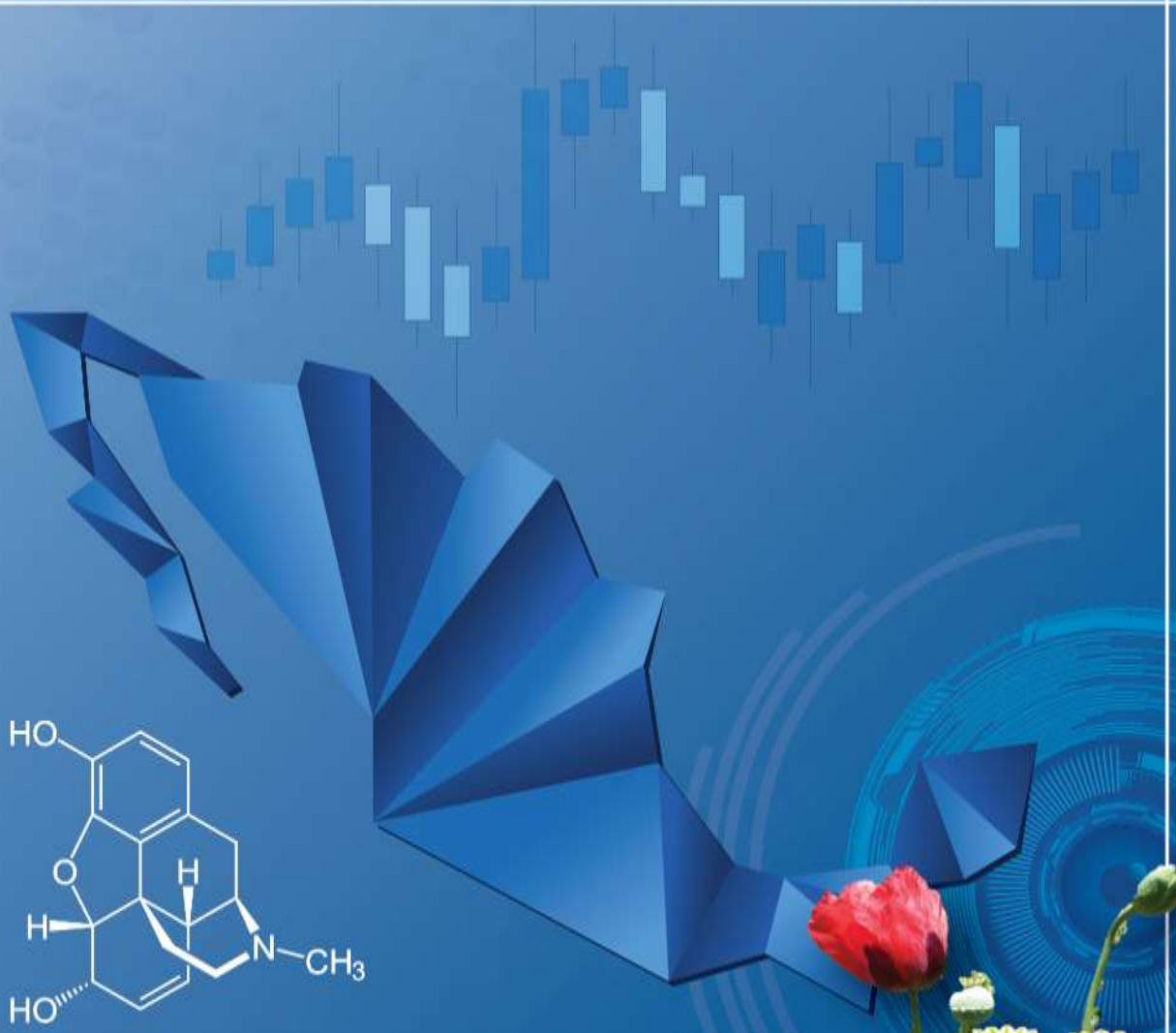
UNODC
Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito

GOBIERNO DE MÉXICO

# México

## Monitoreo de Cultivos de Amapola 2017-2018






Marzo 2020

UNODC Research

# MÉXICO

## Monitoreo de Cultivos de Amapola 2017-2018

## Marzo 2020

UNODC
Oficina de las Naciones Unidas
contra la Droga y el Delito

GOBIERNO DE
MÉXICO

**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, 2020. 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: **UNODC (2020).** ***México, Monitoreo de Cultivos de Amapola 2017-2018 (MEXK54, 2020).*** **México: Autor**

La presente publicación no puede revenderse, ni ser utilizada para ningún otro fin comercial sin la autorización previa por escrito de la UNODC. Esta 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:** 978-92-1-004968-9

Fotografías: Proyecto MEXK54 (UNODC-LPO México).
Diseño de portada: Angel Gabriel Alba Nieto (FGR-CMI-CENAPI).

Tercera edición: Marzo 2020.

Cuidado editorial por Editora Nómada
Cerro del Otate 21, Col. Romero de Terreros
Alcaldía Coyoacán, CDMX, C.P. 04310
www.editoranomada.mx

Impreso en México / *Printed in Mexico*

# AGRADECIMIENTOS

La continuidad del monitoreo de cultivos de amapola en México ha sido posible gracias a las contribuciones financieras del Gobierno Federal de México, a través de la Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE), Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA), Secretaría de Marina (SEMAR) y Fiscalía General de la República (FGR) que son las instituciones involucradas para su ejecución. Un especial agradecimiento a los mandos militares y navales de la SEDENA y la SEMAR quienes proporcionaron apoyo logístico y de seguridad para resguardar al personal de técnicos y analistas que integran el proyecto durante las actividades realizadas en trabajos de campo durante 2017 y 2018.

A los expertos de UNODC, analistas, técnicos y al grupo de seguimiento que integran este esfuerzo, por mantener su apoyo y colaboración en las actividades técnicas y logísticas del Sistema de Monitoreo de Cultivos de Amapola en México. Así como, por impulsar la presentación de este cuarto resultado nacional correspondiente al estudio de monitoreo 2017-2018.

**Al Gobierno Federal de México:**
Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE)
Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA)
Secretaría de Marina - Armada de México (SEMAR)
Fiscalía General de la República - Coordinación de Métodos de Investigación, a través del Centro Nacional de Planeación, Análisis e Información para el Combate a la Delincuencia (FGR-CMI-CENAPI)

**Al grupo de seguimiento del proyecto:**
Eduardo Jaramillo Navarrete, SRE
Gerardo Isaac Morales Tenorio, SRE
Jorge Pedro Nieto Sánchez, SEDENA
Paulo Francisco Benítez Gómez, SEDENA
Marco Antonio Chavarría Cruz, SEDENA
Alfredo Hernández Suárez, SEMAR
Luis Manuel B. Jiménez Flores, SEMAR
Alfredo Ruíz López, SEMAR
Felipe de Jesús Gallo Gutiérrez, FGR-CMI
Oscar Aarón Santiago Quintos, FGR-CMI-CENAPI
Miguel Ángel Méndez Buenos Aires, FGR-SJAI-CAIA
Edith Bautista García, FGR-CMI-CENAPI

**A la UNODC:**
Antonino De Leo, representante (LPO-México)
Angela Me, jefa del Área de Investigación y Análisis de Tendencias (Viena)
Anja Korenblik, jefa de la Unidad de Desarrollo y Gestión de Programas (Viena)
Lorenzo Vita, oficial de Investigación (Viena)
Irmgard Zeiler, experta en Estadística e Investigación (Viena)
Melinda Mancebo, experta de la sección científica de laboratorio (Viena)
Conor Crean, experto de la sección científica de laboratorio (Viena)
Antero Keskinen, experto en sensores Remotos y SIG (Viena)
Iván Alberto Trujillo Roura, asesor técnico (LPO-México, coordinación)

**A los analistas del proyecto:**
Braulio Jesús González Linares, analista
Edder Iván Acosta Gutiérrez, analista
Filimón Ramírez Rumualdo, analista
José Antonio Domínguez González, analista
José Luis González González, analista
Juan José Navarrete López, analista
María de los Ángeles Castañeda Cordero, analista
Miguel Efrén Barrios Gutiérrez, analista
Miguel Ángel Silva Bahena, analista
Manuel Sánchez Ávila, analista
Marco Antonio Vela Tapia, perito químico

**Al director y peritos químicos del Laboratorio de Química Forense de FGR:**
Por realizar los análisis químicos para determinar el contenido de morfina en las muestras de goma de opio colectadas en trabajos de campo por el proyecto durante 2017 y 2018.

**A los consultores expertos internacionales:**
Basil & Mary C. Acock, expertos internacionales de estimación de rendimiento de goma de opio, Estados Unidos.
Dick J. Brus, experto en Modelos Matemáticos y Estadísticos, Universidad de Wageningen, Países Bajos.

# ABREVIATURAS

| | |
|---|---|
| ANAB | Junta Nacional de Acreditación (por sus siglas en inglés) |
| AFI | Agencia Federal de Investigación |
| CMI | Coordinación de Métodos de Investigación |
| CE | Electroforesis capilar (por sus siglas en inglés) |
| CENAPI | Centro Nacional de Planeación, Análisis e Información para el Combate a la Delincuencia |
| CAIA | Coordinación de Asuntos Internacionales y Agregadurías |
| DB-1MS | Dimetilpolisiloxano |
| FGR | Fiscalía General de la República |
| FID | Detector de ionización de flama |
| GC | Cromatografía de gases |
| GC-EM | Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas |
| GC-FID | Cromatografía de gases con detector de ionización de flama |
| GC-MS | Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (por sus siglas en inglés) |
| HPLC | Cromatografía líquida de alta resolución |
| ICMP | Programa Global de Monitoreo de Cultivos Ilícitos (por sus siglas en inglés) |
| ICE | Programa de Calidad de Ejercicios de Colaboración Internacional |
| IG | Instituto de Geografía |
| IR-NIR | Infrarrojo lejano, medio y cercano (por sus siglas en inglés) |
| ISO | Organización Internacional de Normalización (por sus siglas en inglés) |
| ISTD | Estándar Interno |
| LOD | Límite de detección |
| LOQ | Límite de cuantificación |
| MSTFA | N-Metil-N-(trimetilsilil) trifluoroacetamida |
| NDVI | Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (por sus siglas en inglés) |
| P.CH.V. | Peso de charola vacía |
| P.CH.M. | Peso de charola con muestra |
| PFM | Policía Federal Ministerial |
| PTFE | Teflón |
| RGB | Rojo, Verde y Azul (por sus siglas en inglés) |
| SIG | Sistemas de Información Geográfica. |
| SJAI | Subprocuraduría Jurídica y de Asuntos Internacionales |
| SRE | Secretaría de Relaciones Exteriores |
| SEDENA | Secretaría de la Defensa Nacional |
| SEMAR | Secretaría de Marina - Armada de México |
| SSPC | Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana |
| UNAM | Universidad Nacional Autónoma de México |
| UNGASS | Asamblea General de las Naciones Unidas sobre el Problema de las Drogas |
| UNODC | Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (por sus siglas en inglés) |

# GLOSARIO

| Término | Definición |
|---|---|
| Adormidera (papaver somniferum) | Amapola real, especie de planta herbácea. |
| Analito | Componente, elemento, compuesto o ion de interés analítico de una muestra. |
| Análisis gravimétrico | Determinar la cantidad proporcionada de un elemento, radical o compuesto presente en una muestra, eliminando todas las sustancias que interfieren y convirtiendo el constituyente o componente deseado en un compuesto de composición definida que sea susceptible de pesarse. |
| Atomización | Fragmentación o dispersión de una cosa en partes muy pequeñas. |
| Cromatografía de gases | Método de análisis químico que permite la separación de gases de una mezcla. |
| Derivatización | Técnica utilizada en química que consiste en transformar un compuesto químico en un producto que posee una estructura química similar, llamado derivatizado o derivativo. |
| Espectro electromagnético | Es el rango de la energía o radiaciones electromagnéticas que tienen longitudes de onda diferentes a todas las radiaciones electromagnéticas posibles. |
| Espectrometría de masas | Técnica de análisis químico que permite determinar la distribución de las moléculas de una sustancia en función de su masa. |
| Fusión | Es la combinación de dos imágenes en la cual, de una, se obtiene la calidad visual (resolución espacial) y de la otra los diferentes colores (resolución espectral). |
| Multiespectral | Imágenes satelitales representadas en diferentes tonalidades de colores dentro del espectro electromagnético (bandas) de acuerdo con 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. |
| 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. |
| Geodatabase | Colección de datos espaciales (vectores o ráster) administrada como base de datos, también conocida como base de datos geográfica. |

# ÍNDICE GENERAL

**EXECUTIVE SUMMARY** ..... I
**FACT SHEET** ..... II
**ERADICATION AND SEIZURES** ..... III
**KEY FINDINGS** ..... IV
**INTRODUCTION** ..... VII
**RESUMEN EJECUTIVO** ..... VIII
**RESUMEN DE RESULTADOS** ..... IX
**RESUMEN DE ERRADICACIÓN Y ASEGURAMIENTOS** ..... X
**RESULTADOS CLAVE** ..... XI
**INTRODUCCIÓN** ..... XIV

**1. ORGANIZACIÓN Y ESTRUCTURAS DE GESTIÓN DEL PROYECTO** ..... 1

**2. RESULTADOS DE ESTIMACIÓN DE SUPERFICIE SEMBRADA CON AMAPOLA PARA EL PERIODO DE MONITOREO 2017-2018** ..... 2
- **2.1 Análisis de tendencias para la superficie sembrada con amapola entre los periodos de monitoreo 2015-2016, 2016-2017 y 2017-2018** ..... 5
- **2.2 Metodología aplicada en el monitoreo de amapola 2017-2018** ..... 7
- **2.3 Imágenes utilizadas para el monitoreo de amapola** ..... 8
- **2.4 Área de cobertura de las imágenes utilizadas para la estimación con cultivos de amapola** ..... 12
- **2.5 Subprocesos de la metodología: fotointerpretación en gabinete y su validación en trabajos de campo** ..... 15
- **2.6 Fórmulas aplicadas a la estimación estadística del periodo 2017-2018** ..... 20
  - 2.6.1 Cálculo de la varianza y covarianza en 2017-2018 para calcular los intervalos de confianza ..... 20
- **2.7 Factor de corrección por tipo de resolución aplicado a la estimación sembrada con amapola para el periodo 2017-2018** ..... 22

**3. RESULTADOS DE ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA GOMA DE OPIO PARA EL PERIODO DE MONITOREO 2017-2018** ..... 25
- **3.1 Metodología de trabajos de campo para registrar las mediciones de los cultivos de amapola** ..... 26
- **3.2 Metodología para determinar el rendimiento de la goma de opio en México** ..... 32

**4. RESULTADOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE LA GOMA DE OPIO PARA EL PERIODO DE MONITOREO 2017-2018 ..... 34**

**4.1 Metodología en trabajos de campo para colectar muestra de látex goma de opio 37**

**4.2 Metodología para determinar sólidos en las muestras de látex goma de opio ..... 40**

**4.3 Metodología para determinar contenido de morfina en goma de opio base seca . 41**

4.3.1 Validación del método ..... 43

4.3.2 Preparaciones de estándares y muestras ..... 44

4.3.3 Determinación de la concentración de morfina en las muestras de goma de opio en base seca ..... 45

**5. RESULTADOS DEL ESFUERZO NACIONAL EN ACTIVIDADES DE DESTRUCCIÓN DE PLANTÍOS ILÍCITOS ..... 48**

**5.1 Resultados del Esfuerzo Nacional ..... 48**

**ANEXO I: Características de los sensores pasivos-ópticos utilizados para el monitoreo del proyecto ..... 55**

**ANEXO II: Descripción del sensor satelital de tipo pasivo-óptico ..... 56**

**ANEXO III: Breve descripción de los softwares utilizados por el proyecto ..... 57**

**ANEXO IV: Flujo de trabajo sistemático de triple revisión ..... 58**

**ANEXO V: Árbol de decisiones para interpretación temática de cultivos de amapola. 59**

**ANEXO VI: Criterios geométricos para delimitar el área de los cultivos de amapola del 1 al 5 ..... 60**

**ANEXO VI: Criterios geométricos para delimitar el área de los cultivos de amapola del 6 al 10 ..... 61**

**ANEXO VII: Aspectos visuales para determinar la madurez de un cultivo y bulbos de amapola ..... 62**

**ANEXO VIII: Tabla de estimación de rendimientos para cada cultivo medido ..... 63**

**ANEXO IX: Tabla de porcentaje de sólidos por secado al horno ..... 64**

**ANEXO X: Tabla de concentraciones de morfina en la goma de opio ..... 65**

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 66**

## ÍNDICE DE TABLAS

*Tabla 1: Superficie estimada con cultivos de amapola (ha) nacional ..... 2*

*Tabla 2: Superficie estimada con cultivos de amapola (ha) para cada cuatrimestre ..... 2*

*Tabla 3: Periodos de colecta para las imágenes satelitales/fotografía aérea en 2017-2018. ..... 9*

*Tabla 4: Cantidad de imágenes por tipo de sensor utilizadas en cada periodo cuatrimestral. .. 10*

*Tabla 5: Resumen de la muestra colectada y analizada para el estudio 2017-2018. ..... 12*

*Tabla 6: Número de segmentos con porcentaje de cobertura para 2017-2018. ..... 13*

*Tabla 7: Cobertura total obtenida entre imágenes satelitales y fotos aéreas para 2017-2018. . 13*

*Tabla 8: Resultado de los coeficientes utilizados para el factor de ajuste 2015-2016. ..... 22*

*Tabla 9: Estimación de rendimiento de goma de opio (kg/ha) 2017-2018. ..... 25*

*Tabla 10: Estimación de producción potencial de goma seca (tm) 2017-2018. ..... 25*

*Tabla 11: Contenido de morfina (%) en la goma de opio 2017-2018 ..... 35*

*Tabla 12: Porcentajes de sólidos en el látex de la goma de opio para cada campaña durante el 2017-2018. ..... 41*

*Tabla 13: Porcentajes de contenido de morfina en las campañas de 2017-2018. ..... 46*

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

*Gráfica 1: Variación entre los estudios 2015-2016, 2016-2017 y 2017-2018 ..... 5*

*Gráfica 2: Número de cultivos amapola interpretados en estudios 2016-2017 y 2017-2018. ..... 6*

*Gráfica 3: Tamaño promedio de cultivos de amapola interpretados para los estudios 2016-2017 y 2017-2018. ..... 6*

*Gráfica 4: Cantidad de imágenes y fotos aéreas por tipo de fuente utilizadas en 2017-2018. .. 10*

*Gráfica 5: Cantidad de imágenes disponibles por segmento para el estudio 2017-2018. ..... 11*

*Gráfica 6: Porcentaje del tipo de análisis por resolución para el periodo 2017-2018. ..... 11*

*Gráfica 7: Regresión lineal (intercepto forzado a ser 0) entre hectáreas totales y hectáreas en imágenes para 2017-2018. ..... 23*

*Gráfica 8: Cromatograma de una muestra de goma de opio colectada en marzo 2018. ..... 45*

*Gráfica 9: Cromatograma de una muestra de goma de opio colectada en abril 2018. ..... 46*

*Gráfica 10: Frecuencias del contenido de morfina para la campaña de octubre 2017. ..... 47*

*Gráfica 11: Destrucción anual de amapola (ha). ..... 48*

*Gráfica 12: Destrucción de amapola por estado (ha). ..... 49*

*Gráfica 13: Destrucción anual de plantíos de amapola (Ui) ..... 49*

*Gráfica 14: Destrucción de plantíos de amapola en los principales estados (Ui). ..... 50*

*Gráfica 15: Aseguramiento anual de goma de opio en kilogramos y litros. ..... 50*

*Gráfica 16: Destrucción de plantíos amapola durante dos sexenios en unidades y hectáreas. 51*

*Gráfica 17: Aseguramientos de heroína durante dos sexenios en kilogramos y litros..... 51*

*Gráfica 18: Destrucción nacional de amapola para el 2014. ..... 52*

*Gráfica 19: Destrucción nacional de amapola para el 2015. ..... 53*

*Gráfica 20: Destrucción nacional de amapola para el 2016. ..... 53*

*Gráfica 21: Destrucción anual de amapola para el 2017. ..... 54*

*Gráfica 22: Destrucción anual de amapola para el 2018. ..... 54*

## ÍNDICE DE FIGURAS

*Figura 1: Instituciones participantes en el proyecto de monitoreo. ..... 1*

*Figura 2: Etapas generales de la metodología del proyecto. ..... 7*

*Figura 3: Sensores utilizados por el proyecto. ..... 8*

*Figura 4: Ejemplo de resolución máxima y mínima de sensores utilizados para el monitoreo. ... 9*

*Figura 5. Diagrama metodológico del proyecto de monitoreo en México. ..... 16*

*Figura 6: Etapa fenológica del cultivo de amapola. ..... 26*

*Figura 7: Ejemplo del formulario uno para las características físicas por campo de amapola... 29*

*Figura 8: Ejemplo del formulario dos para la medición de parcelas y bulbos por campo de amapola. ..... 30*

*Figura 9: Estructuras químicas de los principales alcaloides de la goma de opio. ..... 42*

*Figura 10: Derivatización de la morfina. ..... 43*

## ÍNDICE DE FOTOS

*Foto 1: Identificación de un cultivo de amapola con fotografía aérea en etapa de madurez. .... 28*

*Foto 2: Modalidades de traslados hacia las áreas de los cultivos de amapola. ..... 28*

*Foto 3: Actividades en trabajos de campo para realizar mediciones a cultivos de amapola .... 31*

*Foto 4: Taller técnico de rendimiento de goma de opio en instalaciones de CENAPI-FGR en Ciudad de México. ..... 32*

*Foto 5: Características visuales de la madurez tecnológica de un bulbo de amapola. ..... 37*

*Foto 6: Herramientas utilizadas por el agricultor para la colecta de goma de opio..... 38*

*Foto 7: Actividades para la colecta de látex de goma de opio. ..... 39*

*Foto 8: Secado de muestras para determinar el porcentaje de sólidos de goma de opio. ..... 40*

*Foto 9: Cromatógrafos empleados para cuantificación y confirmación de látex goma de opio.. 44*

## ÍNDICE DE MAPAS

*Mapa 1: Área total con cultivos de amapola interpretada en cada segmento en el monitoreo de 2017-2018. ..... 4*

*Mapa 2: Distribución de los 300 segmentos de la muestra con su porcentaje de cubrimiento promediado con los tres periodos cuatrimestrales para 2017-2018..... 14*

*Mapa 3: Ubicación de la muestra compuesta por 300 segmentos para la colecta de imágenes satelitales y fotografías aéreas del estudio de monitoreo 2017-2018..... 17*

*Mapa 4: Marco de muestreo estratificado por probabilidades/riesgo, utilizado para la selección de la muestra del estudio 2017-2018..... 18*

*Mapa 5: Área nacional de probabilidades/riesgo para cultivos de amapola por factores determinantes. ..... 19*

*Mapa 6: Cantidad de segmentos de la muestra (100 km$^2$) con fotografías aéreas colectadas en los trabajos de campo para el estudio de monitoreo 2017-2018..... 24*

*Mapa 7: Ubicación de los cultivos de amapola medidos para obtener su rendimiento de goma de opio en 2017-2018. ..... 27*

*Mapa 8: Ubicación de los cultivos de amapola que fueron visitados para obtener una muestra de látex de goma de opio para el contenido de morfina en 2017-2018..... 35*

# EXECUTIVE SUMMARY

This report presents the fourth results of the monitoring period 2017–2018 including the estimation of the total area cultivated with poppy (ha), the yield of opium gum (kg/ha), the potential production of dry opium (mt) and the concentration of morphine in the opium gum (%). Furthermore, eradication and seizures reported and based on the efforts to eradicate illicit crop cultivations by the Government of Mexico are presented in the report.

The results of this survey and the eradication data from the Government show that the main areas of poppy cultivations are located in the states of Sinaloa, Chihuahua and Durango (also known as the “Golden Triangle”), as well as in the states of Guerrero and Nayarit. Most poppy cultivations are found in remote areas with unpaved roads and trails that are difficult to access.

For the 2017-2018 study, the results of the opium poppy cultivation area were obtained through the analysis and identification of the opium poppy crops with satellite images and verified with aerial photography collected by overflights in field work. The 2017-2018 study was conducted under the same methodology used in 2016-2017, and thus results are statistically comparable.

In addition, opium gum yield and morphine content estimation results were obtained through measurements and data collection during four field work campaigns between October 2017 and April 2018.

This can be seen as a first effort to provide reliable yield and production estimates in Mexico according to the international standards. The objective of the project is to continue updating the yield figures at each annual survey and, in the medium term, to develop a unique mathematical model for the Mexican case. In order to achieve this, the project will continue working on improving the data collection protocols.

## FACT SHEET *

| | 2016-2017 | 2017-2018 | Change (%) |
|---|---|---|---|
| **Area under poppy cultivation (ha)** | | | |
| **National** | **30,600** (22,800 to 38,400) | **28,000** (21,200 to 34,800) | -9% |
| **Yield, opium gum (kg/ha)** | | | |
| **National** | NA | **16.1** (10.8 to 21.3) | NA |
| North region (Sinaloa and Chihuahua) | NA | **18.5** (14.6 to 22.5) | NA |
| South region (Guerrero) | NA | **13.3** (11.0 to 15.7) | NA |
| **Potential dry opium gum production (mt)** | | | |
| **National** | NA | **450** (267 to 633) | NA |
| **Morphine concentration in opium gum (%)** | | | |
| **National** | NA | **16.2** (± 0.24%) | NA |
| North region (Sinaloa and Chihuahua) | NA | **15.5** (± 0.24%) | NA |
| South region (Guerrero) | NA | **16.9** (± 0.24%) | NA |

*Source:* UNODC and Government of Mexico (Area, Yield and Production estimates), Government of Mexico through their Attorney General's Forensic Chemistry Laboratory (Morphine concentration).

*****NA stands for "Not available" since the surveys/analyses were not implemented in 2016-2017.*

*Monitoring period is from the 1st of July to 30th June of the following year. Numbers in the table are rounded. Change percentages are calculated with exact estimates.*

*Area figures are rounded to the nearest hundred. Estimates may exclude areas that were eradicated after the acquisition date of the satellite imagery.*

*National opium production is calculated based on national area and national yield estimates.*

*Values in brackets for area, yield and production estimates indicate the 95% confidence interval (the range between the maximum and minimum value of the statistical method used).*

*Values in brackets for morphine concentration results indicate expanded uncertainty of the chemical analysis.*

## ERADICATION AND SEIZURES [1]

| | 2017 | 2018 | Change (%) |
|---|---|---|---|
| **Eradicated poppy reported by the Government [2]** | | | |
| Area eradicated (ha) | 29,692 | 23,625 | -20% |
| Number of poppy fields | 202,487 | 199,791 | -1% |
| **Seizures of poppy products reported by the Government [2]** | | | |
| Opium gum (kg) | 779 | 346 | -56% |
| Poppy seeds (kg) | 1,170 | 599 | -49% |
| **Seizures of opium gum products reported by the Government [2]** | | | |
| Morphine (l) | 390 | 141 | -64% |
| Heroin (l) | 0 | 37 | NA |
| Heroin (kg) | 358 | 496 | 39% |
| **Destruction of illicit laboratories reported by the Government [2]** | | | |
| Number of laboratories | 9 | 9 | 0% |

*Source:* Government of Mexico.

1 Numbers in the table are rounded. Differently from the survey activities, the reporting period for eradication, seizures and laboratory destruction corresponds to the calendar year.
2 Results of the Government of Mexico eradication efforts, reported by FGR, through CMI and its CENAPI. The results are not verified by UNODC.

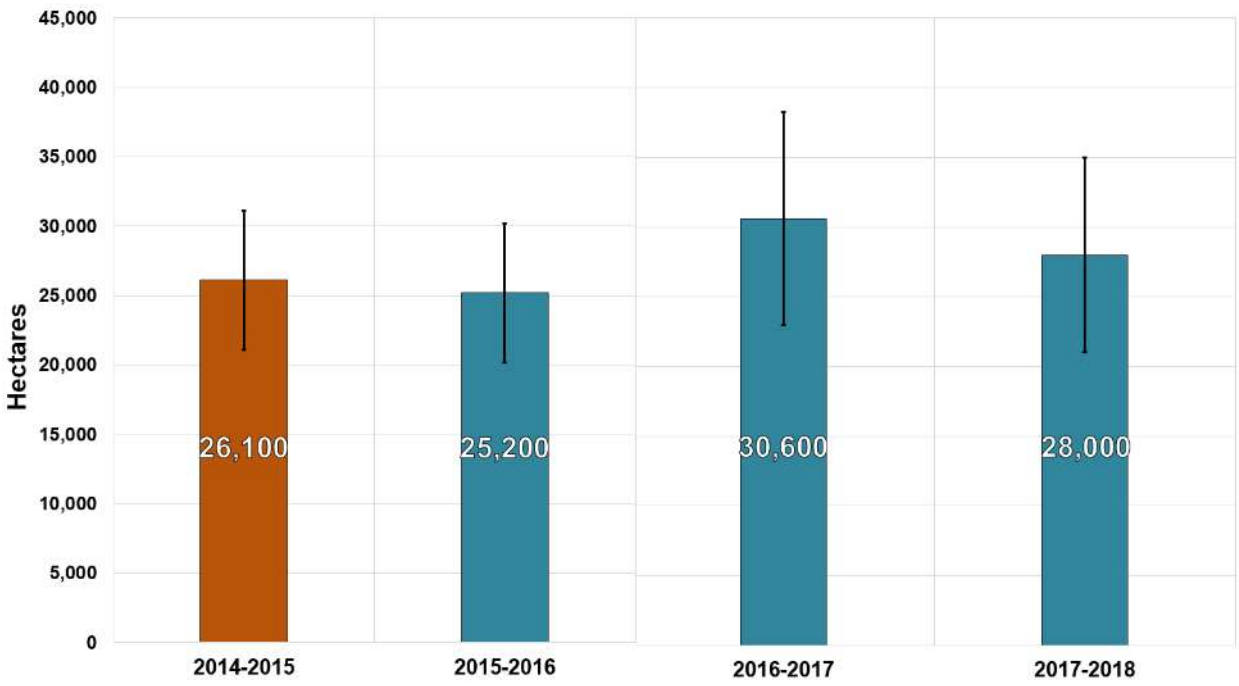
# KEY FINDINGS

## Area under opium poppy cultivation in 2017-2018

The total cultivated area of poppy in Mexico was estimated at 28,000[3] hectares, with a statistical range[4] of 21,200 to 34,800 hectares between July 2017 and June 2018. In comparison to the period monitored in 2016-2017 poppy cultivation decreased slightly by 9% or 2,600 ha.

The 2017–2018 report, finds that poppy cultivation is mainly located in the mountainous region of the *Sierra Madre Occidental* concentrated in the zone known as the "Golden Triangle" where the states of Sinaloa, Chihuahua and Durango converge. Large concentrations are also found in the north of Nayarit and in the state of Guerrero along the mountainous region of the *Sierra Madre del Sur*.

*Graph: Estimated areas under opium poppy cultivation for the periods 2014-2015,[5] 2015-2016, 2016-2017 and 2017-2018.*




*Source:* UNODC/Government of Mexico.

## Yield of opium gum in 2017–2018

The national average opium yield was estimated at 16.1 kilograms per hectare in 2017-2018. Yields in North region (Sinaloa and Chihuahua) and South region (Guerrero) were estimated at 18.5 kg/ha and 13.3 kg/ha, respectively.

3 The estimate may include areas that were eradicated after the acquisition date of the satellite images. Figures are rounded to the nearest hundred. Percent changes were calculated over the exact figures.
4 Corresponds to a 95% confidence interval. The range does not include non-sampling errors, e.g. the errors that can be made during the interpretation of satellite images and aerial photos.
5 The results of the 2014-2015 study are not comparable with the subsequent years, due to the updates implemented in the methodology from the 2015-2016 study onwards.

### Potential production of dry opium gum in 2017–2018

The national potential production of dry opium gum was estimated at 450 tons (mt) in 2017-2018. The potential production was calculated using the national cultivation area and yield estimates, not weighted by cultivation regions (north and south). The sampling design for area estimates only allows to calculate a national figure (is not possible to break down into regional estimates). Therefore, for calculating the production only the national yield estimate (16.1 kg/ha) is taken into account.

### Chemical analysis of the opium gum in 2017–2018

The national morphine concentration in opium gum was determined to be 16.2%. The analysis results for North region (Sinaloa and Chihuahua) and South region (Guerrero) were 15.5% and 16.9%, respectively. In total, the morphine content in opium gum of 161 opium poppy crops was determined.

### Eradication and seizures in 2017–2018

The Government of Mexico[6] reported a total amount of 23,625 hectares of opium poppy eradication by the end 2018[7], a reduction of 20% of eradicated hectares in 2018 compared to 2017. The average size of the eradicated poppy fields in 2017 was 0.15 hectares, while in 2018 it was 0.11 hectares, corresponding to a decrease of 27% between the two years. The seizures of opium gum, poppy seeds and morphine products decreased -56%, -49% and -64%, respectively, whereas the seizures of heroin increased from 2017.

### Analysis of the results

There is no single explanation for the 9% decrease in opium poppy cultivation between 2016-2017 and 2017-2018. Research in countries with the problem of poppy cultivation (Afghanistan and Myanmar) shows that the main reasons for the existence of opium poppy cultivation reflect socio-economic needs where marginalization, poverty, limited employment opportunities, lack of health and education services, limited access to markets and problems related to the rule of law and security predominate.

Another important factor to consider in explaining trends in opium poppy cultivation in Mexico is the fluctuations in opium gum prices reported in the past World Drug Reports. Unfortunately, there is no opium price data collection/database system in the country that can be integrated into the analysis of opium poppy cultivation trends.

The Government of Mexico, through the MEXK54 project, continues to work to have a better understanding of these socio-economic factors that explain the causes of the incidence of opium poppy cultivation. This is essential to guide policies that will help to reduce opium poppy cultivation and effectively promote comprehensive and sustainable development.

For the first time the project collected enough data to estimate the yield of opium gum in dry base (kilograms per hectare harvested) with four field campaigns, where data and measurements were collected from 161 opium poppy fields during the period from October 2017 to April 2018[8]. Data from 76 fields were used for the estimates, after the data cleaning process.

6 The General Attorney´s Office (FGR), through the Coordination of Investigation Methods (CMI) and its National Center for Planning, Analysis and Information to Combat Crime (CENAPI).
7 The reported figures may exclude areas that were eradicated after the acquisition date of the satellite imagery.
8 Yield survey was conducted using the methodology described in the "*Guidelines for yield assessment of opium gum and coca leaf*" published by UNODC in 2001. See more details in Chapter 3.1 (pages 50-55).

The morphine content in opium gum of 161 opium poppy crops was determined based on the analysis of the opium gum latex samples collected during the yield survey. The results of the laboratory validation showed that the method used is accurate and stable. The analysis and validation were conducted by the Laboratory of Forensic Chemistry of the Attorney General's Office[9].

A 20% decline was observed in the poppy cultivations area eradicated between 2017 and 2018, despite the fact that the reported number of fields eradicated remained stable (-1%). This is explained by the smaller fields size in the areas of intervention in 2018. Nevertheless, the remote sensing data do not confirm this trend at national level[10]. Eradication data cannot be placed in the context of cultivation area ones because of the different monitoring/reporting periods and since the reported eradication may have occurred before or after the poppy field detection from satellite imagery.

9 The laboratory participates in the forensic analysis exercises of the International Collaborative Exercises (ICE) of the UNODC's International Quality Assurance Programme (IQAP) since 2013, and by the National Accreditation Board (ANAB) for having demonstrated its technical competence in forensic analysis since 2015, in addition to operating under the criteria of the International Organization for Standardization (ISO 17025). See more details in Chapters 4.1,4.2 and 4.3 (pages 37-43).
10 See more details in the Chapter 2.1 (pages 5-6) on trend analysis for the area under opium poppy cultivation.

# INTRODUCTION

Mexico has concluded the three report of the project MEXK54 "*Monitoring System of Illicit Crops in the Mexican Territory*". For the first time, the report contains the results of all three project objectives for the monitoring period 2017–2018: *1)* estimated cultivation area of poppy fields*, 2)* opium gum yield and production estimates, and *3)* morphine concentration in the opium gum. In addition, the report includes eradication and seizure information reported by the Government of Mexico.

In this report, the main results for each of the three objectives are presented in line with national and international commitments on the matter. The production of such evidence and scientific data will allow Mexico to better understand the trends in cultivation and production of opium poppy, making the report fundamental to the planning of comprehensive public policies to reduce supply and mitigate the social consequences of the illicit drug market.

The monitoring of poppy fields in Mexico is implemented by the project MEXK54, under the technical framework of UNODC´s global "Illicit Crop Monitoring Programme" (ICMP). The objective of the ICMP is to support Member States with the problems of illicit crop cultivation, including main coca-producing countries (Colombia, Peru and Bolivia); opium poppy countries (Afghanistan, Myanmar and Mexico); and Nigeria with cannabis.

The report demonstrates the commitment of the project stakeholders to pursue implementing international efforts to generate public policies for the attention of the drug problem with reliable, scientific evidence-based data and statistics that are reflected in the annual UNODC reports. The research and trend analysis can help to better understand the phenomenon of poppy cultivation and drug production in Mexico, design public policies to address the problems, discourage illicit activities and identify needs for alternative development of the communities violated by these activities.

In line with the above, the project MEXK54 contributes to the implementation of the outcome of the United Nations General Assembly Special Session on drugs (UNGASS) in 2016 regarding the problem of drugs. UNGASS recognized the need to harmonize drug policies worldwide with efforts to achieve the goals set forth in the 2030 Agenda for Sustainable Development.

The project is currently focusing on the results of 2018-2019 to be published in the second half of 2020. The report will include the opium poppy cultivation area, yield and production estimates as well as the morphine concentration analyses, and thus will be directly comparable to the results of the 2017-2018 survey.

# RESUMEN EJECUTIVO

En este informe se presenta el cuarto resultado correspondiente al período de monitoreo 2017-2018, el cual incluye la estimación de la superficie sembrada con amapola (ha), estimación del rendimiento de la goma de opio (kg/ha), la producción potencial de goma de opio seco (tm) y la concentración de morfina en la goma de opio (%). Además, en el informe se presentan resultados del esfuerzo nacional de erradicación de cultivos de amapola y aseguramientos de sus derivados, reportado por el Gobierno de México.

Los resultados de este estudio y los datos de erradicación nacional del gobierno muestran que las principales áreas de siembra del cultivo de amapola se localizan en el estado de Guerrero, Nayarit y en el Triángulo Dorado (Sinaloa, Chihuahua y Durango). En su mayoría, los cultivos de amapola se ubican en zonas remotas y de difícil acceso como caminos de tercer orden (terracería) o veredas.

Para el estudio 2017-2018, los resultados de área sembrada con amapola se obtuvieron mediante el análisis e identificación de los cultivos de amapola con imágenes de satélite y verificados con fotografía aérea colectada por sobrevuelos en trabajos de campo. El estudio 2017-2018 fue realizado bajo la misma metodología utilizada en 2016-2017, por lo que ambos resultados son estadísticamente comparables.

Además, los resultados de estimación de rendimiento de goma de opio y contenido de morfina se obtuvieron mediante mediciones y colecta de datos durante cuatro campañas de trabajos de campo entre los meses de octubre 2017 y abril 2018.

Es importante que este resultado sea observado como un esfuerzo inicial del proyecto en proveer información confiable sobre el rendimiento y producción de goma de opio de acuerdo con los estándares internacionales. El objetivo del proyecto es continuar actualizando las estimaciones de rendimiento anualmente y, a mediano plazo, desarrollar un modelo matemático único para México. Para ello, el proyecto continúa trabajando en la mejora del protocolo de colecta de datos.

## RESUMEN DE RESULTADOS *

| | 2016-2017 | 2017-2018 | Variación (%) |
|---|---|---|---|
| **Estimación de superficie sembrada con amapola (ha)** | | | |
| **Nacional** | **30,600** (22,800 a 38,400) | **28,000** (21,200 a 34,800) | -9% |
| **Estimación de rendimiento de goma de opio (kg/ha)** | | | |
| **Nacional** | NA | **16.1** (10.8 a 21.3) | NA |
| Región norte (Sinaloa y Chihuahua) | NA | **18.5** (14.6 a 22.5) | NA |
| Región sur (Guerrero) | NA | **13.3** (11 a 15.7) | NA |
| **Estimación de producción potencial de goma de opio seco (tm)** | | | |
| **Nacional** | NA | **450** (267 a 633) | NA |
| **Contenido de morfina en la goma de opio (%)** | | | |
| **Nacional** | NA | **16.2** (± 0.24%) | NA |
| Región norte (Sinaloa y Chihuahua) | NA | **15.5** (± 0.24%) | NA |
| Región sur (Guerrero) | NA | **16.9** (± 0.24%) | NA |

*Fuente:* UNODC y Gobierno de México (estimación de superficie con amapola, rendimiento y producción potencial de goma de opio), Gobierno de México a través de su Laboratorio de Química Forense de la Fiscalía General de la República (contenido de morfina).

*****NA significa "No Disponible", los estudios/análisis no fueron realizados en 2016-2017.*

*El periodo de monitoreo abarca desde el 1° de julio hasta el 30 de junio del año subsecuente. Los resultados numéricos de la tabla están redondeados. Los porcentajes de variación se calculan con estimaciones exactas.*

*Los resultados de área están redondeados a la centena próxima. Las estimaciones pueden incluir zonas que fueron erradicadas después de la fecha de adquisición de las imágenes satelitales.*

*La producción nacional de goma de opio se calculó según las estimaciones de superficie sembrada con amapola y el rendimiento, ambos a nivel nacional.*

*Los valores entre los paréntesis de estimación de superficie con amapola, rendimiento y producción potencial de goma de opio indican el intervalo con nivel de confianza del 95% (intervalo entre el valor mínimo y máximo del método estadístico utilizado).*

*Los valores entre paréntesis de los resultados de la concentración de morfina indican la incertidumbre expandida del análisis químico.*

## RESUMEN DE ERRADICACIÓN Y ASEGURAMIENTOS [11]

| | 2017 | 2018 | Variación (%) |
|---|---|---|---|
| **Erradicación nacional de plantíos de amapola por tipo [12]** | | | |
| Erradicación en hectáreas (ha) | 29,692 | 23,625 | -20% |
| Cantidad de cultivos (UI) | 202,487 | 199,791 | -1% |
| **Aseguramientos e incautación nacional de productos derivados de la amapola [12]** | | | |
| Goma de opio (kg) | 779 | 346 | -56% |
| Semillas de opio (kg) | 1,170 | 599 | -49% |
| **Aseguramientos e incautación nacional de productos derivados de la goma de opio [12]** | | | |
| Morfina (l) | 390 | 141 | -64% |
| Heroína (l) | 0 | 37 | NA |
| Heroína (kg) | 358 | 496 | 39% |
| **Destrucción nacional de laboratorios clandestinos de heroína [12]** | | | |
| Cantidad de laboratorios (UI) | 9 | 9 | 0% |

*Fuente:* Gobierno de México.

11 Los resultados en la tabla están redondeados al entero próximo y corresponden al Esfuerzo Nacional del Gobierno de México: resultados anuales derivados de las operaciones institucionales realizadas por los tres órdenes de gobierno, que permiten aplicar estrategias y líneas de acción para acotar y combatir al narcotráfico y a la delincuencia organizada. Los resultados son diferentes a las actividades de monitoreo, los datos reportados de erradicación, aseguramientos y destrucción de laboratorios clandestinos se refieren al año calendario.

12 Resultados del Esfuerzo Nacional del Gobierno de México, reportado por la Fiscalía General de la República/Coordinación de Métodos de Investigación, a través de su Centro Nacional de Planeación, Análisis e Información para el Combate a la Delincuencia (FGR/CMI-CENAPI). Los resultados no son verificados por UNODC.

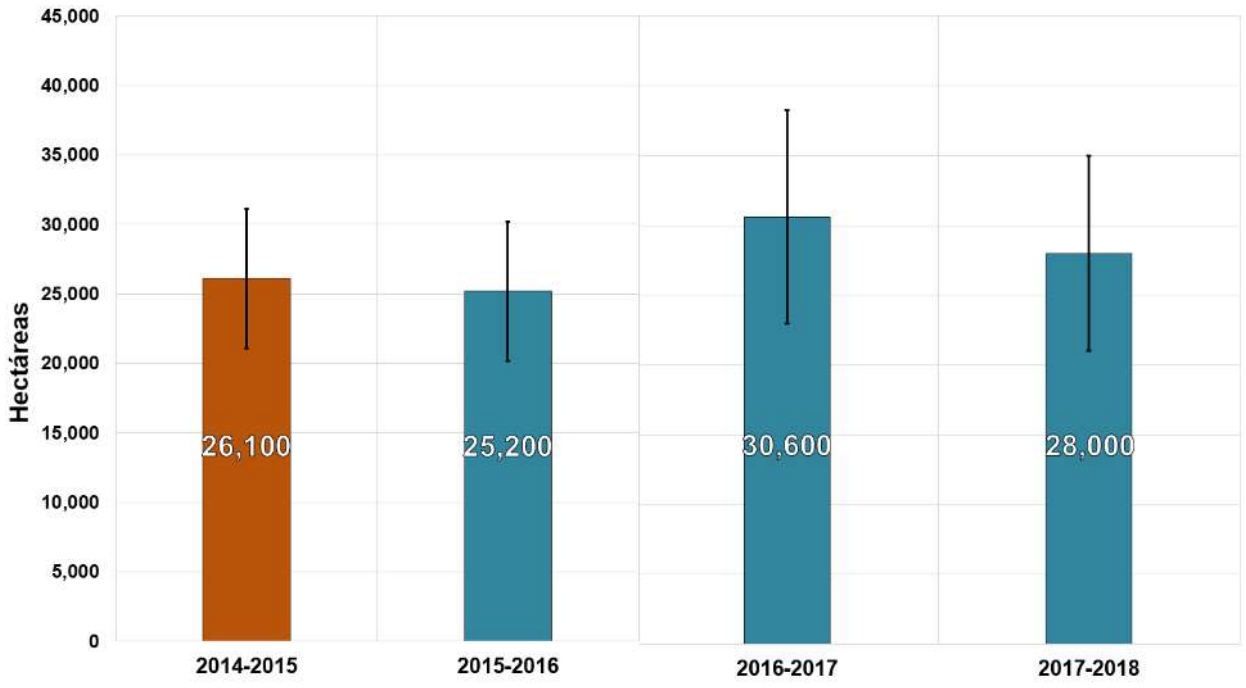
# RESULTADOS CLAVE

## Superficie de cultivo de amapola en 2017-2018

La superficie total de amapola en México se estimó en 28,000[13] hectáreas, con un rango estadístico[14] de 21,200 a 34,800 hectáreas entre julio de 2017 y junio de 2018. En comparación con el período monitoreado en 2016-2017, el cultivo de amapola disminuyó ligeramente en un 9%, es decir, 2,600 hectáreas.

Para el estudio 2017-2018 se observó que la siembra de amapola se ubica principalmente en la *Sierra Madre Occidental*, concentrada en el denominado Triángulo Dorado donde convergen los estados de Sinaloa, Chihuahua y Durango; al norte del estado de Nayarit; en la *Sierra Madre del Sur* en el estado de Guerrero.

*Gráfica. Superficies estimadas de cultivo de amapola para los estudios 2014-2015,[15] 2015-2016, 2016-2017 y 2017-2018.*




*Fuente:* UNODC/Gobierno de México.

## Rendimiento de la goma de opio en 2017-2018

El rendimiento promedio nacional de goma de opio se estimó en 16.1 kilogramos por hectárea en 2017-2018. Los rendimientos en la región norte (Sinaloa y Chihuahua) y la región sur (Guerrero) se estimaron en 18.5 y 13.3 kilogramos por hectárea, respectivamente.

13 La estimación puede incluir zonas que fueron erradicadas después de la fecha de adquisición de las imágenes satelitales. Los resultados en la tabla están redondeados al entero próximo. El cambio del porcentaje se calculó sobre las cifras exactas.
14 Corresponde a un intervalo con nivel de confianza del 95%. El rango no incluye errores no muestrales, como lo son errores susceptibles de cometerse en la fotointerpretación de las imágenes satelitales y fotos aéreas.
15 Los resultados del estudio 2014-2015 no son comparables con los años posteriores, debido a las actualizaciones implementadas en la metodología a partir del estudio 2015-2016.

### Producción potencial de goma de opio seco en 2017-2018

La producción nacional potencial de goma de opio seca se estimó en 450 toneladas (tm) de julio de 2017 a junio de 2018. La producción potencial se calculó utilizando las estimaciones del promedio nacional de superficie sembrada con amapola y el rendimiento de goma de opio, esto no considera el peso de las regiones de cultivo (norte y sur). El muestreo utilizado para la estimación de superficie sembrada permite solamente un cálculo nacional (por el momento no es posible estimar a nivel regional). Por lo tanto, para calcular la producción potencial de goma de opio seco se ha utilizado únicamente el resultado de estimación de rendimiento a nivel nacional (16.1 kg/ha).

### Análisis químico de la goma de opio en 2017-2018

Se determinó el contenido de morfina en la goma de opio de un total de 161 cultivos de amapola. La concentración nacional de morfina en la goma de opio para el periodo reportado fue de 16.2%. Los resultados de este análisis para la región norte (Sinaloa y Chihuahua) y la región sur (Guerrero) fueron del 15.5% y 16.9%, respectivamente.

### Erradicación y aseguramientos en 2017-2018

El gobierno de México[16] informó que la erradicación a nivel nacional para el año 2018 fue de 23,625 hectáreas de amapola[17], esto refleja una reducción del 20% de las hectáreas erradicadas con respecto a 2017. El tamaño promedio de los cultivos de amapola erradicados en 2017 fue de 0.15 hectáreas, mientras que en 2018 era de 0.11 hectáreas, lo que corresponde a una disminución del 27% entre los dos años. Los aseguramientos de derivados de la amapola, como: goma de opio, semillas de opio y morfina disminuyeron en un -56%, -49% y -64%, respectivamente, mientras que las incautaciones de heroína aumentaron a partir de 2017.

### Análisis de los resultados

No existe un solo factor que pueda explicar la diminución del 9% del cultivo de amapola entre 2016-2017 y 2017-2018. Las investigaciones que se han realizado en países con esta problemática (Afganistán y Myanmar) demuestran que los factores principales para la existencia de siembra de amapola responden a necesidades socioeconómicas donde predomina la marginación, pobreza, escasas oportunidades de empleo, la falta de servicios de salud y educación, el acceso limitado a los mercados, así como a problemas relacionados con el Estado de derecho y la seguridad.

Otro factor importante para considerar en la explicación de las tendencias del cultivo de amapola en México, son las fluctuaciones en los precios de la goma de opio reportadas en pasados Informes Mundiales sobre las Drogas. Lamentablemente, en el país no existe un sistema de levantamiento de datos/base de datos de precios de la goma de opio que pueda integrarse en el análisis de las tendencias del cultivo de amapola.

El Gobierno de México, a través del proyecto MEXK54, continúa trabajando para tener una mejor comprensión de estos factores socioeconómicos que expliquen las causas en la incidencia de la siembra de amapola. Lo anterior es fundamental para orientar las políticas públicas que ayuden a disminuir el cultivo de amapola y promover eficazmente el desarrollo integral y sostenible.

16 La Fiscalía General de la República/Coordinación de Métodos de Investigación, a través de su Centro Nacional de Planeación, Análisis e Información para el Combate a la Delincuencia (FGR/CMI-CENAPI)
17 Las hectáreas reportadas pueden excluir las zonas que fueron erradicadas después de la fecha de adquisición de las imágenes satelitales.

Por primera vez el proyecto generó los suficientes datos para lograr estimar el rendimiento de goma de opio en base seca (kilogramos por hectáreas cultivada [kg/ha] en México con información de cuatro campañas de campo, donde se colectaron datos y mediciones en 161 cultivos de amapola durante el periodo de octubre de 2017 a abril de 2018.[18] Para la estimación se utilizaron los datos de 76 cultivos, posterior al proceso de análisis y limpieza de los datos.

Para el periodo de estudio reportado, se determinó el contenido de morfina en goma de opio de 161 cultivos de amapola, para ello, los analistas del proyecto muestrearon el látex de goma de opio del número de cultivos mencionados durante las mismas campañas de campo que se realizaron para las mediciones y así estimar el rendimiento de la goma de opio. Los resultados de la validación en el laboratorio demostraron que el método utilizado es preciso y estable. El análisis y la validación se realizaron con equipamiento y personal de químicos del Laboratorio de Química Forense de la Fiscalía General de la República.[19]

Entre 2017 y 2018, se observó una disminución del 20% en el área de amapola erradicada; no obstante, el número de cultivos destruidos reportado fue casi estable (-1%) entre los dos años. Esto puede ser explicado considerando que los campos erradicados en 2018 tenían un tamaño menor. Sin embargo, los datos de sensores remotos no confirman esta tendencia a nivel nacional.[20] Además, los datos de erradicación no pueden considerarse en el mismo contexto que la estimación de superficie sembrada, por la diferencia en los periodos de monitoreo/reporte del esfuerzo nacional, ya que la erradicación puede haber ocurrido antes o después de la detección de los cultivos de amapola mediante las imágenes satelitales.

18 El estudio del rendimiento se realizó utilizando la metodología de las *"Directrices para la medición del rendimiento de amapola de opio y de la hoja de coca en cortas visitas al terreno"*, publicadas por UNODC en 2001. Véanse más detalles en el Capítulo 3.1 (páginas 50-55).

19 El laboratorio participa desde 2013 en los ejercicios de análisis forense del Programa de Calidad de Ejercicios de Colaboración Internacional (ICE, por sus siglas en inglés) de UNODC y desde octubre de 2015 fue acreditado por la Junta Nacional de Acreditación (ANAB, por sus siglas en inglés) por haber demostrado su competencia técnica en materia de análisis forense, además de operar bajo los criterios de la norma 17025 de la Organización Internacional de Normalización (ISO 17025, por sus siglas en inglés). Véanse más detalles en los Capítulos 4.1, 4.2 y 4.3 (páginas 37-43).

20 Para mayores detalles consulte el Capítulo 2.1 (páginas 5-6) sobre análisis de tendencias para la superficie sembrada con amapola.

# INTRODUCCIÓN

México ha concluido su tercer informe del proyecto MEXK54 “Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en el Territorio Mexicano”. Por primera vez, el informe contiene los resultados de las tres metas del proyecto para el período de monitoreo 2017-2018: *1)* estimación sobre la superficie sembrada con amapola, *2)* estimación de rendimiento y producción de la goma de opio y *3)* determinación de la concentración de morfina en la goma opio. Además, incluye información del esfuerzo nacional del Gobierno de México sobre la erradicación de cultivos de amapola y aseguramientos de productos derivados de la goma de opio.

Este estudio muestra los principales resultados de cada una de las tres metas del proyecto de acuerdo con los compromisos nacionales e internacionales. La generación de evidencias y datos científicos permitirán a México comprender mejor las tendencias en la siembra y producción de la amapola, por lo que el informe es fundamental para la planificación de políticas públicas integrales encaminadas a reducir la oferta y mitigar las consecuencias sociales del mercado de drogas ilícitas.

El monitoreo de amapola en México se realiza a través del proyecto MEXK54 bajo el marco técnico del Programa Global de Monitoreo de Cultivos Ilícitos (ICMP, por sus siglas en inglés) que tiene la UNODC. El objetivo del ICMP es apoyar a los estados miembros con problemas de siembra de enervantes, incluidos los principales países productores de hoja de coca (Colombia, Perú y Bolivia), cultivos de amapola (Afganistán, Myanmar y México) y Nigeria con la siembra de marihuana.

El informe demuestra el compromiso de las partes interesadas en el proyecto de seguir realizando esfuerzos internacionales en la generación de estadísticas confiables y basadas en evidencia científica reflejadas en los informes anuales de la UNODC en atención al problema de las drogas. La investigación y el análisis de las tendencias pueden ayudar a comprender mejor el fenómeno de la siembra de amapola y la producción de drogas en México, con el fin de proporcionar información para el diseño de políticas públicas que ayuden a disminuir las actividades ilícitas e identificar las necesidades de desarrollo alternativo de las comunidades afectadas por esas actividades.

En relación con el problema de las drogas, el proyecto MEXK54 contribuye a la aplicación de los resultados del período extraordinario de sesiones de la Asamblea General de las Naciones Unidas sobre las drogas (UNGASS) celebrado en abril de 2016. En el período extraordinario de sesiones de la Asamblea General se reconoció la necesidad de armonizar las políticas de drogas en todo el mundo con los esfuerzos por alcanzar los objetivos establecidos en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

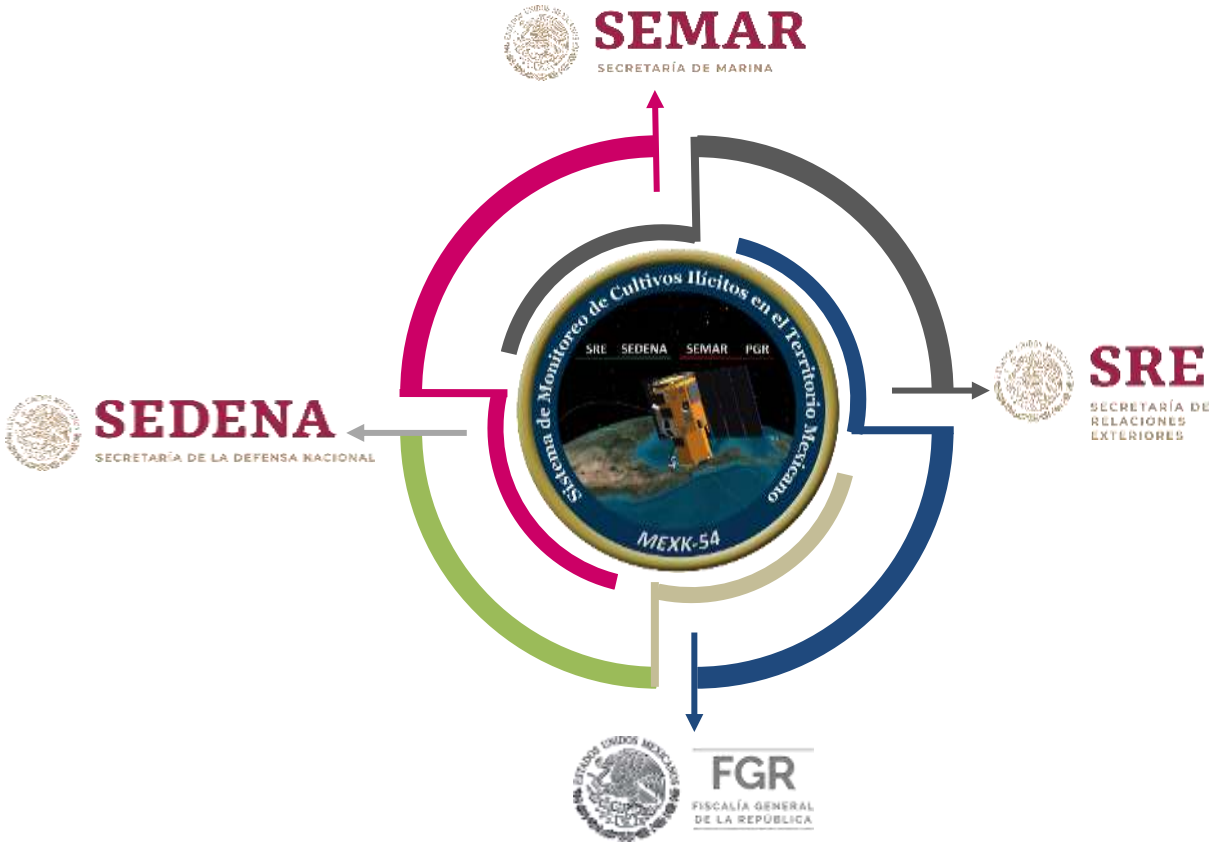
Actualmente, el proyecto está trabajando en los resultados del estudio de monitoreo 2018-2019 que serán publicados en el segundo semestre de 2020. Este informe incluirá la estimación de superficie sembrada con amapola, las estimaciones de rendimiento y producción potencial de goma de opio, así como los análisis de concentración de morfina, por lo que será directamente comparable con los resultados del estudio de 2017-2018.

# 1. ORGANIZACIÓN Y ESTRUCTURAS DE GESTIÓN DEL PROYECTO

La continuación de los procesos y resultados, que a la fecha ha logrado el proyecto de monitoreo de cultivos de amapola en México, ha sido posible gracias al apoyo proporcionado por el Gobierno de México y al seguimiento técnico permanente de la UNODC.

Este proyecto es una iniciativa implementada desde el año 2012 por la UNODC y el gobierno de México, representado por la Secretaría de Marina (SEMAR), la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA), la Secretaría de Relaciones Exteriores (SRE) y la Fiscalía General de la República (FGR) a través de la Coordinación de Métodos de Investigación mediante el Centro Nacional de Planeación, Análisis e Información para el Combate a la Delincuencia (FGR/CMI-CENAPI), quienes de manera activa participan en las actividades técnicas y logísticas que se desarrollan en el proyecto (Figura 1).

*Figura 1. Instituciones participantes en el proyecto de monitoreo.*




*Fuente:* Elaboración proyecto MEXK54.

La estructura de gestión del proyecto permite interactuar de manera permanente con el personal de expertos de UNODC, y el Grupo Técnico de Seguimiento, técnicos y analistas conformado por el personal de SRE, SEDENA, SEMAR y FGR/CMI-CENAPI.

Actualmente, el proyecto tiene un especialista (UNODC México) quien gestiona las actividades con el apoyo de un experto en sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica (SIG), una estadística y un oficial de programas (UNODC Viena); así como con el personal del grupo de analistas conformado por tres geógrafos, un biólogo, un geofísico, un químico y cinco especialistas en sensores remotos y SIG.

## 2. RESULTADOS DE ESTIMACIÓN DE SUPERFICIE SEMBRADA CON AMAPOLA PARA EL PERIODO DE MONITOREO 2017-2018

Para este tercer informe se incluyen los resultados de estimación de superficie sembrada con amapola para el periodo de monitoreo 2017-2018. La muestra utilizada para la programación de las imágenes y colecta de fotografías aéreas está conformada por 300 segmentos extraídos de un marco generado a nivel nacional, de acuerdo con el mapa de riesgo de áreas proclives para la siembra de cultivos de amapola que generó el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IG-UNAM). Por lo tanto, la estimación de superficie sembrada con amapola corresponderá a nivel nacional.

La estimación de superficie nacional sembrada con cultivos de amapola corresponde a 12 meses de monitoreo, que abarca de julio de 2017 a junio de 2018 (Tabla 1). Se considera que, durante el análisis de los cultivos de amapola, estos pueden sembrarse y crecer en diferentes momentos durante el periodo de monitoreo.

*Tabla 1. Superficie estimada con cultivos de amapola (ha) nacional.* [21]

| Periodos | 2016-2017 | 2017-2018 | Variación |
|---|---|---|---|
| De julio a junio | **30,613**<br>(22,833 – 38,392) | **28,005**<br>(21,201 – 34,808) | **-2,608**<br>(-5,736 - 520) |

*Fuente:* UNODC.

En la Tabla 2 se presentan los resultados de estimación estadística para cada periodo cuatrimestral[22] del monitoreo con su variación comparada al estudio de monitoreo 2016-2017. En referencia a los resultados de los dos periodos comparados, se confirma que la mayor incidencia en la siembra de cultivos de amapola es durante el cuatrimestre de “noviembre a febrero” y el que tiene menor presencia de siembra es de “julio a octubre”.

*Tabla 2. Superficie estimada con cultivos de amapola (ha) para cada cuatrimestre* [15]

| Periodos | 2016-2017 | 2017-2018 | Variación (%) |
|---|---|---|---|
| De julio a octubre | **4,694**<br>(2,653 – 6,734) | **2,715**<br>(1,399 – 4,030) | **-42%** |
| De noviembre a febrero | **19,342**<br>(13,440 – 25,243) | **15,719**<br>(11,640 – 19,797) | **-19%** |
| De marzo a junio | **6,577**<br>(4,895 – 8,258) | **9,571**<br>(6,803 – 12,338) | **46%** |

*Fuente:* UNODC.

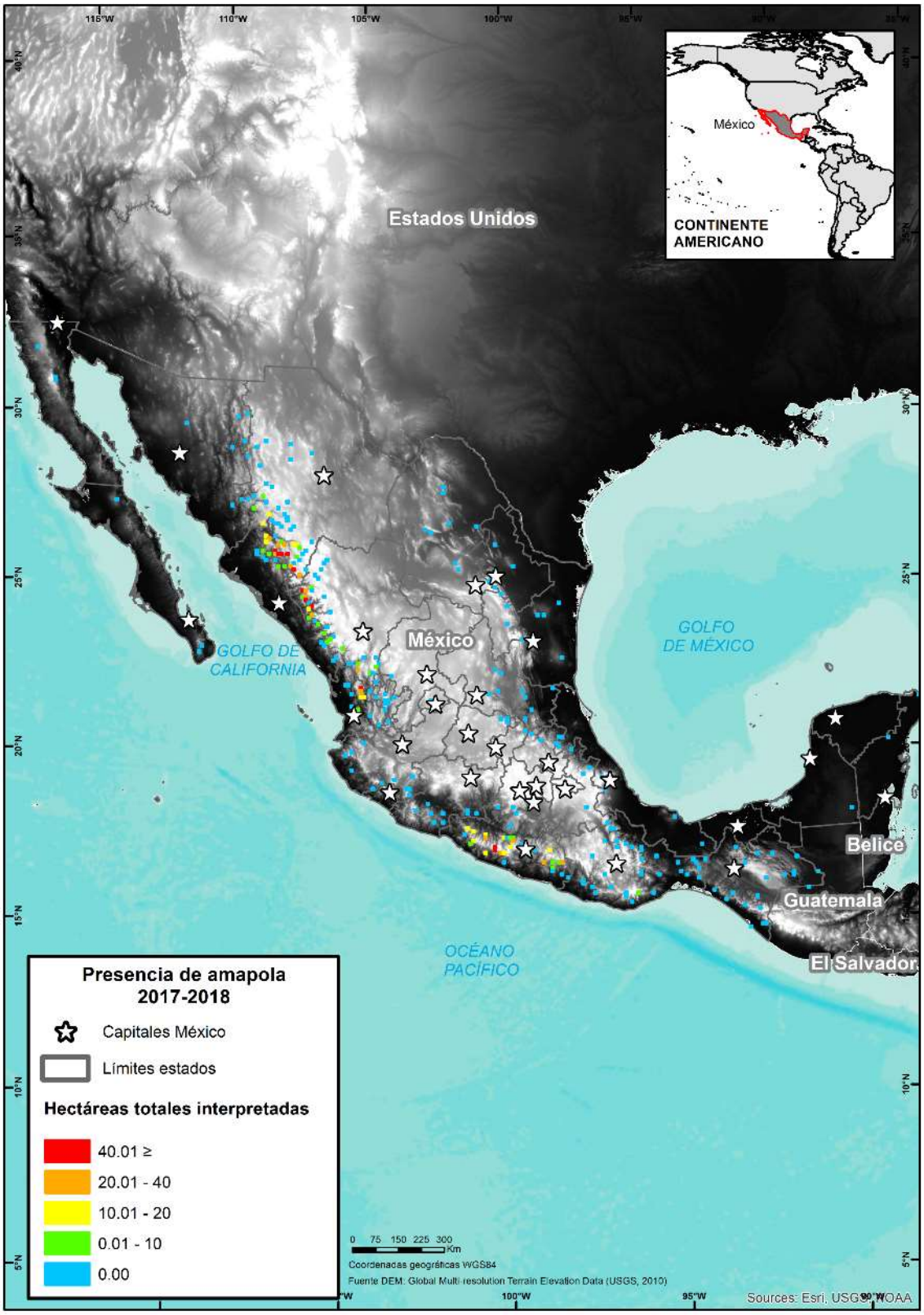
22 Ver más detalles en la publicación: “*México-Monitoreo de Cultivos de Amapola 2014-2015 (UNODC, 2016),* Capítulos 5.3 y 5.5.

Con la muestra[23] utilizada se observaron cultivos de amapola principalmente sobre cinco estados: Sinaloa, Chihuahua, Durango, Nayarit y Guerrero (Mapa 1). Si bien estos son los principales estados con incidencia, podrían existir otros en el territorio nacional que no necesariamente están libres de cultivos de amapola. Se considera que la superficie sembrada es potencialmente pequeña y su impacto en el cálculo de estimación nacional es relativamente mínimo.

Es importante señalar que la erradicación no se refleja totalmente en la estimación nacional de amapola, ya que existen muchos casos en que pudo realizarse después de las fechas de las imágenes satelitales.

23 La definición de la muestra fue tomada a nivel nacional, no a nivel estatal, por lo que no pueden sacarse conclusiones a nivel regional o estatal. Para mayores detalles sobre el método de muestreo consultar la publicación: *México-Monitoreo de Cultivos de Amapola 2015-2016 y 2016-2017* (UNODC, 2018), Capítulo 5.4.1.

*Mapa 1. Área total con cultivos de amapola interpretada en cada segmento en el monitoreo de 2017-2018.*

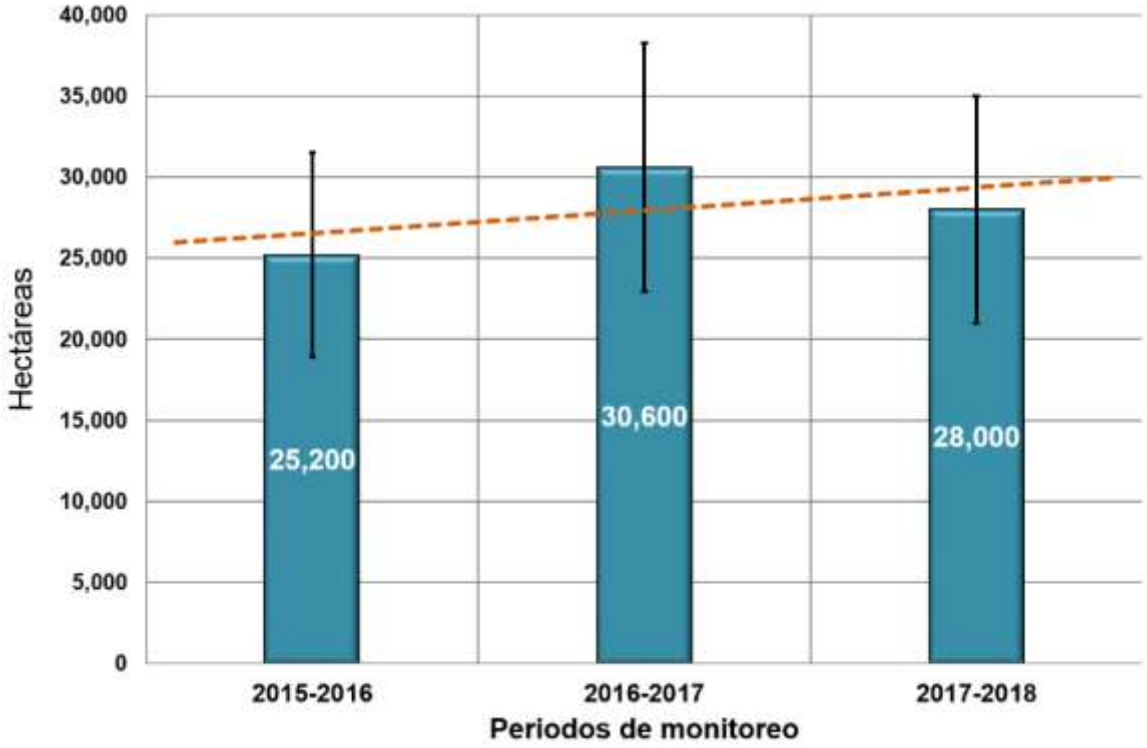



*Fuente:* Proyecto MEXK54 "Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en el Territorio Mexicano" - apoyado por UNODC.
Los límites y los nombres utilizados en este mapa no implican la aceptación oficial por parte de Naciones Unidas.

## 2.1 Análisis de tendencias para la superficie sembrada con amapola entre los periodos de monitoreo 2015-2016, 2016-2017 y 2017-2018

La estimación de superficie sembrada con amapola, para el periodo de monitoreo 2017-2018, corresponde en su valor puntual a 28,005 hectáreas, con un intervalo de confianza entre 21,201 y 34,808 hectáreas; comparando este resultado con el periodo 2016-2017, donde su valor más preciso fue de 30,613 hectáreas y con un intervalo de 22,833 a 38,392, se observa que existe una disminución de 8% del área de cultivo entre los valores puntuales (Gráfica 1). La disminución corresponde a 2,608 hectáreas con un intervalo de confianza entre -5,736 y 520 hectáreas.[24]

*Gráfica 1. Variación entre los estudios 2015-2016, 2016-2017 y 2017-2018.* [25]



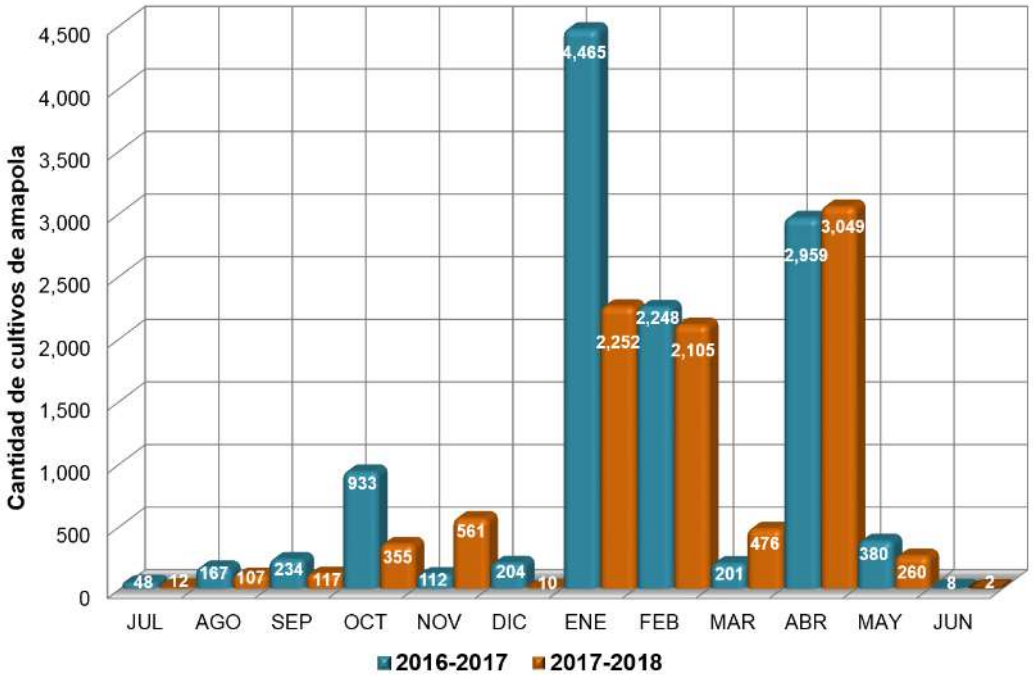

*Fuente:* Elaboración proyecto MEXK54.

Además, aunque el resultado del estudio de 2017-2018 arroja que el área de amapola se redujo ligeramente al periodo anterior (2016-2017), al comparar el valor más preciso del periodo monitoreado en 2015-2016 (25,200 hectáreas) y el reportado 2017-2018, se observa que la tendencia bienal en la siembra de amapola sigue mostrando un incremento, tal y como se señala con la línea color naranja en la gráfica anterior. La diferencia entre el periodo de monitoreo 2015-2016 y 2017-2018 corresponde a 2,800 hectáreas, lo que indica una variación de 11% más en la superficie sembrada con amapola.

Considerando los 12 meses de monitoreo para los dos últimos periodos de estudio 2016-2017 y 2017-2018, respectivamente, se observa que la tendencia para la siembra de los cultivos de amapola en México predomina durante los meses de octubre, enero, febrero y abril (Gráfica 2). Por lo tanto, es importante observar los 300 segmentos de la muestra como mínimo tres veces durante cada periodo de monitoreo.

24 Los intervalos se refieren a un nivel de confianza de 95%.
25 Los resultados en la gráfica están redondeados a la centena próxima.

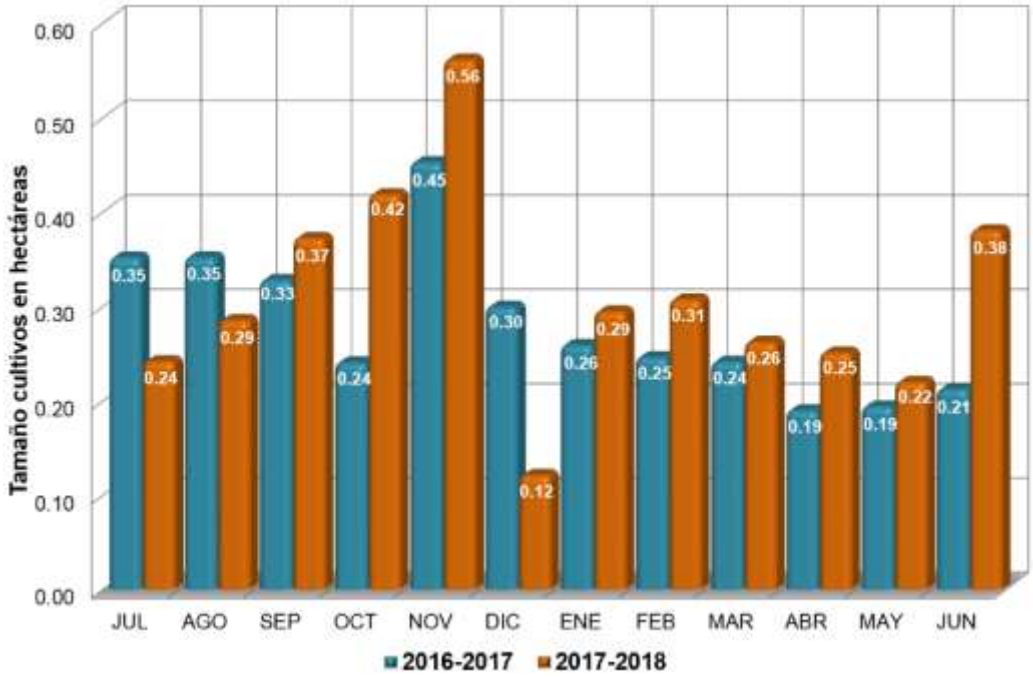
*Gráfica 2. Número de cultivos de amapola interpretados en los estudios 2016-2017 y 2017-2018.*




*Fuente:* Elaboración proyecto MEXK54.

Por otra parte, en la Gráfica 3 se muestra la variabilidad que existe en el tamaño promedio de los cultivos de amapola identificados por mes. Al comparar el monitoreo 2017-2018, donde el tamaño promedio fue de 0.30 hectáreas, con el de 2016-2017, que fue de 0.28 hectáreas, se aprecia un ligero aumento de 7% en el tamaño promedio para el cultivo de amapola.

*Gráfica 3. Tamaño promedio de cultivos de amapola interpretados para los estudios 2016-2017 y 2017-2018.*



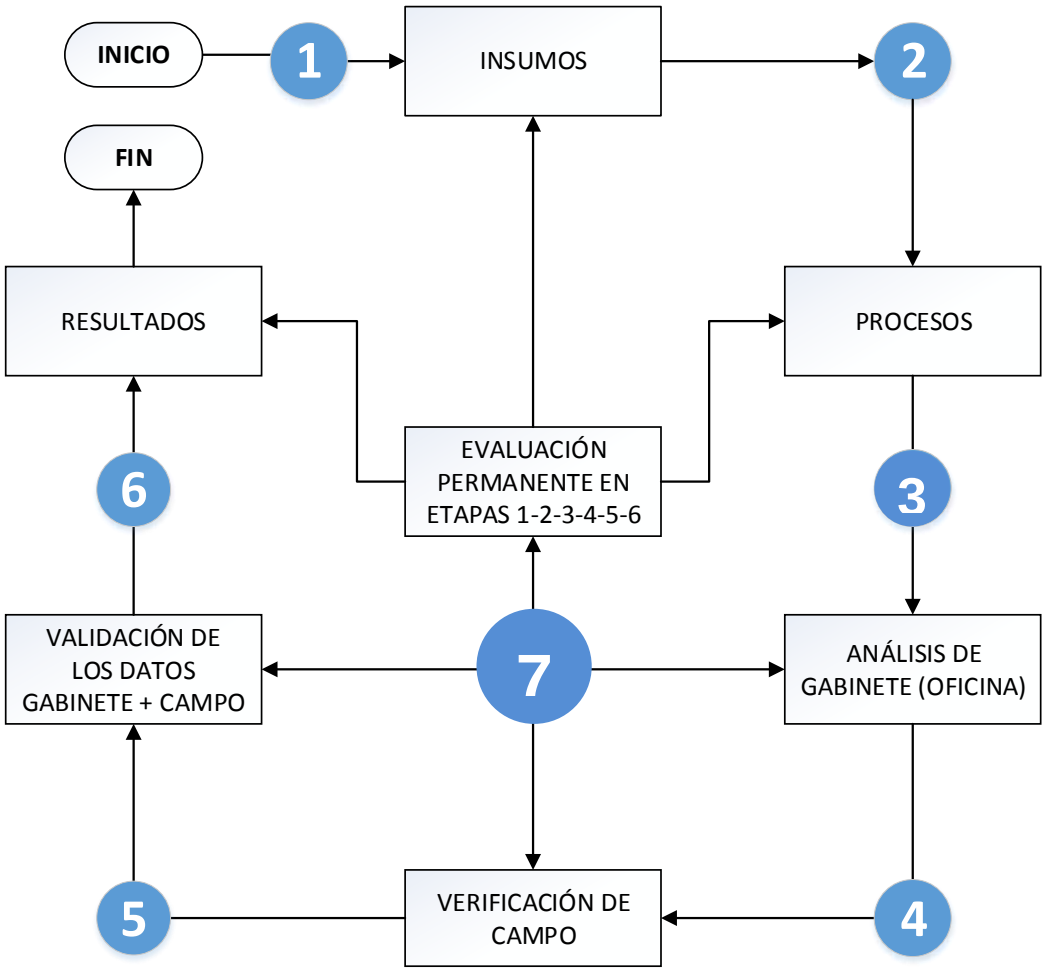

*Fuente:* Elaboración proyecto MEXK54.

## 2.2 Metodología aplicada en el monitoreo de amapola 2017-2018

El proyecto MEXK54 "Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en el Territorio Mexicano" es un sistema encargado del monitoreo y detección permanente de los cultivos de amapola en México, a través del uso de tecnologías de percepción remota (imágenes satelitales y fotografías aéreas), que permite contar con estadísticas e información confiable y transparente mediante la generación de evidencias y datos científicos, así como conocer la tendencia de la producción de amapola y promover políticas públicas integrales dirigidas a disminuir la oferta, demanda y consecuencias sociales del mercado ilícito de drogas.

La metodología[26] de monitoreo mantiene sus siete etapas generales (Figura 2), considerando que cada etapa tiene subprocesos donde se utilizan herramientas de geoprocesamiento y análisis en el SIG que permiten al analista validar y verificar los cultivos de amapola identificados a través de los diferentes sensores remotos utilizados.

*Figura 2. Etapas generales de la metodología del proyecto.*




*Fuente:* Elaboración proyecto MEXK54 (2016).

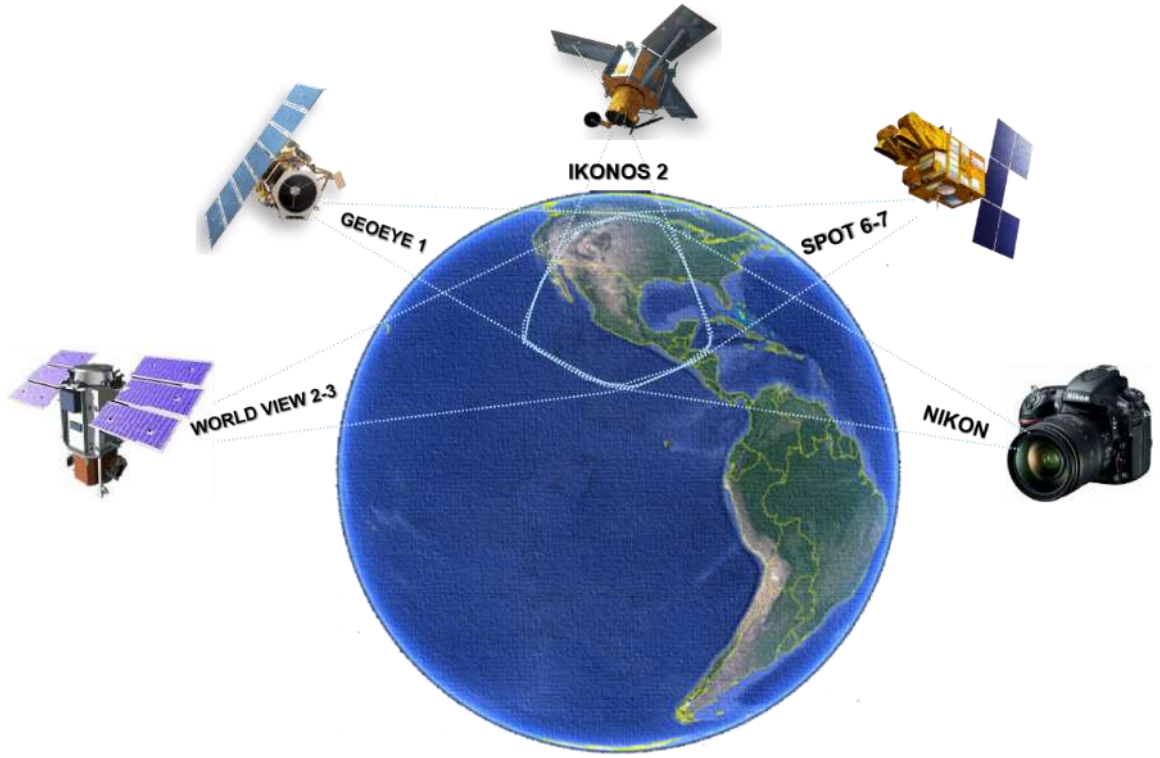
26 Para mayor detalle sobre los procesos de la metodología, consultar los informes técnicos *México-Monitoreo de Cultivos de Amapola 2014-2015 (UNODC, 2016)* y *México-Monitoreo de Cultivos de Amapola 2015-2016 y 2016-2017 (UNODC, 2018)*, disponibles en las siguiente direcciones web: https://www.unodc.org/documents/crop-monitoring/Mexico/Mexico-Monitoreo-Cultivos-Amapola-2014-2015-LowR.pdf y https://www.unodc.org/documents/crop-monitoring/Mexico/Mexico-Monitoreo-Cultivos-Amapola-2015-2017.pdf

El método del cálculo estadístico utilizado en este estudio es el mismo que el del periodo anterior (2016-2017): toma como base la superficie total en hectáreas de la amapola interpretada mediante imágenes satelitales y fotografías aéreas; posteriormente, al resultado de hectáreas totales se le aplica un factor de ajuste *por tipo de resolución*[27] que corrige esta diferencia en segmentos (imágenes satelitales) sin fotografía. El factor de ajuste hace que la estimación en el intervalo sea aún más precisa que la obtenida sólo con imágenes satelitales.

## 2.3 Imágenes utilizadas para el monitoreo de amapola

El proyecto utiliza diferentes resoluciones espaciales de imágenes satelitales que van de 1.5 m hasta 0.30 m de constelaciones de tipo comercial como: SPOT-6 y 7, Geo Eye-1, World View-2 y 3; además, cuenta con información de fotografía aérea (ver anexo I) como un insumo adicional que le proporciona mayor resolución espacial con hasta 0.20 m que le permite identificar cultivos más pequeños, además de adicionar, validar y diferenciar los cultivos observados previamente en las imágenes de los sensores satelitales citados anteriormente.

*Figura 3. Sensores utilizados por el proyecto.*




*Fuente:* Elaboración proyecto MEXK54.

Se realizan tres programaciones durante los 12 meses de monitoreo para adquirir imagen satelital de cada segmento de la muestra. Esto significa que se observará, tres veces como mínimo, el mismo lugar del territorio nacional; varios segmentos de la muestra serán sobrevolados para cubrirlos con fotografía aérea, lo cual permitirá observar cultivos de amapola sembrados posteriormente a las fechas de la imagen satelital o en algún momento del periodo de monitoreo. La temporalidad vegetativa de los cultivos de amapola está determinada por el estudio fenológico (crecimiento) realizado en 2004, donde se determinó que las plantas de amapola tienen un total de 120 días de crecimiento, aproximadamente.

27 Se refiere a la fotografía aérea con resolución de hasta .20 m., comparada con las imágenes satelitales de hasta .30 m., el uso de la fotografía permite al analista identificar cultivos más pequeños (350 $m^2$), comparados con los observados en las imágenes satelitales (1,000 $m^2$).

Para determinar las fechas de colecta de las imágenes satelitales durante los 12 meses de monitoreo, se utilizaron los resultados del estudio realizado en 2014 sobre "*Análisis de fechas para determinar los calendarios agrícolas (NDVI)*",[28] el cual determinó las fechas óptimas para cada segmento de la muestra correspondiente al periodo de monitoreo 2017-2018.

Para los estudios de monitoreo realizados de julio de 2017 a junio de 2018, se utilizaron imágenes satelitales fusionadas (*pan-sharpened*) con cuatro bandas en el espectro electromagnético[29] visible: roja, verde, azul e infrarrojo cercano (ver anexo II) de sensores ópticos como: SPOT-6 y 7, World View-2 y 3, GeoEye-1. Para la identificación de los cultivos de amapola se utilizaron las imágenes satelitales con resoluciones espaciales que van desde 1.5 metros hasta 0.20 metros (figura 4), y con combinaciones espectrales a color y falso color.

*Figura 4. Ejemplo de resolución máxima y mínima de los sensores utilizados para el monitoreo.*

| Tipo | Imagen SPOT 6 o 7 (1.5 m) | Fotografía aérea digital (.20 m) |
|---|---|---|
| Sensor satelital y aéreo | | |

*Fuente:* Elaboración proyecto MEXK54.

Sólo se utilizaron los datos de los periodos altos,[30] obtenidos del citado estudio, para referirlos dentro de cada periodo cuatrimestral (Tabla 3), hasta complementar el total de los 300 segmentos de la muestra.

*Tabla 3. Periodos de colecta para las imágenes satelitales/fotografía aérea en 2017-2018.*

| Concepto | De julio a octubre de 2017 | De noviembre de 2017 a febrero de 2018 | De marzo a junio de 2018 |
|---|---|---|---|
| **Muestra total del territorio nacional** | 300 segmentos de 10 x 10 km. | 300 segmentos de 10 x 10 km. | 300 segmentos de 10 x 10 km. |

*Fuente:* Elaboración proyecto MEXK54.

Por otra parte, los cultivos de amapola se identificaron en todas las imágenes satelitales y fotografías aéreas disponibles. Sin embargo, se considera que la resolución espacial de las imágenes World View 3 y de la fotografía aérea permite tener una mejor fotointerpretación visual de los cultivos de amapola. En la Tabla 4 se muestra el resumen del total de imágenes satelitales y fotografías aéreas utilizadas para el análisis de la muestra empleada en el estudio de monitoreo 2017-2018, considerando que la muestra total se compone de 900 segmentos.

28 Estudio para determinar calendarios agrícolas, utilizando series temporales de imágenes satelitales y generar índices de vegetación (NDVI) para programar la colecta de imágenes de satélite y foto aérea en su fase fenológica de alta producción. Para mayores detalles consultar la publicación: *México-Monitoreo de Cultivos de Amapola 2014-2015 (UNODC, 2016)*, capítulos 5.3 y 5.5.
29 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.
30 Cuando los cultivos de amapola se encuentran en su periodo fenológico óptimo (crecimiento) más alto entre la siembra y cosecha, es el momento en el que se puede observar e interpretar de mejor manera el cultivo en imágenes satelitales y/o fotografía aérea.

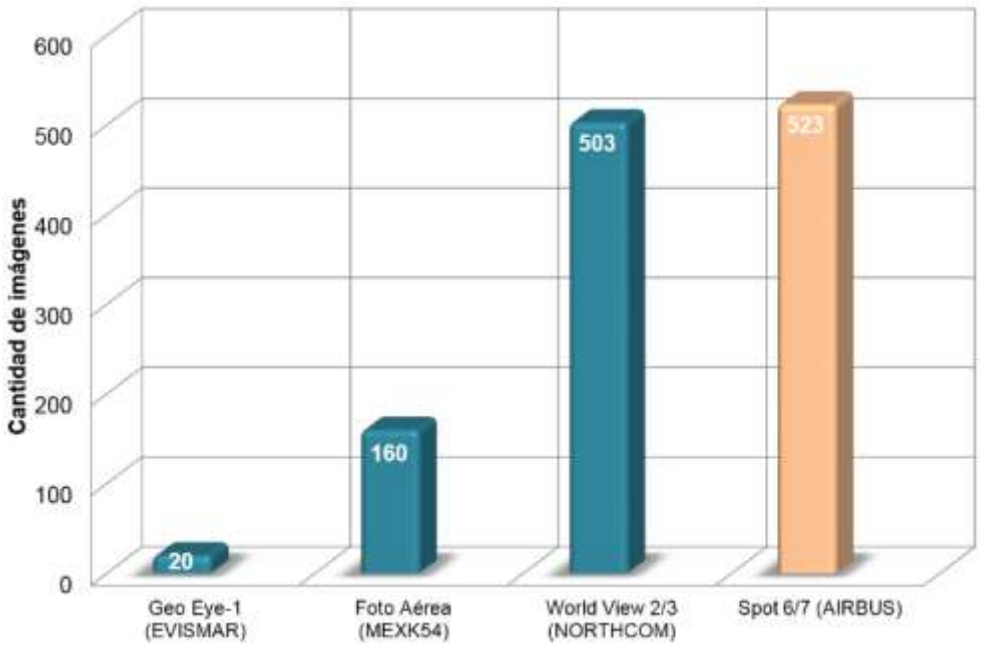
*Tabla 4. Cantidad de imágenes por tipo de sensor utilizadas en cada periodo cuatrimestral.*

| Sensor | Resolución por pixel | De julio a octubre de 2017 | De noviembre de 2017 a febrero de 2018 | De marzo a junio de 2018 | *Totales* |
|---|---|---|---|---|---|
| SPOT 6 o 7 | 1.5 m | 243 | 215 | 65 | *523* |
| World View 2 | .50 m | 71 | 140 | 192 | *403* |
| GeoEye 1 | .40 m | 5 | 12 | 3 | *20* |
| World View 3 | .30 m | 12 | 40 | 48 | *100* |
| Foto aérea | .25 m | 33 | 55 | 72 | *160* |
| | *Totales* | *364* | *462* | *380* | *1,206* |

*Fuente:* Elaboración proyecto MEXK54.

A continuación, se proporciona la cantidad por tipo de fuente satelital: Muy Alta Resolución (VHR)[31] y Alta Resolución (HR)[32], la información se complementó con la muestra utilizada en el estudio de monitoreo 2017-2018. La Gráfica 4 muestra que el tipo de fuente con más información satelital disponible fue la HR (spot 6 y 7) comparada con la VHR.

*Gráfica 4. Cantidad de imágenes y fotos aéreas por tipo de fuente utilizadas en 2017-2018.*




*Fuente:* Elaboración proyecto MEXK54.

El análisis de cultivos de amapola se realizó en un periodo de 12 meses de monitoreo; dentro de este periodo, se observa el mismo segmento de la muestra como mínimo tres veces.[33]

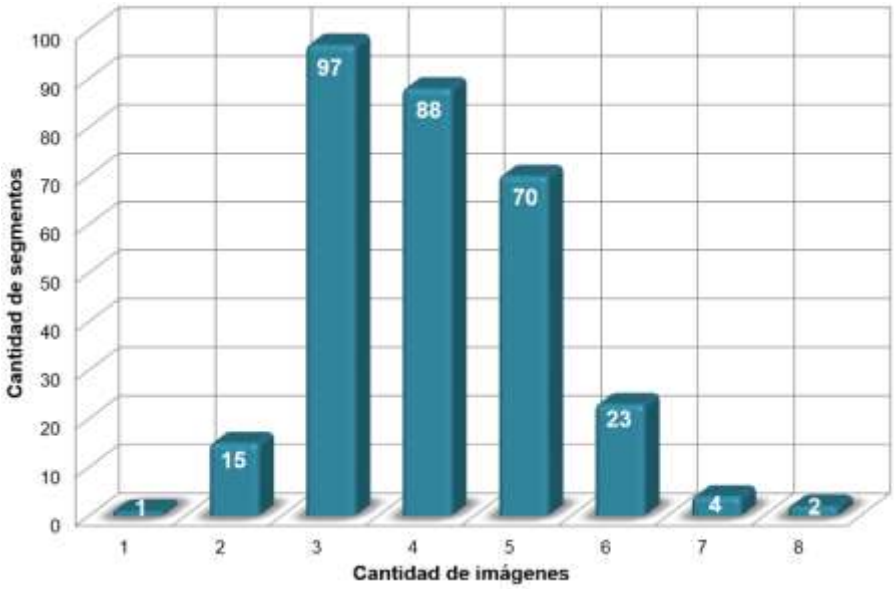
31 Las imágenes satelitales World View 2 y 3, GeoEye 1 y fotografía aérea, son una fuente de M**uy Alta Resolución Espacial (VHR)** porque su resolución espacial es menor a 1 metro de tamaño de píxel.

32 Las imágenes satelitales spot 6-7 son consideradas con una fuente de **Alta Resolución Espacial (HR)** con 1.5 metros de tamaño de píxel, es decir, su tamaño de píxel es mayor comparado con las imágenes VHR.

33 Para asegurar que el mismo plantío no identifico durante dos periodos cuatrimestrales diferentes, este se corrobora visualmente a través de un análisis de serie temporal de NDVI sobre imágenes Sentinel-2 utilizando la plataforma *Google Earth Engine* (https://earthengine.google.com/)

Para este estudio de monitoreo 2017-2018, se utilizaron un total de 1,206 imágenes (satelitales y fotografías aéreas) disponibles, lo que permitió visualizar todo el contexto temporal de los segmentos de la muestra. En resumen, 255 segmentos del total de la muestra (300 segmentos) utilizada para este estudio tuvo de 3 a 5 imágenes disponibles por segmento (Gráfica 5).

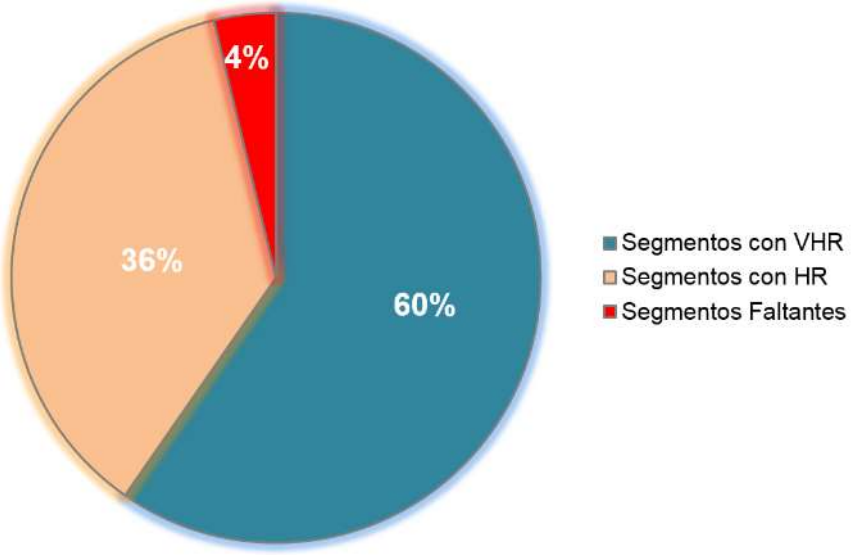
*Gráfica 5. Cantidad de imágenes disponibles por segmento para el estudio 2017-2018.*




*Fuente:* Elaboración proyecto MEXK54.

Adicionalmente a la gráfica anterior, se muestra el porcentaje por tipo de fuente satelital utilizado en el análisis para la fotointerpretación de cultivos de amapola durante el periodo de monitoreo 2017-2018. La Gráfica 6 compara el porcentaje total de los segmentos de la muestra analizados con imágenes VHR y/o HR.

*Gráfica 6. Porcentaje del tipo de análisis por resolución para el periodo 2017-2018.*




*Fuente:* Elaboración proyecto MEXK54.

En conclusión, para el monitoreo 2017-2018, el 60% del total de los segmentos de la muestra se realizó con imágenes VHR, garantizando que la amapola observada para la estimación de la superficie sembrada tuvo un alto grado de certeza y efectividad en el proceso de fotointerpretación.

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

En México, el periodo de monitoreo del cultivo de amapola más complejo para adquirir imágenes satelitales y/o fotografía aérea oscila entre los meses de junio a septiembre, principal periodo donde se ubica la temporada de lluvias, huracanes y depresiones tropicales. Por otra parte, algunos fenómenos hidrometeorológicos alcanzan a presentarse hacia los meses de octubre y noviembre, afectando varios estados del país.

La temporada de lluvias dificulta la colecta de imágenes satelitales o fotografía aérea, lo cual genera que varias imágenes tengan una cobertura con nubosidad y/o sombras; esto significa que no toda la superficie de las muestras (segmentos) puede ser observada en su totalidad, lo que se determina como una cobertura parcial.

El estudio de monitoreo en México ha determinado que la cobertura del 100% (total-ideal) está conformada por la suma de los 300 segmentos (100 $km^2$) en cada periodo cuatrimestral, es decir, la muestra analizada para este periodo 2017-2018 corresponde a un total de 900 segmentos, pero se considera que el total de la cobertura no debe ser menor al 95%. El total de imágenes (muestras) colectadas y analizadas en todo el periodo fue de 866 segmentos del total de la muestra (900 segmentos), esto corresponde al 96% de la cobertura "total-ideal" (Tabla 5).

*Tabla 5. Resumen de la muestra colectada y analizada para el estudio 2017-2018.*

| Datos de la muestra | De julio a octubre de 2017 | De noviembre de 2017 a febrero de 2018 | De marzo a junio de 2018 | *Totales* |
|---|---|---|---|---|
| Tamaño de la muestra | 300 | 300 | 300 | *900* |
| Total de segmentos de la muestra colectados | 282 | 292 | 292 | *866* |
| Total de segmentos de la muestra faltantes | 18 | 8 | 8 | *34* |
| Porcentaje de la muestra obtenida | 94% | 97% | 97% | *96%* |

*Fuente:* Elaboración proyecto MEXK54.

Por otra parte, al resultado de estimación de superficie nacional sembrada con amapola correspondiente al monitoreo de julio de 2017 a junio de 2018 se le aplicó un estimador *ratio,*[34] el resultado de dicho estimador considera la suma de la cobertura total de las imágenes recolectadas durante todo el periodo de estudio.

La cantidad total de muestras (imágenes) recolectadas fue de 866 segmentos del total de la muestra, pero tal y como en estudios pasados se tienen segmentos con más de dos imágenes dentro de cada periodo cuatrimestral, entre imágenes satelitales y fotografías aéreas se obtuvo un total de 1,206 imágenes, con las cuales se promedió el porcentaje de la cobertura total de la superficie.[35]

34 Se obtiene calculando la hectárea estimada con amapola y la cobertura estimada para cada segmento de la muestra. Para más detalles ver el capítulo 2.6 de este mismo informe.
35 Se obtiene mediante un análisis visual de cada imagen de los segmentos (100 $Km^2$) 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.

El total de imágenes satelitales y fotografías aéreas adquiridas para el estudio de monitoreo de julio de 2017 a junio de 2018 cubre las zonas de muy alta, alta y mediana incidencia de amapola del marco de muestreo de riesgo (UNAM).

En la tabla 6 se muestra la cobertura de superficie del total de segmentos de la muestra recolectados, el cual representada en porcentajes del 0% al 100%. En el Mapa 2 se observa el intervalo del porcentaje de cubrimiento de cada segmento de la muestra, el cual se obtuvo promediando el cubrimiento de cada segmento para los tres periodos cuatrimestrales analizados (julio–octubre 2017, noviembre 2017–febrero 2018 y marzo–junio 2018).

*Tabla 6. Número de segmentos con porcentaje de cobertura para 2017-2018.*

| Datos de la muestra 2015-2016 | Porcentaje de cobertura (%) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | <10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 | 70-80 | 80-90 | 90-100 | *Total* |
| **Número de segmentos de 100 km$^2$** | 0 | 1 | 4 | 5 | 13 | 18 | 32 | 21 | 38 | 734 | *866* |

*Fuente:* Elaboración proyecto MEXK54.

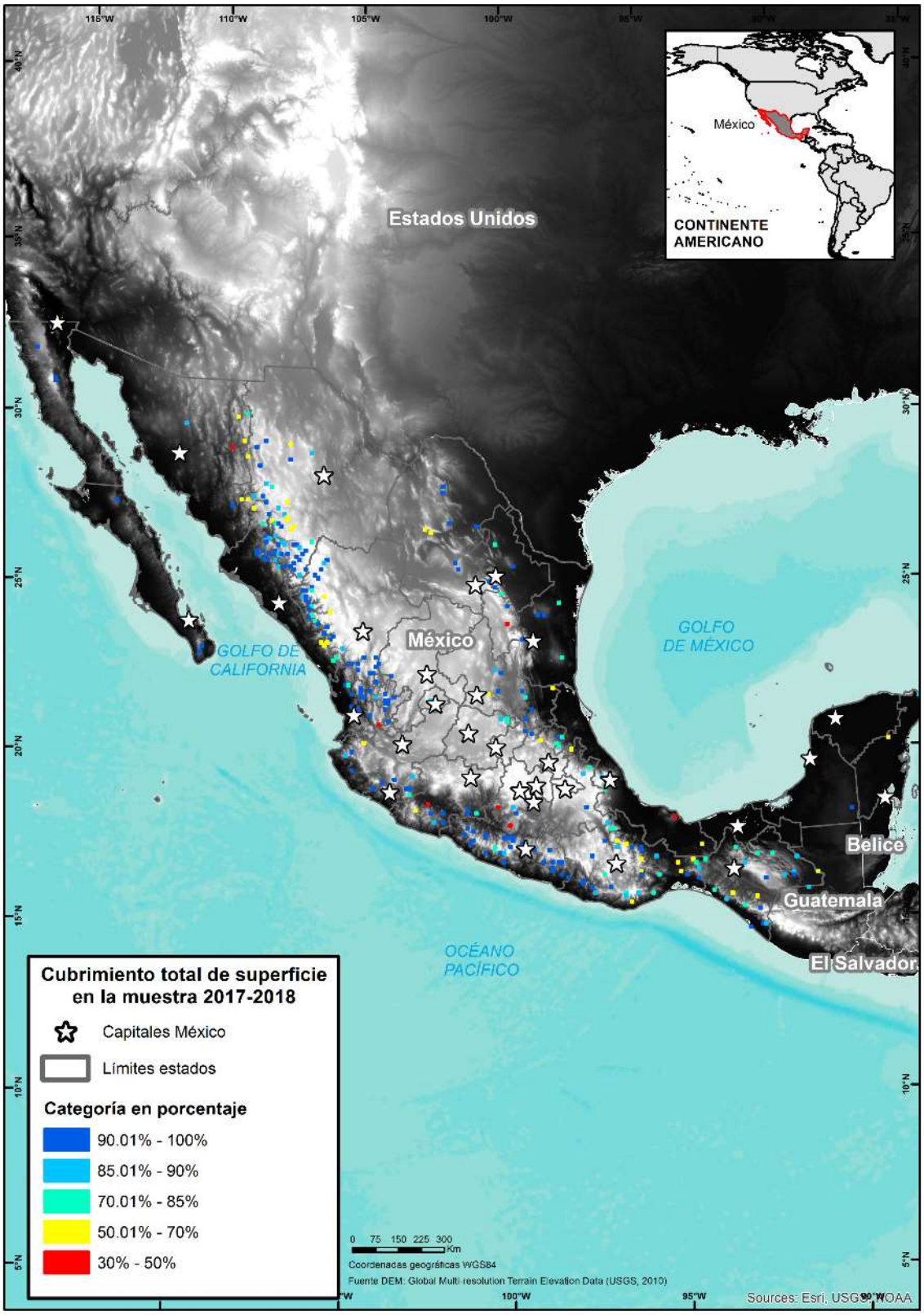
Por otro lado, en la Tabla 7 se muestra que obtuvieron 81,228 km$^2$ de los 90,000 km$^2$ del área total de monitoreo, por lo que esta superficie representa el 90% de la cobertura total de la muestra y 4.06% de los 2, 000,000 km$^2$ de la superficie territorial de México.

*Tabla 7. Cobertura total obtenida entre imágenes satelitales y fotografías aéreas para 2017-2018.*

| Datos de la muestra | De julio a octubre de 2017 | De noviembre 2017 a febrero de 2018 | De marzo a junio de 2018 | *Totales* |
|---|---|---|---|---|
| **Cobertura total de la muestra (km$^2$)** | 30,000 | 30,000 | 30,000 | *90,000* |
| **Cobertura obtenida de la muestra (km$^2$)** | 25,932 | 28,486 | 26,810 | *81,228* |
| **Porcentaje de cobertura obtenida** | 87% | 95% | 90% | *90%* |

*Fuente:* Elaboración proyecto MEXK54.

*Mapa 2. Distribución de los 300 segmentos de la muestra con su porcentaje de cubrimiento promediado con los tres periodos cuatrimestrales para 2017-2018.*




*Fuente*: Proyecto MEXK54 "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 Naciones Unidas.

## 2.5 Subprocesos de la metodología: fotointerpretación en gabinete y su validación en trabajos de campo

Considerando que México tiene una gran extensión territorial de aproximadamente 2 000,000 km$^2$, realizar el monitoreo total de su superficie mediante sensores remotos para la identificación de cultivos de amapola resultaría muy complejo y costoso. Es por ello que, para eficientar los recursos asignados al proyecto, se determinó utilizar como unidad de referencia y medición una rejilla geográfica nacional con segmentos de 100 km$^2$ cada uno, de la cual se extrajo mediante un proceso aleatorio una muestra de 300 segmentos con representatividad para el monitoreo a nivel nacional (Mapa 3).

El proyecto de monitoreo mantiene como insumo principal las imágenes satelitales y/o fotografías aéreas para el análisis de cultivos de amapola y, al igual que el estudio anterior 2016-2017, se utilizó la misma muestra extraída del marco de muestreo estratificado[36] (Mapa 4) conformado con el mapa nacional de probabilidades/riesgo[37] diseñado por el Instituto de Geografía de la UNAM. Para este mapa se utilizaron diferentes variables socioeconómicas que determinaron las áreas proclives para la siembra de cultivos de amapola (Mapa 5).

Previo a la fotointerpretación de los cultivos de amapola, los analistas utilizan diferentes *softwares* comerciales para realizar procesos de corrección a las imágenes satelitales como: la fusión, ortorectificación (corrección geométrica), recortes y realces de histogramas. Cada *software* se emplea para un proceso específico (ver anexo III) que se tiene establecido dentro de la metodología. Cada analista cuenta con una serie de técnicas adicionales[38] que le permite interpretar y medir la superficie de los cultivos de amapola a través de imágenes satelitales o fotografías aéreas, las cuales se mencionan a continuación:

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

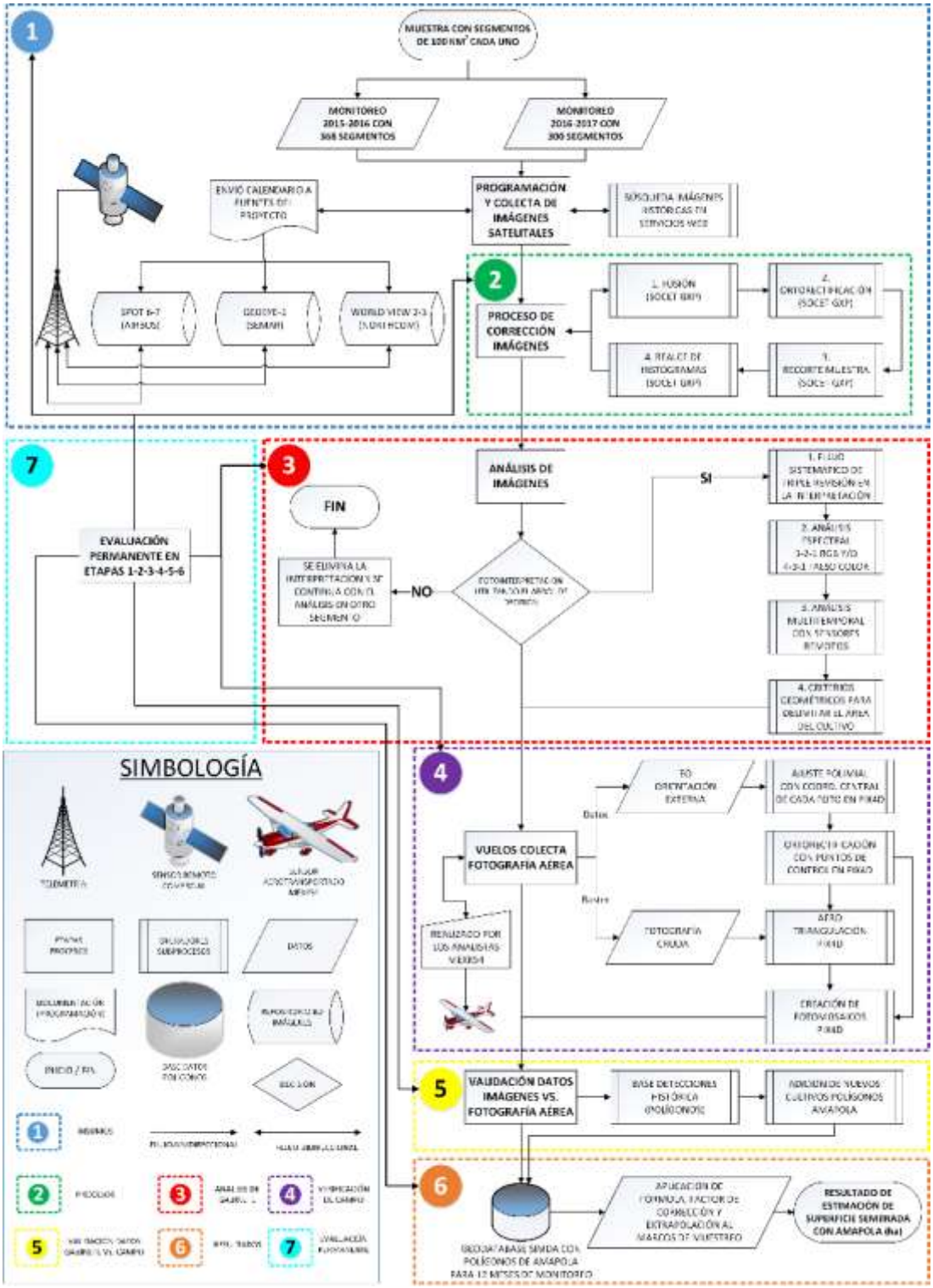
Por otra parte, mediante la fotointerpretación,[39] el grupo de analistas identificó los cultivos de amapola existentes en las imágenes satelitales, estos fueron verificados con fotografía aérea que fue recolectada en trabajos de campo a través de cámaras digitales réflex montadas en una aeronave de ala fija. Posteriormente, se utilizaron herramientas de SIG para registrar la posición geográfica (latitud, longitud), fecha de detección y el área sembrada de la amapola.

En resumen, el proyecto de monitoreo ha consolidado su propia metodología, con etapas generales y subprocesos, los cuales se aplican en cada uno de los tres periodos cuatrimestrales del monitoreo.

36 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).
37 Estudio sobre el análisis estadístico de probabilidades para cultivos ilícitos por factores determinantes (riesgo). Para mayor detalle consultar el informe: *México-Monitoreo de Cultivos de Amapola 2015-2016 y 2016-2017 (UNODC, 2018*), disponible en la siguiente dirección web: https://www.unodc.org/documents/crop-monitoring/Mexico/Mexico-Monitoreo-Cultivos-Amapola-2015-2017.pdf
38 Para mayor detalle sobre las técnicas de análisis, consultar el informe: *México-Monitoreo de Cultivos de Amapola 2015-2016 y 2016-2017 (UNODC, 2018*), publicado en la siguiente dirección web: https://www.unodc.org/documents/crop-monitoring/Mexico/Mexico-Monitoreo-Cultivos-Amapola-2015-2017.pdf
39 Es la técnica utilizada en el ámbito de la percepción remota que permite identificar rasgos específicos de algún objeto en las imágenes o fotografías aéreas, en ellas se interpreta su significado en relación con una determinada área de interés y entre sí.

En la Figura 5 se muestran los subprocesos de cada etapa general de la metodología.[40]

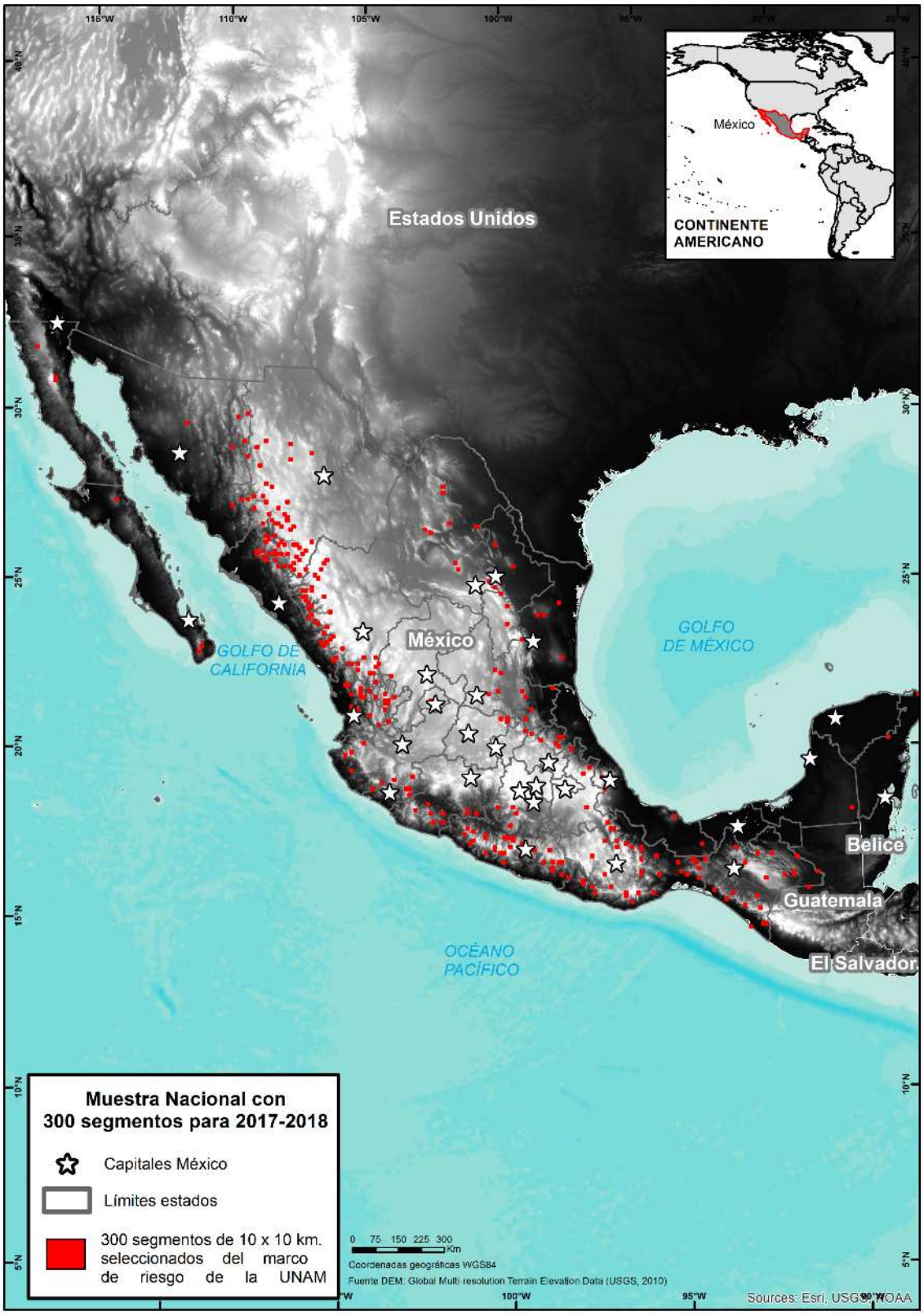
*Figura 5. Diagrama metodológico del proyecto de monitoreo en México.*




*Fuente:* Elaboración proyecto MEXK54 (actualizado, 2018).

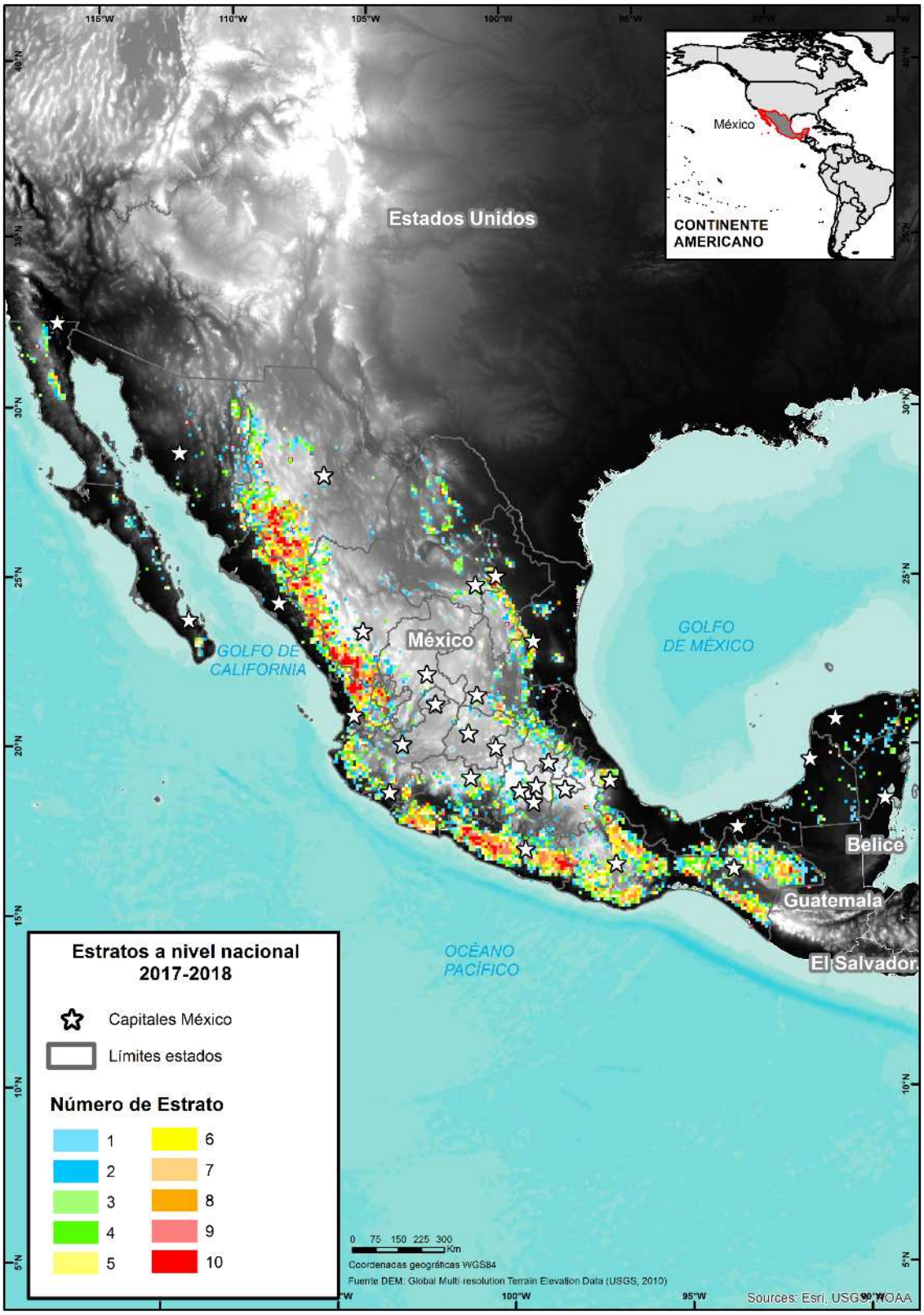
[40]Para mayores detalles del diagrama metodológico, consultar los informes: *México-Monitoreo de Cultivos de Amapola 2014-2015* y *México-Monitoreo de Cultivos de Amapola 2015-2016 y 2016-2017*, publicados en junio 2016 y noviembre 2018 en el sitio *web* de UNODC: https://www.unodc.org/unodc/en/crop-monitoring/index.html.

*Mapa 3. Ubicación de la muestra compuesta por 300 segmentos para la colecta de imágenes satelitales y fotografías aéreas del estudio de monitoreo 2017-2018.*



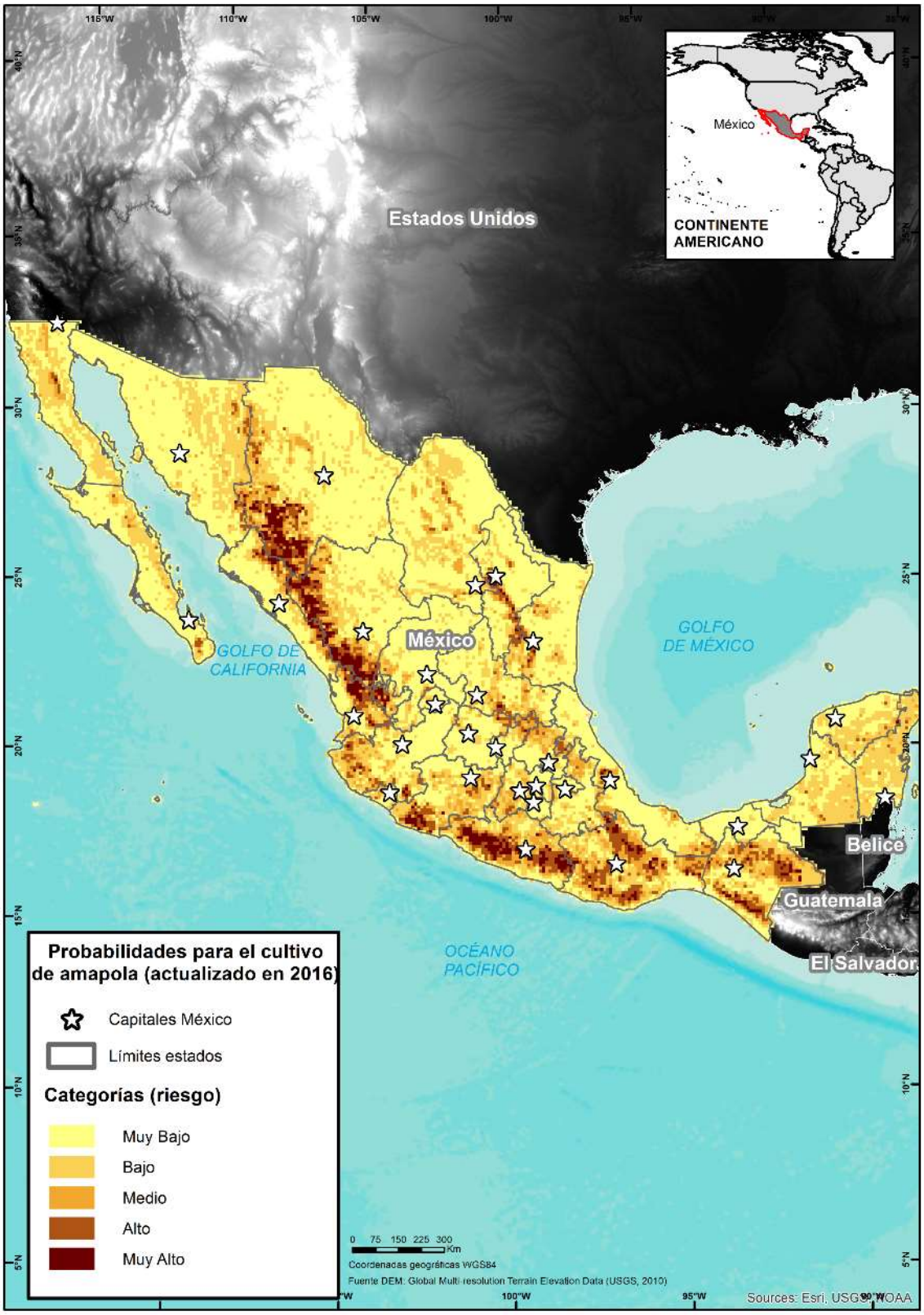

*Fuente:* Proyecto MEXK54 "Sistema de Monitoreo de Cultivos Ilícitos en el Territorio Mexicano" - apoyado por UNODC.
Los límites y los nombres utilizados en este mapa no implican la aceptación oficial por parte de Naciones Unidas.

*Mapa 4. Marco de muestreo estratificado por probabilidades/riesgo, utilizado para la selección de la muestra del estudio 2017-2018.*




*Fuente:* Proyecto MEXK54 "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 Naciones Unidas.

*Mapa 5. Área nacional de probabilidades/riesgo para cultivos de amapola por factores determinantes.*




*Fuente*: Proyecto MEXK54 "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 Naciones Unidas.
Elaboración con datos del estudio de riesgo por el Instituto de Geografía de la UNAM.

## 2.6 Fórmulas aplicadas a la estimación estadística del periodo 2017-2018

Previo a la aplicación del modelo estadístico y la obtención de la estimación final de superficie sembrada con amapola, se realizó una revisión de calidad de datos de manera coordinada entre el grupo de analistas y la UNODC para evaluar inconsistencias de tipo temático y geométrico.

Los cálculos estadísticos se hicieron con los resultados de las interpretaciones de cada segmento por cada periodo cuatrimestral. Hay que considerar que existe un porcentaje de segmentos de la muestra con información parcial, es decir, tienen presencia de nubes o sombras que cubren parte de la imagen, por lo que estas partes 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:

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

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

### 2.6.1 Cálculo de la varianza y covarianza en 2017-2018 para calcular los intervalos de confianza

La varianza muestral del total estimado fue determinada, primero calculando los errores residuales (residuos) $e_i = y_i - b\ x_i, i = 1 \cdots n$ 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:

$$\widehat{V}\left(\hat{\bar{e}}_h\right) = \frac{\widehat{S_h^2}(e)}{n_h}$$

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

$$\widehat{S_h^2}(e) = \frac{1}{(n_h - 1)} \sum_{i=1}^{n} e_{hi}^2$$

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:

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

La varianza del *ratio* estimado, fue calculada mediante:

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

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:

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

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 dicha superficie estimada por periodo cuatrimestral analizado. La varianza del total estimado puede obtenerse como la suma de los elementos de la matriz 3 × 3 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 $\boldsymbol{V_a}$ la varianza del total estimado en el ciclo ***a***, y $\boldsymbol{C_{a,b}}$ 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:

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

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

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

Con:

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

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

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

## 2.7 Factor de corrección por tipo de resolución aplicado a la estimación sembrada con amapola para el periodo 2017-2018

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. Las fotografías aéreas, por su resolución (0.20 metros), ayudan a validar y cuantificar nuevos cultivos que no fueron observados en las imágenes satelitales.

El factor de ajuste que se aplica es *por tipo de resolución,* este corrige la diferencia en segmentos (imágenes satelitales) sin fotografía y se obtiene 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 (Gráfica 9). Aplicar este tipo de factor es determinante en la estimación final, dado que el intervalo es más preciso que si sólo se consideran los datos analizados en las imágenes satelitales.

Para el estudio de monitoreo 2017-2018 se realizaron sobrevuelos con el fin de recolectar segmentos con fotografía aérea en cada uno de los tres periodos cuatrimestrales (Mapa 6); en total se recolectaron 160 segmentos con fotografía aérea. Sin embargo, el factor de ajuste para este periodo consideró un total de 88 segmentos de la muestra con imágenes satelitales y fotografías aéreas que fueron analizadas durante los 12 meses de monitoreo.

El intervalo mayor fue de 105 días entre las imágenes y fotografías utilizadas; sin embargo, el factor fue obtenido sólo con segmentos que tuvieran una fotografía aérea con un intervalo de ≤50 días[41] a partir de la fecha de colecta de la imagen satelital.

En resumen, en la Tabla 8 y la Gráfica 8 se indica que el ajuste fue del 19% adicional al área, y se aplicó antes de procesar los resultados finales para la estimación de superficie total sembrada con amapola.

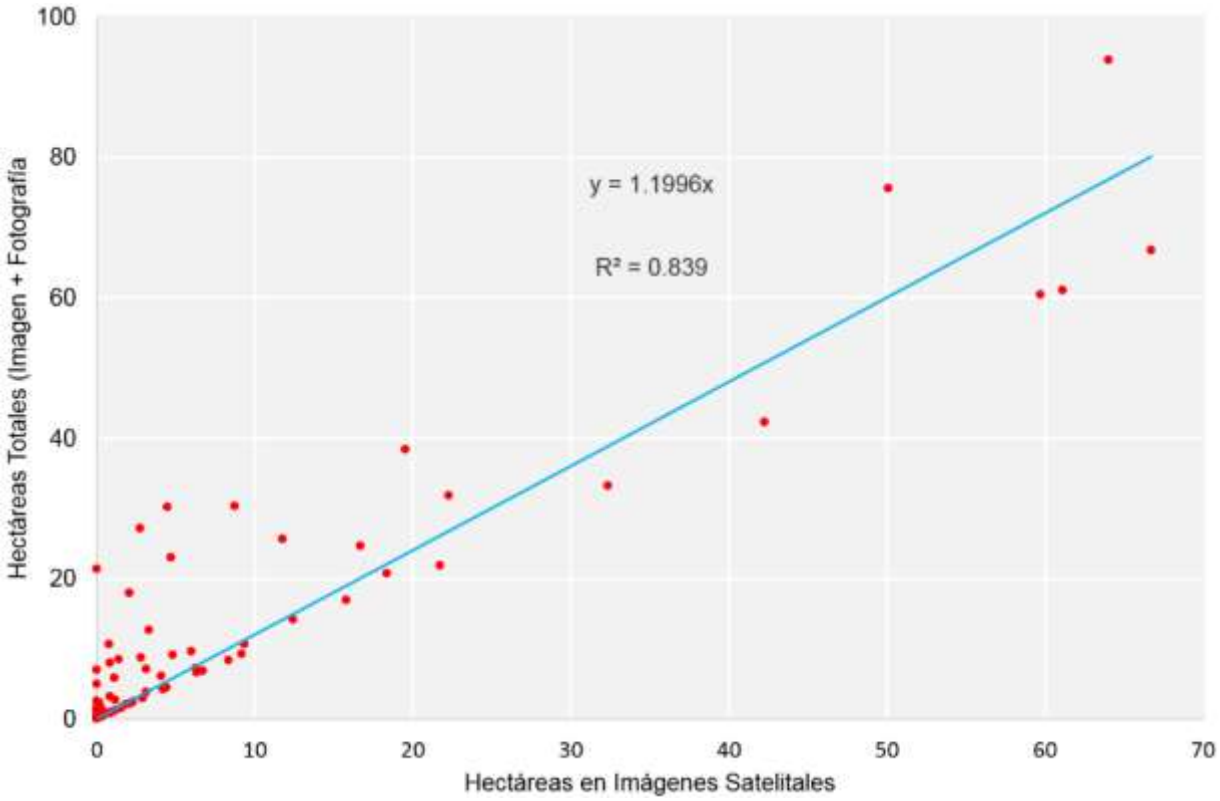
*Tabla 8. Resultado de los coeficientes utilizados para el factor de ajuste 2015-2016.*

| Coeficientes | |
|---|---|
| Intercepto | 0 |
| X Variable 1 | 1.1996 |

*Fuente:* Elaboración proyecto MEXK54.

41 El criterio de “temporalidad” utilizado en el análisis de los tres periodos cuatrimestrales, permite no identificar (cultivos detectados) los mismos cultivos de amapola ubicados sobre un mismo terreno o etapa de crecimiento, el proyecto determinó en este criterio un intervalo de ≤50 días entre las fechas de colecta de las imágenes satelitales y fotografías aéreas disponibles.

*Gráfica 7. Regresión lineal (intercepto forzado a ser 0) entre hectáreas totales y hectáreas en imágenes para 2017-2018.*




*Fuente:* Elaboración proyecto MEXK54.

*Mapa 6. Cantidad de segmentos de la muestra (100 km$^2$) con fotografías aéreas colectadas en los trabajos de campo para el estudio de monitoreo 2017-2018.*

*Fuente:* Proyecto MEXK54 "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 Naciones Unidas.

# 3. RESULTADOS DE ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA GOMA DE OPIO PARA EL PERIODO DE MONITOREO 2017-2018

La meta del presente estudio es estimar el rendimiento de goma de opio en base seca, es decir el **total de kilogramos de goma de opio por hectárea de amapola cultivada (kg/ha).** Por lo anterior, el grupo de analistas del proyecto ha trabajado en las zonas con mayor incidencia de cultivos de amapola en el territorio nacional, que se han definido como región sur en el estado de Guerrero y región norte en los estados de Sinaloa, Chihuahua y Durango. El proyecto comenzó con el levantamiento de datos de rendimiento en las regiones sur y norte a principios de 2017; sin embargo, a la fecha estas actividades han sido complejas para los analistas, considerando que existen ciertas dificultades logísticas para realizar los trabajos de campo y/o de seguridad que predomina en las áreas de cultivos de amapola.

En la siguiente Tabla 9 se muestra el valor más preciso y su intervalo para los resultados obtenidos para el rendimiento de goma de opio en base seca a nivel regional y nacional.

*Tabla 9. Estimación de rendimiento de goma de opio (kg/ha) 2017-2018.*

| Región | Kilogramos / hectáreas [42] |
|---|---|
| Región Norte (Sinaloa y Chihuahua) | **18.5**<br>(14.6–22.5) |
| Región Sur (Guerrero) | **13.3**<br>(11–15.7) |
| **Nacional** | **16.1**<br>(10.8–21.3) |

*Fuente:* UNODC.

Adicionalmente, y considerando los resultados de estimación de superficie sembrada con amapola (ha) y el rendimiento de goma de opio (kg/ha), el proyecto realizó el cálculo para determinar la **producción potencial de goma de opio seco** durante el periodo 2017-2018. Esta producción potencial de goma seca fue calculada a nivel nacional, utilizando los resultados del valor puntual (28,005 ha) de estimación de superficie sembrada con amapola y el promedio nacional del rendimiento de goma de opio (16.1 kg/ha) no pesado por diferentes áreas de cultivo. En la Tabla 10 se muestra el valor más preciso con su intervalo.

*Tabla 10. Estimación de producción potencial de goma seca (tm) 2017-2018.*

| Región | Toneladas métricas [43] |
|---|---|
| **Nacional** | **450**<br>(267 – 633) |

*Fuente:* UNODC.

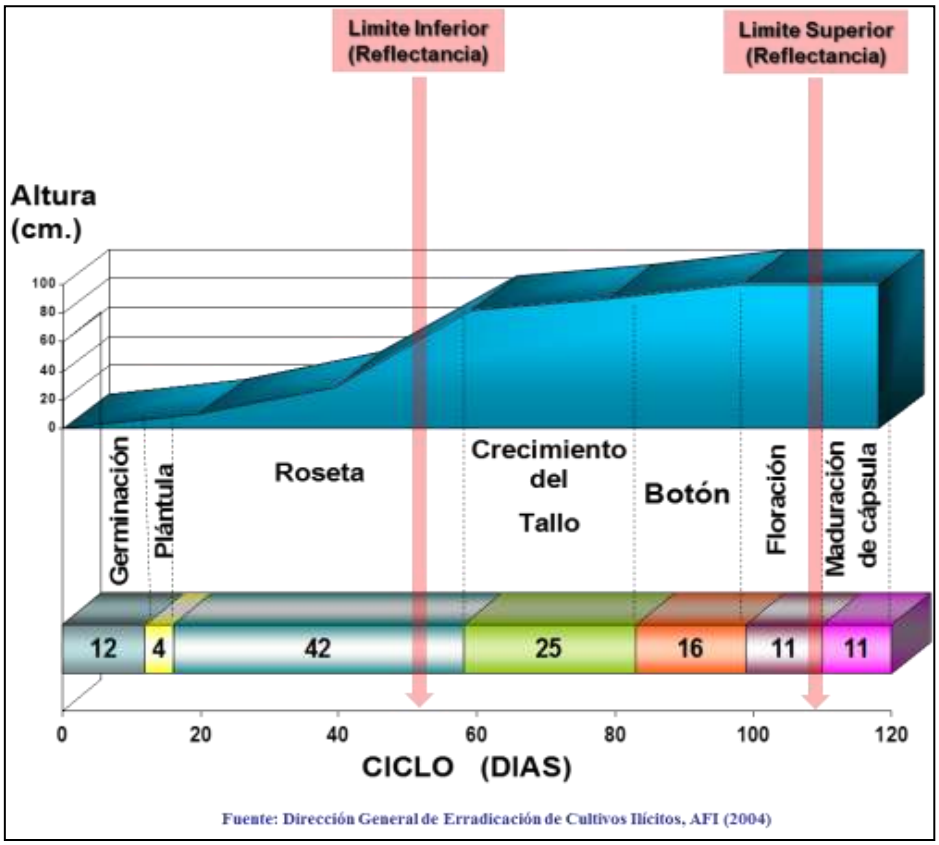
42 Los resultados entre los paréntesis indican el intervalo de confianza del 95%. Promedio nacional del rendimiento de goma de opio no pesado por las diferentes áreas de cultivo.
43 El resultado del límite inferior y superior dentro del paréntesis indica el intervalo de confianza del 95%.

## 3.1 Metodología de trabajos de campo para registrar las mediciones de los cultivos de amapola

Para el estudio de rendimiento se utilizó un diseño de muestreo por conveniencia[44] donde se visitaron un total de 161 cultivos de amapola, 37 al interior del estado de Sinaloa y 40 en Chihuahua (región norte), así como 84 en el estado de Guerrero (región sur) durante los meses de octubre-noviembre 2017 y febrero-abril 2018 (Mapa 7). Para realizar las mediciones y la recolección de los datos físicos geográficos de los cultivos de amapola, el proyecto aplicó el protocolo y metodología establecida por UNODC[45] para la colecta de datos como: características físicas de los cultivos, densidad y el volumen de los bulbos ($cm^3$) por metro cuadrado.

Como antecedentes, se cuenta con un estudio sobre la fenología (crecimiento) del cultivo de amapola realizado por la entonces Dirección General de Erradicación de Cultivos Ilícitos de la Agencia Federal de Investigación (AFI) en 2004. Dicho estudio fue realizado en un cultivo experimental (invernadero) que fue establecido en Culiacán, Sinaloa. El resultado de esa investigación confirmó que la amapola tiene un desarrollo de 120 días aproximadamente hasta llegar a maduración de sus bulbos (Figura 6).

*Figura 6. Etapa fenológica del cultivo de amapola.*

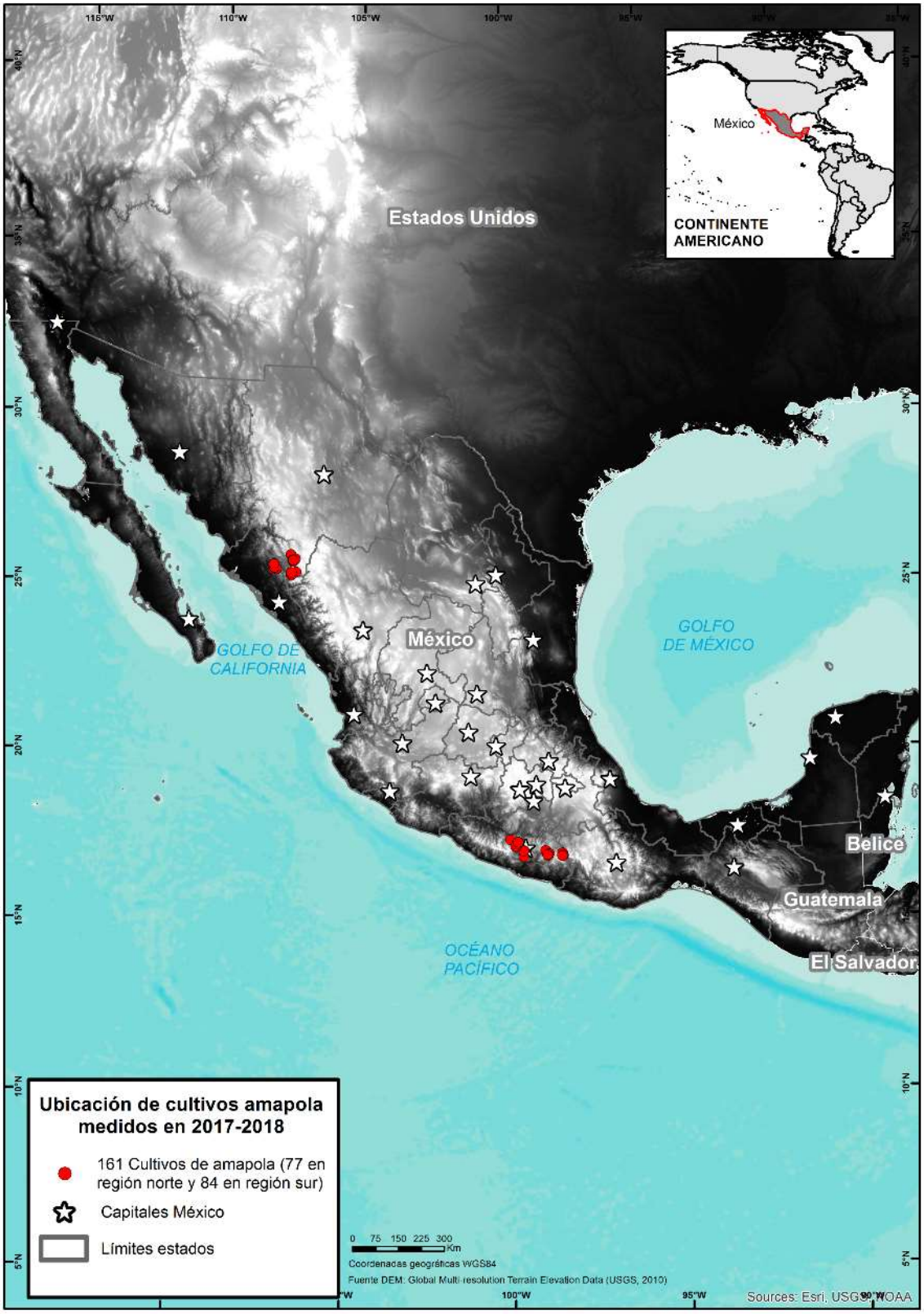



*Fuente:* AFI (2004).

44 Muestreo no probabilístico y no aleatorio donde los sujetos u objetos son seleccionados dada la conveniente accesibilidad y proximidad para el investigador.

45 "*Directrices para la medición del rendimiento de amapola de opio y de la hoja de coca en cortas visitas al terreno"* publicado por la UNODC en 2001.

*Mapa 7. Ubicación de los cultivos de amapola medidos para obtener su rendimiento de goma de opio en 2017-2018.*




*Fuente:* Proyecto MEXK54 "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 Naciones Unidas.

El proyecto visitó los 161 cultivos de amapola mediante las dos siguientes opciones.

1. **Primera opción:** Se considera los sobrevuelos que se realizan por cada visita a campo; después del sobrevuelo del día se analizan las fotografías aéreas para determinar si existen cultivos de amapola en etapa de madurez, además de identificar si existen condiciones de accesibilidad al cultivo de amapola. La Foto 1 ejemplifica un cultivo de amapola que fue identificado en fotografía aérea, verificado con un mini-dron y fotografiado en el terreno.

*Foto 1. Identificación de un cultivo de amapola con fotografía aérea en etapa de madurez.*

*Fuente:* Proyecto MEXK54

2. **Segunda opción:** El personal operativo de SEDENA por medio de sus recorridos terrestres o aéreos, ubica los cultivos de amapola maduros y listos para cosechar; esta información la comparte con el personal de analistas del proyecto, y se realiza la visita para las mediciones.

Las campañas para visitar los cultivos de amapola que fueron muestreados durante el periodo 2017-2018 se realizaron con apoyo de las fuerzas armadas (SEMAR y SEDENA), quienes brindaron las facilidades de seguridad, transporte del personal de analistas vía aérea (helicóptero), con vehículos terrestres todo terreno (humvee), considerando que, en su mayoría, las áreas de cultivos de amapola son de difícil acceso y para llegar a ellos es a pie (Foto 2).

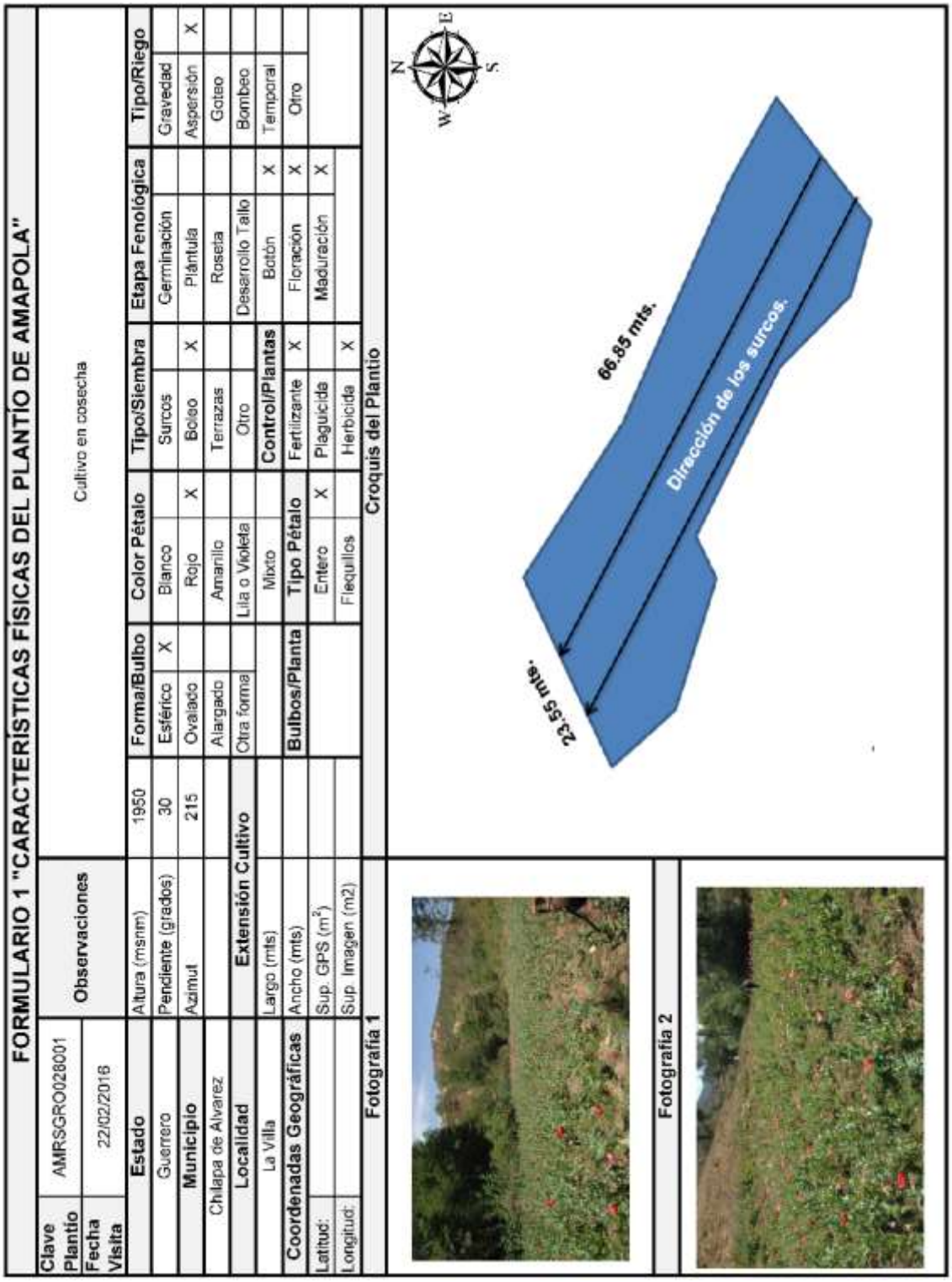
*Foto 2. Modalidades de traslados hacia las áreas de los cultivos de amapola.*

| Modalidades de traslados | | |
|---|---|---|
| | | |
| **MI-17** | **HUMVEE** | **A PIE** |

*Fuente:* Proyecto MEXK54

Para registrar las mediciones y recolectar los datos requeridos para obtener el rendimiento de goma de opio, el proyecto generó el formulario 1 “Características físicas por campo de amapola” y el formulario 2 “Medición de parcelas y bulbos por campo de amapola”. Las siguientes Figuras 7 y 8 detallan la información que contienen ambos formularios como, por ejemplo: características físicas-geográficas del cultivo de amapola, superficie sembrada, su densidad y el volumen de los bulbos ($cm^3$) por metro cuadrado, entre otros.

*Figura 7. Ejemplo del formulario 1 para las características físicas por campo de amapola.*



**FORMULARIO 1 "CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL PLANTÍO DE AMAPOLA"**

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Clave Plantio | AMRSGRO028001 | Observaciones | Cultivo en cosecha | | | | | | | | |
| Fecha Visita | 22/02/2018 | | | | | | | | | | |
| **Estado** | | Altura (msnm) | 1950 | **Forma/Bulbo** | | **Color Pétalo** | | **Tipo/Siembra** | | **Etapa Fenológica** | **Tipo/Riego** |
| Guerrero | | Pendiente (grados) | 30 | Esférico | X | Blanco | | Surcos | | Germinación | Gravedad |
| **Municipio** | | Azimut | 215 | Ovalado | | Rojo | X | Bolso | X | Plántula | Aspersión X |
| Chilapa de Alvarez | | | | Alargado | | Amarillo | | Terrazas | | Roseta | Goteo |
| **Localidad** | | **Extensión Cultivo** | | Otra forma | | Lila o Violeta | | Otro | | Desarrollo Tallo | Bombeo |
| La Villa | | Largo (mts) | | | | Mixto | | **Control/Plantas** | | Botón X | Temporal |
| **Coordenadas Geográficas** | | Ancho (mts) | | **Bulbos/Planta** | | **Tipo Pétalo** | | Fertilizante X | | Floración X | Otro |
| Latitud: | | Sup. GPS ($m^2$) | | | | Entero | X | Plaguicida | | Maduración X | |
| Longitud: | | Sup. Imagen (m2) | | | | Flequillos | | Herbicida X | | | |
| **Fotografía 1** | | | | | | **Croquis del Plantío** | | | | | |
| **Fotografía 2** | | | | | | | | | | | |



*Fuente:* Elaboración proyecto MEXK54.

*Figura 8. Ejemplo del formulario 2 para la medición de parcelas y bulbos por campo de amapola.*

**FORMULARIO 2 "MEDICIÓN DE PARCELAS Y BULBOS POR PLANTÍO DE AMAPOLA"**

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Clave plantío** | AMRSGRO028001 | **Fecha visita** | Cultivos de maiz aledaños |
| **Longitud transecto** | 30 mt | 22/02/2016 | |

**Parcela 1 (1 m²)**

| **Aleatorio** | **Intento** |
|---|---|
| 3 \| 8 | 1 |

Número de plantas: 15

Altura de plantas (cms): B: 20 A: 95

Diámetro de plantas (cms): 35

| **Bulbos maduros** | **Sin rayar** | **Rayados** | **Viejos** |
|---|---|---|---|
| | 15 | 14 | 0 |

Bulbos Inmaduros: 10

Bulbos Ausentes: 1

Número de Flores: 8

Número de Botones: 20

**Medidas de bulbos (mm)**

| # | Alto | Diámetro | Rayado |
|---|---|---|---|
| 1 | 24.43 | 25.80 | 1 |
| 2 | 15.10 | 15.82 | 1 |
| 3 | 24.16 | 23.26 | 2 |
| 4 | 18.52 | 17.65 | 1 |
| 5 | 26.08 | 26.05 | 1 |
| 6 | 24.16 | 23.26 | 2 |
| 7 | 18.52 | 17.65 | 1 |
| 8 | 15.10 | 15.82 | 1 |
| 9 | 24.16 | 23.26 | 2 |
| 10 | 18.52 | 17.65 | 1 |
| 11 | 26.08 | 26.05 | 1 |
| 12 | 24.16 | 23.26 | 2 |
| 13 | 18.52 | 17.65 | 1 |
| 14 | 15.10 | 15.82 | 1 |
| 15 | 18.52 | 17.65 | 0 |
| 16 | 26.08 | 26.05 | 0 |
| 17 | 24.16 | 23.26 | 0 |
| 18 | 18.52 | 17.65 | 0 |
| 19 | 19.15 | 21.24 | 0 |
| 20 | 17.56 | 19.25 | 0 |

**Observaciones**

**Parcela 2 (1 m²)**

| **Aleatorio** | **Intento** |
|---|---|
| 5 \| 14 | 1 |

Número de plantas

Altura de plantas (cms): B: A:

Diámetro de plantas (cms)

| **Bulbos maduros** | **Sin rayar** | **Rayados** | **Viejos** |
|---|---|---|---|
| | | | |

Bulbos Inmaduros

Bulbos Ausentes

Número de Flores

Número de Botones

**Medidas de bulbos (mm)**

| # | Alto | Diámetro | Rayado |
|---|---|---|---|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |
| 11 | | | |
| 12 | | | |
| 13 | | | |
| 14 | | | |
| 15 | | | |
| 16 | | | |
| 17 | | | |
| 18 | | | |
| 19 | | | |
| 20 | | | |

**Parcela 3 (1 m²)**

| **Aleatorio** | **Intento** |
|---|---|
| 10 \| 29 | 1 |

Número de plantas

Altura de plantas (cms): B: A:

Diámetro de plantas (cms)

| **Bulbos maduros** | **Sin rayar** | **Rayados** | **Viejos** |
|---|---|---|---|
| | | | |

Bulbos Inmaduros

Bulbos Ausentes

Número de Flores

Número de Botones

**Medidas de bulbos (mm)**

| # | Alto | Diámetro | Rayado |
|---|---|---|---|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |
| 11 | | | |
| 12 | | | |
| 13 | | | |
| 14 | | | |
| 15 | | | |
| 16 | | | |
| 17 | | | |
| 18 | | | |
| 19 | | | |
| 20 | | | |

**Peso goma o latex recolectada:**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Frasco Vacío (gr): | 8.1 | Frasco C/Muestra (gr): | 9.7 | Peso Muestra (gr): | 1.6 |
| Bulbos Muestreados: | 50 | | | | |

*Fuente:* Elaboración proyecto MEXK54.

## Base de datos para rendimientos

La información registrada en los formularios 1 y 2 es integrada a la base de datos de rendimientos del proyecto, la base de datos cuenta con ventanas de visualización que permiten consultar o analizar la información por cultivo, campaña, región, año y a nivel nacional.

A continuación, se describen las actividades que realiza el grupo de analistas en las mediciones y la recolección de datos en los cultivos de amapola; la información se registra por cada cultivo de amapola utilizado los formularios 1 y 2 (Foto 3).

*Foto 3. Actividades en trabajos de campo para realizar las mediciones a cultivos de amapola [46].*

| Núm. | Actividad | Fotografía | Núm. | Actividad | Fotografía |
|---|---|---|---|---|---|
| **1** | Elección de la dirección del transecto al azar. | | **6** | Conteo de plantas, botones, flores, etc. | |
| **2** | Medición del transecto con cinta métrica (100 m) | | **7** | Medición de altura y ancho de plantas de amapola. | |
| **3** | Elección de 3 números aleatorios para la ubicación de las parcelas de 1x1 m | | **8** | Medición de altura y diámetro de todos los bulbos en cada parcela de 1x1 m | |
| **4** | Ubicación de parcelas de 1x1 m sobre la longitud del transecto. | | **9** | Registro de los datos en formularios 1 y 2. | |
| **5** | Ubicación de las tres parcelas de 1x1 m para recolectar los datos. | | **10** | Registro fotográfico de los materiales encontrados en el campo. | |

*Fuente:* Proyecto MEXK54.

46 Para mayores detalles consultar las "*Directrices para la medición del rendimiento de amapola de opio y de la hoja de coca en cortas visitas al terreno"* publicado por la UNODC en 2001.

## 3.2 Metodología para determinar el rendimiento de la goma de opio en México

El resultado de rendimiento de goma de opio (kg/ha) para México fue obtenido mediante el empleo de un modelo matemático mixto[47] ajustado con los datos recopilados en las regiones norte y sur del país entre octubre de 2017 y abril de 2018. En el anexo VII se muestran los resultados del rendimiento para cada uno de los 41 cultivos de amapola que fueron medidos en el estado de Guerrero (región sur) en la campaña de campo del mes de octubre de 2017.

Considerando el desafío del proyecto por presentar por primera vez resultados estadísticos de rendimiento y producción de goma de opio, el pasado mes de octubre del 2019 se realizó en instalaciones del Centro Nacional de Planeación, Análisis e Información para el Combate a la Delincuencia adscrito a la Coordinación de Métodos de Investigación de la Fiscalía General de la República (CENAPI-CMI-FGR), en la Ciudad de México, el taller técnico ***"Análisis de datos para el cálculo de rendimiento de goma de opio en México"*** con la participación de expertos nacionales e internacionales, quienes guiaron el resultado del estudio de rendimiento de goma de opio (kg/ha) en México 2017-2018 (Foto 4).

El grupo de expertos determinó que para estimar el rendimiento de goma de opio en base seca (kg/ha) se eligieran para el análisis y cálculos aquellos cultivos de amapola en etapa fenológica de madurez-cosecha[48] y ya rayados por el agricultor. Por lo anterior, de los datos recolectados en los 161 cultivos de amapola, solamente se utilizaron datos de 76 cultivos (40 de la región norte y 36 de la sur) que presentaban la mayoría de sus bulbos rayados. Los 85 cultivos de amapola restantes, aunque estaban en su etapa de madurez fueron medidos sin haber sido rayados por el agricultor.

*Foto 4. Taller técnico de rendimiento de goma de opio en instalaciones de CENAPI-FGR en Ciudad de México.*

| Actividades | |
|---|---|
| | |

*Fuente:* CENAPI- Proyecto MEXK54.

47 Se combinaron el modelo de hipérbola-no rectangular (Thai-Pak) de las Directrices para la medición del rendimiento de amapola de opio y de la hoja de coca en cortas visitas al terreno, publicado por UNODC en 2001 y el modelo lineal MX (México) desarrollado por los expertos Basil & Mary C. Acock con datos colectados en México durante 2002.
48 Las directrices establecidas por UNODC indican que para efectuar el cálculo de estimación de rendimiento de goma de opio es preferible utilizar cápsulas previamente rayadas por el agricultor, esto indicaría que los bulbos se han desarrollado totalmente.

Con el objetivo de asegurar que la estimación de rendimiento de goma de opio (kg/ha) para México reflejara resultados con estándares internacionales de control de calidad de UNODC,[49] la base de datos con la información recolectada por el equipo del proyecto fue revisada y se definieron criterios para limpiarla, asegurando que la cantidad de bulbos maduros/rayados por cada parcela (área equivalente a 1 $m^2$) medida fuese estadísticamente representativa.

Para los cálculos de estimación del rendimiento de goma de opio (kg/ha) se utilizó el modelo matemático mixto, el cual combina la hipérbola no rectangular y el modelo lineal. A continuación, se describen las fórmulas de cada modelo y para el cálculo del volumen de los bulbos (VC).

### Modelos utilizados para el cálculo del rendimiento de goma de opio.

- Modelo hipérbola no rectangular (Thai-Pak, 2001):
  $Y_{TP} = [(VC + 1495) – ((VC + 1495)^2 - 395.259 * VC)^{0.5}] / 1.795$

- Modelo lineal (México, 2002):
  $Y_{MX02} = 0.0421 * VC$

### Donde:

Y = rendimiento de goma de opio seca (kg/ha)
VC = volumen proyectado para los bulbos maduros por cada parcela de un metro cuadrado ($cm^3/m^2$)
$Y = MIN (Y_{MX02}, Y_{TP})$

### Cálculo de volumen para los bulbos ($VC_m$)

Para el estudio de rendimiento, se calculó el volumen total de todos los bulbos maduros para cada parcela, $VC_m$ ($cm^3\ m^{-2}$), desde la altura y el diámetro de los bulbos individuales usando la siguiente ecuación:

$$VC_m = \sum [(4/3 \cdot \pi \cdot a^2 \cdot b)]$$

### Donde:

a = mitad del diámetro de la cápsula (cm)
b = mitad de la altura de la cápsula (cm)

### Cálculo de volumen para los bulbos potenciales (VC)

Se calculó el volumen del bulbo proyectado (o potencial) para cada parcela (VC) usando la siguiente ecuación:

$$VC = (FB + C_i + C_m) \cdot VC_m/C_m$$

### Donde:

FB = número de flores y botones[50] contabilizados en la parcela de 1 $m^2$
$C_i$ = número de bulbos inmaduros contabilizados en la parcela de 1 $m^2$
$C_m$ = número de bulbos maduros contabilizados en la parcela de 1 $m^2$
$VC_m$ = volumen total de los bulbos maduros en la parcela de 1 $m^2$.

49 Para mayores detalles consultar el informe Afghanistan Opium Survey 2012, capítulo metodológico (UNODC, 2013).
50 Se consideran solamente aquellos botones que se espera se conviertan en bulbos maduros dentro del tiempo de cosecha (para mayores detalles consultar las *Directrices para la medición del rendimiento de amapola de opio y de la hoja de coca en cortas visitas al terreno* publicado por la UNODC en 2001.

# 4. RESULTADOS DEL ANÁLISIS QUÍMICO DE LA GOMA DE OPIO PARA EL PERIODO DE MONITOREO 2017-2018

En México no existían datos científicamente verificables de concentración de morfina en la goma de opio seca proveniente de los cultivos de amapola, el porcentaje oficial que se tenía desde hace varios años era del 10% de contenido de morfina, considerando como base la información que se ha generado en otros países con la problemática de opiáceos como Afganistán y Myanmar.

En la experiencia práctica que se tiene en el proyecto cuando se han visitado los cultivos en campo, se ha observado que en estos hay uso de fertilizantes y plaguicidas, lo que significaría que en los últimos años se ha mejorado el manejo del cultivo y que, probablemente, ha redituado en mayores concentraciones de morfina en la goma de opio.

En contexto, el precursor inmediato de la heroína es la morfina que se obtiene del látex de la goma de opio extraída de las cápsulas (bulbos) maduras de la adormidera (*papaver somniferum*) conocida como amapola. El látex extraído de los bulbos es una sustancia lechosa en las plantas de amapola que, posteriormente, se oxida tomado un color cafesoso, pierde agua y al contacto se torna como una sustancia pegajosa conocida comúnmente como goma de opio.

Para este periodo de estudio 2017-2018, el Gobierno de México determinó por primera vez el contenido de morfina (%) en la goma de opio de los 161 cultivos de amapola (Mapa 8); estos, de igual manera, fueron medidos para obtener su rendimiento de goma de opio (kg/ha), 77 cultivos en la región norte (Sinaloa y Chihuahua) y 84 para la región sur (Guerrero).

Los analistas del proyecto rayaron un total de 7,857 bulbos para obtener muestras de látex, 3,860 bulbos para la región norte y 3,997 para la región sur durante los meses de octubre-noviembre de 2017 y marzo-abril de 2018.

Los estudios de concentración de morfina en las muestras de goma de opio se realizaron en el Laboratorio de Química Forense de la Coordinación General de Servicios Periciales de la Fiscalía General de la República, el cual participa desde 2013 en los ejercicios de análisis forense del Programa de Calidad de Ejercicios de Colaboración Internacional[51] (ICE, por sus siglas en inglés) de UNODC y desde octubre de 2015 fue acreditado por la Junta Nacional de Acreditación[52] (ANAB, por sus siglas en inglés) por haber demostrado su competencia técnica en materia de análisis forense, asimismo, opera bajo los criterios de la norma 17025 de la Organización Internacional de Normalización (ISO 17025, por sus siglas en inglés).[53]

51 Programa Internacional de Garantía de Calidad de la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC), que forma parte de los Servicios Científicos y Forenses prestados a los laboratorios forenses de análisis de drogas y toxicología de todo el mundo. El Programa permite a los laboratorios participantes hacer un seguimiento continuo de su desempeño a escala mundial.
52 Organización no gubernamental que brinda servicios de acreditación y capacitación a organizaciones de los sectores público y privado, sirviendo al mercado global. ANAB es el organismo de acreditación más grande de América del Norte y brinda servicios en más de 75 países.
53 Norma de calidad que tiene base en la serie de normas ISO 9000, aunque introduce una serie de requisitos técnicos imprescindibles para lograr la acreditación de los laboratorios de ensayo y calibración.

A continuación, la Tabla 11 muestra los resultados promedio obtenidos del contenido de morfina en goma de opio en base seca a nivel regional y nacional.

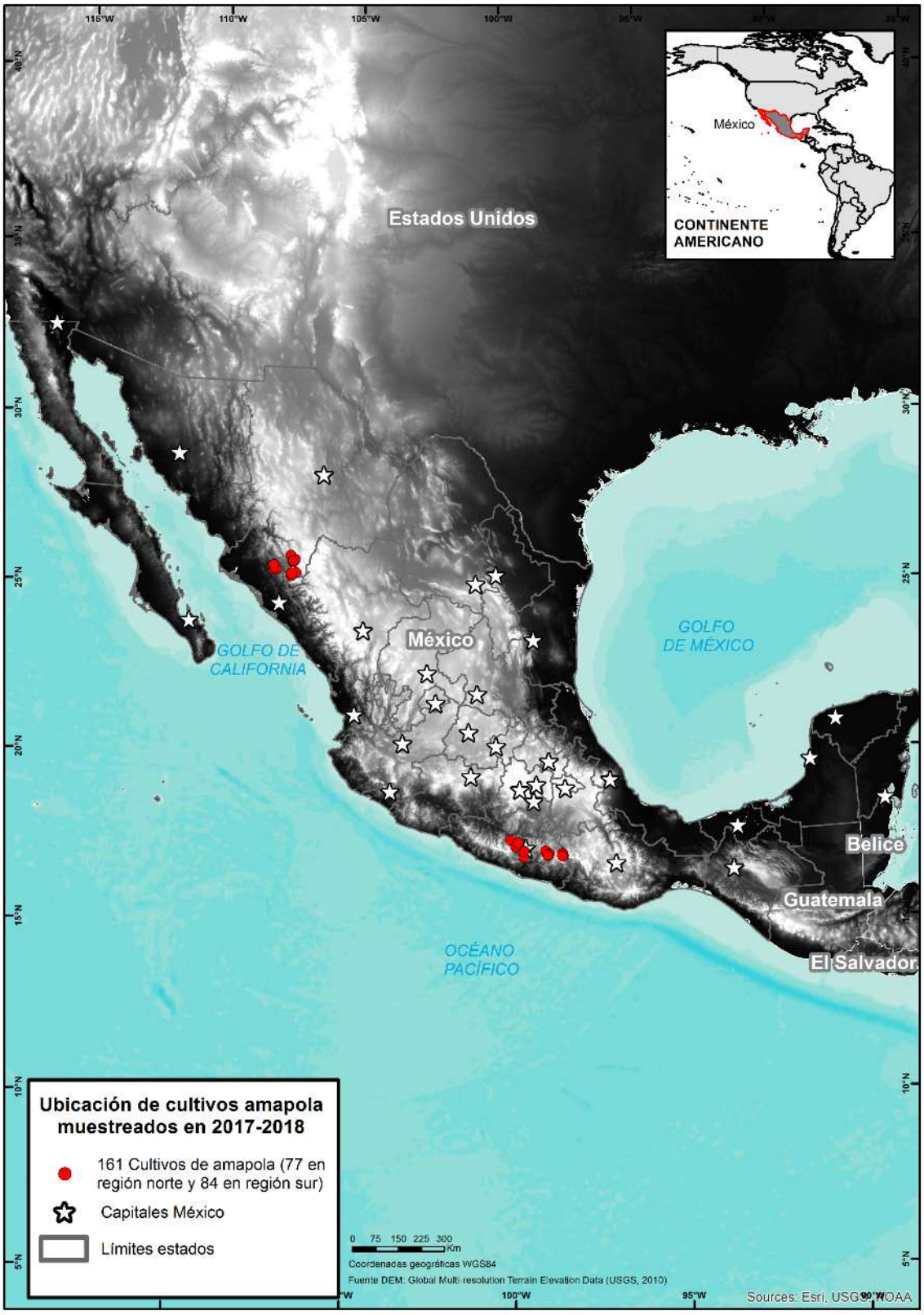
*Tabla 11. Contenido de morfina (%) en la goma de opio 2017-2018[54].*

| Región | Porcentaje de Morfina [55] |
|---|---|
| Región Norte (Sinaloa y Chihuahua) | **16.3%** (± 0.24%) |
| Región Sur (Guerrero) | **16.9%** (± 0.24%) |
| **Nacional** | **16.6%** (± 0.24%) |

*Fuente:* Laboratorio de FGR - Proyecto MEXK54.

54 Los resultados de la tabla están redondeados al decimal próximo.
55 Los valores entre paréntesis de los resultados de la concentración de morfina indican la incertidumbre expandida del análisis químico.

*Mapa 8. Ubicación de los cultivos de amapola que fueron visitados para obtener una muestra de látex de goma de opio para el contenido de morfina en 2017-2018.*




*Fuente:* Proyecto MEXK54 "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 Naciones Unidas.

## 4.1 Metodología en trabajos de campo para colectar la muestra de látex de goma de opio

El estudio de análisis químico de la goma de opio seca fue realizado para determinar su concentración de morfina (%) en cada cultivo de amapola, para ello se requiere visitar en el terreno los cultivos y recolectar una muestra de látex de 2 gramos aproximadamente. Aunque en México esto no es una actividad sencilla, dadas las condiciones tanto físicas del terreno, como de seguridad que prevalecen en el país.

El proyecto ha realizado cuatro campañas de visita a campo en diferentes momentos del periodo de monitoreo 2017-2018, dos en el estado de Guerrero considerado como región sur y dos en los estados de Sinaloa y Chihuahua correspondiente a la región norte. En estas campañas se trabajó de manera conjunta con personal de analistas de la Secretaría de Marina, la Secretaría de la Defensa Nacional y la Fiscalía General de la República, quienes muestrearon los cultivos de amapola para la obtención de la muestra de látex.

Para extraer el látex de la goma de opio, debemos considerar que los bulbos visualmente presenten su madurez,[56] ver el ejemplo del anexo VIII elaborado por el proyecto. Algunas características que se aprecian en esta etapa para los bulbos maduros son un color verde pálido con capa cerosa, la corona irradiada o erecta (Foto 5) que se presenta en general posteriormente a la caída de pétalos de la flor. Físicamente, el látex está contenido dentro de los vasos laticíferos, que se encuentran justo debajo del epicarpio del bulbo de la amapola y se extrae haciendo una serie de incisiones (cortes) superficiales sobre el epicarpio; de esta manera el látex segrega en la superficie del bulbo.

*Foto 5. Características visuales de la madurez de un bulbo de amapola.*

| Características | |
|---|---|
| **Verde pálido** | **Corona irradiada** |
| | |

*Fuente:* Proyecto MEXK54.

56 Momento adecuado para realizar el rayado del bulbo, ya que se obtiene la mayor cantidad de goma de opio con un alto contenido de alcaloides (morfina) de acuerdo con el estudio *"Limited Opium Yield Assessment Surveys"* realizado por Scientific and Technical Notes (SCITEC/19) de UNODC, publicado en 2003.

Regularmente, el agricultor deja secar parcialmente el látex sobre la superficie del bulbo, y luego la recolecta mediante raspado con herramientas diseñadas por él mismo (Foto 6). La goma de opio seca es maleable, de color marrón claro a oscuro, similar al alquitrán, y se le conoce como "opio crudo". Los principales componentes del opio crudo son fragmentos de plantas, resinas, esteroles, alcoholes tri-terpenoides, ácidos grasos, alcoholes, polisacáridos, ácido mecónico, porfiroxinas y varios alcaloides principales como: morfina (M), tebaína (T), codeína (C), papaverina (P) y noscapina (N).

*Foto 6. Herramientas utilizadas por el agricultor para la colecta de goma de opio.*

| Características | |
|---|---|
| **Navaja para rayar** | **Recipiente metálico** |
| | |

*Fuente:* Proyecto MEXK54.

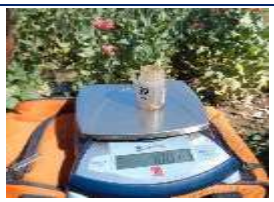
Las incursiones a los campos de cultivo de amapola que fueron muestreados en el periodo 2017-2018 se realizaron con apoyo de las fuerzas armadas:

- SEDENA: personal de analistas, personal de seguridad/infantería, traslados a las áreas de cultivos por vía aérea (helicóptero), en vehículos terrestres todo terreno (humvee) y a pie.
- SEMAR: personal de analistas, traslados aéreos y/o terrestres a los mandos militares y navales para cada campaña de campo.

Considerando el proceso empírico que sigue el agricultor para recolectar la goma de opio de los bulbos de amapola, los analistas del proyecto implementaron una metodología práctica y similar a la utilizada por el agricultor para muestrear el látex de los cultivos de amapola visitados en el periodo reportado. Cabe mencionar que, a diferencia del proceso de rayado de los bulbos para colectar la goma de opio después de varias horas por el agricultor, y por cuestiones de seguridad en las áreas de cultivos de amapola, los analistas del proyecto realizan el rayado para muestrear el látex después de 15 minutos, aproximadamente.

A continuación, en la Foto 7 se describen de manera breve las actividades realizadas para el muestreo del látex por el grupo de analistas.

*Foto 7. Actividades para la colecta de látex de goma de opio.*

| Núm. | Actividad | Fotografías | |
|---|---|---|---|
| **1** | Etiquetado y pesaje de frascos de polipropileno sin tapa registrando los pesos en los formatos correspondiente. | | |
| **2** | Se seleccionan de 50 a 60 bulbos maduros sin rayar de diferentes secciones del cultivo de amapola. | | |
| **3** | Con una navaja se hace un corte de un 1 mm de profundidad en forma horizontal en los bulbos maduros. | | |
| **4** | Dejar escurrir el látex por 15 minutos aproximadamente. | | |
| **5** | Se recolecta la muestra de látex en el frasco de material sintético previamente etiquetado y pesado, anotando con precisión el número de bulbos muestreados en el formato correspondiente. | | |
| **6** | Los frascos con muestras se pesan en una superficie plana y se anota el peso en el formato correspondiente. |  | |
| **7** | Los frascos con muestra se conservan en una hielera con geles congelados para su transporte. | | |
| **8** | Posteriormente se conservan en refrigeración hasta su traslado al Laboratorio de Química de la Coordinación General de Servicios Periciales de la FGR para su secado al horno. | | |

*Fuente:* Proyecto MEXK54.

## 4.2 Metodología para determinar los sólidos en las muestras de látex en goma de opio

El proyecto elaboró un instructivo para determinar el contenido de sólidos en muestras de látex en la goma de opio. El método para la determinación del contenido de sólidos es aplicable a muestras de látex de opio y goma de opio tomadas directamente de los bulbos maduros del cultivo de amapola.

El laboratorio realizó un análisis gravimétrico, este es un método que se basa en la determinación gravimétrica de la pérdida de peso de la muestra en un horno a temperatura de 80 grados Celsius (Foto 8) durante un periodo de 48 horas o hasta tener peso constante, para lo cual se utilizó el siguiente material y, equipo, y se continuo con las etapas del método:

*Foto 8. Secado de muestras para determinar el porcentaje de sólidos de goma de opio.*

| Características | |
|---|---|
| **Muestras de opio en charola** | **Horno de convección** |
| | |

*Fuente:* Proyecto MEXK54.

### Material y equipo

- Balanza analítica
- Horno de convección forzada
- Charolas de aluminio de 5 centímetros de diámetro
- Espátulas
- Pinzas para crisol

### Etapas del método gravimétrico

1. Identificar las charolas con marcador indeleble.
2. Pesar cada charola en una balanza analítica y anotar su peso en el formato correspondiente, en P.CH.V. (peso de charola vacía).
3. Pesar de un gramo de muestra en cada una de las charolas debidamente etiquetadas en la balanza analítica o pesar la mayor cantidad posible según la muestra disponible y anotar los pesos en el formato correspondiente en P.CH.M. (peso de charola con muestra).

4. Colocar las charolas con muestra en el horno a una temperatura de 80 grados Celsius y monitorear los pesos de las charolas a las 24 horas, 36 horas y 48 horas, anotando dichos pesos en el formato correspondiente (peso charola con muestra seca).
5. Verificar que el peso entre las dos últimas pesadas no tenga una diferencia mayor a 0.0005 g, en caso contrario monitorear el peso cada hora hasta que la diferencia entre las dos últimas pesadas sea por lo menos de 0.0005 g.

Posteriormente el laboratorio empleó la siguiente fórmula para determinar los sólidos en el látex de la goma de opio.

$$\% S = (P2-P1)100/PM$$

**Donde:**

P2 = Peso charola con muestra seca
P1 = Peso charola vacía
PM = Peso de la muestra de látex o goma de opio

En el anexo IX se muestran los resultados del porcentaje de sólidos de 41 muestras de látex que fueron muestreados en el estado de Guerrero (región sur) en la campaña de campo del mes de octubre de 2017. En la Tabla 12 se encuentran los resultados promedio de las cuatro campañas del muestreo de látex de la goma de opio.

*Tabla 12. Porcentajes de sólidos en el látex de la goma de opio para cada campaña durante 2017-2018.*

| Región | Periodo campaña | Promedio de sólidos (%) |
|---|---|---|
| Región sur (Guerrero) | Octubre de 2017 | 34.4% |
| Región norte (Sinaloa y Chihuahua) | Noviembre de 2017 | 47.4% |
| Región sur (Guerrero) | Febrero de 2018 | 39% |
| Región norte (Sinaloa y Chihuahua) | Abril de 2018 | 44.8% |
| Regiones sur y norte (nacional) | 2017-2018 | 41.4% |

*Fuente:* Laboratorio de FGR - Proyecto MEXK54.

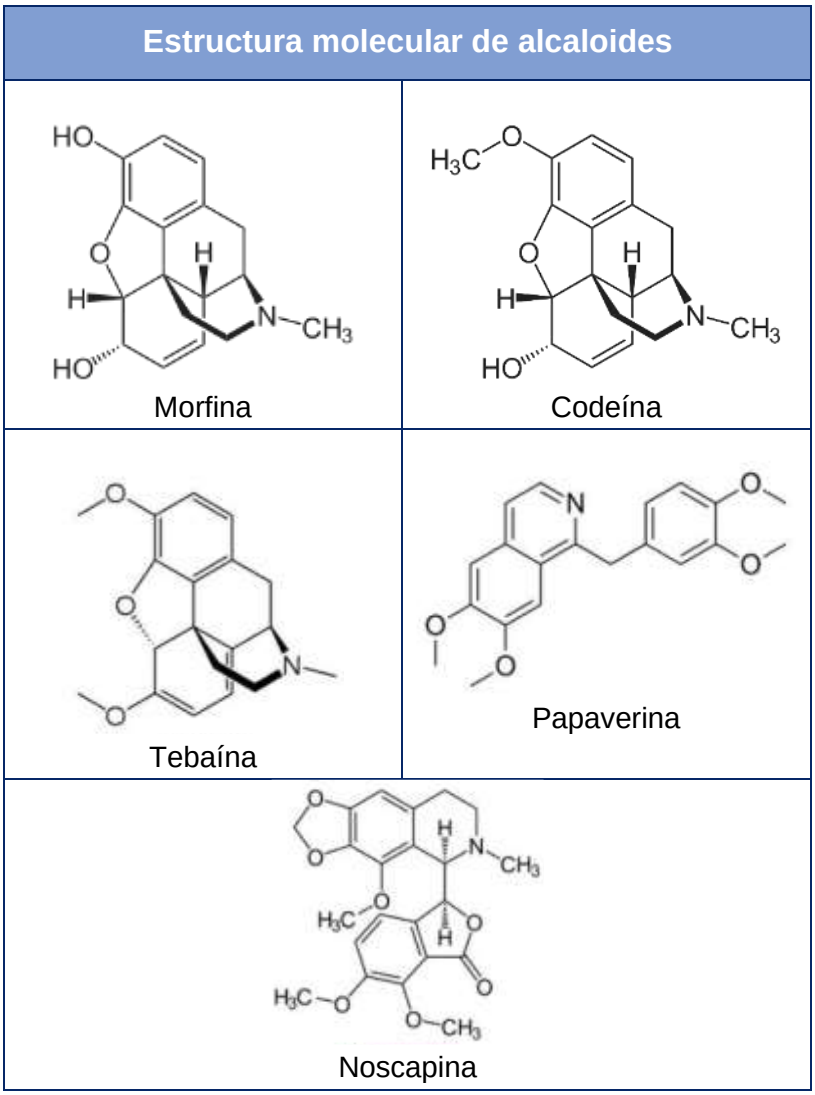
## 4.3 Metodología para determinar el contenido de morfina en la goma de opio en base seca

La metodología utilizada para la determinación del contenido de morfina en la goma de opio de cultivos ilícitos de amapola en territorio mexicano como parte del proyecto MEXK54, tuvo resultados precisos y reproducibles gracias al uso de la cromatografía de gases con detector de ionización de flama (GC-FID). La determinación cuantitativa de morfina en la goma de opio se realizó a través de una columna capilar cromatográfica no polar 100% Dimetilpolisiloxano (DB-1MS), con una longitud de 30 metros, un diámetro de 0.320 milímetros y un espesor de película de 0.25 micrómetros (µm); utilizando un derivatizante a base de N-Metil-N-(trimetilsilil) trifluoroacetamida (MSTFA), tal y como lo establecen las “metodologías recomendadas por la UNODC para el análisis forense”.

Los requisitos de calidad se corroboraron a través de la validación del método, estableciendo criterios de aceptación mínimos en idoneidad del sistema (adecuabilidad), linealidad, rango de trabajo, límite de detección (LOD), límite de cuantificación (LOQ), precisión en condiciones de repetibilidad, precisión intermedia y estabilidad, cumpliendo satisfactoriamente con valores de RSDs ≤ 0.3%. La exactitud y trazabilidad se demostró a través del uso de estándares certificados y de programas de mantenimiento y calibración de los instrumentos utilizados. Se determinó la incertidumbre de la medición mediante los datos de validación. La confirmación de la identidad de la morfina en las muestras de goma de opio se realizó a través de la técnica de cromatografía de gases acoplada a Espectrometría de Masas (GC-EM).

El análisis de la goma de opio y el látex de opio es importante para fines legales y de inteligencia, ya que estos contienen los principales alcaloides como morfina, codeína, tebaína, noscapina y papaverina (Figura 8), los cuales son de gran interés para la comunidad forense. Para la cuantificación de estos alcaloides en el opio existen diferentes técnicas de análisis tales como la cromatografía de gases (GC), cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y electroforesis capilar (CE).

*Figura 9. Estructuras químicas de los principales alcaloides de la goma de opio.*



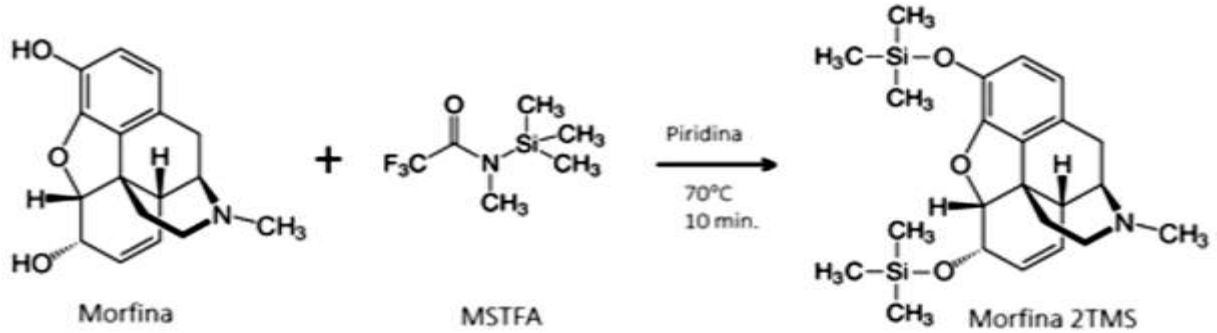

*Fuente:* Grupo de Trabajo Científico para el Análisis de Drogas Incautadas (SWGDRUG, por sus siglas en inglés).

El Laboratorio de Química Forense de FGR determinó con base en las directrices establecidas por UNODC utilizar la Cromatografía de Gases capilar, la cual proporciona una resolución muy superior a otras técnicas; sin embargo, para el análisis de algunos de los alcaloides contenidos en la goma de opio, por ejemplo, la morfina, se requiere una derivatización previa, para estabilizarlos térmicamente. Por otra parte, debido a que la tebaína es térmicamente inestable y no tiene grupos derivatizables su rendimiento cromatográfico es deficiente. La noscapina también es un analito difícil de trabajar en fase gaseosa, por lo que su determinación no es muy confiable.

Se han propuesto técnicas como HPLC, que permite el análisis directo de estos compuestos; sin embargo, el tratamiento de la muestra es extenso y tardado, además de que la resolución de los picos es pobre.

Existen muchos derivatizantes que pueden ser utilizados para estabilizar a la morfina, para que pueda ser analizada adecuadamente por la técnica de cromatografía en fase gaseosa. El MSTFA, en presencia de piridina, es un reactivo que produce compuestos sililados muy estables, en tiempos de reacción relativamente cortos y eficientes (Figura 9).

*Figura 10: Derivatización de la morfina.*




*Fuente:* Grupo de Trabajo Científico para el Análisis de Drogas Incautadas (SWGDRUG, por sus siglas en inglés).

### 4.3.1 Validación del método

### Sustancias químicas y reactivos

Todos los estándares con certificado de análisis, de los principales alcaloides de la goma de opio: morfina, codeína monohidratada, tebaína, clorhidrato (HCL) de papaverina y noscapina HCL, fueron proporcionados por la Oficina de Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC). El estándar interno (ISTD) n-Tetracosano con pureza ≥99% se obtuvo de Merck, la N-Metil-N-(trimetilsilil) trifluoroacetamida (MSTFA), especial para derivatización por CG, ≥98.5% fue obtenido de Sigma-Aldrich. El cloroformo grado analítico por la American Chemical Society (A.C.S.) se obtuvo de Meyer. La piridina anhidra con pureza ≥99.8% fue adquirida de Sigma-Aldrich.

### Instrumentación

La instrumentación de GC-FID consistió en un cromatógrafo de gases Agilent, modelo 7890A equipado con un detector de ionización de flama (FID), un inyector automático Agilent, modelo 7683B y un automuestreador Agilent, modelo 7683 (Foto 9). Para la determinación del contenido de morfina en goma de opio se utilizó una columna capilar no polar con 100% dimetilpolisiloxano (DB-1MS), con una longitud de 30 metros, un diámetro de 0.320 milímetros y un espesor de película de 0.25 micrómetros (µm). Tambien fue utilizado un liner tipo Split, Agilent 5183-4647.

*Foto 9. Cromatógrafos empleados para la cuantificación y confirmación del látex de goma de opio.*

| Características | |
|---|---|
| **Cromatógrafo de gases con detector FID** | **Cromatógrafo de gases acoplado a espectrómetro de masas** |
| | |

*Fuente:* Laboratorio de FGR - Proyecto MEXK54.

La instrumentación de GC-MS consistió en un cromatógrafo de gases Agilent, modelo 7890A acoplado a un espectrómetro de masas, modelo 5975C inert XL MSD, un inyector automático Agilent, modelo 7683B, y un automuestreador Agilent, modelo 7683. Para la confirmación de la identidad de la morfina en la goma de opio, se utilizó una columna capilar no polar con 100% dimetilpolisiloxano (DB-1MS), con una longitud de 30 m, un diámetro de 0.320 mm y un espesor de película de 0.25 µm. Asimismo un liner tipo Split, Agilent 5183-4647, fue utilizado.

### Condiciones de operación de GC-FID y GC-MS

Las condiciones de operación cromatográficas en ambos instrumentos fueron tomadas del método de Neumann Helmut recomendado por la UNODC para el análisis de opio, morfina y heroína [6], el cual consiste en una relación de Split 20:1, un volumen de inyección de muestra de 1 µL, la temperatura del inyector a 250 °C la purga de septa a 3 ml/min, con un flujo de gas acarreador de 3 ml/min. El horno se programó a una temperatura inicial 150 °C con una rampa de 9 °C/min hasta 300 °C y una isoterma final de 300 °C por 5.4 minutos. Las condiciones del detector FID se fijaron a una temperatura de 310 °C, con un flujo de H2 de 40 ml/min, el flujo de aire fue de 400 ml/min y un flujo de Makeup N2 de 10 ml/min. El detector másico operó con un Solvent Delay de 2.0 min, un rango de masas de 40 a 550 amu, un threshold de 300 °C. La temperatura para la línea de transferencia del GC-MS fue de 300 °C.

### 4.3.2 Preparaciones de estándares y muestras

Para la determinación del contenido de morfina en la goma de opio y considerando una muestra analítica de 10 mg y un rango de trabajo de 2.8 a 29.4%, se validó el método analítico con derivatización recomendado por la UNODC, a través de la preparación estándares **de morfina (M)** en placebos adicionados.

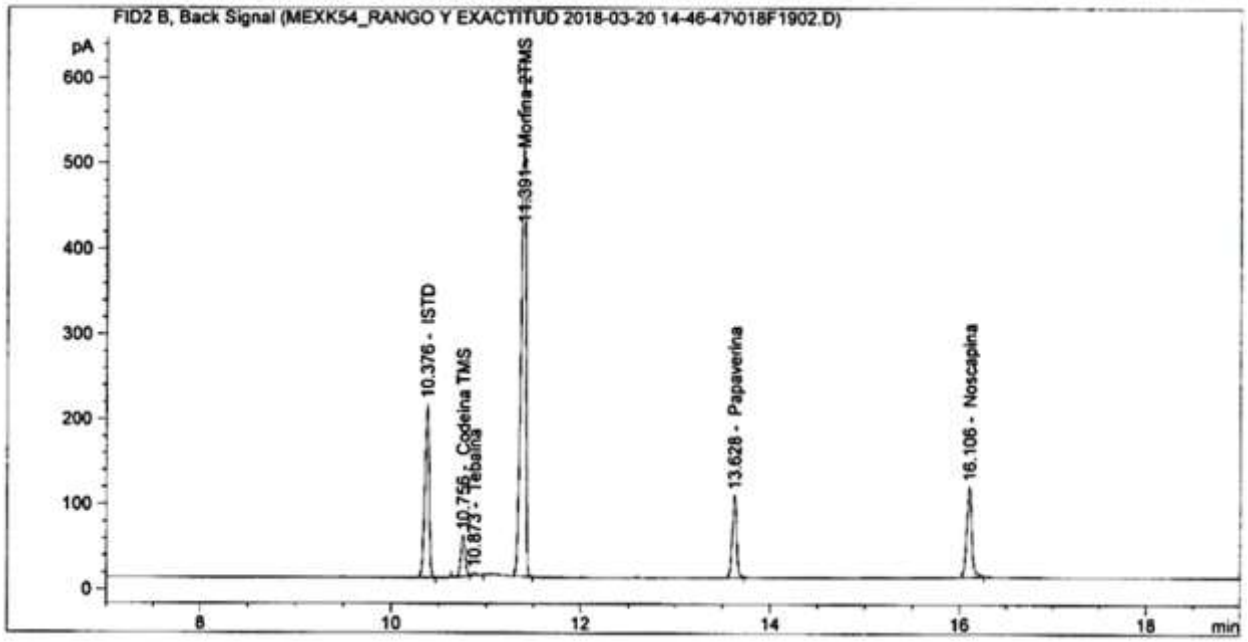
Para la determinación de la idoneidad del sistema, especificidad y/o selectividad, linealidad, rango de trabajo, repetibilidad, precisión intermedia, límite de detección, límite de cuantificación exactitud (recobros) y estabilidad se prepararon soluciones **estándar de M** en concentraciones de 0.207, 0.622, 1.037, 1.400, 1.815 y 2.177 mg/ml, sobre placebo. Las soluciones se prepararon por diluciones seriadas a partir de una solución de estándar de trabajo de M que fue pesada con exactitud y diluida en un matraz volumétrico con metanol, para obtener una concentración aproximada 7 mg/ml.

La cantidad de analito de M tomada de la solución estándar de trabajo, para la mayoría de las determinaciones, fue depositada en un tubo de reacción, el disolvente se evaporó a sequedad a 80°C. Con la ayuda de jeringas certificadas, se agregó 1 ml de cloroformo, 200 µL de piridina, y 150 µL de MSTFA para obtener un volumen final 1.35 ml. Cada solución preparada fue sometida a calentamiento en un termo bloque a 70° C por 10 minutos. Una vez efectuada la derivatización, se dejaron reposar por una hora, previo a su inyección al cromatógrafo.

Se preparó una solución de trabajo de placebo con ISTD en cloroformo con las siguientes concentraciones: ISTD 1 mg/ml, codeina 0.27 mg/ml, tebaina 0.28 mg/ml, papaverina 0.675 mg/ml y noscapina 1.350 mg/ml. Esta solución fue utilizada a lo largo del proceso de validación.

Los resultados de la validación en el laboratorio demostraron que el método utilizado es específico, preciso, lineal, exacto, sensitivo, idóneo y con excelente estabilidad de muestra, para la cuantificación de morfina en goma de opio, como se muestra en el ejemplo de la Gráfica 8 del siguiente cromatograma.

*Gráfica 8. Cromatograma de una muestra de goma de opio colectada en marzo de 2018.*

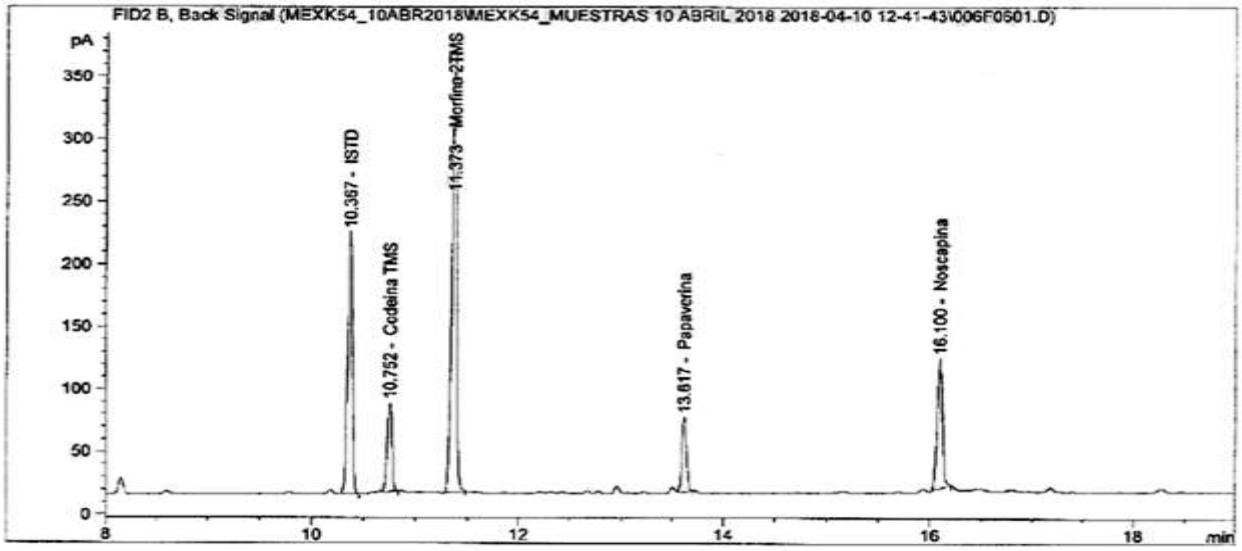



*Fuente:* Laboratorio de FGR - Proyecto MEXK54.

### 4.3.3 Determinación de la concentración de morfina en las muestras de goma de opio en base seca

Para la preparación de las muestras de goma de opio en base seca, recolectadas de los cultivos de amapola de diferentes zonas del país, se pesó con exactitud una cantidad aproximada de 10 mg de muestra y se depositó en un tubo de ensayo con tapa roscada recubierta con teflón (PTFE). Mediante el uso de jeringas certificadas se agregó con exactitud 1 ml de solución de cloroformo con ISTD a 1 mg/ml, 200 µL de piridina, y 150 µL de MSTFA para obtener un volumen final de 1.35 ml. Cada muestra preparada fue sometida a calentamiento en un termo bloque a 70 ° C por 10 minutos. Una vez efectuada la derivatización se dejaron reposar durante una noche, previo a su inyección al cromatógrafo. Como se osberva en la Gráfica 9, representativa de una muestra de goma de opio cuantificada por GC-FID.

*Gráfica 9. Cromatograma de una muestra de goma de opio recolectada en abril de 2018.*




*Fuente:* Laboratorio de FGR - Proyecto MEXK54.

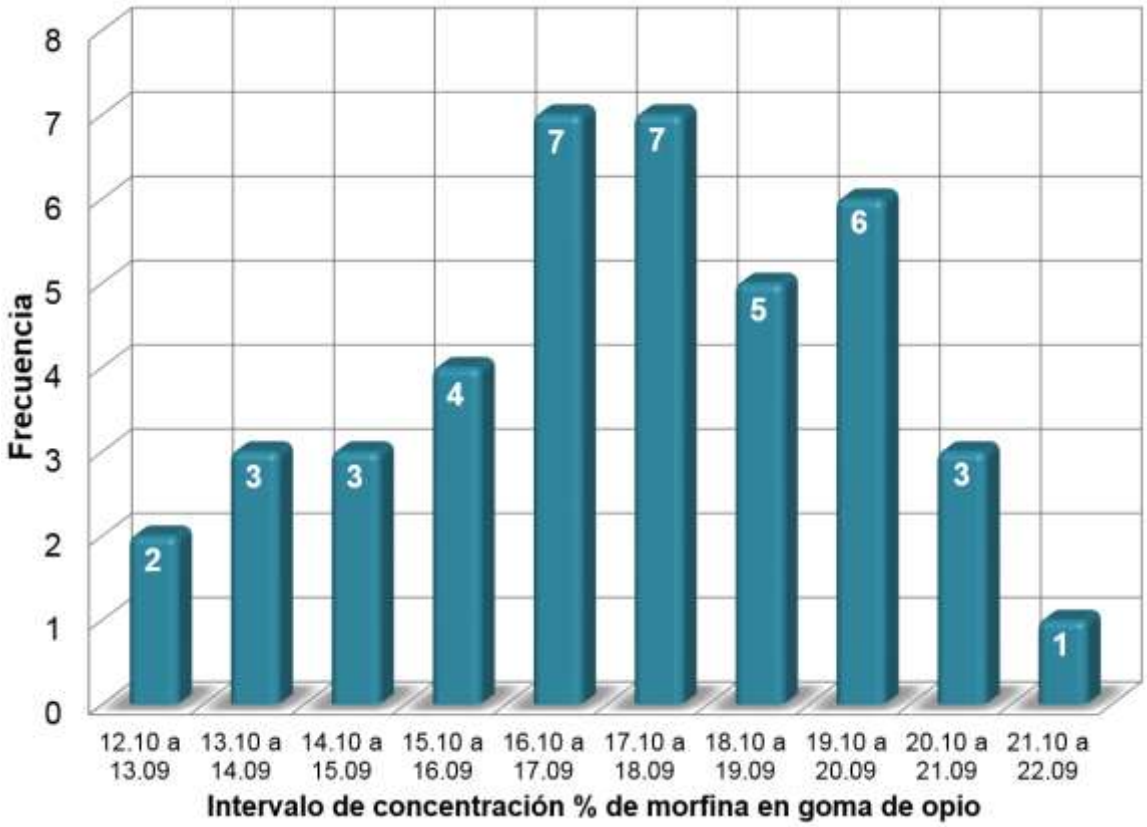
En la Gráfica 10 y en el anexo X se muestran los resultados del porcentaje de contenido de morfina de las 41 muestras de látex que fueron muestreadas en el estado de Guerrero (región sur) en la campaña de campo del mes de octubre de 2017. En la Tabla 13 se encuentran los resultados promedio de las cuatro campañas para el contenido de morfina en la goma de opio.

*Tabla 13. Porcentajes de contenido de morfina en las campañas de 2017-2018.*

| Región | Periodo campaña | Promedio morfina (%) |
|---|---|---|
| Región sur (Guerrero) | Octubre de 2017 | 17.1% |
| Región norte (Sinaloa y Chihuahua) | Noviembre de 2017 | 15.4% |
| Región sur (Guerrero) | Febrero de 2018 | 16.8% |
| Región norte (Sinaloa y Chihuahua) | Abril de 2018 | 17.1% |
| Regiones sur y norte (Nacional) | 2017-2018 | 16.6% |

*Fuente:* Laboratorio de FGR - Proyecto MEXK54.

*Gráfica 10. Frecuencias del contenido de morfina para la campaña de octubre de 2017.*




*Fuente*: Laboratorio de FGR - Proyecto MEXK54.

# 5. RESULTADOS DEL ESFUERZO NACIONAL EN ACTIVIDADES DE DESTRUCCIÓN DE PLANTÍOS ILÍCITOS

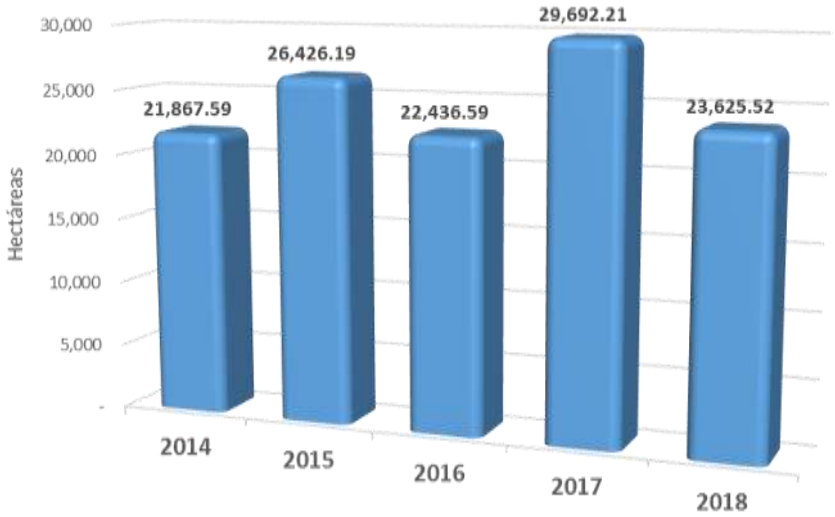
En este capítulo se reportan los resultados del esfuerzo nacional del Gobierno de México durante más de una década de lucha contra la oferta del plantío de amapola y sus derivados. Cabe mencionar, que UNODC no tiene protocolos operativos para verificar la información reportada. El Gobierno de México, consciente de atender la disponibilidad de drogas, ha llevado a cabo diversas acciones para contrarrestar la problemática derivada de su cultivo y producción; en este sentido, destacan las labores de destrucción de plantíos de amapola y aseguramientos de sus derivados por parte de sus dependencias responsables en atender la oferta de drogas: SEDENA, SEMAR, FGR-CMI-PFM Y SSPC.

De manera particular, la SEDENA en el marco de sus atribuciones y competencias, la SEDENA realiza la mayor aportación en materia de destrucción mediante el despliegue de bases de operaciones para la destrucción física mediante la mano de obra e incineración. Entre los beneficios alcanzados a través de las actividades de destrucción se encuentran el afectar la base económica de las organizaciones delictivas, garantizar la seguridad de la población afectada o en situación de riesgo por la siembra de amapola, generar condiciones adecuadas para el desarrollo de las actividades económicas lícitas y resaltar el esfuerzo del Gobierno Mexicano para disminuir la oferta de la droga producida a partir de los plantíos de amapola.

## 5.1 Resultados del Esfuerzo Nacional[57]

En lo concerniente a la destrucción de amapola por hectáreas, se ha reportado un total de 124,048.11 hectáreas durante el periodo comprendido entre 2014 y 2018 (Gráfica 11), en el cual se observó una tendencia variable, destacando el año 2017 al registrar la mayor cantidad de hectáreas erradicadas con un total de 29,692.21, lo que representa el 23.9% de la superficie erradicada a nivel nacional durante los 5 años en examen. Las cifras reportadas en el periodo antes mencionado muestran una tendencia en incremento, observándose un aumento de 35.8% en 2017 con respecto a 2014 y un decremento de 20% en 2018 respecto al año anterior, en promedio se logró erradicar 24,809.62 hectáreas anualmente.

*Gráfica 11. Destrucción anual de amapola (ha).*

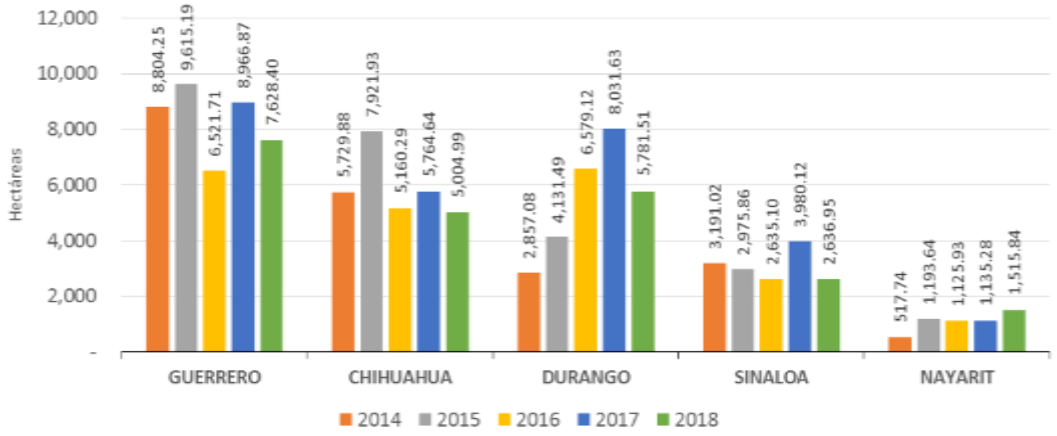



*Fuente*: FGR-CMI-CENAPI, periodo comprendido del 1° de enero de 2014 al 31 de diciembre de 2018.

57 Los resultados del esfuerzo nacional están reportados por las dependencias del Gobierno Mexicano (SEDENA, SEMAR, FGR-CMI-PFM-CENAPI Y SSPC), estos no han sido verificados por UNODC.

A nivel nacional, los estados con la mayor cantidad de superficie de amapola destruida fueron: Guerrero, Chihuahua, Durango, Sinaloa y Nayarit (Gráfica 12). De manera particular, el estado de Guerrero registra un total de 41,536.43 hectáreas de amapola destruidas entre 2014 y 2018 y mantuvo el primer lugar durante los cuatro años de estudio. Por otra parte, durante 2016, Durango reportó el mayor número de hectáreas erradicadas con 6,579.12, ligeramente más alto con respecto al estado de Guerrero. En 2015, el estado de Chihuahua registró la cifra de 7,921.93 hectáreas destruidas, cantidad con la cual se colocó en el segundo lugar a nivel nacional durante ese año.

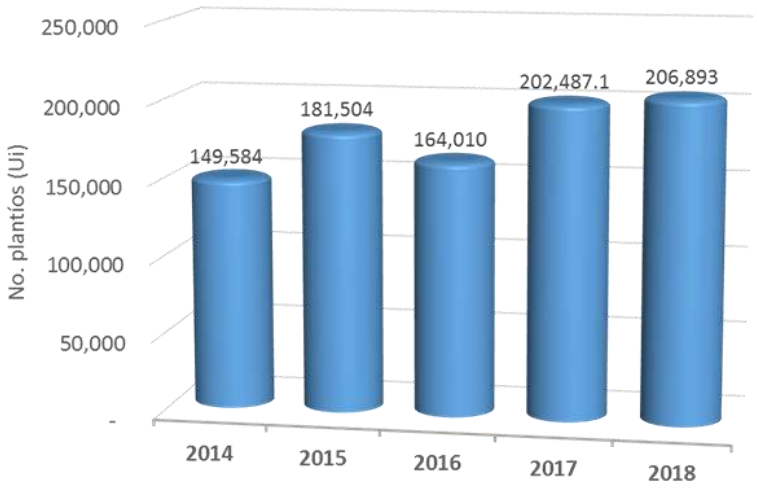
*Gráfica 12. Destrucción de amapola por estado (ha)*[58]




*Fuente: FGR-CMI-CENAPI, periodo comprendido del 1° de enero de 2014 al 31 de diciembre de 2018.*

De manera particular, sobre la destrucción de plantíos de amapola, en el periodo que abarca de 2014 a 2018 se reportó el aseguramiento de 904,478 Ui, (Gráfica 13) siendo el último año el que concentró 22.9% del total contabilizado durante el periodo de análisis.

*Gráfica 13. Destrucción anual de plantíos de amapola (Ui)*



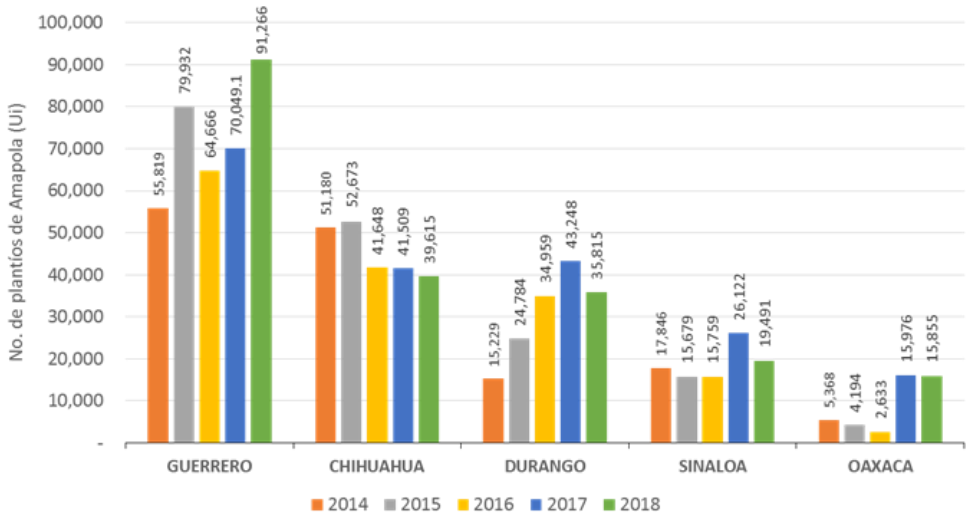

*Fuente:* FGR-CMI-CENAPI, periodo comprendido del 1° de enero de 2014 al 31 de diciembre de 2018.

58 la gráfica representa a los cinco primeros estados de la República Mexicana, con aproximadamente 95% de hectáreas erradicadas de amapola, el resto se distribuye en otros estados del país.

En lo tocante 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 (Gráfica 14).

Asimismo, el estado de Guerrero reportó la cantidad de 361,798.10 Ui en destrucción de plantíos de amapola, que representa 40% del total nacional; mientras que Chihuahua ocupó el segundo lugar nacional con 226,625 Ui plantíos en los cinco años de estudio, cifra que representó el 25% del total nacional, acumulando ambos estados el 65% del total de plantíos de amapola destruidos en todo el país.

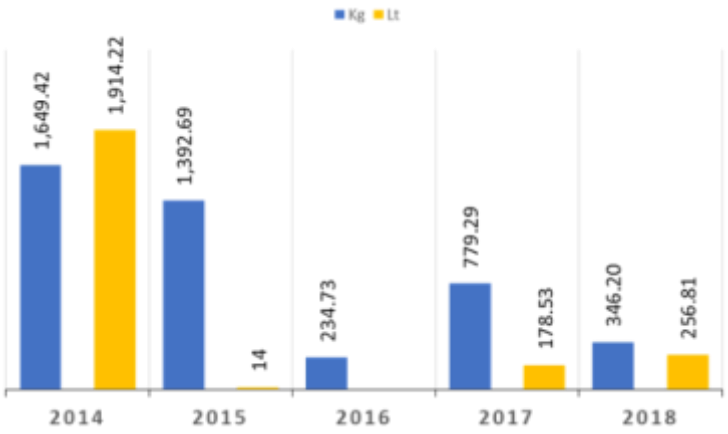
*Gráfica 14. Destrucción de plantíos de amapola en los principales estados (Ui).*




*Fuente:* FGR-CMI-CENAPI, periodo comprendido del 1° de enero de 2014 al 31 de diciembre de 2018.

En lo concerniente al aseguramiento de goma de opio, durante el periodo de 2014 a 2018 se reportaron 4,402.33 kg y 2,363.55 lt incautados por las autoridades del Gobierno de México (Gráfica 15), destacando que los años con mayores aseguramientos fueron 2014 y 2015, registrados principalmente en los estados de Guerrero, Durango y Sinaloa, entidades que también cuentan con la mayor cantidad de superficie de amapola erradicada durante el periodo antes citado.

*Gráfica 15. Aseguramiento anual de goma de opio en kilogramos y litros.*

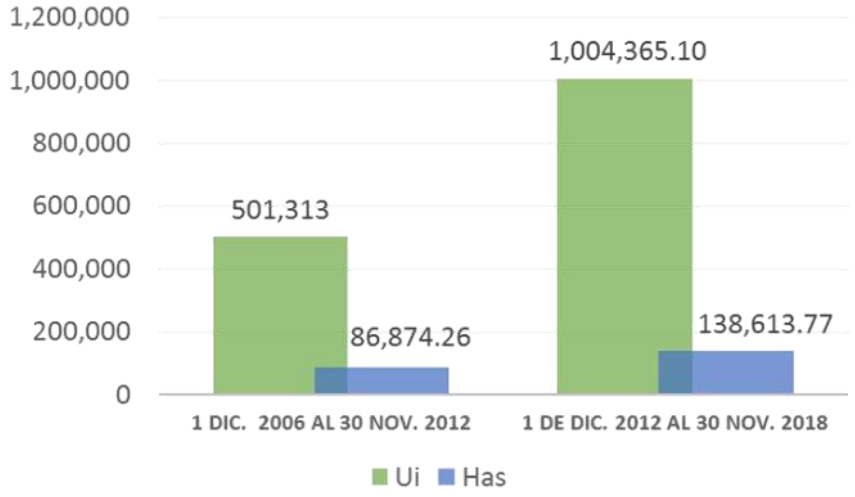



*Fuente:* FGR-CMI-CENAPI, periodo comprendido del 1° de enero de 2014 al 31 de diciembre de 2018.

La destrucción de plantíos de amapola en el sexenio 2012-2018 reportó una cantidad de 1,004,365.10 Ui, en comparación con el sexenio anterior con una cantidad de 501,313.00 Ui.

En la gráfica 16 se observa un incremento en la destrucción de plantíos sobresaliendo las acciones realizadas en el sexenio 2012-2018, en las que puede apreciarse una destacada labor por parte del Gobierno de México en las hectáreas destruidas, ya que se presentó un aumento de 60% con respecto al periodo anterior.

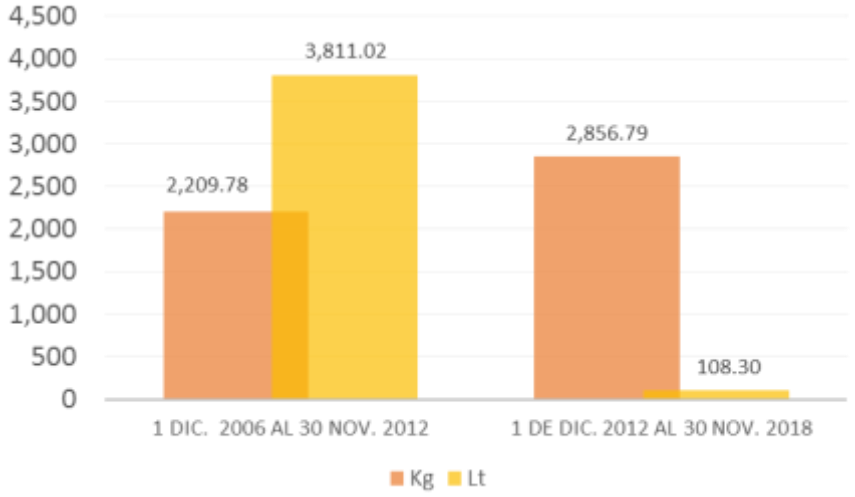
*Gráfica 16. Destrucción de plantíos de amapola durante dos sexenios en unidades y hectáreas.*




*Fuente:* FGR-CMI-CENAPI, periodo comprendido del 1° de enero de 2014 al 31 de diciembre de 2018.

La Gráfica 17 muestra que en el periodo comprendido de 2006 a 2012 se 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 2,856.79 kg, mismo que se tradujo en un aumento de 29%.

*Gráfica 17. Aseguramientos de heroína durante dos sexenios en kilogramos y litros*

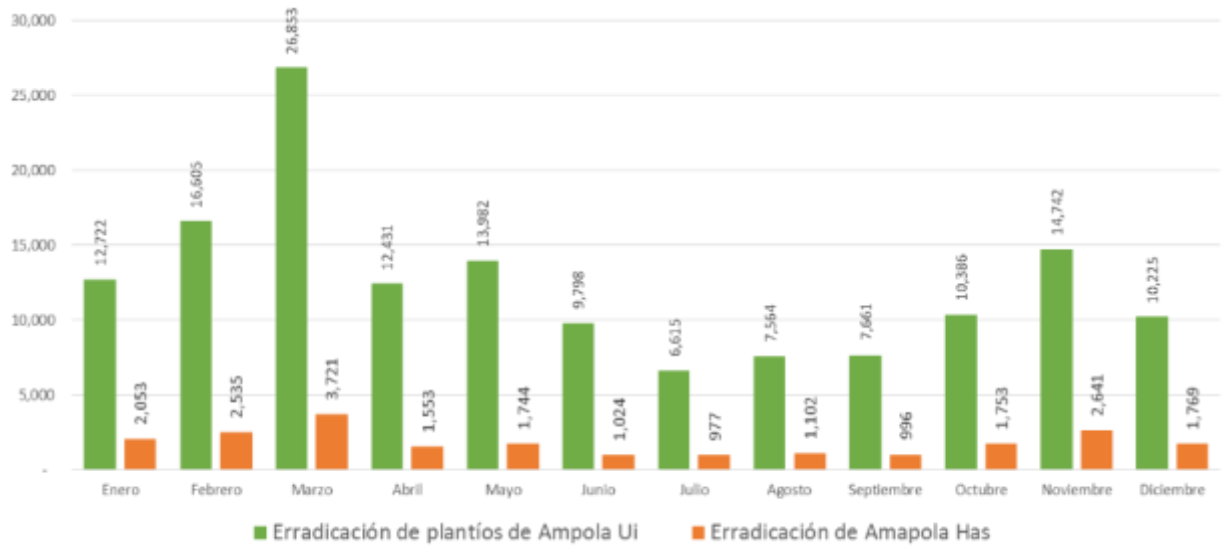



*Fuente:* FGR-CMI-CENAPI, periodo comprendido del 1° de enero de 2014 al 31 de diciembre de 2018.

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 cuanto a destrucción, 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, obteniendo como resultado durante el primer trimestre, la destrucción del 37.6% del total de plantíos destruidos contabilizados durante 2014 (Gráfica 18).

Referente a las cifras de destrucción de amapola se reportaron 21,867.59 hectáreas a nivel nacional en 2014, sobresaliendo que los meses de febrero, marzo y noviembre concentran 38%.

*Gráfica 18. Destrucción nacional de amapola para 2014.*

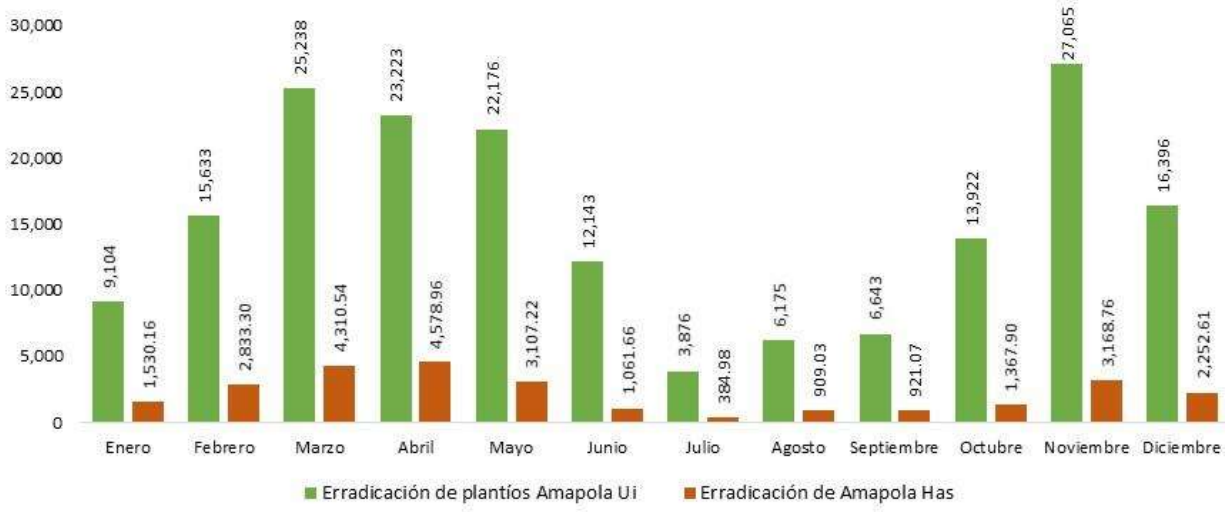



*Fuente:* FGR-CMI-CENAPI, periodo comprendido del 1° de enero de 2014 al 31 de diciembre de 2017.

En la Gráfica 19 se observa que para el año 2015, el mes de noviembre ocupó el primer lugar en destrucción de plantíos 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 de 84% en relación con el mismo periodo de 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 concentraron 46% del total contabilizado.

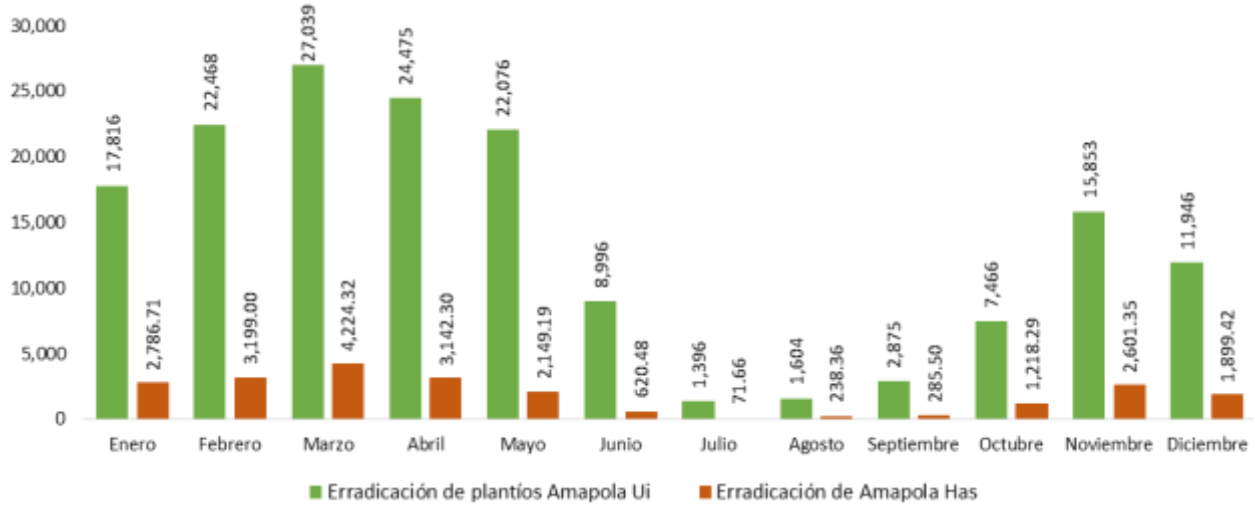
*Gráfica 19. Destrucción nacional de amapola para 2015.*




*Fuente:* FGR-CMI-CENAPI, periodo comprendido del 1° de enero de 2014 al 31 de diciembre de 2017.

En el periodo 2016 se reportó una cifra total de 164,010 Ui en destrucción de plantíos de amapola, sobresaliendo que en el mes de marzo se 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% (Gráfica 20). Referente a la destrucción de amapola en hectáreas, en 2016 se registró una cantidad de 22,436.59 hectáreas, y fue el mes de marzo el que tuvo el primer lugar a nivel nacional con una cantidad de 4,224.32 hectáreas que equivalente a 19% del total del periodo de estudio.

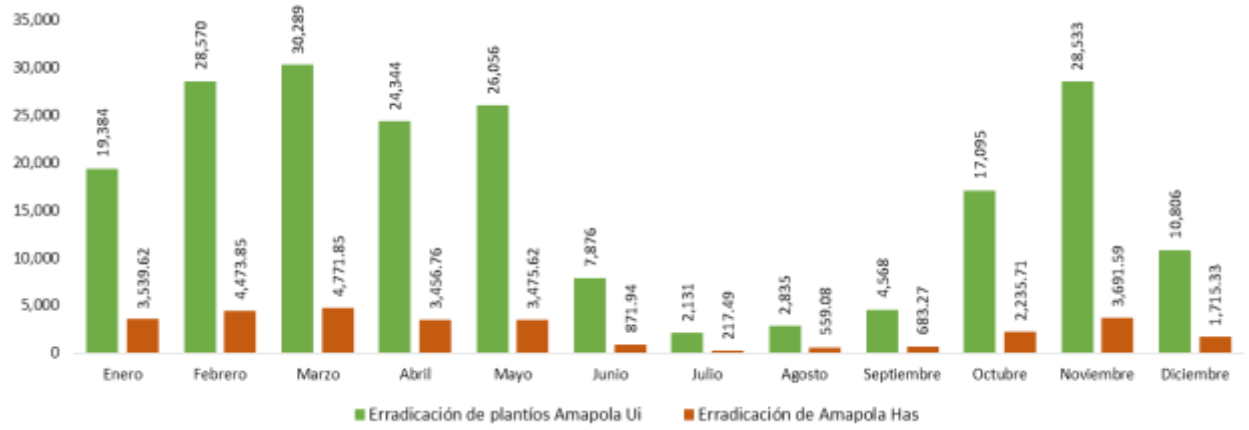
*Gráfica 20. Destrucción nacional de amapola para 2016.*




*Fuente:* FGR-CMI-CENAPI, periodo comprendido del 1° de enero de 2014 al 31 de diciembre de 2017.

Como en años anteriores, durante 2017 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. La destrucción de amapola en 2017 reportó una cantidad de 29,824.53 hectáreas, misma que representó un incremento de 33% en relación con 2016 (Gráfica 21). De manera particular, el mes de marzo obtuvo el primer lugar en destrucción con una cifra de 4,771.85 hectáreas que constituye el 16% del total de los meses en estudio de este periodo; en segundo lugar se encuentra el mes de febrero con un valor porcentual de 15%.

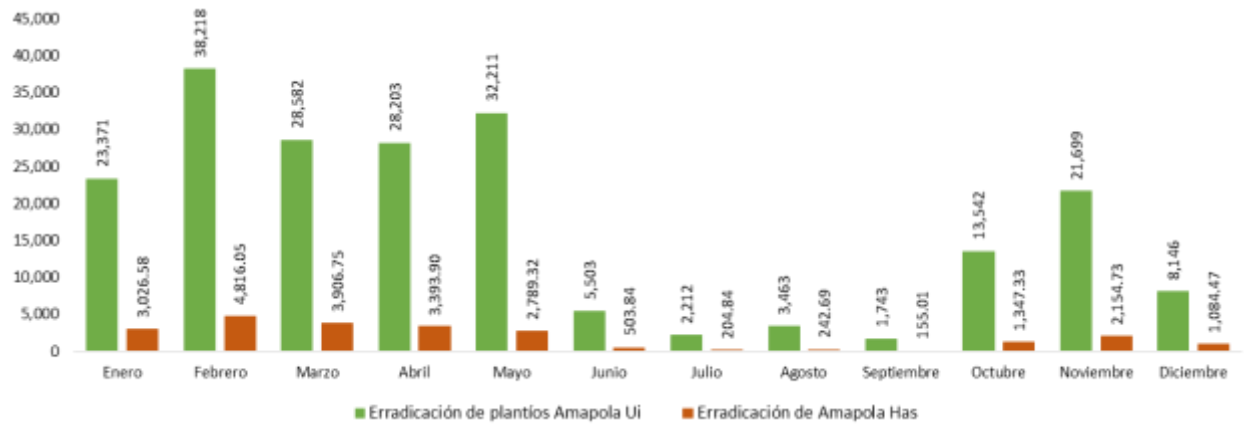
*Gráfica 21. Destrucción anual de amapola para 2017.*




*Fuente:* FGR-CMI-CENAPI, periodo comprendido del 1° de enero de 2014 al 31 de diciembre de 2017.

Durante 2018 se reportó un total de 206,893 Ui en destrucción de plantíos de amapola, en dicho año, sobresale el mes de febrero que obtuvo el mayor número en esta actividad con una cantidad de 38,218 Ui equivalente a 18.47%, seguido de los meses de marzo y mayo con 28,582 y 32,211 Ui respectivamente, con un valor porcentual de 29.38%. Referente a la destrucción de amapola en hectáreas, 2018 se registró una cantidad de 23,625.52 hectáreas, y fueron los meses de febrero y marzo los de mayor relevancia con cantidades de 4,816.05 y 3,906.75 hectáreas, respectivamente.

*Gráfica 22. Destrucción anual de amapola para 2018.*




*Fuente*: FGR-CMI-CENAPI, periodo comprendido del 1° de enero de 2014 al 31 de diciembre de 2018.

# ANEXOS

## ANEXO I: Características de los sensores pasivos-ópticos utilizados para el monitoreo del 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 tienen un cubrimiento de 100 $km^2$ cada una. Las imágenes utilizadas por el proyecto son de sensores remotos de tipo pasivo-óptico, que requieren de la energía solar para colectar la información. En el siguiente cuadro se describen algunas de las características de las imágenes comerciales y fotografía aérea que utiliza el proyecto.

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

## ANEXO II: 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*[59] (Figura 6). Pero existen sus ventajas y desventajas en el uso de este tipo de información satelital.

### Ventajas:

- Son sensores multiespectrales con la capacidad de colectar 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 $km^2$ y los 3,750 $km^2$.
- Son imágenes de muy alta resolución con hasta 0.30 metros por pixel.

### Desventajas:

- Las imágenes solo pueden ser colectadas 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.

*FUENTE:* Elaboración MEXK54 (2016)

59 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.

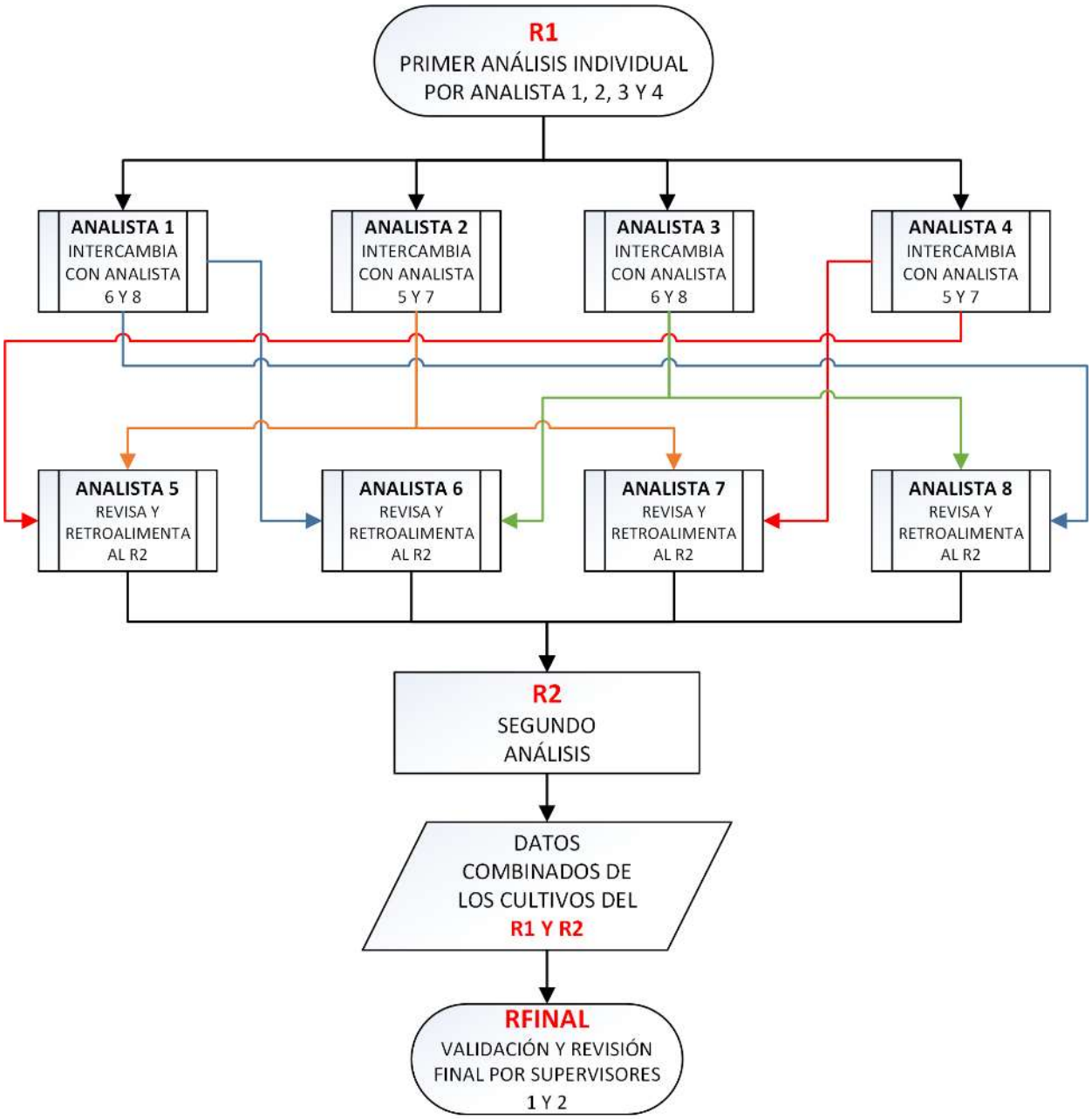
# ANEXO III: Breve descripción de los softwares utilizados por el proyecto

| Logotipo | Descripción |
|---|---|
| | ArcGis:<br>Software aplicado a los Sistemas de información Geográfica (SIG), utilizado para el análisis de fotointerpretación en imágenes y fotomosaicos; así como la creación del geodatabase en el cual se integran los polígonos de los cultivos interpretados para cada periodo cuatrimestral del estudio. |
| | Global Mapper:<br>Software aplicado a los Sistemas de información Geográfica (SIG), utilizado para crear los planes de vuelo. Con este software es muy secillo trazar las líneas de vuelo que serán introducidas al GPS aéreo y que se utilizarán para la recolección de fotografía aérea en campo. |
| | Pix4D Mapper:<br>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. |
| | R-Statistics:<br>Software utilizado para el análisis estadístico y el cálculo de la estimación de superficie sembrada con cultivos de amapola. |
| | SOCET GXP:<br>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 hacer mas eficientes los tiempos para el análisis de los cultivos. |

*FUENTE:* Logotipos obtenidos en sitios web de cada software (2016)

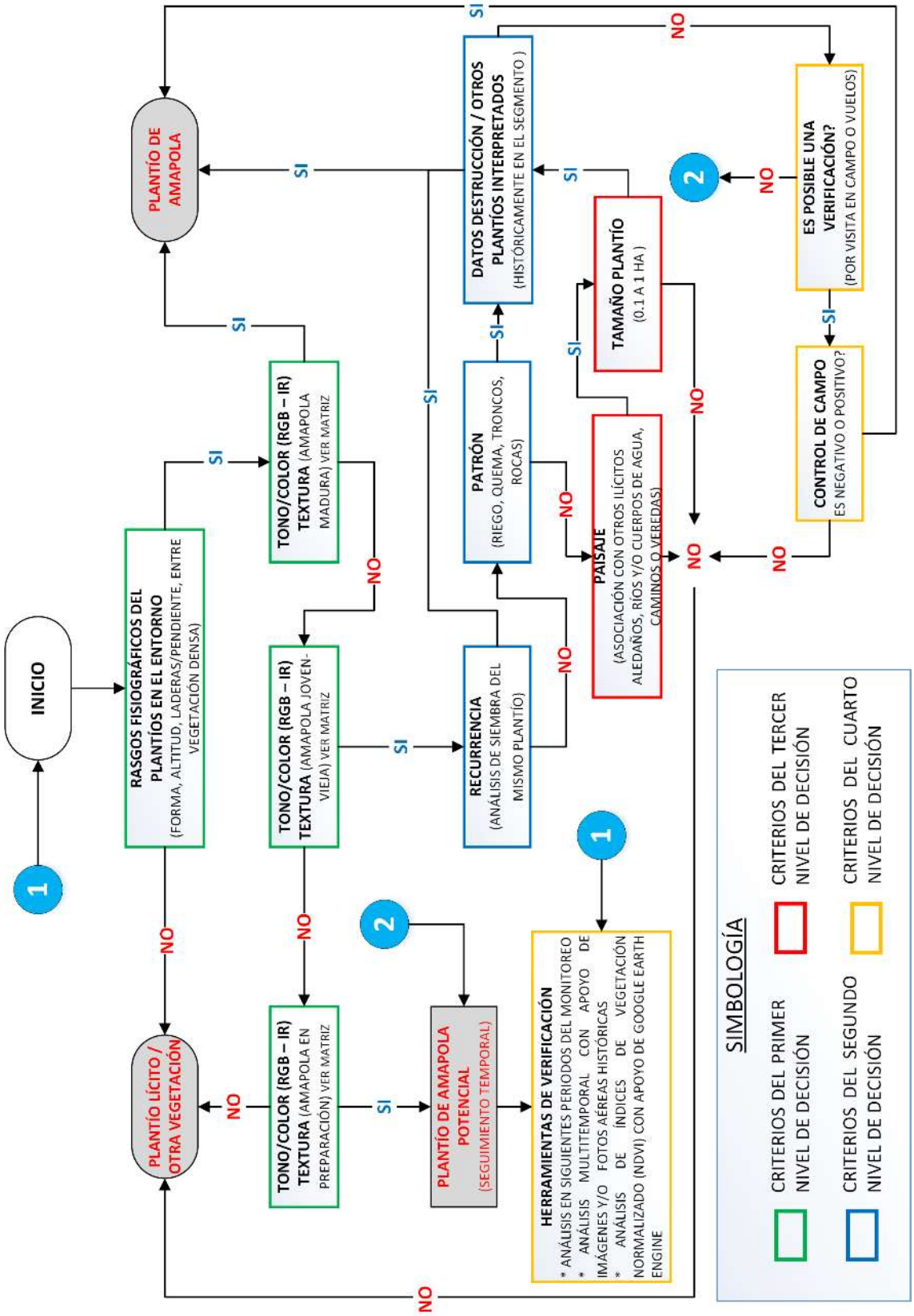
## ANEXO IV: Flujo de trabajo sistemático de triple revisión

El siguiente flujo se utiliza para la fotointerpretación de cultivos de amapola mediante el uso de imágenes satelitales.




*FUENTE*: Elaboración MEXK54 (2018).

# ANEXO V: Árbol de decisiones para la interpretación temática de cultivos de amapola



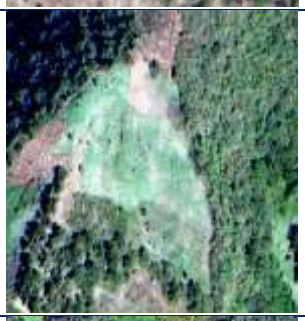

*FUENTE*: Elaboración MEXK54 (2018).

# ANEXO VI: Criterios geométricos para delimitar el área de los cultivos de amapola del 1 al 5

| Núm. | 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:<br>• World View 2-3 - 1:1,000<br>• 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. | | |

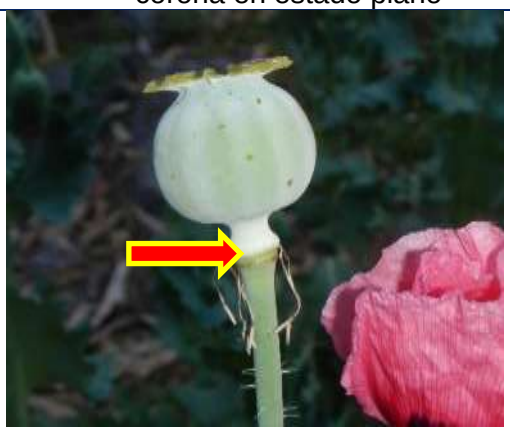
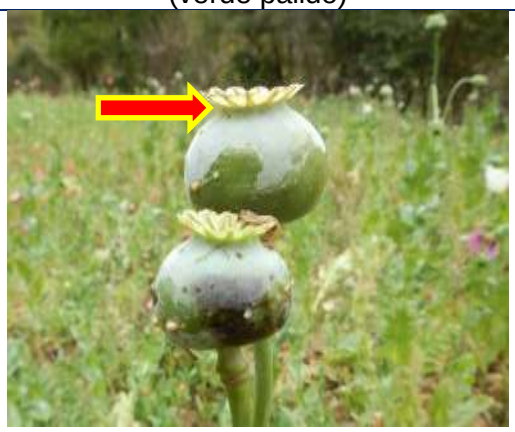
*FUENTE*: Elaboración MEXK54 (2018).

# ANEXO VI: Criterios geométricos para delimitar el área de los cultivos de amapola del 6 al 10

| Núm. | 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).

## ANEXO VII: Aspectos visuales para determinar la madurez de un cultivo y bulbos de amapola

| Descripción fotográfica | |
|---|---|
| <br>1. Campo en etapa final de floración con alta presencia de bulbos maduros. | <br>2. Caída de pétalos. |
| <br>3. Bulbo Inmaduro (verde intenso) y corona en estado plano | <br>4. Bulbo maduro con capa cerosa (verde pálido) |
|  <br>5. Anillo de color amarillo en la base del bulbo. |  <br>6. Corona radiada erecta. |

*Fuente:* Proyecto MEXK54 (2019).

## ANEXO VIII: Tabla de estimación de rendimientos para cada cultivo medido

Resultados de estimación del rendimiento de la goma de opio para 41 cultivos medidos en el estado de Guerrero (región sur) en la campaña de campo del mes de octubre de 2017.

| Clave del cultivo | Rendimiento (kg/ha) | Clave del cultivo | Rendimiento (kg/ha) |
|---|---|---|---|
| 2AMRSGRO0400001 | 8.44 | 2AMRSGRO0310022 | 7.23 |
| 2AMRSGRO0400002 | 8.87 | 2AMRSGRO0040023 | 13.06 |
| 2AMRSGRO0400003 | 7.2 | 2AMRSGRO0040024 | 11.44 |
| 2AMRSGRO0400004 | 7.6 | 2AMRSGRO0040025 | 6.66 |
| 2AMRSGRO0400005 | 16.74 | 2AMRSGRO0040026 | 3.27 |
| 2AMRSGRO0400006 | 8.9 | 2AMRSGRO0040027 | 9.3 |
| 2AMRSGRO0290007 | 2.83 | 2AMRSGRO0040028 | 8.74 |
| 2AMRSGRO0290008 | 12.5 | 2AMRSGRO0040029 | 10.9 |
| 2AMRSGRO0290009 | 7.32 | 2AMRSGRO0040030 | 26.36 |
| 2AMRSGRO0290010 | 17.06 | 2AMRSGRO0040031 | 8.97 |
| 2AMRSGRO0290011 | 16.8 | 2AMRSGRO0040032 | 10.93 |
| 2AMRSGRO0290012 | 27.24 | 2AMRSGRO0040033 | 7.39 |
| 2AMRSGRO0290013 | 26.48 | 2AMRSGRO0040034 | 9.23 |
| 2AMRSGRO0290014 | 17.21 | 2AMRSGRO0040035 | 17.85 |
| 2AMRSGRO0320015 | 5.15 | 2AMRSGRO0040036 | 11.82 |
| 2AMRSGRO0320016 | 7.27 | 2AMRSGRO0040037 | 22.3 |
| 2AMRSGRO0320017 | 7.45 | 2AMRSGRO0040038 | 4.35 |
| 2AMRSGRO0310018 | 4.23 | 2AMRSGRO0720039 | 15.63 |
| 2AMRSGRO0310019 | 14.02 | 2AMRSGRO0040040 | 20.63 |
| 2AMRSGRO0310020 | 5.26 | 2AMRSGRO0040041 | 14.57 |
| 2AMRSGRO0310021 | 7.6 | **Promedio** | **476.8/41 = 11.62** |

*Fuente*: Laboratorio de FGR - Proyecto MEXK54.

## ANEXO IX: Tabla de porcentaje de sólidos por secado al horno

Resultados del porcentaje de sólidos de 41 muestras de látex que fueron muestreados en el estado de Guerrero (región sur) en la campaña de campo del mes de octubre de 2017.

| Clave del cultivo | Porcentaje de sólidos (%) | Clave del cultivo | Porcentaje de sólidos (%) |
|---|---|---|---|
| 2AMRSGRO0400001 | 38.37 | 2AMRSGRO0310022 | 28.7 |
| 2AMRSGRO0400002 | 32.79 | 2AMRSGRO0040023 | 26.8 |
| 2AMRSGRO0400003 | 25.92 | 2AMRSGRO0040024 | 28.04 |
| 2AMRSGRO0400004 | 34.9 | 2AMRSGRO0040025 | 32.2 |
| 2AMRSGRO0400005 | 30.42 | 2AMRSGRO0040026 | 27.95 |
| 2AMRSGRO0400006 | 29.13 | 2AMRSGRO0040027 | 32.08 |
| 2AMRSGRO0290007 | 34.49 | 2AMRSGRO0040028 | 30.53 |
| 2AMRSGRO0290008 | 34.13 | 2AMRSGRO0040029 | 33.74 |
| 2AMRSGRO0290009 | 38.25 | 2AMRSGRO0040030 | 29.57 |
| 2AMRSGRO0290010 | 35.07 | 2AMRSGRO0040031 | 29.04 |
| 2AMRSGRO0290011 | 37 | 2AMRSGRO0040032 | 25.43 |
| 2AMRSGRO0290012 | 31.18 | 2AMRSGRO0040033 | 32 |
| 2AMRSGRO0290013 | 29.84 | 2AMRSGRO0040034 | 33.18 |
| 2AMRSGRO0290014 | 32.6 | 2AMRSGRO0040035 | 35.14 |
| 2AMRSGRO0320015 | 35.11 | 2AMRSGRO0040036 | 61.78 |
| 2AMRSGRO0320016 | 67.68 | 2AMRSGRO0040037 | 69.51 |
| 2AMRSGRO0320017 | 41.84 | 2AMRSGRO0040038 | 34.7 |
| 2AMRSGRO0310018 | 24.54 | 2AMRSGRO0720039 | 35.11 |
| 2AMRSGRO0310019 | 29.29 | 2AMRSGRO0040040 | 32.19 |
| 2AMRSGRO0310020 | 28.04 | 2AMRSGRO0040041 | 36.03 |
| 2AMRSGRO0310021 | 29.96 | **Promedio** | **1414.27/41 = 34.49** |

*Fuente:* Laboratorio de FGR - Proyecto MEXK54.

## ANEXO X: Tabla de concentraciones de morfina en la goma de opio

Resultados del porcentaje de morfina de 41 muestras de goma de opio en base seca que fueron muestreadas en el estado de Guerrero (región sur) en la campaña de campo del mes de octubre de 2017.

| Clave del cultivo | Porcentaje de morfina (%) | Clave del cultivo | Porcentaje de morfina (%) |
|---|---|---|---|
| 2AMRSGRO0400001 | 16.5 | 2AMRSGRO0310022 | 20.2 |
| 2AMRSGRO0400002 | 20.2 | 2AMRSGRO0040023 | 17.8 |
| 2AMRSGRO0400003 | 17.6 | 2AMRSGRO0040024 | 18.3 |
| 2AMRSGRO0400004 | 19.9 | 2AMRSGRO0040025 | 15.6 |
| 2AMRSGRO0400005 | 19.9 | 2AMRSGRO0040026 | 20 |
| 2AMRSGRO0400006 | 20.1 | 2AMRSGRO0040027 | 14.8 |
| 2AMRSGRO0290007 | 16.1 | 2AMRSGRO0040028 | 12.8 |
| 2AMRSGRO0290008 | 17.9 | 2AMRSGRO0040029 | 16.1 |
| 2AMRSGRO0290009 | 18.6 | 2AMRSGRO0040030 | 14.4 |
| 2AMRSGRO0290010 | 18.5 | 2AMRSGRO0040031 | 14 |
| 2AMRSGRO0290011 | 18.6 | 2AMRSGRO0040032 | 15.2 |
| 2AMRSGRO0290012 | 18 | 2AMRSGRO0040033 | 16.6 |
| 2AMRSGRO0290013 | 21.1 | 2AMRSGRO0040034 | 16.7 |
| 2AMRSGRO0290014 | 18.6 | 2AMRSGRO0040035 | 16.9 |
| 2AMRSGRO0320015 | 14.5 | 2AMRSGRO0040036 | 12.3 |
| 2AMRSGRO0320016 | 15.6 | 2AMRSGRO0040037 | 13.7 |
| 2AMRSGRO0320017 | 15.2 | 2AMRSGRO0040038 | 13.4 |
| 2AMRSGRO0310018 | 17.8 | 2AMRSGRO0720039 | 16.1 |
| 2AMRSGRO0310019 | 17.6 | 2AMRSGRO0040040 | 19.1 |
| 2AMRSGRO0310020 | 19.4 | 2AMRSGRO0040041 | 17.4 |
| 2AMRSGRO0310021 | 20 | **Promedio** | **703.10/41 = 17.15** |

*Fuente*: Laboratorio de FGR - Proyecto MEXK54.

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcántara Pineda, A. (2002). *Guía de validación de métodos analíticos.* México: Colegio Nacional de Químicos Farmacéuticos Biólogos México.

Behr, A. (2015). *Theory of Sample Surveys With R*. Stuttgart: UTB GmbH.

Bliesner, D. M. (2006) *Validating Chromatographic Methods. A Practical Guide*. New Jersey: Wiley Interscience.

Diario Oficial de la Nación (2003). *Norma Oficial Mexicana, PROY-NOM-211 SSA1-2002*. México: Secretaría de Salud.

Ellison, S. L. R., Williams, A. (1995). *Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement. Laboratory of the Government Chemist*. Londres: Eurachem.

Grafström, A., Lundström, N. L. y Schelin, L. (2012). Spatially Balanced Sampling through the Pivotal Method. *Biometrics*, *68*(2), 514-520.

Harrell, Jr., Frank, E. (2015). Rms: Regression Modeling Strategies. R package version 4.3-1. Recuperado en http://CRAN.R-project.org/package=rms

ICH (2005). *Validation of Analytical Procedures: text and methodology Q2(R1). International Conference on Harmonisation of Technical Requirements for Registration of Pharmaceuticals for Human use*. Recuperado en https://pacificbiolabs.com/wp-content/uploads/2017/12/Q2_R1__Guideline-4.pdf

Jackman, S. (2015). *Classes and Methods for R Developed in the Political Science Computational Laboratory*. Stanford, California: Stanford University.

Lurie, I. S., McGuinness, K. (1987). The Quantitation of Heroin and Selected Basic Impurities via Reversed Phase HPLC. II. The Analysis of Adulterated Samples. *Journal of Liquid Chromatography*, *10*(10), 2189-2204.

Lurie, I. S., Hays P. A., Garcia, A. E., Panicker, S. (2004). Use of dynamically coated capillaries for the determination of heroin, basic impurities and adulterants with capillary electrophoresis. *Journal of Chromatography*, *1034*(1-2), 227-235.

Magnusson, B., Örnemark, U. (Eds). (1998). *The Fitness for Purpose of Analytical Methods. A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics*. Londres: Eurachem.

Neumann, H., Gloger, M. (1982). Profiling of illicit heroin samples by high-resolution capillary gas chromatography for forensic application. *Chromatographia*, *16*, 261-264.

Neumann, H. (1984). Analysis of opium and crude morphine samples by capillary gas chromatography. *Journal of Chromatography*, *315*, 404-411.

Pebesma, E. J., Bivand, R. S. (2005). Classes and Methods for Spatial Data in R. *R News, 5*(2). Recuperado en 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. Recuperado en http://www.R-project.org/

Secretaría de Salud (2014). *Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos*. México: Autor.

SWGDRUG (2000). *Monographs: Opium* [Entrada sitio web]. Recuperado en http://www.swgdrug.org/Monographs/OPIUM.pdf

Thompson, M. (2002). Harmonized Guidelines for Single Laboratory Validation of Methods of Analysis. *IUPAC, Pure and Applied Chemistry*, *74*(5), 835-855.

UNODC (2016). *México, Monitoreo de Cultivos de Amapola 2014-2015*. Recuperado en https://www.unodc.org/documents/crop-monitoring/Mexico/Mexico-Monitoreo-Cultivos-Amapola-2014-2015-LowR.pdf

UNODC (2018). *México, Monitoreo de Cultivos de Amapola 2016-2017 y 2017-2018*. Recuperado en https://www.unodc.org/documents/crop-monitoring/Mexico/Mexico-Monitoreo-Cultivos-Amapola-2015-2017.pdf

UNODC (2001). *Directrices para la medición del rendimiento de amapola de opio y de la hoja de coca en cortas visitas al terreno*. Nueva York: Naciones Unidas.

UNODC (1998). *Recommended Methods for Testing Opium, Morphine and Heroin, International Drug Control Program. Manual for Use by National Drug Testing Laboratories*. Nueva York: Naciones Unidas.

UNODC (2009). *Guidance for the Validation of Analytical Methodology and Calibration of Equipment used for Testing of Illicit Drugs in Seized Materials and Biological Specimens. Laboratory and Scientific Section*. New York: Naciones Unidas.

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