

Producción de cartografía y estudios geográficos de pronta respuesta, para atender la emergencia generada por el terremoto del 16 de abril de 2016 en Ecuador

Paulina Guerrón*
Edison Bravo**
Rafael Delgado***

Recibido en febrero de 2016; aceptado en enero de 2017

Abstract

The Military Geographic Institute (IGM) as part of its institutional mission has the management and execution of the generation and control of Geoinformation for Security, Defense, Support to National Development and Risk Management. The objective of this article is to demonstrate the performance and social impact of the processes and technical capacities of the IGM in decision making in the earthquake of April 2016 (in the Ecuadorian coast), through a strategic work that allowed to determine the degree of impact of the earthquake, by means of aerial platforms equipped with LIDAR sensors and aerial photogrammetric cameras, to generate cartography and geographic studies of rapid response (scale 1:5.000) in support of the elaboration of aid and response plans of public entities and Private partnerships.

All the information allowed to determine and analyze, through a statistical calculation the number of buildings destroyed and affected and through a spatial analysis allowed the establishment of suitable sectors for the implantation of temporary housing (shelters) of the urban areas and towns most affected of the provinces of Manabí and Esmeraldas, for the support to the civil planning and military conduction. The cartography elaborated served for planning and reconstruction of affected areas; support the location of emerging shelters and suggest relocation of villages. All the generated geoinformation was placed opportunely in the institutional geoportal, so that the users have access to official information and prompt response.

Key words: Early response mapping, Geographical studies, Generation of geoinformation, Risk management.

.....
* correo electrónico: paulina.guerron@mail.igm.gob.ec

** correo electrónico: edison.bravo@mail.gob.ec

*** correo electrónico: rafael.delgado@mail.igm.ec

Resumen

El Instituto Geográfico Militar de Ecuador (IGM) como parte de su misión institucional tiene a su cargo gestionar y ejecutar la generación y control de Geoinformación para la Seguridad, Defensa, Apoyo al Desarrollo Nacional y Gestión de Riesgos. El objetivo de este artículo es evidenciar la actuación y el impacto social de los procesos y capacidades técnicas del IGM en la toma de decisiones en el terremoto de abril de 2016 (en la costa ecuatoriana), a través de un trabajo estratégico que permitió determinar el grado de afectación del sismo, por medio de plataformas aéreas equipadas con sensores LIDAR y cámaras aerofotogramétricas, para generar cartografía y estudios geográficos de pronta respuesta (escala 1:5 000) en apoyo a la elaboración de planes de ayuda y respuesta de las entidades públicas y privadas.

Toda la información permitió determinar y analizar, a través de un cálculo estadístico la cantidad de edificaciones destruidas y afectadas y a través de un análisis espacial obtener el establecimiento de sectores adecuados para la implantación de viviendas provisionales (albergues) de las zonas urbanas y poblados más afectados de las provincias de Manabí y Esmeraldas, para el apoyo a la planificación civil y conducción militar. La cartografía elaborada sirvió para la planificación y reconstrucción de zonas afectadas; apoyar la ubicación de albergues emergentes y sugerir reubicación de poblados. Toda la geoinformación generada fue colocada oportunamente en el geoportal institucional, para que los usuarios tuvieran acceso a información oficial y de pronta respuesta.

Palabras clave: Cartografía pronta respuesta, Estudios Geográficos, Generación de Geoinformación, Gestión de Riesgos.

Introducción

El sábado 16 de abril a las 18h58 (tiempo local), se registró un sismo de magnitud 7.8 (Mw magnitud momento), cuyo hipocentro se ubicó frente a Pedernales (Manabí), IG-EPN, ante el evento acontecido en el país, la Presidencia de la República del Ecuador emite los Decretos Ejecutivos 1001, 1002, 1101, declarando el Estado de Excepción en las provincias de: Esmeraldas, Manabí, Santa Elena, Santo Domingo de los Tsáchilas, Los Ríos y Guayas, por los efectos adversos de este desastre natural.

Ante esta situación de emergencia nacional, el IGM, en cumplimiento de su misión institucional, elaboró un plan de apoyo denominado "TERREMOTO", el cual tuvo como objetivo contribuir con los medios y capacidades logísticas disponibles, para la generación y entrega oportuna de GEOINFORMACIÓN oficial y de pronta respuesta de las provincias y sectores afectados, que garantiza una efectiva planificación tanto en el ámbito civil como militar.

El Instituto, como organismo designado por el estado ecuatoriano para generar la cartografía básica oficial del país, aportó junto a su contingente humano y tecnológico, la experticia alcanzada a lo largo de sus trayectoria institucional, que se vio reflejada en la ejecución y obtención de los siguientes procesos y productos:

- Generación de Geoinformación de Pronta Respuesta
- Generación de Estudios Geográficos de Pronta Respuesta

Para que la información generada, se encuentre al servicio de la sociedad más afectada, se tomó en consideración las prioridades que fueron determinados por las entidades oficiales civiles y militares competentes, colocando en el geoportal institucional <www.geoportal.igm.gob.ec>, toda la información que fue generada al momento.

Generación de Geoinformación de Pronta Respuesta

Para la obtención de geoinformación oportuna, fue realizado el siguiente proceso:

Activación de los medios, equipamiento y capacidad operativa

La captura de información fue realizada a través de los levantamientos de información fotogramétrica, lo cuales se llevaron a cabo con las tres plataformas disponibles en el IGM, habiéndose considerado aspectos y variables fotogramétricas como: la altura de vuelo, velocidad de las plataformas, área de cobertura de toma, capacidad operacional y tiempo de respuesta.

- Base en Manta: avión CESSNA CITATION II, cámara ULTRACAM XP. Prioridades de toma: zonas urbanas y poblados de gran extensión afectados.
- Base en Guayaquil: avioneta CESSNA T-206 H, equipada con el sensor LiDAR y cámara de mediano formato. Prioridades de toma: poblados de menor extensión y sectores específicos afectados.
- BASE en Pedernales: UAV- IGM, cámara NEX5-R. Prioridades de toma: sectores y objetivos puntuales afectados.
- Ocho programas de procesamiento de datos especializado.
- 150 estaciones de trabajo (Workstation), con su respectivo personal técnico capacitado.
- 10 computadoras portátiles.

Planificación de vuelo

Para la planificación del vuelo realizada el 17 de abril de 2016, un día posterior al evento, se evaluó la factibilidad de toma, considerando el tamaño del objeto

en la superficie a reconocer (GSD) que se requiere, traslajos y distribución de las líneas de vuelo.

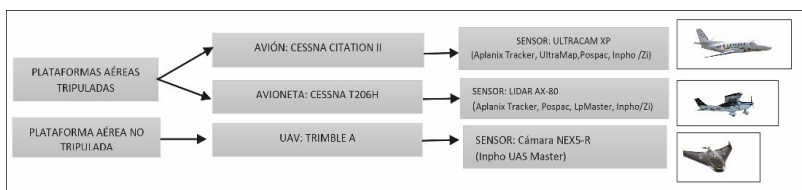


Figura 1. Equipamiento y software utilizado para la captura y procesamiento de la información. Fotografía aérea del IGM, Ecuador, 2016.

Se toma en consideración las condiciones meteorológicas de los sectores afectados, determinando los siguientes parámetros, de acuerdo al sensor:

- Cámara fotogramétrica ULTRACAM XP. Altura de vuelo: 1 000 metros sobre el nivel del suelo (AGL). Velocidad de 170 nudos.
- Sensor LiDAR AX80 integrada por una cámara fotogramétrica AC IQ 180. Altura de vuelo: 800 mts sobre el nivel del suelo (AGL). Velocidad de 87 nudos.
- Cámara NEX5-R. Altura de vuelo: 150 mts sobre el nivel del suelo (AGL). Velocidad: 38 nudos.

Captura de información

Las fotografías aéreas capturadas, se obtuvieron con 6 cm de GSD, lo que permite al usuario tener una mayor definición y/o resolución de los objetos localizados en la superficie terrestre, con esta característica luego del procesamiento se obtuvieron ortofotos entre 10 y 15 cm de resolución, lo que permitió a los organismos civiles, militares y público en general, tener una visualización de pronta respuesta del desastre ocurrido en forma general, a nivel de zona urbana o poblado y específica a nivel de construcción o edificación.

Como se puede evidenciar en la Tabla 1, la fecha de captura fotográfica de la prioridad 1, establecida por la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES), fue realizada en su totalidad en los primeros diez días, pudiendo con este tiempo óptimo, proporcionar instrumentos para la toma de decisiones.

Con las plataformas destinadas por el IGM para atender la emergencia del Sismo del 16 de abril de 2016, se lograron obtener 114 objetivos de las provincias afectadas, con un área efectiva de toma de 577 km².

Tabla 1
Prioridades para la toma de fotografía aérea

Prioridades de la toma	Fecha de la toma	Núm. de días del evento
Pedernales	18 de abril de 2016	2
Muisne	18 de abril de 2016	2
Manta	19 de abril de 2016	3
Bahía de Caráquez	20 de abril de 2016	4
San Vicente	21 de abril de 2016	5
Chone	22 de abril de 2016	6
Portoviejo	23 de abril de 2016	7
Jama	25 de abril de 2016	9
Jaramijó	18 de abril de 2016	2
Montecristi	18 de abril de 2016	2
Canoa	19 de abril de 2016	3
San José de Chamanga	20 de abril de 2016	4
El Matal	21 de abril de 2016	5
San Isidro	22 de abril de 2016	6
Calceta	23 de abril de 2016	7
Flavio Alfaro	25 de abril de 2016	9
Rocafuerte	27 de abril de 2016	11
Tosagua	22 de abril de 2016	6
El Carmen	02 de mayo de 2016	16

Fuente: Fotografía aérea, IGM Ecuador, 2016.

Procesamiento

Ante la necesidad de obtener geoinformación de pronta respuesta, y considerando las características específicas de las fotografías aéreas que cada sensor obtiene, se realiza el procesamiento digital siguiendo dos flujos de trabajo en relación al tiempo de obtención de productos, como se observa en la Figura 2.

- *Metodología de generación de fotomosaicos georreferenciados de pronta respuesta*, se toma por insumo las fotografías aéreas de baja resolución generadas por la cámara fotogramétrica ULTRACAM XP, que luego se integran en un mosaico aerofotogramétrico y son georeferenciadas a partir de ortofotos, escala 1:5 000 almacenado en el archivo cartográfico del IGM.
- *Metodología convencional*, la cual utiliza el flujo normal del proceso, con la obtención de los centros de exposición, la aerotriangulación y la generación de ortofotos a partir de las imágenes de gran resolución. Los puntos de control tomados en la aerotriangulación fueron obtenidos a partir de proyectos de

años anteriores generados a escala 1:5 000, por lo tanto la ortofoto express varía entre escalas 1:5 000 y 1:10 000.

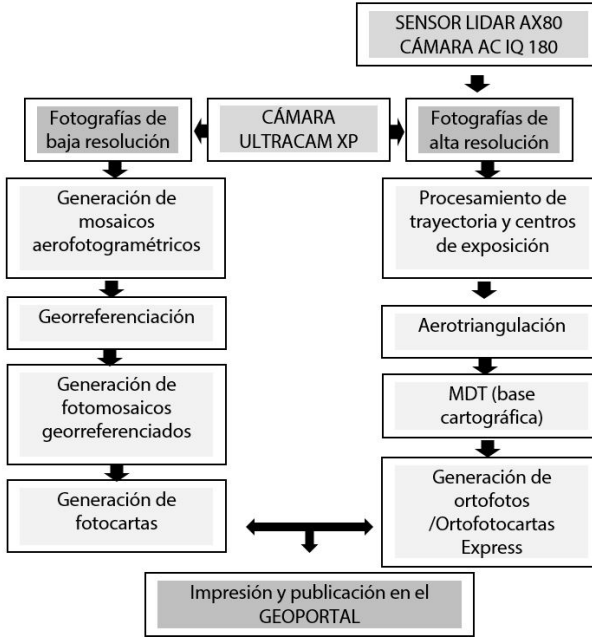


Figura 2. Flujos de trabajo para el procesamiento digital de la fotografía aérea. Fotografía aérea: IGM Ecuador, 2016.

Generación de estudios geográficos de pronta respuesta

Con la información fotográfica obtenida y ante la necesidad de las entidades de estado de tener instrumentos técnicos que permitan una adecuada toma de decisiones, se procedió a la realización de los siguientes estudios geográficos de las prioridades establecidas:

Atlas: estimación provisional de edificaciones destruidas y afectadas SISMO 16-abril. Información para verificación en campo

Insumos: Se consideraron cuatro fuentes de información:

- IGM. Mosaico de ortofotos a escala 1:5 000 de los años 2011-2015
- IGM. Mosaico fotográfico georreferenciado a escala 1:5 000, con las fechas de toma de acuerdo a la Tabla 1

- IGM. Información vectorial del área urbana a nivel de edificaciones realizada mediante restitución de las fotografías aéreas de alta resolución
- INEC. Información del pre-censo 2010 con la población de las edificaciones

Metodología: la metodología se encuentra determinada en la Figura 3.

- Identificación visual de construcciones en el mosaico de ortofotos del año 2011-2015
- Identificación visual de construcciones “destruidas” en los mosaicos georeferenciados realizados de las zonas urbanas y poblados priorizados
- Comparación entre los dos mosaicos anteriormente indicados
- Identificación mediante un punto de los predios destruidos en la fotografía aérea 2016
- Catalogación de construcciones: Afectada, Destruida, No destruida y Digitalización de los polígonos
- Captura de esta información, como fuente preliminar, para la generación de los mapas respectivos

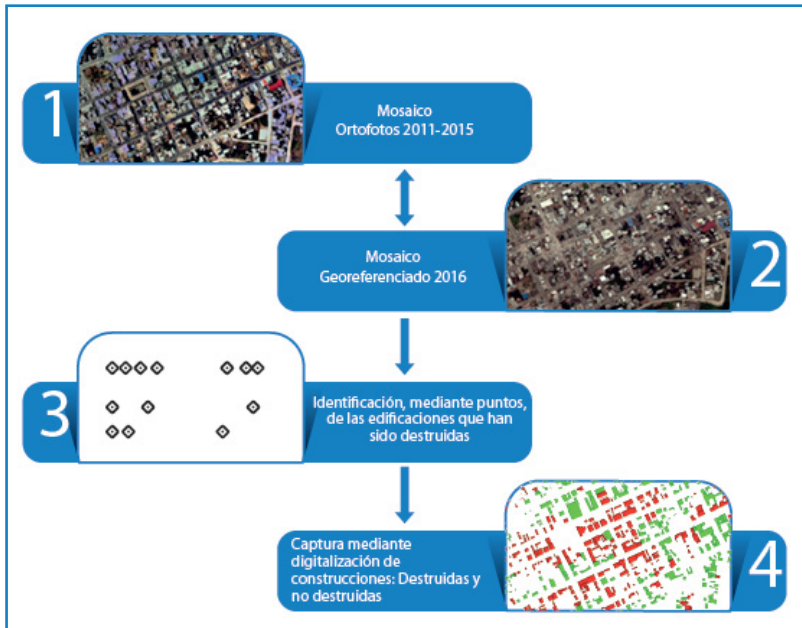


Figura 3. Metodología para la elaboración del Atlas de la Estimación provisional de edificaciones destruidas y afectadas.

Estudios geográficos: IGM Ecuador, 2016.

Esta metodología pudo ser aplicada, ante la alta resolución de las fotografías lo que permitía distinguir el estado de las edificaciones. El criterio aplicado estuvo en función de la forma y estado de la cubierta de cada edificación, visualizada en la ortofoto posterior al evento, comparando con la de los años 2011-2015, como se observa en la Figura 4.



Figura 4. Comparación de edificaciones existentes y destruidas (antes y después del sismo).
Estudio cartográfico: IGM Ecuador, 2016.

Resultados

Con la información obtenida y aplicando la metodología mencionada, se generaron tres mapas de las zonas urbanas y poblados priorizados:

- Mapa "Construcciones destruidas y afectadas en el área consolidada"
- Mapa "Construcciones destruidas y afectadas con respecto al total de edificaciones"
- Mapa "Porcentaje de población con probabilidad de afectación con respecto a la población total"

Se realizaron atlas de los sectores de: Portoviejo, Manta, Pedernales, Muisne, Jaramijó, Montecristi, Chone, Canoa, Jama, San Vicente, Bahía de Caráquez, Calceta, El Carmen, El Matal, Rocafuerte, San Isidro, San José de Chamanga, Flavio Alfaro, Cojimíes y Tosagua, como se observa en la Figura 5. Se generaron adicionalmente cuadros resúmenes estadísticos de las edificaciones destruidas y afectadas, como se muestra en la Tabla 2 y Tabla 3.



Figura 5. *Atlas generados: Estimación provisional de Edificaciones destruidas y afectadas SISMO 16- Abril. Estudios Geográficos: IGM Ecuador, 2016.*

Tabla 2
Estimación provisional de edificaciones destruidas y afectadas

Población	Núm. de edificaciones destruidas y afectadas	Porcentaje del total
Pedernales	597 (sólo destruidas)	9.96%
Muisne	218 (sólo destruidas)	11.14%
Manta	6,391	7.74%
Bahía de Caráquez	3,277	34.56%
San Vicente	388	8.57%
Chone	1,622	9.75%
Portoviejo	2,897	3.71%
Jama	1,226	45.54%
Jaramijó	1,274	19.16%
Montecristi	1,480	6.39%

Continuación de Tabla 2

Población	Núm. de edificaciones destruidas y afectadas	Porcentaje del total
Canoa	294	43.43%
San José de Chamanga	674	73.26%
El Matal	620	82.67%
San Isidro	701	41.80%
Calceta	725	9.32%
Flavio Alfaro	299	9.66%
Rocafuerte	846	16.59%
Tosagua	403	7.57%
El Carmen	1,206	5.88%

Fuente: Resumen estadístico: actuación del Instituto Geográfico Militar en el Sismo del 16 de abril 2016.

Tabla 3
Estimación población probable afectada

Población	Población probable afectada	Porcentaje del total
Pedernales	2,466	7.33%
Muisne	1,190	13.40%
Manta	26,163	11.83%
Bahía de Caráquez	10,652	40.79%
San Vicente	1,390	9.18%
Chone	6,844	9.14%
Portoviejo	8,851	3.97%
Jama	4,818	20.72%
Jaramijó	6,501	35.17%
Montecristi	4,324	6.37%
Canoa	1,513	21.97%
San José de Chamanga	1,817	42.71%
El Matal	922	70.65%
San Isidro	1,322	12.03%
Calceta	2,496	7.47%
Flavio Alfaro	965	5.21%
Rocafuerte	2,744	8.20%
Tosagua	1,321	4.69%
El Carmen	1,250	1.61%

Fuente: Resumen Estadístico: Actuación del Instituto Geográfico Militar en el Sismo del 16 de abril 2016.

*Propuesta de Áreas para viviendas provisionales. Sismo del 16 de abril de 2016.
Información propuesta a verificar en Campo*

Insumos: Cada zona urbana o poblado tuvieron insumos diferentes, dependiendo la disponibilidad y acceso a la información, pero en términos generales, se utilizaron las siguientes fuentes:

- IGM. Mosaico fotográfico georeferenciado a escala 1: 5 000, con las fechas de toma de acuerdo a la Tabla 1
- IGM. Modelo Digital del Terreno disponible
- INEC, área amanzanada, 2014
- MAE-MAGAP, Mapa de Uso del Suelo, 2014
- Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), Mapa de Multiamenazas, 2014
- Ministerio de Inclusión Económica y Social (MIES), Información de viviendas y habitantes afectados
- Planes de ordenamiento territorial de los Municipios disponibles
- Ministerio del Ambiente (MAE), Sistema Nacional de Áreas Protegidas, 2014
- Normativa vigente
- Consideraciones mínimas funcionales para la construcción de viviendas provisionales

Metodología: Se utilizó una metodología de análisis multicriterio, en el cual se consideró todas las variables geográficas recopiladas en los insumos cartográficos, realizándose el siguiente procedimiento:

1. Obtención de Requerimientos como número de damnificados, zonas óptimas en función de variables geográficas y lugares cercanos a la zona urbana o consolidada
2. Recopilación de la Normativa vigente
3. Consideraciones mínimas para la construcción de viviendas provisionales
4. Recopilación de Información Geográfica; en la cual se considera la siguiente información y criterios:
 - Mosaico fotográfico georeferenciado a escala 1:5 000, permite una visualización general del área de estudio y la determinación de áreas posibles para albergues
 - El Modelo Digital del Terreno permite la generación de un mapa dependientes. Se consideran sectores con una inclinación del terreno menor al 10%
 - El Mapa de Multiamenazas sirvió para excluir aquellos sectores con amenazas de movimientos en masa e inundaciones
 - El Área amanzanada del INEC, la cual se integró con la información del Ministerio de Inclusión Económica y Social
 - El Mapa de Uso del Suelo permite determinar zonas posibles de expansión urbana

- Los planes de ordenamiento territorial de los Municipios, permiten obtener información de aquellos sectores en los cuáles por sus características son factibles y se encuentran planificados para expansión urbana
 - Consideraciones y parámetros técnicos aplicados para la implementación de un albergue, en función del número de damnificados
5. Análisis Espacial:
- Para el cálculo aproximado de área en hectáreas requeridas, con las siguientes consideraciones mínimas:
 - Área mínima para vivienda por persona
 - Área para seguridad (UPC), salud
 - Equipamiento comunal (bodegas, comedor, cocina)
 - 10% del área para recreación
 - 25% del área para viabilidad interna
 - Cada zona urbana o poblado tuvieron sus especificidades, de acuerdo a la información disponible, pero en términos generales para la determinación de la ubicación de los sitios posibles de las áreas provisionales de vivienda, se utilizaron las siguientes variables:
 - Uso de suelo actual: zonas de expansión urbana
 - Se excluyen las zonas que tengan susceptibilidad existente por movimiento en masa e inundaciones
 - Topografía y accidentes geográficos: Plana o casi plana (pendiente menor al 10%)
 - Tamaño y forma: formas regulares (cuadrado o rectángulo)
 - Uso de suelo general: suelos residenciales, pastos
 - Áreas protegidas: se excluyen del análisis las áreas protegidas
 - Vialidad externa: cercanas a la zona urbana
 - Servicios básicos: se consideran lugares donde se puedan implementar de manera rápida
 - Equipamiento comunitario (bodega, comedor, cocina): Se incluye un espacio determinado para implementar un puesto de salud provisional
 - UPC: se establece un espacio para implementar un UPC.

Resultados

Del análisis espacial realizado, se determinaron de una a cuatro alternativas de posibles opciones para la implementación de viviendas provisionales en las diferentes áreas de estudio, como se puede ver un ejemplo de Muisne en la Figura 6. Encontrar áreas o sectores que cumplan con todos los requisitos y variables consideradas, conllevó un trabajo duro y arduo; por lo que, después fue validado con un trabajo y verificación en campo por parte del Cuerpo de Ingenieros del Ejército (CEE), como se muestra en la Tabla 4. Se realizaron estudios de los sectores de: Portoviejo, Manta, Pedernales, Muisne, Jaramijó, Montecristi, Chone, Canoa, Jama, San Vicente, Bahía de Caráquez, Calceta, El

Carmen, El Matal, Rocafuerte, San Isidro, San José de Chamanga, Flavio Alfaro, Cojimíes y Tosagua.



Figura 6. Implantación de Viviendas provisionales en Muisne, sobre la ortofoto y el plano. Estudios Geográficos, IGM Ecuador, 2016.

Tabla 4
Propuestas de áreas para viviendas provisionales

Población	No opciones IGM	Opciones factibles validadas por el CEE
Pedernales	3	2
Muisne	3	Reubicación, por decisión política
Manta	4	3
Bahía de Caráquez	3	Por verificación en campo
Chone	3	1
Portoviejo	3	2
Jama	1	1
Jaramijó	3	2
Montecristi	3	2
Canoa	3	2
San Vicente	3	1
Portoviejo	3	2

Fuente: Resumen estadístico: Actuación del Instituto Geográfico Militar en el Sismo 16 de abril 2016.

Geoportal institucional

Toda la geoinformación generada por el Instituto, tanto en impreso como en digital, fue entregada y subida oportunamente al geoportal institucional <www.geoportaligm.gob.ec>.

Tabla 5
Descarga de Geoinformación a través del Geoportal Institucional

	Rango de tiempo	Núm. de descargas
Total Descargas Cartografía Básica	17/04/16 -16/05/16	4,183
Total Descargas Cartografía Temática	17/04/16 -16/05/16	2,168
Total Descargas Imágenes antes del sismo	17/04/16 -16/05/16	5,224
Total Descargas Imágenes antes del sismo	17/04/16 -16/05/16	2,589
TOTAL		14,164
Total Descargas Cartografía Básica	17/05/16 -16/06/16	783
Total Descargas Cartografía Temática	17/05/16 -16/06/16	707
Total Descargas Imágenes antes del sismo	17/05/16 -16/06/16	195
Total Descargas Imágenes antes del sismo	17/05/16 -16/06/16	154
TOTAL		1,839
Total Descargas Cartografía Básica	17/06/16 -16/07/16	4,554
Total Descargas Cartografía Temática	17/06/16 -16/07/16	4,216
Total Descargas Imágenes antes del sismo	17/06/16 -16/07/16	3,803
Total Descargas Imágenes antes del sismo	17/06/16 -16/07/16	6,915
TOTAL		19,488
		TOTAL DESCARGAS: 35,491

Fuente: Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), IGM Ecuador, 2016.

La geoinformación generada y puesta en el visualizador del geoportal institucional, sirvió de base por los organismos competentes para la generación del Registro Único de Damnificados (RUD).

Visor Geográfico

Todo el trabajo y esfuerzo desplegado por el Instituto, con respecto a la generación de cartografía y estudios geográficos de pronta respuesta, se encuentran disponibles a través de un Visor Geográfico del Terremoto, el cual es una herramienta de exploración, visualización y análisis de la información levantada por el Instituto Geográfico Militar en atención a la Emergencia por el Terremoto del 16 de abril con epicentro en Pedernales.

En el visor se encontrará información geográfica preevento y posevento como son cartografía básica, ortofotos, cartografía temática, DTM, estudios temáticos de construcciones destruidas y afectadas, que podrán ser visualizadas en línea para garantizar el máximo acceso a la misma, con el principal objetivo de apoyar a la mitigación y reconstrucción de las zonas y personas afectadas.



Figura 7. Imágenes del Visor Geográfico. Fuente: Infraestructura de Datos Espaciales (IDE). IGM Ecuador, 2016, <http://www.geoportaligm.gob.ec/visor_terremoto>.

Bibliografía

- Ley De Cartografía Nacional. Decreto Supremo 2686-B, Registro Oficial 643 de 4 de agosto de 1978. Art. 1
- Reglamento a la Ley de Cartografía Nacional*, Decreto Ejecutivo 2913, Registro Oficial 828 de 9 de diciembre de 1991. Art. 1
- Estudios Geográficos*, 2016. "Propuesta de Áreas para viviendas provisionales. Sismo 16/04/16. Información propuesta a verificar en Campo", IGM Ecuador.
- Estudios Geográficos*, 2016. *Atlas: Estimación provisional de Edificaciones estruidas y afectadas SISMO 16-Abril. Información para verificación en Campo*, IGM Ecuador
- Resumen Estadístico: *Actuación del Instituto Geográfico Militar en el Sismo 16-04-2016*.