

I. Nombre del Proyecto de Investigación

Elaboración de Escenarios de Peligro por inundación y deslizamiento de laderas, mediante información obtenida por Vehículos Aéreos no Tripulados-Drones (VANT)

Requisitos de elegibilidad técnicos y administrativos

a) Elegibilidad técnica

La tecnología geoespacial brinda diferentes insumos, los cuales son utilizados en la toma de decisiones de cada una de las etapas de la GIR, siendo las imágenes satelitales las más comúnmente utilizadas. Sin embargo, México no cuenta actualmente con satélites propios con fines de observación de la Tierra, por lo que el acceso a éstas muchas veces es limitado y costoso, sobre todo porque los distribuidores de las mismas son empresas privadas con fines de lucro. Aun cuando en algunos casos pudiera contarse con la adquisición de estas imágenes, no es posible garantizar su utilidad en las diversas etapas de la GIR ya que en muchas ocasiones es difícil programar su adquisición, presentándose un desfase temporal con respecto al acontecimiento de un evento o de nubosidad en la imagen, limitando su análisis.

Debido a lo anterior, se tiene la necesidad de utilizar tecnologías espaciales alternas que permitan obtener información geoespacial y temporal confiable y precisa. Una de estas tecnologías, la cual está teniendo un gran auge dentro del campo de la investigación, es el uso de VANT, que por su bajo costo, excelente resolución espacial, hasta de 15 cm por pixel, la rapidez con la cual se puede obtener la información así como la serie de insumos que genera, resulta factible utilizarla en las diversas etapas de la GIR, como se ejemplifica a continuación:

Identificación y estimación de peligros, vulnerabilidades y riesgo.

Para tomar decisiones adecuadas, que permitan la reducción del impacto en la población y la infraestructura en general ante la presencia de una amenaza, es necesario elaborar escenarios de peligro que posibiliten predecir su comportamiento, determinando tanto la magnitud y frecuencia con la que ocurren, así como la distribución espacial de sus intensidades. Para ello, es necesario contar con insumos geoespaciales confiables como los Modelos Digitales de Superficie (MDS), los cuales permiten la elaboración de escenarios de peligro por inundaciones, deslizamiento de laderas, flujos volcánicos, etc. Los

MDS pueden ser generados mediante fotogrametría aérea utilizando VANT con cámaras de alta resolución y el software pix4d. El CENAPRED ha generado MDS que le han permitido evaluar las amenazas circundantes como ha sido en el caso de los derrumbes en Santa Fé, Ciudad de México, Zonas Inundables en el Fraccionamiento el Barreal en Ciudad Juárez, Chihuahua y en el caso de la evaluación de la susceptibilidad de derrumbes en los taludes de una mina en Tezoyuca, Estado de México y la evaluación al deslizamiento de laderas en el Municipio de Huauchinango, Puebla.

Mitigación y Prevención

Una de las acciones para mitigación y prevención es el monitoreo permanente de las amenazas o peligros, el cual permite alertar a la población en caso de tener una alta probabilidad de ocurrencia. Una de las herramientas comúnmente utilizadas en el monitoreo de las amenazas es la evidencia fotográfica y de video, tanto en el espectro visible como en el infrarrojo cercano, ya que permiten conocer su comportamiento espacial y temporal. Dichas fotografías y videos pueden ser generados utilizando VANT, como en los casos potenciales de deslizamiento de laderas, inundaciones, flujos volcánicos, incendios o derrames de sustancias químicas. Como ejemplos reales, el CENAPRED utilizó la tecnología VANT en la evaluación de la inestabilidad de laderas en el Estado Puebla ante el paso del Huracán Earl, lo cual permitió alertar a las autoridades encargadas de atender las emergencias sobre la susceptibilidad de continuar presentándose los deslizamientos, lo cual les permitió alertar a las personas vulnerables a dicho fenómeno.

Atención de las Emergencias

Una vez que impacta una amenaza, frecuentemente acarrea pérdidas de vidas y daños a la infraestructura, por tal motivo es necesario ejecutar acciones que permitan al sistema expuesto recuperarse lo más pronto posible, volviéndose necesaria la evaluación de los daños para la correcta toma de decisiones. Sin embargo, en muchos casos es imposible acceder a las zonas afectadas debido a la destrucción de las vías de comunicación o por el riesgo que conlleva al personal. Los VANT permiten sobrevolar las zonas afectadas de manera remota para generar fotografías y videos aéreos que sirvan para valorar los daños, reducir tiempos y costos, y así priorizar las necesidades de respuesta para salvaguardar la vida de la población expuesta. Como ejemplo real, el CENAPRED utilizó la tecnología VANT en la atención de las de búsqueda y rescate en la atención de la emergencia ante el sismo de Ecuador del 14 de abril del presente

[Handwritten signatures and initials in blue ink]

año en las provincias de Manta y Porto Viejo. Dicha tecnología permitió identificar de manera oportuna las estructuras colapsadas así como la evaluación de daños en las edificaciones.

Reconstrucción y supervisión

La etapa de reconstrucción de los sistemas afectados ante la presencia de una amenaza requiere tanto de la supervisión como del seguimiento temporal y espacial de las acciones implementadas. Los VANT permiten generar fotografías aéreas con el objetivo de proveer insumos que permitan la evaluación de dichas acciones para su correcta ejecución en la etapa de reconstrucción y supervisión. Como ejemplo real, el CENAPRED participó en la evaluación de los predios donde se piensa reubicar a las personas afectadas por los estragos ocasionados por los deslizamientos de laderas en el Estado de Puebla, ante el paso del huracán Earl, con los VANT se pudieron tomar imágenes aéreas de los predios para saber si eran aptos para las reubicaciones que se harán con fondos de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano.

Evaluación e incorporación de las experiencias

Debido a que uno de los objetivos del Centro es formar servidores públicos que trabajen en actividades vinculadas a la GIR con la finalidad de mejorar las competencias en temas de prevención y protección civil, sería deseable que el Centro fuera la punta de lanza en la aplicación de la tecnología VANT en la GIR y un generador de protocolos y metodologías que se basen en la experiencia y casos de éxito. Como ejemplo el CENAPRED organizó el primer seminario sobre el Uso de Vehículos Aéreos no Tripulados – Drones (VANT) en el ámbito de la Protección Civil.

Como se mostró en los casos anteriores el uso de la tecnología VANT se aplica a todas las etapas de la GIR ya que permite obtener información geoespacial, temporal, confiable y precisa. Sin embargo en muchas ocasiones debido a la falta de un repositorio de información eficiente, las autoridades no pueden acceder de manera inmediata a la información geoespacial levantada con los VANT para facilitarle sus labores mediante la adecuada toma de decisiones en cada una de las etapas de la GIR.

Este proyecto intenta proveer a los tomadores de decisiones de cada una de las etapas de la (GIR) información geoespacial levantada con VANT mediante un sistema de optimización de información, el cual permitirá acceder a dicha información de manera oportuna a quienes la consulten, así como realizar un caso de estudio que les permita a las autoridades de Protección Civil replicar una metodología para la

generación de insumos, utilizando la tecnología VANT, en la elaboración de escenarios de peligro por inundación y susceptibilidad al deslizamiento de laderas para su integración en sus atlas de riesgos además usar dicha información en la toma de decisiones preventivas que les permitan reducir los daños tanto a la población como a sus bienes mediante la planeación participativa de las instancias involucradas.

b) Elegibilidad administrativa

El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), como instancia técnica-científica de la Coordinación Nacional de Protección Civil se encuentra plenamente acreditado e identificado ante los órganos decisorios del Fondo para la Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN) y su Representante Legal cuenta con las atribuciones necesarias a fin de garantizar la adecuada ejecución del mismo.

El objetivo del Proyecto de Investigación se apega a lo establecido en la fracción VI del artículo 48 de las ROFOPREDEN, el cual señala que la Subcuenta proporcionará financiamiento para *"Investigaciones aplicadas al desarrollo y mejoramiento de tecnologías para la prevención y mitigación de riesgos"*.

Monto del financiamiento con cargo a la Subcuenta de Investigación del FOPREDEN

\$3, 587, 180.14 (Tres millones, quinientos ochenta y siete mil, ciento ochenta pesos 00/100 m.n.).

II. Términos de referencia del Proyecto de Investigación:

a) Objetivo General del Proyecto de Investigación

Generar escenarios de peligro por inundación y de susceptibilidad de deslizamientos de laderas en las Delegaciones Magdalena Contreras y Álvaro Obregón así como en el Municipio de Huauchinango, Puebla así , así como la generación un sistema que permita a las autoridades involucradas en cada una de las etapas de la GIR la consulta oportuna de la información geoespacial generada en el proyecto, la cual será levantada con VANT para la toma oportuna de decisiones.

Objetivos Específicos del Proyecto de Investigación

[Handwritten blue ink marks and signatures on the right margin]

1. Consolidar la tecnología VANT en cada una de las etapas de la GIR, a través de la adquisición de la infraestructura necesaria para operar el ciclo de gestión de la información geoespacial que dicha tecnología puede generar.
 2. Desarrollar las capacidades internas del CENAPRED en materia de manejo de VATN, para consolidar una fuerza de tarea que permita la asistencia técnica en cada una de las etapas de la GIR.
 3. Desarrollar un prototipo de aplicación que permita la lectura de información proveniente de una misión VANT, su optimización para diferentes dispositivos y su publicación vía streaming para consulta en tiempo cuasi real.
 4. Realizar un estudio de caso en la elaboración de un escenario de peligro por inundaciones y de susceptibilidad al deslizamiento de laderas.
 5. Llevar a cabo el segundo seminario de Uso de VANT en Protección Civil, donde se presenten los avances y aplicaciones en el uso de la tecnología VANT.
- b) Descripción detallada del escenario de peligro, vulnerabilidad y/o riesgo que se debe estudiar o resolver, a través de la ejecución del Proyecto de Investigación

Sistema de optimización para el procesamiento, almacenamiento y consulta de información derivada de un vehículo aéreo no tripulado -Dron (SOPACD-VANT)

Uno de los propósitos de la investigación es el desarrollo tecnológico mediante un sistema que permita la consulta oportuna de información geoespacial levantada con la tecnología VANT, después de que se realice la descarga de la información levantada con el VANT y se tenga conexión a internet para su envío. Dichas consultas se clasifican en los siguientes niveles:

Nivel 1: Consulta de imágenes y videos optimizados mediante whatsapp, 5 minutos después de la carga de la información al sistema.

Nivel 2: Consulta de imágenes y videos optimizados mediante correo electrónico, 10 minutos después de la carga de la información al sistema.

Handwritten notes and signatures in blue ink on the right margin, including a checkmark, initials, and a large arrow pointing to the right.

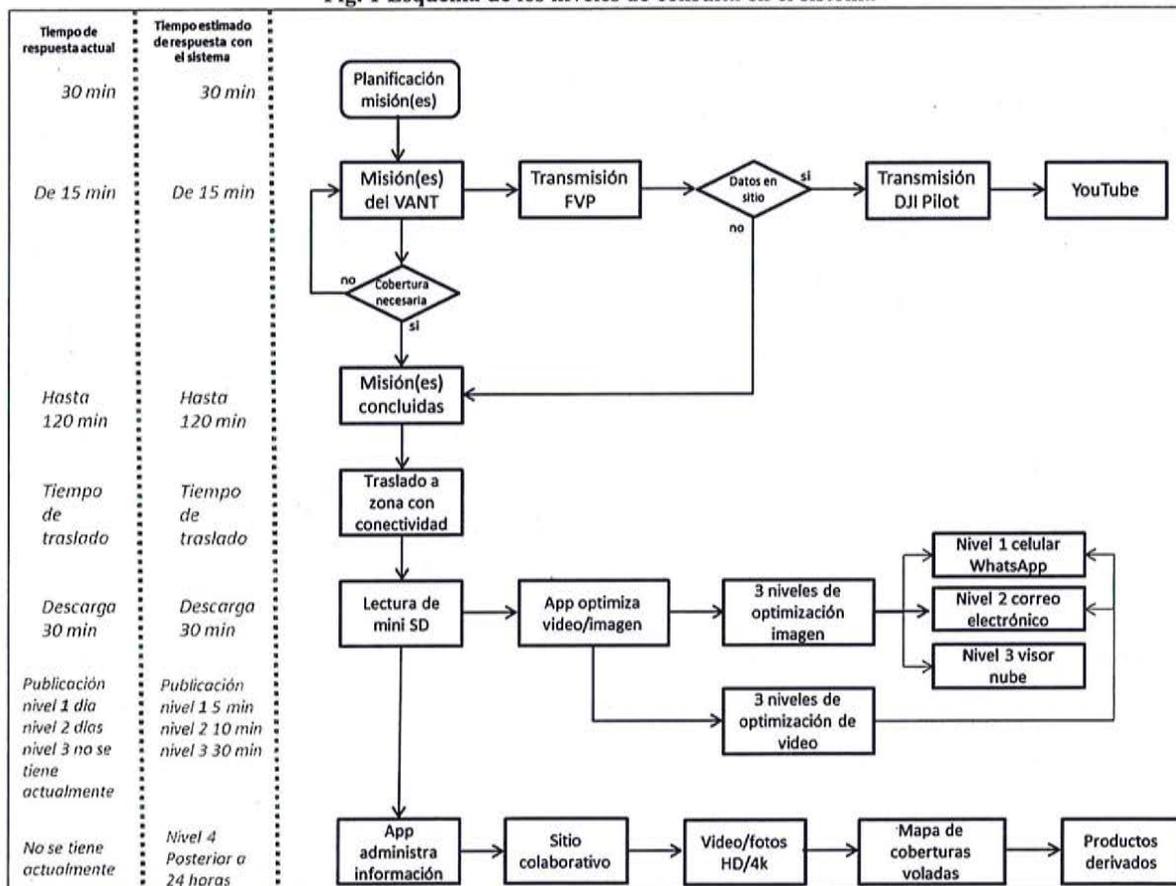
Handwritten mark in blue ink on the left margin.

Handwritten initials and a signature in blue ink at the bottom right.

Nivel 3: Consulta de imágenes y videos optimizados mediante un visor en la nube, 30 minutos después de la carga de información al sistema.

Nivel 4: Consulta de imágenes y videos con resolución 4 k, mapas de coberturas voladas y productos derivados mediante un sitio colaborativo en internet, 24 horas después de la carga de la información al sistema.

Fig. 1 Esquema de los niveles de consulta en el sistema



Los insumos que se pueden descargar en el cuarto nivel de consulta sirven como base para la elaboración de escenarios de peligro por inundación, deslizamientos de laderas, derrames de sustancias peligrosas, flujos de materiales volcánicos, etc.

Escenarios de peligro por inundación y de susceptibilidad de laderas

Handwritten notes and signatures in blue ink on the right side of the page.

Debido a su ubicación geográfica, orografía y geología, la ciudad de Huauchinango, Puebla, se encuentra en una zona expuesta a la amenaza por deslizamientos de laderas. Este año tras el paso de la tormenta tropical Earl ocasionaron el deslizamiento de laderas en la Ciudad de Huauchinango (figuras 1.1 y 1.2), dejando vulnerables a la población que ahí habita.

Por otra parte la delegación Alvaro Obregón también se encuentra en una zona susceptible al deslizamiento de laderas. Dicho fenómeno podría dejar grandes pérdidas en vidas humanas así como daños severos a la infraestructura (figura 1.3 y 1.4)



Fig. 1.1 Deslizamientos en la Ciudad de Huauchinango, Pue.



Fig. 1.2 Deslizamientos en la Ciudad de Huauchinango, Pue.



Fig. 1.3 Zonas vulnerables al deslizamiento de laderas en la Delegación Álvaro Obregón.



Fig. 1.4 Zonas vulnerables al deslizamiento de laderas en la Delegación Álvaro Obregón.

Handwritten blue ink marks and signatures are present on the right side of the page, including a large checkmark, several initials, and a signature at the bottom right.

Las condiciones que pueden generar los deslizamientos de laderas pueden ser determinadas a priori para tomar medidas preventivas y uno de los factores relevantes para ello es conocer la morfología detallada del terreno, sobre la que desafortunadamente no existen datos de una porción importante del territorio nacional. También es necesario obtener información actualizada sobre la presencia de viviendas e infraestructura, con el fin de determinar su grado de exposición y la vulnerabilidad, lo que puede obtenerse a partir de imágenes aéreas de alta resolución, tomadas con la tecnología VANT.

En este proyecto se pretende entregar un estudio sobre la susceptibilidad al deslizamiento de laderas de acuerdo a las metodologías establecidas en la Guía de Contenidos Mínimos para la elaboración de Atlas de Riesgos Estatales y Municipales 2016 del CENAPRED.

Escenarios de peligro por inundación

Aunque actualmente existen para todo el país Modelos Digitales de Terreno (MDT) con una resolución horizontal de 15 metros elaborados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), éstos no son lo suficientemente precisos para elaborar escenarios confiables de inundación.

Debido también a que el MDT de 15 m del INEGI no considera la infraestructura que se requiere para generar un modelo más real, como es el caso de puentes, obras de protección, bordos, etc. (fig. 3.1 a 3.2), se requiere generar un modelo digital de terreno preciso que permita la elaboración de escenarios de peligro por inundaciones, los cuales consideren la infraestructura sobre el río principal y sus tributarios, así como diversas condiciones hidráulicas las cuales podrían presentarse durante la ocurrencia de una avenida extraordinaria.

Experiencias recientes realizadas en diferentes países, entre ellos México (con la participación del CENAPRED), demuestran que es posible obtener modelos digitales de elevación e imágenes aéreas de alta resolución por medio de VANT. Esto puede lograrse por medio de nuevos métodos de fotogrametría digital capaces de aprovechar imágenes producidas por una gran cantidad de cámaras digitales de uso fotogramétricas. Con un control terrestre adecuado obtenido a partir de puntos GPS corregidos diferencialmente, es posible lograr resultados equivalentes a los obtenidos con barredores lidar.

Una comparación entre el MDT del INEGI muestra la diferencia entre dichos modelos, mientras que el MDT del INEGI tiene una resolución de 15 metros por pixel el MDT con VANT alcanza una resolución

espacial de 5 cm x pixel, siendo este modelo más adecuado para la generación de escenarios de peligro por inundación.

En este proyecto se pretende entregar escenarios de peligro por inundación del río Magdalena en la Delegación Magdalena Contreras y por rotura de una presa en la delegación Álvaro Obregón, utilizando tecnología VANT, de acuerdo a las metodologías establecidas en la Guía de Contenidos Mínimos para la elaboración de Atlas de Riesgos Estatales y Municipales 2016 del CENAPRED.

c) **Características de los entregables que se espera obtener como resultado de la ejecución del Proyecto de Investigación.**

1. Adquisición de herramientas para el desarrollo del proyecto.
2. Generación de los Modelos Digitales de Superficie e información requerida para la elaboración de los escenarios de Peligro por Inundaciones en el río Magdalena en la Delegación Magdalena Contreras y por rotura de una presa en Delegación Álvaro Obregón.
3. Generación de los Modelos Digitales de Superficie e información requerida para la elaboración de los mapas de susceptibilidad al deslizamiento de laderas en la Ciudad de Huauchinango, Puebla, y la Delegación Álvaro Obregón
4. Elaboración de escenarios de Inundación del río Magdalena en la Delegación Magdalena Contreras y por rotura de una presa en la delegación Álvaro Obregón, de acuerdo a las metodologías que establece la Guía de contenidos mínimos para la elaboración de Atlas de Riesgos Estatales y Municipales 2016 del CENAPRED.
5. Elaboración de mapas de susceptibilidad al deslizamiento de laderas en la Ciudad de Huauchinango, Puebla, y la Delegación Álvaro Obregón, de acuerdo a las metodologías que establece la Guía de contenidos mínimos para la elaboración de Atlas de Riesgos Estatales y Municipales 2016 del CENAPRED.

✓

✓
y
✗
M2
4+

6. Desarrollo de la plantilla del sistema informático que contendrá los módulos 1, 2, 3 y 4 del SOPACD-VANT.
7. Generación del módulo del nivel 1 del SOPACD-VANT.
8. Generación del módulo del nivel 2 del SOPACD-VANT.
9. Generación del módulo del nivel 3 del SOPACD-VANT.
10. Generación del módulo del nivel 4 del SOPACD-VANT.
11. Transferencia del conocimiento las autoridades municipales de Protección Civil y Planeación Territorial sobre la planeación territorial sobre el uso de los escenarios de peligro para la toma de decisiones.
12. Transferencia del conocimiento mediante talleres de planeación participativa a las personas que se ubiquen dentro de las zonas identificadas como de peligro por inundaciones.
13. Realización del segundo seminario sobre Uso de Vehículos Aéreos no Tripulados –Drones (VANT) en el ámbito de la Protección Civil.

d) Forma y medio en que deberán ser entregados los resultados del Proyecto de Investigación

1. **Adquisición de herramientas para el desarrollo del proyecto:** Dron Matrice 600 DJI; DJI A3 Flight controller con D-RTK GNSS; 6 Baterías para Matrice 600; Hard Case Matrice 600; Cámara X5; Cámara térmica XT; Soporte para cámara; GNSS RTK South S82T; Sequoia Sensor +1 free month of Pix4Dmapper Ag; Software Pix4D pro mapper; Seguro de responsabilidad civil.
2. **Generación de los Modelos Digitales de Superficie e información para elaboración de modelos de inundación:** Modelos Digitales de Superficie en formato GeoTIFF de 32 bits, Imágenes aéreas en formato JPG, Ortomosaicos en formato GeoTIFF georreferenciados en el sistema de coordenadas Cónica Conforme de Lambert con Datum ITRF 92; estudio hidrológico para gastos de avenidas máximas con periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años, del río Magdalena en la Delegación Magdalena Contreras; estudio sobre el posible tipo de falla en las cortinas de las presas de la Delegación Álvaro Obregón en la Ciudad de México.

[Handwritten signatures and initials in blue ink]

3. **Generación de los Modelos Digitales de Superficie e información para la elaboración de mapas de susceptibilidad al deslizamiento de laderas:** Modelos Digitales de Superficie en formato GeoTIFF de 32 bits, Imágenes aéreas en formato JPG, Ortomosaicos en formato GeoTIFF georreferenciados en el sistema de coordenadas Cónica Conforme de Lamber con Datum ITRF; estudio de los factores desencadenantes y factores internos en una ladera que detonan un deslizamientos de laderas en la Ciudad de Huauchinango, Puebla y en la Delegación Álvaro Obregón, Ciudad de México.
4. **Modelo de peligro inundación del río Magdalena en la Delegación Magdalena Contreras y por rotura de una presa en la delegación Álvaro Obregón en la Ciudad de México:** Modelos Digitales de Superficie en formato GeoTIFF de 32 bits, Imágenes aéreas en formato JPG, Ortomosaicos en formato GeoTIFF georreferenciados en el sistema de coordenadas Cónica Conforme de Lamber con Datum ITRF 92. Se entregarán en un proyecto mxd de arc map, con su simbología asociada, diccionario de datos de las capas de información y metadatos de acuerdo a la Norma del INEGI para la Generación de Metadatos del 2010.
5. **Mapas de susceptibilidad al deslizamiento de laderas en la Ciudad e Huauchinango, Puebla, y la Delegación Álvaro Obregón en la Ciudad de México:** Modelos Digitales de Superficie en formato GeoTIFF de 32 bits, Imágenes aéreas en formato JPG, Ortomosaicos en formato GeoTIFF georreferenciados en el sistema de coordenadas Cónica Conforme de Lamber con Datum ITRF 92. Se entregarán en un proyecto mxd de arc map, con su simbología asociada, diccionario de datos de las capas de información y metadatos de acuerdo a la Norma del INEGI para la Generación de Metadatos del 2010.
6. **Desarrollo de la plantilla del sistema informático que contendrá los módulos 1, 2 , 3 y 4 del SOPACD-VANT:** Visor que podrá ser consultado vía internet y que contendrá ventanas amigables para el usuario, simbología, logotipos de la Secretaría de Gobernación y el Centro Nacional de Prevención de Desastres, además de los cuatro módulos de consulta.
7. **Desarrollo del módulo del nivel 1 del SOPACD-VANT:** Modulo dentro del sistema que permitirá la consulta de imágenes y videos optimizados mediante whatsapp, 5 minutos después de la carga de la información al sistema.

8. **Desarrollo del módulo del nivel 2 del SOPACD-VANT:** Módulo dentro del sistema que permitirá la consulta de imágenes y videos optimizados mediante correo electrónico, 10 minutos después de la carga de la información al sistema.
 9. **Desarrollo del módulo del nivel 3 del SOPACD-VANT:** Modulo dentro del sistema que permitirá la consulta de imágenes y videos optimizados mediante un visor en la nube, 30 minutos después de la carga de información al sistema.
 10. **Desarrollo del módulo del nivel 4 del SOPACD-VANT:** Módulo dentro del sistema que permitirá la Consulta de imágenes y videos con resolución 4 k, mapas de coberturas voladas y productos derivados mediante un sitio colaborativo en internet, 24 horas después de la carga de la información al sistema
 11. **Transferencia del conocimiento las autoridades municipales de Protección Civil y Planeación Territorial sobre la planeación territorial sobre el uso de los escenarios de peligro para la toma de decisiones:** Se impartirán 5 talleres a las autoridades sobre el uso de la información geoespacial en la prevención en caso de que se presente el fenómeno de deslizamiento de laderas e inundaciones así como para la planificación del territorio.
 12. **Transferencia del conocimiento mediante talleres de planeación participativa a las personas que se ubiquen dentro de las zonas identificadas como de peligro por inundaciones:** Se impartirán 5 talleres a las personas que se identifiquen que habitan en un área de peligro por inundaciones o susceptible al deslizamiento de laderas.
 13. **Realización del segundo seminario sobre Uso de Vehículos Aéreos no Tripulados –Drones (VANT) en el ámbito de la Protección Civil:** Se llevará a cabo un seminario en el CENAPRED para transmitir las experiencias recabadas en el uso de la tecnología VANT durante el proyecto.
- f) **Plazo máximo para el desarrollo del Proyecto de Investigación**
- 12 meses, a partir de su aprobación
- g) **Programa de la ejecución del gasto del Proyecto de Investigación**

Handwritten notes and signatures in blue ink on the right margin, including a vertical list of letters (A, Y, H, G) and various scribbles.

Se adjunta programa.

h) Calendario de entrega de reportes trimestrales

A más tardar el último día hábil de los meses 3, 6, 9 y 12 de ejecución, en función de la fecha de inicio del Proyecto de Investigación.

i) Criterios considerados para la evaluación del Proyecto de Investigación

1. Usuarios del sistema.
2. Población estimada afectable ante la presencia de inundaciones y deslizamientos de laderas en las Ciudades y Delegaciones elegidas para la elaboración de escenarios de peligro.
3. Impacto estimado a nivel nacional a las autoridades encargadas de la Protección Civil y Planeación Territorial como resultado de la eventual introducción exitosa del uso de VANT.
4. Personal relacionado en cualquiera de las etapas de la GIR y que pueda utilizar el caso de estudio.

f

✓
4 x
H
8
2
MB
Q
X