola 2017.....	106

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Variables independientes seleccionadas en el modelo logístico binomial	111
Cuadro 2. Variables independientes seleccionadas que no entraron en el modelo logístico binomial por principio de parsimonia o por no cumplir con criterios de significación estadística.....	112
Cuadro 3. Modelo logístico binomial: presencia de cultivos ilícitos	117
Cuadro 4. Características de los sensores pasivos-ópticos utilizados para el monitoreo.....	119

Índice de Figuras

Figura 1. Atribuciones y responsabilidades de los participantes en el proyecto.....	22
Figura 2. Organización de los participantes y colaboradores del proyecto	23
Figura 3. Tipos de resolución de las imágenes utilizadas para el monitoreo.....	30
Figura 4. Ejemplo de un mismo segmento utilizado para promediar el porcentaje de cobertura.....	35
Figura 5. Etapas generales de la metodología del proyecto	41
Figura 6. Asistente para la herramienta “Grid Index Features” del software de ArcMap.	43
Figura 7. Interface del software ArcGis utilizado para el análisis de los cultivos	62
Figura 8. Ejemplo de línea de tiempo para el análisis en un año de estudio.....	62
Figura 9. Flujo sistemático de triple revisión para la fotointerpretación de cultivos de amapola	63
Figura 10. Niveles jerárquicos integrados al árbol de decisión	64

Figura 11. Árbol de decisiones actualizado para la fotointerpretación de cultivos.....	65
Figura 12. Análisis de cultivos de amapola por combinación de bandas en RGB y NIR.....	66
Figura 13. Temporalidad utilizada entre los periodos de análisis para un año de monitoreo	67
Figura 14. Ejemplo de perfil NDVI creado con imágenes Sentinel-2 de Google Earth Engine ..	69
Figura 15. Ejemplo de un ejercicio de precisión geométrica para delimitar el área del cultivo ..	70
Figura 16. Criterios utilizados (1 al 5) para la delimitación del área de cultivos de amapola	71
Figura 17. Criterios utilizados (6 al 10) para la delimitación del área de cultivos de amapola ...	72
Figura 18. Distribución del sistema de fotografía aérea digital aerotransportado.....	74
Figura 19. Esquema de la dirección de vuelo para la colecta de fotografía aérea	75
Figura 20. Hoja de cálculo y parámetros del plan de vuelo.....	75
Figura 21. Interface del software Global Mapper v18.0.....	76
Figura 22. Separación de las líneas de vuelo para un segmento de 100 km ²	76
Figura 23. Estructura del geodatabase SIMDA.....	77
Figura 24. Ejemplo de la estructura de una geodatabase en ArcCatalog	77
Figura 25. Softwares utilizados en el proyecto	78
Figura 26. Interface del software Socet GXP para realizar la fusión de las imágenes	79
Figura 27. Interface del software Socet GXP para la ortorectificación	80
Figura 28. Interface del software Socet realizando la fusión y recorte	80
de una imagen al mismo tiempo.....	80
Figura 29. Interface del software SOCET y el realce automático de histogramas.....	81
Figura 30. Diagrama metodológico del proyecto de monitoreo en México.....	82
Figura 31. Adición de nuevos cultivos de amapola entre una imagen y la fotografía aérea	89
Figura 32. Esquema de las longitudes de onda del espectro electromagnético.....	120

Índice de Fotos

Foto 1. Reunión del grupo técnico de seguimiento.....	24
Foto 2. Grupo de analistas aplicando la técnica de fotointerpretación	60
Foto 3. Ejemplo de la instalación del equipo en aeronave utilizada en campo.....	73
Foto 4. Destrucción de amapola por SEMAR	95
Foto 5. Destrucción de amapola y marihuana por PF.....	95
Foto 6. Empleo de mini drones para la búsqueda de plantíos de amapola.....	97
Foto 7. Despliegue de tropas para la destrucción manual de plantíos de amapola.....	97
Foto 8. Destrucción por aspersión aérea de plantíos de amapola	98
Foto 9. Arribo al lugar por vía aérea y despliegue del Grupo Especial de Operaciones.....	100
Foto 10. Destrucción de amapola en el estado de Guerrero.....	100
Foto 11. Firma de Protocolo por las autoridades del gobierno federal.....	107

Índice de Mapas

Mapa 1. Área total con cultivos de amapola interpretada en cada segmento en el monitoreo de 2015-2016.....	27
Mapa 2. Área total con cultivos de amapola interpretada en cada segmento en el monitoreo de 2016-2017.....	28
Mapa 3. Distribución de los 368 segmentos de la muestra con una cobertura total de la superficie promediada con los tres periodos cuatrimestrales en 2015-2016.....	38
Mapa 4. Distribución de los 300 segmentos de la muestra con una cobertura total de la superficie promediada con los tres periodos cuatrimestrales en 2016-2017.....	39
Mapa 7. Marco de muestreo con datos de destrucción histórica (UNODC) de plantíos ilícitos con los 100 geoestratos	47
Mapa 8. Nueva área nacional de probabilidades/riesgo por factores determinantes para cultivos de amapola	48
Mapa 9. Ubicación de los 368 segmentos de la muestra sobre el marco de muestreo combinado utilizado para el estudio de monitoreo 2015-2016.....	50
Mapa 10. Distribución de los 300 segmentos de erradicación UNODC y 68 segmentos riesgo UNAM para programación de imágenes satelitales y fotografía aérea del estudio 2015–2016.	51
Mapa 11. Nueva área nacional de probabilidades/riesgo por factores determinantes para cultivos ilícitos.....	53
Mapa 12: Marco de muestreo estratificado por probabilidades/riesgo, utilizado para la selección de la muestra del estudio 2016-2017.....	55
Mapa 13. Comparación de los marcos de muestreo utilizados en los estudios de monitoreo 2014-2015/2015-2016 y en 2016-2017.....	56
Mapa 14. Ubicación de la muestra compuesta por 300 segmentos para la colecta de imágenes satelitales y fotografías aéreas del estudio de monitoreo 2016-2017.....	59
Mapa 15: Cantidad de segmentos de la muestra (100 km ²) con fotografías aéreas colectadas en los trabajos de campo para el estudio de monitoreo 2015-2016.....	91
Mapa 16. Cantidad de segmentos de la muestra (100 km ²) con fotografías aéreas colectadas en los trabajos de campo para el estudio de monitoreo 2016-2017.....	93
Mapa 17. Muestra con información histórica de la presencia de cultivos ilícitos en el territorio nacional.....	113
Mapa 18. Promedio de la pendiente a nivel nacional.....	114
Mapa 19. Presencia de vegetación densa a nivel nacional.....	115
Mapa 20. Grado de marginación a nivel nacional.....	116
Mapa 21. Actualización de la probabilidad de riesgo para cultivos ilícitos a nivel nacional	118

KEY FINDINGS

This report presents the results of the opium poppy cultivation surveys for the monitoring periods 2015-2016 and 2016-2017, conducted jointly by Government of Mexico and UNODC under the Project MEXK54 "Illicit Crop Monitoring System in the Mexican Territory". It demonstrates the commitment of the institutions involved with the international community to improve the evidence-base to better understand drug crop cultivation and production trends.

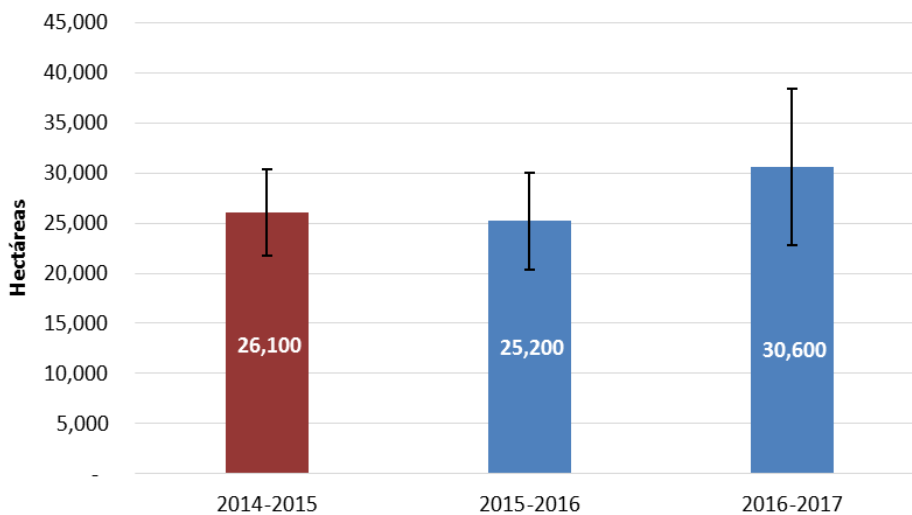
Such evidence can contribute to better designed public policies to address the drug problem. The report highlights the methodological improvements made during the last few years, including the optimization of the sampling frame and sample design applied in 2016-2017, as well as the improved satellite image interpretation methodology which was applied since 2015-2016.

Changes in the estimates of the area under opium poppy cultivation in 2016-17

The area under opium poppy cultivation in Mexico was estimated at 25,200¹ hectares between July 2015 and June 2016 and at 30,600² hectares between July 2016 and June 2017. This corresponds to an increase of 21 per cent between these time periods.

The results are based on a detailed analysis of satellite imagery in combination with imagery taken from aerial overflights. An earlier study had found 26,100 hectares between July 2014 and June 2015. These values are, however, not comparable with later estimates, because of a profound change in methodology.

Estimated areas under opium poppy cultivation for the years 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017



Note: the results of the year 2014-2015 are not comparable with later years, because of improvements in the methodology. Estimates for 2014-2015 have been updated since the release of the report "Mexico Monitoreo de Cultivos de Amapola 2014-2015 (June 2016)". For details please see section 6 of this report.

¹ 95% Confidence Intervals: 20,500 and 30,000 ha (lower and upper bounds). Areas that have been eradicated after the satellite image acquisition date might be included.

² 95% Confidence Intervals: 22,800 and 38,400 ha (lower and upper bounds). Areas that have been eradicated after the satellite image acquisition date might be included.

In the latest two surveys, opium poppy was mostly observed in Sierra Madre Occidental, concentrated in the triangle where the states of Sinaloa, Chihuahua, Durango meet; north of Nayarit; and in the states of Guerrero and Oaxaca in the Sierra Madre del Sur.

The government of Mexico³ reported that 26,426 hectares of opium poppy were eradicated in 2015, 22,436 hectares in 2016, and 29,692 hectares in 2017.⁴

Not enough information has been collected to calculate the total production of opium resulting from the estimated area of opium cultivation. Activities related to the collection of opium samples are ongoing, including estimating the opium yield to get the production of opium gum (kg/ha) and determining the morphine content of opium gum.

Analysis of the results and policy implications

There is not one single driver that can explain the 21% increase in cultivation between 2015-2016 and 2016-2017. Field research in Afghanistan and Myanmar has shown that the underlying drivers of opium poppy cultivation are multi-faceted and diverse, including poverty, scarce employment opportunities, lack of health, education and financial services, limited access to markets and rule of law and security related challenges. However, to date only little information is available on the socio-economic situation of rural illicit crop growing communities in Mexico. A study of the University of Mexico identified for example remoteness and low population density as some of the potential risk factors for illicit crop cultivation.⁵

A better understanding of the socio-economic and security factors that explain illicit crop cultivation and its expansion in Mexico is key to target policies that can curb illicit crop cultivation and foster sustainable development effectively. This report shows the Mexican Government's commitment to understanding illicit crop cultivation and the driving factors behind it, based on scientific evidence.

3 The Office of the Attorney General of the Republic / Criminal Investigation Agency (PGR / AIC), through its National Center for Planning, Analysis and Information for Combating Crime (CENAPI).

4 It is possible that eradication has not been fully reflected in the area estimates in cases where eradication occurred after the dates of the images.

5 Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IG-UNAM), Nueva área nacional de probabilidades/riesgo por factores determinantes para cultivos ilícitos

SUMMARY OF THE ESTIMATED AREA FOR THE MONITORING SURVEYS 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017

Concepts	Periods				
	2014-2015	Change ⁶ (%)	2015-2016	Change (%)	2016-2017
National area under opium poppy cultivation⁷					
Area under opium-poppy cultivation	26,100 ha	Not comparable	25,200 ha	21%	30,600 ha

SUMMARY OF THE RESULTS OF THE NATIONAL ERADICATION AND SEIZURES FOR THE YEARS 2015, 2016 y 2017

Conceptos	Periods				
	2015	Change (%)	2016	Change (%)	2017
National eradication of poppy crops per type⁸					
Area eradicated	26,426 ha	-15%	22,436 ha	32%	29,692 ha
Number of fields	181,504	-10%	164,010	23%	202,487
National seizures of poppy products⁹					
Opium gum	1,392 Kg	-83%	234 Kg	231%	779 Kg
Poppy sedes	1,473 Kg	-5%	1,391 Kg	-16%	1,170 Kg
National seizures of opium gum products¹⁰					
Morphine	80 l	-43%	45 l	763%	390 l
Heroin (Diacetyl morphine)	0.025 l 647 Kg	139,342% -27%	35 l 468 Kg	-100% -23%	0 l 358 Kg
National destruction of clandestine heroin laboratories¹¹					
Number of laboratories	2	50%	3	200%	9

6 Los porcentajes están redondeados al entero próximo.

7 Corresponde a la estimación en su valor medio (más preciso).

8 Resultados del Esfuerzo Nacional del gobierno mexicano, reportado por la Procuraduría General de la República/Agencia de Investigación Criminal (PGR/AIC), a través de su Centro Nacional de Planeación, Análisis e Información para el Combate a la Delincuencia (CENAPI)

9 Resultados del Esfuerzo Nacional del gobierno mexicano, reportado por PGR/AIC-CENAPI.

10 Resultados del Esfuerzo Nacional del gobierno mexicano, reportado por PGR/AIC-CENAPI.

11 Resultados del Esfuerzo Nacional del gobierno mexicano, reportado por PGR/AIC-CENAPI.

1. RESULTADOS CLAVE

En este informe se presentan los resultados de los estudios sobre el cultivo de amapola correspondientes a los períodos de monitoreo 2015-2016 y 2016-2017, realizados conjuntamente por el gobierno de México y la UNODC en el marco del proyecto MEXK54 "Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en el Territorio Mexicano". El informe demuestra el compromiso de las instituciones participantes con la comunidad internacional de mejorar los datos basados en evidencia para comprender mejor las tendencias del cultivo y la producción de drogas en su territorio. Estas evidencias pueden contribuir a diseñar mejor las políticas públicas para abordar el problema de las drogas.

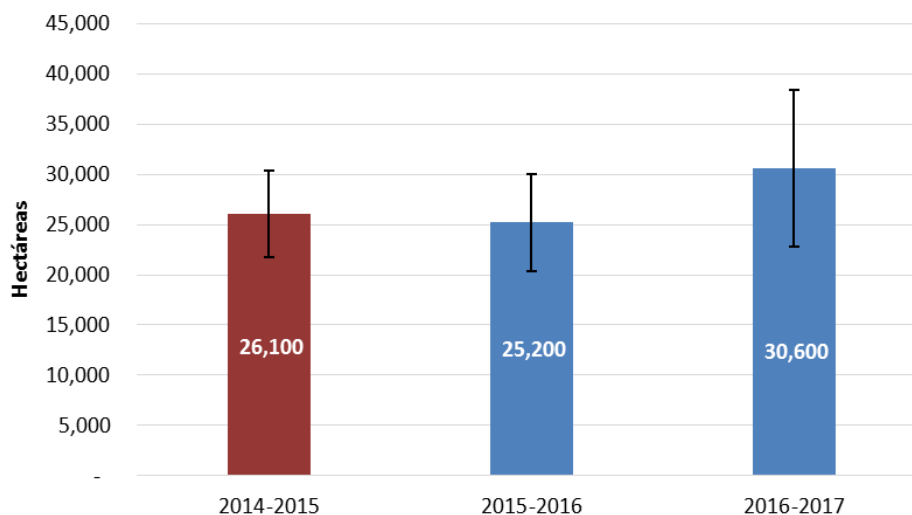
En el informe, se destacan las mejoras metodológicas realizadas en los últimos años, incluida la optimización del marco y diseño muestral aplicados en el estudio 2016-2017; así como, la actualización de la metodología para la interpretación de imágenes de satélite aplicada a partir del estudio 2015-2016.

Cambio de la superficie del cultivo de amapola en 2016-2017

La superficie de cultivo de amapola en México se estimó en 25,200¹² hectáreas entre julio de 2015 y junio de 2016 y en 30,600¹³ hectáreas entre julio de 2016 y junio de 2017. Lo anterior, corresponde a un incremento de 21% entre estos períodos.

Los resultados se basan en un análisis detallado de las imágenes de satélite en combinación con fotografía aérea colectada en trabajos de campo. El estudio anterior tuvo como resultado una estimación de 26,100 hectáreas entre julio de 2014 y junio de 2015. Sin embargo, estos valores no son comparables con las estimaciones reportadas en el presente informe, debido a las actualizaciones aplicadas a la metodología (*gráfica 1*).

Gráfica 1. Superficies estimadas de cultivo de amapola para los estudios 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017



Nota: Los resultados del año 2014-2015 no son comparables con los de años posteriores, debido a las actualizaciones a la metodología. Asimismo, el resultado de estimación 2014-2015 se actualizó en la publicación del informe "México Monitoreo de Cultivos de Amapola 2014-2015 (junio de 2016)". Para mayores detalles, véase el capítulo 6 de este informe.

12 Intervalo de confianza del 95%: 20,500 y 30,000 ha (límites inferior y superior). Podrán incluirse las zonas que hayan sido erradicadas después de la fecha de adquisición de la imagen de satélite.

13 Intervalo de confianza del 95%: 22.800 y 38.400 ha (límites inferior y superior). Podrán incluirse las zonas que hayan sido erradicadas después de la fecha de adquisición de la imagen de satélite.

Por otra parte, para estos dos últimos estudios (2015-2016 y 2016-2017) la amapola se observó principalmente en la Sierra Madre Occidental, concentrada en el triángulo donde se encuentran los estados de Sinaloa, Chihuahua y Durango; al norte de Nayarit; y en los estados de Guerrero y Oaxaca en la Sierra Madre del Sur.

El gobierno de México¹⁴ informó que la destrucción de amapola para el 2015 fue de 26,426 hectáreas; en 2016 con 22,436 hectáreas y para el 2017 de 29,692 hectáreas, respectivamente¹⁵.

A la fecha no se ha tenido suficiente información para calcular la producción total de opio resultante de la superficie estimada de cultivo de opio. El proyecto está realizando actividades relacionadas con el levantamiento de datos en campo para la estimación del rendimiento de goma de opio (kg/ha) y muestras de látex (opio) para determinar su contenido de morfina.

Análisis de los resultados e implicaciones políticas

No hay un solo factor que pueda explicar el aumento del 21% del cultivo entre 2015-2016 y 2016-2017. Las investigaciones sobre el terreno en el Afganistán y Myanmar han demostrado que los factores subyacentes del cultivo de la amapola son polifacéticos y diversos, como la pobreza, las escasas oportunidades de empleo, la falta de servicios de salud y educación, el acceso limitado a los mercados y los problemas relacionados con el estado de derecho y la seguridad. Sin embargo, hasta la fecha sólo se dispone de poca información sobre la situación socioeconómica de las comunidades rurales dedicadas al cultivo de amapola en México. Se tiene un estudio de la Universidad Nacional Autónoma de México que determina, por ejemplo, que la lejanía y la baja densidad de población eran algunos de los posibles factores de riesgo para la siembra de los cultivos de amapola¹⁶.

Una mejor comprensión de los factores socioeconómicos y de seguridad que explican los cultivos de amapola y su expansión en México es fundamental para orientar las políticas que pueden disminuir este tipo de cultivo, así como fomentar eficazmente el desarrollo sostenible. Sin embargo, este informe demuestra el compromiso del gobierno de México por comprender los factores que impulsan la siembra de los cultivos de amapola, basándose en evidencia científica.

14 La Procuraduría General de la República / Agencia de Investigación Criminal (PGR/AIC), a través de su Centro Nacional de Planificación, Análisis e Información para el Combate al Crimen (CENAPI).

15 Es posible que la erradicación no se haya reflejado plenamente en las estimaciones de la zona en los casos en que la erradicación se produjo después de las fechas de las imágenes.

16 Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IG-UNAM), Nueva área nacional de probabilidades/riesgo por factores determinantes para cultivos ilícitos

RESUMEN DEL ÁREA ESTIMADA PARA LOS ESTUDIOS DE MONITOREO 2014-2015, 2015-2016 y 2016-2017

Conceptos	Periodos				
	2014-2015	Variación ¹⁷ (%)	2015-2016	Variación (%)	2016-2017
Superficie nacional sembrada con cultivos de amapola¹⁸					
Estimación en hectáreas	26,100 ha	Cifras no comparables	25,200 ha	21%	30,600 ha

RESUMEN DE RESULTADOS DEL ESFUERZO NACIONAL PARA LOS AÑOS 2015, 2016 y 2017

Conceptos	Periodos				
	2015	Variación (%)	2016	Variación (%)	2017
Destrucción nacional de plantíos de amapola por tipo¹⁹					
Destrucción en hectáreas	26,426 ha	-15%	22,436 ha	32%	29,692 ha
Cantidad de cultivos	181,504 Ui	-10%	164,010 Ui	23%	202,487 Ui
Aseguramientos e incautación nacional de productos derivados de la amapola²⁰					
Goma de opio	1,392 Kg	-83%	234 Kg	231%	779 Kg
Semillas de opio	1,473 Kg	-5%	1,391 Kg	-16%	1,170 Kg
Aseguramientos e incautación nacional de productos derivados de la goma de opio²¹					
Morfina	80 Lt	-43%	45 Lt	763%	390 Lt
Heroína (Diacetil morfina)	0.025 Lt 647 Kg	139,342% -27%	35 Lt 468 Kg	-100% -23%	0 Lt 358 Kg
Destrucción nacional de laboratorios clandestinos de heroína²²					
Cantidad de laboratorios	2 Unidad	50%	3 Unidad	200%	9 Unidad

17 Los porcentajes están redondeados al entero próximo.

18 Corresponde a la estimación en su valor medio (más preciso).

19 Resultados del Esfuerzo Nacional del gobierno mexicano, reportado por la Procuraduría General de la República/Agencia de Investigación Criminal (PGR/AIC), a través de su Centro Nacional de Planeación, Análisis e Información para el Combate a la Delincuencia (CENAPI)

20 Resultados del Esfuerzo Nacional del gobierno mexicano, reportado por PGR/AIC-CENAPI.

21 Resultados del Esfuerzo Nacional del gobierno mexicano, reportado por PGR/AIC-CENAPI.

22 Resultados del Esfuerzo Nacional del gobierno mexicano, reportado por PGR/AIC-CENAPI.

2. INTRODUCCIÓN

El gobierno de México ha elaborado conjuntamente con la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC, por sus siglas en inglés), este segundo informe del proyecto MEXK54 “Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en Territorio Mexicano” con estimaciones sobre la superficie sembrada de amapola en México para los periodos de monitoreo 2015-2016 y 2016-2017.

Este segundo estudio demuestra el continuo esfuerzo de las instituciones participantes en el proyecto de monitoreo, y hace visible el compromiso internacional para generar nuevas evidencias y datos científicos que permitan conocer la tendencia de la producción de amapola, y se promuevan políticas públicas integrales dirigidas a disminuir la oferta, la demanda y las consecuencias sociales del mercado ilícito de drogas.

La siembra ilícita de amapola es un fenómeno complejo, que se presenta en diversas regiones del mundo y que responde a un mercado ilícito de drogas en constante evolución. En los años recientes, el incremento de la demanda de opio y sus derivados en los principales centros de consumo mundial de drogas ha tenido implicaciones para la geografía de los cultivos ilícitos.

En México, la actividad de la delincuencia organizada en torno a los cultivos ilícitos llega a afectar la Seguridad Nacional, la cual se rige por los principios de legalidad, responsabilidad, respeto a los derechos fundamentales de protección a la persona humana y garantías individuales y sociales.

Aún con los esfuerzos nacionales recientes, sin precedentes, para la destrucción de cultivos ilícitos, las principales áreas de siembra de amapola siguen localizándose en Guerrero y en el “Triángulo Dorado” (Sinaloa, Chihuahua y Durango). En su mayoría, los cultivos se ubican en áreas de difícil acceso por carreteras y/o caminos de tercer orden (terracería) o veredas, por lo que el acceso está limitado a los pobladores locales, quienes generalmente tienen muy limitadas posibilidades de desarrollo socioeconómico.

Consciente de la importancia de responder al problema de las drogas mediante la responsabilidad común y compartida, y con el propósito de generar un diagnóstico sobre esta problemática, el Gobierno de México buscó implementar una metodología de recolección y análisis de datos, a través de la detección y monitoreo permanente de amapola en el territorio nacional.

El diagnóstico permitirá en un mediano y largo alcance implementar estrategias y políticas públicas integrales, que coadyuven a disminuir la incidencia de los campesinos en la siembra de amapola, desincentivando la relación con grupos delictivos, así como asistiendo a la comunidad internacional en el monitoreo y evolución de la siembra de amapola.

En una asociación estratégica entre el Gobierno de México y la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC) agencia del Sistema de las Naciones Unidas (SNU), se implementó el proyecto MEXK54 “Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en Territorio Mexicano”, con la finalidad de acercar a México la sólida experiencia de UNODC en el reforzamiento técnico y tecnológico de las instituciones nacionales encargadas de coordinar y ejecutar el monitoreo de cultivos ilícitos. De esta forma, UNODC trabaja de manera coordinada con las autoridades nacionales responsables de la instrumentación de este proyecto, la

Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA), la Secretaría de Marina (SEMAR) y la Procuraduría General de la República, a través de la Oficina Nacional de Políticas de Drogas adscrita a la Agencia de Investigación Criminal (PGR/AIC-ONPD), y el acompañamiento de la Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE).

Este proyecto ha permitido desarrollar metodologías y técnicas, y aplicar tecnología de punta para facilitar, mejorar y reforzar los estudios de detección de cultivos ilícitos en el territorio mexicano, a través del análisis de imágenes satelitales y fotografías aéreas.

En el mes de abril de 2012, se iniciaron las actividades del Proyecto MEXK54 entre UNODC, y el Gobierno Federal, a través de la Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE), la Secretaría de Marina (SEMAR), y el Centro Nacional de Planeación, Análisis e Información para el Combate a la Delincuencia de la Procuraduría General de la República (CENAPI-PGR), como colaboradores del proyecto. Posteriormente, en mayo del 2015 se integró la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA) y la Agencia de Investigación Criminal (AIC) de la Procuraduría General de la República (PGR).

El Proyecto MEXK54 forma parte del Programa Global de Monitoreo de Cultivos Ilícitos (ICMP, por sus siglas en inglés) que tiene UNODC con países con problemáticas similares de cultivos ilícitos, como Colombia, Perú y Bolivia para el caso de coca; Afganistán, República Democrática Popular de Laos, Myanmar y México para el opio; y Marruecos para el cannabis.

Los datos y el análisis de los estudios de cultivos ayudan a los gobiernos en el desarrollo de sus políticas y en la planificación de cómo abordar los cultivos ilícitos. Los sistemas de monitoreo apoyados por UNODC se adaptan a los contextos nacionales y enfatizan la capacitación y el desarrollo de la experiencia local. La participación directa de UNODC en los sistemas nacionales de monitoreo garantiza la aplicación de estándares internacionales para el monitoreo, aplicando una metodología robusta que posibilita la transparencia en las encuestas y dota a los resultados de credibilidad internacional (UNODC, 2018).

Mediante este estudio se ha logrado consolidar información que no sólo se limita a la identificación y ubicación recurrente de cultivos ilícitos, sino que apunta variables socioeconómicas que pueden contribuir a que en la definición de la política integral de drogas se generen respuestas a causas más estructurales.

Así el proyecto MEXK54 apoya la instrumentación del documento de resultados de la Sesión Extraordinaria de la Asamblea General de las Naciones Unidas sobre el problema de las drogas, que se celebró en abril de 2016 (UNGASS 2016), y en el que se reconoció la necesidad de alinear las políticas de drogas con los esfuerzos para alcanzar los objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

Dicho compromiso internacional recomienda, entre otras cosas: fomentar el desarrollo e inclusión social de las comunidades en el marco de la prevención del delito; escalar los programas de desarrollo sostenible para incidir sobre factores socioeconómicos relacionados al problema de las drogas; fortalecer la cooperación internacional para el desarrollo y ampliar el alcance de los programas de desarrollo alternativo, incluyendo la dimensión preventiva y los principios de inclusión y sostenibilidad.

Con la publicación de este segundo informe se confirma el interés de México por instrumentar el compromiso internacional de generar políticas de drogas con base en evidencia y datos científicos. Toda vez que los resultados obtenidos son de carácter oficial y se publican de manera conjunta y transparente por el Gobierno de México y UNODC, el proyecto MEXK54 se consolida como el único sistema integral de monitoreo y detección permanente de los cultivos ilícitos en México, con el objetivo de orientar las intervenciones de mejor manera; contar con estadísticas e información confiables y transparentes que se reflejen en los informes anuales sobre drogas de UNODC; y evitar señalamientos externos sin sustento o sin verificación alguna de la información a través de levantamientos en campo.

Por todo lo anterior, es conveniente dar continuidad al proyecto, y poder seguir recabando los elementos necesarios para la implementación de políticas públicas integrales y focalizadas que permitan identificar nuevas medidas para desincentivar la actividad ilícita y para apoyar el desarrollo de las personas cooptadas por esta actividad, con el fin de propiciar la disminución de la siembra ilícita y refrendar el compromiso con los grupos más vulnerables en México y con la comunidad internacional.

3. ORGANIZACIÓN DE LAS INSTITUCIONES PARTICIPANTES Y COLABORADORES DEL PROYECTO

Una parte fundamental en la continuidad de los procesos y los resultados obtenidos por el Proyecto de monitoreo de cultivos de amapola en México, es el apoyo que ha otorgado el gobierno mexicano de manera permanente en las diferentes actividades técnicas y logísticas, a través de sus instituciones participantes (*figura 1*).

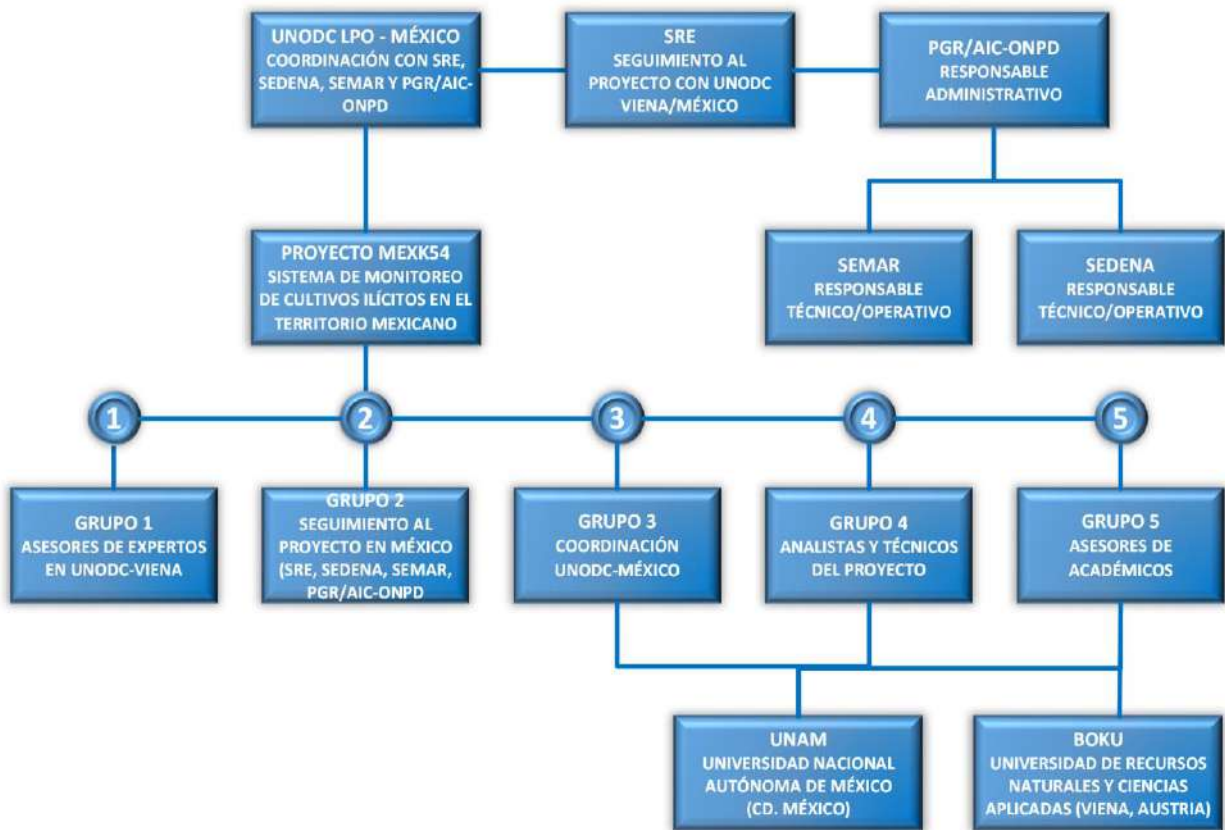
Figura 1. Atribuciones y responsabilidades de los participantes en el proyecto



Fuente: Elaboración MEXK54

El proyecto de monitoreo en México tiene un intercambio continuo entre cinco grupos interdisciplinarios: expertos de UNODC Viena (grupo 1), grupo de seguimiento conformado por representantes de la SRE, SEDENA, SEMAR y PGR/AIC-ONPD (grupo 2), grupo de coordinación de UNODC México (grupo 3), grupo de analistas y técnicos del proyecto (grupo 4); además de la colaboración del grupo asesor de académicos de universidades (grupo 5), el cual evalúa de manera permanente a los integrantes de los grupos 3 y 4 (*figura 2*).

Figura 2. Organización de los participantes y colaboradores del proyecto



Fuente: Elaboración MEXK54

3.1 Organización y perfil del personal del proyecto

El proyecto de monitoreo de cultivos de amapola en México mantiene el mismo personal de expertos de UNODC, el grupo de seguimiento, técnicos y analistas conformado por el personal de SRE, SEDENA, SEMAR y PGR/AIC-ONPD. El proyecto tiene un Coordinador General, un Asistente Técnico de Análisis y Monitoreo, y un Asistente de Programa (UNODC México); adicionalmente, cuenta con un grupo de apoyo a los trabajos, conformado por dos expertos en Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica (SIG), una estadística y un oficial de programas (UNODC Viena); así como tres geógrafos, un biólogo, un fotogrametrista, un geofísico, un químico y tres especialistas en sensores remotos y SIG (Grupo de Analistas y Técnicos).

En general, el equipo de monitoreo en México tiene experticia en el uso de cartografía; corrección digital en imágenes satelitales y fotografía aérea; aplicación de la técnica de fotointerpretación a través de sensores remotos; análisis de SIG y uso de tecnologías en campo, como: navegadores con sistema de posicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés) aéreos y terrestres, cámaras digitales y geolocalizador satelital, entre otros.

3.2 Grupo técnico de seguimiento del proyecto

Referente al grupo técnico de seguimiento está integrado por representantes de la SEMAR, SEDENA, SRE y la ONPD adscrita a la Agencia de Investigación Criminal de la PGR, la cual funge como secretaría técnica y coadyuva a mejorar la coordinación y organización de las instituciones participantes.

La conformación del grupo técnico obedeció a la importancia de dar un seguimiento programático a las actividades realizadas por el proyecto MEXK54, facilitando así el trabajo conjunto para conseguir los objetivos y metas establecidas.

De manera particular, en los trabajos participan analistas de SEDENA, SEMAR y PGR-AIC, no obstante, el acompañamiento de la SRE ha sido fundamental para la comunicación con UNODC Viena, así como para atender a compromisos internacionales en el marco de la atención a la problemática derivada de los cultivos ilícitos.

Asimismo, la integración del grupo ha permitido fortalecer la coordinación interinstitucional, mejorar los mecanismos de cooperación y las capacidades de cada una de las dependencias participantes. Por ello, como parte de los logros alcanzados se encuentra la presentación del primer reporte titulado: “México. Monitoreo de Cultivos de Amapola 2014-2015”, publicado el pasado mes de junio 2016.

Foto 1. Reunión del grupo técnico de seguimiento



Fuente: Agencia de Investigación Criminal/ONPD

4. RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN DE SUPERFICIE SEMBRADA CON AMAPOLA PARA LOS PERIODOS DE MONITOREO 2015-2016 Y 2016-2017

El presente informe incluye los resultados de estimación para los periodos de monitoreo 2015-2016 y 2016-2017. Para cada periodo, la muestra utilizada para la programación de las imágenes y colecta de fotografía aérea fue diferente. En la muestra 2015-2016 se utilizaron 368 segmentos y fue conformada por dos marcos de muestreo: 1) 300 segmentos del marco de destrucción histórica, y 2) 68 segmentos del marco de riesgo.

Para el estudio 2016-2017 se utilizó una muestra de 300 segmentos que se obtuvo de la actualización realizada al mapa nacional de riesgo, el cual fue explicado de manera detallada en el capítulo 5.3.

Para ambos estudios de monitoreo, el cálculo estadístico realizado toma como base la superficie total en hectáreas de la amapola interpretada mediante imágenes satelitales y fotografías aéreas; Asimismo el resultado es corregido por un factor de ajuste explicado en el capítulo 5.12, por lo que se considera que la estimación final de superficie sembrada es a nivel nacional, debido a la metodología utilizada para la construcción de los marcos de muestreo y la muestra elegida para cada estudio de monitoreo.

4.1 Estimaciones de superficie sembrada con amapola

La estimación de superficie nacional sembrada con cultivos de amapola para el periodo de monitoreo julio 2015 a junio 2016 resultó en 25,200 hectáreas. Mientras que para el periodo de julio 2016 a junio 2017 la estimación corresponde a 30,600 hectáreas (*tabla 1*).

La estimación estadística corresponde a la suma de los tres periodos analizados en 12 meses, tomando en cuenta que los cultivos de amapola pueden sembrarse y crecer en diferentes momentos durante el año.

Tabla 1. Superficie estimada con cultivos de amapola (ha) para 12 meses de monitoreo

Periodo del resultado	Área (ha) estimada
Julio 2015 – Junio 2016 ²³	25,200
Julio 2016 – Junio 2017 ²⁴	30,600

23 Intervalo de confianza del 95% es de 20,400 a 30,000 ha. Puede incluir áreas que han sido erradicadas después de las fechas de las imágenes.

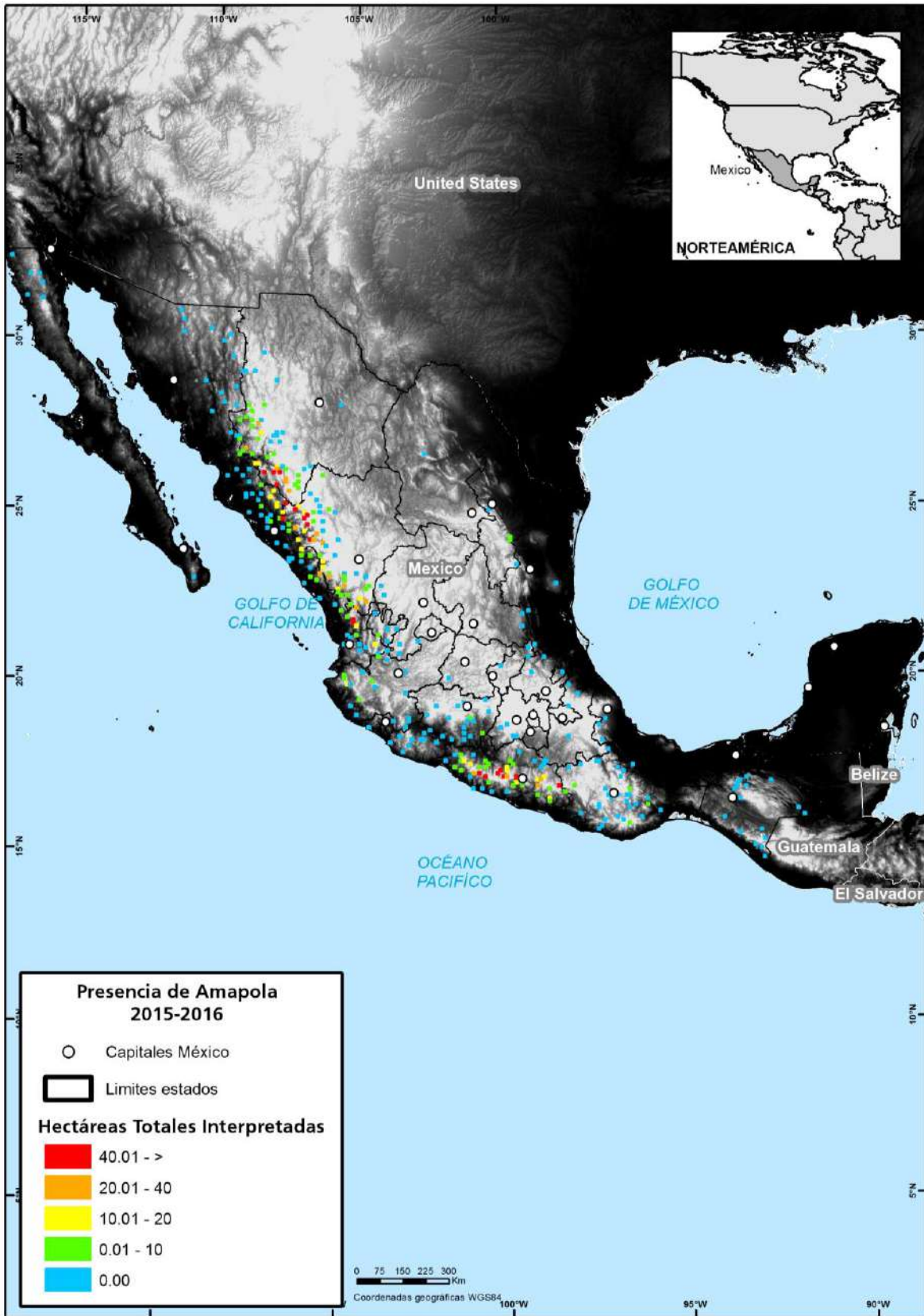
24 Intervalo de confianza del 95% es de 22,800 a 38,400 ha. Puede incluir áreas que han sido erradicadas después de las fechas de las imágenes.

Con la muestra²⁵ utilizada se encontraron cultivos de amapola en 8 estados: Sinaloa, Chihuahua, Durango, Nayarit, Jalisco, Michoacán, Guerrero y Oaxaca. Cabe mencionar, que otros estados del territorio nacional no necesariamente están libres de cultivos de amapola, sin embargo estas áreas son potencialmente pequeñas y el impacto que tendría en el cálculo de estimación nacional de superficie sembrada es significativamente mínimo.

El resultado no toma en cuenta si los campos de amapola podrían haber sido destruidos después las observaciones (detecciones) y por lo tanto, las estimaciones solamente indican la suma total de las hectáreas interpretadas de los cultivos al momento de la colecta de las imágenes satelitales y fotos aéreas en la muestra (*mapas 1 y 2*).

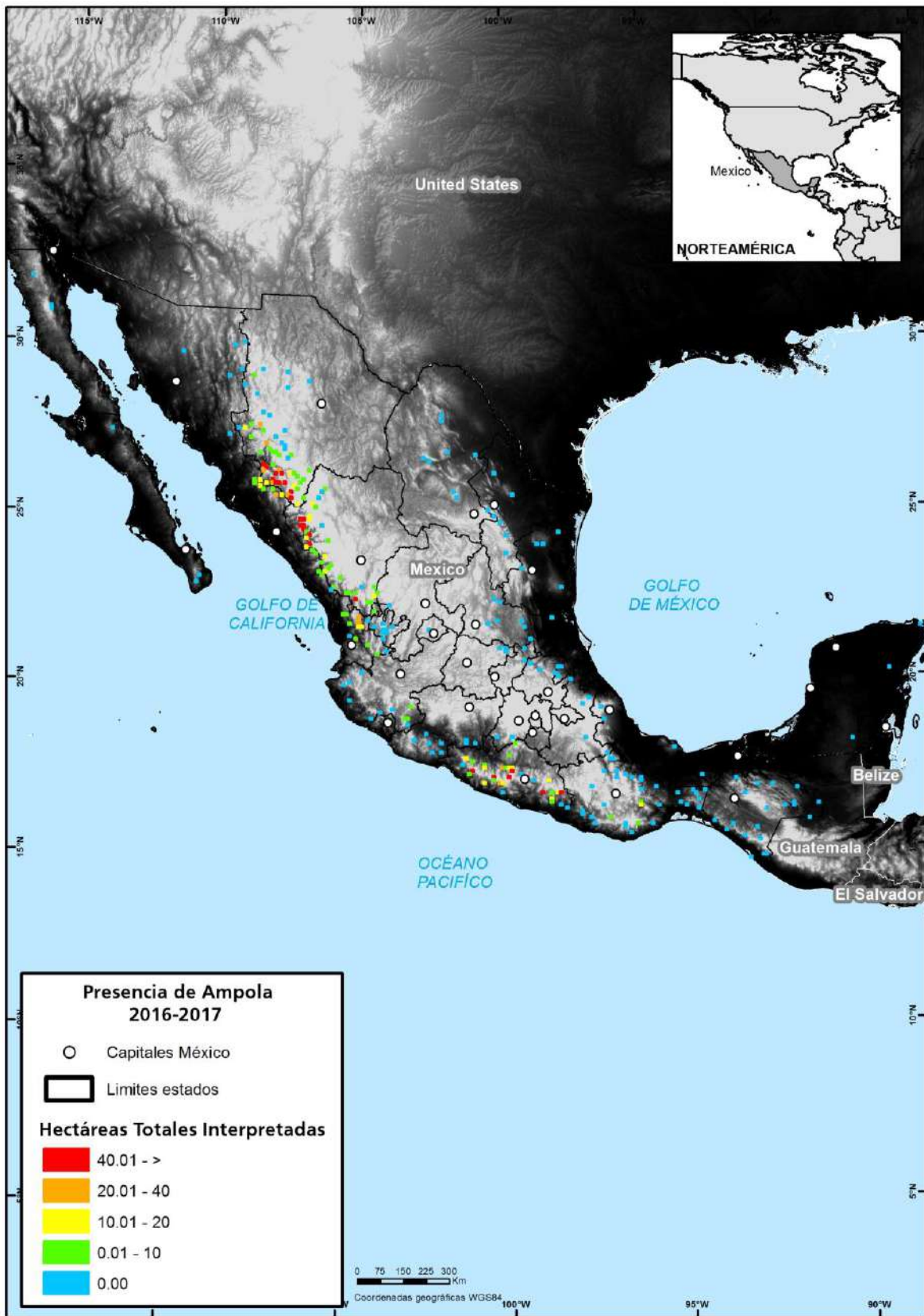
25 La definición de la muestra fue tomada a nivel nacional, no a nivel estatal, por lo que no se puede sacar conclusiones para cada estado.

Mapa 1. Área total con cultivos de amapola interpretada en cada segmento en el monitoreo de 2015-2016



Fuente: Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en el Territorio Mexicano - apoyado por UNODC.
Los límites y los nombres utilizados en este mapa no implican la aceptación oficial por parte de la Naciones Unidas.

Mapa 2. Área total con cultivos de amapola interpretada en cada segmento en el monitoreo de 2016-2017



Fuente: Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en el Territorio Mexicano - apoyado por UNODC.
Los límites y los nombres utilizados en este mapa no implican la aceptación oficial por parte de la Naciones Unidas.

4.2 Imágenes utilizadas para el monitoreo de amapola

Las imágenes utilizadas en el proyecto tienen diferentes características y son colectadas por distintas constelaciones satelitales, como: SPOT-6 y 7, Geo Eye-1, World View-2 y 3, así como por información de fotografía aérea (**ver anexo II**). Para identificar los cultivos pequeños se requirió del uso de las fotografías aéreas colectadas con muy alta resolución, de entre 0.25 y 0.35 metros por pixel, permitiendo adicionar, validar y diferenciar los cultivos observados en las imágenes satelitales.

El proyecto realiza programaciones para la colecta de cada segmento de la muestra con imagen satelital o fotografía aérea. Esta colecta se realiza como mínimo tres veces durante los 12 meses de los estudios de monitoreo 2015-2016 y 2016-2017, divididos en tres periodos cuatrimestrales, es decir que los segmentos deben tener una imagen o una foto aérea. Sin embargo, lo ideal es que el mismo segmento esté combinado con imagen y fotografía, lo cual garantiza que todos los posibles cultivos de amapola sembrados puedan ser observados en algún momento del año de estudio, considerando que el ciclo fenológico (crecimiento) promedio para las plantas de amapola es de cuatro meses.

Por otra parte, para poder colectar las imágenes satelitales en las fechas óptimas para cada segmento de la muestra en los estudios de monitoreo (2015-2016 y 2016-2017), se utilizaron los datos de los periodos altos²⁶ obtenidos del estudio anterior sobre “**Análisis de fechas para determinar los calendarios agrícolas (NDVI²⁷)**”. El estudio utilizó una serie temporal de imágenes satelitales, con lo que se estableció la fecha de colecta para cada segmento en su periodo cuatrimestral correspondiente (julio-octubre, noviembre-febrero y marzo-junio), con el propósito de completar la totalidad la muestra de 368 segmentos para el 2015-2016 y los 300 segmentos del 2016-2017, respectivamente (*tabla 2*).

Tabla 2. Periodos de colecta para las imágenes satelitales/fotografía aérea en 2015-2016 y 2016-2017






Tipo de colecta	Periodos colectados		
	Julio – Octubre 2015	Noviembre 2015 – Febrero 2016	Marzo – Junio 2016
Muestra total del territorio nacional considerando los picos altos del estudio NDVI.	368 segmentos de 10 x 10 km.	368 segmentos de 10 x 10 km.	368 segmentos de 10 x 10 km.
	Julio – Octubre 2016	Noviembre 2016 – Febrero 2017	Marzo – Junio 2017
	300 segmentos de 10 x 10 km.	300 segmentos de 10 x 10 km.	300 segmentos de 10 x 10 km.

26 Cuando los cultivos de amapola se encuentran en su periodo fenológico óptimo (crecimiento) más alto entre la siembra y cosecha, temporalidad en la que se puede observar e interpretar de mejor manera el cultivo en imágenes satelitales y/o fotografía aérea.

27 Estudio sobre el análisis de fechas para determinar calendarios agrícolas, utilizando series temporales de imágenes satelitales para generar los índices de vegetación (NDVI) y usarlos para programar la colecta de imágenes de satélite y fotografía aérea en campo en su fase fenológica de alta producción.

Para los estudios de monitoreo realizados de julio de 2015 a junio de 2016 y de julio de 2016 a junio de 2017, se han utilizado imágenes satelitales fusionadas (pan-sharpened) con cuatro bandas en el espectro electromagnético²⁸ visible: roja, verde, azul e infrarrojo cercano (**ver anexo III**) de los sensores ópticos: SPOT-6 y 7, World View-2 y 3, GeoEye-1. Las imágenes fueron utilizadas espectralmente a color y falso color con resoluciones espaciales que van desde 1.5 metros hasta 0.25 metros, como los ejemplos que se muestran en la *figura 3*.

Figura 3. Tipos de resolución de las imágenes utilizadas para el monitoreo

Tipo	Imagen
Imagen satelital del Sensor SPOT 6 o 7 (1.5 m)	
Imagen satelital del sensor World View 2 (.50 m)	
Imagen satelital del sensor Geo Eye 1 (.40 m)	
Imagen satelital del sensor World View 3 (.30 m)	
Fotografía aérea digital (.25 m)	

28 Es el rango de la energía o radiaciones electromagnéticas que tienen longitudes de onda diferentes a todas las radiaciones electromagnéticas posibles. El espectro de un objeto es la distribución característica de la radiación electromagnética de ese objeto.

Adicionalmente, los cultivos detectados fueron verificados con fotografía aérea. En particular la resolución de las imágenes World View 3 y de la fotografía aérea permiten tener una mejor fotointerpretación visual de los cultivos de amapola. En las *tablas 3 y 4* se muestra un resumen del total de imágenes satelitales y fotografías aéreas utilizadas para el análisis de cada muestra utilizada en los estudios de monitoreo 2015-2016 y 2016-2017, considerando que la muestra total del primero se compone de 1,104 segmentos y para el segundo es de 900 segmentos.

Tabla 3. Cantidad de imágenes utilizadas por tipo de sensor sobre la muestra de 368 segmentos

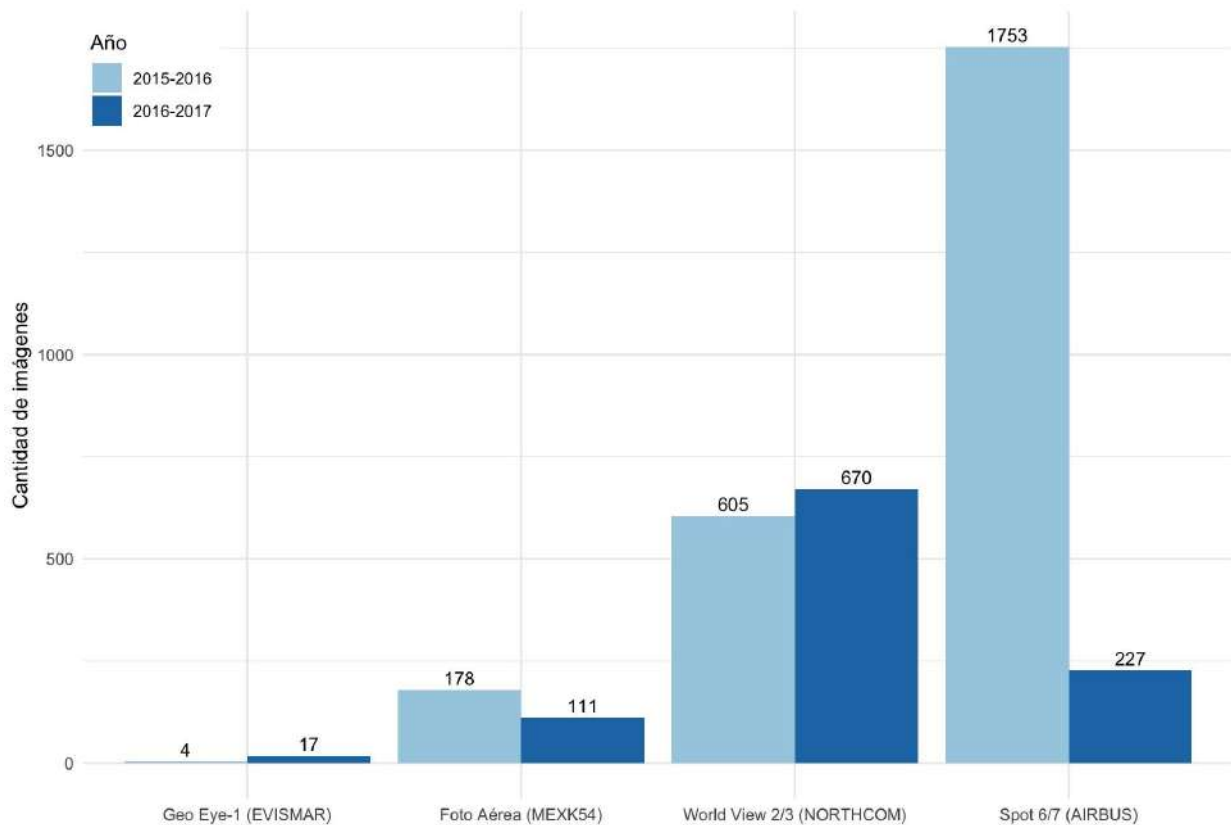
Sensor	Resolución por pixel	Periodos analizados			Totales
		Julio – Octubre 2015	Noviembre 2015 – Febrero 2016	Marzo – Junio 2016	
SPOT 6 o 7	1.5 m	542	640	571	1,753
WORLD VIEW 2	.50 m	106	164	172	442
GEOEYE 1	.40 m	0	3	1	4
WORLD VIEW 3	.30 m	60	52	51	163
FOTO AÉREA	.25 m	84	71	23	178
Totales		792	930	818	2,540

Tabla 4. Cantidad de imágenes utilizadas por tipo de sensor sobre la muestra de 300 segmentos

Sensor	Resolución por pixel	Periodos analizados			Totales
		Julio – Octubre 2016	Noviembre 2016 – Febrero 2017	Marzo – Junio 2017	
SPOT 6 o 7	1.5 m	144	33	50	227
WORLD VIEW 2	.50 m	99	237	167	503
GEOEYE 1	.40 m	8	5	4	17
WORLD VIEW 3	.30 m	40	57	70	167
FOTO AÉREA	.25 m	39	43	29	111
Totales		330	375	320	1,025

Por otra parte, el proyecto tuvo acceso a diferentes fuentes de información satelital de Muy Alta Resolución (VHR) y Alta Resolución (HR) para coleccionar la muestra utilizada en los estudios de monitoreo 2015-2016 y 2016-2017. La *gráfica 2* nos muestra que para el monitoreo 2015-2016 la fuente con mayor información satelital disponible fue AIRBUS (Spot 6-7), en comparación con lo coleccionado en 2016-2017. Las imágenes Spot 6-7 son consideradas con una fuente de imágenes HR.

Gráfica 2. Cantidad de imágenes y fotos aéreas por tipo de fuente utilizadas para el monitoreo 2015-2016 y 2016-2017

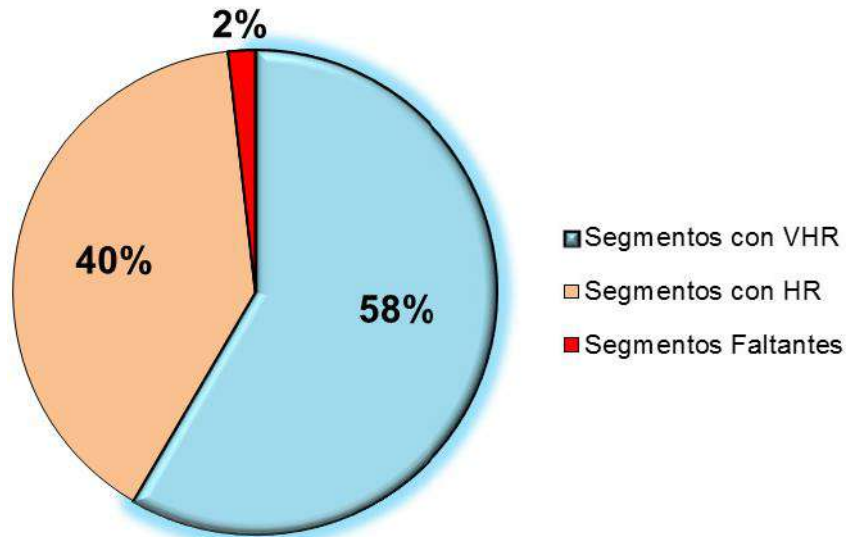


Fuente: Elaboración MEXK54

Cabe mencionar, que la fuente que tiene mayor cubrimiento en el país para el proyecto es AIRBUS, debido a que su constelación cuenta con dos satélites que tienen las mismas características espectrales y de resolución espacial, además tiene una alta capacidad de cubrimiento de hasta 10,800 km² (60 km x 180 km) por barrido con un periodo de visita (pase) relativamente corto. Lo anterior le permite al proyecto solicitar a AIRBUS varios segmentos de la muestra que corresponden de una misma imagen de Spot.

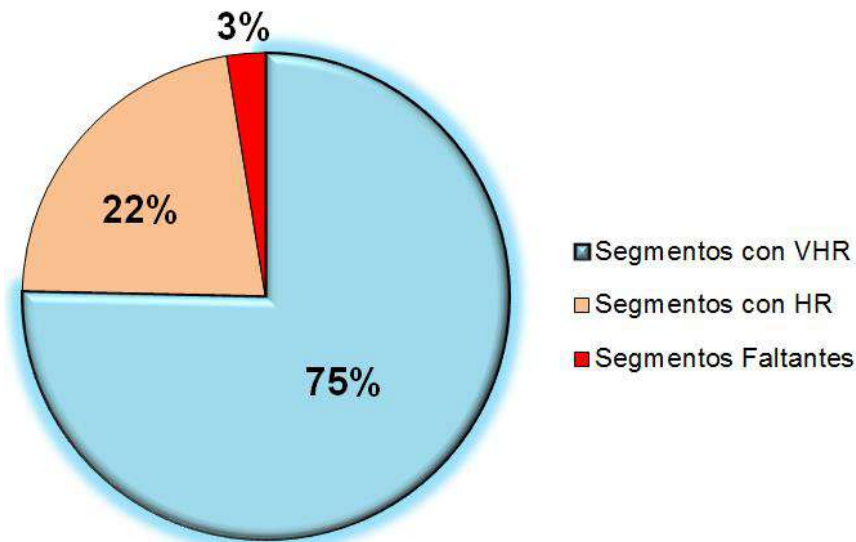
Adicionalmente a la gráfica anterior, el proyecto de monitoreo en México realizó una comparativa en el tipo de análisis por resolución que se utilizó para la fotointerpretación de cultivos de amapola durante los estudios de monitoreo 2015-2016 y 2016-2017. Las siguientes gráficas 3 y 4 comparan el porcentaje total de los segmentos de la muestra analizados con imágenes VHR y/o HR.

Gráfica 3. Porcentaje del tipo de análisis por resolución para el periodo 2015-2016



Fuente: Elaboración MEXK54

Gráfica 4. Porcentaje del tipo de análisis por resolución para el periodo 2016-2017



Fuente: Elaboración MEXK54

Lo que podemos concluir es que para el monitoreo 2015-2016, más del 55% del total de los segmentos de la muestra corresponde al tipo de análisis en VHR, y comparado con el estudio 2016-2017 este impacto fue mayor con un 75% en VHR. Esto garantiza que en ambos estudios de monitoreo la amapola que fue observada e incluida para la estimación de superficie sembrada tuvo un alto grado de certeza y efectividad en el proceso de fotointerpretación.

4.3 Área de cobertura de las imágenes utilizadas para la estimación con cultivos de amapola

La colecta de imágenes satelitales o fotografía aérea se ve afectada por el efecto de nubosidad o sombras ocasionado por el ángulo de incidencia (toma). Para México el periodo más complicado para la colecta de imágenes o fotos es de julio a octubre; en este periodo se presentan la mayoría de los fenómenos hidrometeorológicos, principalmente los huracanes (de junio a noviembre) que afectan a algunas regiones del país, dificultando el monitoreo del cultivo de amapola.

De lo dicho anteriormente, significa que no todas las muestras (segmentos) pueden ser observadas en su totalidad, por lo que se obtiene una cobertura parcial para un cierto número de muestras con imágenes o fotos. En el estudio de monitoreo 2015-2016, se considera que la cobertura “**total-ideal**” del 100% está conformada por la suma de los 368 segmentos (100 km²) de los tres periodos cuatrimestrales analizados, lo que resulta en un total de 1,104 segmentos para la muestra del estudio completo. El total de muestras (imágenes) colectadas para los tres periodos es de 1,084 segmentos del total de la muestra (1,104 segmentos), esto corresponde al 98% de la cobertura “**total-ideal**” (tabla 5).

Tabla 5. Resumen general de la muestra colectada y analizada para los tres periodos del estudio de monitoreo 2015-2016

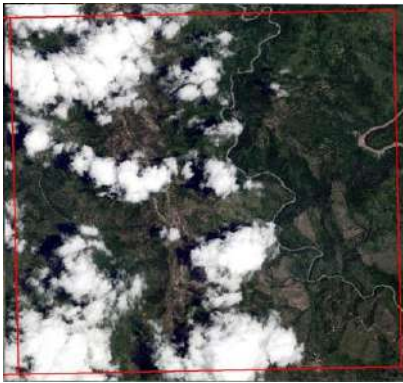

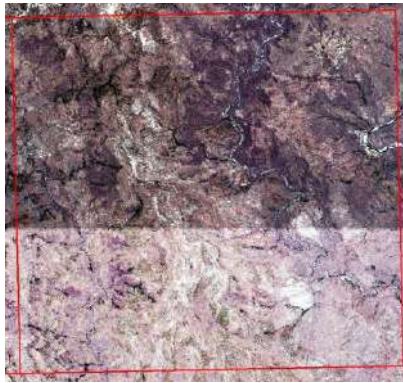
Datos de la muestra	Periodos analizados			Totales
	Julio – Octubre 2015	Noviembre 2015 – Febrero 2016	Marzo – Junio 2016	
Tamaño de la muestra	368	368	368	1,104
Total de segmentos colectados	362	368	354	1,084
Total de segmentos faltantes	6	0	14	20
Porcentaje de la muestra obtenida	98%	100%	96%	98%

En el resultado de estimación de superficie nacional sembrada con amapola para el periodo de monitoreo de julio de 2015 a junio de 2016, se aplicó un estimador ratio entre la hectárea estimada con amapola y la cobertura estimada total para la muestra total. El resultado de este estimador ratio considera la suma de la cobertura total de las imágenes colectadas durante todo el periodo de estudio.

La cantidad total de muestras (imágenes) colectadas fue de 1,084 segmentos del total de la muestra (1,104 segmentos). Sin embargo, este estudio de monitoreo tiene segmentos con más de dos imágenes en cada periodo cuatrimestral, por lo que entre imágenes satelitales y fotografías aéreas se obtuvo un total de 2,540 imágenes que fueron consideradas para promediar el porcentaje de la cobertura total de superficie²⁹, como se muestra en la figura 4.

29 Se obtiene mediante un análisis visual de cada imagen de los segmentos (100 Km²) colectados para calcular su superficie total cubierta en porcentajes de cobertura (%). Del 100% de cobertura, se resta el área cubierta por nubosidades, por efecto de las sombras ocasionadas por el ángulo de toma del satélite, y los segmentos incompletos en su cobertura.

Figura 4. Ejemplo de un mismo segmento utilizado para promediar el porcentaje de cobertura

Julio – Octubre 2015	Noviembre 2015 – Febrero 2016	Marzo – Junio 2016
		
45% de cobertura	90% de cobertura	100% de cobertura

En la siguiente *tabla 6*, se muestra la cobertura de superficie del número de segmentos colectados representada en porcentajes del 0% al 100%. En el *mapa 3* se presenta cada segmento de la muestra como el resultado de la suma de su cubrimiento total, que es promediado entre los tres periodos cuatrimestrales que fueron analizados (julio – octubre 2015, noviembre 2015 – febrero 2016 y marzo – junio 2016).

Tabla 6. Número de segmentos con porcentaje de cobertura con imágenes satelitales y fotos aéreas para el estudio de monitoreo 2015-2016

Datos de la muestra 2015-2016	Cobertura de superficie %											Total
	≥0	<10	<20	<30	<40	<50	<60	<70	<80	<90	≤100	
Número de segmentos de 100 km ²	0	2	3	4	4	11	3	21	22	117	897	1,084

Con el total de las imágenes satelitales y fotografías aéreas adquiridas para el estudio de monitoreo de julio 2015 – junio de 2016, solo se cubren las zonas de alta incidencia de cultivos de amapola dentro del marco de muestreo combinado (UNODC y UNAM).

La muestra cubre un área total monitoreada de 103,727 km² (*tabla 7*), por lo que esta superficie representa el 5.18% de la superficie continental de México con los 2,000,000 km², aproximadamente.

Tabla 7. Porcentaje de la cobertura total obtenida con imágenes satelitales y fotos aéreas para el estudio de monitoreo 2015-2016

Datos de la muestra	Periodos analizados			Totales
	Julio – Octubre 2015	Noviembre 2015 – Febrero 2016	Marzo – Junio 2016	
Cobertura total de la muestra (km ²)	36,800	36,800	36,800	110,400
Cobertura obtenida de la muestra (km ²)	33,744	35,997	33,986	103,727
Porcentaje de cobertura obtenida	92%	98%	92%	94%

De manera similar al estudio anterior, el monitoreo correspondiente al 2016-2017, considera que la cobertura “total-ideal” del 100% se compone por la suma de los 300 segmentos (100 km²) de los tres cuatrimestres analizados, con un resultado total de 900 segmentos para la muestra completa utilizada en este estudio. El total de segmentos (imágenes) colectados para los tres periodos fue de 877 segmentos del total de la muestra (900 segmentos), lo que corresponde al 97% de la cobertura “total-ideal” (tabla 8).

Tabla 8. Resumen general de la muestra colectada y analizada para los tres periodos del estudio de monitoreo 2016-2017

Datos de la muestra	Periodos analizados			Totales
	Julio – Octubre 2016	Noviembre 2016 – Febrero 2017	Marzo – Junio 2017	
Tamaño de la muestra	300	300	300	900
Total de segmentos colectados	287	300	290	877
Total de segmentos faltantes	13	0	10	23
Porcentaje de la muestra obtenida	95%	100%	96%	97%

Para obtener el resultado de estimación de superficie nacional sembrada con amapola que abarca el periodo de monitoreo de julio de 2016 a junio de 2017, se aplicó un estimador ratio entre la hectárea calculada con amapola y la cobertura total estimada. Este estimador ratio considera la suma de la cobertura total de las imágenes colectadas durante todo el periodo de monitoreo. La cantidad total de muestras (imágenes) colectadas fue de 877 segmentos del total de la muestra (900 segmentos). Sin embargo, para este estudio de monitoreo algunos segmentos dentro de cada periodo cuatrimestral cuentan con más de dos imágenes, es decir que entre imágenes satelitales y fotografías aéreas se colectaron un total de 1,025 imágenes que se consideraron para promediar el porcentaje de la cobertura total de superficie.

En la siguiente *tabla 9*, se muestra la cobertura de superficie del número de segmentos colectados representada en porcentajes del 0% al 100%. En el *mapa 4* se presenta cada segmento de la muestra como el resultado de la suma de su cubrimiento total, que es promediado entre los tres periodos cuatrimestrales analizados (julio – octubre 2016, noviembre 2016 – febrero 2017 y marzo – junio 2017).

Tabla 9. Número de segmentos con porcentaje de cobertura con imágenes satelitales o fotos aéreas para el estudio de monitoreo 2016-2017

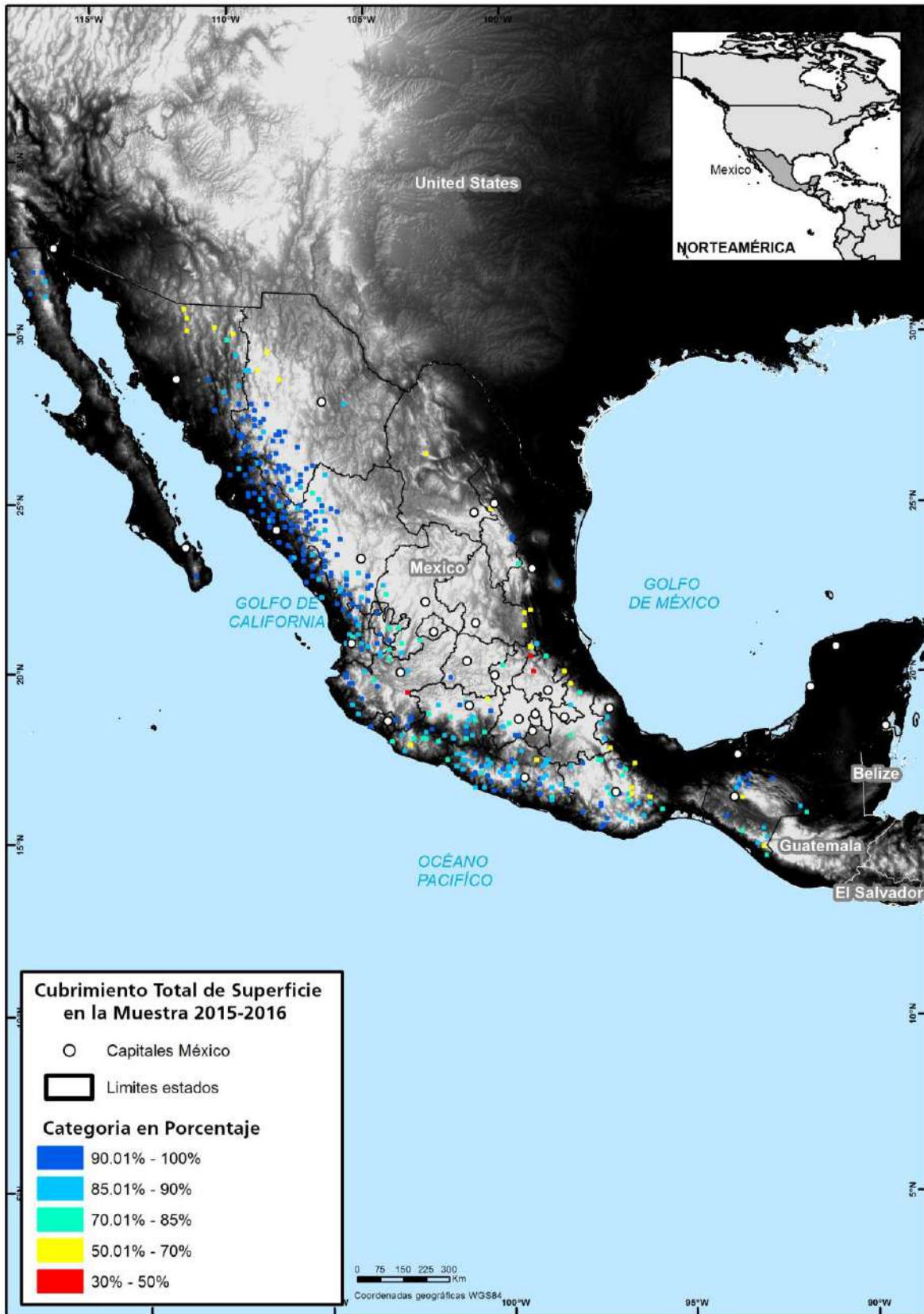
Datos de la muestra 2016-2017	Cobertura de superficie %											Total
	≥0	<10	<20	<30	<40	<50	<60	<70	<80	<90	≤100	
Número de segmentos de 100 km ²	0	15	7	6	7	12	19	17	30	37	727	877

Con el total de las imágenes satelitales y fotografías aéreas adquiridas para el estudio de monitoreo de julio 2016 – junio 2017, únicamente se cubren las zonas de alta incidencia de cultivos de amapola dentro del marco de muestreo de riesgo (UNAM). Realizando una comparación de los 2,000,000 km² que tiene la superficie continental de México, aproximadamente, con el cubrimiento de la muestra con un área total de 81,183 km² (*tabla 10*), ésta representa el 4.06% del total de la superficie monitoreada.

Tabla 10. Porcentaje de la cobertura total obtenida con imágenes satelitales y fotos aéreas para el estudio de monitoreo 2016-2017

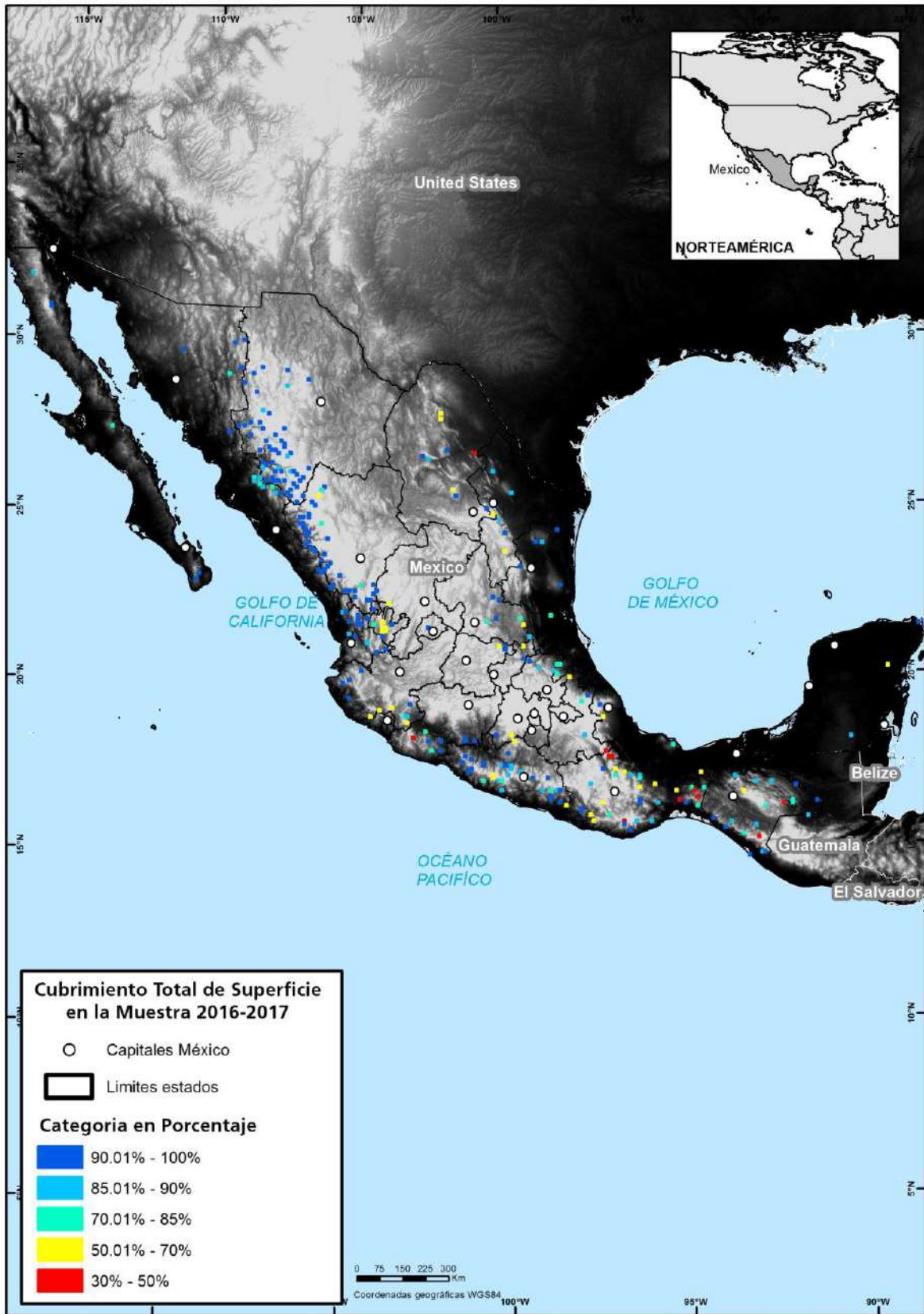
Datos de la muestra	Periodos analizados			Totales
	Julio – Octubre 2016	Noviembre 2016 – Febrero 2017	Marzo – Junio 2017	
Cobertura total de la muestra (km ²)	30,000	30,000	30,000	90,000
Cobertura obtenida de la muestra (km ²)	25,039	27,293	28,851	81,183
Porcentaje de cobertura obtenida	83%	91%	96%	90%

Mapa 3. Distribución de los 368 segmentos de la muestra con una cobertura total de la superficie promediada con los tres periodos cuatrimestrales en 2015-2016



Fuente: Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en el Territorio Mexicano - apoyado por UNODC.
Los límites y los nombres utilizados en este mapa no implican la aceptación oficial por parte de la Naciones Unidas.

Mapa 4. Distribución de los 300 segmentos de la muestra con una cobertura total de la superficie promediada con los tres periodos cuatrimestrales en 2016-2017

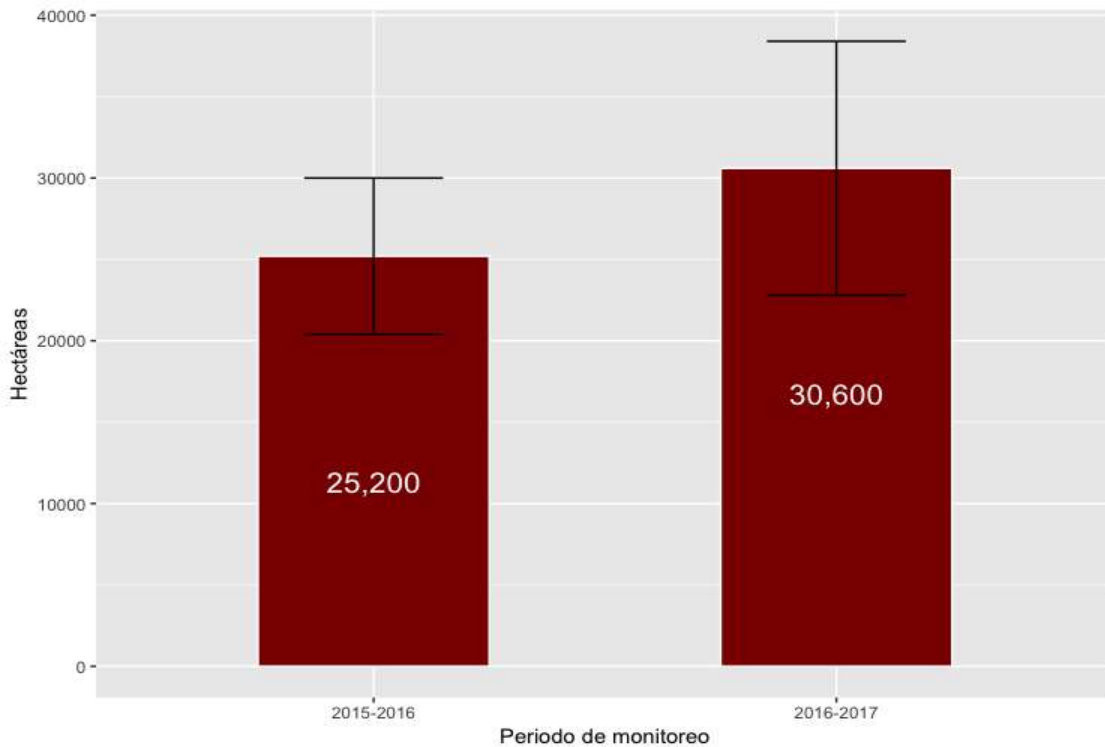


Fuente: Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en el Territorio Mexicano - apoyado por UNODC.
Los límites y los nombres utilizados en este mapa no implican la aceptación oficial por parte de la Naciones Unidas.

4.4 Análisis exploratorio de tendencias entre las estimaciones de superficie sembrada con amapola entre los periodos de monitoreo 2015-2016 y 2016-2017

La estimación de superficie sembrada con amapola del periodo 2015-2016 y la nueva estimación para 2016-2017 revela un aumento de 21% del área de cultivo. La diferencia corresponde a 5,400 hectáreas entre los estudios de monitoreo comparados (gráfica 5).

Gráfica 5. Diferencia entre los estudios 2015-2016 y 2016-2017



Fuente: Elaboración MEXK54

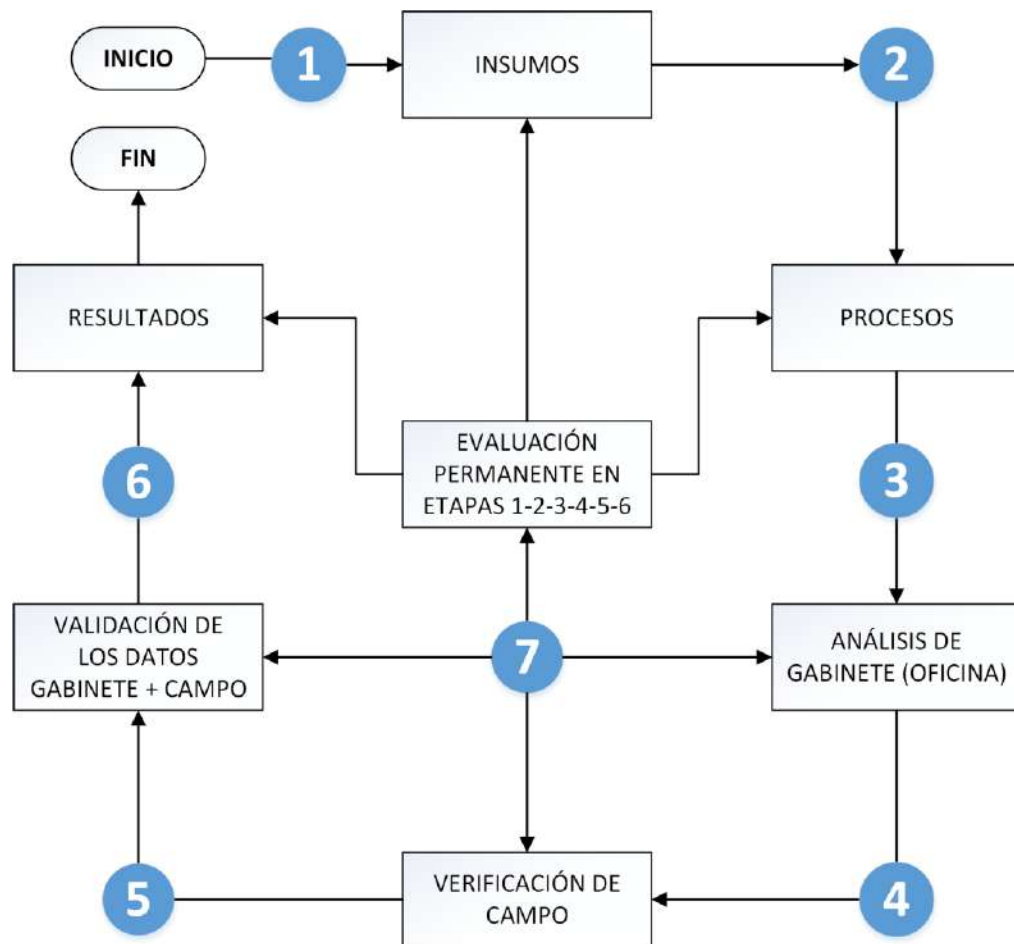
Sin embargo, la variación entre los resultados del estudio de 2016-2017 con el estudio 2015-2016, se tiene que observar cuidadosamente debido a que el marco de muestreo del segundo periodo citado fue actualizado por el proyecto, el cual fue mencionado en los capítulos 5.3 y 5.4.

5. METODOLOGÍA ACTUALIZADA PARA LOS PERIODOS DE MONITOREO DE AMAPOLA 2015-2016 Y 2016-2017

El proyecto MEXK54 “Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en el Territorio Mexicano” es un sistema integral que tiene como objetivo fortalecer las capacidades técnicas del gobierno de México en el monitoreo y detección de la amapola en su territorio; utilizando tecnologías de percepción remota (imágenes satelitales y fotografías aéreas), aplicación de herramientas de geoprocésamiento y generación de mapas a través de un SIG e integración de la información en su geodatabase denominada SIMDA (Sistema de Monitoreo y Detección de Amapola³⁰).

La metodología de monitoreo mantiene sus siete etapas generales (*figura 5*), en el entendido de que cada etapa contiene subprocesos que utilizan herramientas de geoprocésamiento y análisis en SIG, mismas que permiten al analista validar y verificar las interpretaciones de amapola de los diferentes sensores remotos utilizados.

Figura 5. Etapas generales de la metodología del proyecto



Fuente: Elaboración MEXK54 (2016)

30 Incluye datos potenciales del monitoreo de cultivos de amapola a los cuales se les da seguimiento durante el año de estudio; así como los plantíos detectados que fueron incluidos para la estimación de superficie sembrada (ha) del año que corresponda.

El gobierno de México, en coordinación con la UNODC, actualizaron la metodología³¹ del proyecto utilizada durante el primer estudio de monitoreo 2014-2015, la cual está sustentada en el marco del ICMP, dedicado a buscar una mejora continua en los procesos de las metodologías de monitoreo para aprovechar los avances de la tecnología en sensores remotos y SIG. Ambas tecnologías son complementarias y se combinan con la evaluación de datos colectados en campo para calcular la ubicación, extensión y evolución del área sembrada con plantíos de amapola (UNODC, 2018). Asimismo, la etapa 7 “Evaluación Permanente” (figura 5) de la metodología del proyecto permite fortalecerla a través de actualizaciones y mejoras en cualquiera de sus etapas previamente aplicadas (MEXK54, 2016).

Considerando lo mencionado en el párrafo anterior, el grupo de analistas del proyecto (SEMAR, SEDENA, PGR-AIC-ONPD, UNODC) actualizó la metodología aplicada, enfocándose en los criterios temáticos y geométricos, obteniendo como resultado la: “**Actualización de los criterios para la delimitación del área de los plantíos de amapola y actualización de las directrices para la fotointerpretación de imágenes satelitales y fotografías aéreas**”, con el propósito de aumentar la consistencia de los resultados entre los analistas. La actualización fue aplicada a las interpretaciones de plantíos de amapola para los estudios de monitoreo 2015-2016, 2016-2017 y en consecuencia a los estudios subsecuentes.

Cabe mencionar que para el estudio de monitoreo 2016-2017, la metodología³² tuvo un cambio en el marco de muestreo, por lo que se utilizó únicamente el marco basado en probabilidades de riesgo. Recordando que el empleado en los estudios pasados, 2014-2015 y 2015-2016 incluía un marco de muestreo combinado: erradicación histórica y probabilidades de riesgo (ver capítulo 5.2. y subcapítulo 5.2.1); por lo tanto a partir del estudio 2016-2017 se eliminó el marco de erradicación histórica. Además, el marco de muestreo de riesgo fue actualizado utilizando solamente los datos de cultivos interpretados (detectados) por los analistas del proyecto (ver capítulo 5.3).

Para este nuevo marco de muestreo, se extrajo una nueva muestra compuesta por 300 segmentos de 100 km² que representan la superficie total del territorio nacional misma que será explicada en capítulos posteriores.

Las actualizaciones metodológicas citadas anteriormente, fueron realizadas después de un análisis al interior del proyecto, con el propósito de fortalecer la metodología e incrementar la calidad de sus datos y la confiabilidad de los resultados en la estimación de la superficie sembrada con amapola.

31 La metodología fue actualizada en las etapas 3 (análisis de gabinete) y 4 (verificación de campo), lo que implicó actualizar los procesos de interpretación y delimitación del área de cada plantío de amapola.

32 La metodología fue actualizada en la etapa 1 (insumos), donde se decidió utilizar un solo marco de muestreo (riesgo) y no un marco de muestreo combinado (erradicación y riesgo), como se realizó en los estudios de monitoreo 2014-2015 y 2015-2016.

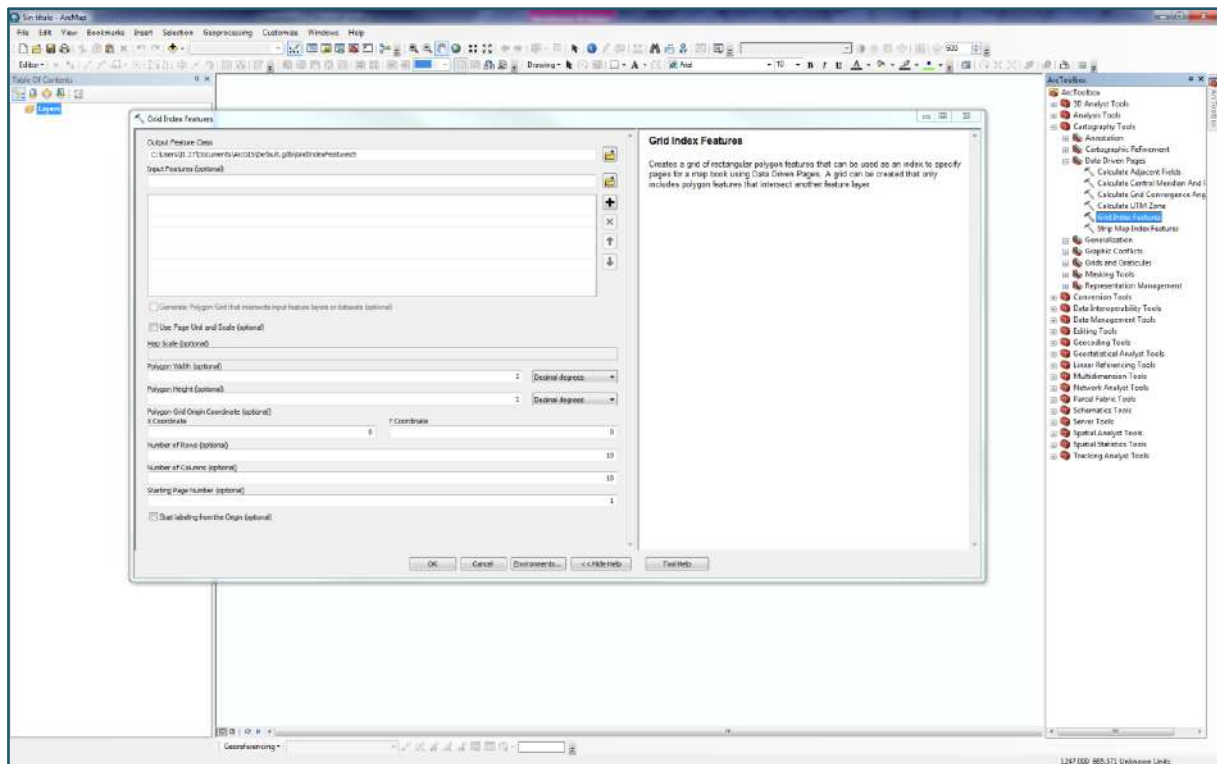
5.1 Rejilla ortogonal nacional utilizada para extrapolar los marcos muestreo utilizados para las zonas de monitoreo

Considerando que México tiene una gran extensión territorial con aproximadamente 2,000,000 km², el monitoreo de esta superficie a través de sensores remotos para la detección de cultivos de amapola sería un trabajo muy complejo y costoso.

Es por ello, que para lograr monitorear cualquier punto geográfico del territorio, se buscó la alternativa de elegir como unidad de geolocalización y medición una rejilla geográfica³³ (grilla) con segmentos de 100 Km² con cobertura nacional, tal y como se muestra en el *mapa 5*. El tamaño fue elegido por la practicidad para obtener las imágenes satelitales y fotografía aérea, facilitando sus procesos de programación, corrección, análisis y almacenamiento.

La rejilla fue construida con el software de SIG ArcGis 10.2 (ArcMap) utilizando la herramienta “Grid Index Features” del módulo ArcToolbox (*figura 6*), se incluyeron los parámetros requeridos como: superficie a cubrir y tamaño de cada segmento. El resultado de la rejilla en México dio un total de 22,308 segmentos de 100 km², y fue la base para extrapolar los marcos de muestreo que se utilizaron en los estudios de monitoreo 2015-2016 y 2016-2017, extrayendo para cada estudio una muestra representativa del territorio nacional.

Figura 6. Asistente para la herramienta “Grid Index Features” del software de ArcMap.



Fuente: ArcGis 10.2

33 Las rejillas geográficas se utilizan con frecuencia como un insumo de geolocalización. Se trata de información espacial expresada en coordenadas cartesianas (latitud y longitud).

Mapa 5. Rejilla ortogonal nacional (grilla) de 10 x10 km (100 km² por segmento)



Fuente: Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en el Territorio Mexicano - apoyado por UNODC.
 Los límites y los nombres utilizados en este mapa no implican la aceptación oficial por parte de la Naciones Unidas.

5.2 Marco de muestreo utilizado para el monitoreo 2015-2016

Para este estudio se utilizó el mismo marco de muestreo combinado del estudio 2014-2015 (*mapa 6*), el cual fue conformado con información de erradicación histórica y análisis de riesgo. Para el primero se utilizaron los datos de destrucción histórica de cultivos ilícitos en el país, y para el segundo marco de muestreo extendido, se consideraron los datos del modelo estadístico de probabilidades por factores determinantes para cultivos ilícitos (riesgo).

El marco de muestreo con erradicación histórica (UNODC), tuvo el siguiente proceso de creación (*mapa 7*):

1. Fue conformado por la UNODC con la base de datos de 5 años de erradicación (2007, 2008, 2009, 2010 y 2011).
2. Los datos de erradicación fueron extrapolados en la rejilla nacional, considerando que cada segmento fue incluido en el marco de muestreo, es decir, si existían puntos geográficos de cultivos erradicados de amapola o marihuana en un año y/o de un tipo de cultivo en por lo menos dos años diferentes.
3. El marco de muestreo fue estratificado en 100 geoestratos³⁴ de diferentes tamaños, lo que significa que cada uno tiene diferente valor de ponderación, según la repetición de cultivos de amapola erradicados.
4. El tamaño del marco de muestreo fue de 3,368 segmentos seleccionables.

Adicionalmente, para mejorar la precisión del muestreo del marco de erradicación histórica se utilizó una parte del marco de muestreo del mapa nacional de probabilidades/riesgo³⁵ (UNAM) por factores determinantes para cultivos ilícitos (*mapa 8*). El mapa fue actualizado con datos de amapola encontrado en el monitoreo 2014-2015 en lugar de usar datos de erradicación, como fue hecho anteriormente.

Este marco fue creado bajo las siguientes etapas:

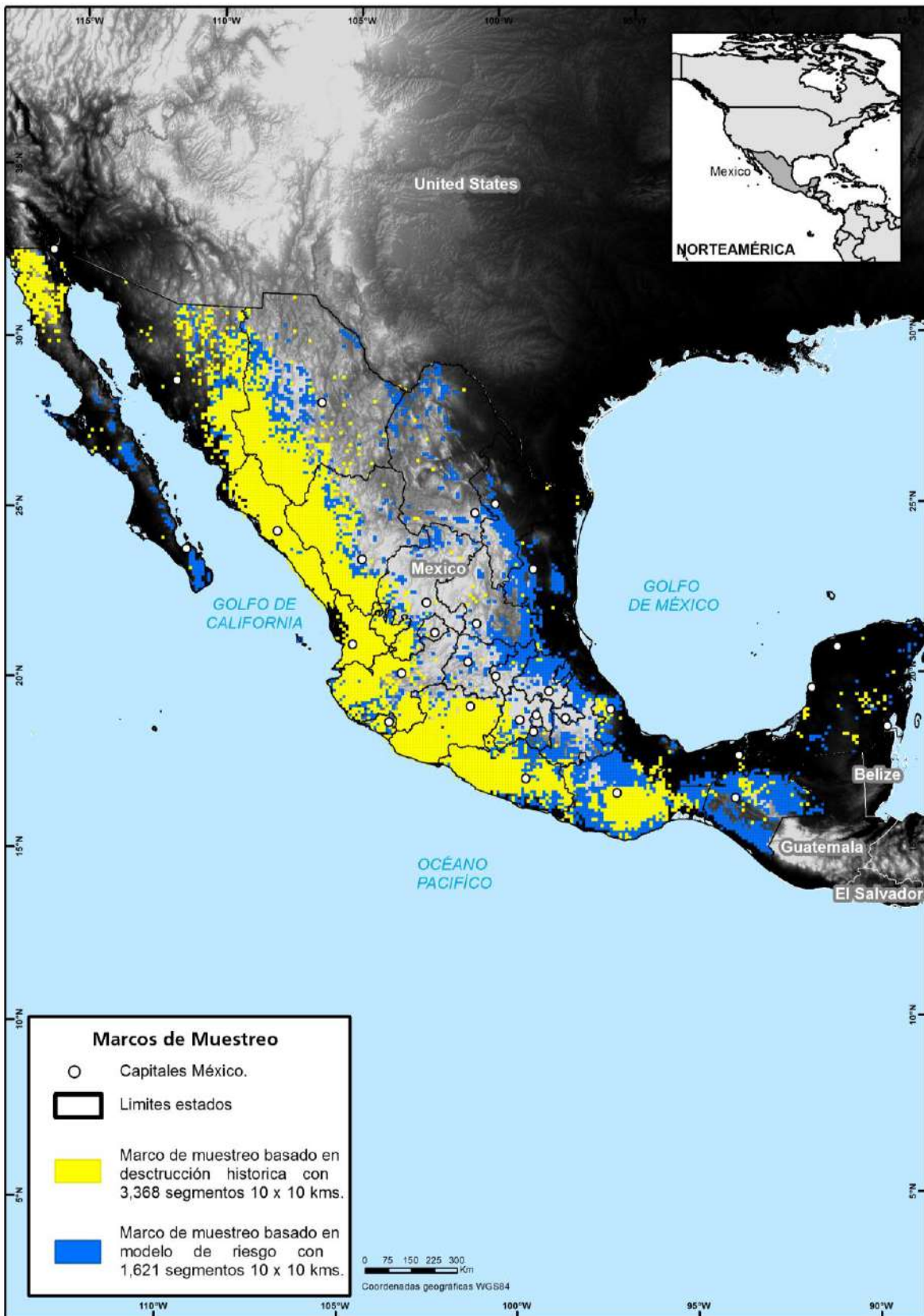
1. Fue construido en coordinación con el Instituto de Geografía de la UNAM mediante un estudio de análisis de riesgo utilizando los datos de erradicación histórica de los años 2007, 2008, 2009 y 2011³⁶
2. El análisis de probabilidades incluye variables con factores físicos y socioeconómicos, como por ejemplo: altitud, acceso a caminos, tipo de vegetación, número de población, pobreza y marginación.
3. El tamaño del marco de muestreo fue de 22,308 segmentos seleccionables, con categorías de riesgo (muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo).
4. Finalmente, solo 1,621 segmentos de los 22,308 fueron extraídos y utilizados para complementar el marco de erradicación histórica.

34 Se le conoce también como conglomerado geográfico: estos conglomerados o grupos geográficos varían su tamaño de acuerdo al nivel de erradicación que existió dentro de cada segmento del geostrato. Para este caso, se tienen 100 geoestratos.

35 Estudio sobre el análisis estadístico de probabilidades para cultivos ilícitos por factores determinantes (riesgo). En este análisis se obtuvieron categorías de probabilidad de riesgo desde muy alta, alta, mediana, baja, muy baja; asimismo, estas áreas fueron comparadas con las áreas de incidencia de cultivos históricos. Para mayor detalle, la información está disponible en la siguiente dirección web: <https://www.unodc.org/documents/crop-monitoring/Mexico/Mexico-Monitoreo-Cultivos-Amapola-2014-2015-LowR.pdf>

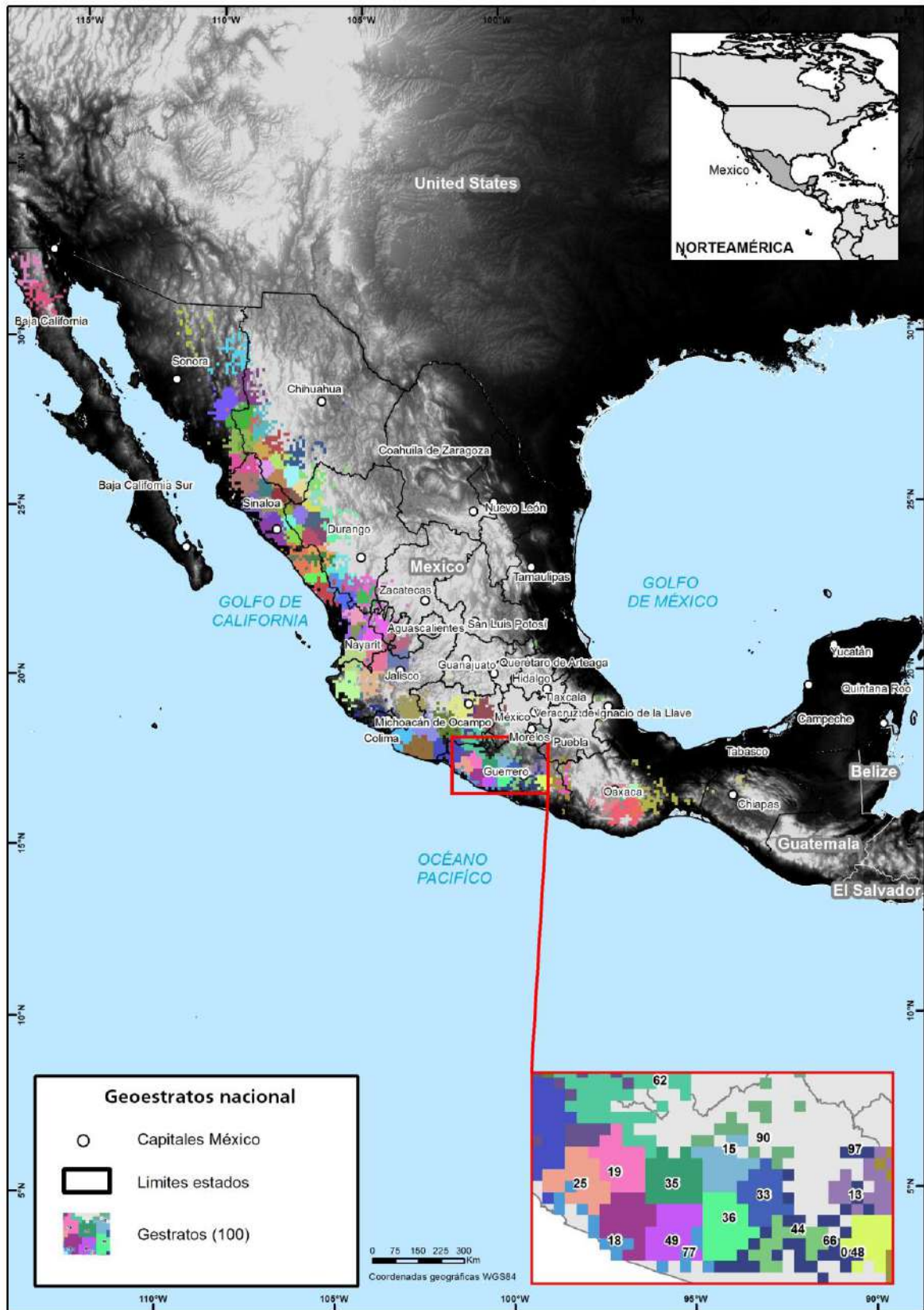
36 La información histórica de erradicación corresponde a la base de datos del Esfuerzo Nacional de Erradicación del gobierno de México. Cabe mencionar que los datos del año 2010 fueron excluidos, en virtud de que se encontraron errores de codificación y georreferencia en los datos.

Mapa 6. Marco de muestreo combinado (UNODC y UNAM) utilizado para la estimación del área (ha) con cultivos de amapola en el estudio 2015-2016



Fuente: Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en el Territorio Mexicano - apoyado por UNODC.
 Los límites y los nombres utilizados en este mapa no implican la aceptación oficial por parte de la Naciones Unidas.

Mapa 7. Marco de muestreo con datos de destrucción histórica (UNODC) de plantíos ilícitos con los 100 geoestratos



Fuente: Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en el Territorio Mexicano - apoyado por UNODC.
 Los límites y los nombres utilizados en este mapa no implican la aceptación oficial por parte de la Naciones Unidas.

Mapa 8. Nueva área nacional de probabilidades/riesgo por factores determinantes para cultivos de amapola



Fuente: Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en el Territorio Mexicano - apoyado por UNODC.

Los límites y los nombres utilizados en este mapa no implican la aceptación oficial por parte de la Naciones Unidas.

Elaboración: Instituto de Geografía de la UNAM, ver la sección.

5.2.1 Diseño de muestreo utilizado para el monitoreo de amapola en el estudio 2015-2016

Según la teoría de muestreo, el proceso de extracción aleatorio de una muestra de un conjunto S es un procedimiento donde no se sabe cuál muestra de S será realizada (Behr, 2015). En este estudio se determinó utilizar una muestra representativa a escala nacional para el monitoreo de la amapola conformada por 368 segmentos de 100 Km². La muestra corresponde al marco de muestreo combinado compuesto por 4,989 segmentos de 100 km² explicado en el capítulo anterior (erradicación histórica conformada por UNODC y análisis de riesgo generado por UNAM).

En el marco de muestreo de erradicación (UNODC), el método de selección de la muestra utilizado fue aleatorio simple dentro de 100 geoestratos; seleccionando tres segmentos por cada geoestrato. Este método garantiza una distribución óptima en un territorio desconocido. El resultado del tamaño de la muestra fue de 300 segmentos totales de 100 Km².

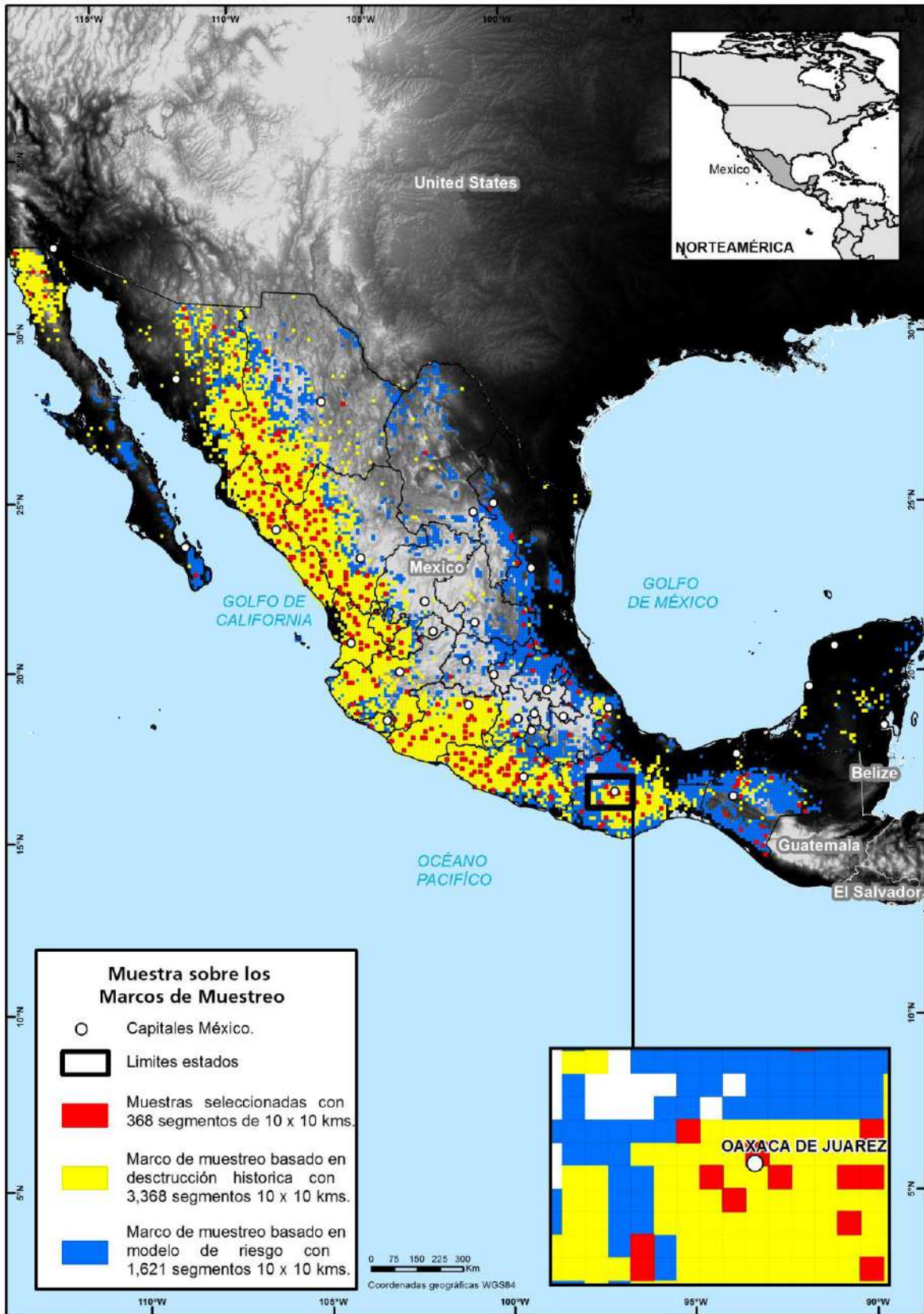
Para el marco de muestro de riesgo (UNAM), el método de selección de la muestra utilizado fue el sistemático aleatorio dentro de 1,621 segmentos que lo compone, el marco se dividió en 10 clases de acuerdo con su valor de riesgo (método cuantil³⁷) y solo la clase de riesgo más alta (decil³⁸) fue utilizada para seleccionar los 68 segmentos de 100 Km² adicionales a la muestra.

La suma de los segmentos seleccionados en los marcos de muestreo de erradicación (300) y riesgo (68) conforman la muestra de 368 segmentos utilizada en 2015-2016. El siguiente *mapa 9* muestra la ubicación y distribución espacial de los 368 segmentos para el marco de muestreo combinado (UNODC y UNAM). Asimismo en el *mapa 10* se observa la distribución de los 300 segmentos de la muestra correspondiente al marco de muestreo de erradicación (UNODC) y los 68 segmentos adicionales para el marco de muestreo de riesgo (UNAM), respectivamente.

37 Son aquellos valores de la variable que ordenados de menor a mayor, dividen a la distribución en partes, de tal manera que cada una de ellas contiene el mismo número de frecuencias.

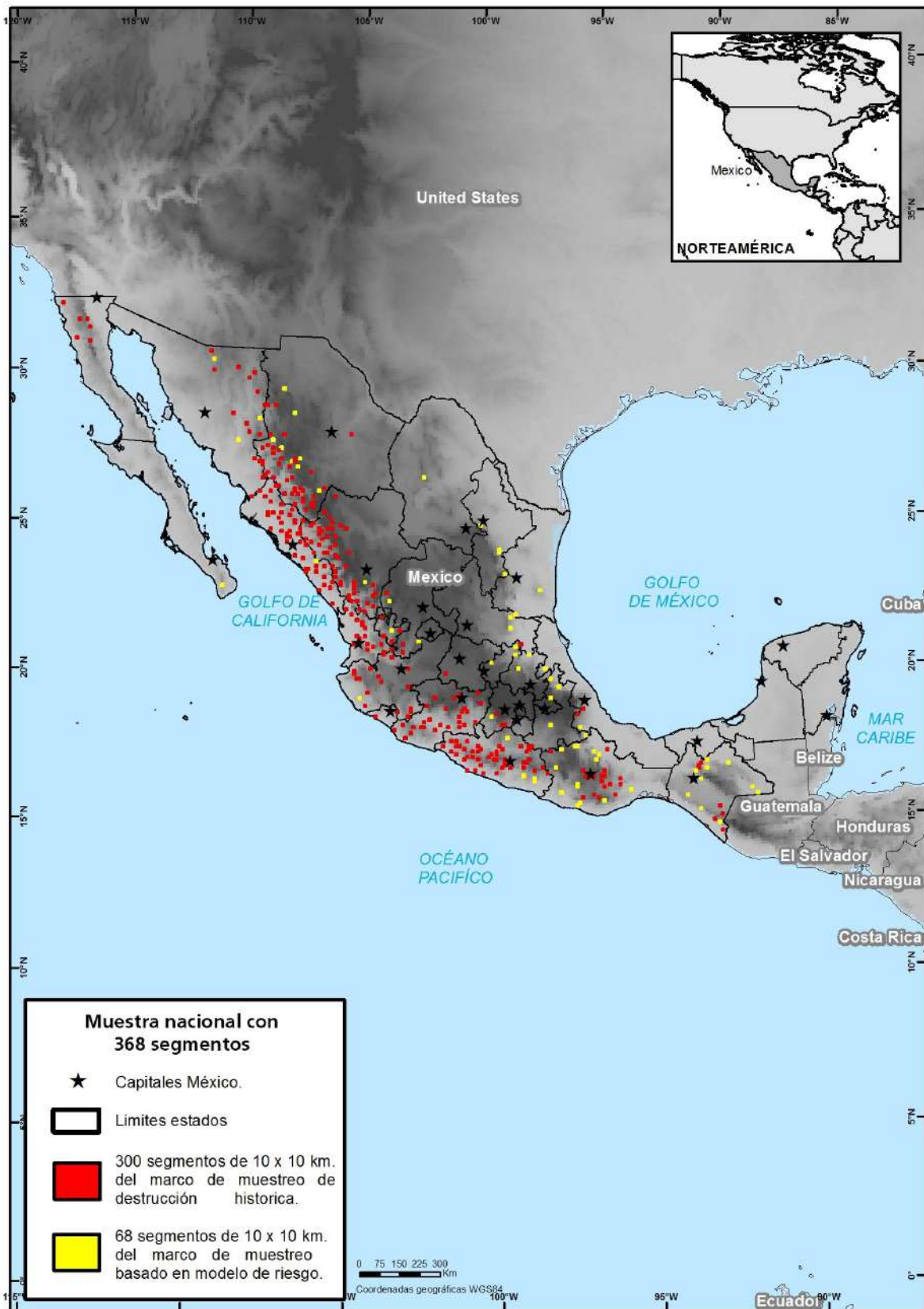
38 Son los valores de la variable que dividen a la distribución en 10 partes iguales, cada una de las cuales engloba el 10% de los datos. En total habrá 9 deciles.

Mapa 9. Ubicación de los 368 segmentos de la muestra sobre el marco de muestreo combinado utilizado para el estudio de monitoreo 2015-2016



Fuente: Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en el Territorio Mexicano - apoyado por UNODC.
Los límites y los nombres utilizados en este mapa no implican la aceptación oficial por parte de la Naciones Unidas.

Mapa 10. Distribución de los 300 segmentos de erradicación UNODC y 68 segmentos de riesgo UNAM para la programación de imágenes satelitales y fotografía aérea del estudio 2015–2016



Fuente: Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en el Territorio Mexicano - apoyado por UNODC.
Los límites y los nombres utilizados en este mapa no implican la aceptación oficial por parte de la Naciones Unidas.

5.3 Actualización del mapa nacional de probabilidades para cultivos de amapola por factores determinantes/riesgo

Considerando que la metodología del proyecto permite evaluaciones continuas para actualizar los insumos o técnicas utilizadas en sus diferentes etapas, en el proyecto se llevó a cabo la actualización del mapa nacional de riesgos para cultivos ilícitos en México, de manera coordinada con el grupo asesor de académicos del Instituto de Geografía de la UNAM. Dicha actualización consistió en realizar la selección y clasificación de variables y parámetros para efectuar el análisis territorial de áreas proclives de cultivos ilícitos en el territorio nacional a partir de un análisis multivariado, donde se correlacionaron factores de tipo socioeconómico-administrativo y físico, que son determinantes en la probabilidad de presencia de cultivos ilícitos en el país.

Cabe mencionar, que el primer mapa nacional de riesgos fue utilizado para los estudios de monitoreo 2014-2015 y 2015-2016, en el cual se emplearon los datos de destrucción histórica (erradicación) producto del Esfuerzo Nacional del gobierno de México, como insumo principal.

Con respecto a este nuevo mapa nacional de riesgos, el cual es utilizado a partir del estudio de monitoreo 2016-2017, se consideró como insumo principal una nueva base de datos que contiene la información de los cultivos interpretados (detecciones) por el proyecto, correspondientes a cinco periodos cuatrimestrales de monitoreo, entre julio de 2013 y junio de 2015. Cada cultivo interpretado incluye su ubicación más precisa. Adicionalmente, se integraron datos socioeconómicos del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI); Consejo Nacional de Población (CONAPO); así como datos fisiográficos del acervo del Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IG-UNAM), que fueron extrapolados en la rejilla nacional. Todos los análisis fueron realizados con el software R (R Core Team, 2014).

Este nuevo mapa nacional de riesgos (*mapa 11*) ha permitido identificar de forma más ajustada y precisa las áreas proclives del territorio, que difieren del primer marco de muestreo con destrucción histórica publicado en junio 2016, en el reporte “*México, Monitoreo de Cultivos de Amapola 2014-2015*”³⁹

El resultado del análisis confirma cuáles son las características físicas y socioeconómicas que favorecen la posibilidad de existencia de cultivos ilícitos y los lugares en los que estas características se replican, independientemente de que exista un trabajo previo de análisis de detección de cultivos. El siguiente *mapa 11* de probabilidades (**Anexo I**)⁴⁰, es el resultado del análisis estadístico, conocido como análisis logístico binomial, en el cual se estima la importancia de una serie de variables, dependientes e independientes, en la probabilidad de que un evento suceda o no. En este caso, el evento al que se refiere la variable dependiente es la probabilidad de existencia de cultivos ilícitos en el territorio mexicano.

39 Documento disponible en el siguiente sitio web: <https://www.unodc.org/unodc/en/crop-monitoring/index.html>

40 **Anexo I:** Actualización del estudio sobre el análisis estadístico de probabilidades para cultivos ilícitos por factores determinantes (riesgo), el cual mantiene categorías de probabilidad de riesgo en la variable logit3-pro (muy alta, alta, mediana, baja y muy baja).

Mapa 11. Nueva área nacional de probabilidades/riesgo por factores determinantes para cultivos ilícitos



Fuente: Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en el Territorio Mexicano - apoyado por UNODC.
Los límites y los nombres utilizados en este mapa no implican la aceptación oficial por parte de la Naciones Unidas.

5.4 Marco de muestreo utilizado para el monitoreo 2016-2017

Para este estudio de monitoreo se utilizó un marco de muestreo estratificado, que consiste en la formación de estratos de manera que la varianza obtenida sea mínima al interior de cada estrato y máxima entre cada uno de ellos, es decir, formar estratos lo más homogéneos posible (Dalenius-Hodges, 1959). Mientras que el marco de muestreo combinado 2015-2016 se basaba en los datos de erradicación histórica y el mapa de riesgos con 4,989 segmentos. El marco de muestreo de 2016-2017 utilizó los datos del nuevo mapa de riesgos para estratificarlo (*mapa 12*), muy similar al modelo del estudio de monitoreo 2015-2016⁴¹.

Este nuevo mapa utilizó las ubicaciones históricas de los cultivos de amapola que fueron observados en las imágenes satelitales y fotografías aéreas anteriormente, en lugar de utilizar las ubicaciones de los cultivos erradicados; logrando con esto una predicción menos sesgada, actualizando las áreas potenciales donde se puede encontrar la amapola.

Cabe mencionar que el área de riesgo se calculó para todo México, sin embargo, el área del nuevo marco de muestreo se redujo a las principales áreas de cultivo tomando los dos deciles⁴² superiores del nuevo mapa de riesgo, lo que dio como resultado un marco de muestreo con 4,104 segmentos⁴³.

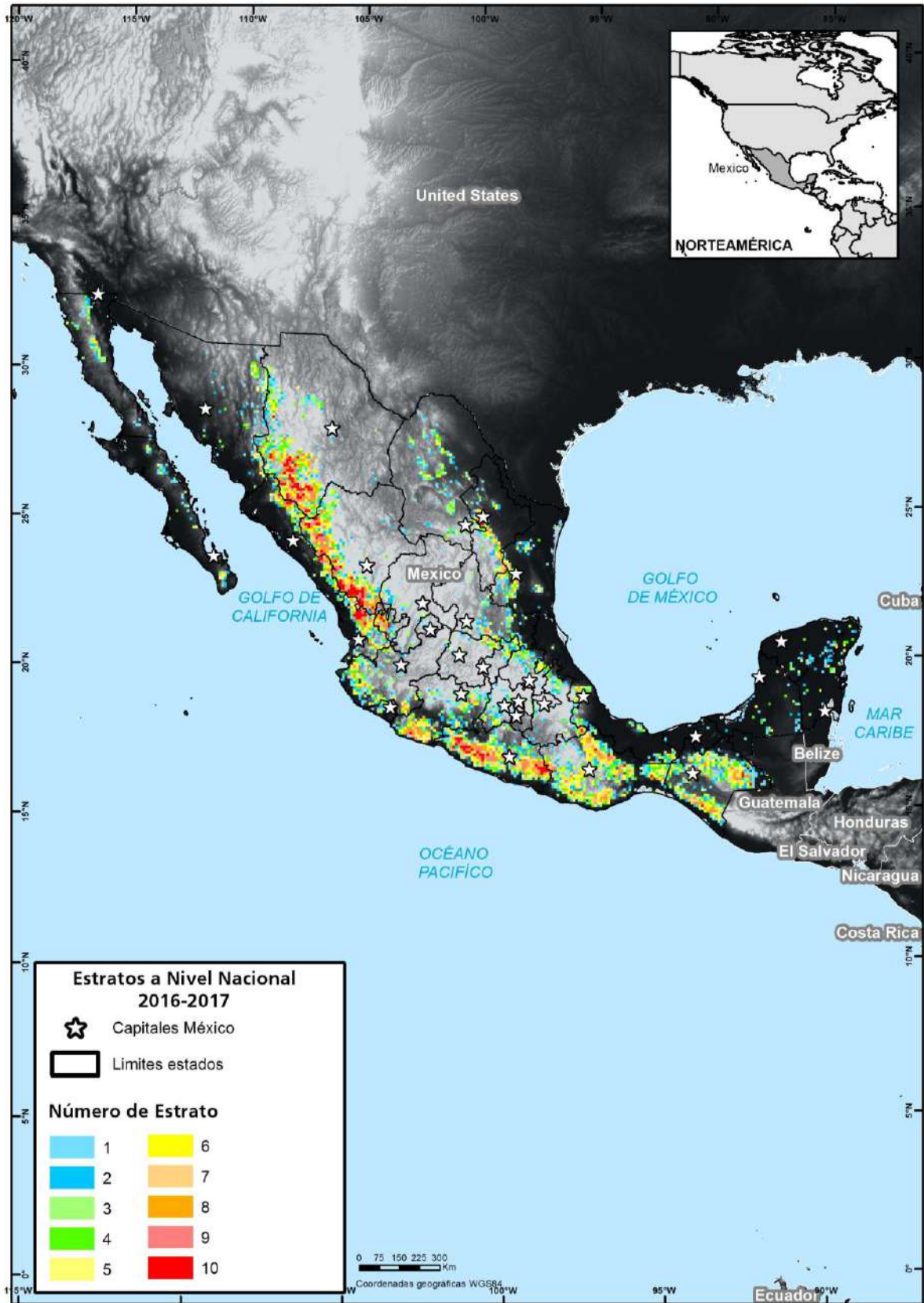
Una sobreposición de ambos marcos de muestreo muestra que 82% del marco de riesgo estratificado cubre el área del marco combinado que se utilizó para 2015-2016 (*mapa 13*).

41 La información de esta actualización fue mencionada en el subcapítulo 5.3. Para mayores detalles consultar el Anexo I.

42 Son los valores de la variable que dividen a la distribución en 10 partes iguales, cada una de las cuales engloba el 10% de los datos. En total habrá 9 deciles.

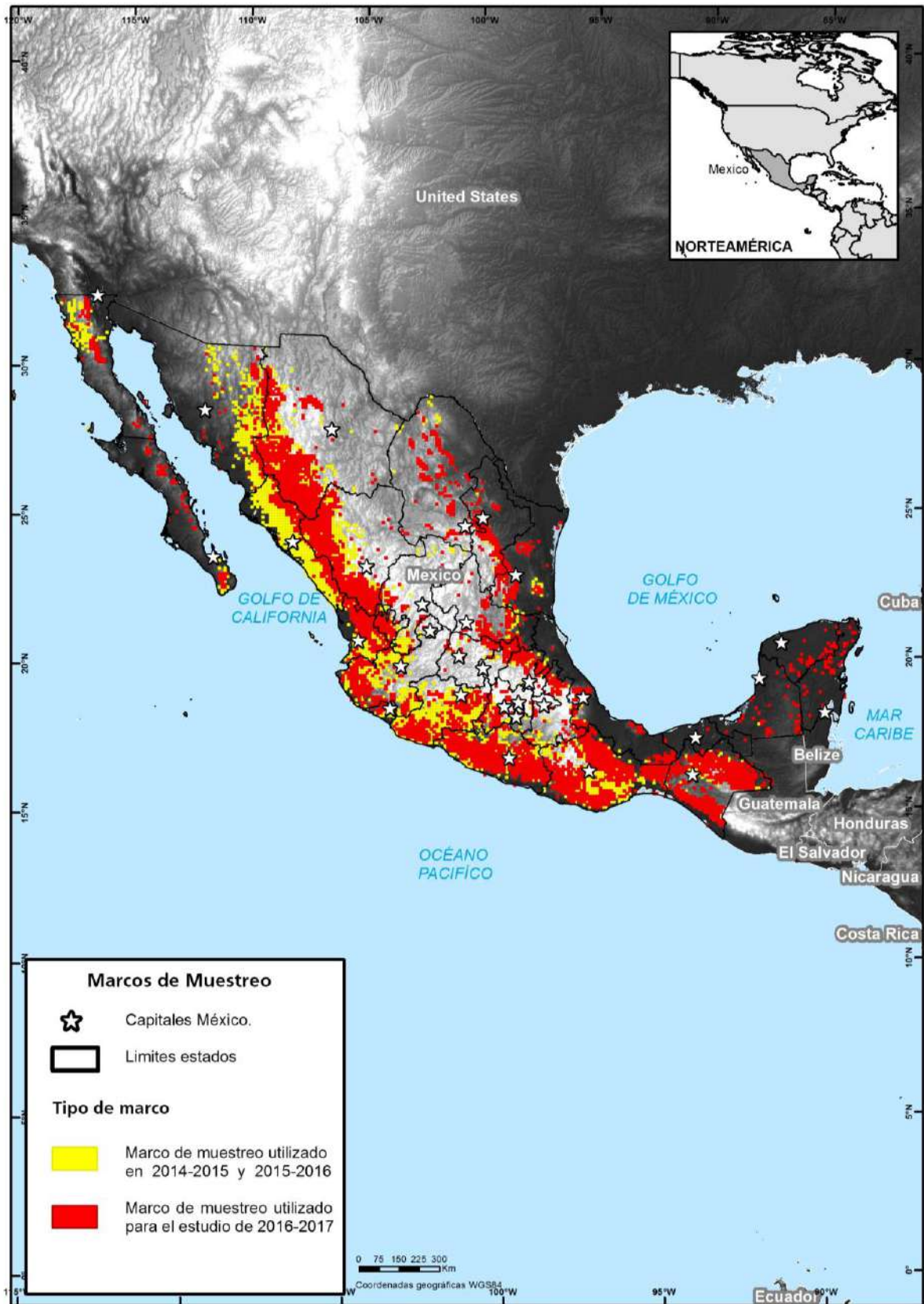
43 Una comparación con el estudio de monitoreo anterior mostró que el 97% de la amapola observada se ubica en el nuevo marco de muestreo de riesgo estratificado.

Mapa 12: Marco de muestreo estratificado por probabilidades/riesgo, utilizado para la selección de la muestra del estudio 2016-2017



Fuente: Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en el Territorio Mexicano - apoyado por UNODC.
Los límites y los nombres utilizados en este mapa no implican la aceptación oficial por parte de la Naciones Unidas.

Mapa 13. Comparación de los marcos de muestreo utilizados en los estudios de monitoreo 2014-2015/2015-2016 y en 2016-2017



Fuente: Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en el Territorio Mexicano - apoyado por UNODC.
Los límites y los nombres utilizados en este mapa no implican la aceptación oficial por parte de la Naciones Unidas.

5.4.1 Diseño de muestreo utilizado para el monitoreo de amapola en el estudio 2016-2017

El proyecto llevó a cabo un amplio estudio de simulación que comparó varios diseños de muestreo y métodos de estimación con el fin de determinar el mejor (más preciso con un número determinado de muestras) diseño para el monitoreo en México, considerando como insumo principal el nuevo mapa de probabilidades/riesgo. Mediante la simulación de la distribución espacial de la amapola en México y la selección de numerosas muestras, se pudo determinar el método con el menor coeficiente de variación, es decir, el más preciso (*Gráfica 6*). El estudio consideró los siguientes diseños de muestreo:

1. Muestreo aleatorio simple sin sustitución (SI).
2. Estratificación óptima con logit3-pro para la estratificación (STopt) considerando:
 - Asignación proporcional (SToptpro)
 - Asignación Neyman (SToptNey)
3. Estratificación geográfica compacta (STgeo) considerando:
 - Geoestratos de tamaño desigual (STgeouneq)
 - Geoestratos de igual tamaño (STgeoeq)
4. Muestreo de Probabilidad Proporcional al Tamaño (PPS) sin reemplazo usando logit3-pro como una variable de tamaño.
5. Método local fundamental de Grafstrom et al. 2012, Biometría (LPM).

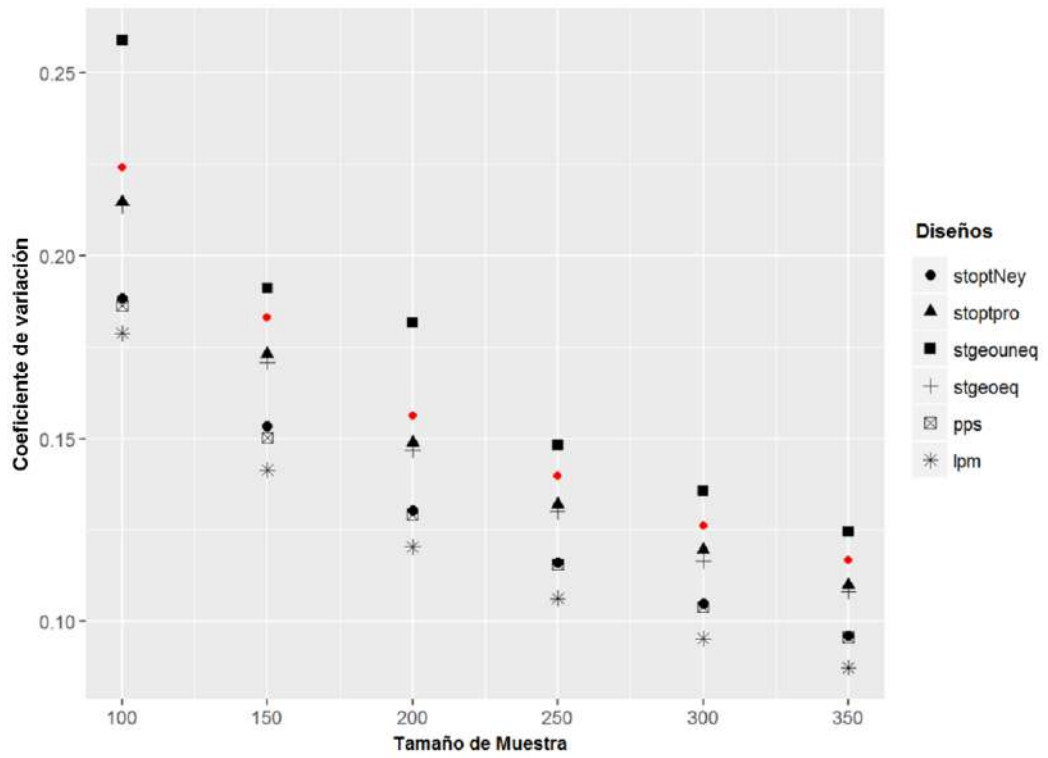
El estudio concluyó que el método LPM mostró los mejores resultados, seguido por PPS y STopt (con asignación Neyman). Sin embargo, calcular una estimación puntual y un intervalo de confianza del área total de amapola para los diseños LPM y PPS sería mucho más complicado que con STopt. También con el diseño STopt es más fácil contabilizar la falta de cobertura debida principalmente a las nubes, que con los diseños LPM y PPS. Tomando estas consideraciones, se eligió el modelo STopt (con asignación de Neyman) para extraer la nueva muestra del estudio de monitoreo 2016-2017.

Por otra parte, el estudio mostró que el número de muestras podía reducirse manteniendo la misma precisión, ahorrando recursos (humanos y financieros). Por lo tanto, el número de muestras se redujo a 300 segmentos de 100 km² (*mapa 14*). Entonces, la reducción de la muestra fue del 18% comparada con la que se utilizó en los estudios de monitoreo 2014-2015 y 2015-2016.

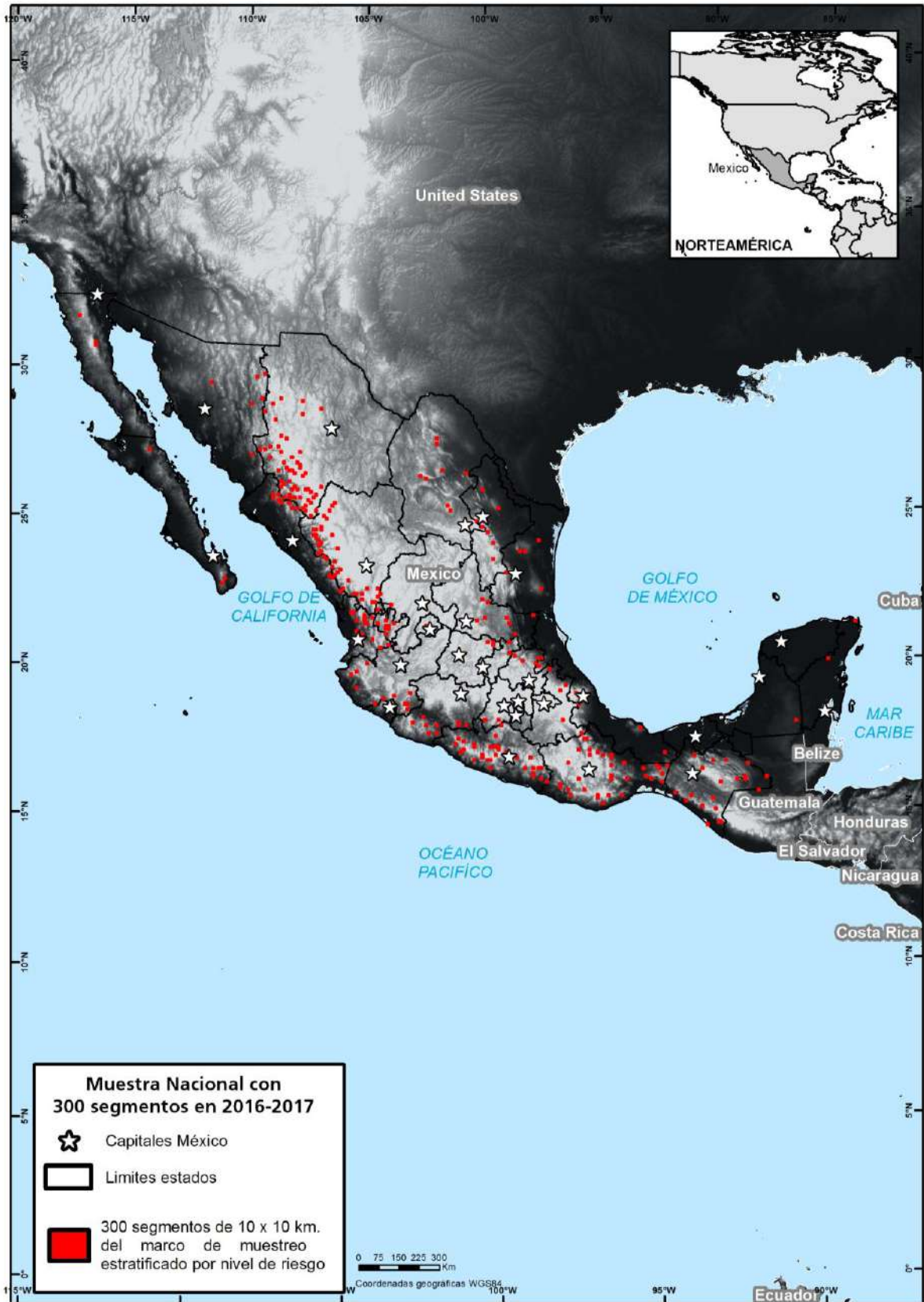
En conclusión, se utilizó un diseño de muestreo aleatorio simple estratificado con 10 estratos óptimos calculados por el método cumrootf (Cochran, 1979), que utilizó logit3-pro⁴⁴ como variable de estratificación. Asimismo, el número de muestras para cada estrato se calculó mediante la asignación de Neyman.

44 Variable que contiene en valor numérico las probabilidades de riesgo a nivel nacional.

Gráfica 6: Coeficientes de varianza con diferentes diseños de muestreo aplicados al área de estudio en México



Mapa 14. Ubicación de la muestra compuesta por 300 segmentos para la colecta de imágenes satelitales y fotografías aéreas del estudio de monitoreo 2016-2017



Fuente: Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en el Territorio Mexicano - apoyado por UNODC.
Los límites y los nombres utilizados en este mapa no implican la aceptación oficial por parte de la Naciones Unidas.

5.5 Fotointerpretación y medición del área de cultivos de amapola en imágenes satelitales

La fotointerpretación es una técnica de la percepción remota que consiste en identificar los rasgos que aparecen en las imágenes o fotografías aéreas, en ellas se interpreta su significado en relación con una determinada área de interés y entre sí. El proceso de fotointerpretación permite al analista extraer la información o rasgos característicos de un objeto contenido en una imagen satelital y/o fotografía aérea de manera indirecta. Este proceso, en un contexto general trata de reconocer y ubicar los diferentes elementos que aparecen representados en un determinado espacio. Para ello, el analista requiere tener ciertos conocimientos sobre los procesos geomorfológicos, formaciones vegetales y usos del suelo del área que se fotointerprete. Además, el analista debe tener en cuenta la escala y cobertura de la imagen satelital o fotografía aérea para determinar el tamaño de los objetos representados. Por lo tanto la fotointerpretación es una técnica instrumental útil en estudios geográficos del territorio.

El grupo de análisis que integra el proyecto es multidisciplinario⁴⁵ y utiliza la fotointerpretación de forma sistemática para ubicar de manera visual las áreas ocupadas por amapola, considerando únicamente los cultivos que se observan dentro de los segmentos de la muestra (*foto 2*). Como apoyo a este análisis de fotointerpretación se consideran los cultivos históricos observados disponibles en las bases de datos. Además, los cultivos de amapola interpretados mediante las imágenes satelitales son verificados con fotografía aérea colectada en trabajos de campo, siempre y cuando exista la disponibilidad de las fotografías mencionadas.

Foto 2. Grupo de analistas aplicando la técnica de fotointerpretación



Fuente: MEXK54

Los trabajos de campo ayudan al analista a incrementar su experiencia sobre las interpretaciones realizadas con imágenes satelitales, así como a interpretar e identificar las diferentes etapas fenológicas (inicial, intermedia o final) en los cultivos. Cuando se cuenta con fotografía aérea, el nivel de certeza en la interpretación es muy alta, además de observar otros rasgos geográficos, como: determinar si es monocultivo, si existe mezcla con otro tipo de vegetación e incluso observar cultivos de menores dimensiones, etc.

⁴⁵ El grupo técnico y de analistas del proyecto está conformado por personal que cuenta con diferentes perfiles profesionales, lo cuales pertenecen a SEMAR, SEDENA y PGR-AIC-ONPD.

En lo que respecta a la medición de la superficie de cada cultivo de amapola interpretado mediante imágenes satelitales, el analista utiliza las dimensiones 2D y 3D para tener una mejor perspectiva sobre la forma o inclinación en la que se encuentra el cultivo. La medición del área de cada cultivo interpretado es registrada con un vector de tipo polígono, el cual es integrado al geodatabase SIMDA (*ver capítulo 5.8*).

Con apoyo de herramientas de SIG se extrae la posición geográfica (latitud, longitud) de los cultivos de amapola detectados, por lo que se puede conocer el área sembrada en unidades de superficie más comunes (m², km², ha, etc.) y ver su relación espacial con el entorno geográfico como por ejemplo: medir la distancia en que se ubica una población o las elevaciones (msnm) en que se encuentran.

La combinación de la fotointerpretación y medición de áreas es un proceso robusto y complejo, lo que significa que a mayor número de procesos e insumos utilizados, el analista tiene que realizar un trabajo más extenso, que se traduce en el tiempo que destina para completar el ciclo metodológico implementado.

En conclusión, cada analista cuenta con una serie de técnicas adicionales (*ver subcapítulos 5.6.1 al 5.6.5*) que le permite interpretar y medir la superficie de los cultivos de amapola a través de imágenes satelitales o fotografías aéreas. Algunos de estas técnicas se aplicaron de la misma forma⁴⁶ y otras fueron actualizadas a partir del estudio de monitoreo 2015-2016. Estas actualizaciones son:

1. Flujo de trabajo sistemático de triple revisión para la fotointerpretación de cultivos de amapola en imágenes satelitales (mismo método).
2. Árbol de decisiones para la interpretación temática de cultivos de amapola (método actualizado).
3. Combinación de bandas espectrales en las imágenes satelitales (mismo método).
4. Análisis multitemporal con imágenes satelitales de diferentes sensores remotos (mismo método).
5. Criterios geométricos para delimitar el área de cultivos de amapola (método actualizado).

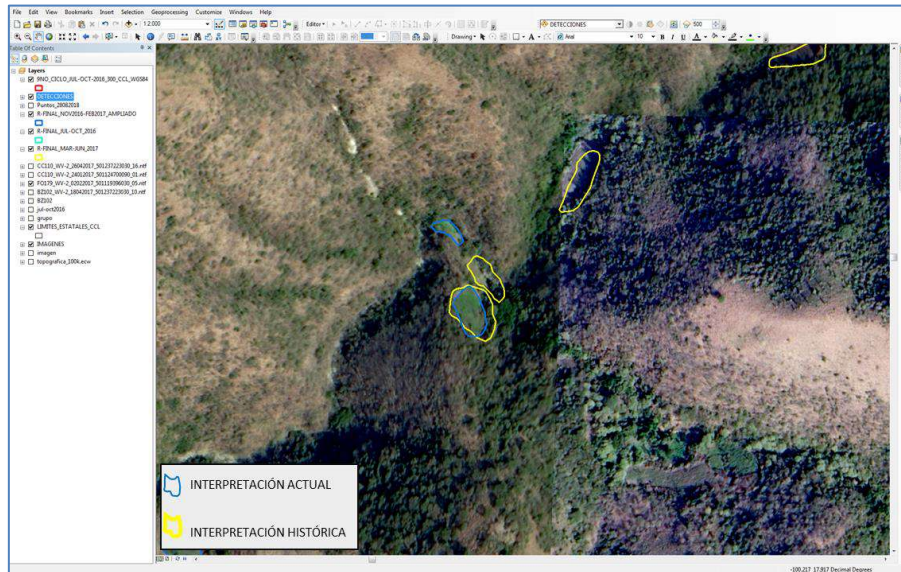
5.6 Análisis en gabinete para la interpretación de los cultivos de amapola mediante imágenes satelitales

El proyecto de monitoreo mantiene como insumo principal las imágenes satelitales y/o fotografías aéreas para el análisis de cultivos de amapola, esta información espacial es obtenida a través de diferentes sensores remotos⁴⁷. Las imágenes satelitales o fotografías aéreas son analizadas en el trabajo de gabinete, donde se identifican los cultivos de amapola mediante la técnica de fotointerpretación visual utilizando el software ArcGis (*figura 7*); previo a este tipo de análisis se tienen que realizar algunos procesos de corrección digital a las imágenes satelitales, mismos que serán explicados en capítulos más adelante.

⁴⁶ Los métodos no fueron actualizados y se aplicaron de la misma manera que en los periodos del estudio piloto en 2013 y para el monitoreo del 2014-2015.

⁴⁷ Información de imágenes satelitales, fotografía aérea y/o video que puede ser adquirida desde un satélite artificial en órbita o en aeronaves de ala fija (aviones) o ala móvil (helicópteros).

Figura 7. Interface del software ArcGis utilizado para el análisis de los cultivos

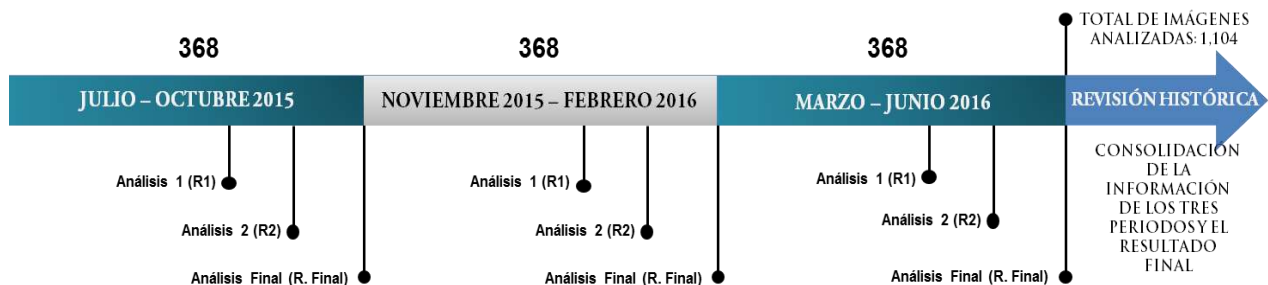


Fuente: ArcGis 10.2

El análisis de los cultivos en gabinete es verificado con información colectada en campo (ver capítulo 5.7 y subcapítulo 5.7.1); empleando todas las técnicas mencionados en el subcapítulo anterior con el propósito de realizar un análisis más robusto y aumentar la precisión de los datos.

El proyecto considera los resultados del estudio de Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada⁴⁸ (NDVI, por sus siglas en inglés) para la amapola realizado en coordinación con la Universidad de BOKU de Viena, Austria. El estudio oriento de mejor manera el tiempo de monitoreo compuesto por 12 meses, dividido en 3 periodos cuatrimestrales cada uno, considerando que la fenología de la amapola es de 120 días; por lo tanto para finalizar los análisis se tiene que completar el proceso como se ejemplifica en la línea de tiempo de la figura 8, consolidando todos los cultivos de amapola interpretados que serán integrados al modelo estadístico, de cual se obtendrá el resultado de estimación final.

Figura 8. Ejemplo de línea de tiempo para el análisis en un año de estudio



Fuente: Elaboración MEXK54

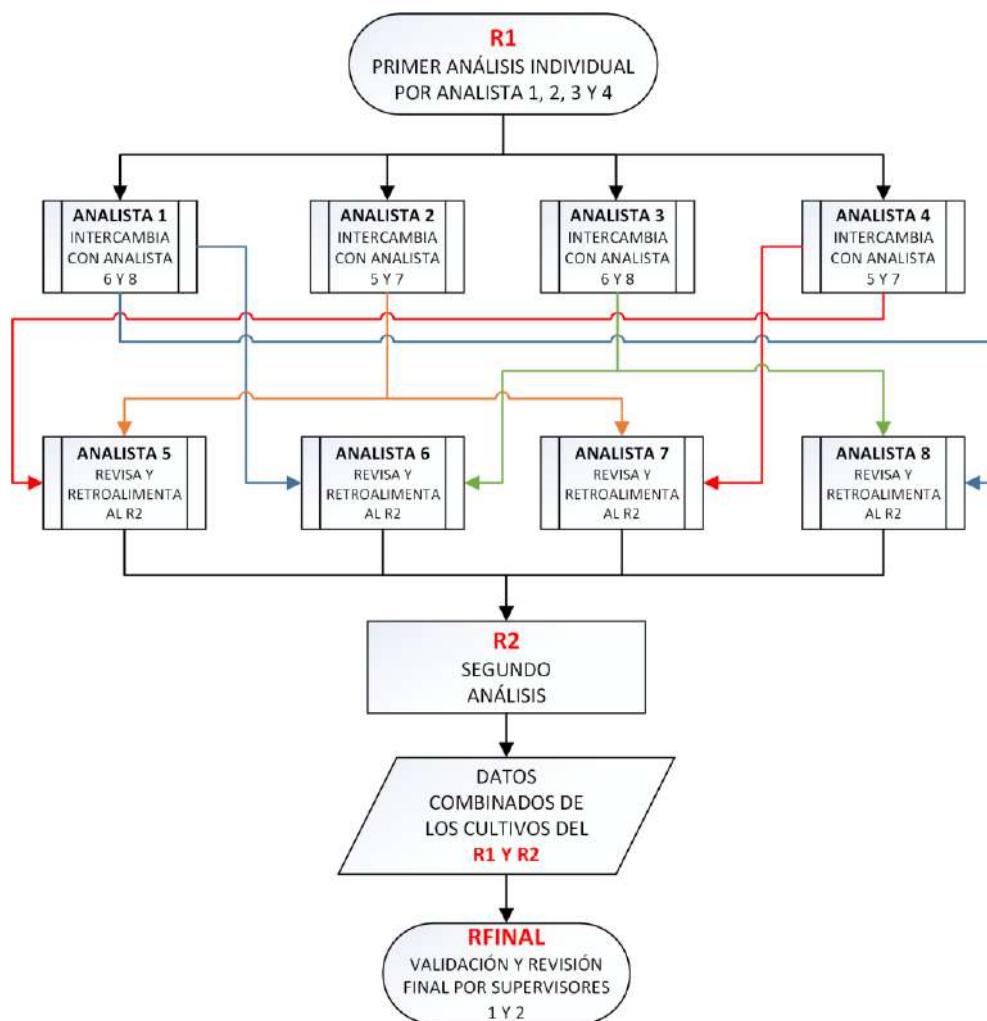
48 Estudio donde se analizó la fenología (etapas de crecimiento) de la amapola para diferentes regiones agro-ecológicas. El estudio contribuyó a entender mejor los ciclos agrícolas y optimizar los tiempos del monitoreo.

5.6.1 Flujo de trabajo sistemático de triple revisión para la fotointerpretación de cultivos de amapola utilizando imágenes satelitales

Con la finalidad de disminuir la subjetividad que se presenta durante la fotointerpretación de cultivos de amapola, el grupo de analistas del proyecto aplica un flujo de trabajo sistemático de triple revisión (cruzado) a cada una de las imágenes satelitales disponibles. El grupo consta de dos supervisores y ocho analistas que se intercambian las imágenes interpretadas entre ellos (figura 9). Posterior a una evaluación realizada se determinó que este flujo sistemático logra disminuir la subjetividad que se presenta en el análisis de fotointerpretación para detección de los cultivos de amapola. Para cumplir con el flujo sistemático establecido, se debe considerar lo siguiente:

1. El primer grupo de cuatro analistas (1, 2, 3 y 4) debe hacer la primera revisión “R1” a las imágenes disponibles.
2. El “R1” se intercambia con el segundo grupo de analistas (5, 6, 7 y 8) para realizar una segunda revisión, denominada “R2”.
3. Los datos del “R1 y R2” se combinan para realizar una revisión final “RFINAL”, efectuada por los supervisores (1 y 2) como filtro final, quienes tienen la mayor experiencia en el grupo.

Figura 9. Flujo sistemático de triple revisión para la fotointerpretación de cultivos de amapola



Fuente: Elaboración MEXK54

5.6.2 Actualización del árbol de decisiones para la fotointerpretación temática de cultivos de amapola

Dentro de las herramientas utilizadas en la fotointerpretación de los cultivos de amapola, el analista se apoya de un árbol de decisión⁴⁹ (figura 14) para la fotointerpretación temática, mismo que le permite decidir dentro de cada uno de los cuatro niveles jerárquicos de decisión (figura 13) de “**SÍ / NO**” es un cultivo de amapola. Además, cada nivel jerárquico de decisión contiene un cierto número de criterios que se tienen que cumplir, lo que le permite al analista decidir en la fotointerpretación si es o no un cultivo; es decir, si el cultivo observado cumple con los criterios del primer nivel, entonces, **SÍ** es amapola y en el caso de **NO** cumplir con los criterios se analizan los del segundo nivel de decisión, así sucesivamente hacia el tercero o cuarto nivel de decisión.

Para los casos de las interpretaciones de cultivos que **NO** cumplen con ningún criterio dentro de los cuatro niveles de decisión, el analista considera las dos posibilidades siguientes:

1. Si el cultivo se determina como **potencial**, entonces requiere ser analizado hacia periodos subsecuentes hasta que sea confirmado o de lo contrario será eliminado de la fotointerpretación final.
2. Si se concluye que se trata de un **cultivo ilícito u otro tipo de vegetación**, entonces este será eliminado del análisis de fotointerpretación.

Como se mencionó anteriormente, en este proceso de fotointerpretación temática el analista con base en la experiencia adquirida mediante los trabajos de oficina y de campo realizados, revisa que se cumplan los criterios establecidos en el árbol de decisiones, considerando los niveles jerárquicos de decisión en el siguiente orden (figura 10).

Figura 10. Niveles jerárquicos integrados al árbol de decisión

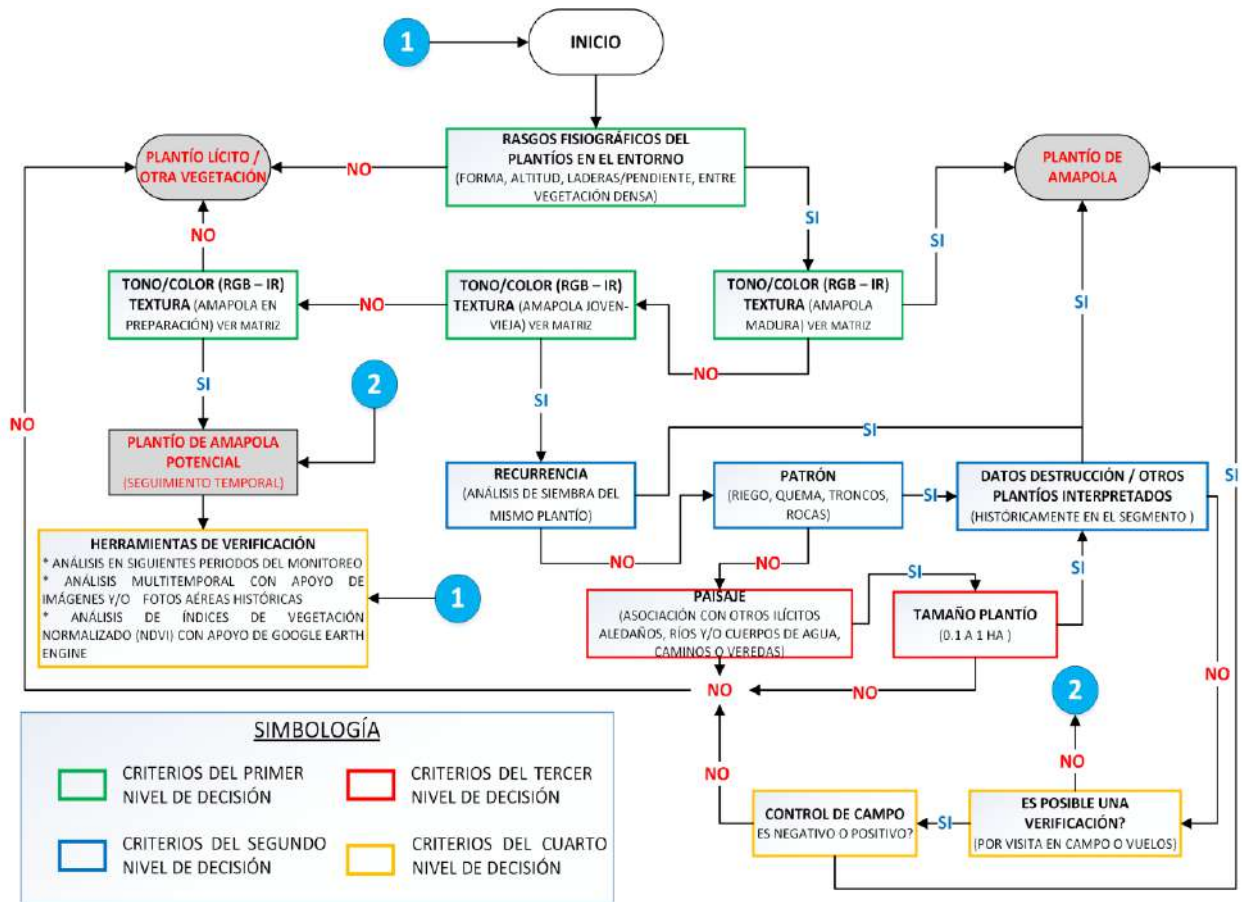


Fuente: Elaboración MEXK54

49 Éste contiene las directrices y características que tienen los cultivos de amapola en México sobre las diferentes áreas de incidencia.

Este árbol fue revisado entre los analistas del proyecto, actualizándose los rasgos que se observan en los cultivos de amapola en sus diferentes etapas fenológicas (madura, joven-viejo o en preparación); su utilización debe hacerse de forma estandarizada entre el grupo de analistas del proyecto, con el fin de obtener resultados homogéneos de las interpretaciones de los cultivos (figura 11).

Figura 11. Árbol de decisiones actualizado para la fotointerpretación de cultivos






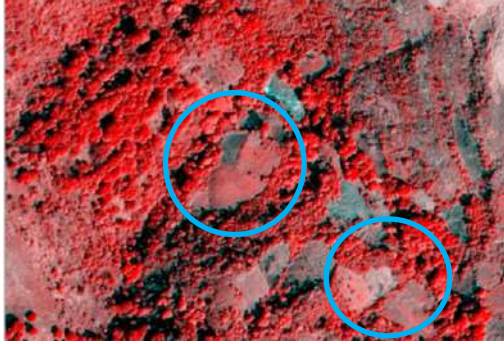
Fuente: Elaboración MEXK54 (2018)

5.6.3 Combinación de bandas espectrales en las imágenes satelitales

En la etapa de interpretación de los cultivos de amapola se utiliza la combinación de diferentes bandas espectrales en las imágenes satélites; esta es una técnica de interpretación visual/óptica que permite en un contexto general comparar principalmente los diferentes estados de salud de la vegetación, al igual que los tipos de usos de suelo o las estructuras presentes en una imagen.

Las combinaciones espectrales más frecuentes utilizadas son las que conforman una imagen de color natural o verdadero, la cual combina las bandas del Rojo, Verde y Azul (RGB, por sus siglas en inglés), y las que utilizan la banda del infrarrojo cercano (IRc o NIR, por sus siglas en inglés) para visualizar composiciones en falso color. Esta última combinación ayuda al analista a discriminar algunos tipos de vegetación circundante a los cultivos de amapola u otros rasgos geográficos, como los ejemplos que se observan en la *figura 12*.

Figura 12. Análisis de cultivos de amapola por combinación de bandas en RGB y NIR

Imagen SPOT-7	Imagen World View-2
 <p data-bbox="240 1290 746 1323">Combinación en RGB color natural (1-2-3)</p>	 <p data-bbox="879 1290 1385 1323">Combinación en RGB color natural (1-2-3)</p>
 <p data-bbox="240 1711 746 1744">Combinación en IRc falso color (4-1-3)</p>	 <p data-bbox="879 1711 1385 1744">Combinación en IRc falso color (4-1-3)</p>

Fuente: Elaboración MEXK54

5.6.4 Análisis multitemporal con imágenes de sensores remotos diferentes

El análisis de cultivos de amapola se lleva a cabo durante todo el año, con una dinámica de monitoreo del mismo segmento de la muestra como mínimo tres veces durante los doce meses (figura 13), a este proceso se le considera análisis multitemporal⁵⁰. Los estudios de monitoreo 2015-2016 y 2016-2017, utilizaron todos los datos de teledetección disponible a lo largo del año de estudio, esto permite que el analista visualice todo el contexto temporal de los segmentos de la muestra.

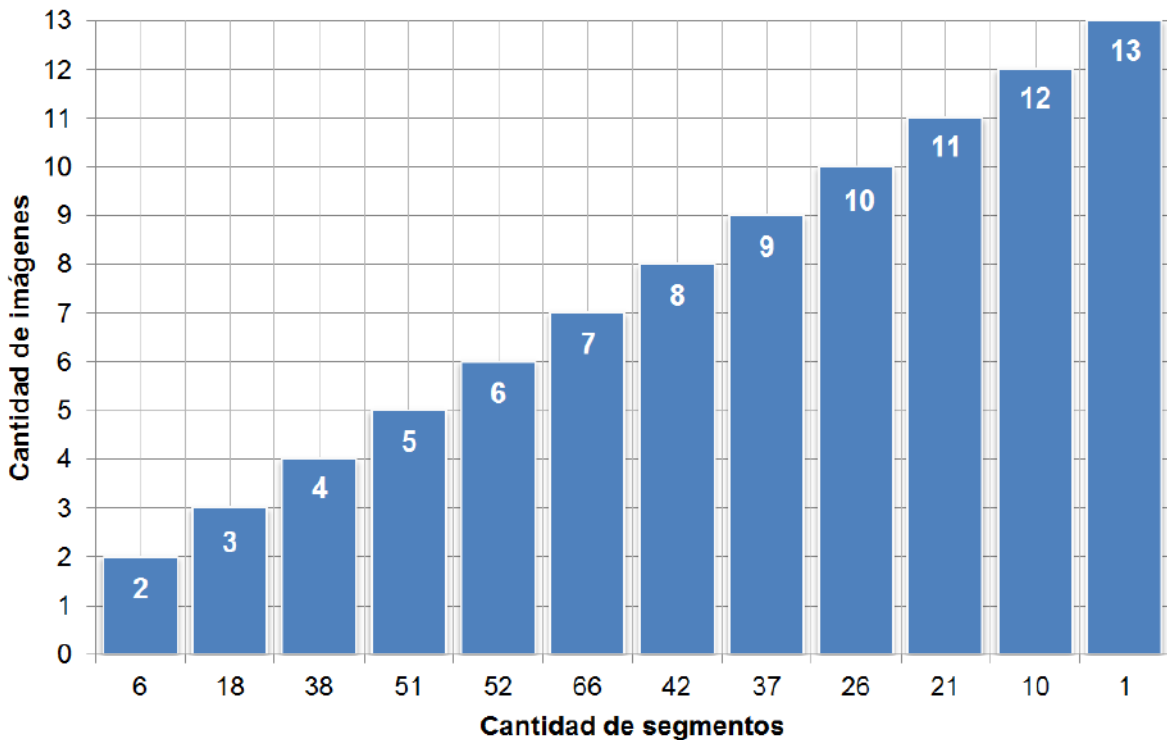
Figura 13. Temporalidad utilizada entre los periodos de análisis para un año de monitoreo



Fuente: Elaboración MEXK54

La muestra utilizada en 2015-2016 tiene hasta 7 imágenes por segmento (Gráfica 7); y para la muestra utilizada en 2016-2017 se tuvo hasta 4 imágenes por segmento (Gráfica 8).

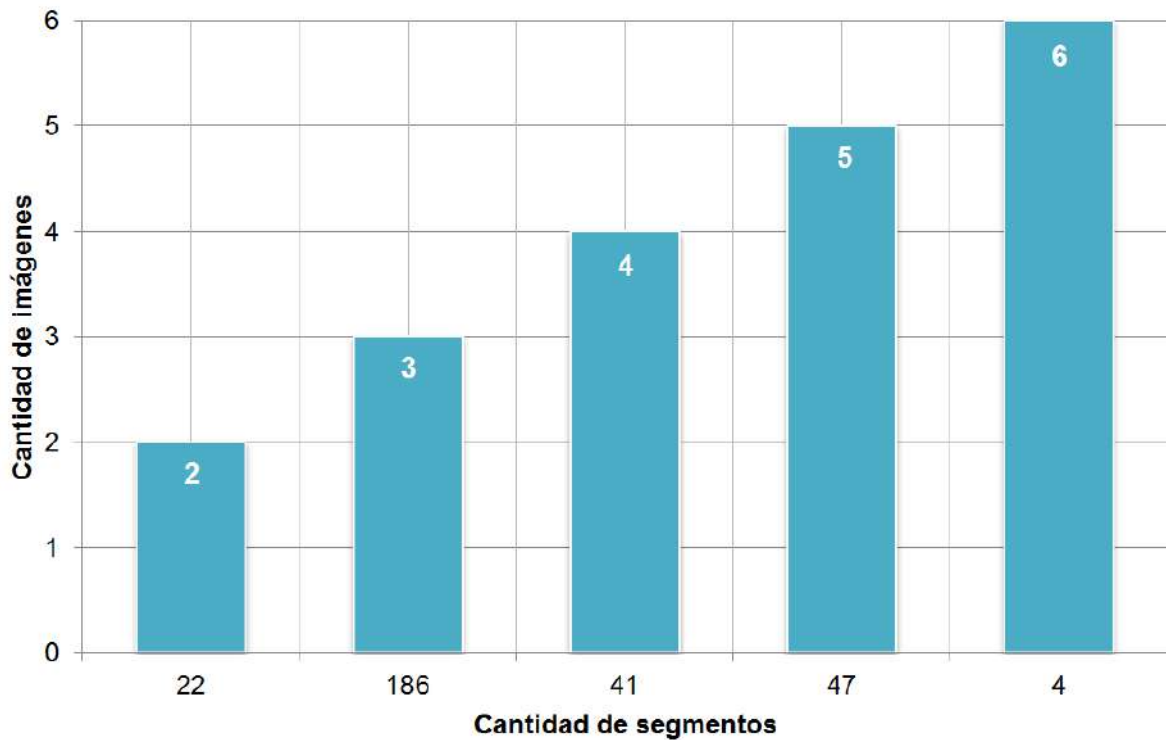
Gráfica 7. Cantidad de imágenes disponibles por segmento para el estudio 2015-2016



Fuente: Elaboración MEXK54

50 Se utilizan todos los datos geospaciales de la base de datos SIMDA datos de erradicación, imágenes satelitales y fotografías aéreas disponibles para el año de estudio.




Gráfica 8. Cantidad de imágenes disponibles por segmento para el estudio 2016-2017



Fuente: Elaboración MEXK54

El análisis multitemporal permite determinar el número de cultivos de amapola que se pueden sembrar en un mismo terreno o que en ocasiones pudiera observarse una resiembra, como se muestra en el ejemplo entre las imágenes del 2 de agosto de 2016 y 11 de diciembre de 2016 (figura 13). Otro caso es que, para un periodo terrenos aledaños estén en preparación, entonces la amapola sembrada sería observada en una imagen posterior, como el ejemplo observado entre las imágenes del 18 de abril de 2017 y el 11 de diciembre de 2016.

Figura 13. Ejemplo de análisis multitemporal para los tres periodos del monitoreo 2016-2017

Julio – Octubre 2016	Noviembre 2016 – Febrero 2017	Marzo – Junio 2017
 <p>2 de agosto 2016</p>	 <p>11 de diciembre 2016</p>	 <p>18 de abril 2017</p>

Fuente: Elaboración MEXK54

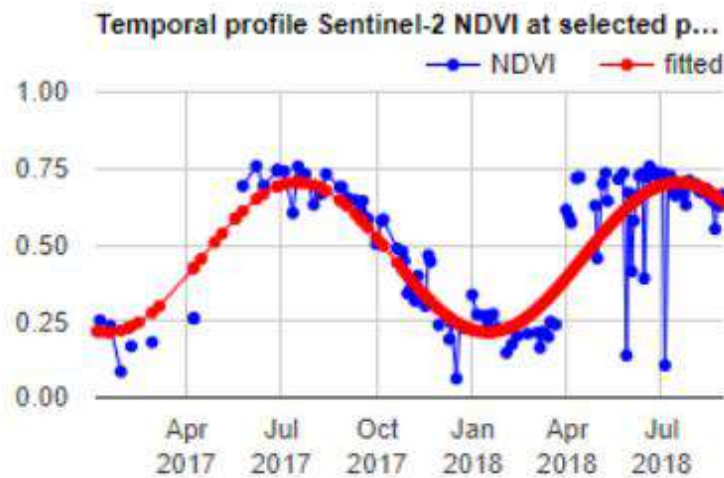
Como apoyo adicional se utilizó la herramienta Google Earth Engine⁵¹ para visualizar el desarrollo fenológico de la amapola (*figura 14*), a diferencia del método utilizado en el estudio de monitoreo 2014-2015, donde se analizó estrictamente periodo por periodo⁵² (cada cuatro meses).

Figura 14. Ejemplo de un perfil NDVI creado con imágenes Sentinel-2 de Google Earth Engine

Time series viewer

3) Pick pixel of interest

NDVI, S1 Backscatter, Cumulated Precipitation



Fuente: Google Earth Engine

51 Plataforma informática que permite a los usuarios ejecutar un análisis de NDVI disponible en la infraestructura web de Google.

52 Las imágenes fueron analizadas de manera individual, es decir por cada periodo sin tomar en cuenta las otras imágenes de los siguientes periodos del año de estudio o herramientas de análisis de apoyo como el Google Earth Engine.

5.6.5 Actualización de criterios geométricos para delimitar el área de los cultivos de amapola

El objetivo de esta actualización fue disminuir la incertidumbre de los resultados referentes a la estimación nacional de siembra con amapola, ya que al definir de una manera más exhaustiva y detallada las áreas productivas de amapola que se observan en el terreno, los cálculos finales de estimación resultan más precisos. El resultado fue establecer 10 criterios geométricos principales para delimitar el área (ha) de cada cultivo, realizándose ejercicios de precisión entre los analistas que permitieron incrementar la consistencia en los datos (figura 15).

Figura 15. Ejemplo de un ejercicio de precisión geométrica para delimitar el área del cultivo

Interpreter	Exercise 5 DQ130 - Nayarit				Accuracies	
	# of polygons	Agree (with Ref.)	Total area (ha)	Area %	User	Prod.
Reference	6		24313,33	100,00		
A	5	5	22040,16	90,65	89,88	81,47
B	6	6	23962,48	98,56	87,37	86,11
C	6	6	26164,29	107,61	87,15	93,78
D	6	6	23903,15	98,31	93,16	91,59
E	6	6	25689,66	105,66	87,73	92,69
H	6	6	27110,61	111,51	86,09	96,00
I	6	6	27081,89	111,39	85,48	95,22
J	6	6	23740,07	97,64	94,62	92,39
K	6	6	23298,05	95,82	92,91	89,03
L	6	6	26763,31	110,08	81,92	90,18

Table 6: Exercise 5 - Interpretation of satellite image with aerial photographs

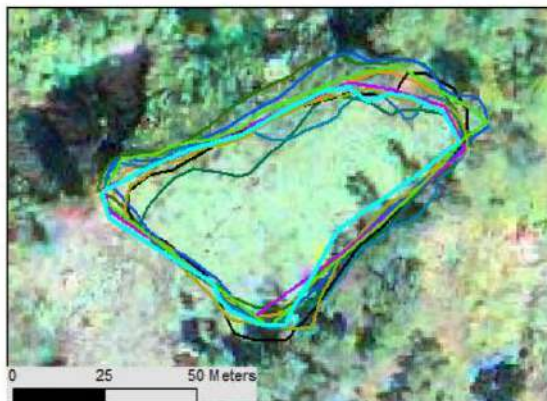












Figure 8: Exercise 3 – Example for a high accordance between interpreters.

Fuente: Elaboración MEXK54











En resumen, las actualizaciones realizadas para delimitar los cultivos, incluirán solo la cobertura vegetal de acuerdo a su etapa fenológica (plántula, botón y maduro) y partes del terreno que esté siendo regado (humedad por aspersión); descartándose las áreas de suelo desnudo, conjunto de rocas y otro tipo de vegetación circundante al cultivo, como se muestra en las fotos 16 y 17, respectivamente.

Figura 16. Criterios utilizados (1 al 5) para la delimitación del área de cultivos de amapola

#	Criterio	Ejemplos	
1	Delimitar el área del plantío con la imagen satelital de mayor resolución disponible e indicar el tipo de sensor en el cual fue detectado el plantío (imagen satelital o fotografía aérea).		
2	La escala de análisis será de 1:5,000; y para la delimitación del área de los plantíos es: <ul style="list-style-type: none"> • World View 2-3 - 1:1,000 • Spot 6-7 - 1:1,500 		
3	Incluir media copa de los árboles, considerando las sombras por efecto del ángulo de incidencia, cuando se encuentren en el límite del plantío.		
4	Incluir la presencia de vegetación de amapola en diferentes etapas de crecimiento y otra vegetación cuando se encuentre dentro del plantío.		
5	Incluir la presencia de humedad (riego) que se encuentre dentro del plantío.		

Fuente: Elaboración MEXK54 (2018)

Figura 17. Criterios utilizados (6 al 10) para la delimitación del área de cultivos de amapola

#	Criterio	Ejemplos	
6	Incluir las veredas que se identifiquen dentro del plantío.		
7	Excluir áreas con suelo desnudo sin rasgos de amapola por un límite bien definido.		
8	Excluir la vegetación diversa que se encuentre hacia los extremos del plantío.		
9	Excluir las rocas de grandes dimensiones que se encuentren hacia los extremos del plantío.		
10	Excluir grupos de árboles, vegetación diversa, suelo desnudo o rocas de grandes dimensiones dentro del plantío (10 x 10 m).		

Fuente: Elaboración MEXK54 (2018)

5.7 Trabajos de campo para la validación de los cultivos de amapola mediante fotografía aérea

La calidad de la fotografía aérea, permite una identificación más clara de la representación del terreno al momento de la exposición, por lo que contiene información útil para las diversas áreas relacionadas con las ciencias de la tierra, además es un elemento básico para el mapeo del territorio. La foto aérea se considera como uno de los insumos primordiales en la preparación de cartografía topográfica, catastral, riesgos y ordenamiento territorial; además de que revela información primordial para el análisis del entorno geográfico.

Por lo anterior, el proyecto utiliza su sistema aerotransportado para la colecta de fotografía aérea digital (*figura 18*). El sistema fue diseñado y construido pensando en tener posibilidades de instalarse en diferentes modelos de aeronaves de ala fija o móvil (*foto 3*). El sistema tiene una base de aluminio aeronáutico donde se colocan las cámaras digitales; también cuenta con una batería de gel de 12v que alimenta de energía al GPS aéreo y a la computadora utilizada para la navegación en tiempo real, por lo que el equipo no utiliza el sistema de corriente generado por la aeronave, lo que garantiza mayor seguridad para el personal de pilotos y fotonavegantes que realizan los vuelos.

Foto 3. Ejemplo de la instalación del equipo en aeronave utilizada en campo



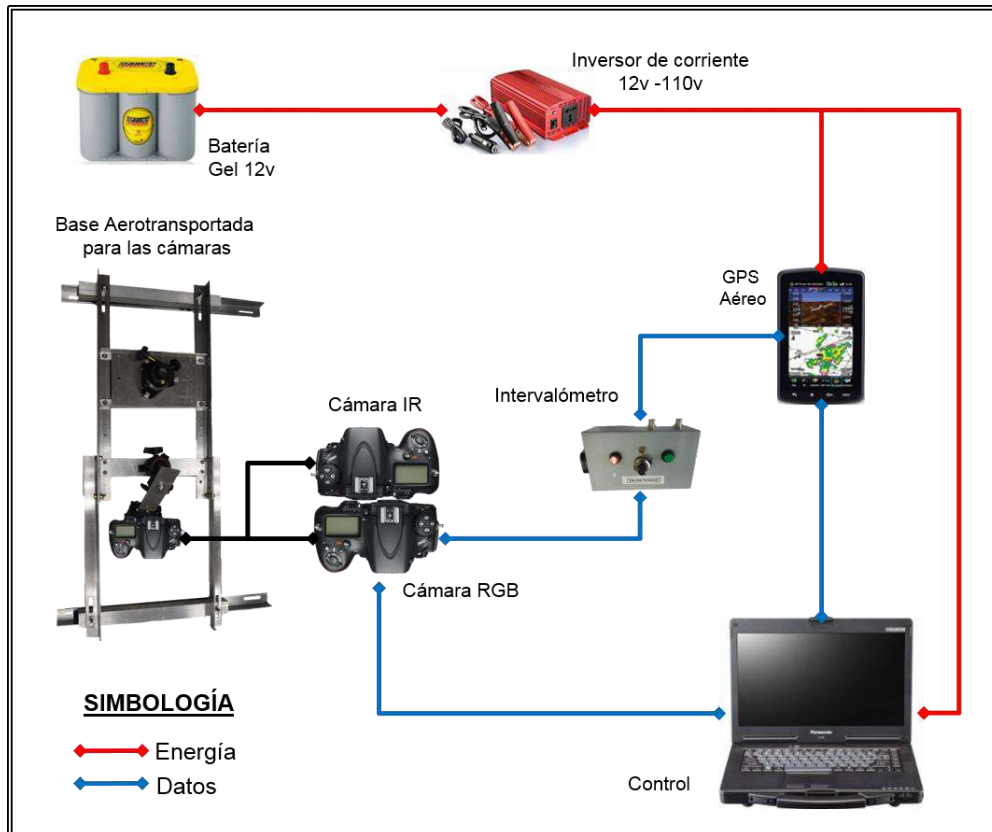
Fuente: MEXK54

El uso de fotografía aérea permite evaluar y validar los cultivos de amapola interpretados en los trabajos de gabinete. Esta comparación entre la imagen satelital y la fotografía proporciona al analista información adicional que le permite detectar cultivos que no fueron observados previamente en la imagen satelital.

Además, la fotografía aérea ayuda a complementar los segmentos de la muestra que no pudieron ser colectados con imágenes satelitales, considerando que hay ocasiones en las que los satélites no pueden coleccionar la información debido a condiciones climáticas adversas (nubosidad) o cuando su órbita está fuera del área de interés.

Un factor importante de tener fotografía aérea en un estudio de monitoreo de cultivos ilícitos, es la resolución espacial con la que puede ser colectada. Es el caso del proyecto de monitoreo en México, que le permite identificar cultivos con superficies menores a 350 m², incrementando la certeza de la presencia de los cultivos de amapola que no fueron observados previamente en las imágenes satelitales.

Figura 18. Distribución del sistema de fotografía aérea digital aerotransportado



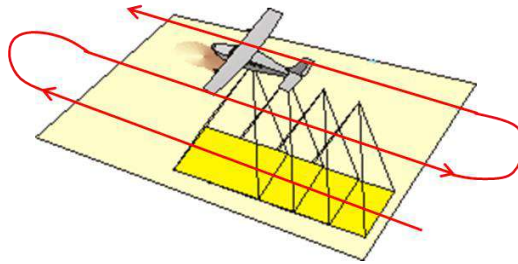
Fuente: Elaboración MEXK54 (2018)

5.7.1 Creación del plan de vuelo en los segmentos de la muestra para la colecta de fotografía aérea

Para tener una buena calidad y precisión en la fotografía colectada en los segmentos de la muestra, se requiere mantener la sobreposición recomendada en la fotogrametría para garantizar una cobertura total del segmento de la muestra, se tiene establecido como mínimo el 40% entre cada foto (dirección de vuelo) y el 50% entre las líneas de vuelo (figura 19).

Además, previo al cálculo del plan de vuelo se tiene que conocer el techo de vuelo de la aeronave que será utilizada e identificar la altitud del terreno donde se realizará la colecta de fotografía; esto ayudara a establecer los parámetros adecuados en la cámara digital con la que se cuenta para realizar el barrido del área a colectar.

Figura 19. Esquema de la dirección de vuelo para la colecta de fotografía aérea



Es importante que antes de la ejecución del vuelo fotogramétrico se realicen algunos cálculos con la finalidad de crear un plan de vuelo que garantice un cubrimiento fotográfico y fotogramétrico completo de los segmentos de 100 km² de la muestra que utiliza el proyecto de monitoreo en México.

Para crear el plan de vuelo, se emplea una hoja de cálculo diseñada en Excel donde se ingresan los datos de la elevación promedio sobre el terreno a ser fotografiado extraído del Continuo de Elevación Mexicano (CEM) proporcionado por el INEGI; los parámetros de la cámara a utilizar y el tipo de lente, la superficie a cubrir y la resolución espacial del pixel que se requiere de la fotografía, entre otros (figura 20).

Figura 20. Hoja de cálculo y parámetros del plan de vuelo

DATOS LEVANTAMIENTO					AVIÓN
Resolución	Sobrep. Lateral	Elevación	Ancho (Wi)	Alto (Lg)	Vel (kts)
0.30	0.4	1900	10000	10000	90
Alt (ft)	13000	Alt (m)	3963	Res calc	0.27
Elev. Mínima	1400	SobreMax	1125.20	ResMin	0.33
Elev. Máxima	2400	SobreMin	145.20	ResMax	0.20
Par			Altura de Vuelo	mts	ft
H	2000.00	m		3900	12792
Ater	2208.00	m	Líneas	8.00	In
Hter	1473.60	m	Fotos x línea	17.00	19.00
Res	0.30	m	Fotos total	136.00	152.00
Interlín	1324.80	m	Vel (m/s)	46.25	m/s
Av	589.44	m	Intervalo foto	12.74	s
Obturador	1250.00		%IFOV	12.33	%
			Distancia	86.4	km
			Tiempo vuelo	1.19	h
				71	min
		Datum:	WGS84		
Azimut:	0	UTM:	14Q	Ext. Giro	400
	X0	Y0		dx	dy
	2809263	563256		1324.80	0.00
	Xb	Yb		Xa	Ya
L1B	2809263	562856	L1A	2809263	573656
L2B	2810588	562856	L2A	2810588	573656
L3B	2811913	562856	L3A	2811913	573656
L4B	2813237	562856	L4A	2813237	573656
L5B	2814562	562856	L5A	2814562	573656
L6B	2815887	562856	L6A	2815887	573656
L7B	2817212	562856	L7A	2817212	573656
L8B	2818537	562856	L8A	2818537	573656
L9B	2819861	562856	L9A	2819861	573656
L10B	2821186	562856	L10A	2821186	573656

Fuente: MEXK54

Los datos que se obtienen de la hoja de cálculo son las coordenadas del inicio y final de cada una de las líneas de vuelo, mismas que serán convertidas en vectores de tipo línea para cargarlos posteriormente al GPS aéreo que servirá de guía al piloto en la ejecución del sobrevuelo. A continuación se describen algunos datos que conforman la hoja de cálculo (figura 9):

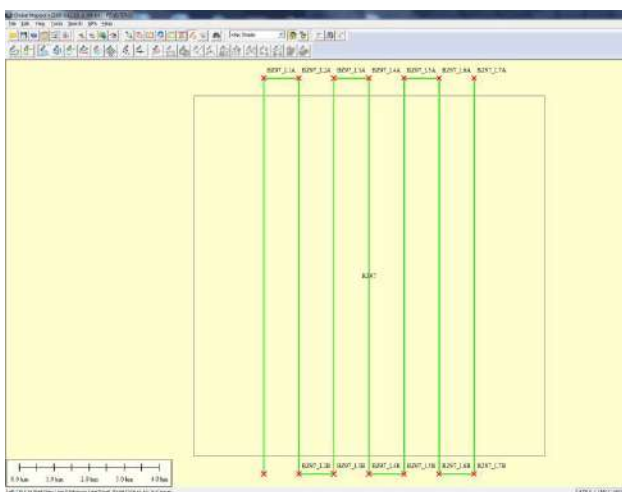
1. Los parámetros marcados en las celdas verdes son los necesarios para la obtención de las líneas de vuelo en la hoja de cálculo.
2. Las celdas en naranja son los datos calculados por la plantilla de Excel: altura de vuelo, número de fotos, distancia recorrida por la aeronave, velocidad, tiempo, entre otros.
3. Las celdas marcadas en amarillo corresponden a las coordenadas en sistema UTM que indican los puntos inicial y final de cada línea de vuelo.

Posteriormente, con la información de las coordenadas se realiza la vectorización de las líneas de vuelo, a través del software Global Mapper 18.0 (figura 21), estas serán las guías que deberán seguir los pilotos de la aeronave durante la ejecución del sobrevuelo. De acuerdo con la experiencia obtenida por el grupo de analistas en el monitoreo de años anteriores en donde se realizaba el cubrimiento de las celdas de muestreo con siete líneas de vuelo, se determinó la necesidad de realizar un reajuste en la separación de las líneas, además de agregar una línea más (figura 22) para lograr un mejor cubrimiento de los segmentos de 100 km². Con esta nueva distribución se garantiza un mosaico fotográfico de mayor calidad.

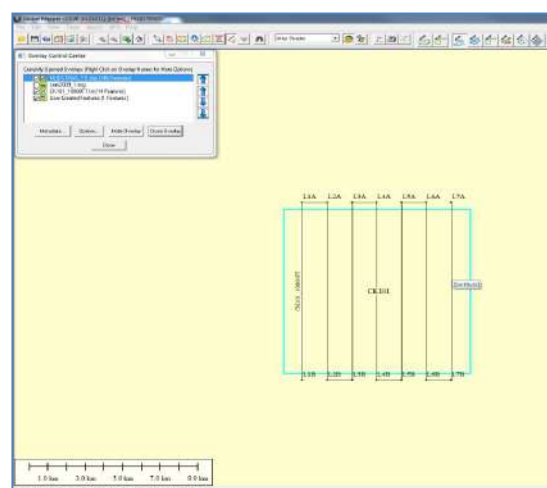
Figura 21. Interface del software Global Mapper v18.0



Figura 22. Separación de las líneas de vuelo para un segmento de 100 km²



Segmento con 7 líneas de vuelo

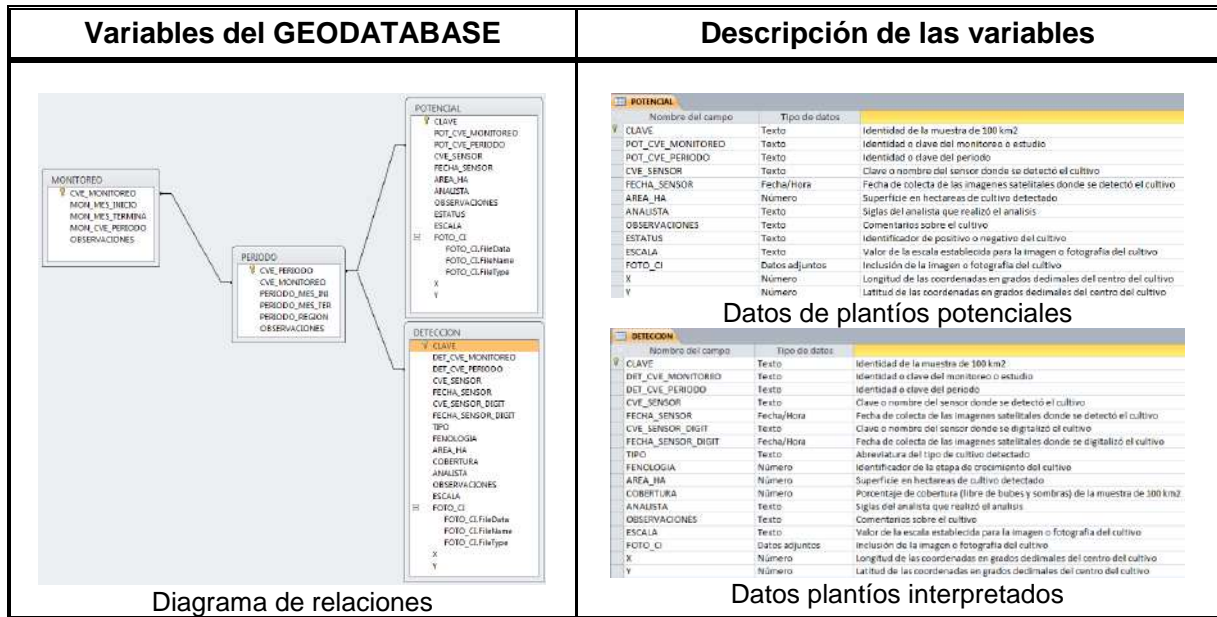


Segmento con 8 líneas de vuelo

5.8 Integración de los polígonos de amapola interpretados al geodatabase SIMDA

Los cultivos de amapola detectados en las imágenes o fotos aéreas son poligonizados para extraer su superficie en hectáreas. La información de estos polígonos es integrada a la base de datos geográfica (geodatabase) SIMDA⁵³, la cual contiene la información de plantíos potenciales⁵⁴ y detectados-positivos que son utilizados para la estimación de superficie. La *figura 23* describe de forma general las variables que contiene la estructura del geodatabase SIMDA.

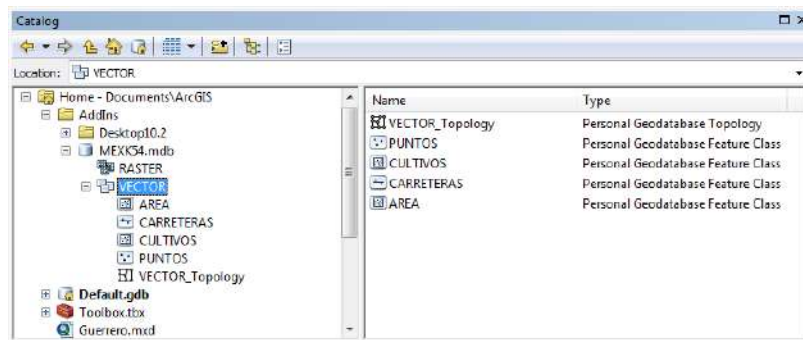
Figura 23. Estructura del geodatabase SIMDA



Fuente: Elaboración MEXK54

Un geodatabase es básicamente una colección robusta de conjuntos de datos geográficos de varios tipos como: datos raster o imágenes, vectoriales, tablas, documentos, etc., integrados en una sola carpeta de sistema de archivos en común (*figura 24*). Las geodatabases tienen distinta capacidad de almacenamiento, número de usuarios y ofrecen diferentes niveles de edición o consulta entre usuarios.

Figura 24. Ejemplo de la estructura de una geodatabase en ArcCatalog



Fuente: ArcCatalog 10.2

53 Incluye datos del monitoreo de cultivos de amapola potenciales a los cuales se les da seguimiento durante el año de estudio; así como los plantíos detectados que fueron incluidos para la estimación de superficie sembrada (ha) del año que corresponda.

54 Terrenos que cuentan con características para la siembra de amapola: aislamiento, humedad por aspersión, plantíos de amapola aledaños, etc.

5.9 Pre-procesamiento de las imágenes satelitales

Las imágenes de satélite son colectadas con una serie de interferencias, es decir la información obtenida contiene una serie de errores, principalmente de tipo radiométrico que puede generar píxeles incorrectos; también existe el fallo geométrico ocasionado por alteraciones del movimiento del satélite que genera distorsiones en la imagen e interferencia de dispersión ocasionada por la reflectividad de la atmósfera, con lo que se puede alterar de forma sistemática el valor de los píxeles. Estos errores deben ser sometidos a correcciones (radiométrica, geométrica y atmosférica), con el objetivo de tener imágenes útiles para la generación de diferentes productos geográficos.

Para proceder con los procesos de corrección es necesario el uso de softwares para minimizar los errores citados, mismos que serán explicados en los siguientes subcapítulos. A diferencia de la corrección de los errores radiométricos y atmosféricos que son realizados directamente en las estaciones centrales; los procesos que se realizan en el proyecto previamente a los análisis son: la fusión, ortorectificación (corrección geométrica), recortes y realces de histogramas.

5.9.1 Softwares utilizados en los procesos de corrección

El proyecto de monitoreo utiliza varios softwares comerciales (*figura 25*) para realizar los procesos de corrección, realces, análisis y validación de los cultivos de amapola. Cada software se emplea para un proceso específico (**ver anexo IV**) que se tiene establecido dentro del flujo metodológico aplicado.

Figura 25. Softwares utilizados en el proyecto



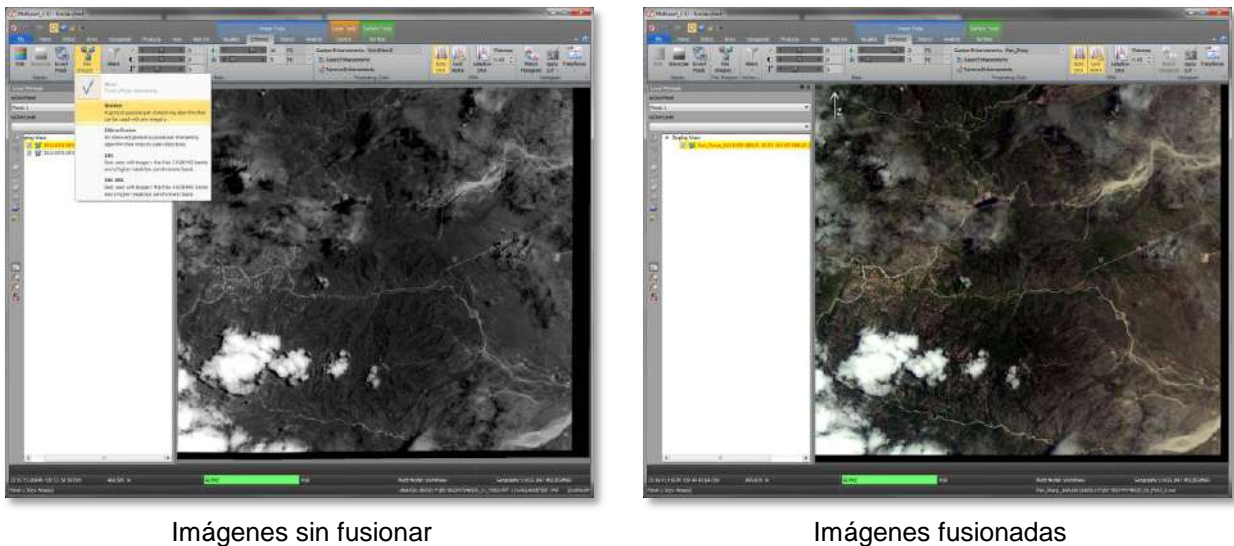
Fuente: Elaboración MEXK54

A continuación se describen de manera breve el uso de los softwares para llevar a cabo los procesos de corrección, análisis y validación de los datos obtenidos; así como los cálculos para la estimación de superficie sembrada a nivel nacional.

5.9.2 Proceso de fusión de las imágenes

La fusión es el primer proceso que se aplica a las imágenes satelitales, utilizando el software **Socet GXP ver. 4.x**, con la herramienta **Pan Sharpen** y el algoritmo **Brovvey** (figura 26). En el procedimiento se carga la imagen en sus dos diferentes modos espectrales (pancromática y multiespectral); la herramienta combina la alta resolución espacial de la banda pancromática con las diferentes bandas del modo multiespectral, para crear así una nueva imagen a color de diferentes resoluciones para la fotointerpretación de los cultivos de amapola.

Figura 26. Interface del software Socet GXP para realizar la fusión de las imágenes



5.9.3 Proceso de ortorectificación

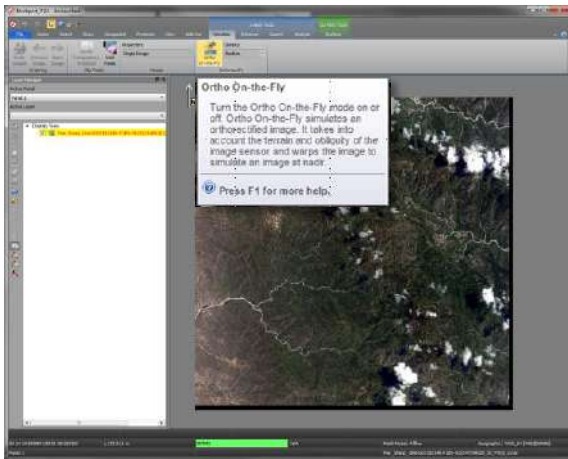
La ortorectificación es un proceso que también es realizado con el software **Socet GXP ver. 4.x**, mediante su herramienta **Ortho-On-the-fly**⁵⁵; el proceso es automático y tiene la característica de sobreponer desde su librería al CEM⁵⁶ del INEGI cualquier imagen desplegada para ortorectificarla en automático y adicionalmente puede ser analizada en su mismo visualizador, como se muestra en la figura 27.

55 Esta herramienta permite realizar el proceso de ortorectificación completo en tiempo real, lo que proporciona una visualización instantánea de las imágenes para su análisis y explotación.

56 El Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM) es utilizado para realizar la ortorectificación de las imágenes satelitales. Éste es un producto generado por el INEGI que representa las elevaciones del territorio continental mexicano, mediante valores que indican puntos sobre la superficie del terreno, cuya ubicación geográfica se encuentra definida por coordenadas (X, Y) a las que se integran valores que representan las elevaciones (Z).

Después de realizar una comparación entre el software **Erdas Imagine** y el **Socet GXP ver. 4.x**, con respecto a los tiempos y procesos empleados en cada uno de ellos, el grupo de analistas decidió dejar de utilizar el primero y ejecutar el proceso de ortorectificación con el segundo y al que el proceso informático del software se lleva a cabo en segundo plano y la fotointerpretación se puede realizar de forma inmediata en la pantalla de la PC.

Figura 27. Interface del software Socet GXP para la ortorectificación



Imágenes fusionada sin ortorectificación

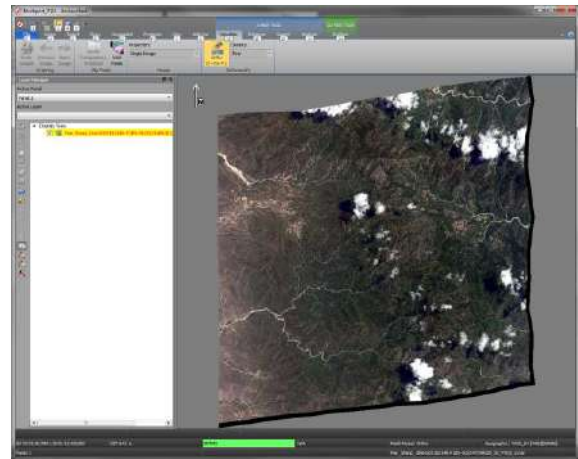


Imagen fusionada ortorectificada

5.9.4 Proceso de recortes de las imágenes

Con el software **Socet GXP ver. 4.x**, es posible realizar el proceso de ortorectificación y el recorte de manera simultánea, eficientando así el tiempo informático utilizado en hardware. Después de haber seleccionado la herramienta Ortho-On-the fly, descrita en el subcapítulo anterior, se carga el archivo de la muestra con la clave del segmento que se requiere para determinar el área de interés, guardando esta imagen que corresponde a un archivo nuevo (figura 28).

Figura 28. Interface del software Socet realizando la fusión y recorte de una imagen al mismo tiempo



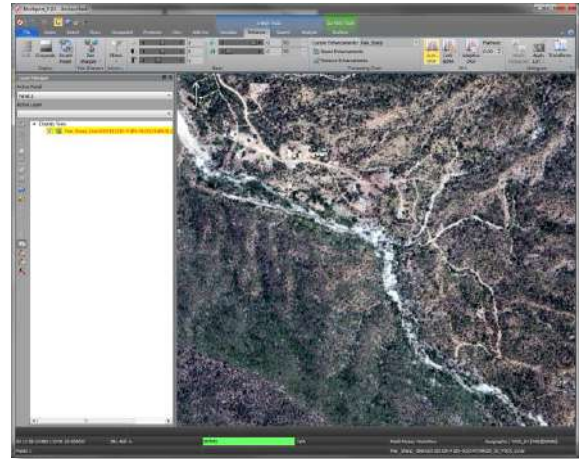
5.9.5 Proceso de realces de histogramas de las imágenes

Con el software **SOCET GXP ver. 4.x**, se realiza un arreglo a los histogramas y realce de contrastes de forma automática con la herramienta “AutoDRA”, a diferencia del software Erdas, en el cual se debía hacer de forma manual y de esta manera se disminuye el tiempo en el proceso de análisis de la imagen. Además, este algoritmo ofrece un mejor contraste de los objetos, como la diferencia entre la vegetación y/o cultivos de amapola que se perciben en la imagen, por lo que se pueden visualizar con mayor nitidez (*figura 29*).

Figura 29. Interface del software SOCET y el realce automático de histogramas



Histogramas sin realces

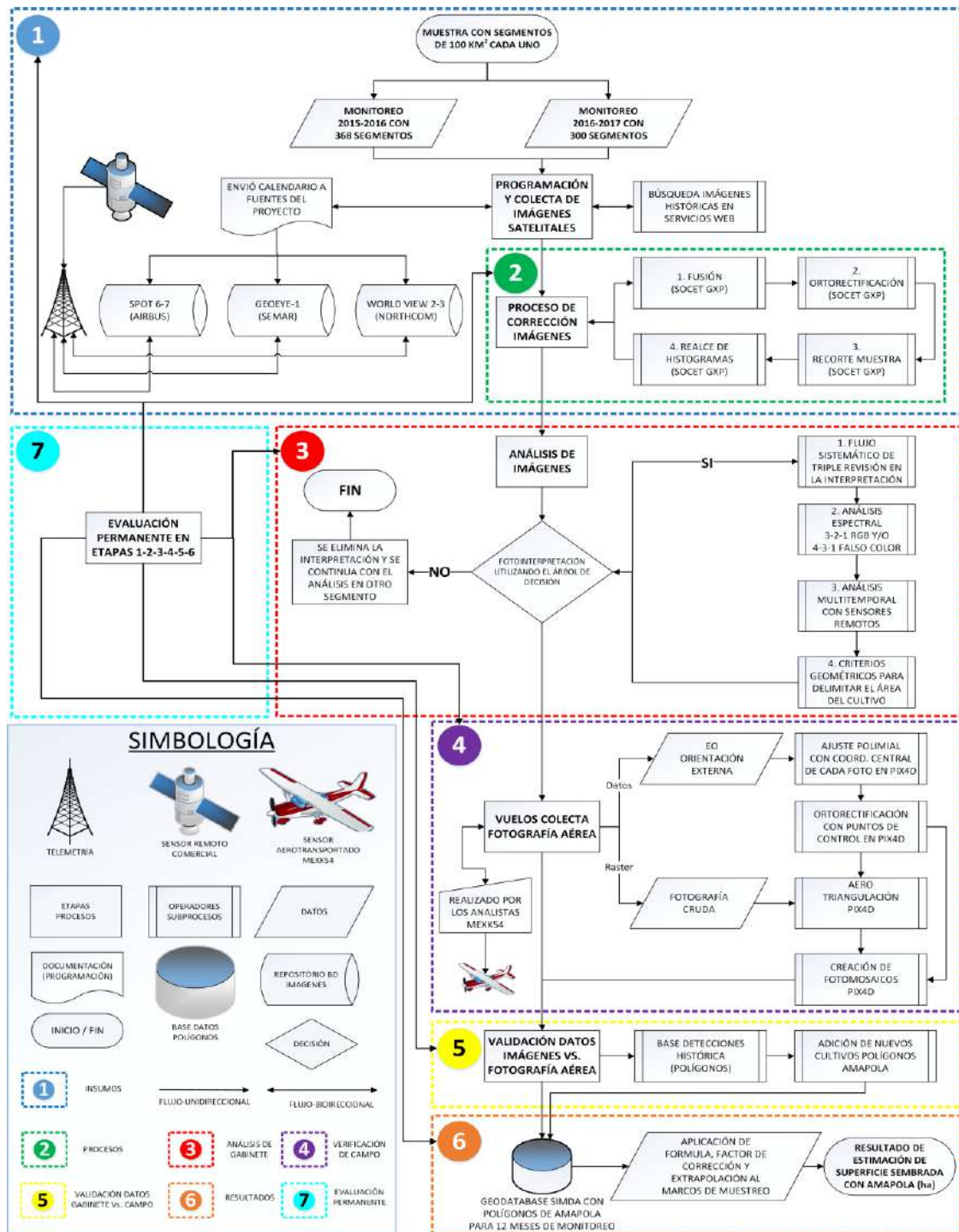


Histogramas con realces

5.10 Flujo metodológico desarrollado por el proyecto para el monitoreo de cultivos de amapola

La aplicación de todas las etapas de la metodología y sus procesos se realiza para cada uno de los tres periodos cuatrimestrales del monitoreo. La estimación de superficie sembrada final es para 12 meses de monitoreo, los procesos del flujo completo de la metodología explicado anteriormente se aplicó a los estudios de monitoreo 2015-2016 y 2016-2017. El flujo metodológico completo se muestra en la siguiente figura 30.

Figura 30. Diagrama metodológico del proyecto de monitoreo en México



Fuente: Elaboración MEXK54 (2018)

5.11 Fórmulas aplicadas a la estimación estadística para cada periodo de monitoreo

Previo a la aplicación del modelo estadístico y obtener la estimación final de superficie sembrada con amapola se realiza una revisión de calidad de datos de manera coordinada entre el grupo de analistas y la UNODC donde se evalúan inconsistencias de tipo temático y geométrico.

5.11.1 Cálculo del área de amapola en 2015-2016

Los cálculos estadísticos se hicieron con los resultados de las interpretaciones de cada segmento por cada periodo cuatrimestral. Hay que considerar que en algunos segmentos seleccionados se obtuvo información parcial, debido a que las nubes o sombras cubrieron parte de las imágenes, es decir, hubo partes de la imagen que no pudieron ser interpretadas. Por lo tanto, para hacer las estimaciones, se dividió la superficie promedio de amapola estimada por segmento por la superficie promedio observable (no cubierto por nubes) estimada por segmento. Luego, se multiplicó este ratio por la superficie total del marco de muestreo combinado para obtener una estimación final de la superficie total de amapola en hectáreas:

$$\hat{t}(y) = \frac{\sum_{h=1}^H w_h \hat{y}_h}{\sum_{h=1}^H w_h \hat{x}_h} A = \hat{b} A$$

Donde H = el número de estratos ($H=100$), w_h = la ponderación del estrato, ($w_h = N_h/N$), \hat{y}_h = el promedio estimado por segmento con amapola en el estrato h , \hat{x}_h = el promedio estimado de la superficie observable por segmento en el estrato h y A = la superficie total del área cubierta por el marco de muestreo (l) basado en datos de destrucción histórica (tabla 2). El área estimada total se obtiene sumando el área de cada uno de los tres periodos cuatrimestrales.

5.11.2 Cálculo de la varianza y covarianza en 2015-2016 para los intervalos de confianza

La varianza muestral del total estimado fue determinada, primero calculando los errores residuales (residuos) $e_i = y_i - b x_i, i = 1 \dots n$ para los segmentos seleccionados (x_i es la superficie observada (no cubierto por las nubes) en el segmento i). La varianza muestral del promedio estimado de los residuos en un estrato h fue calculada mediante la fórmula:

$$\hat{V}(\hat{e}_h) = \frac{\hat{S}_h^2(e)}{n_h}$$

Donde $\hat{S}_h^2(e)$ es la varianza espacial estimada de los residuos en el estrato h :

$$\hat{S}_h^2(e) = \frac{1}{(n_h - 1)} \sum_{i=1}^n e_{hi}^2$$

Después, la varianza muestral del promedio estimado de los residuos en el área cubierta por el marco de muestreo basado en datos de destrucción histórica, se estimó mediante la fórmula:

$$\widehat{V}(\widehat{e}) = \sum_{h=1}^H w_h^2 \widehat{V}(\widehat{e}_h)$$

La varianza del ratio estimado, fue calculada mediante:

$$\widehat{V}(\widehat{b}) = \frac{1}{\widehat{x}^2} \widehat{V}(\widehat{e})$$

Donde \widehat{x} es el promedio estimado de la superficie observable por segmento, determinado como el promedio ponderado del estrato promedio estimado de la superficie observable por segmento:

$$\widehat{x} = \sum_{h=1}^H w_h \widehat{x}_h$$

Por último, la varianza muestral de la superficie total de amapola estimada, fue calculada mediante la fórmula:

$$\widehat{V}(\widehat{t}(y)) = A^2 \widehat{V}(\widehat{b})$$

La varianza muestral de la superficie de amapola estimada en el área cubierta por el marco de muestreo (II) basado en el análisis de riesgo fue estimada de forma similar. En este caso, sólo se muestreó un estrato, por lo que se asumió que la superficie de amapola en el estrato no muestreado, es igual a cero. El estimador se obtuvo mediante el establecimiento de H en las fórmulas arriba mencionadas igual a 1.

La superficie total de adormidera puede estimarse simplemente sumando la superficie total de adormidera estimada por ciclo.

La varianza del total estimado puede obtenerse como la suma de los elementos de la matriz 3x3 con varianzas y covarianzas de los totales estimados por ciclo:

$$\begin{matrix} V_a & C_{a,b} & C_{a,c} \\ C_{b,a} & V_b & C_{b,c} \\ C_{c,a} & C_{c,b} & V_c \end{matrix}$$

Con V_a la varianza del total estimado en el ciclo **a**, y $C_{a,b}$ la covarianza de los totales estimados en los ciclos **a** y **b**, etcétera.

Los términos de covarianza no son cero ya que los dos totales se estiman a partir de las mismas unidades de muestreo, es decir, tenemos datos emparejados. La covarianza de las relaciones estimadas a dos ciclos c y d se estima por:

$$\widehat{C}(\widehat{t}_c(y), \widehat{t}_d(y)) = A^2 \widehat{C}(\widehat{b}_c, \widehat{b}_d) = A^2 \frac{1}{\widehat{x}_c \widehat{x}_d} \widehat{C}(\widehat{e}_c, \widehat{e}_d)$$

La covarianza de la media estimada de los residuos en los dos ciclos se estima mediante:

$$\widehat{C}(\widehat{e}_c, \widehat{e}_d) = \sum_{h=1}^H w_h^2 \widehat{C}(\widehat{e}_{ch}, \widehat{e}_{dh})$$

Con:

$$\widehat{C}(\widehat{e}_{ch}, \widehat{e}_{dh}) = \frac{\widehat{S}_{cdh}^2(e)}{n_h},$$

Con $\widehat{S}_{cdh}^2(e)$ la covarianza espacial estimada de los residuos en los ciclos **c** y **d**, en el estrato *h*:

$$\widehat{S}_{cdh}^2(e) = \frac{1}{(n_h - 1)} \sum_{i=1}^n (e_{chi} e_{dhi})$$

Para 2015-2016 la varianza de la superficie de amapola estimada en el área cubierta por ambos marcos de muestreo, fue calculada mediante la suma simple de las varianzas estimadas por área.

Las estimaciones para el marco de muestreo basado en el análisis de riesgo se hicieron en la misma manera, aplicando solamente un conglomerado/estrato *k* y por lo tanto con pesos iguales para todas las muestras.

El resultado de la estimación de superficie sembrada de amapola, es la suma del área cubierta por ambos marcos de muestreo (I y II), que se muestra en la *tabla 11*.

Tabla 11. Estimaciones de superficie sembrada de amapola para el marco de muestreo (I) basada en destrucción histórica de cultivos y para el marco de muestreo basado en análisis de riesgo

Periodos analizados	Área estimada (ha)	Intervalo de confianza del 95%	
Julio – Octubre 2015	4,331	3,846	4,817
Noviembre 2015 – Febrero 2016	10,353	7,626	13,080
Marzo – Junio 2016	10,489	7,950	13,027
Totales	25,173	20,372	29,973

5.11.3 Cálculo del área de amapola por periodo en 2016-2017

Igual como el anterior, los cálculos estadísticos para 2016-2017 se hicieron con los resultados de las interpretaciones de cada segmento por cada periodo cuatrimestral. Hay que considerar que un porcentaje alto de los segmentos seleccionados se obtuvo información parcial, debido a que las nubes o sombras cubrieron parte de las imágenes, limitando que estas partes de la imagen no pudieran ser interpretadas.

Por lo tanto, para hacer las estimaciones, se dividió la superficie promedio de amapola estimada por segmento por la superficie promedio observable (no cubierto por nubes) estimada por segmento. Luego, se multiplicó este ratio por la superficie total del marco de muestreo combinado para obtener una estimación final de la superficie total de amapola en hectáreas:

$$\hat{t}(y) = \frac{\sum_{h=1}^H w_h \hat{y}_h}{\sum_{h=1}^H w_h \hat{x}_h} A = \hat{b} A$$

Donde H = el número de estratos ($H=10$), w_h = la ponderación del estrato, ($w_h = N_h/N$), \hat{y}_h = el promedio estimado por segmento con amapola en el estrato, \hat{x}_h = el promedio estimado de la superficie observable por segmento en el estrato h y A = la superficie total del área cubierta por el marco de muestreo (l) basado en el modelo de riesgo.

5.11.4 Cálculo de la varianza y covarianza en 2016-2017 para los intervalos de confianza

La varianza muestral del total estimado fue determinada, primero calculando los errores residuales (residuos) $e_i = y_i - b x_i, i = 1 \dots n$ para los segmentos seleccionados (x_i es la superficie observada (no cubierto por las nubes) en el segmento i). La varianza muestral del promedio estimado de los residuos en un estrato h fue calculada mediante la fórmula:

$$\hat{V}(\hat{e}_h) = \frac{\hat{S}_h^2(e)}{n_h}$$

Donde $\hat{S}_h^2(e)$ es la varianza espacial estimada de los residuos en el estrato h :

$$\hat{S}_h^2(e) = \frac{1}{(n_h - 1)} \sum_{i=1}^n e_{hi}^2$$

Después, la varianza muestral del promedio estimado de los residuos en el área cubierta por el marco de muestreo basado en el modelo de riesgo, se estimó mediante la fórmula:

$$\hat{V}(\hat{e}) = \sum_{h=1}^H w_h^2 \hat{V}(\hat{e}_h)$$

La varianza del ratio estimado, fue calculada mediante:

$$\hat{V}(\hat{b}) = \frac{1}{\hat{x}^2} \hat{V}(\hat{e})$$

Donde $\hat{\bar{x}}$ es el promedio estimado de la superficie observable por segmento, determinado como el promedio ponderado del estrato promedio estimado de la superficie observable por segmento:

$$\hat{\bar{x}} = \sum_{h=1}^H w_h \hat{x}_h$$

Por último, la varianza muestral de la superficie total de amapola estimada, fue calculada mediante la fórmula:

$$\widehat{V}(\hat{t}(y)) = A^2 \widehat{V}(\hat{b})$$

La superficie total de adormidera puede estimarse simplemente sumando la superficie total de adormidera estimada por ciclo (tabla 12).

La varianza del total estimado puede obtenerse como la suma de los elementos de la matriz 3x3 con varianzas y covarianzas de los totales estimados por ciclo:

$$\begin{array}{ccc} V_a & C_{a,b} & C_{a,c} \\ C_{b,a} & V_b & C_{b,c} \\ C_{c,a} & C_{c,b} & V_c \end{array}$$

Con V_a la varianza del total estimado en el ciclo **a**, y $C_{a,b}$ la covarianza de los totales estimados en los ciclos **a** y **b**, etcétera.

Los términos de covarianza no son cero ya que los dos totales se estiman a partir de las mismas unidades de muestreo, es decir, tenemos datos emparejados. La covarianza de las relaciones estimadas a dos ciclos c y d se estima por:

$$\widehat{C}(\hat{t}_c(y), \hat{t}_d(y)) = A^2 \widehat{C}(\hat{b}_c, \hat{b}_d) = A^2 \frac{1}{\hat{\bar{x}}_c \hat{\bar{x}}_d} \widehat{C}(\hat{e}_c, \hat{e}_d)$$

La covarianza de la media estimada de los residuos en los dos ciclos se estima mediante:

$$\widehat{C}(\hat{e}_c, \hat{e}_d) = \sum_{h=1}^H w_h^2 \widehat{C}(\hat{e}_{ch}, \hat{e}_{dh})$$

Con:

$$\widehat{C}(\hat{e}_{ch}, \hat{e}_{dh}) = \frac{\widehat{S}_{cdh}^2(e)}{n_h},$$

Con $\widehat{S}_{cdh}^2(e)$ la covarianza espacial estimada de los residuos en los ciclos **c** y **d**, en el estrato *h*:

$$\widehat{S}_{cdh}^2(e) = \frac{1}{(n_h - 1)} \sum_{i=1}^n (e_{chi}e_{dhi})$$

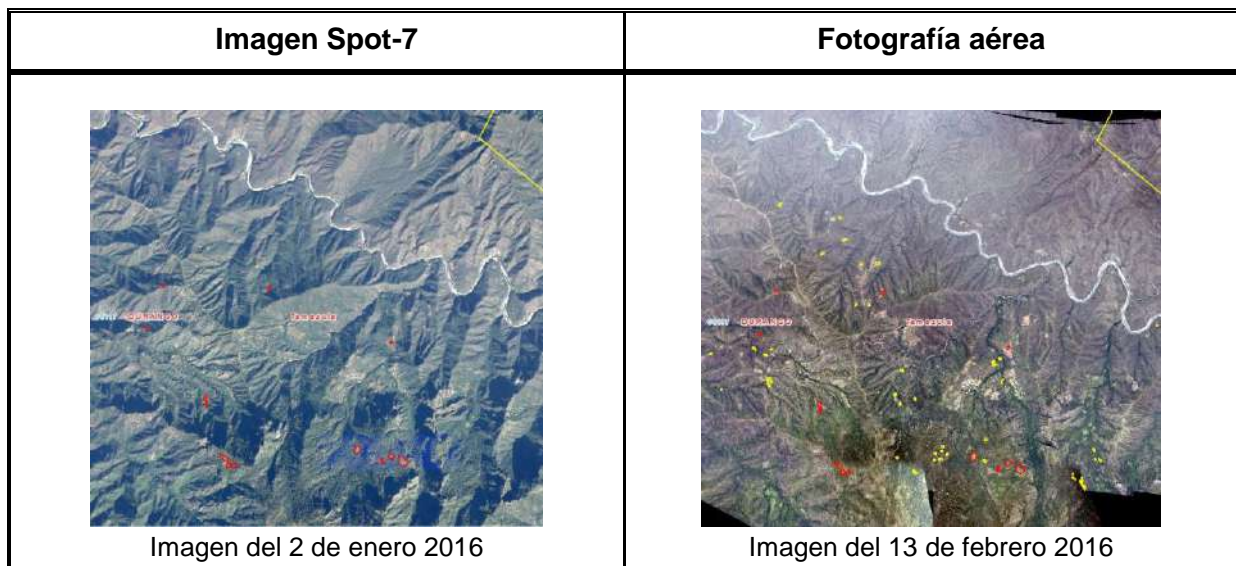
Tabla 12. Estimaciones de superficie sembrada de amapola para el marco de muestro de riesgo basado en probabilidades

Periodos analizados	Área estimada (ha)	Intervalo de confianza del 95%	
Julio – Octubre 2016	4,694	2,655	6,732
Noviembre 2016 – Febrero 2017	19,342	13,448	25,236
Marzo – Junio 2017	6,577	4,898	8,257
Totales	30,600	22,800	38,400

5.12 Factor de corrección por tipo de resolución aplicado en el cálculo de la estimación sembrada de amapola para cada periodo de monitoreo

Debido a que el análisis de los cultivos de amapola se realiza mediante la técnica de fotointerpretación aplicada a imágenes satelitales es necesario contar con imágenes de muy alta resolución para evitar errores mínimos en la interpretación de los cultivos. Por lo anterior, el uso de fotografías aéreas ayuda a validar y cuantificar nuevos cultivos que no fueron observados en las imágenes satelitales, por lo que la fotografía aérea al contar con una resolución de hasta .20 m., permite al analista identificar cultivos más pequeños (350 m²) comparados con los observados en imágenes satelitales (1,000 m²), como se muestra en el ejemplo de la *foto 7*, donde los polígonos rojos fueron observados en la imagen Spot-7 y los polígonos amarillos fueron agregados con la foto aérea, que tiene una temporalidad de 40 días posteriores a la imagen satelital (*figura 31*).

Figura 31. Adición de nuevos cultivos de amapola entre una imagen y la fotografía aérea



Por tal razón, el proyecto recolecta datos a través de un **doble análisis: satelital y fotográfico**, aplicando un factor de ajuste “*por tipo de resolución*”, que corrige esta diferencia en segmentos (imágenes satelitales) sin fotografía, provocando que la estimación en el intervalo sea aún más precisa que la obtenida solo con imágenes satelitales.

El factor de ajuste fue aplicado a los segmentos de la muestra (imágenes satelitales) sin fotografía aérea y se obtiene mediante una regresión lineal donde: el producto entre el factor de ajuste y las hectáreas en imágenes permite corregir la variable de hectáreas totales de amapola, es decir, la corrección consiste en multiplicar este factor de ajuste con las hectáreas totales de amapola.

Para los estudios de monitoreo 2015-2016 y 2016-2017 se realizaron campañas de trabajos de campo con el fin de coleccionar segmentos con fotografía aérea en cada uno de los tres periodos cuatrimestrales. En total se coleccionaron 178 segmentos con fotografía aérea (*mapa 10*) para 2015-2016 y 111 segmentos en 2016-2017, esta información se utilizó para aplicar el factor de ajuste que será explicado en el próximo subcapítulo.

5.12.1 Determinación del factor de ajuste para el periodo de monitoreo 2015-2016

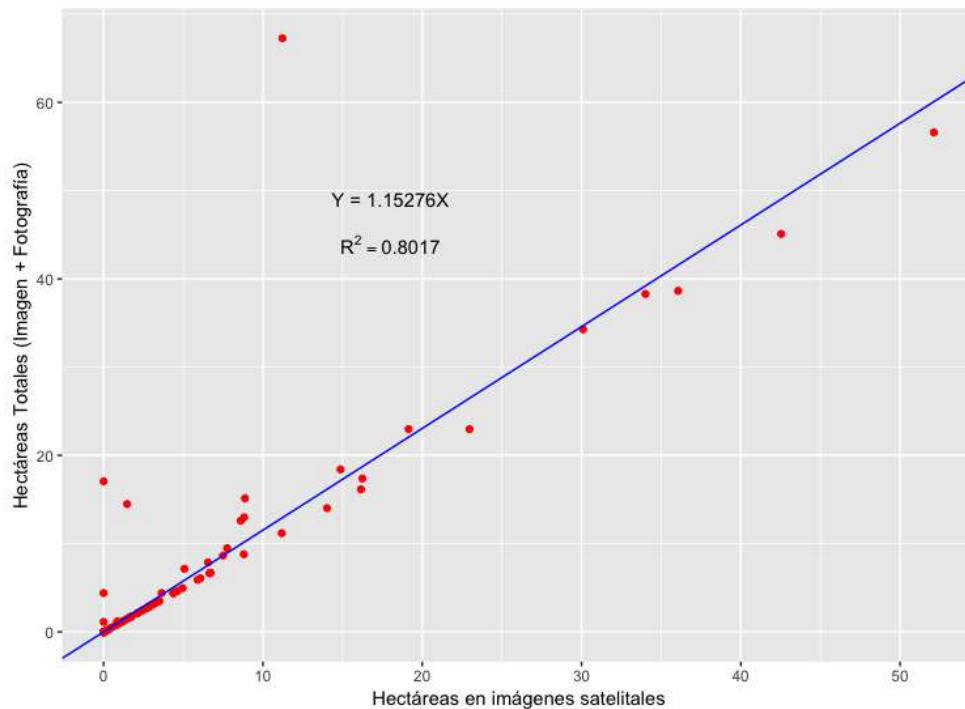
Para el cálculo de factor de ajuste utilizado en el periodo 2015-2016, se consideró un total de 97 segmentos de la muestra con imágenes satelitales y fotografías aéreas que fueron analizadas durante el año estudio. El factor de corrección fue establecido con una regresión lineal entre el área únicamente encontrada en la imagen satelital y el área encontrada después de las interpretaciones con las fotos aéreas incluidas (*tabla 13 y gráfica 9*). El intervalo mayor fue de 66 días entre las imágenes y fotografías utilizadas, por lo que el factor fue obtenido solo con segmentos que tuvieran una fotografía aérea con diferencia de ≤ 31 días a partir de la fecha de colecta de la imagen satelital.

Por lo anterior, el factor de ajuste fue aplicado a todos los segmentos que se colectaron solo con imágenes de satelitales y que no tenían fotografías aéreas (*mapa 15*). El resultado fue un ajuste del 15% adicional al área y se aplicó antes de procesar los resultados finales para estimación de superficie total sembrada con amapola.

Tabla 13. Resultado de los coeficientes utilizados para el factor de ajuste 2015-2016

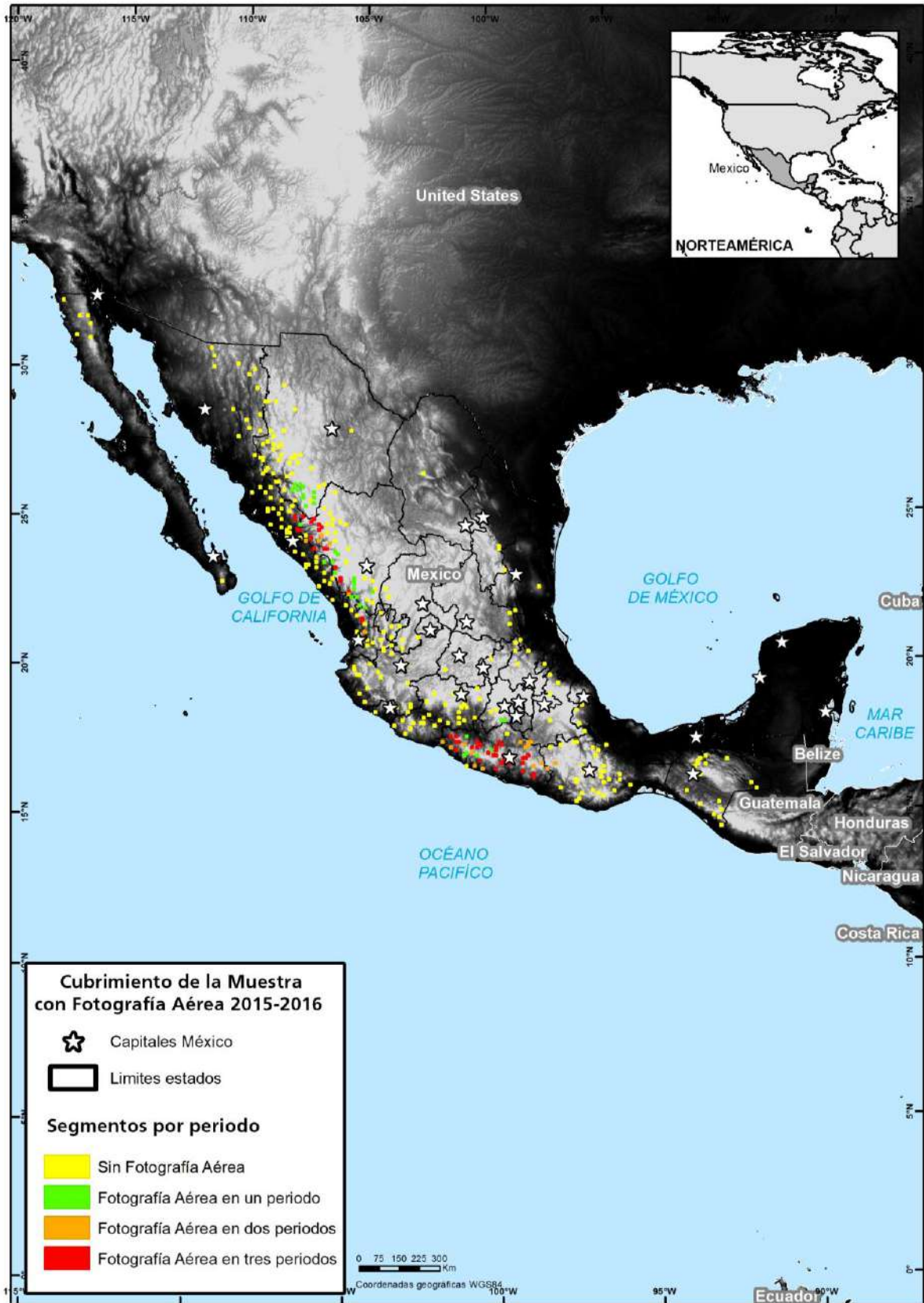
Coeficientes	
Intercepto	0
X Variable 1	1.15276

Gráfica 9. Regresión lineal entre hectáreas totales y hectáreas en imágenes para 2015-2016



Fuente: Elaboración MEXK54

Mapa 15: Cantidad de segmentos de la muestra (100 km²) con fotografías aéreas colectadas en los trabajos de campo para el estudio de monitoreo 2015-2016



Fuente: Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en el Territorio Mexicano - apoyado por UNODC.
Los límites y los nombres utilizados en este mapa no implican la aceptación oficial por parte de la Naciones Unidas.

5.12.2 Determinación del factor de ajuste para el periodo de monitoreo 2016-2017

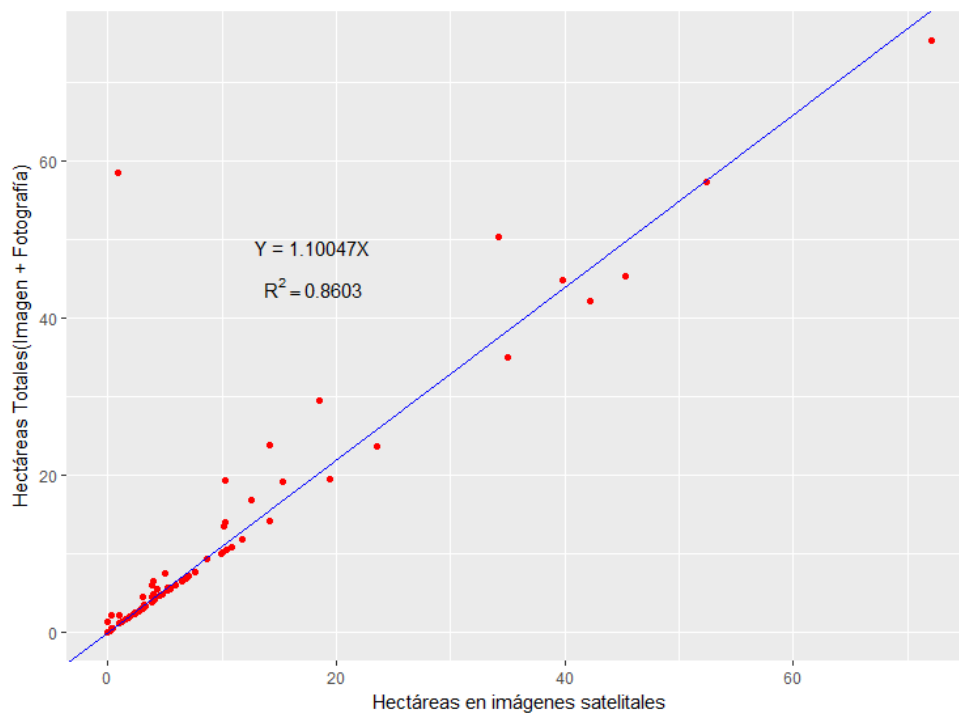
Para el cálculo de factor de ajuste utilizado en el periodo 2016-2017, se consideraron 83 segmentos de la muestra con imágenes satelitales y fotografías aéreas que fueron analizadas durante el año de monitoreo. Los resultados se muestran en la *tabla 14* y la *gráfica 10*. El intervalo mayor fue de 87 días entre la imagen y fotografía, por lo tanto, el factor fue obtenido sólo con segmentos que tuvieran fotografía aérea con diferencia de ≤ 45 días a partir de la fecha de colecta de la imagen satelital.

El factor de ajuste fue aplicado a todos los segmentos que fueron colectados solo con imagen de satélite y que no tuvieron fotografía aérea (*mapa 16*). El resultado fue un ajuste del 10% adicional al área y se aplicó antes de procesar los resultados finales para estimación de superficie total de amapola.

Tabla 14. Resultado de los coeficientes utilizados para el factor de ajuste 2016-2017

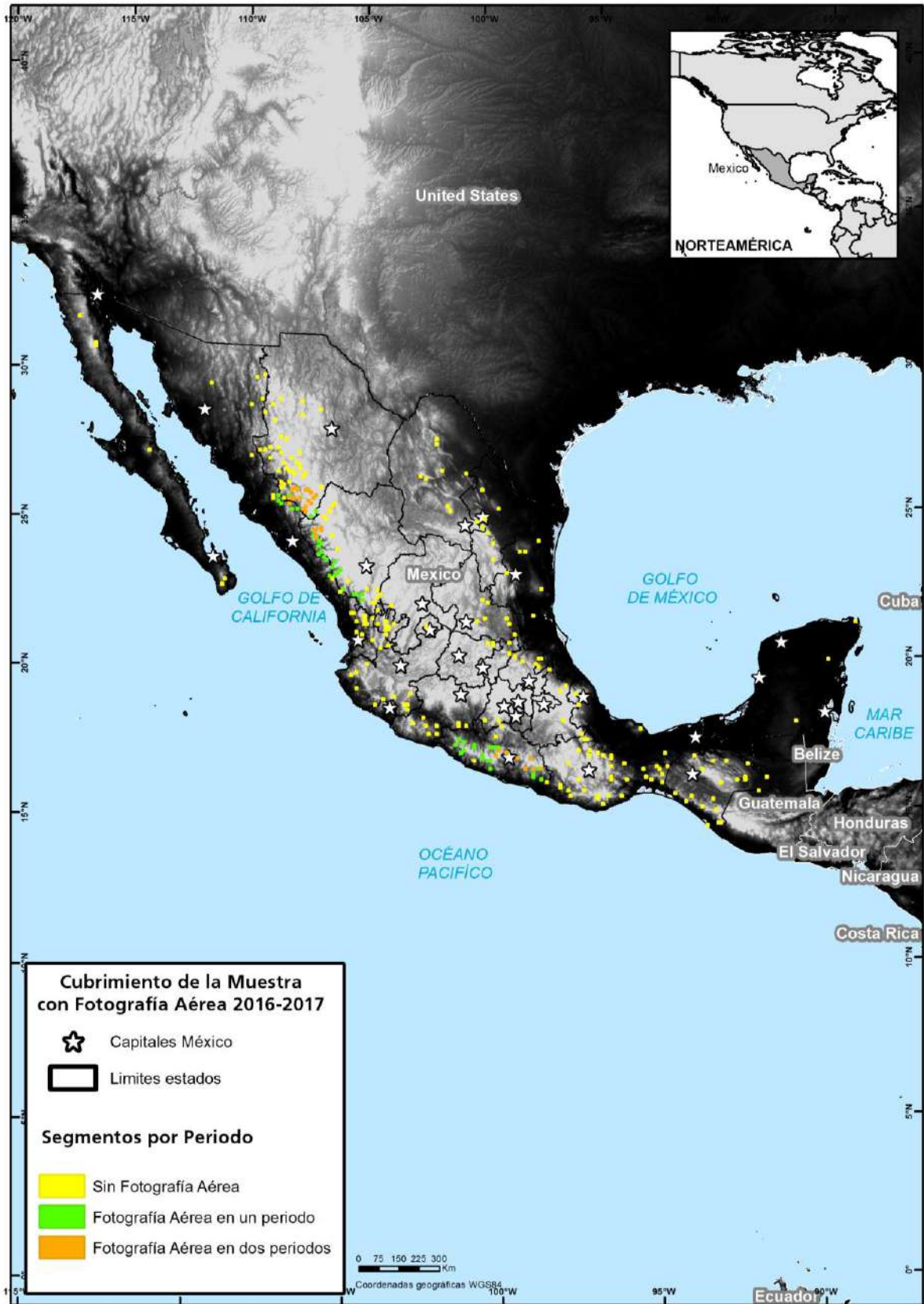
Coeficientes	
Intercepto	0
X Variable 1	1.10047

Gráfica 10. Regresión lineal entre hectáreas totales y hectáreas en imágenes para 2016-2017



Fuente: Elaboración MEXK54

Mapa 16. Cantidad de segmentos de la muestra (100 km²) con fotografías aéreas colectadas en los trabajos de campo para el estudio de monitoreo 2016-2017



Fuente: Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en el Territorio Mexicano - apoyado por UNODC.
 Los límites y los nombres utilizados en este mapa no implican la aceptación oficial por parte de la Naciones Unidas.

6. AJUSTE A LA ESTIMACIÓN DE SUPERFICIE SEMBRADA CON AMAPOLA PARA EL ESTUDIO DE MONITOREO 2014-2015

La cifra de área sembrada con amapola publicada por el proyecto en junio de 2016 en el **Informe Mundial sobre las Drogas 2016** y el reporte nacional titulado “**México, Monitoreo de Cultivos de Amapola 2014-2015**”, en el cual se reportaron en su punto medio **24,800 (ha)** de amapola con un intervalo de confianza del 95% y un rango entre 21,500 hectáreas y 28,100 hectáreas. A este intervalo se le aplicó un ajuste realizado por el grupo de asesores de expertos de la Sección de Investigación y Análisis de Tendencias de la UNODC con sede en Viena, Austria.

El ajuste fue incluido posterior a un control de calidad de datos con apoyo de un segundo experto (externo), quien evaluó el primer resultado obtenido del estudio de monitoreo 2014-2015. En ese sentido la cifra de estimación tuvo que ser ajustada después de esta revisión cuidadosa de los datos, reveló una diferencia en el cálculo de estimación de superficie sembrada en su rango estadístico. Se aclara que esta diferencia fue causada por un error en la manipulación informática del conjunto de datos⁵⁷ y no por un cambio de variables de la metodología utilizada, la cual fue explicada de manera detallada en el pasado reporte de monitoreo “**México, Monitoreo de Cultivos de Amapola 2014-2015**”⁵⁸.

Por lo anterior, en el presente informe se reporta el nuevo cálculo de la cifra más precisa para cultivos de amapola 2014-2015 con los factores de ponderación correctos y que resulta en un área en su punto medio de **26,100 (ha)**, con un intervalo de confianza del 95% y un rango entre 21,800 ha y 30,400 ha. Debe hacerse notar que la diferencia es de **1,300 (ha)** en el punto medio con respecto al primer resultado reportado (**24,800 ha**), lo que representa una variación (error) del 5.2%. Al comparar el **resultado ajustado y el resultado anterior**, este cae dentro del intervalo de confianza reportado con anterioridad (junio 2016), tal y como se indica con mayor detalle en el comparativo de la *tabla 15*.

Tabla 15. Comparación de la superficie estimada anterior/ajustada con cultivos de amapola (ha) para 12 meses de monitoreo en 2014-2015.

Periodo del resultado	Área (ha) (punto bajo)	Área (ha) (punto medio)	Área (ha) (punto alto)	Observación
Julio 2014 – Junio 2015	21,800	26,100	30,400	Resultado ajustado ⁵⁹
Julio 2014 – Junio 2015	21,500	24,800	28,100	Resultado anterior

57 El error de cálculo tuvo una asignación incorrecta en los factores de ponderación del conjunto de datos utilizado para la superficie estimada/monitoreada de los distintos geoestratos de la muestra, lo que provocó una subestimación del área de cultivo de amapola.

58 Reporte de monitoreo disponible en el siguiente sitio web: <https://www.unodc.org/documents/crop-monitoring/Mexico/Mexico-Monitoreo-Cultivos-Amapola-2014-2015-LowR.pdf>

59 Corrección del error de manipulación informática; por lo tanto, sustituirá los datos publicados en junio del 2016 (mejor estimación de 24,800 hectáreas con un intervalo de confianza del 95% y un rango entre 21,500 ha y 28,100 ha).

7. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL ESFUERZO NACIONAL DE DESTRUCCIÓN DE PLANTÍOS ILÍCITOS

El estado mexicano cuenta con mecanismos para la destrucción de cultivos ilícitos en su territorio, mismos que son implementadas por sus instituciones (SEDENA, SEMAR, PGR-AIC-PFM, SEGOB-CNS-PF) encargadas de combatir la oferta de drogas que se producen en los diferentes estados de la República. Los resultados son presentados por el gobierno de México como “Esfuerzo Nacional de Destrucción de Plantíos Ilícitos”.

Sin embargo, por sus atribuciones y competencia de seguridad en la mayoría del territorio, la institución con mayor aportación a este esfuerzo en México es el Ejército y Fuerza Aérea Mexicanos ha participado en las actividades contra el narcotráfico por más de cinco décadas, mediante el despliegue de diversos servicios en todo el territorio nacional en forma permanente; de manera específica, en la vertiente de destrucción de cultivos ilícitos, despliega bases de operaciones para la destrucción física del enervante mediante la mano de obra e incineración.

Foto 4. Destrucción de amapola por SEMAR



Fuente: Secretaría de Marina

Foto 5. Destrucción de amapola y marihuana por PF



Fuente: Policía Federal

7.1 Acciones para la destrucción de enervantes en la Secretaría de la Defensa Nacional

1. Planeación

El Estado Mayor de la Defensa Nacional, previo análisis de datos históricos y de las áreas y periodos de incidencia de enervantes, realiza la planeación de las operaciones de destrucción intensiva a nivel nacional; las Regiones y Zonas Militares hacen lo propio en sus respectivas jurisdicciones.

Las estadísticas y datos históricos de los plantíos destruidos, han permitido la clasificación del territorio nacional en área de Alta incidencia de cultivo de amapola abarcando los estados de Guerrero, Chihuahua, Durango y Sinaloa; Mediana incidencia en Nayarit, Oaxaca, Jalisco, Michoacán y Sonora; los demás estados de la República son considerados de Baja incidencia.

A fin de mantener la cobertura de todo el territorio nacional y considerar cualquier área que sea susceptible de ser empleada por las organizaciones criminales para la siembra de enervantes, la Secretaría de la Defensa Nacional desarrolla operaciones de erradicación en tres vertientes:

2. Destrucción intensiva.

- Se materializa en los periodos y áreas de mayor incidencia en el cultivo de enervantes en los Estados de Chihuahua, Durango, Guerrero y Sinaloa.
- SEDENA considera la gravedad del problema de las drogas, para la administración 2012-2018 y estableció como meta realizar 75 operaciones de destrucción intensiva, las cuales se cumplieron en su totalidad.
- Asimismo, con el objeto de hacerlas integrales e imprimirles dinamismo, se desarrollan con unidades locales del mando territorial que presenta esta problemática y con unidades de otras entidades del país, apoyadas con aeronaves de la Fuerza Aérea Mexicana que son asignadas en refuerzo para destruir el mayor número de cultivos ilícitos.

3. Destrucción regional.

- Se realiza en las áreas de mediana incidencia, contempla los Estados de Jalisco, Michoacán, Nayarit, Oaxaca y Sonora, bajo la programación y problemática particular de cada Mando Territorial.
- Se desarrollan con recursos humanos y materiales locales y en ocasiones reciben material de vuelo en

4. Destrucción permanente en áreas no tradicionales.

- Se realiza en todo el territorio nacional de manera permanente, sin descartarse ninguna área, incluyendo los Estados de alta y mediana incidencia de enervantes, cuando no se realizan operaciones de destrucción intensiva o regional.
- Los Comandantes de Región Militar son los encargados de planear, dirigir y ejecutar las actividades de destrucción en sus jurisdicciones.

5. Procedimiento para desarrollar las operaciones de destrucción

- Reconocimientos: Se desarrolla a través del análisis de imágenes satelitales, reconocimientos aéreos y reconocimientos terrestres, que permiten identificar las áreas de incidencia y concentración de cultivos de enervantes. Recientemente se ha equipado a las tropas a pie, con mini drones que les permite observar el terreno en busca de plantíos en un radio aproximado de 7 kilómetros (*foto 6*).

Foto 6. Empleo de mini drones para la búsqueda de plantíos de amapola



Fuente: Secretaría de la Defensa Nacional

Los datos obtenidos sobre la ubicación de posibles plantíos ilícitos son analizados y la información de valor militar es difundida a los Mandos Territoriales, escuadrillas de fumigación y personal de tierra para su verificación y destrucción conforme a derecho.

6. Despliegue de tropas y destrucción manual

- Tiene la finalidad de movilizar a las tropas hacia las áreas de siembra para llevar a cabo la destrucción de plantíos ilícitos, por medio de mano de obra e incineración, realizar reconocimientos terrestres y localizar centros de acopio; lo anterior, mediante el establecimiento de puestos de mando, bases de operaciones y en ocasiones puestos militares de seguridad sorpresivos. Este despliegue se realiza con medios aéreos (helicópteros), vehículos de transporte, donde el terreno lo permite, y a pie cuando las condiciones de transitabilidad del terreno lo ameritan (*foto 6*).
- La actividad de la destrucción manual la realiza el personal operativo que se desplaza a pie o con el apoyo de vehículos terrestres hasta llegar a los plantíos ilícitos. Al llegar a los plantíos, el personal se divide en dos equipos: el primero proporciona un dispositivo de seguridad y el otro lleva a la destrucción de las plantas, para su posterior incineración, acompañado de un acta de destrucción para informar a la autoridad ministerial correspondiente. La destrucción manual consiste en arrancar de raíz cada planta de amapola y la incineración (*foto 7*).

Foto 7. Despliegue de tropas para la destrucción manual de plantíos de amapola



Fuente: Secretaría de la Defensa Nacional

7. Destrucción por aspersión aérea

Se realiza mediante escuadrillas de helicópteros BELL. La aspersión se efectúa sobre las áreas de mayor concentración de plantíos y en los casos donde existan plantíos aislados, alejados de las poblaciones o de difícil acceso para las tropas a pie, además le permite a las tropas alcanzar las áreas de siembra en periodos cortos de tiempo. El apoyo para la aspersión es proporcionado por la Fuerza Aérea Mexicana (*foto 8*).

Foto 8. Destrucción por aspersión aérea de plantíos de amapola



Binomios de BELL 206 para aspersión



Aspersión con BELL 206



BELL 206 preparado para la aspersión



BELL 206 asperjando



Amapola ANTES de la aspersión



Amapola DESPUÉS de la aspersión

Fuente: Secretaría de la Defensa Nacional

8. Seguimiento y control

Los resultados obtenidos en las actividades de destrucción, alimentan el Sistema de Control de Operaciones Contra el Narcotráfico que se encuentra bajo el control y supervisión de la Sección Séptima (Operaciones Contra el Narcotráfico) del Estado Mayor de la Defensa Nacional, cuya finalidad es aportar datos estadísticos confiables para determinar objetivamente en qué medida se avanza hacia el cumplimiento de las metas trazadas.

9. Beneficios alcanzados

Con el esfuerzo del personal del Ejército y Fuerza Aérea Mexicanos que participa directamente en las actividades de destrucción de cultivos ilícitos, es posible ponderar los beneficios siguientes:

- Inhibir el uso del territorio nacional en la siembra de enervantes y sus actividades conexas como el almacenamiento, trasiego y pugnas entre grupos delictivos por el acaparamiento de las cosechas.
- Afectar la base económica de los narcotraficantes, impidiendo cíclicamente la cosecha de enervantes, y paralelamente, debilitar sus capacidades financieras para adquirir armamento, vehículos y corromper autoridades.
- Generar condiciones adecuadas para el desarrollo de las actividades económicas lícitas, coadyuvando a mantener la paz pública y la preservación del orden.

- Con la presencia de las tropas en las áreas de incidencia de cultivos ilícitos, garantizar la seguridad de la población e inhibir la presencia de grupos delictivos, evitando que ejerzan violencia contra las personas y que generen inseguridad por las disputas con grupos antagónicos por el control de la siembra y rutas de trasiego.
- Hacia el interior de las Fuerzas Armadas, generar doctrina y mejorar los procedimientos en esta actividad, implementando mecanismos que permitan optimizar las actividades y el empleo de nuestros recursos humanos y materiales.

7.2 Acciones para la destrucción de enervantes en la Agencia de Investigación Criminal

En las actividades de destrucción también participan elementos de la Policía Federal Ministerial (PFM) adscrita a la Agencia de Investigación Criminal, quienes arriban al lugar de intervención por medios aéreos, debido a las condiciones geográficas del terreno. En estas operaciones tácticas el Grupo Especial de la Policía realiza el trabajo de inteligencia de las unidades adscritas a la Agencia de Investigación Criminal.

Asimismo las actividades de destrucción de plantíos de amapola, se realizan de manera coordinada entre las autoridades participantes, arribando al lugar para localización y aseguramiento de los plantíos ilícitos y sus derivados (fotos 9 y 10).

Foto 9. Arribo al lugar por vía aérea y despliegue del Grupo Especial de Operaciones



Fuente: Agencia de Investigación Criminal/PFM

Foto 10. Destrucción de amapola en el estado de Guerrero



Fuente: Agencia de Investigación Criminal/PFM

7.3 Resultados del Esfuerzo Nacional

En lo que respecta a destrucción de amapola por hectáreas, destacan las acciones realizadas por el gobierno de México para atender el cultivo de amapola toda vez que en el periodo comprendido del 2014 a 2017, asimismo se observó una tendencia variable en el cual destacó 2017 con una cantidad de 29,692.21 de hectáreas erradicadas, lo que representa el 29.57% del total de los años de estudio.

Las cifras reportadas en este periodo antes mencionado se han incrementado desde el 2014 a una cantidad de 21,867.59 hectáreas destruidas en relación con el año 2017 con un total de 29,692.21 hectáreas, lo cual se tradujo en un incremento del 35.78%.

Gráfica 11. Destrucción de amapola (ha)

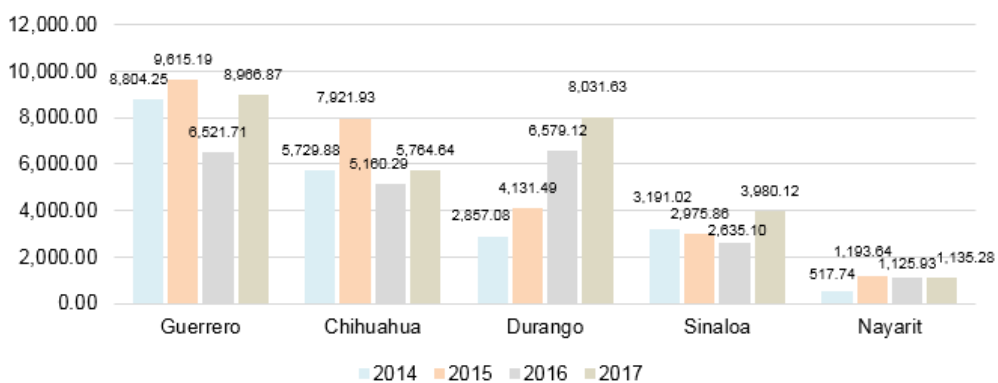


Fuente: Agencia de Investigación Criminal, periodo comprendido del 1° de enero de 2014 al 31 de diciembre de 2017

A nivel nacional en los años de estudio se observó que los estados con el mayor número de eventos en destrucción de amapola por hectáreas fueron: Guerrero, Chihuahua, Durango, Sinaloa y Nayarit.

Destaca el estado de Guerrero con una cantidad total de 33,908.02 has destruidas de amapola en el periodo comprendido entre 2014-2017. Asimismo, mantuvo el primer lugar durante los años 2014, 2015 y 2017. Por otra parte en el año 2016, Durango reportó el mayor número con 6,579.12 has erradicadas que representó una variación del 0.88% con respecto a Guerrero. Durante el año 2015, el estado de Chihuahua registró la cifra de 7,921.93 ha destruidas, cantidad con la cual se posicionó en el segundo lugar a nivel nacional en ese año.

Gráfica 12. Destrucción de amapola (ha)



Fuente: Agencia de Investigación Criminal, periodo comprendido del 1° de enero de 2014 al 31 de diciembre de 2017

Nota: En la gráfica se representan a los cinco primeros estados de la República Mexicana, con el mayor número de hectáreas erradicadas de amapola.

De manera particular sobre la destrucción de plantíos de amapola, en el periodo que abarca de 2014 a 2017 se reportó una variación de 35%, siendo el último año el que concentró 29% del total contabilizado.

Gráfica 13. Destrucción de plantíos de amapola (Ui)

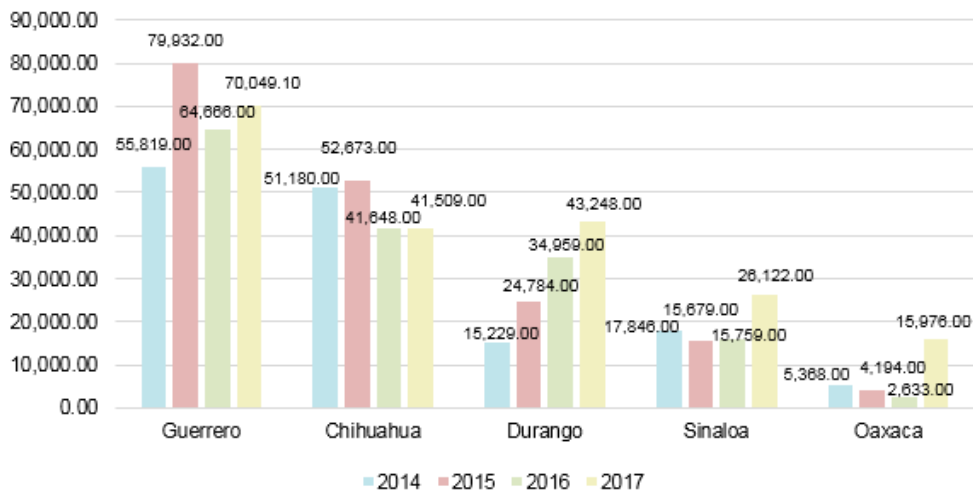


Fuente: Agencia de Investigación Criminal, periodo comprendido del 1° de enero de 2014 al 31 de diciembre de 2017

Con referencia a la destrucción de plantíos de amapola por estados a nivel nacional, Guerrero continúa ubicándose como la principal entidad en la que se llevan a cabo este tipo de acciones, seguido de Chihuahua y Durango.

De manera particular, el estado de Guerrero reportó para el año de 2015 la cantidad de 79,932.00 Ui en destrucción de plantíos de amapola que representa el 30% del total reportado durante los años de estudio; mientras que Chihuahua ocupó el segundo lugar nacional con 187,010 Ui plantíos en los cuatro años de estudio y destaca el año de 2015 con 52,673.00 Ui, cifra que representó el 28.16% del total de los periodos analizados.

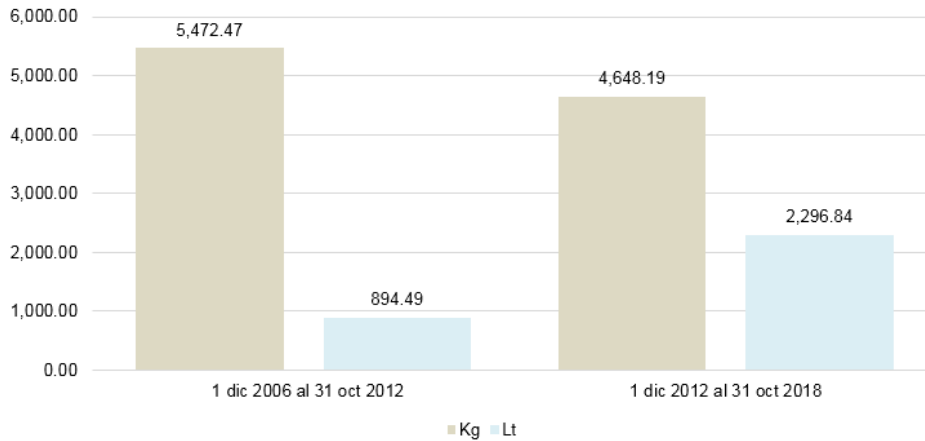
Gráfica 14. Destrucción de plantíos de amapola (Ui)



Fuente: Agencia de Investigación Criminal, periodo comprendido del 1° de enero de 2014 al 31 de diciembre de 2017

Durante el sexenio que corresponde a 2006-2012, referente al aseguramiento de goma de opio se reportaron 5,472.47 kilogramos en relación con el sexenio de 2012-2018 con una cantidad total de 4,648.19 kilogramos incautados por las autoridades del gobierno de México. Por otra parte, el aseguramiento en litros para el primer periodo fue de 894.49 Lt y para el siguiente sexenio se presentó un considerable incremento al reportarse 2,296.84 Lt.

Gráfica 15. Aseguramientos de goma de opio

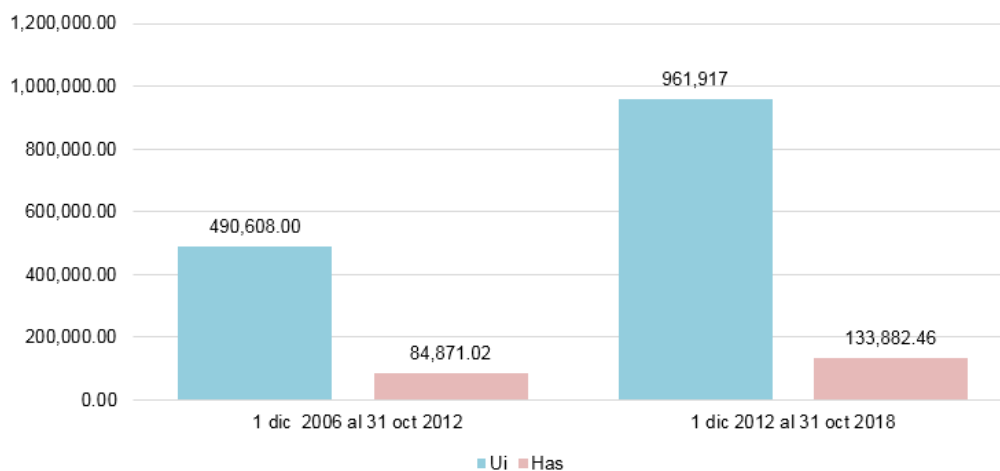


Fuente: Agencia de Investigación Criminal, periodo comprendido del 1° de enero de 2014 al 31 de diciembre de 2017

La destrucción de plantíos de amapola en el sexenio 2012-2018 reportó una cantidad de 961,917 Ui, en comparación con el sexenio anterior con una cantidad de 490,608 Ui.

En la gráfica 16, se visualiza un incremento en destrucción de plantíos sobresaliendo las acciones realizadas en el sexenio 2012-2018; en las que se puede apreciar una destacada labor por parte del Gobierno de México y como ejemplo de ello en las hectáreas destruidas se presentó un aumento de 58% con respecto al periodo anterior.

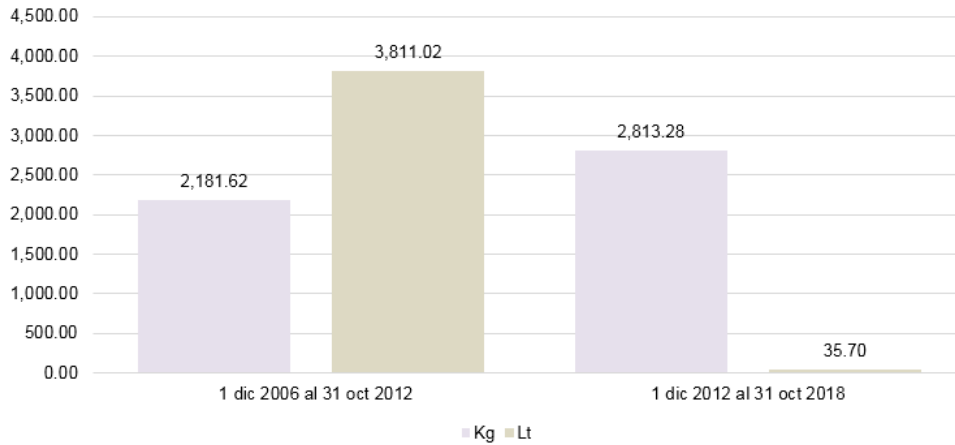
Gráfica 16. Destrucción de cultivos de amapola



Fuente: Agencia de Investigación Criminal, periodo comprendido del 1° de enero de 2014 al 31 de diciembre de 2017

El periodo comprendido del 2006 al 2012, reportó el mayor número de heroína líquida asegurada en territorio mexicano con una cantidad de 3,811.02 lt. En lo que respecta a heroína sólida asegurada, en el sexenio siguiente, se reportó el mayor número con un total de 2,813.28 kg, mismo que se tradujo en un aumento de 29%.

Gráfica 17. Aseguramientos de heroína

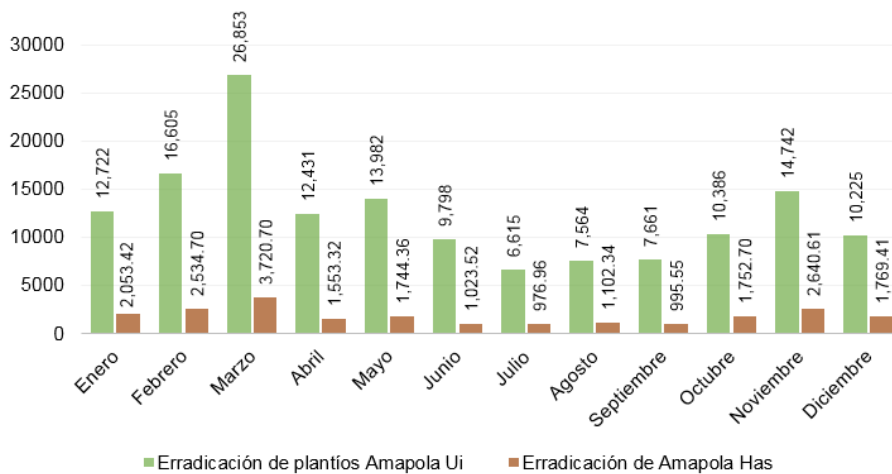


Fuente: Agencia de Investigación Criminal, periodo comprendido del 1° de enero de 2014 al 31 de diciembre de 2017

En 2014, en materia de destrucción de plantíos de amapola se reportó una cifra de 149,584 Ui, destacando el mes de marzo el cual concentró 18% a nivel nacional en erradicación, seguido del mes de febrero con 16,605 Ui con un valor porcentual de 11% a nivel nacional. Por consiguiente, se observó una importante actividad por parte de las dependencias responsables de esta acción en el primer trimestre del año, al registrar 37.55% del total contabilizado.

Referente a las cifras de erradicación de amapola se reportaron 21,867.59 ha a nivel nacional en el periodo antes citado, sobresaliendo que los meses de febrero, marzo y noviembre concentran 41%.

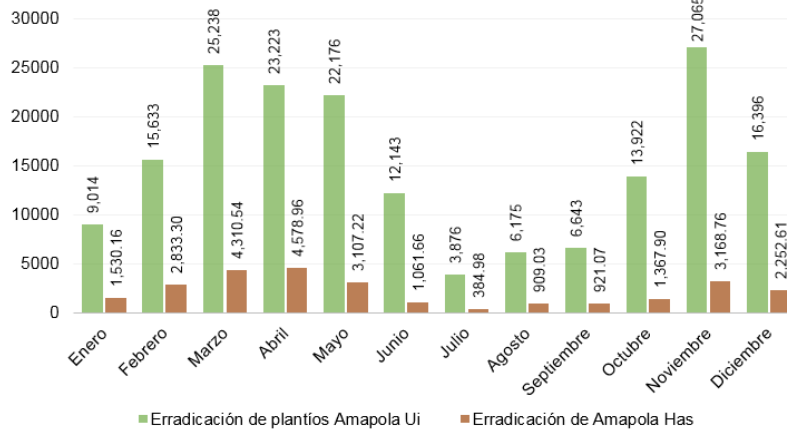
Gráfica 18. Destrucción de amapola 2014



Fuente: Agencia de Investigación Criminal, periodo comprendido del 1° de enero de 2014 al 31 de diciembre de 2017

En la gráfica 19, se observa que para el año 2015, el mes de noviembre ocupó el primer lugar en destrucción de plántíos de amapola con 27,065 Ui que representó 15% del total general del periodo en estudio. Es importante mencionar que este mes tuvo un incremento del 84% en relación con el periodo 2014. El mes de marzo se posicionó en segundo lugar en este rubro con una cantidad de 25,238 Ui con un valor porcentual de 14% a nivel nacional, seguido del mes de abril con una cantidad de 23,223 Ui. Es importante señalar que este año de estudio reportó una cantidad total de 181,504 Ui lo que representó un incremento del 21% en relación con el año inmediato anterior. En el rubro de destrucción de amapola en hectáreas, en 2015 se reportaron 26,426.19 has, de las cuales los meses de abril, marzo y noviembre concentran 46% del total contabilizado.

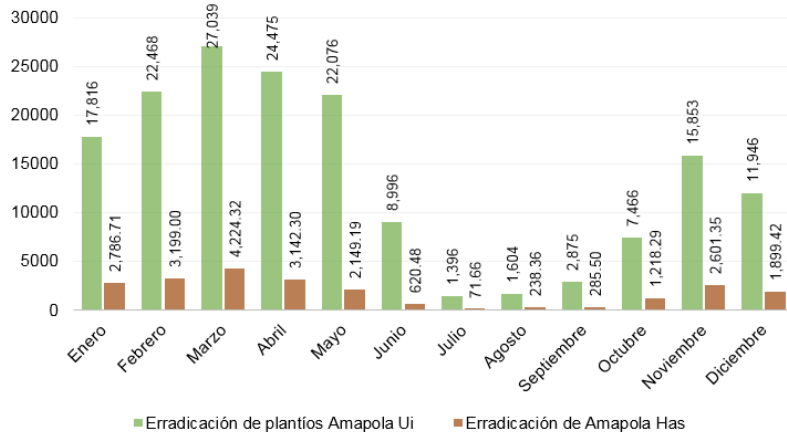
Gráfica 19. Destrucción de amapola 2015



Fuente: Agencia de Investigación Criminal, periodo comprendido del 1° de enero de 2014 al 31 de diciembre de 2017

En lo que respecta al periodo 2016, reportó una cifra total de 164,010 Ui en destrucción de plántíos de amapola, sobresaliendo que el mes de marzo obtuvo el mayor número en esta actividad con una cantidad de 27,039 Ui, que representa 16% del total nacional en este concepto, seguido del mes de abril con 24,475 Ui, con un valor porcentual de 15%. Referente a la destrucción de amapola en hectáreas, el año 2016 registró una cantidad de 22,436.59 has, siendo el mes de marzo el que tuvo el primer lugar a nivel nacional como se observó en el año inmediato anterior, con una cantidad de 4,224.32 has que equivalente 19% del total a nivel nacional en este periodo de estudio.

Gráfica 20. Destrucción de amapola 2016

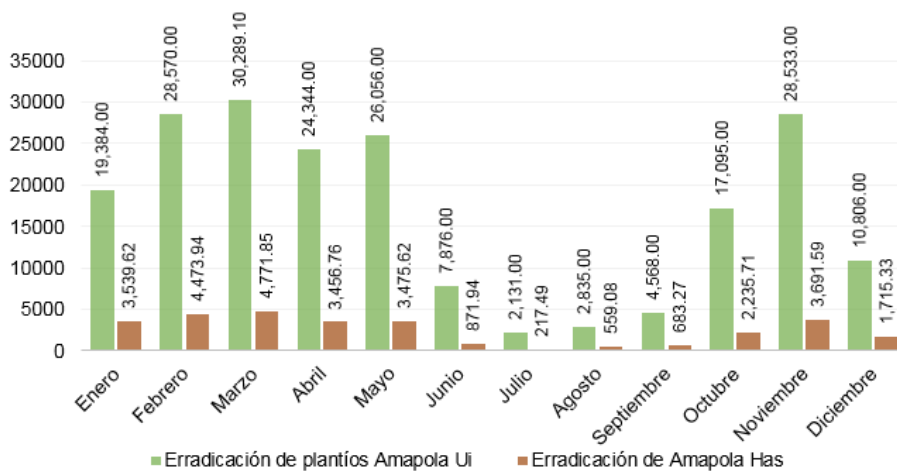


Fuente: Agencia de Investigación Criminal, periodo comprendido del 1° de enero de 2014 al 31 de diciembre de 2017

Como en años anteriores, el mes de marzo se posicionó con mayor actividad en materia de destrucción de plantíos de amapola (Ui), al registrar 30,289.10 Ui, equivalente al 15% del total reportado en 2017, seguido de los meses de febrero y noviembre con 14%, respectivamente.

En el tema de destrucción de amapola (has), este periodo reportó una cantidad de 29,692.21 has, misma que representaron un incremento de 32% en relación con 2016. De manera particular, el mes de marzo obtuvo el primer lugar en destrucción con una cifra de 4,771.85 ha que constituye el 16% del total de los meses en estudio de este periodo y en segundo lugar se encuentra el mes de febrero con un valor porcentual de 15%.

Gráfica 21. Destrucción de amapola 2017



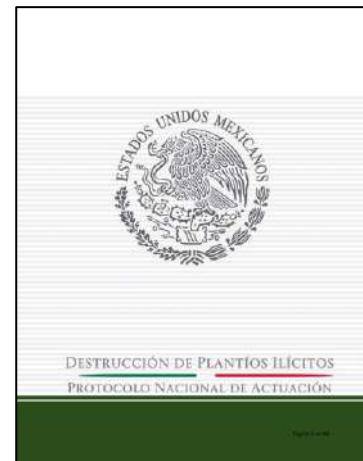
Fuente: Agencia de Investigación Criminal, periodo comprendido del 1° de enero de 2014 al 31 de diciembre de 2017

7.4 Implementación del Protocolo Nacional de Actuación para la Destrucción de Plantíos Ilícitos

Para la realización del diseño del “*Protocolo Nacional de Actuación Destrucción de Plantíos ilícitos*”, se conformó un grupo interinstitucional en el que participaron la Secretaría de Marina, la Secretaría de la Defensa Nacional, la Comisión Nacional de Seguridad de la Secretaría de Gobernación y la Procuraduría General de la República a través de la Agencia de Investigación Criminal.

El 11 de junio de 2018, se realizó la firma y la publicación del *Protocolo Nacional de Actuación de Destrucción de Plantíos Ilícitos* (foto 11), el cual tiene como objetivo general establecer los criterios para homologar la actuación y fortalecer la coordinación de las autoridades en la intervención de destrucción de plantíos ilícitos, con el propósito de brindar certeza jurídica a los operadores y a la ciudadanía de conformidad con lo establecido en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, leyes y tratados internacionales de los que el Estado mexicano es parte.⁶⁰

Foto 11. Firma de Protocolo por las autoridades del gobierno federal



Fuente: PGR

Entre sus objetivos específicos se establecen:

- Destruir los plantíos ilícitos para evitar la producción, almacenamiento, elaboración o preparación de estupefacientes.
- Inhibir la siembra, cultivo y cosecha de plantas de marihuana, amapola o cualquier otro vegetal que produzca efectos narcóticos.
- Reducir la posesión, suministro, venta, compra, adquisición o enajenación de la goma de opio, morfina, heroína, hachís y marihuana.
- Aseguramiento y destrucción de objetos diversos relacionados con el hecho ilícito.

60 Diario Oficial de la Federación, *Protocolo Nacional de Actuación de Destrucción de Plantíos Ilícitos*, 11 de junio de 2018, http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5525786&fecha=11/06/2018

La implementación del protocolo permite, entre otros aspectos, contribuir al mejoramiento de la salud pública a través de la disminución de la oferta de narcóticos; fortalecer el cumplimiento de las políticas públicas encaminadas a la reducción de cultivos ilícitos; recuperar áreas deforestadas por el acondicionamiento de terrenos utilizados en la siembra de plantíos ilícitos; promover y facilitar la implementación de programas de apoyo a grupos vulnerables en las zonas de mayor incidencia de siembra de plantíos ilícitos.

ANEXOS

ANEXO I: Actualización del mapa nacional de probabilidades para cultivos ilícitos por factores determinantes/riesgo

Introducción

Para realizar dicho análisis fue necesario construir y actualizar la base nacional que indicara en un mismo nivel de agregación, información de distintas fuentes que ayudara a calcular el riesgo de la existencia de cultivos ilícitos. Se recopilaron más de 80 variables que se supuso podían ser útiles en la predicción de dicho riesgo. De éstas, finalmente se utilizaron sólo tres, que produjeron el mejor modelo estadístico. A continuación se presenta la metodología empleada y los resultados del análisis.

1.1. Metodología

1.1.2 Construcción de la base de datos

La construcción de una base de datos a nivel nacional con variables de fuentes distintas, implicó la combinación de distintas escalas espaciales y diversos niveles de agregación. Por lo tanto, era importante seleccionar una sola unidad territorial que supusiera un nivel de agregación que, sujeto a las restricciones que la propia información imponía, fuera suficientemente pequeño para representar escalas locales, pero que además fuese apropiado para llevar a cabo el análisis en un país con una extensión de más de 2 millones de kilómetros cuadrados. Tras la observación de las distintas fuentes de datos, se decidió utilizar una rejilla nacional (grilla) con unidades territoriales de 100 Km² cada una. La base de datos incluyó más de 80 variables, tanto físicas como socioeconómicas. Las variables contenidas en dicha base se presentan en el Anexo de este documento.

En el caso de los datos socioeconómicos se utilizaron datos de 2010. La información socioeconómica suele tener una vida útil de entre 5 y 10 años. A la escala en la que se trabajó, la información fisiográfica utilizada podría tener una vida útil de varias decenas de décadas. Esto significa que la información de esas dos fuentes, sería exactamente la misma si se trabajara el año 2011 que el año 2016. Por esta razón, se consideró que la temporalidad de la información de la base de detección podía incluir no solo una campaña, sino varias.

Este criterio tiene una ventaja estadística principal: debido a que se codificaron las celdas de la rejilla nacional (grilla) con ceros y unos, cuando no había presencia de cultivos y cuando si la había, respectivamente; al suponer que todas las campañas eran parte de la misma muestra, se redujo el número de celdas vacías, es decir, celdas con valor de cero, aumentando así la capacidad predictiva del análisis.

1.1.2. Análisis

El análisis empleado para elaborar el mapa de riesgo para cultivos ilícitos es una técnica estadística conocida como análisis logístico binomial. En este tipo de análisis existe una variable dependiente dicotómica, es decir, una variable que puede adquirir uno de dos valores: 0 y 1. En este análisis, dicha variable dependiente es predicha por una o más variables independientes que pueden ser de naturaleza dicotómica o numérica. La fórmula general para un análisis logístico binomial es la siguiente:

$$\hat{Y} = \frac{e^{B_0+B_1X_1+B_2X_2+\dots+B_nX_n}}{1 + e^{B_0+B_1X_1+B_2X_2+\dots+B_nX_n}}$$

Dónde:

\hat{Y} = Estimación de la variable dependiente en la unidad territorial.

B_i = Coeficiente para cada variable independiente, siendo B_0 una constante (ordenada al origen).

X_i = Valor de la variable independiente i en la unidad territorial.

En el caso del análisis de riesgo de cultivos ilícitos, la variable dependiente se codificó como 1 cuando, durante las campañas de detección se destruyó (erradicó) algún cultivo ilícito, marihuana y/o amapola dentro de la celda correspondiente. La misma variable se codificó como cero cuando no había sido detectado plantío alguno. De esta forma, la variable dependiente indica la presencia observada de cultivos ilícitos, independientemente de su tipo, cantidad o calidad. Las variables que entraron en el análisis fueron seleccionadas mediante dos criterios. En primer lugar, se observó si había diferencia entre los promedios de los valores de las variables para sitios con y sin destrucción (erradicación). A partir de esa observación, se seleccionaron aquellas variables que presentaban valores con diferencias importantes. Las variables finales entraron dentro del análisis logístico cuando eran variables que, bajo el principio de parsimonia, aumentaban el ajuste del modelo. Las variables seleccionadas se muestran en el Cuadro 1.

El análisis utilizó un número de casos de $N = 1,704$. Es decir, el número total de celdas únicas muestreadas durante los periodos de detección. Debido a que se trata de una muestra, fue necesario utilizar criterios de significación estadística para seleccionar las variables del análisis, que además hicieran al análisis lo más robusto posible, en términos del criterio de Akaike (AIC) y el ajuste general del modelo medido en términos de la R^2 de Nagelkerke y de la R^2 de McFadden.

Una vez obtenidos los resultados del análisis, se utilizaron los valores de los coeficientes del modelo para predecir el riesgo de presencia de cultivos ilícitos (en términos de probabilidad) para cada una de las celdas de la retícula militar nacional. Los resultados se expresaron en cinco categorías de riesgo: 1) muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto riesgo. La categorización se realizó mediante el método de estratificación de Jenks, conocido comúnmente en la paquetería de SIG como Natural Breaks. Todos los análisis estadísticos se realizaron en R v.3.1.2 (R Core Team, 2014), con las librerías *sp* (Pebesma y Bivand, 2005); *pscl* (Jackman 2012); *rms* (Harrell 2014) y *maptools* (Bivand et al. 2014).

Cuadro 1. Variables independientes seleccionadas en el modelo logístico binomial

#	Alias	Descripción	Fuente
1	PENDIENTE	Promedio de la pendiente en la celda	Calculado a partir del Modelo Digital de Terreno obtenido mediante la interpolación las curvas de nivel a cada 20 metros de INEGI.
2	MARGINACION	Promedio ponderado por población del índice de marginación de las localidades de la celda.	CONAPO
3	VEGDENS	Vegetación densa 1=Sí, 0 = No	Reclasificación de la vegetación a partir del inventario del INEGI

Cuadro 2. Variables independientes seleccionadas que no entraron en el modelo logístico binomial por principio de parsimonia o por no cumplir con criterios de significación estadística

#	Alias	Descripción	Fuente
4	PENDIENTESD	Desviación estándar de la pendiente en la celda.	Calculado del Modelo Digital de Terreno obtenido de las curvas de nivel a cada 20 metros de INEGI.
5	ALTITUD	Promedio ponderado por población del índice de marginación de las localidades de la celda.	INEGI
6	LNPOB	Logaritmo natural de la población total en localidades dentro de la celda	Cálculo a partir de información por localidad de INEGI
7	VEGOTROS	Otros tipos de vegetación	Reclasificación a partir de INEGI, versión III, 2008. Categoría latente: Bosques.
8	VEGSELVA	Vegetación: selva	
9	VEGSEC	Vegetación secundaria arbustiva	
10	DISTTRANS	Distancia del centroide de la celda al camino pavimentado más cercano.	Cálculo con información de la red carretera de INEGI.

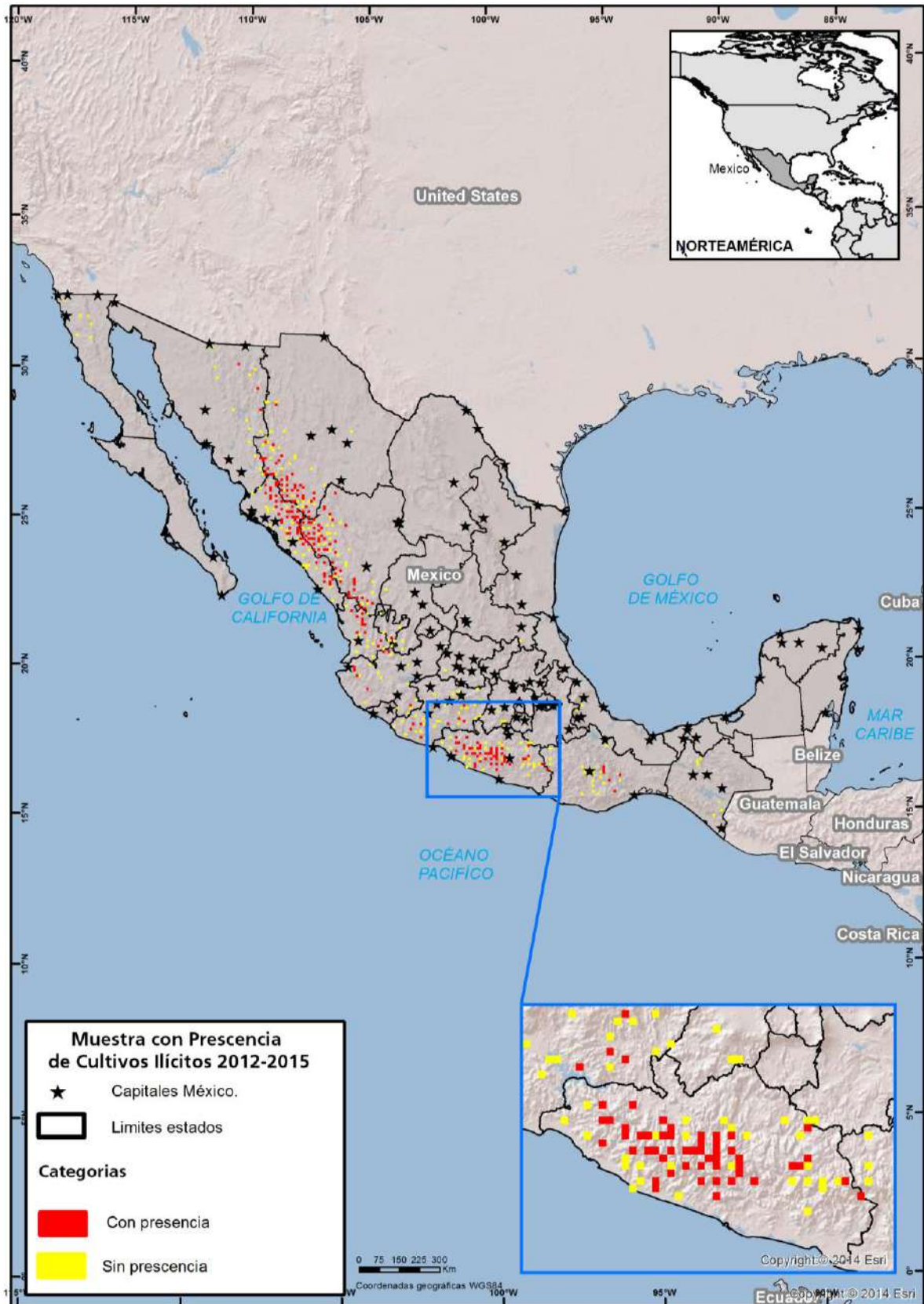
1.2. Resultados

1.2.1 Mapas descriptivos

Los mapas del 17 al 20 muestran la distribución espacial de las variables utilizadas en el análisis. El mapa de detección muestra la actividad encontrada en ocho campañas entre 2012 y 2015. Existe claramente un patrón espacial que aglomera los cultivos en los estados de la costa pacífico con una alta densidad en los estados de Chihuahua, Durango, Sinaloa, sur de Nayarit, norte de Jalisco y al sur del mismo estado en su frontera con Michoacán que además presenta actividad hacia su frontera con Guerrero. Este último, en conjunto con Oaxaca registra acciones significativas al sur del país.

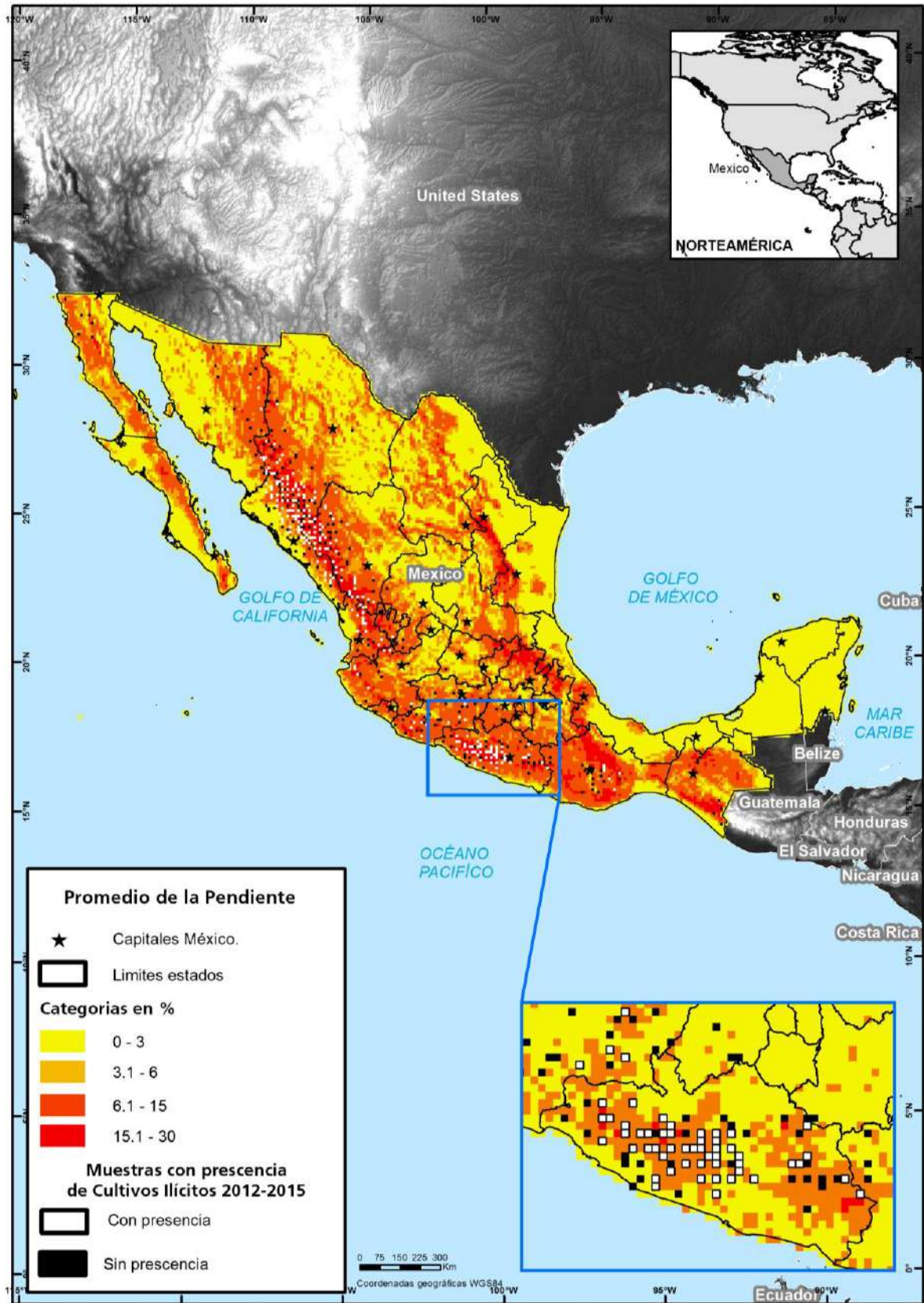
El resto de los mapas muestran las variables seleccionadas en el estudio. La observación de estos mapas, sugiere que los cultivos ilícitos se hallan en regiones de terreno con alta pendiente. Al mismo tiempo, sugieren que en áreas de destrucción histórica (erradicación) la vegetación es densa y que en términos socioeconómicos, cuentan con altos grados de marginación.

Mapa 17. Muestra con información histórica de la presencia de cultivos ilícitos en el territorio nacional



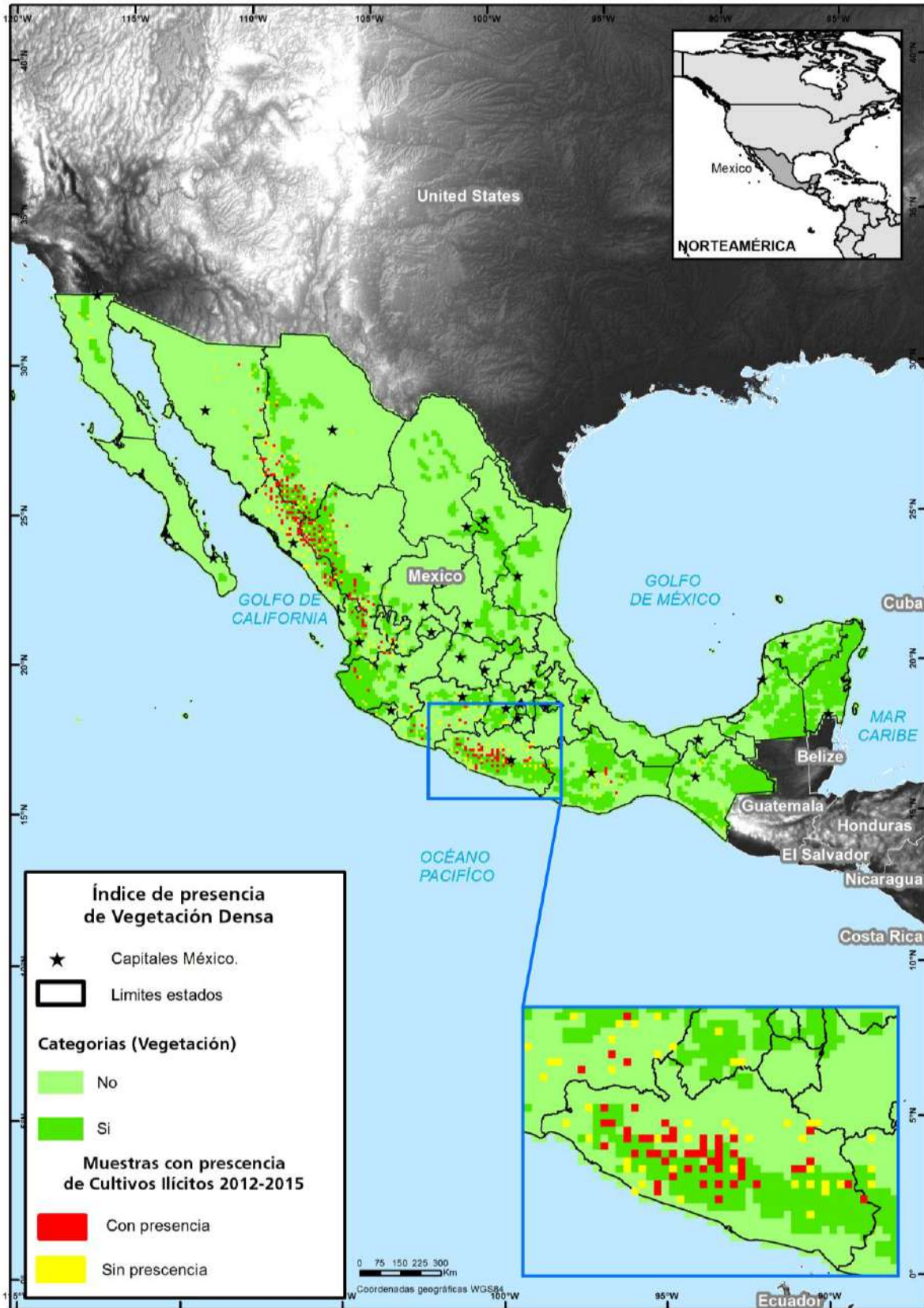
Fuente: Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en el Territorio Mexicano - apoyado por UNODC.
Los límites y los nombres utilizados en este mapa no implican la aceptación oficial por parte de la Naciones Unidas.

Mapa 18. Promedio de la pendiente a nivel nacional



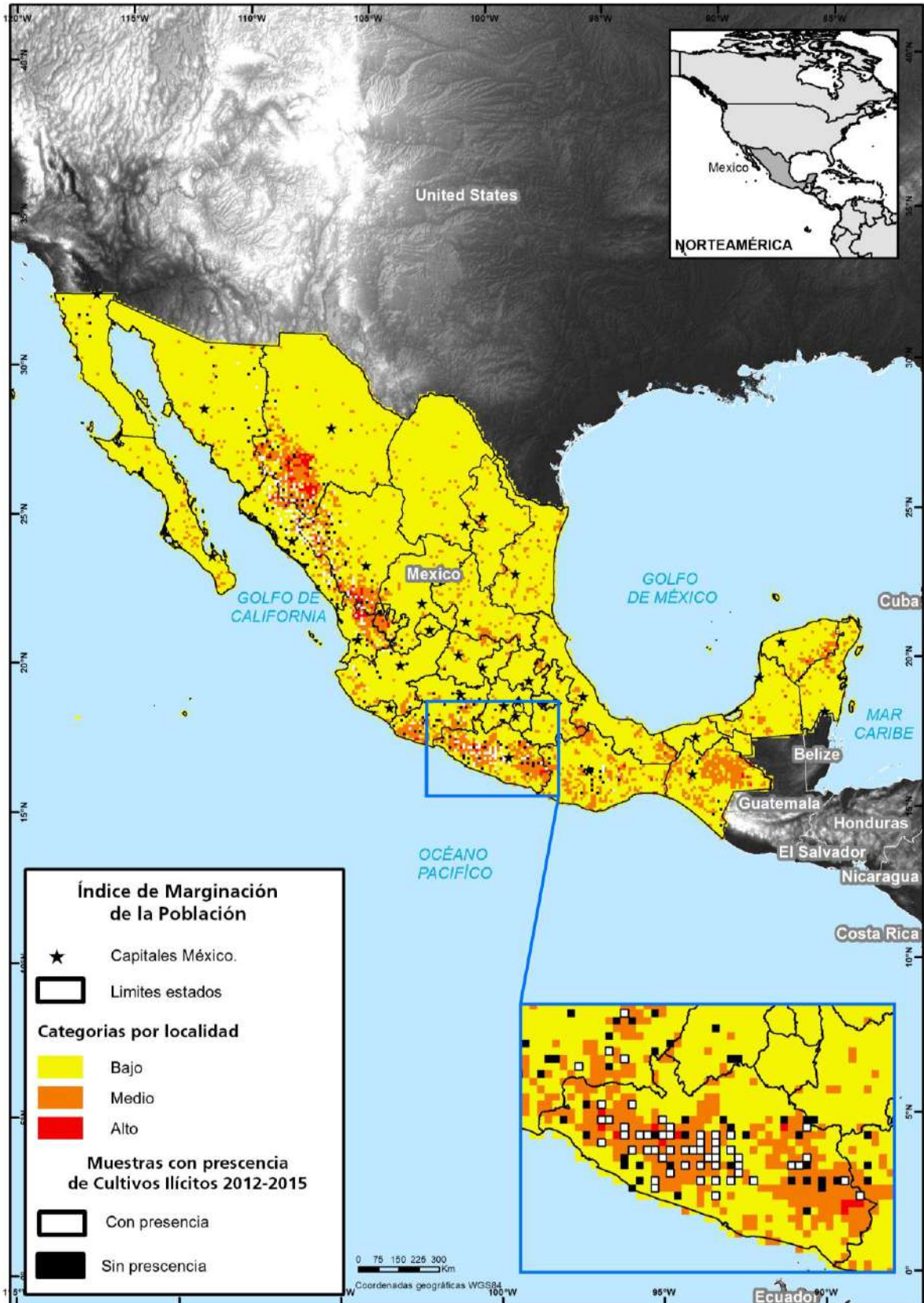
Fuente: Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en el Territorio Mexicano - apoyado por UNODC.
Los límites y los nombres utilizados en este mapa no implican la aceptación oficial por parte de la Naciones Unidas.

Mapa 19. Presencia de vegetación densa a nivel nacional



Fuente: Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en el Territorio Mexicano - apoyado por UNODC.
Los límites y los nombres utilizados en este mapa no implican la aceptación oficial por parte de la Naciones Unidas.

Mapa 20. Grado de marginación a nivel nacional



Fuente: Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en el Territorio Mexicano - apoyado por UNODC.
Los límites y los nombres utilizados en este mapa no implican la aceptación oficial por parte de la Naciones Unidas.

1.2.2 Estimación de riesgo

El modelo logístico empleado tuvo los resultados que se muestran en el cuadro 3. El ajuste del modelo según la pseudo R² de McFadden es de R²=0.23, lo que lo convierte en un modelo con un ajuste moderado, considerando el tipo de análisis. Los resultados sugieren que las variables más importantes en la predicción del riesgo para cultivos ilícitos son la marginación de la población y la vegetación. El modelo muestra que las áreas con población marginada tienen mayor probabilidad de tener cultivos ilícitos.

A medida que se duplica la marginación se produce un incremento de 105% en la probabilidad de encontrar cultivos ilícitos. En términos de vegetación, en las áreas de vegetación densa, aumenta probabilidad de cultivos ilícitos en 130%. En términos del relieve, a medida que la pendiente aumenta, se incrementa la probabilidad de tener cultivos ilícitos. Un aumento de 100% en la pendiente genera un incremento de 10% en la probabilidad de tener cultivos ilícitos.

El *mapa 21* muestra los valores predichos del modelo logístico binomial, es decir las probabilidades de existencia de cultivos ilícitos y puede ser interpretado como un mapa de riesgo actualizado que ha sido estratificado en cinco rangos. Se puede observar que en el área donde existen grandes superficies de destrucción histórica (erradicación), a lo largo de la Sierra Madre Occidental y en específico en el llamado Triángulo Dorado, así como en Guerrero y Oaxaca, se presenta el mayor riesgo. Llama la atención, el área al norte de la Sierra Madre Oriental donde el mapa muestra alto riesgo, pero no ha habido destrucción histórica (erradicación) significativa. Lo mismo sucede en el estado de Chiapas.

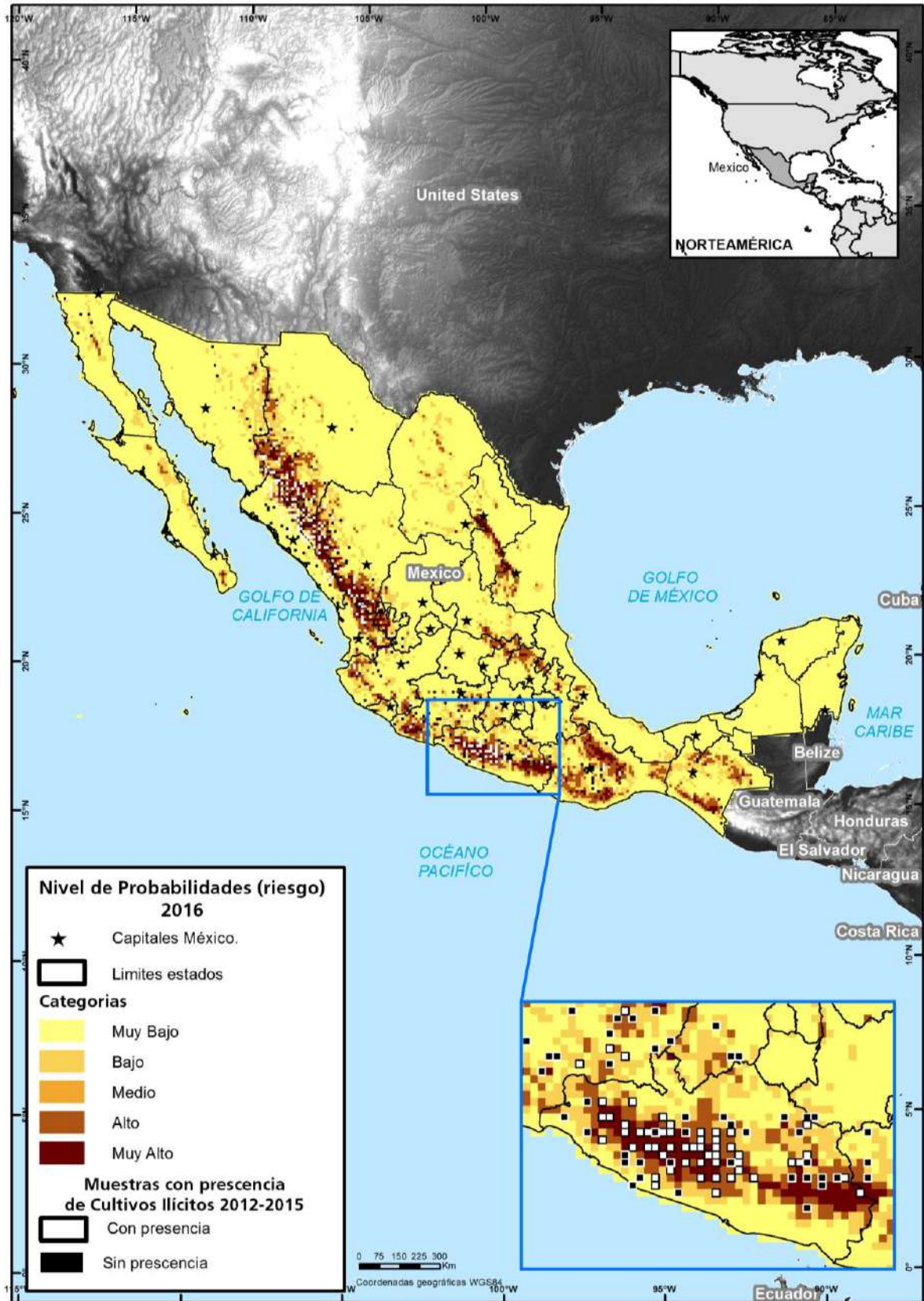
Cuadro 3. Modelo logístico binomial: presencia de cultivos ilícitos

Variable	Coficiente	Error Estándar	Odds-Ratio
Constante	-2.35	0.39	0.08
Pendiente	0.09	0.03	1.10
Marginación	0.72	0.13	2.05
Vegetación Densa	0.84	0.28	2.32

N= 1703; McFadden R² = 0.23;

Log-l (Modelo completo) = -183.3; Log-l (Sólo Constante) = -240.2

Mapa 21. Actualización de la probabilidad de riesgo para cultivos ilícitos a nivel nacional



Fuente: Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en el Territorio Mexicano - apoyado por UNODC.
Los límites y los nombres utilizados en este mapa no implican la aceptación oficial por parte de la Naciones Unidas.

ANEXO II: Características de los sensores disponibles y utilizados en el proyecto

Las imágenes satelitales proporcionadas por los diferentes sensores remotos, son el insumo principal para realizar los análisis de los cultivos de amapola. Las imágenes analizadas corresponden a la muestra con segmentos de 100 km² cada uno, los cuales fueron extraídos de manera simple y aleatoria para marcos de muestreo utilizado (erradicación y riesgo) que fueron extrapolados sobre la rejilla nacional (grilla) con segmentos de 100 km². Las imágenes utilizadas por el proyecto provienen de sensores remotos de tipo pasivo-óptico, que requieren de la energía solar para coleccionar la información.

En el *cuadro 4* se proporcionan las características de las imágenes comerciales y fotografía aérea que utiliza el proyecto.

Cuadro 4. Características de los sensores pasivos-ópticos utilizados para el monitoreo

Sensor	# Bandas	Sensor y resolución	Rango dinámico y precisión	Ancho de barrido	Altitud orbita
SPOT 6 y 7	Pancromática Roja Verde Azul Infrarroja cercano	Pancromático 1.5mts. Multiespectral 6mts.	11 bits/pixel 10 mts. CE90	60 x 180 kms.	822 kms.
Geo Eye 1	Pancromática Roja Verde Azul Infrarroja cercano	Pancromático: .46mts. Multiespectral: 1.84mts.	11 bits/pixel 5 mts. CE90	15 x 50 kms.	770 kms.
World View 2	Pancromática Roja Verde Azul Amarillo Infrarroja cercano Infrarroja medio Borde del rojo Línea de costa	Pancromático: .50mts. Multiespectral: 1.84mts.	11 bits/pixel <3.5 mts. CE90	16 x 110 kms.	770 kms.
World View 3	Pancromática Roja Verde Azul Amarillo Línea de costa Borde del rojo Infrarroja cercano Infrarrojo medio 8 bandas SWIR 12 Bandas CAVIS	Pancromático: .30mts. Multiespectral: 1.25mts. SWIR: 3.70mts. CAVIS: 30mts.	11 bits/pixel <3.5 mts. CE90	13 x 112 kms.	617 kms.
Fotografía Aérea con cámara digital réflex	Roja Verde Azul Infrarroja	Multiespectral: .25 mts.	8 bits/pixel <5 mts. CE90	En promedio 2 x 10 kms.	N/A

ANEXO III: Descripción del sensor satelital de tipo pasivo-óptico

Los sensores de tipo pasivo-óptico tienen la capacidad de capturar la radiación reflejada dentro del **espectro electromagnético**⁶¹ (figura 32). Pero existen sus ventajas y desventajas en el uso de este tipo de información satelital.

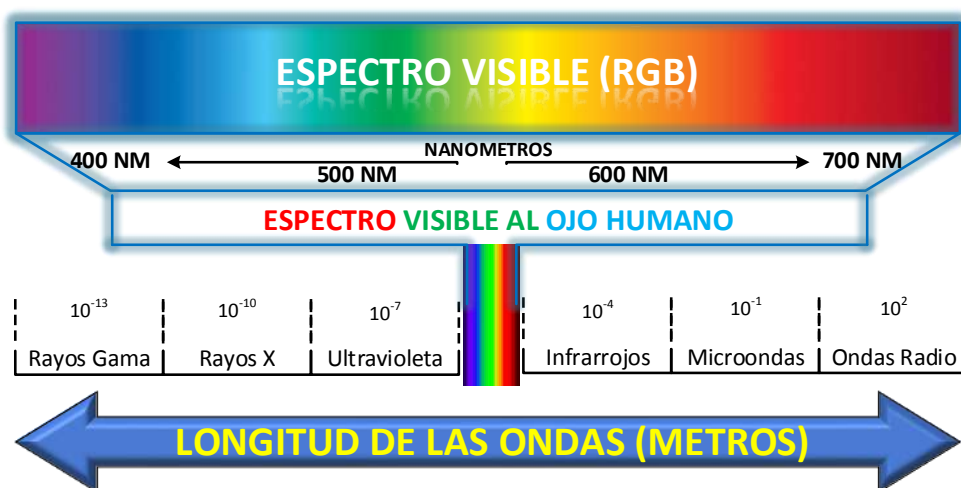
Ventajas:

- Son sensores multiespectrales con la capacidad de coleccionar información con bandas del pancromático, roja, verde, azul (RGB) así como las incluidas en la banda infrarroja lejana, media y cercana (IR-NIR), que son primordiales para la discriminación de los diferentes tipos de vegetación.
- La capacidad de colecta o cobertura de barrido (cubrimiento terrestre) oscila entre los 225 km² y los 3,750 km².
- Son imágenes de muy alta resolución con hasta 0.30 metros por pixel.

Desventajas:

- Las imágenes solo pueden ser coleccionadas durante el día, ya que requieren de una fuente de luz externa como el sol.
- Pueden verse afectadas por las condiciones atmosféricas como los aerosoles, nubosidad o neblinas que se encuentran al momento de la captura de información por el sensor y la superficie terrestre.
- A mayor resolución espacial en las imágenes utilizadas, mayor será su costo comparado con otras imágenes disponibles de manera comercial.

Figura 32. Esquema de las longitudes de onda del espectro electromagnético



FUENTE: Elaboración MEXK54 (2016)

61 Es el rango de la energía o radiaciones electromagnéticas que tienen longitudes de onda diferentes de todas las radiaciones electromagnéticas posibles. El espectro de un objeto es la distribución característica de la radiación electromagnética de ese objeto.

ANEXO IV: Descripción de la utilización de los softwares en el proyecto

Logotipo	Descripción
	<p>ArcGis: Software aplicado a los Sistemas de información Geográfica (SIG), utilizado para el análisis de fotointerpretación en imágenes y fotomosaicos; así como la creación del geodabase en el cual se integran los polígonos de los cultivos interpretados para cada periodo cuatrimestral del estudio.</p>
	<p>Global Mapper: Software aplicado a los Sistemas de información Geográfica (SIG), utilizado para crear los planes de vuelo. Con este software es muy sencillo trazar las líneas de vuelo que serán introducidas al GPS aéreo y que se utilizarán para la recolección de fotografía aérea en campo.</p>
	<p>Pix4D Mapper: Software aplicado a la fotogrametría y manejo de datos LIDAR, utilizado para el procesamiento y corrección digital de fotografías aéreas colectadas en trabajos de campo; obteniendo como producto final los fotomosaicos de muy alta resolución.</p>
	<p>R-Statistics: Software utilizado para el análisis estadístico y el cálculo de la estimación de superficie sembrada con cultivos de amapola.</p>
	<p>SOCET GXP: Software de teledetección y análisis, utilizado en el procesamiento, realce de histogramas, y corrección digital (ortorrectificación) de las imágenes satelitales de forma automatizada, lo que permite eficientar los tiempos para el análisis de los cultivos.</p>

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bivand, Roger and Nicholas Lewin-Koh (2015). mapproj: Tools for Reading and Handling Spatial Objects. R package version 0.8-36. <http://CRAN.R-project.org/package=mapproj>

Bivand, Roger S., Edzer Pebesma, Virgilio Gomez-Rubio, 2013. Applied spatial data analysis with R, Second edition. Springer, NY. <http://www.asdar-book.org/>

Cochran, William G. (1979). Sampling Techniques. Third edition.

CONAPO (2010), Anexo Metodológico en Índice de Marginación por Localidad, México, Consejo Nacional de Población.

EARTH EXPLORER, 2014 (14.02.2014): <http://earthexplorer.usgs.gov>

Harrell Jr, Frank E (2015). rms: Regression Modeling Strategies. R package versión 4.3-1. <http://CRAN.R-project.org/package=rms>

INEGI 2010, Censo Nacional de Población y Vivienda, México Instituto Nacional de Geografía y Estadística.

Jackman, Simon (2015). pscl: Classes and Methods for R Developed in the Political Science Computational Laboratory, Stanford University. Department of Political Science, Stanford University. Stanford, California. R package version 1.4.9. URL <http://pscl.stanford.edu/>

Pebesma, E.J., R.S. Bivand, 2005. Classes and methods for spatial data in R. R News 5 (2), <http://cran.r-project.org/doc/Rnews/>

R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.



UNODC

Oficina de las Naciones Unidas
contra la Droga y el Delito

Vienna International Centre, PO Box 500, 1400 Vienna, Austria,
Tel.: (+43-1) 26060-0, Fax: (+43-1) 26060-5866, www.unodc.org