



Nombre del proyecto	Desarrollo de algoritmos de procesamiento de imágenes satelitales GOES_16 para su inclusión en el Atlas Nacional de Riesgos.
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Ing. Enrique Guevara Ortiz Director General del CENAPRED
	Informe técnico final

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

INDICE

Desarrollo de algoritmos de procesamiento de imágenes satelitales GOES_16 para su inclusión en el Atlas Nacional de Riesgos.

- Actividad 1 Trámites administrativos de ejecución
- Actividad 2 Desarrollo de algoritmos para la detección de puntos de calor (DPC) para México
 - 2.1. Recopilación de información bibliográfica
 - 2.2. Implementación de algoritmos en el sistema
 - 2.3. Evaluación de la calidad de los resultados
 - 2.4. Elaboración de reporte de DPC
- Actividad 3 Calibración de datos de nubes de ceniza para los Volcanes Mexicanos.
 - 3.1. Recopilación de publicaciones científicas,
 - 3.2. Implementación de algoritmos en el sistema
 - 3.3. Evaluación de la calidad de los resultados
 - 3.4. Elaboración de reporte
- Actividad 4 Envío de imágenes digitales
 - 4.1. Implementación de mecanismos de envío e integración al Atlas de Riesgos
 - 4.2. Envío de Imágenes digitales GOES 16 de México
 - 4.3. Elaboración de reportes.
- Actividad 5 Curso de capacitación para el personal del CENAPRED sobre el uso de las imágenes GOES-16.
 - 5.1. Impartición del temario del curso y prácticas (20 Hrs)



Nombre del proyecto	Desarrollo de algoritmos de procesamiento de imágenes satelitales GOES_16 para su inclusión en el Atlas Nacional de Riesgos.
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Ing. Enrique Guevara Ortiz Director General del CENAPRED
	Informe técnico final

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

1. Resumen Ejecutivo Reportado (Metas y Actividades programadas, Metas y Actividades alcanzadas, Indicadores de cumplimiento en términos porcentuales, etc.)

Durante el periodo comprendido entre el 14 de septiembre de 2017 al 13 de marzo de 2019, se brindó continuidad a las gestiones técnicas, administrativas y de seguimiento correspondientes para la ejecución del Proyecto.

DESCRIPCIÓN DE AVANCE PARA CADA UNO DE LOS RUBROS DEL PROGRAMA DE ACTIVIDADES PLAZOS Y COSTOS (PAPC)			
Nombre de la actividad	Breve descripción de la actividad desarrollada durante el trimestre.	ENTREGABLE	% AVANCE
Actividad 1 Trámites administrativos de ejecución	El CENAPRED realizaron las gestiones administrativas para la ejecución de proyecto, se generó la ficha definitiva y el proceso de contratación se concretó.	Ficha técnica	100%
Actividad 2 Desarrollo de algoritmos para la detección de puntos de calor (DPC) para México	Se integraron al Atlas Nacional de Riesgos (ANR) productos de la detección de puntos de calor procesados obtenidos de imágenes satelitales.	2.1.Recopilación de información bibliográfica 2.2.Implementación de algoritmos en el sistema 2.3.Evaluación de la calidad de los resultados 2.4.Elaboración de reporte de DPC	100%
Actividad 3 Calibración de datos de nubes de ceniza para los Volcanes Mexicanos de imagen y adecuaciones para su despliegue en la plataforma de	Se desarrolló y validó un algoritmo que puede detectar la emisión de ceniza volcánica en intervalos de cinco minutos, aprovechando una característica del satélite geoestacionario GOES-16.	3.1.Recopilación de publicaciones científicas, 3.2.Implementación de algoritmos en el sistema 3.3.Evaluación de la	100%



Nombre del proyecto	Desarrollo de algoritmos de procesamiento de imágenes satelitales GOES_16 para su inclusión en el Atlas Nacional de Riesgos.
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Ing. Enrique Guevara Ortiz Director General del CENAPRED
	Informe técnico final

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

monitoreo del Atlas Nacional de Riesgos.		calidad de los resultados 3.4.Elaboración de reporte	
Actividad 4 Envío de imágenes digitales	Se implementaron los mecanismos de envío de imágenes del satélite GOES-16 hacia el CENAPRED, en sus 16 bandas, a resolución completa y se generaron rutinas informáticas repetitivas para que los productos sean integrados al Atlas Nacional de Riesgos.	4.1.Implementación de mecanismos de envío e integración al Atlas de Riesgos 4.2.Envío de Imágenes digitales GOES 16 de México 4.3. Elaboración de reportes.	100%
Actividad 5 Curso de capacitación para el personal del CENAPRED sobre el uso de las imágenes GOES-16.	Se impartió el curso a personal del CENAPRED en las instalaciones del Instituto de Geografía, en el cual se brindó una explicación del sistema de adquisición de datos provenientes del satélite GOES 16, la manera de cómo acceder a ellos. Adicionalmente se brindó una explicación sobre el procesamiento básico del algebra de imágenes en sus distintas bandas para obtener determinados productos.	5.1.Impartición del temario del curso y prácticas (20 Hrs)	100%

Describir cada uno de los resultados alcanzados, indicando de manera cuantitativa en qué medida cubre lo comprometido en la Ficha Técnica.

Los resultados obtenidos son:

- **Desarrollo de algoritmos para la detección de puntos de calor (DPC) para México**

Entregable: Recopilación de publicaciones científicas

El entregable aborda los aspectos generales de los incendios forestales con algunas definiciones para entender el comportamiento del fuego y el tipo de incendios que pueden detectarse. Posteriormente, se describen brevemente las bases del desarrollo de algoritmos para la identificación de puntos de calor, utilizando los productos que proporcionan los satélites meteorológicos de la NOAA, así como los últimos satélites geoestacionarios que proporcionan servicio al Continente Asiático. Por último, se documentan las bases físicas de la percepción remota para la detección de incendios y la descripción técnica de las imágenes del



Nombre del proyecto	Desarrollo de algoritmos de procesamiento de imágenes satelitales GOES_16 para su inclusión en el Atlas Nacional de Riesgos.
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Ing. Enrique Guevara Ortiz Director General del CENAPRED
	Informe técnico final

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

nuevo satélite GOES-16.

Entregable: Implementación de algoritmos en el sistema

El entregable describe el desarrollo de un algoritmo para detectar incendios, a partir de imágenes del sensor ABI emplazado en el satélite geoestacionario GOES-16. Dicho algoritmo toma en cuenta técnicas multi-umbral y contextuales, que utilizan máscaras de tierra/agua, desiertos y ciudades, en combinación con la geometría solar (ángulos de reflexión y azimut) y el establecimiento de umbrales espectrales en diferentes canales.

Entregable: Evaluación de la calidad de los resultados

El entregable describe el proceso que se realizó para evaluar la calidad del algoritmo desarrollado en el Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra, para la detección de incendios usando imágenes GOES-16/ABI. Para ello se eligieron los resultados obtenidos cada 30 minutos, en horarios diurnos (14:30 – 23:30 hrs GMT) y nocturnos (04:00 – 12:00 hrs GMT) de los días 17, 20, 22 y 28 de mayo de 2018.

- **Calibración de datos de nubes de ceniza para los Volcanes Mexicanos.**

Entregable: Recopilación de publicaciones científicas

El documento hace una revisión bibliográfica de los avances y capacidades de la percepción remota para observar la deformación de la estructura volcánica, las nubes de cenizas, la emisión de gases y aerosoles volcánicos, así como los cambios gravimétricos y térmicos en un volcán. También, incluye una revisión de la actividad volcánica del Volcán de Fuego de Colima y el Volcán Popocatepetl, en los últimos 30 años.

Entregable: Implementación de algoritmos en el sistema

El documento describe un algoritmo desarrollado para la detección de cenizas volcánicas utilizando diferencias espectrales en imágenes infrarrojas del sensor ABI, montado a bordo del satélite geoestacionario GOES-16. Dicho algoritmo fue probado en el Sistema TeraScan, que forma parte del equipo de recepción y procesamiento de GOES-16 del Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra. También fue probado usando el lenguaje Python-GDAL que es un software libre. Ésta última aplicación mostró un mejor resultado en la detección, ya que TeraScan tiende a subestimarla asignando como pixeles probables de contener ceniza, algunos que están asociados con la respuesta espectral de las nubes meteorológicas.

Entregable: Evaluación de la calidad de los resultados

En el documento se describe el proceso seguido para llevar a cabo la validación del algoritmo de detección de nubes de ceniza volcánica, desarrollado en el Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra, a partir de imágenes proporcionadas por el sensor ABI localizado a bordo del satélite GOES-16. Este satélite de órbita geoestacionaria, proporciona una imagen multispectral de 16 bandas con una frecuencia de cinco minutos para América del Norte. Esta periodicidad proporciona una cobertura, en tiempo casi real, del proceso de emisión de ceniza volcánica que está siendo monitoreado. Para la validación del algoritmo se usaron imágenes de los sensores satelitales MODIS y VIIRS, no obstante, la información primaria utilizada en

Nombre del proyecto	Desarrollo de algoritmos de procesamiento de imágenes satelitales GOES_16 para su inclusión en el Atlas Nacional de Riesgos.
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Ing. Enrique Guevara Ortiz Director General del CENAPRED
	Informe técnico final

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

este proceso, fue aquella proporcionada por la Red Telemétrica de Monitoreo del Volcán Popocatepetl a cargo del CENAPRED.

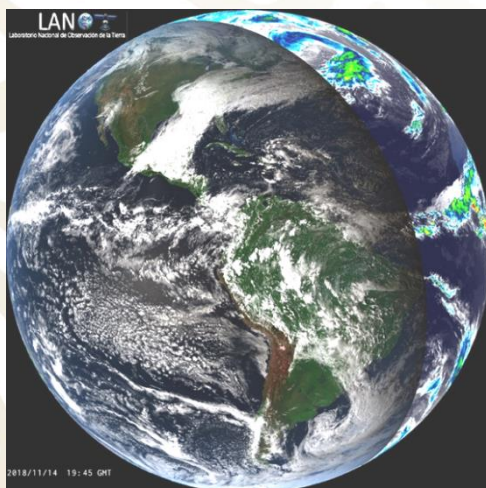
- **Envío de imágenes digitales.**

Entregable: Implementación de mecanismos de envío e integración al Atlas Nacional de Riesgos

En este informe se hace una descripción del tipo de imágenes del satélite GOES-16 que se reciben y que se encuentran disponibles en el Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra. Se hace un resumen de sus características principales, en cuanto a bandas espectrales, resolución de pixel y dimensiones de los archivos.

Se muestra el árbol de directorios para mejor conocimiento de la ubicación de las imágenes y así tener un mejor acceso cuando se hace alguna consulta directa o por vía remota. Se señala también la localización de algunos procesos como tope de nubes, índice de vegetación normalizado (NDVI) y las animaciones generadas en el LANOT, que permiten hacer un mejor seguimiento de algunos fenómenos meteorológicos como huracanes, tormentas y frentes fríos. También se ejemplifica de manera gráfica cuáles son las coberturas de los diferentes recortes efectuados sobre el territorio nacional y sus mares circundantes.

También se muestra la manera de acceso a los directorios vía sftp para su descarga y se ejemplifica cual fue el procedimiento seguido para integrar las imágenes de manera directa al Atlas Nacional de Riesgos



Cobertura disco completo (Full Disk) esta imagen se recibe cada 15 minutos en sus 16 bandas espectrales. Abarca el hemisferio completo.

Nombre del proyecto	Desarrollo de algoritmos de procesamiento de imágenes satelitales GOES_16 para su inclusión en el Atlas Nacional de Riesgos.
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Ing. Enrique Guevara Ortiz Director General del CENAPRED
	Informe técnico final

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL



Cobertura CONUS (Continental US). Se recibe una imagen cada cinco minutos de esta zona geográfica. Abarca la mayor parte de México, con excepción de una porción del Sur de la República Mexicana.





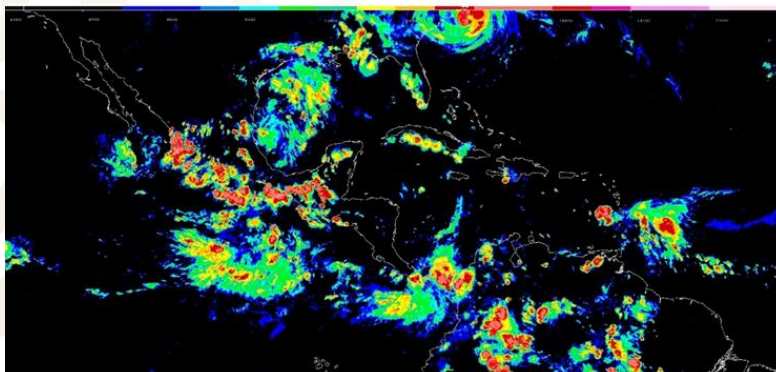
Nombre del proyecto	Desarrollo de algoritmos de procesamiento de imágenes satelitales GOES_16 para su inclusión en el Atlas Nacional de Riesgos.
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Ing. Enrique Guevara Ortiz Director General del CENAPRED
	Informe técnico final

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

Producto: México. Este recorte se efectúa en el LANOT. Su cobertura es exclusivamente sobre el territorio mexicano.

Entregable: Integración de imágenes al Atlas Nacional de Riesgos.

El CENAPRED recibe todos los productos disponibles para los usuarios registrados en el Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra mediante una conexión SFTP. En este servicio, la Institución obtiene los archivos de tope de nubes de una amplia región, que abarca de los 2° S a los 35° N y de los 44°30' E a los 122°30' W en coordenadas geográficas, lo que permite observar los fenómenos tropicales mucho antes que afecten nuestro territorio. Los archivos que se reciben en formato jpg, solo contienen los datos de nubosidad, sin ninguna otra referencia, ya que se integran directamente a la plataforma denominada Atlas Nacional de Riesgos, como una más de sus capas. Cabe aclarar que en la imagen que se incluye en este informe, se superpuso la línea de costa solamente con fines demostrativos.



Producto: tope de Nubes que se despliega en el Atlas Nacional de Riesgos.

- **Curso de capacitación para el personal del CENAPRED sobre el uso de las imágenes GOES-16**

Entregable: Impartición del temario del curso y prácticas

En este entregable se describen las principales actividades desarrolladas dentro del curso de capacitación para el personal del CENAPRED sobre el uso de las imágenes GOES-16, impartidas del 19 al 22 de marzo de 2019 en horario de 11:00 a 16:00 hrs en el edificio anexo del Instituto de Geografía, en la Universidad Nacional Autónoma de México.

El objetivo del curso fue: Que el alumno profundice en los conocimientos del funcionamiento de los satélites geoestacionarios de nueva generación y sus sensores, del manejo de la información procesada en el LANOT, así como la generación de nuevos productos a partir de estas imágenes.

Nombre del proyecto	Desarrollo de algoritmos de procesamiento de imágenes satelitales GOES_16 para su inclusión en el Atlas Nacional de Riesgos.
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Ing. Enrique Guevara Ortiz Director General del CENAPRED
	Informe técnico final

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL



Inauguración del curso de capacitación para el personal del CENAPRED sobre el uso de las imágenes GOES-16, a cargo del coordinador del Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra. (Fotografía: Chelo Molina Guardado).

Los resultados, ¿de qué forma abonan a la parte preventiva del proyecto?

Los resultados abonan a mejorar el monitoreo visual de volcanes activos como son el Popocatepetl y Fuego de Colima. Esto contribuye a un mejor entendimiento de los fenómenos asociados a la actividad volcánica, por ejemplo, seguimiento de emisiones de ceniza, alcance de fragmentos de lava, desgasificación, entre otros.

Por lo tanto, esta información es de utilidad para la toma de decisiones en materia preventiva tanto para las autoridades como para la población. Adicionalmente, con el análisis de estas imágenes se puede corroborar o mejorar algunos aspectos de los mapas de peligros de ambos volcanes. Estos mapas son información de carácter preventivo.

Señalar el proceso o la metodología empleada para la obtención de los productos reportados

Las metodologías base empleadas en el proyectos son varias y dependen de la especialidad que intervienen.

Una de las metodologías aplicadas es por medio del proceso para llevar a cabo la validación de los algoritmos de detección de nubes de ceniza volcánica, puntos de calor y tope de nubes, desarrollado en el Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra, a partir de imágenes proporcionadas por el sensor ABI localizado abordo del satélite GOES-16. Este satélite de órbita



Nombre del proyecto	Desarrollo de algoritmos de procesamiento de imágenes satelitales GOES_16 para su inclusión en el Atlas Nacional de Riesgos.
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Ing. Enrique Guevara Ortiz Director General del CENAPRED
	Informe técnico final

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

geoestacionaria, proporciona una imagen multiespectral de 16 bandas con una frecuencia de cinco minutos para América del Norte. Esta periodicidad proporciona una cobertura, en tiempo casi real, de los procesos tanto de emisión de ceniza volcánica, de incendios o de acumulación de nubes de agua, que están siendo monitoreados. Para la validación del algoritmo se usaron imágenes de los sensores satelitales MODIS, VIIRS y otras fuentes. Como primer paso de este proceso de validación se llevó a cabo la calibración de las imágenes de satélite y se aplicó el método de absorción inversa para la detección de píxeles. Enseguida, por ejemplo, se llevó a cabo una clasificación no supervisada del fenómeno y se evaluaron al azar diferentes puntos de la imagen. Posteriormente se efectuó un análisis estadístico de la incertidumbre de la clasificación y por último se compararon estos resultados contra los reportes del CENAPRED sobre las emisiones de ceniza volcánica obtenidos desde sus estaciones terrestres de monitoreo. La confiabilidad por ejemplo en el caso de detección de emisión de ceniza, en condiciones de ausencia de nubes se situó en 85 %, reduciéndose a 70% ante la presencia de nubes bajas y zonas de alta humedad.




Cadena de procesamiento para la detección de nubes de ceniza

Nombre del proyecto	Desarrollo de algoritmos de procesamiento de imágenes satelitales GOES_16 para su inclusión en el Atlas Nacional de Riesgos.
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Ing. Enrique Guevara Ortiz Director General del CENAPRED
	Informe técnico final

**SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN
INFORME TÉCNICO FINAL**

2. Descripción detallada, en su caso, de las características de los bienes adquiridos de acuerdo al PAPC y lo comprometido dentro de la Ficha Técnica. Si se trata de equipo, incluir especificaciones técnicas y los mapas que se entreguen deberán tener formato shape.

No.	Concepto	Descripción
1	1. Envío de imágenes satelitales de alta resolución.	<p>Envío de Imágenes digitales de México con los recortes y demás productos mencionados en este informe, incluyendo los Mares Patrimoniales, en formato geotiff cada 15 minutos con diferentes niveles de procesamiento para su adecuada inclusión al Atlas Nacional de Riesgos.</p>  <p>Ejemplo de Imagen satelital en formato referenciado para su inclusión en aplicativo del ANR</p> <p>Adicionalmente, están disponibles las imágenes nativas del sensor ABI y otros sensores con los que cuenta el Satélite GOES 16, además de productos procesados por el Laboratorio de Observación de la Tierra (LANOT) para su libre consulta.</p> <p>Por mencionar algunos, se proporciona el índice de vegetación normalizado (NDVI) y las animaciones generadas en el LANOT, que permiten hacer un mejor seguimiento de algunos fenómenos meteorológicos como huracanes, tormentas y frentes fríos. También se ejemplifica de manera gráfica cuáles son las coberturas de los diferentes recortes efectuados sobre el territorio</p>

Nombre del proyecto	Desarrollo de algoritmos de procesamiento de imágenes satelitales GOES_16 para su inclusión en el Atlas Nacional de Riesgos.
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Ing. Enrique Guevara Ortiz Director General del CENAPRED
	Informe técnico final

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

		<p>nacional y sus mares circundantes.</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>Ejemplo de las 16 Bandas de imágenes GOES que están disponibles para CENAPRED</p>
--	--	---

3. Productos que se tienen al momento del reporte.

No.	Producto utilizable	Mecanismo de integración con la CNPC o el CENAPRED
1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Imágenes satelitales de alta resolución para detección oportuna de puntos de calor e incendios. 2. Imágenes satelitales de alta resolución para detección oportuna de nubes de ceniza 3. Imágenes satelitales de alta resolución para detección del tope de nubes 	<p>Una vez que se establecieron y probaron los mecanismos de transferencia de imágenes desde el Laboratorio Nacional de observación de la Tierra, hacia el CENAPRED, este proceso se instaló de manera regular y se continuará hasta dar cumplimiento cabal con los compromisos establecidos en este proyecto.</p> <p>A la fecha se lleva a cabo la transferencia de manera oportuna y regular vía sftp a CENAPRED de las imágenes digitales del Hemisferio Occidental a su resolución original y con toda la información asociada, en formatos geotiff y netcdf cada 15 minutos, de las 16 bandas del sensor ABI de GOES-16.</p> <p>Así mismo, se lleva a cabo la transferencia a CENAPRED vía sftp de las imágenes digitales de México con los recortes y demás productos mencionados en este informe, incluyendo los Mares Patrimoniales, en formato geotiff cada</p>

Nombre del proyecto	Desarrollo de algoritmos de procesamiento de imágenes satelitales GOES_16 para su inclusión en el Atlas Nacional de Riesgos.
Institución Ejecutora	Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)
Persona responsable del proyecto	Ing. Enrique Guevara Ortiz Director General del CENAPRED
	Informe técnico final

SUBCUENTA DE INVESTIGACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DEL FOPREDEN INFORME TÉCNICO FINAL

	<p>15 minutos con diferentes niveles de procesamiento.</p>  <p>Laboratorio de Observación de la Tierra (LANOT)</p> <p>La integración al Atlas Nacional de Riesgos se lleva a cabo con productos y algoritmos desarrollados en este proyecto de manera automática y satisfactoria.</p> <p>Adicionalmente, desde CENAPRED se tiene acceso directo al sitio Web del LANOT: www.lanot.unam.mx, donde también es posible llevar a cabo la descarga de las imágenes (a menor resolución). Caso que puede ser utilizado como una alternativa de consulta.</p>
--	---

4. Comentarios

El Comité Interno de la Subcuenta de Investigación para la Prevención, aprobó el informe técnico final de este proyecto, con fundamento en el artículo 30 de los Lineamientos para la operación del Comité Interno de la Subcuenta de Investigación en el marco de Acuerdo por el que se establecen las Reglas de Operación del Fondo para la Prevención de Desastres Naturales.