

# Modelo de sectorización a través de fotogrametría con drones, para asignación de grupos USAR en caso de desastre por sismo en el Centro Histórico de Quito

*Sectorization model through photogrammetry with drones, for assignment of USAR groups in case of earthquake disaster in the Historic Center of Quito*

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7629638>

**AUTORES:** Henry Silva Méndez<sup>1\*</sup>

Pablo Melo Coy<sup>2</sup>

Abelardo Paucar Camacho<sup>3</sup>

**DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA:** [henry.silva@ueb.edu.ec](mailto:henry.silva@ueb.edu.ec)

**Fecha de recepción:** 26 / 06 / 2022

**Fecha de aceptación:** 11 / 09 / 2022

## RESUMEN

Los sismos son fenómenos geológicos y naturales producidos por la liberación de energía acumulada en la Tierra. El Ecuador se encuentra expuesto a sismos relacionados con actividad volcánica, sismos ocurridos cerca de la superficie costera y los sismos superficiales de la región interandina identificados como los más destructivos y que generalmente han afectado a la ciudad de Quito. Uno de los sitios más emblemáticos de la ciudad, es el centro histórico de Quito, el cual tiene gran relevancia cultural e histórica reconocida por la UNESCO (1978), no obstante, es uno de los sitios con más riesgos de afectaciones en caso

---

<sup>1\*</sup>Universidad Estatal de Bolívar (Maestría en Prevención y Gestión de Riesgos), [henry.silva@ueb.edu.ec](mailto:henry.silva@ueb.edu.ec), [hsilva@bomberosquito.gob.ec](mailto:hsilva@bomberosquito.gob.ec)

<sup>2</sup>Universidad Estatal de Bolívar (Maestría en Prevención y Gestión de Riesgos), [pmelo@ueb.edu.ec](mailto:pmelo@ueb.edu.ec)

<sup>3</sup>Universidad Estatal de Bolívar (Maestría en Prevención y Gestión de Riesgos e Ingeniería en Riesgos de Desastres), [apaucar@ueb.edu.ec](mailto:apaucar@ueb.edu.ec)

de sismos, puesto que alberga un conjunto arquitectónico de diferentes épocas que a través de la historia han sido intervenidos por daños estructurales. La recopilación de datos e información precisa sobre los daños ocasionados por este tipo de eventos es fundamental, debido a que una respuesta rápida por parte de los organismos de socorro, puede ayudar a reducir el número de víctimas y mitigar el impacto social y económico. Sin embargo, en el país la recopilación de datos ha sido difícil, debido a la falta de acciones coordinadas, movilización por terrenos difíciles, condiciones climáticas extremas, que imposibilitan realizar el levantamiento de información. Es por ello, que el objetivo del presente documento fue realizar modelos de sectorización basados en fotogrametría con drones; y asignar grupos USAR de acuerdo al nivel respuesta (pesado, mediano y liviano) con el fin de dar una respuesta rápida ante este tipo de fenómenos que pudieran afectar a esta zona. El modelo de sectorización se realizó en base a un evento de sismo simulado el 22 de agosto de 2022 a las 10h00, cuya magnitud fue 7,2 en escala de Richter. Se simuló el modelo de sectorización con dron y con personal de rescate en cuatro puntos del Centro Histórico de Quito (Palacio de Carondelet, Colegio San Pedro Pascual, Iglesia San Francisco de Quito y Centro de Salud N° 1), obteniendo como resultado que el modelo de sectorización con Dron fue realizado en 4 horas 40 minutos, mientras que con el personal de rescate 7 horas 22 minutos, determinando así que el proceso de sectorización con dron a diferencia del procedimiento convencional mejora la eficiencia en términos de tiempo y facilita a los equipos de atención de desastres una evaluación de daños más precisa. Además de optimizar recursos para la evaluación y levantamiento de la información.

**Palabras clave:** *drones, sectorización, fotogrametría, USAR, sismos.*

## **ABSTRACT**

Earthquakes are geological and natural phenomena produced by the release of energy accumulated in the Earth. Ecuador is exposed to earthquakes related to volcanic activity, earthquakes that occur near the coastal surface and surface earthquakes in the inter-Andean region identified as the most destructive and that have generally affected the city of Quito. One of the most emblematic sites of the city is the historic center of Quito, which has great cultural and historical relevance recognized by UNESCO (1978), however, it is one of the sites with the highest risk of damage in case of earthquakes. , since it houses an architectural

complex from different periods that have been intervened through history due to structural damage. The collection of data and accurate information on the damage caused by this type of event is essential, because a rapid response by relief agencies can help reduce the number of victims and mitigate the social and economic impact. However, data collection in the country has been difficult, due to the lack of coordinated actions, mobilization through difficult terrain, and extreme weather conditions, which make it impossible to collect information. That is why the objective of this document was to make sectorization models based on photogrammetry with drones; and assign USAR groups according to the response level (heavy, medium and light) in order to provide a rapid response to earthquakes that could affect this area. The sectorization model was made based on a simulated earthquake event on August 22, 2022 at 10:00 a.m., whose magnitude was 7.2 on the Richter scale. The sectorization model was simulated with a drone and rescue personnel at four points in the Historic Center of Quito (Carondelet Palace, San Pedro Pascual School, San Francisco de Quito Church and Health Center No. 1), obtaining as a result that the Sectorization model with Drone was carried out in 4 hours 40 minutes, while with rescue personnel 7 hours 22 minutes, thus determining that the process of sectorization with drone, unlike the conventional procedure, improves efficiency in terms of time and makes it easier for disaster response teams a more accurate damage assessment. In addition to optimizing resources for the evaluation and collection of information.

**Keywords:** *drones, sectorization, photogrammetry, USAR, earthquakes.*

## INTRODUCCIÓN

Los sismos son fenómenos geológicos y naturales producidos por la liberación de energía acumulada en la Tierra; Los efectos que producen en el medio ambiente, edificaciones y en las personas están relacionados con la intensidad del suceso.

El Ecuador se encuentra expuesto a sismos relacionados con actividad volcánica, sismos de subducción ocurridos generalmente cerca de la superficie costera y los sismos superficiales de la región interandina identificados como los más destructivos y que generalmente han afectado a la ciudad de Quito (Naya, 2010).

A lo largo de los años se han registrado 14 eventos históricos en el país cuya magnitud ha sido superior a 6,0 grados, 9 eventos con magnitud superior a 7,0 grados y 2 eventos registrados con magnitud superior a 8,0 grados (Banco Internacional de Desarrollo, 2020).

En la región interandina ha ocurrido gran número de sismos, de los cuales la ciudad más afectada ha sido Quito, ya que a través de ella cruza una falla geológica, producto de un conjunto de colinas alineadas de baja altura que empieza en Tambillo y continúan su camino hacia las lomas de Puengasí, Lumbisí, El Batán, La Bota, Bellavista y Catequilla en la Mitad del Mundo con 60 km de longitud aproximada.

En la ciudad capital se han registrado eventos sísmicos con magnitud superior a 4 grados en escala de Richter y se estima una magnitud máxima entre 6,9 y 7,1 grados (López, 2017). Dichos eventos pueden ocasionar pérdidas humanas, impactos en sistemas urbanos y zonas residenciales, además de provocar alteraciones en el funcionamiento de la estructura urbana, como colapsamiento de la accesibilidad y conectividad a diferentes áreas de la ciudad, que imposibilitarían el desarrollo normal de la urbe (Cando, Martínez, & Valdés, 2020).

Uno de los sitios más emblemáticos de la ciudad, es el centro Histórico de Quito, el cual tiene gran relevancia cultural e histórica reconocida por la UNESCO (1978), no obstante, es uno de los sitios con más riesgos de afectaciones en caso de sismos, puesto que alberga un conjunto arquitectónico de diferentes épocas que a través de la historia han sido intervenidos. Entre ellos, se ha remodelado arquitectura monumental religiosa como la iglesia El Sagrario, la Capilla del Robo, entre otras; y construcciones de carácter civil que han sido intervenidas para rehabilitar sus elementos estructurales y arquitectónicos (Lara, 2015).

La recopilación de datos e información precisa sobre los daños ocasionados por este tipo de eventos es fundamental, debido a que una respuesta rápida por parte de los organismos de socorro, puede ayudar a reducir el número de víctimas y mitigar el impacto social y económico. Sin embargo, en el país la recopilación de datos ha sido difícil, debido a la falta de acciones coordinadas, movilización por terrenos difíciles, condiciones climáticas extremas, que imposibilitan realizar el levantamiento de información. (Syed, y otros, 2022) Independientemente de la magnitud de este tipo de desastre o emergencias que se suscitan, debe existir una correcta gestión del desastre (mitigación, preparación, respuesta y recuperación). Es por ello, que se está priorizando el uso aeronaves no tripuladas (drones), debido a que estos equipos tecnológicos tienen ventajas relacionadas con asequibilidad,

flexibilidad de despliegue por terrenos difíciles, y captura de datos de resolución espacial, que permite evaluar las condiciones del sitio y realizar una respuesta inmediata. (Kucharczyk & Hugenholtz, 2021)

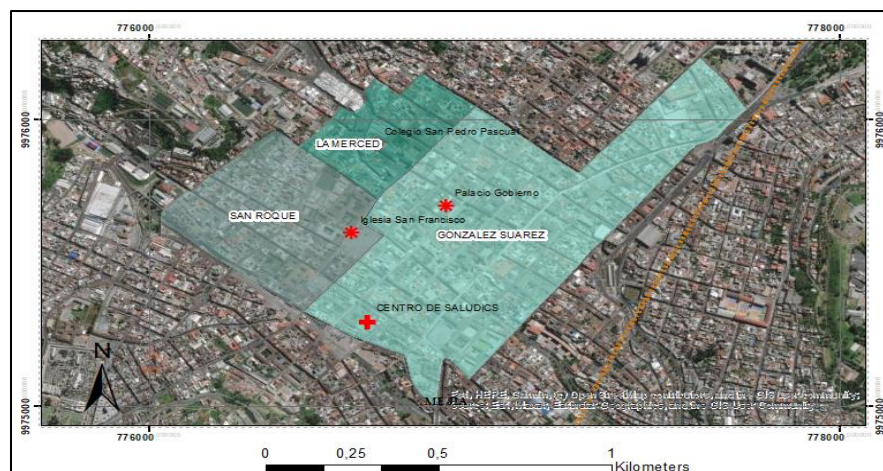
Es por eso, que luego de analizar los antecedentes de sismos que preceden al Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), identificar que las estructuras residenciales del centro histórico del DMQ son vulnerables ante este tipo de eventos debido al deterioro propio de sus materiales constitutivos y la falta de una filosofía sismo resistente en sus diseños, y analizar las situaciones difíciles por las que atraviesan los equipos de búsqueda y rescate, es importante realizar un modelo de sectorización a través de fotogrametría con drones, para asignación de grupos USAR en caso de desastre por sismo, que permitan identificar rápidamente estructuras colapsadas e intervenir de manera inmediata en las zonas afectadas y de esta manera disminuir pérdidas materiales y humanas.

## METODOLOGÍA

### Sitio de Estudio

El área de estudio comprendió cuatro puntos específicos del Centro Histórico de Quito; las estructuras se identificaron en base a su funcionalidad, entre ellas: El Palacio de Gobierno, La Iglesia San Francisco, Colegio San Pedro Pascual y el Centro de Salud N° 1.

#### Ilustración 1. Mapa base Delimitación del área de estudio



**Solicitud de permisos**

Previo al vuelo se realizó una solicitud a la Dirección General de Aviación Civil, especificando los datos de las aeronaves no tripuladas a utilizarse, el objetivo de este levantamiento y las fechas y horas en las que se realizó el vuelo.

Una vez obtenidas todas las autorizaciones se dio cumplimiento a la planificación del levantamiento.

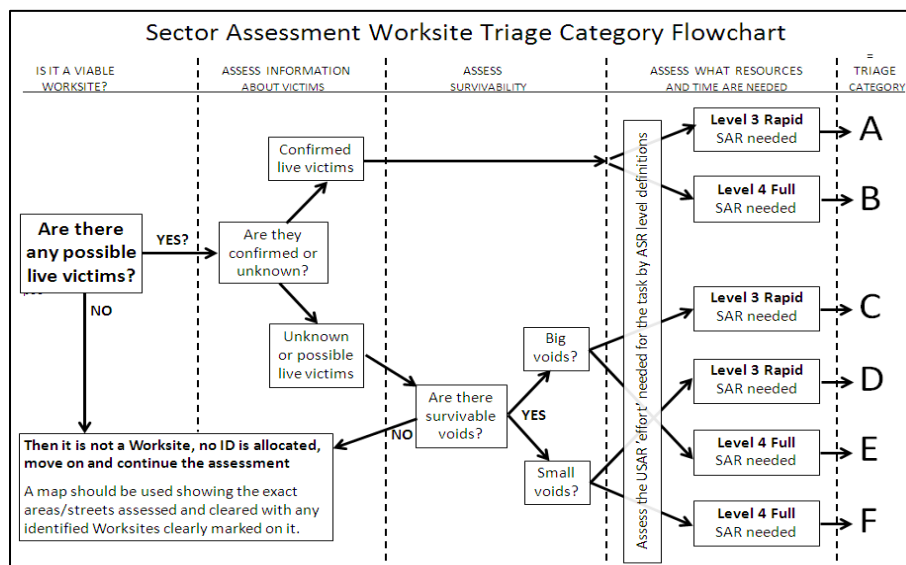
**Caso de Estudio**

El modelo de sectorización a través de fotogrametría con drones, para asignación de grupos USAR en caso de desastre por sismo, se realizó en base a un evento de sismo simulado el 23 de agosto de 2022 a las 10h00, cuya magnitud fue 7,2 en escala de Richter.

El triage para levantar la información de daños evaluados en el sitio afectado, se realizó en base a los parámetros definidos en las guías INSARAG.

Para categorizar los daños se tomó en cuenta las consideraciones establecidas en el árbol de triage que se presenta a continuación:

**Ilustración 2. Diagrama de flujo de la categoría de evaluación del triage en el sitio de trabajo**



Fuente: (INSARAG, 2022)

## **Trabajo de campo realizado a través de la aplicación de Dron**

### **Parámetros pre vuelo**

Antes de iniciar con el plan de vuelo se realizó un vuelo de inspección; para esto se realizó la recopilación de los siguientes datos:

- Recopilación de datos meteorológicos (vientos, ráfagas, temperatura, humedad relativa, índice de radiación solar).
- Comunicación con la torre de Control de Bomberos Quito para entrega de datos del inicio del plan de vuelo, así como tener conocimiento del tráfico aéreo por el sector.
- Inicio de vuelo y calibración de los balances de blancos e iluminación para obtener imágenes de alta calidad.
- Verificación de interferencias electromagnéticas, pérdida de geo posicionamiento GPS.
- Culminación de vuelo.

### **Inicio de Vuelo programado**

- Se despegó la Aeronave pilotada a distancia (RPA) y se dirigió hasta el punto de inicio del vuelo programado. Se cargó datos del vuelo y se dio inicio al mismo.
- Se mantuvo constante monitoreo y observación con el RPA, para esto se utilizó binoculares y el piloto permaneció al pendiente de los parámetros mostrados en la pantalla del control remoto.

### **Definición e identificación del área de levantamiento**

Previamente al levantamiento de la información se definió los siguientes parámetros:

- Ubicación del área de trabajo.
- Delimitación del perímetro del área de trabajo.
- Ubicación de zonas prohibidas, zonas restringidas, zonas intangibles y zonas de seguridad del estado determinadas por la ley.

### Inspección del área del levantamiento

La inspección del área de levantamiento se realizó en base a una salida de campo para verificar altura de edificaciones, riesgos para las aeronaves no tripuladas y topografía del lugar.

Además, se realizó el levantamiento de puntos de georreferenciación para generar un polígono de trabajo.

### Georreferenciación y realización del Plan de vuelo

Una vez obtenido el polígono se realizó la georreferenciación en el programa Google Earth, se generó un archivo “.kml” mismo que se importó al control remoto de la aeronave no tripulada.

#### Ilustración 3. Polígono de georreferenciación



*Fuente: Google Earth, 2022*

En el control remoto del Dron se procedió a abrir la aplicación DJI Pilot y en la opción Mission Flight se seleccionó la opción Mapping.y se importó el .kml que se generó en el paso anterior.

Posterior a esto, en base a la topografía del terreno y las edificaciones más altas se generó los parámetros para el vuelo, tipo de aeronave multirrotor, velocidad, traslape frontal y lateral, altura de vuelo, intervalo de tiempo entre tomas fotográficas, puntos de despegue,



puntos de retorno, tipo de levantamiento, ángulo de los vuelos que se realizó, tiempo de vuelo total que se tomó en el levantamiento.

**Tabla 1. Parámetros de vuelo**

Parámetros	Valores
<i>Tipo de RPA</i>	DJI mavic pro Platinum
<i>Altura de vuelo</i>	120 m
<i>Traslape frontal</i>	80%
<i>Traslape lateral</i>	80%

*Elaborado por: Autor*

En base a los parámetros anteriores se realizó una segmentación del área de trabajo en la aplicación y se generó los sectores necesarios para abarcar el 100% del área de estudio. Este plan de vuelo se inició en la “Plaza del Teatro” y se realizó en forma de un patrón en paralelo como se muestra a continuación:

**Ilustración 4. Patrón de vuelo**



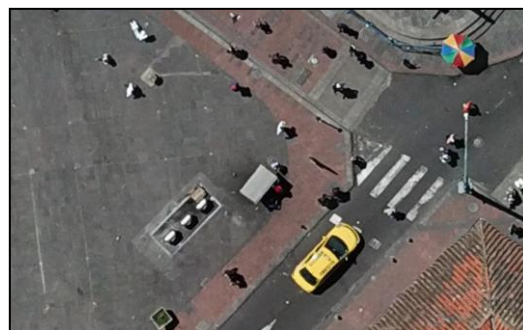
*Fuente: DJI mavic pro Platinum*

### Procesamiento de la información

Una vez obtenidas las imágenes con ayuda del RPA, estas fueron exportadas a una computadora de capacidad de procesamiento gráfico alto.

- Para el procesamiento se utilizó el programa “Agisoft Metashape”.
- Una vez importadas la totalidad de las imágenes levantadas en el vuelo programado, se procedió a dar inicio al flujo de procesamiento.
- Una vez generado el ortomosaico fue exportado como un archivo .TIFF., en este caso el procesamiento Centro Histórico procesado en calidad media pesa 180 mb.

### Ilustración 5. Ortomosaico Centro Histórico Ilustración 6. Resolución máxima del tiff



### Trabajo de campo realizado utilizando personal de rescate (Oficiales de Bomberos)

#### Definición e identificación del área de levantamiento

Previamente al levantamiento de la información se definió los siguientes parámetros:

- Puntos prioritarios de levantamiento de información
- Ubicación del área y perímetro de trabajo.

#### Designación del Personal de Rescate

Una vez iniciada la simulación se designó cuatro oficiales de bomberos que partirían desde la Plaza de Teatro hacia los cuatro puntos de estudio designados (Plaza San Francisco, Colegio San Pedro Pascual, Palacio de Gobierno, Centro de Salud N° 1).

Los tiempos de desplazamiento fueron cronometrados con la finalidad de evaluar el tiempo de respuesta a la emergencia.

### **Evaluación del área y perímetro de estructuras**

Una vez que el personal de rescate se desplazó hacia los puntos estratégicos, se realizó la evaluación pertinente de las estructuras afectadas y sus perímetros, considerando los parámetros de Triage de las guías INSARGAG para el levantamiento de la información.

**Ilustración 7. Centro de Salud N° 1**



**Ilustración 8. Iglesia San Francisco**



### **Retorno a la sala de emergencia**

Una vez realizada la evaluación y el levantamiento de la información de las estructuras, el personal de rescate procedió a regresar al punto inicial en donde se encontraba instalada la Sala de emergencias del Cuerpo de Bomberos, para realizar la entrega de las guías correspondiente y procesar la información obtenida.

### **Procesamiento de la Información**

Toda la información obtenida en campo fue entregada a las autoridades, quienes con la ayuda de Google Earth procederían a realizar la sectorización correspondiente, considerando los daños estructurales de las edificaciones evaluadas.

### **Asignación de Grupos USAR**

Urban Search and Rescue (USAR), es un grupo de personas certificadas que realizan acciones de localización, extracción y estabilización inicial a personas atrapadas debajo de

escombros en un espacio confinado, como resultado de un colapso estructural repentino de gran escala producto de desastres naturales, accidentes, acciones deliberadas o derrumbes (INSARAG, 2022).

La asignación de los grupos USAR se realizó en base a las categorías de los equipos y al nivel de evaluación de búsqueda y rescate (INSARAG, 2022).

**Categorías de equipos USAR:** Los equipos se clasifican de acuerdo con su capacidad de ofrecer los componentes clave de USAR. Los componentes son: administración, búsqueda, rescate, asistencia médica y logística.

Los equipos están clasificados de acuerdo a las siguientes categorías:

- **Equipos USAR livianos:** Son aquellos con capacidades básicas operativas en términos de competencias de rescate, conocimiento y equipo. No obstante, pueden ayudar con búsqueda y rescate superficial de víctimas luego de un desastre imprevisto con colapso estructural.
- **Equipos USAR medianos:** Estos equipos cumplen con los componentes mencionados con anterioridad y tienen la capacidad de realizar operaciones de búsqueda y rescate complejas, incluyendo estructuras reforzadas y realizar acciones de apuntalamiento y levantamiento. Estos equipos tienen capacidad operativa de trabajo en un solo sitio.
- **Equipos USAR pesados:** Estos equipos cumplen con los parámetros anteriores y además, tienen la capacidad de realizar operaciones de búsqueda y rescate complejas, incluyendo estructuras reforzadas y realizar acciones de apuntalamiento y levantamiento. Estos equipos tienen capacidad operativa de trabajo en dos sitios simultáneamente. Se espera que el segundo sitio el equipo USAR reasigne personal y equipo a otra locación, generalmente esta asignación tiene una duración de más de 24 horas.

**Nivel de evaluación de búsqueda y rescate:** Existen cinco niveles de evaluación de búsqueda y rescate, mismos que se mencionarán a continuación:

- **ASR1:** Este nivel permite realizar una evaluación inicial de la zona afecta, con el propósito de: determinar el alcance y la magnitud del incidente, identificar el alcance, la ubicación y los tipos de daños, estimar las necesidades de recursos urgentes, desarrollar un plan de sectorización, establecer prioridades, identificar los riesgos generales, identificar los problemas de infraestructura e identificar posibles lugares para la Base de Operaciones (BoO).

Esto nos permitirá obtener: sesión inicial para el OSOCC/UCC y autoridades, plan de sectorización., ubicación(es) para BoO, prioridades y plan de implementación inicial (¿Dónde o a qué sectores se envían los primeros equipos?), solicitudes de recursos y mensajes en el OSOCC virtual.

- **ASR2:** Este nivel permite identificar sitios específicos y viables para el rescate de personas dentro del sector asignado, a fin de permitir la prioridad de asignación y crear un plan de acción, tiene que ser una evaluación rápida pero metódica y la información de las poblaciones locales y los encargados de respuesta locales es a menudo valiosa, y debe pedirse durante la evaluación.

Esta información permitirá obtener: formularios completos de clasificación del área de trabajo que identifiquen a los equipos de los lugares donde se necesitan, un área de trabajo completo, un mapa del sector que muestra el área en evaluación, desarrollo del plan sectorial de acción y prioridades de OSOCC/UCC, asignación de los equipos USAR para cada área de trabajo.

- **ASR3:** Este nivel por lo general, se aplica en las primeras etapas de un desastre a gran escala, cuando solo están disponibles un número relativamente pequeño de equipos. Los equipos son asignados a una o varias áreas de trabajo (por lo general identificadas en la evaluación del sector del nivel 2).

Se necesita de un avance bastante rápido que asegure la búsqueda total y rápida de las estructuras asignadas para maximizar las oportunidades de rescate.

Hay un compromiso relativamente simple con cada lugar:

- Uso de técnicas de búsqueda físicas, caninas o técnicas.
- Operaciones de rescate mediante la remoción de escombros y apuntalamiento limitado, rupturas y brechas, etc. o Penetración limitada en estructura/escombros.

Esta información permite obtener: informes completos del área de trabajo, marcado de las áreas de trabajo, formularios completos de liberación de víctimas.

- **ASR4:** Éste es el trabajo de búsqueda y rescate encargado de identificar, localizar y rescatar al pequeño número de sobrevivientes profundamente atrapados o sepultados que los rescatistas locales, los primeros actores de respuesta, los recursos LEMA operaciones del nivel ASR 3 no pudieron realizar. Se suele estar en una sola área de trabajo o en un número reducido de áreas de trabajo (equipos pesados).

Los equipos penetrarán la mayoría o todos los lugares posibles de supervivencia. Estas operaciones suelen ser de largo plazo (más de un período operativo) y requieren una amplia gama de habilidades USAR, por ejemplo:

- Todas las técnicas de búsqueda y todos los equipos posibles, a menudo, se logran el acceso por la repetición de la acción.
- Posible apuntalamiento extenso para asegurar la estructura o vías de acceso.
- Rupturas y perforación repetidas y profundas de los diferentes elementos de la estructura.
- Levantamiento y/o traslado de los elementos de grandes dimensiones ó pueden ocurrir algunas reducciones de las estructuras en este punto si se necesita acceso a un potencial rescate de personas identificado.
- Trabajo en espacios reducidos, a veces, en el interior de las estructuras.

Esta información permitirá obtener informes completos del área de trabajo, marcado de las áreas de trabajo y formularios completos de liberación de víctimas.

- **ASR5:** Consiste en las operaciones llevadas a cabo en un área de trabajo para recuperar a las víctimas fallecidas.

Generalmente, los equipos USAR internacionales no llevan a cabo este nivel. Comúnmente, se realiza después de la culminación de la etapa de rescate, y cuando el incidente se encuentre en la etapa de recuperación. Posiblemente, es aún parte de la etapa de rescate, si la autoridad de coordinación lo presume necesario.

Puede haber un hallazgo "milagro" de una víctima viva como resultado de la destrucción de la estructura.



Esta información permitirá obtener informes completos del área de trabajo, marcado de las áreas de trabajo y formularios completos de liberación de víctimas.

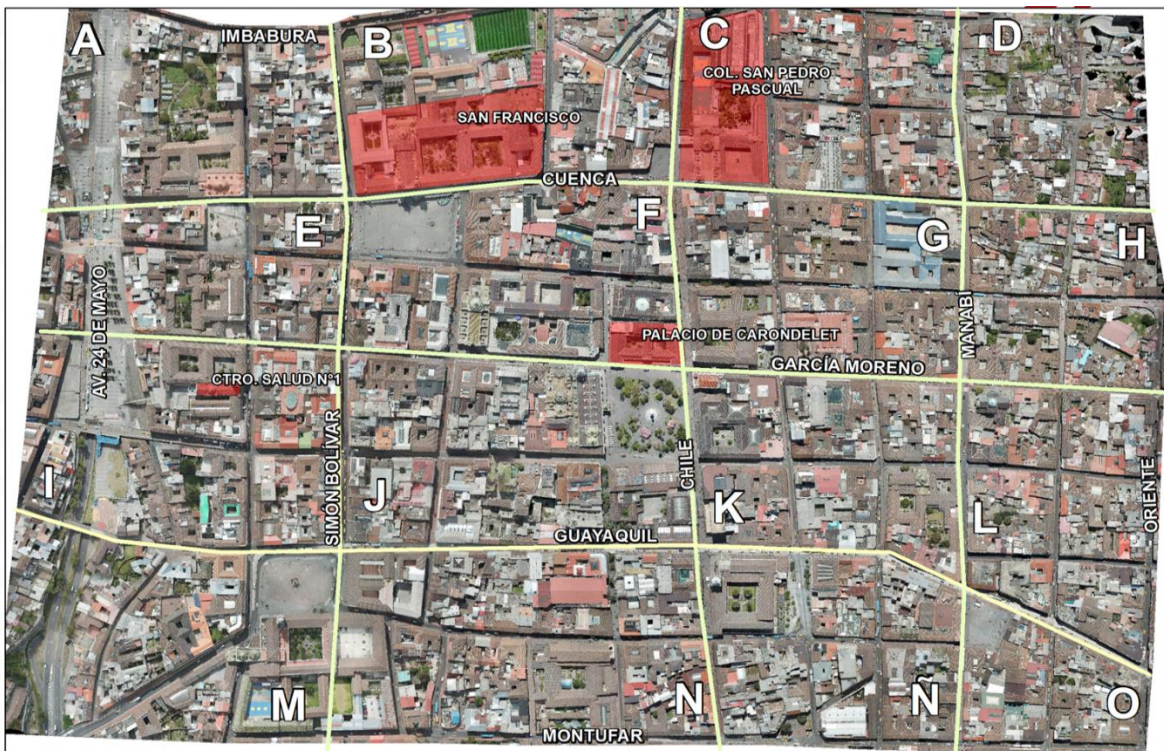
**RESULTADOS**

**Modelo de Sectorización realizada por Dron**

El área de interés tuvo una cobertura aproximada de 89.19 ha y estuvo comprendida desde la Av. 24 de mayo al sur de la ciudad, calle Oriente hacia el norte, calle Imbabura hacia el oeste y calle Montufar hacia el este.

Para la distribución de área de trabajo, se dividió en 16 cuadrantes nombrados en orden alfabético y se identificó infraestructura prioritaria, debido a la aglomeración de personas, las cuales fueron: Palacio Presidencial, Iglesia San Francisco, Colegio San Pedro Pascual y Centro de Salud N° 1.

**Ilustración 9. Modelo de Sectorización con Dron del Centro Histórico de Quito**



**Cuadrante A:** El cuadrante A, cubrió un área aproximada de 4,7 ha, la cual estuvo comprendida por las calles: Av. 24 de mayo, Imbabura, Cuenca y Simón Bolívar.

**Ilustración 10. Cuadrante A - Modelo de Sectorización**



**Cuadrante B:** El cuadrante B, cubrió un área aproximada de 6,8 ha, la cual estuvo comprendida por las calles: Simón Bolívar, Imbabura, Cuenca y Chile.

**Ilustración 11. Cuadrante B - Modelo de Sectorización**



La Iglesia de San Francisco y su convento fue parte de una de las infraestructuras prioritarias del simulacro realizado.

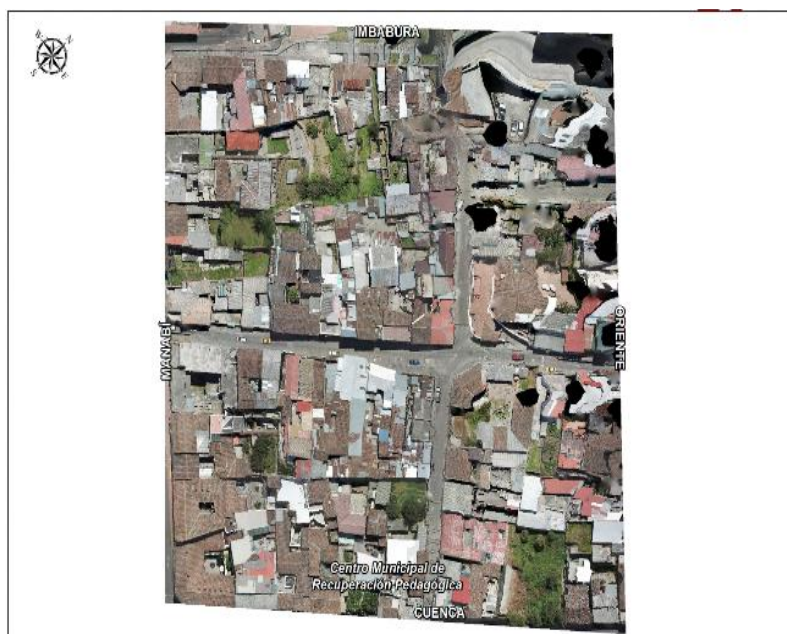
**Cuadrante C:** El cuadrante C, cubrió un área aproximada de 5,82 ha, la cual estuvo comprendida por las calles: Chile, Imbabura, Cuenca y Manabí.



**Ilustración 12. Cuadrante C - Modelo de Sectorización**

El Colegio San Pedro Pascual fue parte de otra de las infraestructuras prioritarias del simulacro realizado.

**Cuadrante D:** El cuadrante D, cubrió un área aproximada de 3,7 ha, la cual estuvo comprendida por las calles: Manabí, Imbabura, Cuenca y Oriente.

**Ilustración 13. Cuadrante D - Modelo de Sectorización**

**Cuadrante E:** El cuadrante E, cubrió un área aproximada de 3,96 ha, la cual estuvo comprendida por las calles: Av. 24 de mayo, Simón Bolívar, Cuenca y García Moreno.

**Ilustración 14. Cuadrante E - Modelo de Sectorización**



**Cuadrante F:** El cuadrante F, cubrió un área aproximada de 6,4 ha, la cual estuvo comprendida por las calles: Simón Bolívar, Chile, Cuenca y García Moreno.

**Ilustración 15. Cuadrante F - Modelo de Sectorización**



El Palacio de Carondelet fue parte de una de las infraestructuras prioritarias del simulacro realizado.

**Cuadrante G:** El cuadrante G, cubrió un área aproximada de 5,7 ha, la cual estuvo comprendida por las calles: Chile, Manabí, Cuenca y García Moreno.

**Ilustración 16. Cuadrante G - Modelo de Sectorización**



**Cuadrante H:** El cuadrante H, cubrió un área aproximada de 3,94 ha, la cual estuvo comprendida por las calles: Manabí, Oriente, Cuenca y García Moreno.

**Ilustración 17. Cuadrante H - Modelo de Sectorización**



**Cuadrante I:** El cuadrante I, cubrió un área aproximada de 5,98 ha, la cual estuvo comprendida por las calles: Av. 24 de mayo, Simón Bolívar, García Moreno y Guayaquil.



**Ilustración 18. Cuadrante I - Modelo de Sectorización**



El Centro de Salud N°1, es parte de una de las infraestructuras prioritarias del simulacro realizado.

**Cuadrante J:** El cuadrante J, cubrió un área aproximada de 7,40 ha, la cual estuvo comprendida por las calles: Simón Bolívar, Chile, García Moreno y Guayaquil.

**Ilustración 19. Cuadrante J - Modelo de Sectorización**



**Cuadrante K:** El cuadrante K, cubrió un área aproximada de 5,43 ha, la cual estuvo comprendida las calles: Chile, Manabí, García Moreno y Guayaquil.

**Ilustración 20. Cuadrante K - Modelo de Sectorización**



**Cuadrante L:** El cuadrante L, cubrió un área aproximada de 4,98 ha, la cual estuvo comprendida por las calles: Manabí, Oriente, García Moreno y Guayaquil.

**Ilustración 21. Cuadrante L - Modelo de Sectorización**



**Cuadrante M:** El cuadrante M, cubrió un área aproximada de 6,42 ha, la cual estuvo comprendida por las calles: Av. 24 de mayo, Simón Bolívar, Guayaquil, Montufar.

**Ilustración 22. Cuadrante M - Modelo de Sectorización**



**Cuadrante N:** El cuadrante N, cubrió un área aproximada de 7,55 ha, la cual estuvo comprendida por las calles: Simón Bolívar, Chile, Guayaquil y Montufar.

**Ilustración 23. Cuadrante N - Modelo de Sectorización**



**Cuadrante Ñ:** El cuadrante Ñ, cubrió un área aproximada de 5,10 ha, la cual estuvo comprendida por las calles: Chile, Manabí, Guayaquil y Montufar.

**Ilustración 24. Cuadrante Ñ - Modelo de Sectorización**



**Cuadrante O:** El cuadrante O, cubrió un área aproximada de 2,31 ha, la cual estuvo comprendida por las calles: Manabí, Oriente, Guayaquil y Montufar.

### Ilustración 25. Cuadrante O - Modelo de Sectorización



La unión de los 16 cuadrantes permitió realizar el modelo de sectorización del Centro Histórico de Quito, para posteriormente realizar la asignación de los grupos USAR correspondientes.

#### **Modelo de Sectorización realizada con Personal de Rescate**

El área de interés estuvo comprendida desde la Av. 24 de mayo al sur de la ciudad, calle Oriente hacia el norte, calle Imbabura hacia el oeste y calle Montufar hacia el este.

El área de interés estuvo comprendida desde la Av. 24 de mayo al sur de la ciudad, calle Oriente hacia el norte, calle Imbabura hacia el oeste y calle Montufar hacia el este.

Para la distribución de área de trabajo, se dividió en cuadrantes y se identificó las infraestructuras colocando una foto de las mismas sobre el mapa obtenido de Google Earth, las cuales fueron: Palacio Presidencial, Iglesia San Francisco, Colegio San Pedro Pascual y Centro de Salud N° 1.



## Ilustración 26. Modelo de Sectorización con personal de rescate en el Centro Histórico de Quito



### Asignación de Grupos USAR

Para definir la intervención de los grupos USAR, se evaluó el tipo de colapso estructural identificado en el sitio de ocurrencia del evento. Para esto se consideraron diferentes tipos de colapso:

- **Total:** Cuando ha existido daño estructural vertical, producto de este suceso las losas de los pisos se unen.
- **En V:** Sucede cuando el piso ha sufrido partimiento en la mitad y los extremos del piso se quedan anclados a la estructura.
- **Inclinado:** Cuando un extremo del piso se rompe y se apoya al piso, mientras que el otro extremo queda anclado a la estructura.



- **Suspendido:** Generalmente sucede en estructuras de muros portantes, y de estructuras mixtas, de las cuales se desprenden las fachadas, quedando como resultados los pisos en el aire.

Los tipos de colapso estructural fueron esenciales para definir la categoría de grupos USAR (liviano, mediano y pesado) que ingresaron a los sitios de acuerdo a las condiciones de daños evaluadas.

Los datos obtenidos del triage con los que se simularon los eventos, se basaron en los formatos proporcionados por las guías INSARAG, los cuales se plantean a continuación:

**Tabla 2. Simulación de Evaluación del daño estructural**

DATOS DEL TRIAGE				
Sitios de Simulación	Palacio de Gobierno	Iglesia San Francisco	Colegio San Pedro Pascual	Centro de Salud N° 1
<b>ID Equipo</b>	ECU1	ECU1	ECU1	ECU1
<b>Uso del edificio</b>	Gubernamental	Iglesia	Colegio	Centro de salud
<b>Tipo de construcción</b>	Mixta (Adobe y carrizo)	Mixta (Adobe y carrizo)	Mixta (Adobe y carrizo)	Mixta (Adobe y carrizo)
<b>Área del piso</b>	8.000 m	5.000 m	3.000 m	1.500 m
<b>N° de piso</b>	4	5	4	2
<b>N° de subterráneos</b>	1	2	0	0
<b>Número total de desaparecidos</b>	200	50	12	2
<b>Víctimas confirmadas</b>	30	10	2	0
<b>Categoría de Triage</b>	F	F	C	A
<b>Porcentaje de daño</b>	90%	50%	30%	20%
<b>Tipo de colapso</b>	Total	Suspendido	Suspendido	Inclinado

<b>Peligros inusuales</b>	Atmósferas suboxigenadas	Atmósferas suboxigenadas	Atmósferas suboxigenadas	Atmósferas suboxigenadas
<b>Tiempo y personal de trabajo requerido (GRUPOS USAR)</b>	4 horas	4 horas	4 horas	4 horas
	72 personas	48 personas	24 personas	24 personas
	Pesado	Mediano	Liviano	Liviano
<b>Equipamiento necesario</b>	Perros y búsqueda técnica	Perros y búsqueda técnica	Apuntalamiento y alzaprimado	Apuntalamiento y alzaprimado
	Rompimiento y corte	Rompimiento y corte	Rompimiento y corte	Rompimiento y corte
	Levantamiento y movimiento	Levantamiento y movimiento	Cuerdas y trabajo en altura	Necesidades médicas
	Cuerdas y trabajo en altura	Cuerdas y trabajo en altura	Necesidades médicas	Necesidades médicas
	Necesidades médicas	Necesidades médicas		
<b>Control de riesgos locales</b>	Acordonar el área con policía nacional	Acordonar el área con policía nacional	Acordonar el área con policía nacional	Acordonar el área con policía nacional
	Establecer objetivos y estrategias	Establecer objetivos y estrategias	Establecer objetivos y estrategias	Establecer objetivos y estrategias

Fuente: Autor

**Tabla 3. Comparación de Tiempos de Respuesta entre el modelo de sectorización con Dron vs Personal de Rescate**

MODELO DE SECTORIZACIÓN DEL CENTRO HISTÓRICO DE QUITO									
Fases	Recursos	Sectorización con Dron				Sectorización con Personal de Rescate			
		Palacio de Gobierno	Colegio San Pedro Pascual	Iglesia San Francisco	Centro de Salud N° 1	Palacio de Gobierno	Colegio San Pedro Pascual	Iglesia San Francisco	Centro de Salud N° 1
	Personal requerido		1			1	1	1	1
Fase de Campo	Tiempo estimado de movilización hasta los puntos de evaluación		40 min			15 min	12 min	10 min	15 min
	Tiempo de levantamiento de información					2 h	1 h	2 h	30 min
<b>Tiempo Total utilizado en el Trabajo de Campo</b>			40 min			2 h 15 min	1 h 12 min	2 h 10 min	45 min
Fase de Gabinete	Tiempo de procesamiento de información		4 h				1h		
<b>TIEMPO TOTAL</b>			<b>4 horas 40 minutos</b>			<b>7 horas 22 minutos</b>			

*Fuente: Autor*

**Tabla 4. Ventajas y Desventajas entre el modelo de sectorización con Dron vs Personal de Rescate**

<b>Modelo de Sectorización con Dron</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capaz de obtener imágenes de casas destruidas con alta precisión en tiempos cortos.</li> <li>- Mejora la eficiencia en términos de tiempo y facilita a los equipos de atención de desastres una evaluación de daños más precisa.</li> <li>- Optimiza recursos y tiempo para la evaluación y levantamiento de la información.</li> <li>- No se pone en riesgo al personal que hace la evaluación estructural.</li> <li>- Se disminuye el número de evaluadores para el levantamiento de información.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El vuelo puede verse afectado por diferentes factores ambientales y debe ser realizado únicamente por personal capacitado.</li> <li>- Presenta autonomía escasa, debido a que su batería no posee gran capacidad para realizar horas continuas de vuelo.</li> <li>- Se debe obtener los permisos de vuelo respectivos al sitio en donde se planifica volar el equipo.</li> </ul>
<b>Modelo de Sectorización con Personal de Rescate</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permite realizar una evaluación de la presencia o ausencia de signos de vida de humanos.</li> <li>- Tienes información veraz de las personas involucradas en la emergencia.</li> <li>- Permite brindar ayuda inmediata de primera respuesta a la ciudadanía.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existe dificultad de movilización del equipo de emergencia, debido a las afectaciones del terreno y a la aglomeración de gente, aumentado los tiempos de respuesta.</li> <li>- No se realiza una evaluación real de infraestructura.</li> <li>- No se prioriza la evaluación estructural debido a que el personal se enfoca en otros objetivos.</li> </ul>

*Elaborado por: Autor*

## **DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

Actualmente no hay evidencia suficiente que permita justificar una revisión sistemática del uso de drones en desastres en el Distrito Metropolitano de Quito. Sin embargo, como se puede visualizar en este documento, los drones son una excelente herramienta en búsqueda y rescate.

Al realizar el simulacro de sismo para realizar un modelo de sectorización en el Centro Histórico de Quito, mediante la aplicación de Dron y simultáneamente con Personal de Rescate, se pudo visualizar que el tiempo de respuesta con el Dron fue de 4 horas y 40 minutos, mientras que con el Personal de Rescate fue de 7 horas y 22 minutos.

Se debe mencionar que realizar el levantamiento de información estructural con Personal de Rescate, no permite que la respuesta sea rápida, debido a que existe dificultad de movilización del personal, además no se priorizan las estructuras colapsadas y no se realiza una evaluación total de la infraestructura, sobre todo que el tiempo de respuesta es mayor que al tiempo realizado mediante la aplicación de Drones.

Además, según Greenwood, Nelson & Gregg (2020), la evaluación de desastre naturales realizada con Drones permite evaluar el daño a partir de la imagen tomada con el Dron, sin embargo, menciona que todavía no está claro dónde encajan los vehículos aéreos no tripulados en el sistema global de grupos humanitarios.

Por su parte, Luo y otros (2020), menciona que el uso de Drones ayuda a estimar con la precisión de la información sobre los desastres naturales.

De igual forma Schaefer y otros (2020), alude que el estudio de UAV fue rápido, preciso y rentable para aplicaciones de gestión de desastres.

## **AGRADECIMIENTOS**

El presente artículo se basa en los resultados del proyecto de investigación. “Modelo de sectorización a través de fotogrametría con drones, para asignación de grupos USAR en caso

de desastre por sismo en el Centro Histórico de Quito”, ejecutado en mayo de 2022 hasta septiembre de 2022.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aerial Insights. (2018). *Aerial Insights*. Obtenido de <https://www.aerial-insights.co/blog/fotogrametria-con-drones/>
- ArcGIS. (2022). *ArcGIS Resources*. Obtenido de <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
- Banco Internacional de Desarrollo. (2020). *Perfil de Riesgo de Desastres por Evento Sísmico de Ecuador*. Ecuador: División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Gestión de Riesgo de Desastres.
- Beauval, C., Yepes, H., Bakun, W., Egred, J., Alvarado, A., & Singaicho, J. (2010). Locations and magnitudes of historical earthquakes in the Sierra. *Geophysical Journal International*, 1-21.
- Beauval, C., Yepes, H., Bakun, W., Egred, J., Alvarado, A., & Singaicho, J. (2010). *Locations and magnitudes of historical earthquakes in the Sierra of Ecuador (1587–1996)*. Nebraska : University of Nebraska - Lincoln University of Nebraska - Lincoln .
- Cando, M., Martínez, A., & Valdés, V. (2020). Prevention of Disasters Related to Extreme Natural Ground Deformation Events by Applying Spatial Modeling in Urban Areas (Quito, Ecuador). *Environmetanl Research and Public*, 1-21.
- Dávalos, P. (2010). *Aerofotogrametría Inteligente*.
- Greenwood, F., Nelson, E., & Gregg, P. (2020). Flying into the hurricane: A case study of UAV use in damage assessment during the 2017 hurricanes in Texas and Florida. *PLOS ONE*, 10.1371/journal.pone.0227808.
- INSARAG. (2022). *INSARAG*. Obtenido de [https://www.insarag.org/wp-content/uploads/2016/06/INSARAG\\_Guidelines\\_Vol\\_II\\_-\\_Manual\\_B\\_SPA\\_20160218.pdf](https://www.insarag.org/wp-content/uploads/2016/06/INSARAG_Guidelines_Vol_II_-_Manual_B_SPA_20160218.pdf)

- INSARAG. (2022). *INSARAG*. Obtenido de [https://www.insarag.org/wp-content/uploads/2016/06/INSARAG\\_Guidelines\\_Vol\\_I\\_-\\_Politica\\_SPA\\_20160218.pdf](https://www.insarag.org/wp-content/uploads/2016/06/INSARAG_Guidelines_Vol_I_-_Politica_SPA_20160218.pdf)
- Kucharczyk, M., & Hugenholtz, C. (2021). Remote sensing of natural hazard-related disasters with small drones: Global trends, biases, and research opportunities. *Elsevier*, Volumen 264.
- Lara, M. (2015). *La Construcción Tradicional y su vulnerabilidad sísmica "El caso de Quito y sus construcciones con valor patrimonial"*. Quito: Conpat.
- López, M. (2017). *Efectos del sismo de Quito de 12 de agosto de 2014 y su impacto socioeconómico en la parroquia Guayllabamba*. Quito: Universidad Andina Simón Bolívar .
- Naya, A. (2010). *El Riesgo Sísmico en Quito: Análisis y Simulaciones*. (pág. 55). Francia: Universidad Nice Sophia Antipolis.
- Schaefer, M., Teeuw, R., Day, S., Zekkos, D., Weber, P., Meredith, T., & van, C. (2020). Low-cost UAV surveys of hurricane damage in Dominica: automated processing with co-registration of pre-hurricane imagery for change analysis. *Nat. Hazards*, 755-784.
- Syed, S., Yusmiadil, M., Chin, C., Lay, S., Shah, M., & Nawawi, H. (2022). Applications of drone in disaster management: A scoping review. *Science & Justice*, 30-42.