

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Posgrados

Análisis espacial de la cobertura de la tecnología móvil celular, aplicado a la gestión del riesgo. Caso: Volcán Galeras (Colombia)

Cesar Iván Córdoba Ruiz

Richard Resl, Ph.Dc., Director de Tesis

Tesis de grado presentada como requisito
para la obtención del título de Magister en Sistemas de Información Geográfica

Quito, enero de 2014

Universidad San Francisco de Quito

Colegio de Posgrados

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

Análisis espacial de la cobertura de la tecnología móvil celular, aplicado a la gestión del riesgo. Caso: Volcán Galeras (Colombia)

Cesar Iván Córdoba Ruiz

Richard Resl, Ph.D.
Director de Tesis

Diana M. Contreras M., Ms.
Miembro del Comité de Tesis

Richard Resl, Ph.D.
Director de la Maestría en Sistemas de Información Geográfica

Stella de la Torre, Ph.D.
Decana del Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

Víctor Viteri Breedy, Ph.D.
Decano del Colegio de Posgrados

Quito, enero de 2014

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

Cesar Iván Córdoba Ruiz
Pasaporte No.: 87.061.168

Quito, enero de 2014

RESUMEN

El crecimiento de las tecnologías de la información y las comunicaciones en el mundo, han permitido la incorporación de herramientas pensadas en el mejoramiento de la calidad de vida de las personas, facilitando procesos de rápida y oportuna comunicación, en tal sentido, la presente investigación, analiza la posibilidad en la zona de influencia volcánica del Galeras en Colombia, de implementar un sistema de información mediante la tecnología móvil celular, como un medio efectivo para la generación de alertas tempranas frente a erupciones de tipo volcánico; a través de una descripción de la zona de influencia del volcán, en el que se relata el histórico de sucesos ocurridos alrededor del mismo y los estudios llevados a cabo para su comprensión. Se estudia sus antecedentes y experiencias en otras partes del mundo y las políticas y avances en materia de gestión del riesgo y tecnologías de la información y las comunicaciones en Colombia; para luego realizar el análisis espacial a través de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (*convert feature to 3d, viewshed, convert raster to poligono, eliminate, dissolve, smooth polygon, buffer, intersect*, entre otras), de la cobertura de la red de telefonía móvil celular, en la zona de influencia del volcán, centrándose en la zonas de mayor afectación; para lo cual se estudia la ubicación de las antenas de telefonía celular y su cobertura de servicio, Mediante la comparación de la cobertura espacial que tienen el servicio de teléfono móvil en el área de estudio (28.253 hectáreas) y su relación con las zonas de amenaza (88.778 hectáreas), y de la población (372.002 beneficiarios), es posible observar el mecanismo por el cual un sistema de alerta temprana se puede implementar, al cubrir el 97% de la población en mayor peligro.

ABSTRACT

The information technology and communications growth have allowed the integration of several tools to improve the quality of life. They make easy, quick and timely the communication processes. The present research aims for develop an early warning systems to face volcanic eruptions, in the case study area of Galeras volcano in Colombia. The proposed early warning system relies on mobile cellular technology. Firstly, it is done a description of the catchment area of the volcano, where the events occurred in the past, literature review, backgrounds and experiences in other parts of the world, and the policies and developments in risk management and information technology and communications formulated in Colombia. Then, spatial analysis tools of Geographic Information Systems (Convert 3d Feature To, Viewshed, Convert To Raster Polygon, Eliminate, Dissolve, Polygon Smooth, Buffer, Intersect, etc.), the coverage of the cellular mobile telephone network in the area of influence of the volcano, focusing on hazard zones, is compared with the location of the cell phone, allowing us to see as a result the geographical environment of the potential disaster in different spatial components. It allows a glimpse of the mechanism by which it can be implemented a system of early warnings with the use of cell phones, leaving aside institutional actors and cultural conditions of the population. By comparing the spatial coverage that have the mobile phone service in the study area estimated (28,253 hectares) and its relation to the hazard zone (88,778 hectares), and the population (372,002 beneficiaries). It is possible to observe the mechanism by which a system of early warnings can be implemented, to cover 97% of the population most at risk.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	5
ABSTRACT	6
TABLA DE CONTENIDO	7
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABLAS	11
ABREVIATURAS	12
1. INTRODUCCIÓN	13
1.1 ANTECEDENTES	13
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 Objetivo General	17
1.2.2 Objetivos Específicos	18
1.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACION	18
1.4 HIPOTESIS	19
1.5 JUSTIFICACIÓN	19
1.6 ALCANCE	22
1.6.1 Área de Estudio	22
1.6.2 Consideraciones para Investigación	24
1.6.2.1 Cartografía Básica	24
1.6.2.2 Definición de Escala de Trabajo	25
2. REVISIÓN DE LITERATURA	25
2.1 ESTADO DEL ARTE	26
2.2 VOLCÁN GALERAS Y LA ZONA DE INFLUENCIA	28
2.2.1 Metodología Actual de Vigilancia del Volcán Galeras	32
2.2.2 Desarrollo Legislativo de Gestión del Riesgo en Colombia	34
2.2.3 Las TICs en Colombia	37

3. METODOLOGÍA	41
3.1 ELEMENTOS CARTOGRÁFICOS	42
3.1.1 Imágenes Satelitales	42
3.1.2 Distribución y cálculo de población para el área de estudio	
3.1.3 SRTM – DEM	46
3.1.4 Mapa de Amenaza Volcánica	47
3.1.5 Ubicación de antenas de telefonía móvil celular	48
3.2 AJUSTE, EDICIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE INFORMACIÓN PARA EL ANÁLISIS	51
3.3 HERRAMIENTAS DE HARDWARE Y SOFTWARE UTILIZADAS PARA LA INVESTIGACIÓN	52
3.4 BASE DE DATOS ESPACIAL DE LA INVESTIGACIÓN	52
3.5 HERRAMIENTAS SIG UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS ESPACIAL	53
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS (PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS ESPACIAL)	56
4.1 MODELO ESPACIAL CARTOGRÁFICO	56
4.2 ESTIMACIÓN DEL ÁREA VISIBLE PARA CADA ANTENA DE TELEFONÍA MÓVIL	57
4.3 BUFFERS DE CUBRIMIENTO DE SEÑAL PARA CADA ANTENA DE TELEFONÍA CELULAR	58
4.4 ESTIMACIÓN DEL ÁREA DE CUBRIMIENTO DE TELEFONÍA CELULAR	60
4.5 RELACIÓN DEL ÁREA DE CUBRIMIENTO DE TELEFONÍA CELULAR Y LA AMENAZA VOLCÁNICA	62
4.6 RELACIÓN DEL ÁREA DE CUBRIMIENTO DE TELEFONÍA CELULAR Y LA DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO	64
4.7 VISUALIZACIÓN ESPACIAL	65
5. CONCLUSIONES	75
6. REFERENCIAS	77
7. ANEXOS	79

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa de Amenazas Volcánicas	16
Figura 2. Mapa de localización geográfica del área de estudio	23
Figura 3. Sector Volcán Galeras	24
Figura 4. Volcán Galeras	29
Figura 5. Albergues	31
Figura 6. Distribución de uso de los sistemas operativos móviles	38
Figura 7. Tendencia de bienes para acceder a las TIC	39
Figura 8. Flujograma Metodológico	41
Figura 9. Volcán	42
Figura 10. Cráter del volcán Galeras	43
Figura 11. Imagen de cruce espacial entre municipios y área de estudio	44
Figura 12. Modelo de Sombras	47
Figura 13. Distribución de Antenas	49
Figura 14. Estimación de ubicación	50
Figura 15. Ubicación de antenas de telefonía celular en el área de estudio	51
Figura 16. Modelo Espacial Cartográfico	56
Figura 17. Resultado de procedimiento por VIEWSHED	57
Figura 18. Simplificación de resultado de estimación del área visible	58
Figura 19. Buffers de cubrimiento de señal para cada antena	59
Figura 20. Cruce espacial de la información (buffer vs área visible)	60
Figura 21. Estimación del área cubrimiento de telefonía celular	62
Figura 22. Mapa de distribución de las antenas de telefonía celular en el área de estudio	66
Figura 23. Mapa de estimación del área cubrimiento del servicio de telefonía celular	67
Figura 24. Mapa de relación del área cubrimiento de telefonía celular y la amenaza Volcánica	68
Figura 25. Mapa de relación del área cubrimiento de telefonía celular y la distribución de la población	69

Figura 26. Mapa de Distribución de la Población en Relación a la Amenaza Volcánica	70
Figura 27. Modelo Conceptual para la Implementación del Sistema de Alertas Temprana, Basado en Tecnología Móvil Celular	73

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Distribución de Amenazas	15
Tabla 2. Formulación de hipótesis	19
Tabla 3. Capacidad de los albergues	31
Tabla 4. Niveles de Actividad del Volcán Galeras	33
Tabla 5. Población municipal	44
Tabla 6. Cálculos de áreas en zona de estudio (hectáreas)	45
Tabla 7. Distribución de población	46
Tabla 8. Clasificación de Estimación del área cubrimiento de telefonía celular	61
Tabla 9. Estimación del área cubrimiento de telefonía celular	61
Tabla 10. Distribución de la amenaza volcánica en el área de estudio	63
Tabla 11. Amenaza volcánica en el área de estudio y su cubrimiento en telefonía celular	63
Tabla 12. Población y su cubrimiento en el servicio de telefonía celular	64

ABREVIATURAS

CAVW	Catálogo de Volcanes Activos del Mundo
CRC	Comisión de Regulación de Comunicaciones
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
DEM	<i>Digital Elevation Model</i> (Modelo de Elevación Digital)
EDS	Sistema de Detección de erupción
ERLAWS	<i>Eastern Ruapehu Lahar Alarm and Warning System</i>
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
INGEOMINAS	Instituto Colombiano de Geología y Minería
MINTIC	Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
OMV	Operador Móvil Virtual
OVSP	Observatorio Vulcanológico y Sismológico ubicado en la ciudad de Pasto
SAT	Sistema de Alertas Tempranas
SGC	Servicio Geológico Colombiano
SIG	Sistemas de información Geográfica
SIGOT	Sistema de información geográfica para el ordenamiento territorial nacional
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
TIC	Tecnología de la información y comunicación
UNGRD	Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres
VTLAS	<i>Volcánica Traffic Alert System Light</i>
ZAVA	Zona de Amenaza de Volcánica Alta
ZAVM	Zona de Amenaza de Volcánica Media
ZAVB	Zona de Amenaza de Volcánica Baja

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la tecnología celular es de uso generalizado en el mundo, y en Colombia los avances igualmente son evidentes, lo cual podría ser de gran beneficio si no solo se piensa en la tecnología celular como medio de comunicación de voz e internet; éste medio podría alertar mediante mensaje de texto sobre la presencia de una amenaza, de origen socio-natural, informando el lugar exacto dónde ocurre, con el propósito de que se tomen las medidas de mitigación en el mediano y corto plazo o se inicien las actividades de respuesta, dependiendo del tipo de evento. Esto a través de mensajes de texto y de la localización de los celulares; con el uso de la infraestructura informática y de telecomunicaciones de las empresas de telefonía celular en Colombia, y la implementación de los sistemas de información, entre ellos los geográficos, convirtiéndose éste en el medio más efectivo para alertar a una población.

En este contexto, la investigación se enfoca en realizar a través del análisis espacial la estimación de la cobertura de la red de servicio celular frente a una amenaza originada por un evento natural, de acuerdo a las características geográficas del entorno y su población, estudiando el caso específico del Volcán Galeras (Colombia), considerado como uno de los volcanes de mayor actividad en el mundo. Lo anterior, permitirá definir un modelo conceptual para la implementación de un mecanismo de alertas tempranas, basado en la tecnología móvil celular y los Sistemas de Información Geográfica.

1.1 ANTECEDENTES

Es de conocimiento popular la expansión que ha tenido en el mundo el uso de la tecnología móvil celular en los últimos años y los diferentes beneficios que trae su manejo, dependiendo del dispositivo móvil usado y de los avances tecnológicos en cada país; sin embargo, dentro de sus vastos usos, muy poco se ha involucrado esta tecnología en la gestión del riesgo por amenazas naturales o antrópicas. Sólo algunos países han iniciado estudios para convertir este dispositivo en un mecanismo para emitir alertas tempranas, que permitan a las personas estar

preparadas ante la evidente ocurrencia de un fenómeno natural que desencadenaría en un desastre y así salvar vidas de manera oportuna.

Países como Estados Unidos ha implementado en la actualidad la Red Localizada de Alerta Personal (PLAN), el cual de acuerdo a la *Federal Communications Commission* (2013), es un nuevo sistema de seguridad pública que permite a los consumidores que poseen un teléfono móvil habilitado, recibir mensajes dirigidos a un área geográfica específica, alertándoles sobre amenazas inminentes a la seguridad de su área, sin que los mensajes queden atrapados en áreas de alta congestión, algo que puede ocurrir con los servicios móviles y de texto, de uso común.

En el caso de Latinoamérica, encontramos que Chile desde el año 2011 viene desarrollando el “proyecto de Sistema de Alerta Temprana por Medios Masivos, de la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior (ONEMI)” (Hernández, 2011). Al respecto, se ha determinado como premisa que una de las principales causas que llevan a la ocurrencia de un desastre, es el mismo desconocimiento de los eventos catastróficos, en razón a que los habitantes no saben hacia donde ir o que hacer ante un desastre natural.

En Chile a partir del suceso del 2011 que dejó cerca de 500 muertos, se implementó un nuevo sistema de alerta e información, el cual utiliza los teléfonos móviles con el fin de mantener a la población al tanto en el caso de que ocurra un desastre natural (Hernández, 2011).

En este sentido, es importante estudiar la aplicación de las tecnologías de la información y las comunicaciones en la gestión del riesgo en Colombia, más cuando se tiene gran cantidad de amenazas naturales que podrían desencadenar un desastre de grandes proporciones, para tal efecto, se estudia el caso del Volcán Galeras, clasificado como un estrato volcán – caldérico, el cual se localiza “aproximadamente a 9 Km al occidente de la ciudad de San Juan de Pasto, con una altura de 4276 msnm, con un diámetro de 20 km en su base y 320 m en su cráter principal y 80 m de profundidad; de acuerdo con el Catálogo de Volcanes Activos del Mundo (CAVW) su código es el 1501-08” (Servicio Geológico Colombiano, 2011).

El actual Volcán Galeras, es un cono activo que tiene una edad estimada en cerca de 4.500 años, en el estudio geológico realizado por INGEOMINAS se identificó seis (6) episodios eruptivos importantes registrados en los años: 4500, 4000, 2900, 2300, y 1100 A.C. y las erupciones de 1866 y 1993.

El Volcán Galeras se ha catalogado como uno de los volcanes más activos en el mundo, de gran peligro para las personas que viven en sus cercanías, en razón a que durante los últimos 500 años, la mayoría de las erupciones se han catalogado como vulcanianas, con columnas inferidas de baja altura (menores a 10 km), que han producido emisiones de gases y cenizas, pequeños flujos de lava y erupciones explosivas con la generación de flujos piroclásticos, cuyos depósitos han alcanzado distancias de hasta 9,5 km desde el cráter.

Por lo anterior, el gobierno de Colombia a través de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres se encuentra adelantando las labores necesarias para el reasentamiento de la población ubicada en las cercanías del volcán, principalmente en el sector definido como Zona de Amenaza de Volcánica Alta “ZAVA” de acuerdo al estudio de Amenazas del Volcán Galeras versión 1997, elaborado por el Instituto Colombiano de Geología y Minería “INGEOMINAS” hoy llamado Servicio Geológico Colombiano SGC.

La representación cartográfica del mapa de amenazas volcánicas, establece: en color rojo a la amenaza alta, en color naranja a la amenaza media y en color Amarillo a la amenaza baja; toda la Zona de Influencia Volcánica tiene aproximadamente 88.778 hectáreas, distribuidas como se ve en la tabla 1 y la figura 1.

Distribución de Amenazas Volcánicas			
Símbolo	Amenaza	Extensión	Leyenda
ZAVA	Zona de amenaza Volcánica Alta	8.206 Hectáreas	
ZAVM	Zona de Amenaza Volcánica Media	4.180 Hectáreas	
ZAVB	Zona de Amenaza Volcánica Baja	76.392 Hectáreas	

Tabla 1. Distribución de Amenazas

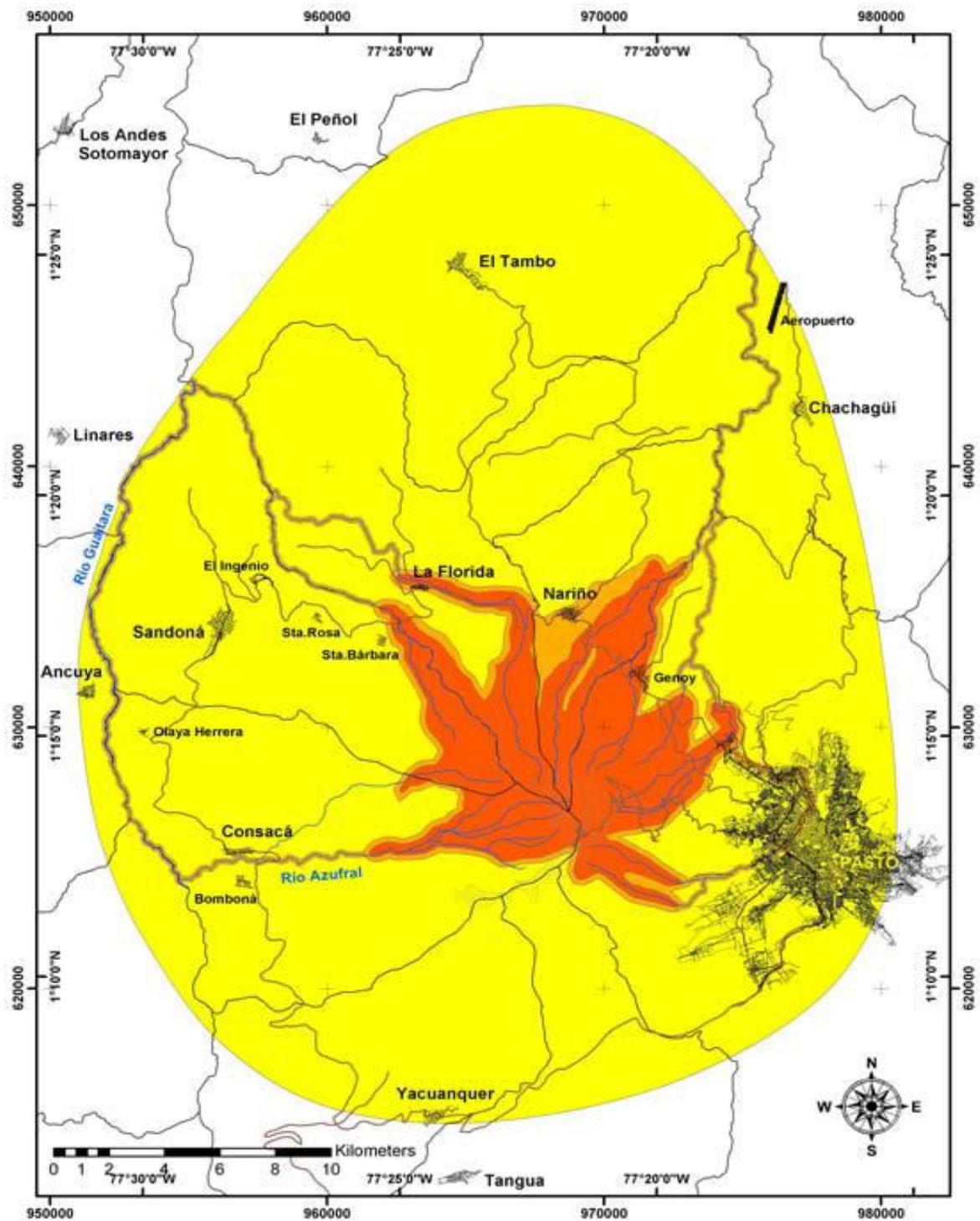


Figura 1. Mapa de Amenazas Volcánicas. Fuente: INGEOMINAS, 1997

En el año 2005, debido al incremento en las actividades eruptivas del Volcán Galeras, el gobierno nacional decide expedir el Decreto 4106 del 15 de noviembre de 2005 en el que declara la existencia de una situación de desastre en los municipios de Pasto, Nariño y La Florida, poblaciones del Departamento de Nariño.

En el volcán Galeras se detectaron varios sismos vulcano tectónicos, en los días 19, 20, 21, 22, 26 y 27 de agosto de 2005, localizados entre 4 y 8 kilómetros respecto a la cima del volcán, siendo la magnitud mayor 4.6 magnitud local e intensidad IV en la escala de Mercalli para la ciudad de Pasto (Decreto 3905, 2008).

Con el pasar de los años desde la expedición del Decreto 4106 del 15 de noviembre de 2005, se han realizado innumerables procesos de evacuación a los albergues de la población ubicada sobre la ZAVA, ante la emisión de la alerta Roja por parte de la Gobernación de Nariño, de acuerdo a los informes semanales del SGC; pero ante la expectativa de que con el pasar de los años el volcán no ha hecho erupciones que lleguen hasta las poblaciones aledañas y al arraigo cultural de haber vivido en la zona durante muchos años sin que les pase nada, actualmente la población no acata las ordenas de evacuación; situación que se ha vuelto compleja para el gobierno nacional, quien por ahora ha querido avanzar en el proceso de reasentamiento, considerando la necesidad de tener siempre informados a los habitantes.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Establecer el potencial de la tecnología móvil celular como medio de alertas tempranas frente a erupciones volcánicas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar y crear los elementos cartográficos o espaciales necesarios para el análisis espacial

- Ejecutar un análisis espacial que permita comprender la relación geográfica de los diferentes elementos espaciales o cartográficos.

- Proponer un modelo conceptual que permita comprender el funcionamiento de un sistema de alertas tempranas a través de la tecnología móvil celular.

1.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACION

Las preguntas de la investigación se centran en establecer la viabilidad de la implementación de un sistema de tecnología móvil como medio para generar señales de alerta ante la posible ocurrencia de actividades del tipo vulcanológico.

- ¿Es posible a través del análisis espacial determinar la cobertura de la red de servicio celular en función de la una amenaza natural del Volcán Galeras y la distribución espacial de la población?

- ¿Permitirá a futuro la investigación de análisis espacial, la implementación de sistemas de alertas tempranas basado en la tecnología móvil celular?

- ¿Qué tan viable es aplicar un sistema de alertas tempranas basado en la tecnología móvil celular?

1.4 HIPOTESIS

Se plantea tanto la hipótesis nula como la alternativa, las cuales se muestran en la tabla 2.

HIPOTESIS NULA	HIPOTESIS ALTERNATIVA
La implementación de un sistema de información mediante tecnología móvil es un medio efectivo para la generación de alertas tempranas frente a erupciones del tipo volcánico.	Es igual o no que se use e implemente un sistema de información a través de tecnología móvil para la emisión de alertas.

Tabla 2. Formulación de Hipótesis

1.5 JUSTIFICACIÓN

Las calamidades asociadas a desastres son muy recurrentes en Colombia, “tal vez el caso más conocido ha sido el ocurrido en la ciudad de Armero en el Departamento del Tolima en el año de 1985, donde cerca de veinte mil (20.000) personas perdieron la vida, producto de un deslave generado por el flujo piroclásticos emitidos por el cráter del Volcán Nevado del Ruiz, el cual llevaba para ese entonces sesenta y nueve (69) años de inactividad” (Instituto Smithsonian). Según Shuster & Highland (2001), la fundición de cerca del 10% del glaciar de la montaña provocó un flujo de lodo, tierra y escombros que descendieron por las laderas del volcán y se encaminaron a lo largo de los seis ríos que comprenden la cuenca del volcán, fluyendo a una velocidad cercana a 60 km/h y golpeando a Armero y a Chinchiná.

Debido a su ubicación geográfica, Colombia está atravesada por la Cordillera de los Andes, también denominada “El Cinturón de Fuego del Pacífico”, nombre dado debido a su alta actividad volcano-tectónica, ésta es una cadena montañosa que viene desde las costas del sur de Chile, continúa por las sierras del Perú y Ecuador y finalmente, llega a las cordilleras Oriental, Central y Occidental de Colombia. Adicionalmente, el país cuenta con cerca de 15 volcanes considerados activos, entre ellos y el de mayor actividad, el Volcán Galeras ubicado en el Departamento de Nariño, el cual durante los años 2009 y 2010 presentó una alto índice de actividad tras la generación de varias erupciones.

Actualmente, no se cuenta con los medios propicios y adecuados para la generación de alertas tempranas; en muchas ocasiones éstas se generan tras la ocurrencia de los mismos sucesos; ante esta clase de falencias se considera necesario contar con un nuevo sistema que sirva de respaldo y que permita emitir señales de alertas tempranas ante posibles sucesos que puedan perjudicar y poner en riesgo la vida y la integridad de la población.

Es relevante señalar que los análisis especiales y el uso de las herramientas SIG en las tecnologías de la información y la comunicación para el establecimiento de efectivos sistemas de alertas tempranas, podría evitar que ocurriesen algunos desastres, para el caso a través de la tecnología móvil celular. En tal sentido la investigación da a conocer los lineamientos que permitan implementar el sistema de alertas tempranas a través de mensaje de texto por celular para informar a la población sobre la ocurrencia de un fenómeno natural en el lugar que se encuentra, pero es evidente que existe un escaso conocimiento sobre el cómo deberían implementarse los análisis espaciales o la solución informática para este fin, lo cual evidentemente debe hacerse con el uso de las herramientas que nos ofrecen los SIG, por tal motivo se realiza el estudio geográfico que posibilita entender la viable implementación de una herramienta tecnológica, basada en el uso de éstos sistemas.

El tema es de gran relevancia para el país, debido a sus implicaciones y a la expedición de la Ley 1523 de 2012 “Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, y se dictan otras disposiciones”, en el artículo 2 establece que: “La gestión del riesgo es responsabilidad de todas las autoridades y de los habitantes del territorio colombiano. En cumplimiento de esta responsabilidad, las entidades públicas, privadas y comunitarias desarrollarán y ejecutarán los procesos de gestión del riesgo” (Ley 1523, 2012), a su vez en los Artículos 7 y 45 de la norma en comento, establece la obligatoriedad en la creación de sistemas de información; dando una completa responsabilidad a los gobiernos locales y regionales para la inclusión y manejo de la gestión integral del riesgo en sus territorios, que solo puede hacerse de forma efectiva a través de herramientas técnicas de SIG.

Ciertamente, el gobierno nacional deberá en algún momento estudiar la forma y los procesos para la implementación de sistemas de alertas tempranas a través del uso de las tecnologías de la información y la comunicación, siendo que los avances tecnológicos en la materia facilitarían este proceso; pero antes, se debe comprender el entorno geográfico de las amenazas naturales, la población y las comunicaciones, máxime, cuando la Ley 1523 de 2012, en el artículo 82 establece: “Todos los proveedores de redes y servicios de telecomunicaciones están obligados a permitir el acceso y uso de sus redes e infraestructuras al operador que lo solicite en forma inmediata con el fin de atender las necesidades relacionadas con los motivos de declaratoria de situación de desastre para garantizar la continuidad en la provisión de los servicios y redes de telecomunicaciones. De igual manera, todo operador o proveedor de servicios públicos que tenga infraestructura estará obligado a permitir el acceso y uso de la misma en forma inmediata” (Ley 1523, 2012).

Por lo expuesto, es procedente iniciar procesos de análisis geográficos que permitan entender la relación espacial de una amenaza natural, la población vulnerable y el potencial del cubrimiento del servicio de comunicaciones, para responder en caso de un evento catastrófico. Para el caso en concreto, se estudia la problemática asociada a la actividad del Volcán Galeras, el cual es considerado una amenaza latente a la población que lo rodea.

Aunque existe información sobre las diferentes intenciones de algunos países en implementar tecnologías basadas en los SIG, y las telecomunicaciones para la emisión de alertas tempranas, no se encuentra información sobre la importancia asignada al análisis espacial del fenómeno en el que se establecen y delimitan las zonas de amenaza, la distribución de la población, y condiciones culturales para la tipificación de alertas y su relación con la ubicación de las antenas de telefonía celular y su cobertura territorial.

A pesar de que en Colombia existen los planes locales y departamentales de contingencia ante diferentes fenómenos naturales que desencadenarían un desastre, en ninguno de ellos se evidencia la necesidad de utilizar la tecnología móvil celular para la emisión de alertas tempranas, por tal motivo el análisis planteado podría ser a futuro un tema obligatorio en los diferentes planes de contingencia, ahora llamados estrategias de respuesta de acuerdo a la Ley

1523 de 2012, siendo relevante reiterar que la zona aledaña al Volcán Galeras no cuenta con un adecuado Sistema de Alertas Tempranas.

En consecuencia, en las zonas catalogadas como de riesgo no mitigable, es importante analizar la ubicación de la población, el conocimiento y la capacidad para actuar ante la emisión de la alerta, la ubicación y cubrimiento de las antenas de telefonía celular, y la posible afectación ante el fenómeno volcánico.

1.6 ALCANCE

1.6.1 Área de Estudio

Dentro del componente metodológico es importante la determinación del área de estudio, en la cual se desarrolla el análisis espacial. A pesar de que la zona de influencia volcánica de acuerdo al mapa de amenazas volcánicas del SGC tiene aproximadamente 89.000 Hectáreas, se define un área de estudio menor, teniendo en cuenta que para el presente análisis, la ZAVA, es la zona de mayor peligrosidad para las poblaciones cercanas, mientras que la ZAVM es una zona de transición con las mismas implicaciones que la ZAVA. Para tal efecto, se trazó un círculo que encierra en su totalidad la máxima extensión de la ZAVM contigua y que contiene igualmente la ZAVA, el cual tiene un diámetro de 17 Kilómetros y encierra en su totalidad a las principales poblaciones sobre el Volcán Galeras, a excepción del centro poblado o casco urbano del Municipio de Pasto, por lo cual se amplía el área de estudio hasta bordear la totalidad de la ciudad o centro poblado. Lo anterior, dando como resultado un área de estudio de 28.253 hectáreas, que incluyen los municipios de Pasto, Nariño, La Florida, Sandoná, Consacá, Yancuaquer y Tangua en sus sectores más cercanos al Volcán Galeras como objeto del presente estudio, lo cual puede observarse en el área verde de la figura 2.

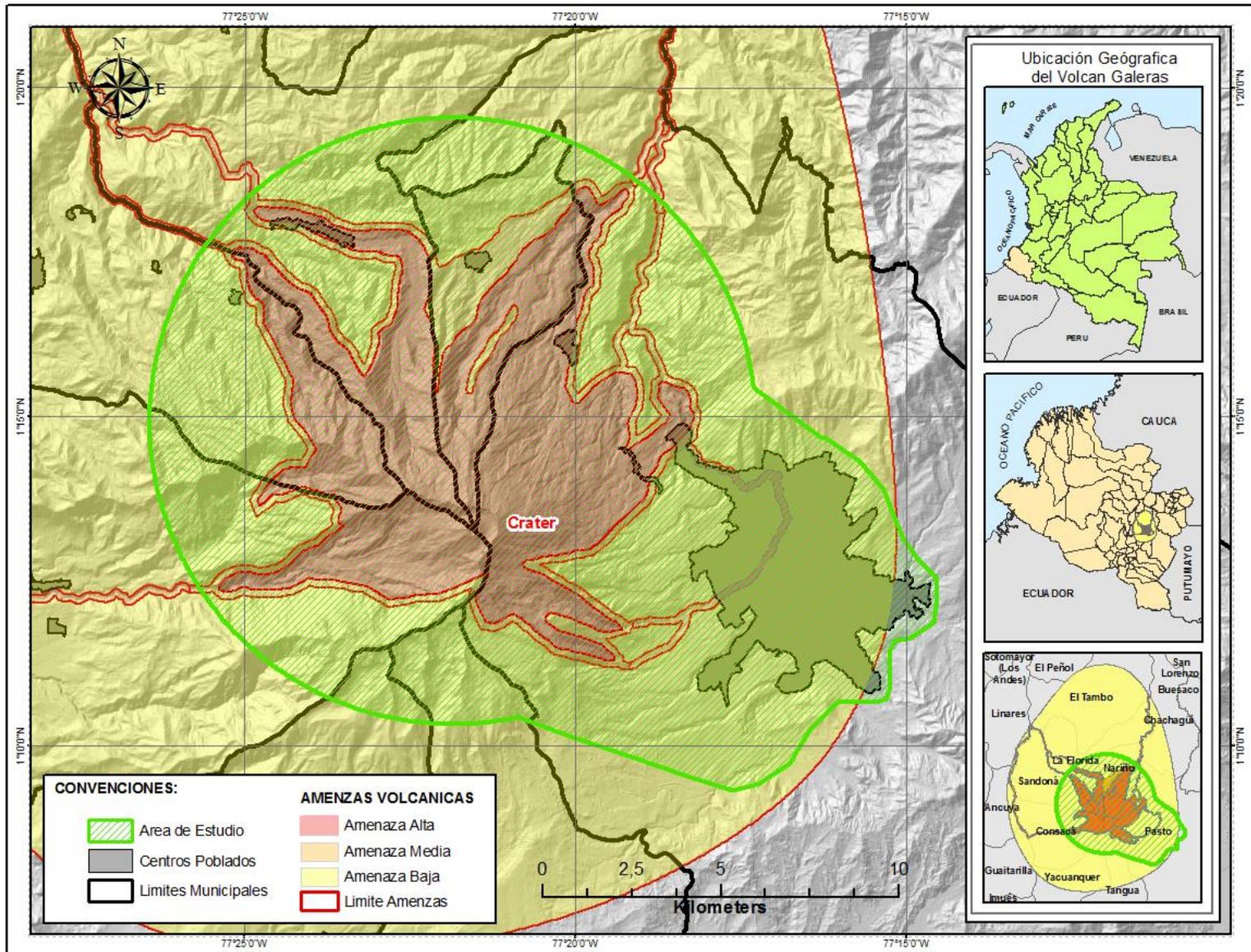


Figura 2. Mapa de localización geográfica.

1.6.2 Consideraciones para la Investigación

Es importante señalar que para la presente investigación se ha utilizado los medios de información y cartografía, existente de forma gratuita en internet, siendo que el acceso a información ha sido limitado, principalmente para obtener la ubicación de la antenas de telefonía móvil celular existentes para el área de estudio, teniendo la necesidad de utilizar diferentes medios informáticos y cartográficos para poder obtener toda la información necesaria.

Para un análisis espacial es importante la identificación de la cartografía necesaria para tal fin, de acuerdo al propósito del estudio y a los medios existentes y disponibles, por tanto, se definió y utilizó los componentes cartográficos que se enuncian en los acápite siguientes, en sus respectivos formatos digitales, utilizando como herramienta SIG de análisis y procesamiento al software ArcGIS 10.1.

1.6.2.1 Cartografía Básica

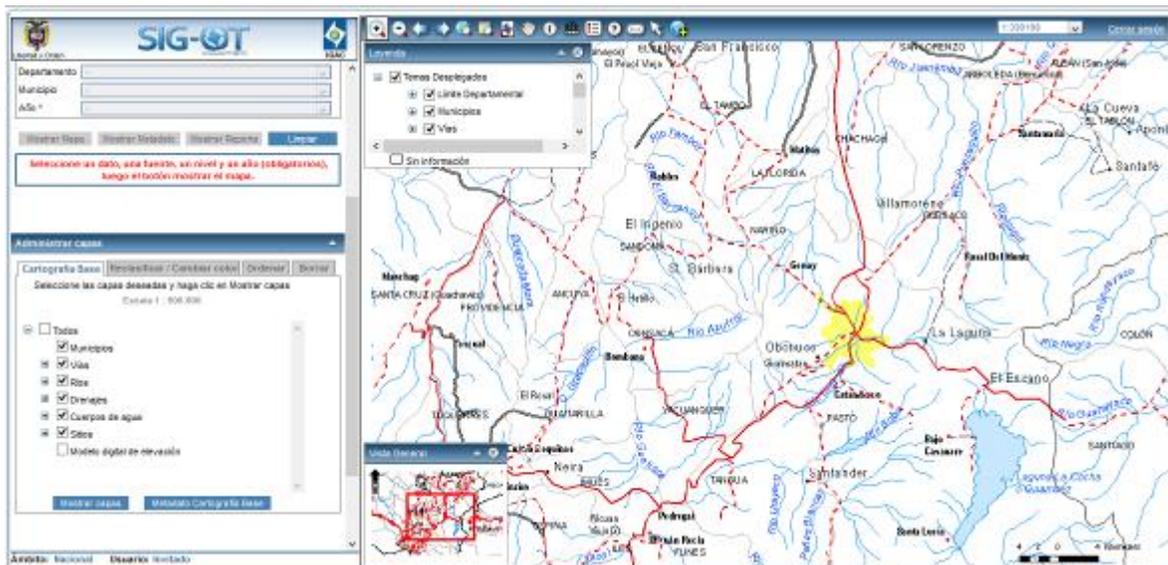


Figura 3. Sector Volcán Galeras SIG-OT. Fuente: SIG-OT

La cartografía básica utilizada para la investigación se obtiene a través del Sistema de Información Geográfico para el Ordenamiento Territorial dispuesto por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, en la página: <http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/default.aspx>, cuyo resultado se puede observar en el recorte de pantalla de la figura 3.

El SIG-OT busca la conformación de un sistema de información geográfica para la planeación y el ordenamiento territorial, cuyo objetivo central es contribuir a una eficiente y oportuna toma de decisiones, apoyando a los actores - autoridades e instancias - en el sistema de planeación a nivel nacional, regional y local (Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial). El SIG-OT permite la descarga en formato *shapefile* de la información geográfica que contiene a escalas 1: 500.000 y 1: 100.000, la cual es usada para la presente investigación como información básica para comprender y visualizar el área de estudio. Dentro de la información descargada, tenemos:

- Límites Municipales
- Vías principales
- Drenajes
- Cuerpos de Agua
- Sitios

1.6.2.2 Definición de Escala de Trabajo

Teniendo en cuenta que la cartografía básica y demás cartografía vectorial nombrada anteriormente tienen una escala de trabajo 1:100.000 y que la ubicación estimada de las antenas de telefonía celular pueden tener un margen de error de 10 metros, al igual que el DEM utilizado para el análisis tiene una resolución espacial de 30 metros por pixel, podemos establecer que la escala de la investigación es 1:100.000, siendo esta una escala general y de referencia, adecuada para realizar este tipo de análisis, que podrían considerarse diagnósticos iniciales para implementar sistemas de alertas tempranas basados en la tecnología móvil celular.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ESTADO DEL ARTE

Para poder abordar el tema de investigación y tener una mayor comprensión de los diferentes postulados en el orden regional, nacional e internacional, se elabora una revisión de literatura consecuente con el proceso de investigación y que permite brindar un soporte teórico al proceso desarrollado. Dentro de los sistemas de alerta eficaces, se han encontrado la ejecución de investigaciones similares, las cuales se describen de forma general en los acápites siguientes.

El artículo científico *Developing effective warning systems: Ongoing research at Ruapehu volcano, New Zealand* estudia el monte Ruapehu, considerado como uno de los volcanes más activos de Nueva Zelanda, siendo la montaña más elevada de dicha isla, llegando a alcanzar una altitud de 2.797 metros, compuesto por dos picos secundarios: Te Heuheu y Paretaitonga.

Entorno a este volcán y debido a la peligrosidad del mismo, se ha implementado una serie de sistemas de alerta, el primero de ellos es el *Eastern Ruapehu Lahar Alarm and Warning System* (ERLAWS) y el segundo es el Sistema de Detección de erupción (EDS), los cuales proporcionan alertas tempranas a largo plazo ante eventos adversos, desencadenados por erupciones. Este, se encuentra compuesto de dos geófonos (sensores de vibración), cada uno en dos sitios separados por el canal en la parte superior de la montaña, que se disparan automáticamente y se comunican mediante una red de telemetría.

Se ha estipulado de igual forma una serie de pasos como un sistema eficaz ante la emisión de alertas tempranas. En principio, se hace la observación de la alerta temprana emitida por el hardware y la notificación pública de la misma. Se tiene una planificación eficaz mediante la incorporación de información documentada que sea fiable, en el que se describa las tomas de decisiones a realizar, los roles otorgados a cada miembro, el mensaje a transmitir, entre otros.

Seguidamente se explica y socializa con la comunidad, las medidas ante la posible ocurrencia de este tipo de hechos. Finalmente, se brinda como educación pública, mapas de peligro / evacuación, notas de prensa, folletos / posters, reuniones, recursos de Internet, etc., con la finalidad de lograr la mejor comprensión de los detalles del sistema de alerta y el rango de respuesta. Los dos últimos pasos contemplan la ejecución de pruebas y la realización de una evaluación de la efectividad de la implementación deseada, en el que se determina el cumplimiento o no de las expectativas y objetivos de la implementación (Leonard, y otros, 2008).

Asimismo, se revisó el artículo científico: *Scientific and public responses to the ongoing volcanic crisis at Popocatepetl Volcano, Mexico: Importance of an effective hazards-warning System* en el cual se determinó que los fenómenos naturales pueden causar desastres cuando una sociedad no puede prever las manifestaciones peligrosas y adoptar las medidas adecuadas para reducir su vulnerabilidad. Una de las causas de falla de este tipo, es la falta de una percepción constante de los peligros planteados por el cambio de una erupción en curso, es decir, con miembros de la comunidad científica, las autoridades de Protección Civil y el público en general que tenga divergentes nociones acerca de lo que está ocurriendo y lo que puede suceder. En el Volcán Popocatepetl, se ha implementado un sistema de alerta de riesgos, llamado el Volcánica *Traffic Alert System Light* (VTLAS), que es un protocolo de comunicación básico que traduce la amenaza del volcán en siete niveles de preparación para las autoridades de gestión de emergencias, pero que son sólo tres niveles de alerta para el público (código de color -amarillo- rojo-verde). La situación cambiante de la amenaza del volcán se representa como los escenarios más probables de acuerdo con las opiniones de un comité científico oficial de analizar todos los datos disponibles. La aplicación de la VTLAS está destinada a reducir la posibilidad de interpretaciones ambiguas de los niveles intermedios por el peligro de extinción de la población. Aunque el VTLAS es imperfecto y no ha resuelto todos los problemas involucrados en la comunicación de masas y la toma de decisiones durante una crisis volcánica, marca un avance significativo en la gestión de las crisis volcánicas en México (De la Cruz-Reyna & Tilling, 2007).

El Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional vio la necesidad de reforzar e instrumentar con nueva tecnología las redes que se encargan de monitorear los volcanes de Cotopaxi y Tungurahua; razón que los llevó a la instalación y diseño de estaciones y equipos de monitoreo, basados en tarjetas electrónicas y software para el almacenamiento y procesamiento de la información.

En el volcán Cotopaxi se instaló un equipo DOAS, el cual permite tener una mayor cobertura de la emisión de SO₂, abarcando el norte, noroccidente y occidente, en las plumas volcánicas del volcán. Con ello se logró realizar mediciones de estas emisiones mediante el uso de tecnología móvil. Por su parte, el volcán Tungurahua tiene 4 estaciones DOAS para medición de SO₂, Huayrapata, Bayushig y Pillate y Runtún. Con los datos obtenidos, se generan y analizan escenarios de actividad volcánica gracias a la correlación de los datos de flujo de SO₂ con la sismicidad y la deformación. De igual forma, se ha realizado el monitoreo de las fuentes termales asociadas a los dos volcanes.

Con el fin de fortalecer la Red de Información existente, se instaló instrumentación adicional de tecnología avanzada en los volcanes Cotopaxi y Tungurahua, constituida por instrumentación con equipos GPS de medición continua, como lo eran los inclinómetros superficiales y subterráneos. La medición de dichas deformaciones volcánicas permiten conocer el movimiento del magma dentro del volcán, sus volúmenes y su posible tasa de ascenso hacia la superficie (Orellana, 2011).

2.2 VOLCÁN GALERAS Y LA ZONA DE INFLUENCIA

El Volcán Galeras, en el Departamento de Nariño, es catalogado como el volcán más activo del país; ya desde el año de 1500, se tienen registros de la actividad sísmica del volcán; a partir de los cuales se ha obtenido un comportamiento predictivo sobre las direcciones que toman los residuos de cada actividad. Las principales poblaciones afectadas al Oeste son Consacá, Bomboná y Sandoná. Al Norte Genoy, Nariño y La Florida, como se puede apreciar

en la figura 4. Por último al Este, se establece que la población más afectada es la ciudad de Pasto.

La erupción del 27 de agosto de 1936, fue considerada la más importante de los últimos 500 años, donde el volcán arrojó bloques de hasta 3 kilómetros junto con flujos piroclásticos que bajaron por toda la ladera Norte del Volcán.

Uno de los eventos más conocidos sucedió el día 14 de enero de 1994, donde fallecieron nueve personas, seis de ellos científicos, dos estudiantes y un padre de los estudiantes, quienes se encontraban en dicho lugar realizando estudios sobre el complejo Volcánico Galeras. Estas personas se encontraban en el cráter cuando se produjo una emisión de cenizas y vapor que causó la tragedia. A parte de ello, otras seis personas resultaron lesionadas.

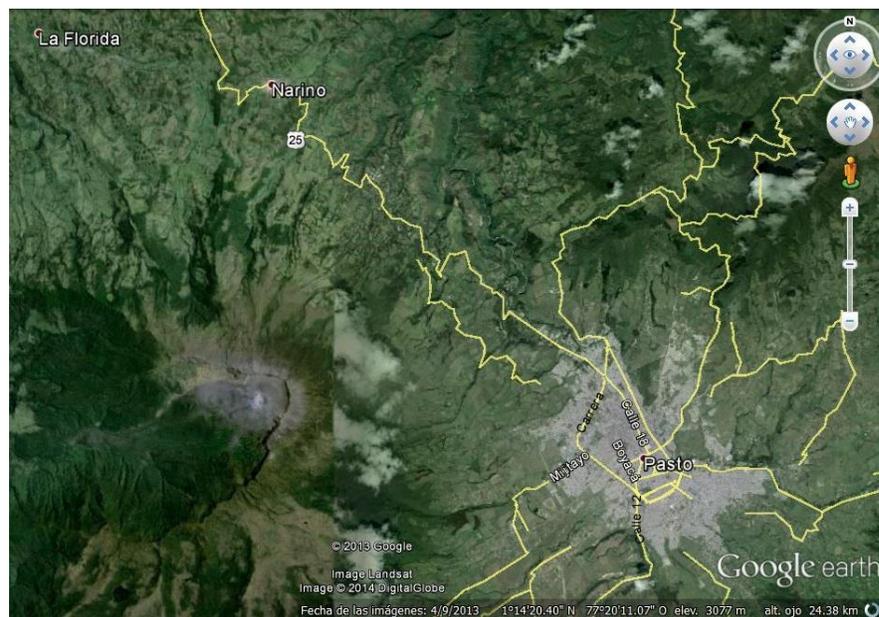


Figura 4. Volcán Galeras

El corregimiento de Mapachico, Genoy y el sector de Terrazas de Briceño en Pasto y la cabecera urbana del municipio de la Florida, se encuentran parcialmente en la denominada zona de amenaza volcánica alta, con un total de 5424 habitantes en riesgo. Además de ello, también incluye los valles que corresponden a las quebradas de Midoro, Mijitayo, San Francisco, Los Saltos y San José.

En la zona catalogada como la zona de amenaza volcánica media se encuentran los corregimientos de Nariño, parte de la cabecera urbana del municipio de La Florida y un pequeño sector de Pasto, los cuales se ubican sobre las microcuencas de las quebradas Mijitayo, Midoro y Los Saltos.

La zona de amenaza volcánica baja se encuentra principalmente compuesta por los municipios de Sandoná, Consacá, El Tambor, Chachagui, Tangua, Ancuya y gran parte de la ciudad de Pasto.

La zonificación de amenazas se realizó de acuerdo a la cercanía con el cráter activo, siendo la de mayor porcentaje la ZAVA, con una probabilidad estimada del 20% que contempla una severidad de 5, en la cual hay altas probabilidades de producirse flujos piroclásticos, flujos de lava, lodo secundario, proyectiles balísticos, onda de choque y alta concentración de gases tóxicos, la zona en comento, corresponde al sector principalmente expuesto (pero no únicamente) a flujos piroclásticos que se mueven a gran velocidad por las laderas del volcán. Por los caños y fondo de los valles viaja la parte más densa y gruesa del flujo y hacia las laderas de los valles y encima del flujo viaja la nube propiamente dicha, igualmente peligrosa. Estos flujos han sido catalogados con severidad 5, lo que quiere decir destrucción total sin posibilidades de supervivencia.

La siguiente clasificación ZAVM comprende probabilidades entre el 10 y 20% de que sucedan eventos con severidad de 3 a 5, con 200 m de ancho de los límites de la zona alta. Tiene la característica de presentar flujos piroclásticos mas grandes pero de menor probabilidad, ondas de choques y flujos de lodos secundarios a través del cauce de los ríos Pasto, Barranco, Chacaguaico, Azufral y Guaitara.

Por último, la ZAVB establece la caída de ceniza, ondas de choque y depósitos de caída piroclástica, con probabilidades inferiores al 10% y con índices de severidad igual o mayor a 2. Estos depósitos tienen efectos nocivos sobre las personas, animales, cultivos y techos de las

viviendas, afectando en igual medida los acueductos, redes eléctricas, redes telefónicas y la aeronavegación.

A partir del año 2005, el gobierno de entonces, ordenó la evacuación de cerca de 9000 habitantes, quienes residían en zonas aledañas al volcán Galeras ante una inminente erupción, cubriendo las poblaciones rurales de Pasto, La Florida, Nariño y Sandoná.



Figura 5. Albergues. Fuente: (Contreras, 2006)

Los albergues existentes y la capacidad de cada uno para el manejo del personal se presentan en la tabla 3.

COBERTURA	ALBERGUE	OCUPACIÓN (ABRIL 2006)
GENOY MAPACHICO	EL Vergel	1069 personas
	El potrero	
	Potreros	
	Fontibón	
	Pullitopamba	
	Rosal	
	San Juan de Anganoy	
	Postobón	
NARIÑO	La Lomita	140 familias 500 personas
	Plazuela	600 familias
	Rodeo	
	Bella vista	
	Pachindó	
TOTAL		

Tabla 3. Capacidad de los albergues. Fuente: (Contreras, 2006)

El plan de ordenamiento territorial (POT) para la ciudad de Pasto contempla mejorar la seguridad de los asentamientos humanos ante los riesgos naturales, sustentándose en tres niveles de actuación: regional, subregional y local. De igual forma, se clasificó este tipo de suelo como de protección, comprendiendo las áreas de amenazas y de riesgo mitigable. Por otra parte, se crearon acciones estratégicas ante posibles amenazas, para lo cual se estableció el Plan Parcial de prevención y mitigación para las localidades de Mijitayo y Briceño.

Los niveles de actuación subregional contemplan la ciudad de Pasto y su interrelación con los municipios cercanos al volcán como lo son La Florida, Sandoná, Consacá y Yancuaquer. En el orden local, se contempla el área urbana y rural, el sector ecoturístico; en los que se incluyen además alertas o subsistemas ante amenazas naturales, en el caso de deslizamientos, erosión, inundaciones y amenazas antrópicas como incendios forestales (Contreras, 2006).

Por lo anterior, se entiende que la zona de mayor peligro para las poblaciones y sus inmuebles, sin considerarse una zonificación por Riesgo, es la Zona de Amenaza Volcánica Alta “ZAVA” y Media “ZAVM”, por lo cual se establece el área de estudio en función de estas zonas.

2.2.1 Metodología Actual de Vigilancia del Volcán Galeras

El SGC ha creado una red de observatorios en todo el territorio nacional; en el caso del Volcán Galeras cuenta con un Observatorio Vulcanológico y Sismológico ubicado en la ciudad de Pasto (OVSP), el cual se encarga de la vigilancia e investigación de los centros volcánicos activos que conforman el denominado “segmento sur” y que incluyen los volcanes Chiles, Cerro Negro, Cumbal, Azufral, Galeras y Doña Juana.

Los métodos y el tipo de información que se obtiene mediante su uso, son: Geofísica, a través de la cual se estudian los sismos generados por la actividad volcánica, utilizando para ello equipos portátiles y telemétricos; en igual forma, está la geodesia la cual permite conocer las deformaciones en la superficie del edificio volcánico debido a su actividad interna,

requiriendo para tal efecto, los métodos de inclinometría seca, inclinometría electrónica, líneas cortas de nivelación, medidas electrónicas de distancias y sistemas de posicionamiento global (GPS), cuyas mediciones se realizan sobre el volcán.

También se utiliza la Geoquímica a través de la cual se realiza el estudio de la composición química de La Tierra y del comportamiento de los elementos en ella, por ende se recurre a muestreos de aguas termales y gases volcánicos. Otra herramienta útil para la obtención de información es la Geología, que estudia las rocas y depósitos originados en eventos eruptivos pasados y actuales, siendo posible la elaboración de mapas de amenaza volcánica. Y finalmente están la electrónica, comunicaciones, informática y otras que permiten llevar a cabo la obtención de la información necesaria para la vigilancia y seguimiento del volcán.

Dentro del seguimiento de la actividad volcánica se ha establecido diferentes niveles de actividad, de acuerdo a la siguiente tabla:

 Niveles de Actividad			
Nivel	Número	Estado de Actividad	Escenario Posible
	IV	Volcán activo y comportamiento estable.	El volcán puede estar en un estado base que caracteriza el periodo de reposo o quietud, o registrar actividad sísmica, fumarólica u otras manifestaciones de actividad en superficie que afectan fundamentalmente la zona más inmediata o próxima al centro de emisión, por lo que no representa riesgo para las poblaciones y actividades económicas de su zona de influencia.
	III	Cambios en el comportamiento de la actividad volcánica.	Variaciones en los niveles de los parámetros derivados de la vigilancia que indican que el volcán está por encima del umbral base y que el proceso es inestable pudiendo evolucionar aumentando o disminuyendo esos niveles. Pueden registrarse fenómenos como enjambres de sismos, algunos de ellos sentidos; emisiones de ceniza; lahares; cambios morfológicos; ruidos; olores de gases volcánicos entre otros, que pueden alterar la calidad de vida de las poblaciones en la zona de influencia volcánica.
	II	Erupción probable en término de días o semanas.	Variaciones significativas en el desarrollo del proceso volcánico derivadas del análisis de los indicadores de los parámetros de vigilancia, las cuales pueden evolucionar en evento(s) eruptivo(s) de carácter explosivo o efusivo.
	I	Erupción inminente o en curso.	Proceso eruptivo en progreso cuyo clímax se puede alcanzar en horas o evento eruptivo en curso. La fase eruptiva sea explosiva o efusiva puede estar compuesta de varios episodios. El tiempo de preparación y respuesta es muy corto.

Tabla 4. Niveles de Actividad del Volcán Galeras. Fuente: SGC

A través de la inspección en campo se logró establecer que las comunicaciones son deficientes, en razón a que no existen los suficientes radios de comunicaciones y la ubicación de la población rural es dispersa; es así como se hace necesario avanzar la conformación de una infraestructura de Sistema de Alertas Tempranas SAT, para el volcán Galeras, la cual puede fundamentarse en el uso de la tecnología móvil celular.

2.2.2 Desarrollo Legislativo de Gestión del Riesgo en Colombia

La Ley 1341 de 2009 “Por la cual se definen principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones TIC, se crea la Agencia Nacional de Espectro y se dictan otras disposiciones”, tiene por objeto: “[...] determinar el marco general para la formulación de las políticas públicas que regirán el sector de las tecnologías de la información y las comunicaciones, su ordenamiento general, el régimen de competencia, la protección al usuario, así como lo concerniente a la cobertura, la calidad del servicio, la promoción de la inversión en el sector y el desarrollo de estas tecnologías, el uso eficiente de las redes y del espectro radioeléctrico, así como las potestades del Estado en relación con la planeación, la gestión, la administración adecuada y eficiente de los recursos, regulación, control y vigilancia del mismo y facilitando el libre acceso y sin discriminación de los habitantes del territorio nacional a la sociedad de la información” (Ley 1341, 2009).

Dentro de los 8 principios orientadores de la ley, tiene principal trascendencia el tercero que hace alusión al uso eficiente de la infraestructura y de los recursos escasos, el cual nos habla de la necesidad de realizar el uso eficiente de la infraestructura de redes de comunicaciones y el aprovechamiento de los recursos; y el principio octavo que se refiere a la masificación del Gobierno en Línea, el cual postula que: “las entidades públicas deberán adoptar todas las medidas necesarias para garantizar el máximo aprovechamiento de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en el desarrollo de sus funciones” (Ley 1341, 2009), dejando ver la responsabilidad de la instituciones del Estado y que para el caso en la

implementación de sistemas de alerta eficientes a través de las tecnologías de la información y las comunicaciones existentes.

Todos los acápite de la presente ley dejan ver la necesidad que tiene Colombia para avanzar en las TICs y define las responsabilidades de las entidades públicas, privadas y de todas las personas en el país en este tema, al igual que se considera importante para la presente investigación la designación de una contraprestación por el uso del espectro radioeléctrico, definición de políticas de regulación, vigilancia y control de las TICs y la creación de la Agencia Nacional del Espectro, sin dejar de mencionar específicamente el artículo 8 de la Ley 1341 de 2009, el cual reza: **“En casos de atención de emergencia, conmoción interna y externa, desastres, o calamidad pública**, los proveedores de redes y servicios de telecomunicaciones deberán poner a disposición de las autoridades de manera gratuita y oportuna, las redes y servicios y darán prelación a dichas autoridades en la transmisión de las comunicaciones que aquellas requieran. En cualquier caso se dará prelación absoluta a las transmisiones relacionadas con la protección de la vida humana. Igualmente darán prelación a las autoridades en la transmisión de comunicaciones gratuitas y oportunas para efectos de prevención de desastres, cuando aquellas se consideren indispensables. Los proveedores de redes y servicios de telecomunicaciones deberán suministrar a las autoridades competentes, sin costo alguno, la información disponible de identificación y de localización del usuario que la entidad solicitante considere útil y relevante para garantizar la atención eficiente en los eventos descritos en el presente artículo” (Ley 1341, 2009) (Negrillas fuera de texto).

Dejando entrever la obligación que tiene el Estado para implementar y justificar el uso de toda esta infraestructura al servicio de la gestión del riesgo de desastres.

Posteriormente, en Colombia, el Congreso de la República, acertadamente expide la Ley 1523 de 2012, la cual permite avanzar considerablemente en los elementos jurídicos que respaldan la gestión del riesgo en el país.

En el artículo 6 de la norma en estudio, se encuentra que dentro de los objetivos específicos del Sistema Nacional, establece: “Desarrollar, mantener y garantizar el proceso de manejo de

desastres mediante acciones como: la Preparación para la respuesta frente a desastres mediante organización, sistemas de alerta, capacitación, equipamiento y entrenamiento, entre otros (Ley 1523, 2012). Lo cual permite a las diferentes organizaciones del Estado prepararse frente a la ocurrencia de un posible desastre, teniendo en cuenta la importancia de los SAT, y aunque son evidentemente los pocos avances en la conformación de sistemas de alerta temprana en Colombia, especialmente por fenómenos volcánicos, y menos aún la utilización de las tecnologías de la información y la comunicaciones, la misma ley nos da herramientas con las cuales permiten iniciar el proceso de alertas tempranas mediante telefonía móvil celular y exigir el apoyo institucional, siendo que los artículos 7 y 45, determinan la obligatoriedad en la creación de sistemas de información; dando una completa responsabilidad a los gobiernos locales y regionales para la inclusión y manejo de la gestión integral del riesgo en sus territorios, que solo puede hacerse de forma efectiva a través de herramientas técnicas de SIG.

Por otra parte, el artículo 82 de la norma *sub examine* establece: “Todos los proveedores de redes y servicios de telecomunicaciones están obligados a permitir el acceso y uso de sus redes e infraestructuras al operador que lo solicite en forma inmediata con el fin de atender las necesidades relacionadas con los motivos de declaratoria de situación de desastre para garantizar la continuidad en la provisión de los servicios y redes de telecomunicaciones. De igual manera, todo operador o proveedor de servicios públicos que tenga infraestructura estará obligado a permitir el acceso y uso de la misma en forma inmediata” (Ley 1523, 2012).

En efecto, nos encontramos frente a una norma de obligatorio cumplimiento que proporciona las herramientas jurídicas para incluir a las tecnologías de la información y las comunicaciones en la gestión del riesgo, que permita para el caso prevenir la pérdida de vidas humanas.

2.2.3 Las TICs en Colombia

El panorama y situación actual de las tecnologías de la información y las comunicaciones hasta el año 2012, determina los lineamientos de análisis utilizados para la investigación, en cuanto al uso de la tecnología móvil celular.

Colombia se encuentra sistemáticamente en la lista de países con mayor desarrollo en el mundo en el sector de las TICs en el año 2012, ubicándose entre los 5 países de mayor desarrollo en Latinoamérica, de acuerdo a los indicadores de NRI, *eReadiness*, Nokia CSC, *Doing Business* y Banco Mundial ha establecido que: **“La telefonía móvil es el servicio con mayor penetración, con un número total de 46.200.421 de abonados en el mercado** (Negrillas fuera de texto). De los 46,6 millones de líneas de telefonía fija existe en Colombia, encontrando que el 81,65% son prepagadas y el 18,34 % corresponde a postpago. Entre los usos que los usuarios les dan a las redes de datos móviles por tecnologías se encontró que el servicio de datos móviles es uno de los servicios que mayor crecimiento ha tenido en el número de usuarios en el periodo comprendido entre el primer trimestre de 2010 y el cuarto trimestre de 2011 (Comisión de Regulación de Comunicaciones, 2012).

Con esto se evidencia que los dispositivos móviles que poseen los usuarios, son mayormente teléfonos celulares inteligentes con acceso a internet, con un rápido crecimiento en los teléfonos móviles 3G y 4G, lo cual demuestra que los usuarios se están interesando en adquirir dispositivos que les permitan acceder a las redes móviles y diferentes aplicaciones a mayores velocidades. En cuanto a sistemas operativos para dispositivos móviles, podemos observar en la figura 6 a continuación, los porcentajes de participación identificados para Colombia, de acuerdo a la Comisión de Regulación de Comunicaciones.

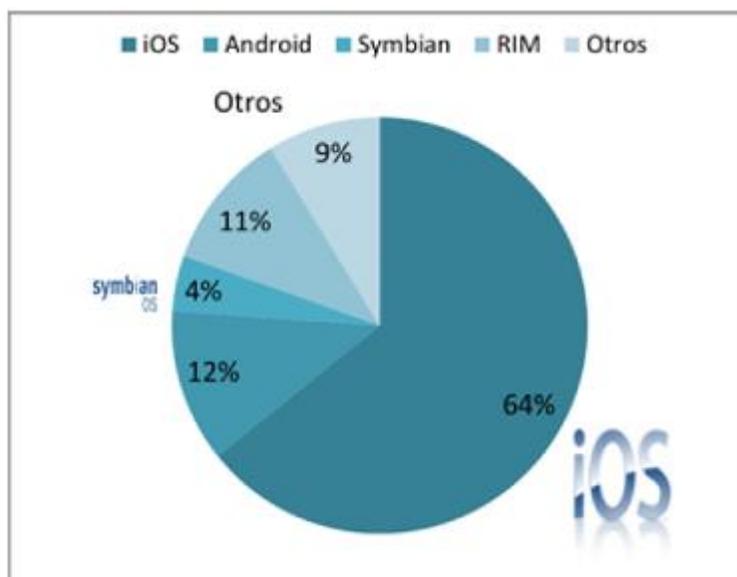


Figura 6. Distribución de uso de los sistemas operativos móviles. Fuente: Elaboración CRC, Informe TICs.

Se observa que el sistema *iOS de Apple* es el de mayor preferencia en el país, con un 64% del tráfico cursado a través de redes móviles, seguido por *Android* con el 11,9% y *RIM* con el 10,8%.

En cuanto a las tendencias en el uso de la tecnologías de la información y las comunicaciones, de acuerdo a la Gran Encuesta Integrada de Hogares (GEIH), la cual contiene un capítulo dedicado a la medición de: “los indicadores básicos de tenencia y uso de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) en hogares y por individuos”, en donde se miden tanto para las cabeceras, como para el resto la accesibilidad que tienen las familias colombianas a los bienes tecnológicos necesarios para hacer uso de las TIC, existe una gran brecha tecnológica entre cabecera frente al resto (población rural), lo cual podemos observar en la figura 7.

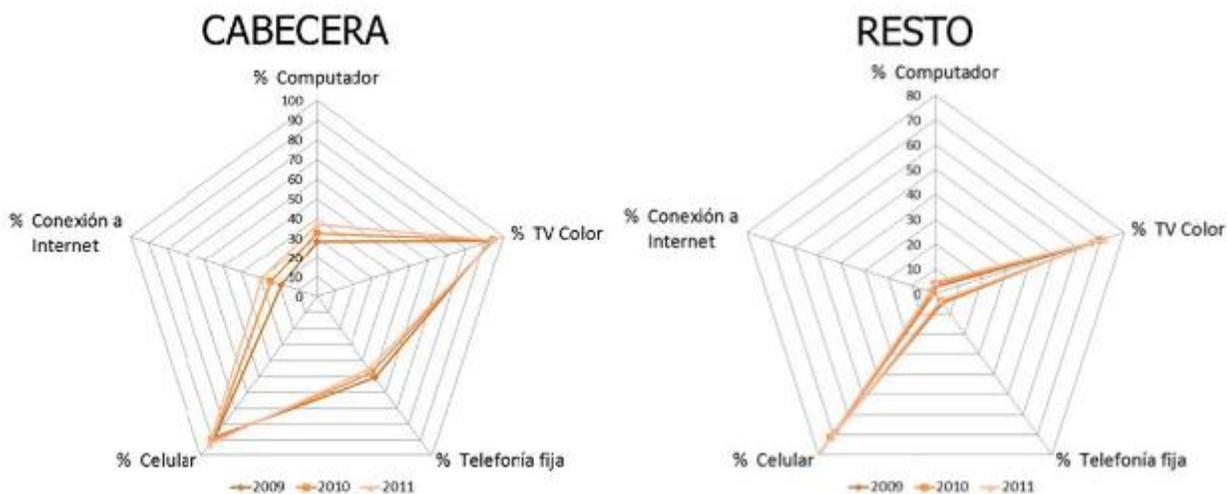


Figura 7. Tendencia de bienes para acceder a las TIC. Fuente: DANE Gran Encuesta Integrada de Hogares, elaboración CRC.

Con este gráfico se puede observar que las tendencias de bienes para acceso a las TIC se hacen principalmente y en constante crecimiento hacia la tecnología móvil celular, proporcionalmente tanto en las cabeceras municipales como el sector rural (resto), con una penetración del 92,5% en cabecera y de 78% en resto, a diferencia de las demás TIC, las cuales demuestran un crecimiento desde el año 2009, principalmente en las cabeceras o centros poblados. El dinamismo del sector TIC se ve reflejado en el crecimiento en ingresos TIC para el año 2011 con respecto al año 2010, el cual fue de 19,7%, al pasar de un consolidado de ventas de \$25.486.968 millones en el 2010 a \$30.507.901 millones en el 2011. De igual manera, las utilidades operacionales crecieron en un 33,6% al pasar de \$4.516.518 millones en 2010 a \$6.034.739 millones en 2011 (Comisión de Regulación de Comunicaciones, 2012).

De acuerdo con la revisión de Reporte de Industria TIC - 2012, elaborado por la Comisión de Regulación de las comunicaciones, se concluye que: la población en Colombia para el año 2012 es de 47,7 millones habitantes según el DANE y el un número total de abonados en telefonía móvil celular es de 46.2 millones, podemos deducir que el 97,8 de la población en Colombia tienen servicio de celular.

Del número Total de abonados en telefonía móvil celular (46.2 millones), se establece que el 42% al 2012 han tenido acceso a servicio de datos móviles (internet), a través de terminales 2G (aprox. el 70%) 3G (aprox. el 28 %) y 4G (aprox. El 2%).

Los sistemas operativos usados mayormente en Colombia para la tecnología móvil celular, son principalmente iOS de Apple y Android, este último con gran crecimiento en los últimos 2 años, con un cubrimiento conjunto aproximado del 75 %. Por consiguiente el acceso a las TIC en Colombia se hace en un gran porcentaje a través de la Tecnología Móvil Celular.

3. METODOLOGÍA

Para la investigación se han fijado diferentes actividades con el propósito de cumplir los objetivos planteados, determinados a continuación en la figura 8:

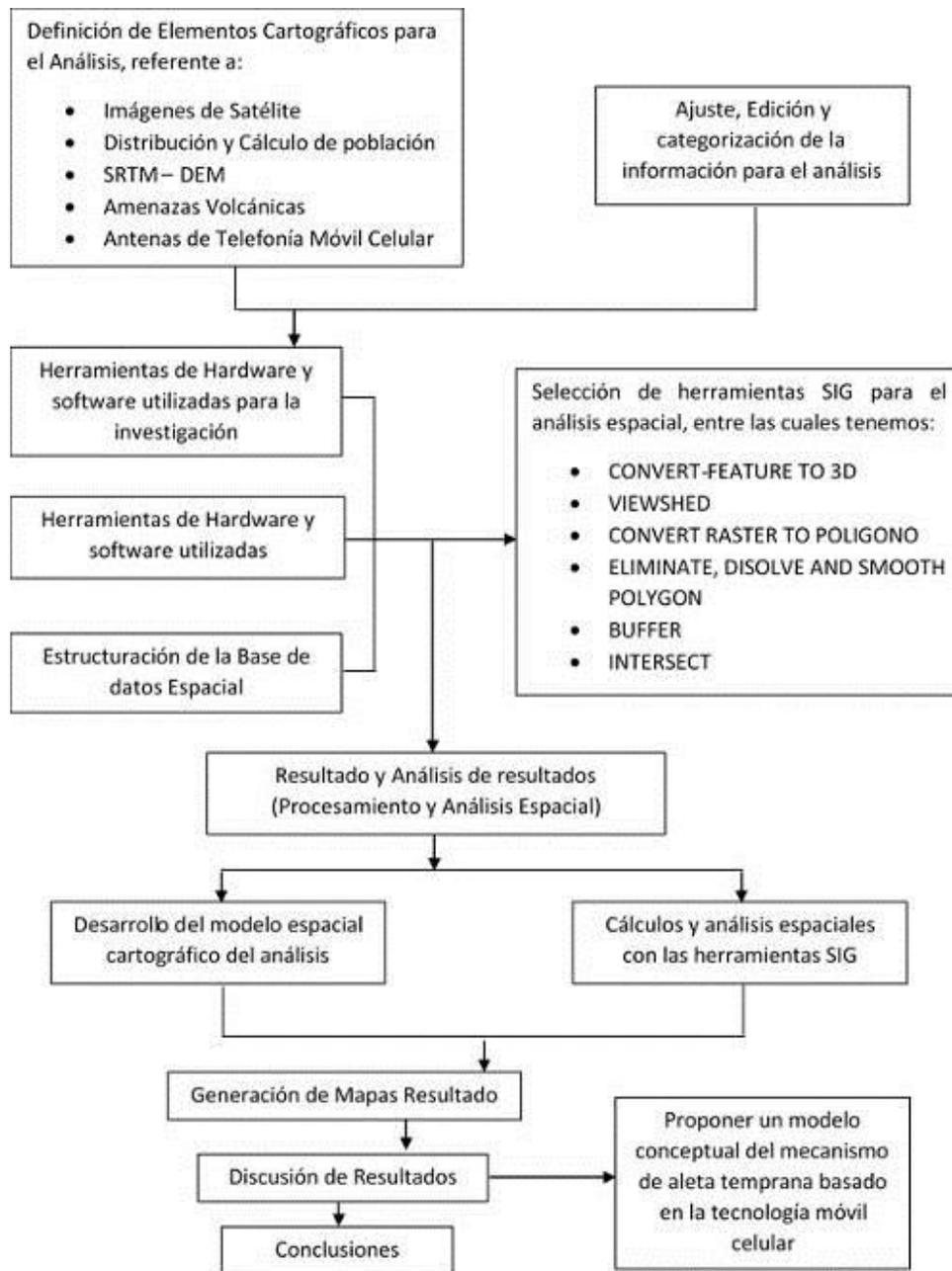


Figura 8. Flujograma Metodológico

3.1 ELEMENTOS CARTOGRÁFICOS

3.1.1 Imágenes Satelitales

Siendo que en internet se encuentran a nivel gratuito imágenes raster para su procesamiento, principalmente a escalas generales, nos dirigimos al servidor *Global Land Cover Facility*, en la página la Universidad de Maryland en Estados Unidos para buscar una imagen satelital a la mejor resolución y sin nubosidad, existente para el área de estudio, proceso que se puede observar en la figura 9.

ID	Status	Date	Sensor	Resolution	Location
028-378	Online	2003-02-19	ETM+	USGS L10	Colombia
034-487	Online	2003-10-17	ETM+	USGS SLC-Off, L1G	Colombia
042-825	Online	2001-08-24	ETM+	EarthSat Ortho, GeoCover	Colombia
073-141	Online	2004-09-01	ETM+	USGS SLC-Off, L10	Colombia
073-142	Online	2004-10-19	ETM+	USGS SLC-Off, L1G	Colombia
080-050	Online	2005-11-23	ETM+	USGS SLC-Off, L1G	Colombia
080-089	Online	2006-10-25	ETM+	USGS SLC-Off, L10	Colombia
081-512	Online	2007-01-29	ETM+	USGS SLC-Off, L1G	Colombia
207-054	Online	2001-08-24	ETM+	USGS Ortho, GLS2000	Colombia
215-785	Online	2005-11-23	ETM+	USGS Ortho, GLS2005	Colombia
215-786	Online	2007-01-29	ETM+	USGS Ortho, GLS2005	Colombia
238-073	Online	2001-08-24	ETM+	GLCF Surface Reflectance	Colombia
246-931	Online	2005-11-23	ETM+	GLCF Surface Reflectance	Colombia
246-932	Online	2007-01-29	ETM+	GLCF Surface Reflectance	Colombia

Figura 9. Volcán. Fuente: *Global Land Cover Facility*

Se encuentra que la imagen satelital *Lansat TM+*, identificada con el código *WRS-2, Path 009, Row 059* del 23 de Noviembre del año 2005, presenta mayor claridad y menor nubosidad para el área de estudio, razón por la cual se procede a su descarga. La imagen es procesada para realizar una composición en falso color y recorta para el área de estudio, esta imagen se utiliza como información de referencia y para identificar la distribución de las concentraciones de población y los centros poblados en el área de estudio, lo que podemos ver en la figura 10.



Figura 10. Cráter del Volcán Galeras. Fuente: *Global Land Cover Facility*

3.1.2 Distribución y cálculo de población para el área de estudio

Con la imagen satelital y la cartografía básica descargada, se construye la cobertura en formato *shapefile* de la distribución de la población en el área de estudio y calculamos su cantidad utilizando la estadística sobre las proyecciones de población por municipio en Colombia, elaborada por el departamento administrativo nacional de estadística DANE, que para el año 2012 establece la población de acuerdo a la tabla 5, para los municipios con influencia sobre el área de estudio.

COLOMBIA. PROYECCIONES DE POBLACIÓN MUNICIPALES POR ÁREA				
CODIGO MUNICIPIO	MUNICIPIO	CABECERA (CENTRO POBLADO)	RESTO (POBLACION RURAL)	TOTAL POBLACION
52001	Pasto	349.379	73.898	423.277
52207	Consacá	1.795	7.879	9.674
52381	La Florida	1.833	8.120	9.953
52480	Nariño	3.524	1.133	4.657
52683	Sandoná	11.628	13.960	25.588
52788	Tangua	2.292	7.711	10.003
52885	Yancuaquer	2.702	7.976	10.678
TOTAL		373.153	120.677	493.830

Tabla 5. Población municipal. Fuente: DANE

A partir de esta información, se procede a realizar el cálculo específico de población para el área de estudio, calculando inicialmente el área o porcentaje que se tiene de cada municipio en cuanto a su cabecera y el resto en el área específica de estudio, realizando un cruce espacial entre los municipios y el área de estudio, como se puede ver en la figura 11.

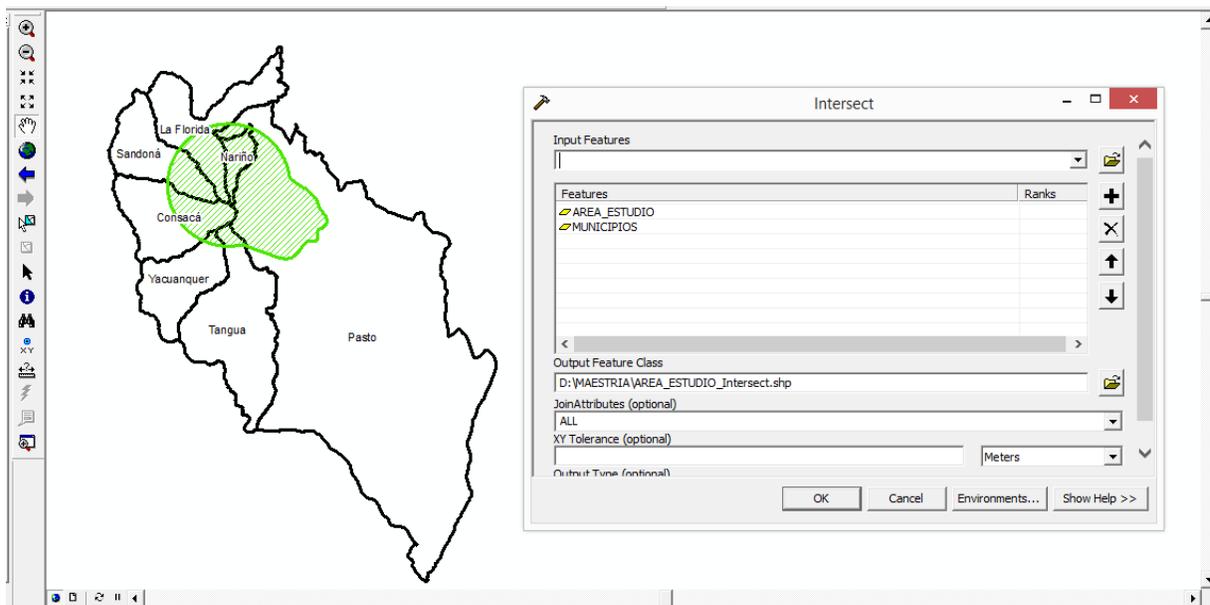


Figura 11. Imagen de cruce espacial entre municipios y área de estudio

Una vez realizado el cruce de la información, se realiza el cálculo de áreas respectivo, obteniendo la extensión de cada municipio sobre el área de estudio, dividida en el centro poblado y en el resto, que se observa en la tabla 6.

MUNICIPIO	Total Área por Municipio	Total área en zona de estudio	Porcentaje de zona de estudio sobre Área Total	Área de centro poblado en zona de estudio	Porcentaje de zona de estudio (Centro Poblado) sobre Área Total	Porcentaje de zona de estudio (Centro Poblado) sobre Área Total del centro poblado	Área Rural en zona de estudio	Porcentaje de zona de estudio (Sector Rural) sobre Área Total
Pasto	122.173	14.406	11,79	2.661	2,18	100,00	11.745	9,61
Consacá	12.114	3.790	31,29	-	-	-	3.790	31,29
La Florida	13.562	3.563	26,27	55	0,41	100,00	3.508	25,87
Nariño	2.593	2.583	99,59	27	1,05	100,00	2.556	98,54
Sandoná	10.080	2.858	28,35	-	-	-	2.858	28,35
Tangua	20.784	740	3,56	-	-	-	740	3,56
Yancuaquer	10.091	314	3,11	-	-	-	314	3,11

Tabla 6. Cálculos de áreas en zona de estudio (hectáreas)

De acuerdo a los porcentajes de área de cada municipio en la zona de estudio, en su área rural se calculó proporcionalmente la población para este sector, siendo que para los centros poblados de los municipios de Pasto, Nariño y La Florida, tenemos el 100% de su área en la zona de estudio, para los municipios de Sandoná, Consacá, Tangua y Yancuaquer, no tienen sus centros poblados para el área de estudio, razón por la cual solo se calcula la población en su sector rural, obteniendo los resultados mostrados en la tabla 7.

MUNICIPIO	Población en cabecera (centro poblado) según DANE	Porcentaje de zona de estudio (Centro Poblado) sobre Área Total del centro de estudio	Calculo de Población (centro poblado) en área de estudio	Población en resto (población rural) según DANE	Porcentaje de zona de estudio (Sector Rural) sobre Área Total	Calculo de Población (Sector Rural) en área de estudio	TOTAL POBLACION EN AREA DE ESTUDIO
Pasto	349.379	100,00	349.379	73.898	9,61	7.104	356.483
Consacá	1.795	-	-	7.879	31,29	2.465	2.465
La Florida	1.833	100,00	1.833	8.120	25,87	2.101	3.934
Nariño	3.524	100,00	3.524	1.133	98,54	1.116	4.640
Sandoná	11.628	-	-	13.960	28,35	3.958	3.958
Tangua	2.292	-	-	7.711	3,56	274	274
Yancuaquer	2.702	-	-	7.976	3,11	248	248
TOTAL POBLACION			354.736			17.266	372.002

Tabla 7. Distribución de población

Con lo anterior, se encuentra que la zona de estudio tiene un total aproximado de: 372.002 personas, de las cuales 17.266 pertenecen al sector rural, distinguida para ésta estudio como población dispersa y 354.736 personas en el sector urbano o centros poblados, distinguida en esta investigación como población conglomerada.

3.1.3 SRTM – DEM

Utilizando el mismo procedimiento y página para descargar la imagen satelital *Lansat*, se procede a descargar un SRTM (acrónimo en inglés SRTM, de *Shuttle Radar Topography Mission*) el cual contiene el Modelo de Elevación Digital DEM (ID 068-219 South América SW), a través del cual se representa la información topográfica del sector con un archivo digital raster que contiene la información de alturas por pixel, la información se descarga a una resolución digital de 30 metros por pixel; y es utilizado para genera un Modelo de Sombras del sector, con el propósito de indicar la topografía del volcán Galeras y realizar una mejor representación de los diferentes mapas, como se ve en la figura 12.

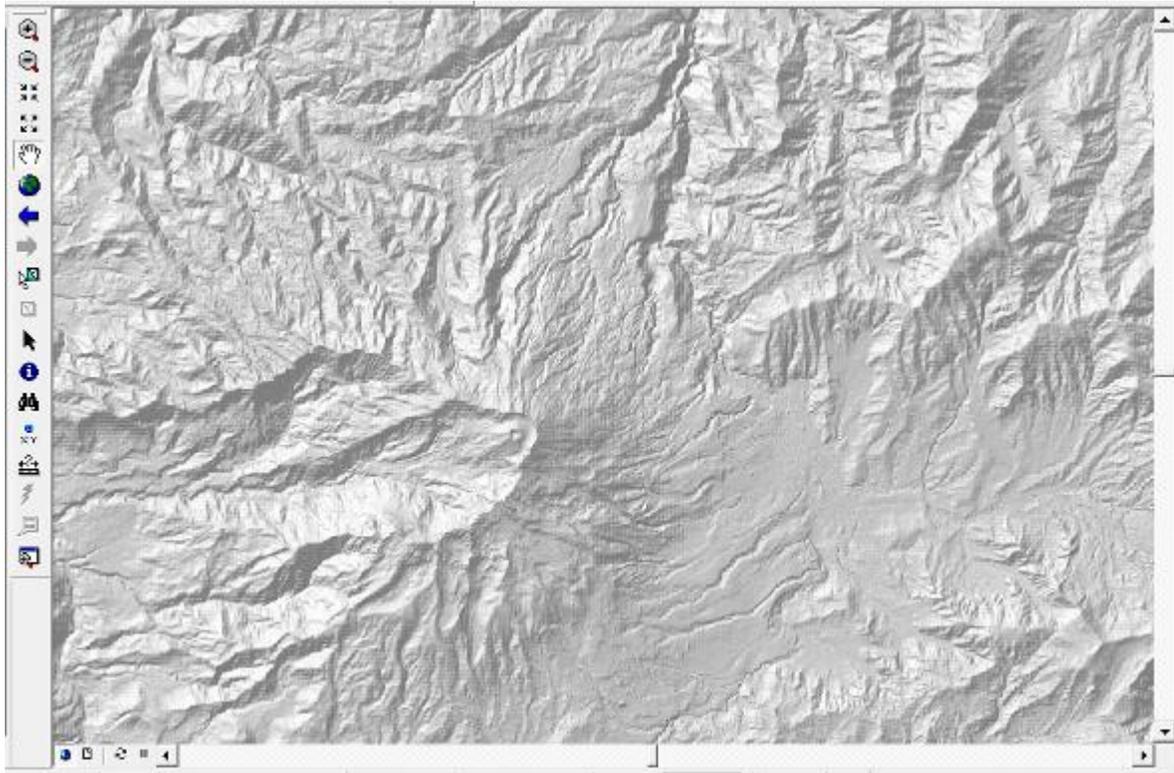


Figura 12. Modelo de Sombras

Dentro de sus usos este DEM, es principalmente utilizado para realizar el análisis espacial del cubrimiento del servicio de las antenas de celular en el área de estudio, lo cual veremos en el capítulo de procesamiento y análisis.

3.1.4 Mapa de Amenaza Volcánica

Siendo que uno de los principales propósitos de esta investigación, es analizar espacialmente la capacidad de emitir una Alerta Temprana sobre el área estudio a través de la Tecnología Móvil Celular, es principalmente importante conocer la valorización espacial de la amenaza volcánica por parte del SGC, en tal sentido, se realiza la descarga del mapa digital de amenazas volcánicas de la página oficial del SGC, donde se reporta que fue construido a escala 1:100.000.

3.1.5 Ubicación de antenas de telefonía móvil celular

Debido a que fue imposible conseguir la información con diferentes instituciones públicas y privadas encargadas de este tipo de datos en Colombia, ya que se considera información de carácter confidencial y restringida, fue necesario realizar el levantamiento de la información en terreno, con la ayuda de aplicación *OpenSignal* para *smartphone* y la imagen de satélite *Lansat* descargada y las disponibles en el servidor de *Google Earth*, realizando el siguiente procedimiento:

- a. Impresión de Imágenes: de satélite disponibles (*lansat - Google Earth*) del área de estudio, para trabajo de campo.
- b. Descargar de aplicación: *OpenSignal* en celular *Smartphone*.
- c. Configuración de aplicación: para que se indique la ubicación de antenas de telefonía celular. La aplicación indica cartográficamente la ubicación de las diferentes antenas, para todos los proveedores de este servicio en Colombia (*Claro, Movistar y Tigo*), de acuerdo al radio de influencia o alcance del dispositivo celular, como se indica en la figura 13.

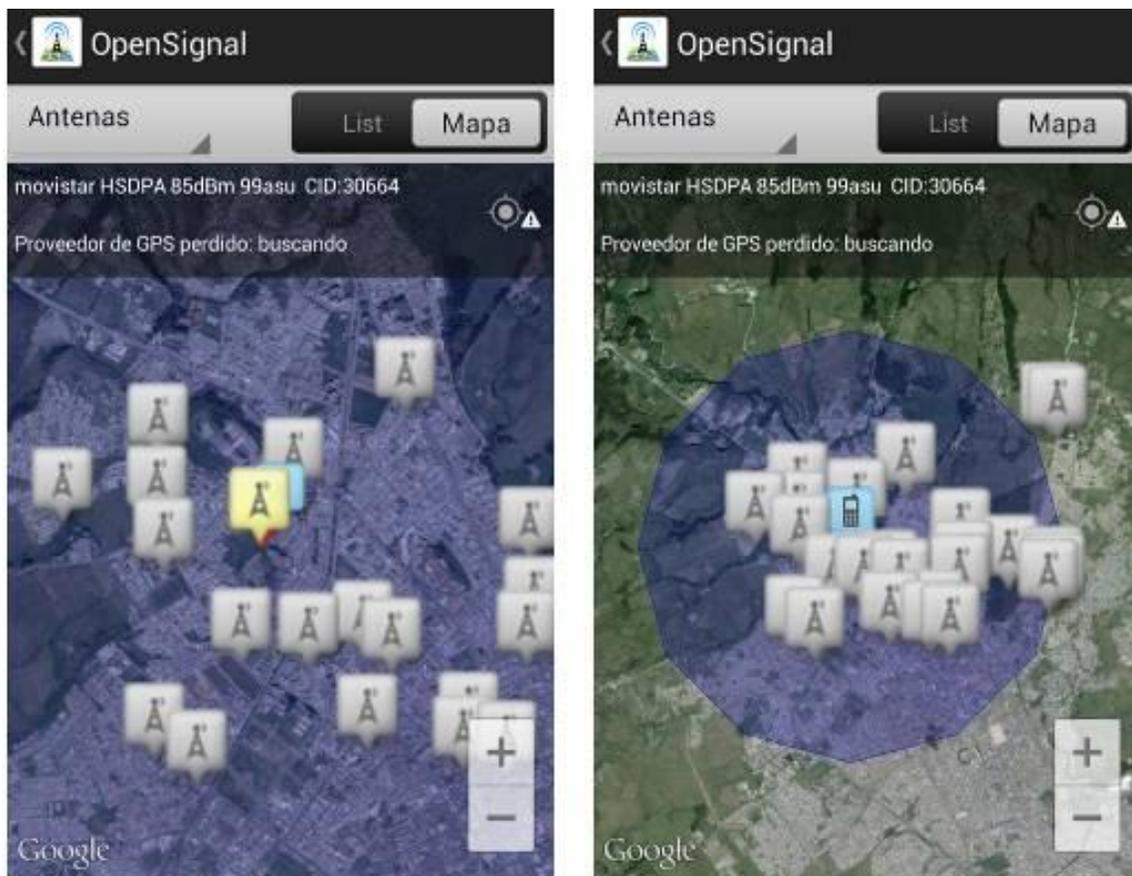


Figura 13. Distribución de Antenas.

- d. Trabajo de campo: con las imágenes impresas que sirvan de referencia y el dispositivo Android configurado, procedemos a realizar el desplazamiento al área de estudio, de acuerdo al cubrimiento del dispositivo móvil en indicar la ubicación de cada antena de telefonía celular, señalando en las imágenes impresas la ubicación estimada para cada antena, como se indica en la figura 14.

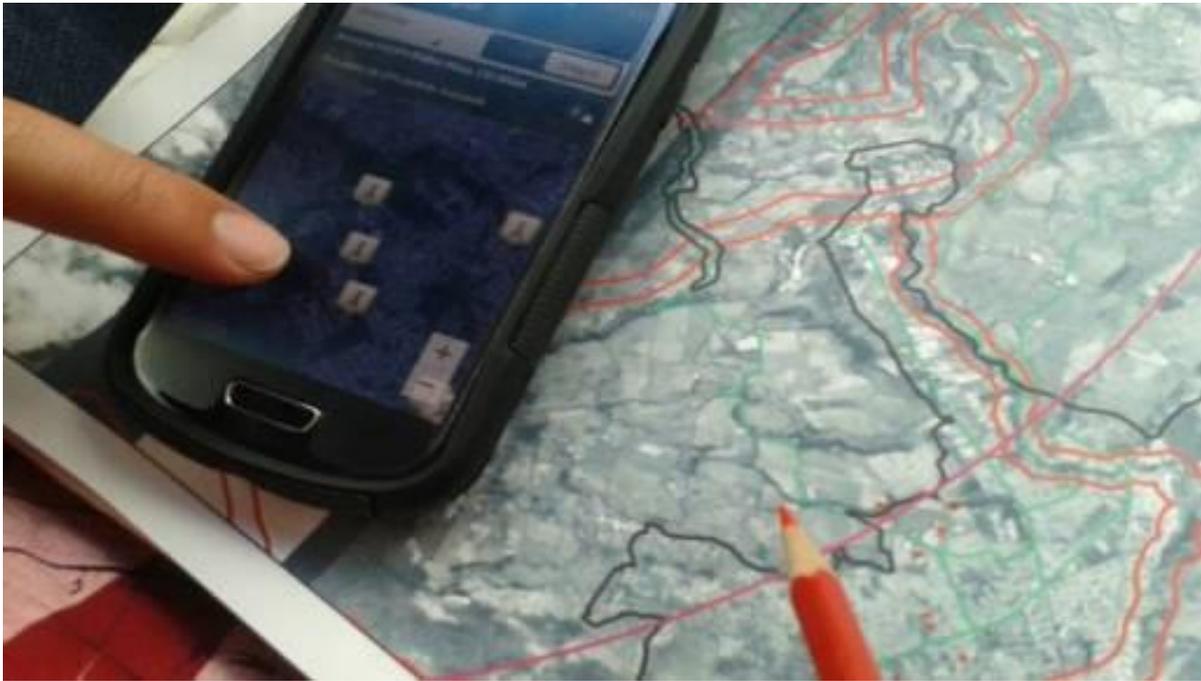


Figura 14. Estimación de ubicación. Foto: Cesar Iván Córdoba Ruíz. Tomada: 2 de octubre de 2013

- e. Digitalización de la información de campo: con la ubicación estimada de cada una de las antenas de telefonía celular sobre el área de estudio, se procede a realizar la digitalización de cada antena con una representación tipo punto, asignando una codificación a cada antena en el orden que se realiza el trabajo de campo y su identificación. Se estima que la información puede tener un margen de error de 10 metros.



Figura 15. Ubicación de antenas de telefonía celular en el área de estudio

Finalmente, habiendo obtenido la cobertura referente a la ubicación de las antenas de telefonía móvil celular en el área de estudio, con un total de 85 antenas, esta información es usada para realizar el respectivo análisis espacial.

3.2 AJUSTE, EDICIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE INFORMACIÓN PARA EL ANÁLISIS

Toda la cartografía mencionada anteriormente es ajustada y organizada para su representación y análisis, el sistema de referencia es de coordenadas planas, Magna Sirgas – Región 7, el cual

hace referencia al sistema estándar utilizado para Colombia con representación de coordenadas UTM.

3.3 HERRAMIENTAS DE HARDWARE Y SOFTWARE UTILIZADAS PARA LA INVESTIGACIÓN

a. Hardware

Para el correcto desarrollo de la investigación se utilizan diferentes recursos técnicos y operativos a nivel de Hardware, como lo son:

- Celular Smartphone
- Computador Portátil de Gama Alta
- GPS Garmin 62 csx

b. Software

- Microsoft Office 2007
- *OpenSignal*
- ArcGIS 10.1

3.4 BASE DE DATOS ESPACIAL DE LA INVESTIGACIÓN

Para estructurar una base de datos espacial, se procede a la asignación y ajuste de valores a cada una de las representaciones espaciales para cada cobertura, lo cual permite utilizar cualquier dato en el análisis espacial y representación de resultados, en tal caso, se usa el formato *shapefile* para la representación y base datos espacial de la investigación.

3.5 HERRAMIENTAS SIG UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS ESPACIAL

Siendo que el análisis espacial hace referencia al procesamiento o Geoprocesamiento de datos espaciales con el propósito de generar información de apoyo a la toma de decisiones en una región determinada, existen diferentes herramientas dentro del software SIG que pueden ser utilizadas para procesar información. Para el caso, se utiliza las siguientes herramientas existentes dentro del *Software ArcGIS* para el análisis y ajuste de información espacial.

a. Convert-feature to 3D

Herramienta para asignar valores de altura a cartografía tipo punto o línea a través de un DEM, con el propósito de utilizar dicha información en la operación *viewshed*, para el caso se usa para asignar el valor de altura la cobertura de antenas tipo punto.

b. Viewshed

Herramienta para realizar el cálculo de áreas visibles desde un punto determinado a través de un modelo de elevación digital DEM. Utilizada para conocer el área visible a cada antena de telefonía celular sobre nuestra área de estudio, teniendo en cuenta su respectiva altura.

c. Convert Raster to Poligono

Siendo que el resultado de proceso por *viewshed* se representa a nivel raster, es necesario convertir la información en polígonos, con el propósito de poder calcular áreas y cruzar la información con la demás cartografía del mismo tipo.

d. Eliminate, Dissolve and Smooth Polygon

Con el propósito de refinar o limpiar la información producto de la herramienta *viewshed*, ArcGIS tienen herramientas para generalizar la información de acuerdo a nuestros requerimientos, teniendo como resultado información a escalas más generales para un mejor análisis, por consiguiente, en la investigación se usa la herramienta *eliminate*: la cual permite eliminar los polígonos muy pequeños, previo cálculo y selección, los cuales se suman al vecino más próximo; Herramienta *dissolve*: la cual permite agrupar los polígonos con el mismo valor y la herramienta *smooth polygon*: la cual permite suavizar o eliminar la apariencia geométrica de los polígonos de acuerdo a nuestros requerimientos.

e. Buffer

Herramienta que permite crear un polígono de influencia a cualquier distancia alrededor del elemento de entrada. Utilizada para fijar el límite máximo de cubrimiento de las antenas de telefonía celular sobre nuestra área de estudio, estableciéndose 2 valores de buffer para cada antena, referente al área con y sin obstáculos Geográficos como montañas y edificios.

f. Intersect

Herramienta utilizada para cruzar o sobreponer los diferentes elementos cartográficos dentro del análisis espacial. Para el caso utilizado para analizar y establecer el área óptima del cubrimiento del servicio de telefonía celular en el área de estudio, y su relación con la población, de acuerdo a los resultados de obtenidos por las herramientas *viewshed* y *buffer*.

Siendo necesario para el análisis tener los datos promedio de la altura de las antenas de telefonía celular y la distancia promedio de cobertura del servicio por cada antena, hemos solicitado la colaboración del Ingeniero Electrónico Luis Gonzalo Hidalgo Castro, experto en telecomunicaciones – Consultor de *NOKIA-SIEMENS*, quien nos informa: “las torres en las que se montan las antenas tienen variaciones, dependiendo del terreno o las edificaciones, por ejemplo en un pueblo rural, si hay un cerro cercano, la altura de la torre no está importante ya

que la altura la da el cerro mismo, y el mismo caso para las ciudades donde las antenas se instalan en las cubiertas de los edificios, en el caso del cubrimiento del servicio por antenas, es importante tener en cuenta que en Colombia los operadores de celular manejan diferentes frecuencias, y el alcance geográfico depende de la frecuencia en cuanto a la tecnología 2G, 3G y 4G, pero a nivel general se podría tomar los siguientes valores para Nariño, para antenas direccionales (quienes emiten una señal proporcional en todas direcciones):

- Altura promedio de receptor de señal en las antenas ubicadas en el área de estudio: 30 metros
- Distancia promedio de la cobertura por antena con limitaciones geográficas como montañas y edificios: 1,5 Km (rango).
- Distancia promedio de la cobertura de las antenas sin limitaciones geográficas 30 Km (rango).

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS (PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS ESPACIAL)

4.1 MODELO ESPACIAL CARTOGRÁFICO

Los modelos espaciales cartográficos, son principalmente importantes en los análisis espaciales, siendo que nos permiten analizar la relación que se debe dar entre las diferentes entidades espaciales o cartográficas, a través del flujo de procesos, con el propósito de llegar a un resultado específico, en tal sentido, se ha diseñado el siguiente modelo espacial cartográfico para la investigación, el cual podemos ver en la figura 16.

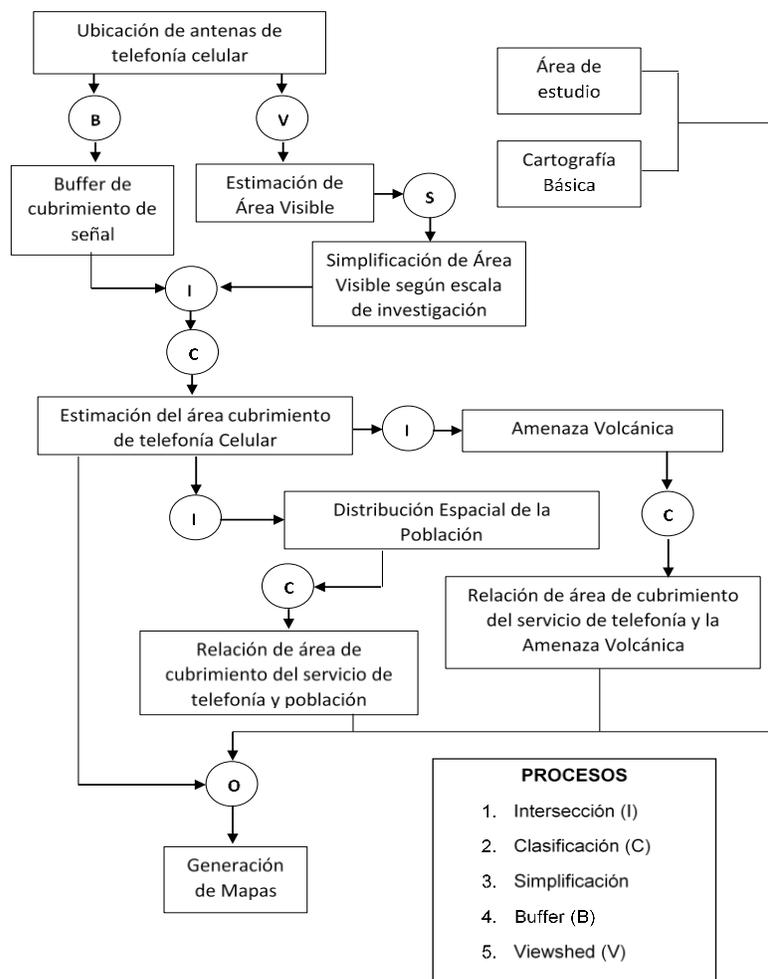


Figura 16. Modelo Espacial Cartográfico

Para analizar espacialmente la cobertura de la tecnología móvil celular en el área de estudio, y conocer su aplicación en la gestión del riesgo, procedemos a realizar el geoprocesamiento de la información en las siguientes temáticas:

4.2 ESTIMACIÓN DEL ÁREA VISIBLE PARA CADA ANTENA DE TELEFONÍA MÓVIL

Para estimar el área visible para cada antena de telefonía móvil celular en el área de estudio, procedemos a utilizar la herramienta *viewshed* con la información topográfica de terreno que nos da DEM del área de estudio, al igual que se realiza una previa conversión del archivo digital de puntos que representa las antenas, a una cobertura 3D con información de alturas, al utilizar la herramienta *viewshed* definimos una altura promedio de 30 mts para todas las antenas, altura que igual hace referencia a la ubicación de los receptores de señal en cada antena, teniendo el siguiente resultado mostrado en la figura 17.

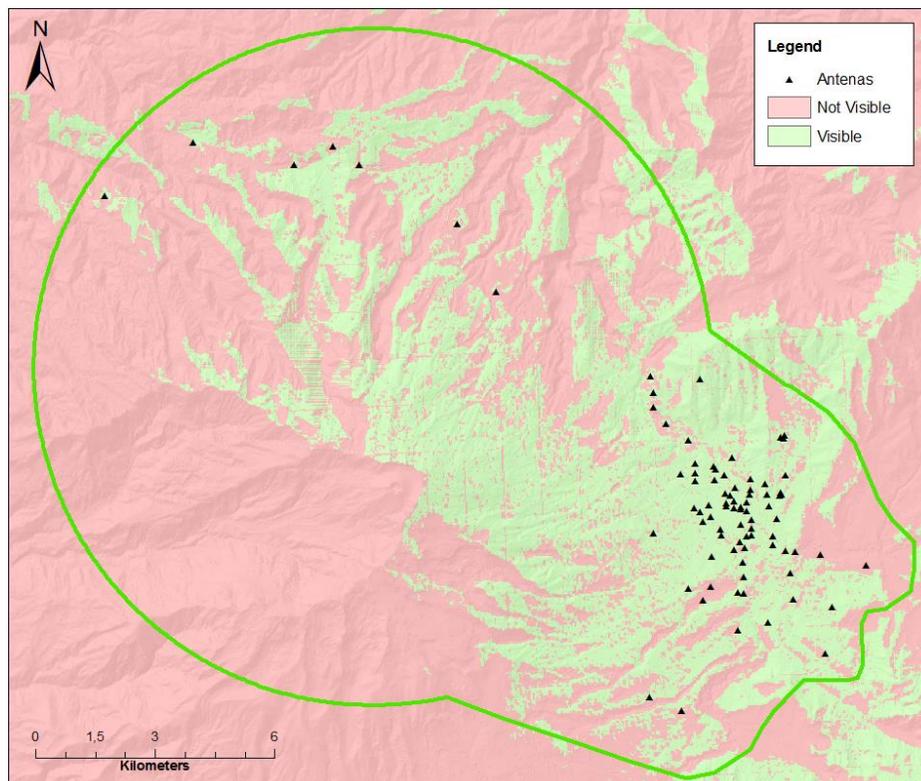


Figura 17. Resultado de procedimiento por *viewshed*

En color verde se evidencia el área visible para las antenas de telefonía móvil celular y en rojo el área no visible, en los triángulos observamos la ubicación de las antenas, seguido procedemos a convertir el archivo *raster* a tipo *feature*, con el propósito simplificar o generalizar la cobertura con las herramientas *eliminate*, *dissolve and smooth polygon*, obteniendo un resultado más homogéneo, como se observa en la figura 18.

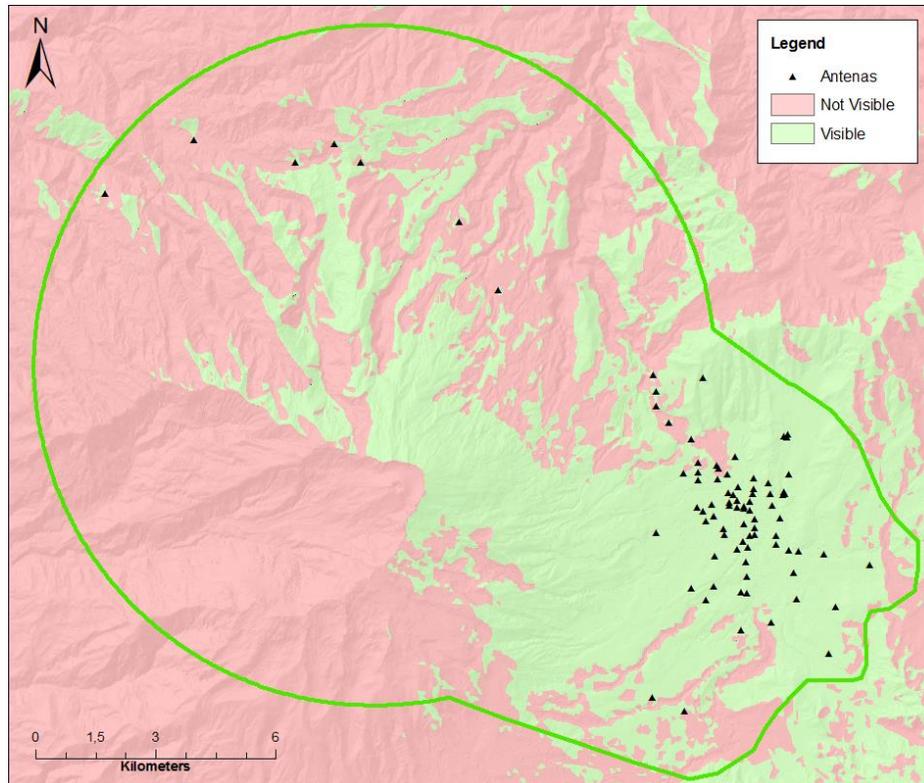


Figura 18. Simplificación de resultado de estimación del área visible

4.3 BUFFERS DE CUBRIMIENTO DE SEÑAL PARA CADA ANTENA DE TELEFONÍA CELULAR

Siendo que la distancia promedio de cubrimiento de las antenas de telefonía celular con obstáculos geográficos como edificios y montañas es de 1,5 kilómetro y sin obstáculos geográficos es de 30 kilómetros; procedemos a realizar un múltiple *Buffer* (doble) con los valores de 1,5 kilómetros (con obstáculos geográficos) y 15 kilómetros (sin obstáculos geográficos), teniendo en cuenta que a pesar que la distancia es de 30 kilómetros, se usa 15

para no sobrepasar el área de estudio, siendo innecesario calcular el cubrimiento más allá del área de estudio, el resultado se muestra en la figura 19.

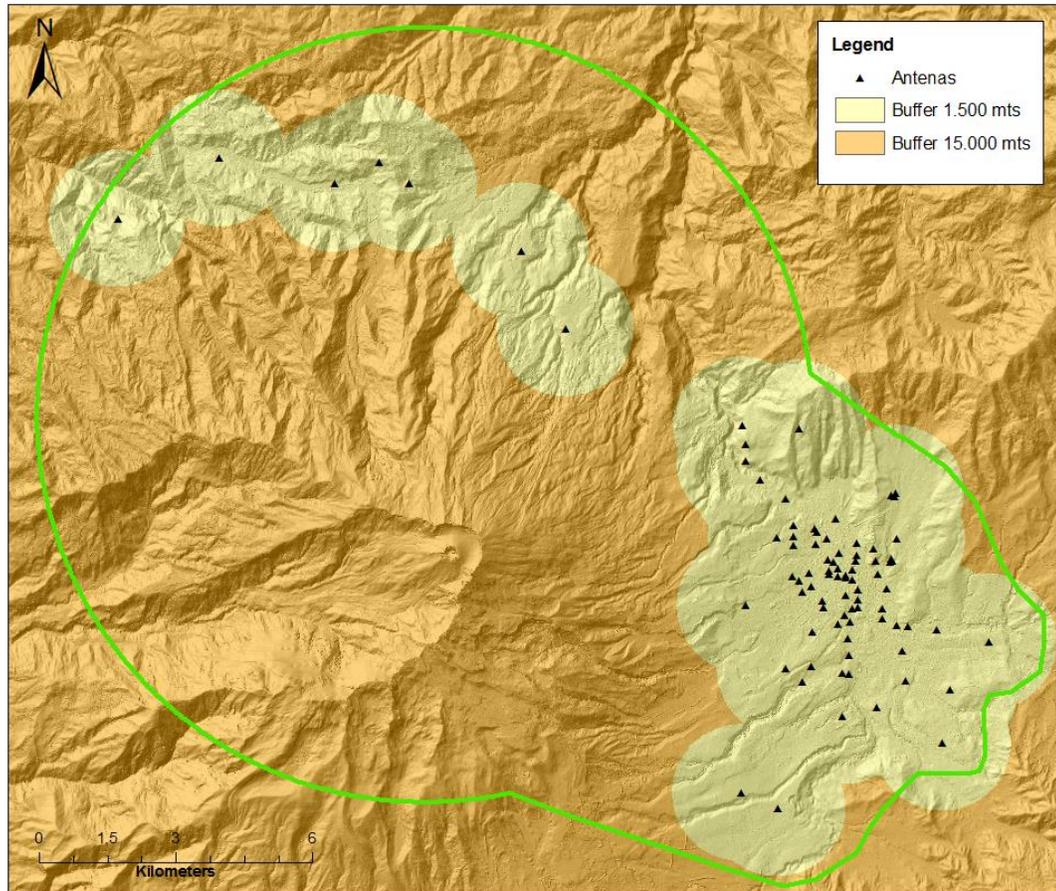


Figura 19. Buffers de cubrimiento de señal para cada antena.

En la imagen se puede observar en color amarillo el cubrimiento del *buffer* de 1.500 metros, y en naranja el cubrimiento de 15.000 metros.

4.4 ESTIMACIÓN DEL ÁREA DE CUBRIMIENTO DE TELEFONÍA CELULAR

Una vez disponemos de las coberturas de estimación del área visible para cada antena de telefonía móvil celular y los *buffers* de cubrimiento de señal, procedemos a realizar un cruce espacial de la información, teniendo el resultado mostrado en la figura 20.

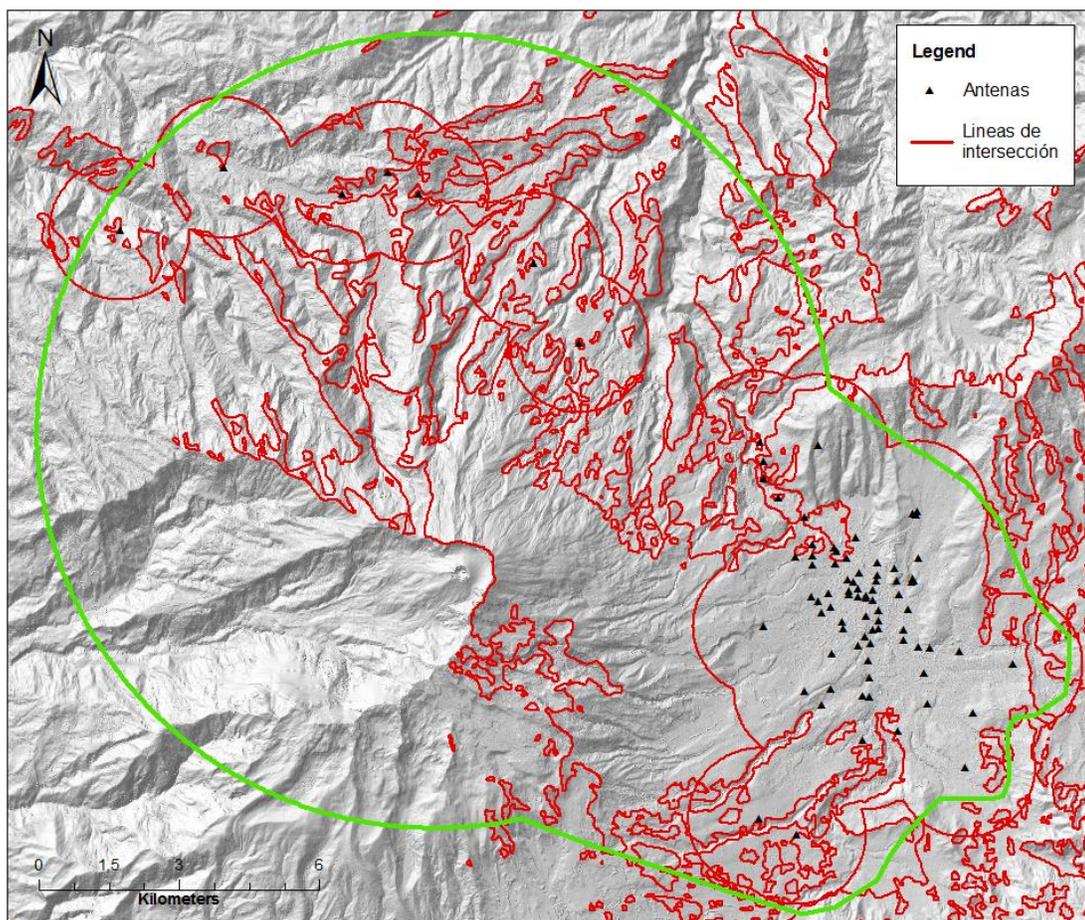


Figura 20. Cruce espacial de la información (*buffer* vs área visible).

Lo anterior nos arroja 4 combinaciones o elementos espaciales, las cuales son clasificadas de acuerdo a sus características espaciales y se organizan de acuerdo a la tabla 8.

No. de elemento	Buffer de Distancia	Área Visible	Análisis Espacial	Dedición de Unidad Espacial en referencia al cubrimiento de la telefonía móvil celular
1	1500	NO	Estima del área de cubrimiento de telefonía celular CON obstáculos geográficos que a pesar de no tener visibilidad la señal llegara adecuadamente	CON Cubrimiento
2	1500	SI	Estima del área de cubrimiento de telefonía celular CON obstáculos geográficos e igualmente se encuentra en el visible donde la señal llega adecuadamente	CON Cubrimiento
3	15000	NO	Estima del área de cubrimiento de telefonía celular SIN obstáculos geográficos, que al no encontrarse en el área visible de las antenas, no tendrá señal o servicio de celular, ya que existen los obstáculos o barreras geográficas	SIN Cubrimiento
4	15000	SI	Estima del área de cubrimiento de telefonía celular SIN obstáculos geográficos, que por encontrarse en el área visible, señal llega adecuadamente	CON Cubrimiento

Tabla 8. Clasificación de Estimación del área cubrimiento de telefonía celular

Esta clasificación a nivel cartográfico nos da por resultado el área de cubrimiento de telefonía celular, lo cual puede observarse en la figura 21.

Como resultado se observa en color verde el área de cubrimiento del servicio de comunicación celular y en rojo las áreas que carecen del servicio, teniendo que en el área de estudio, el cubrimiento estimado del servicio, es el mostrado en la tabla 9.

Cubrimiento de telefonía celular	Hectáreas	Porcentaje
SIN Cubrimiento	12.946	45,8%
CON Cubrimiento	15.306	54,2%
TOTAL	28.253	100,00%

Tabla 9. Estimación del área cubrimiento de telefonía celular

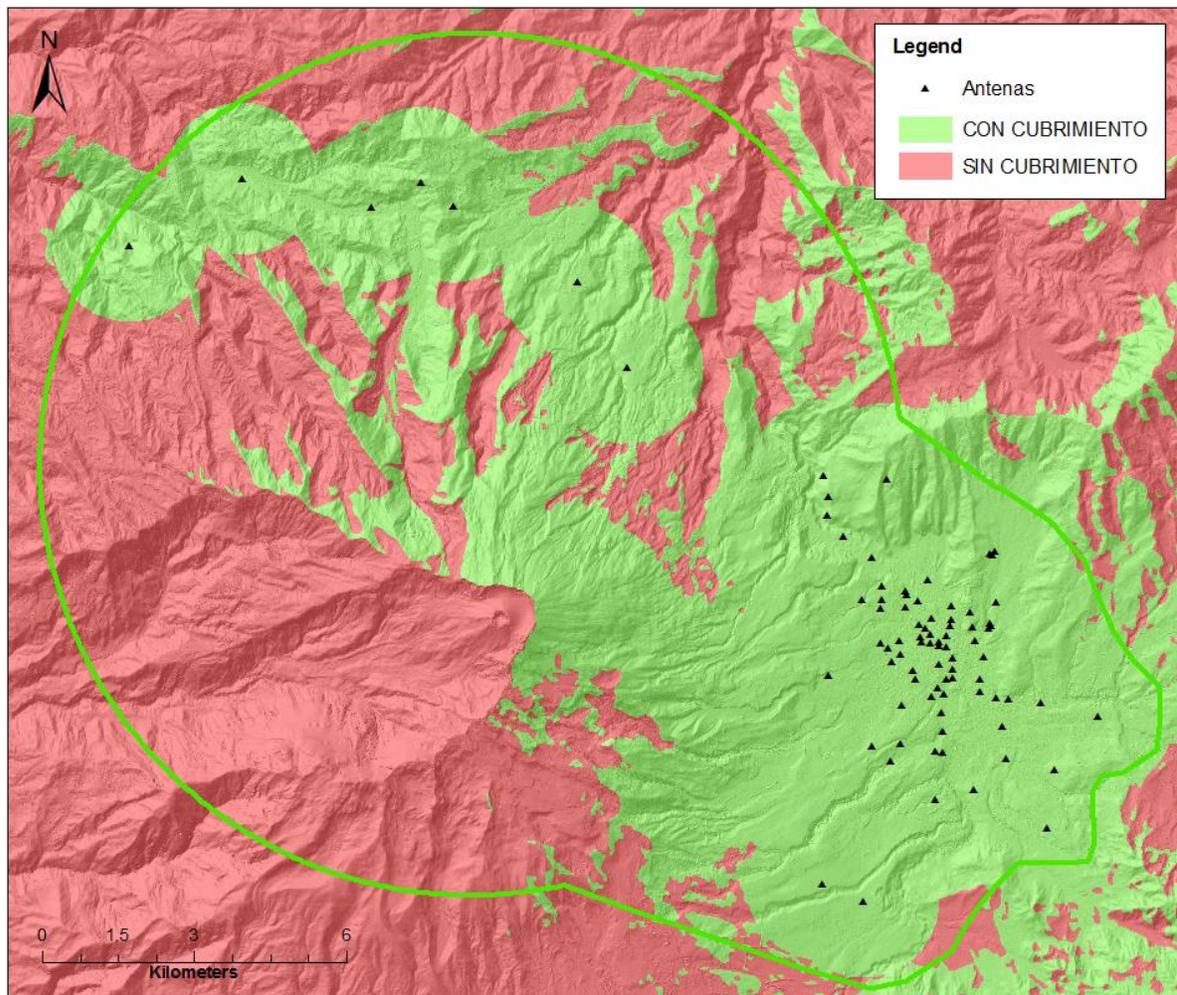


Figura 21. Estimación del área cubrimiento de telefonía celular.

4.5 RELACIÓN DEL ÁREA DE CUBRIMIENTO DE TELEFONÍA CELULAR Y LA AMENAZA VOLCÁNICA

Siendo que tenemos un mapa de amenaza volcánica, es importante conocer el cubrimiento del servicio de telefonía móvil celular en cuanto a este mapa, principalmente para la zona de mayor afectación en caso de un evento eruptivo, la cual es la ZAVA, por consiguiente procedemos a calcular el la extensión de las diferentes zonas de amenaza en el área de estudio, arrojando el mostrado en la tabla 10.

Símbolo	Amenaza	Hectáreas	Porcentaje
ZAVA	Zona de amenaza Volcánica Alta	8.205	29,04%
ZAVM	Zona de Amenaza Volcánica Media	2.717	9,62%
ZAVB	Zona de Amenaza Volcánica Baja	16.970	60,06%
N/A	Sin Amenaza Volcánica	361	1,28%
TOTAL		28.253	100,00%

Tabla 10. Distribución de la amenaza volcánica en el área de estudio

De acuerdo a lo anterior se procede a calcular el área de cubrimiento del servicio de telefonía móvil celular en la ZAVA, a través de la intersección espacial, obteniendo los resultados que se presentan a continuación en la tabla 11.

Símbolo	Amenaza	Hectáreas por Zona de amenaza	Hectáreas CON cubrimiento	Porcentaje con cubrimiento de acuerdo a la amenaza	Hectáreas SIN Cubrimiento	Porcentaje con cubrimiento de acuerdo a la amenaza
ZAVA	Zona de amenaza Volcánica Alta	8.205	4.129	50,32	4.076	49,68
ZAVM	Zona de Amenaza Volcánica Media	2.717	1.668	61,39	1.049	38,61
ZAVB	Zona de Amenaza Volcánica Baja	16.970	9.149	53,91	7.821	46,09
N/A	Sin Amenaza Volcánica	361	361	100,00	-	-
TOTAL		28.253	15.307		12.946	

Tabla 11. Amenaza volcánica en el área de estudio y su cubrimiento en telefonía celular

De lo anterior, se evalúa que el 50,32 % de la Zona de Amenaza Volcánica Alta, zona considerada de mayor peligrosidad, tienen cubrimiento del servicio de telefonía móvil celular.

4.6 RELACIÓN DEL ÁREA DE CUBRIMIENTO DE TELEFONÍA CELULAR Y LA DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Es importante conocer el cubrimiento del servicio de telefonía celular en relación a la distribución de la población en el área de estudio, para lo cual se procede a calcular el área de cubrimiento del servicio para la población de los centros poblados y la población rural o dispersa de acuerdo al cálculo de población y su distribución realizado anteriormente, donde se establece que la población estimada para el área de estudio es de 372.002 personas. A través de la intersección espacial, tenemos los resultados mostrados en la tabla 12.

Tipo de Población	Territorio Ocupado por tipo de Población en Hectáreas	Población calculada	Hectáreas CON cubrimiento de acuerdo al tipo de población	Porcentaje CON cubrimiento de acuerdo al tipo de población	Hectáreas SIN Cubrimiento de acuerdo al tipo de población	Porcentaje SIN cubrimiento de acuerdo al tipo de población
RURAL	25.510	17.266	12.563	49,24	12.947	50,75
CENTRO POBLADOS	2.743	354.736	2.743	100	-	0
TOTAL	28.253	372.002	15.306		12.947	

Tabla 12. Población y su cubrimiento en el servicio de telefonía celular.

De lo anterior, se establece que si el total de los centros poblados en el área de estudio tienen un 100% del cubrimiento del servicio de telefonía celular y la totalidad de la población rural un 49.24 % de éste cubrimiento, significa que 363.196 personas en promedio podrían ser alertadas frente a la ocurrencia de una erupción volcánica (8460 personas para el sector rural y 354.736 personas en los centros poblados), lo que equivale al 97 % de la población calculada para el área de estudio.

4.7 VISUALIZACIÓN ESPACIAL

Con el propósito de mostrar los resultados a través de mapas descriptivos, se elaboran los diferentes mapas objeto del análisis, los cuales son:

- Mapa de distribución de las antenas de telefonía celular en el área de estudio, figura 22.
- Mapa de estimación del área cubrimiento del servicio de telefonía celular, figura 23.
- Mapa de relación del área cubrimiento de telefonía celular y la amenaza volcánica, figura 24.
- Mapa de relación del área cubrimiento de telefonía celular y la distribución de la población, figura 25.
- Mapa de Distribución de la Población en relación a la amenaza volcánica, figura 26.

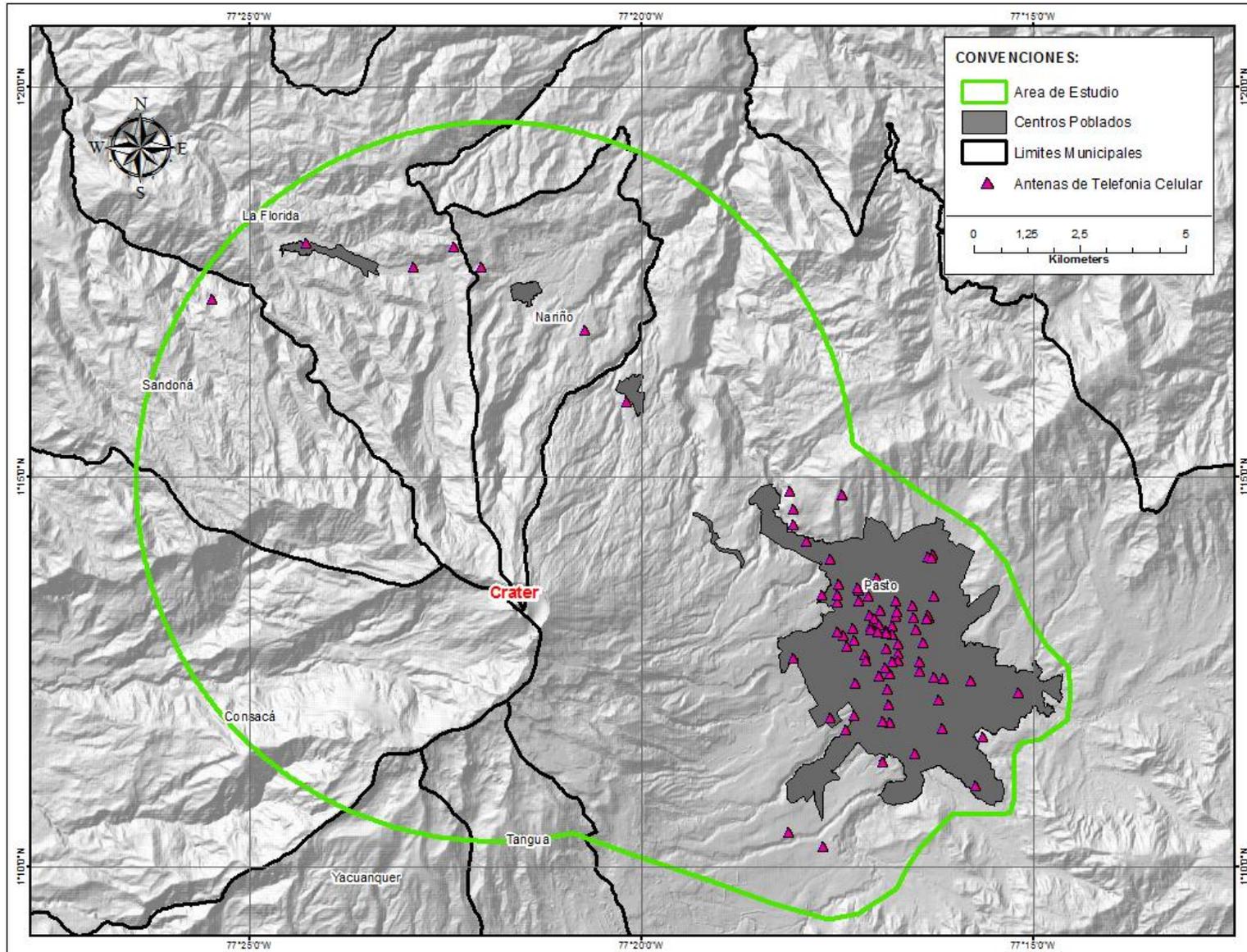


Figura 22. Mapa de distribución de las antenas de telefonía celular en el área de estudio

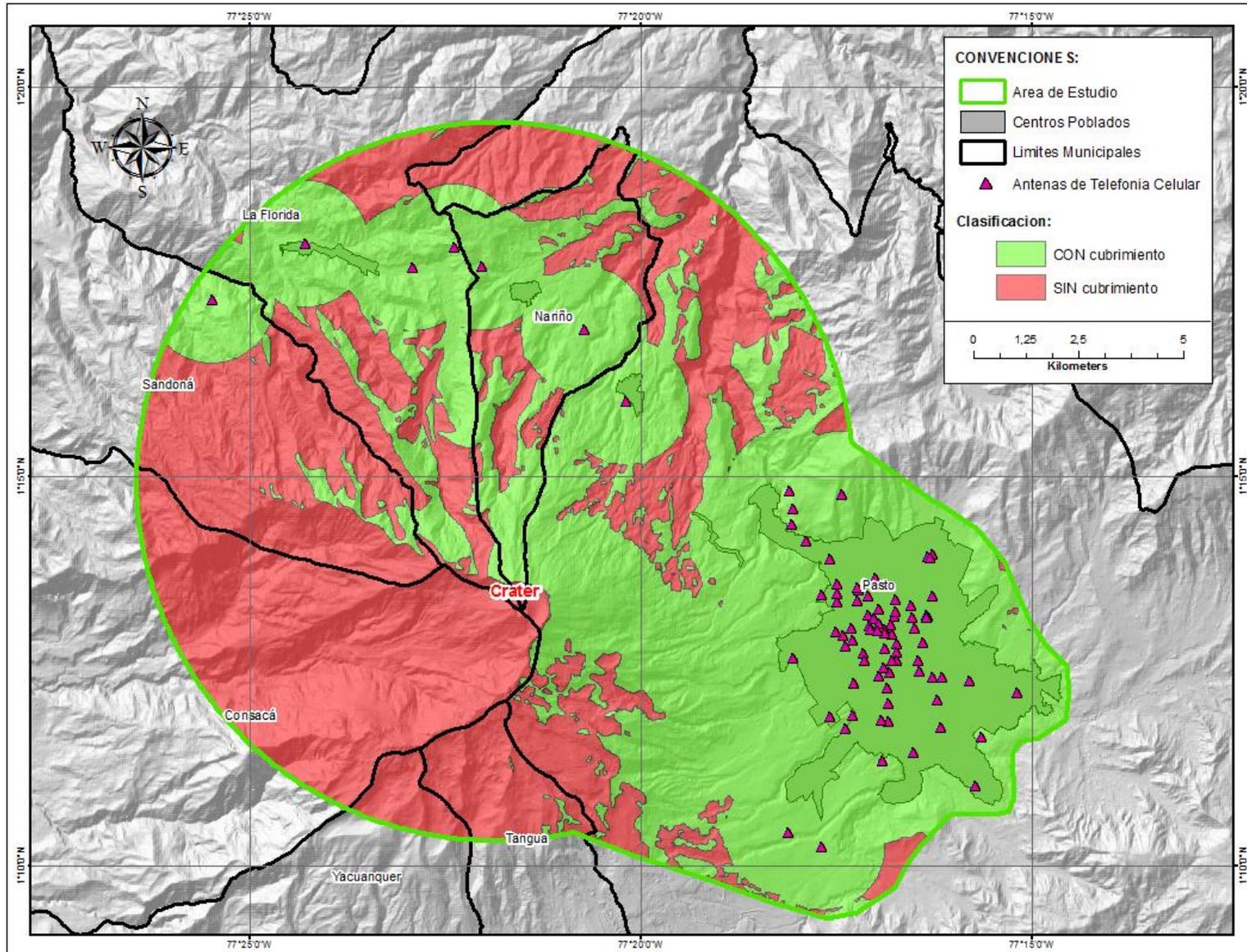
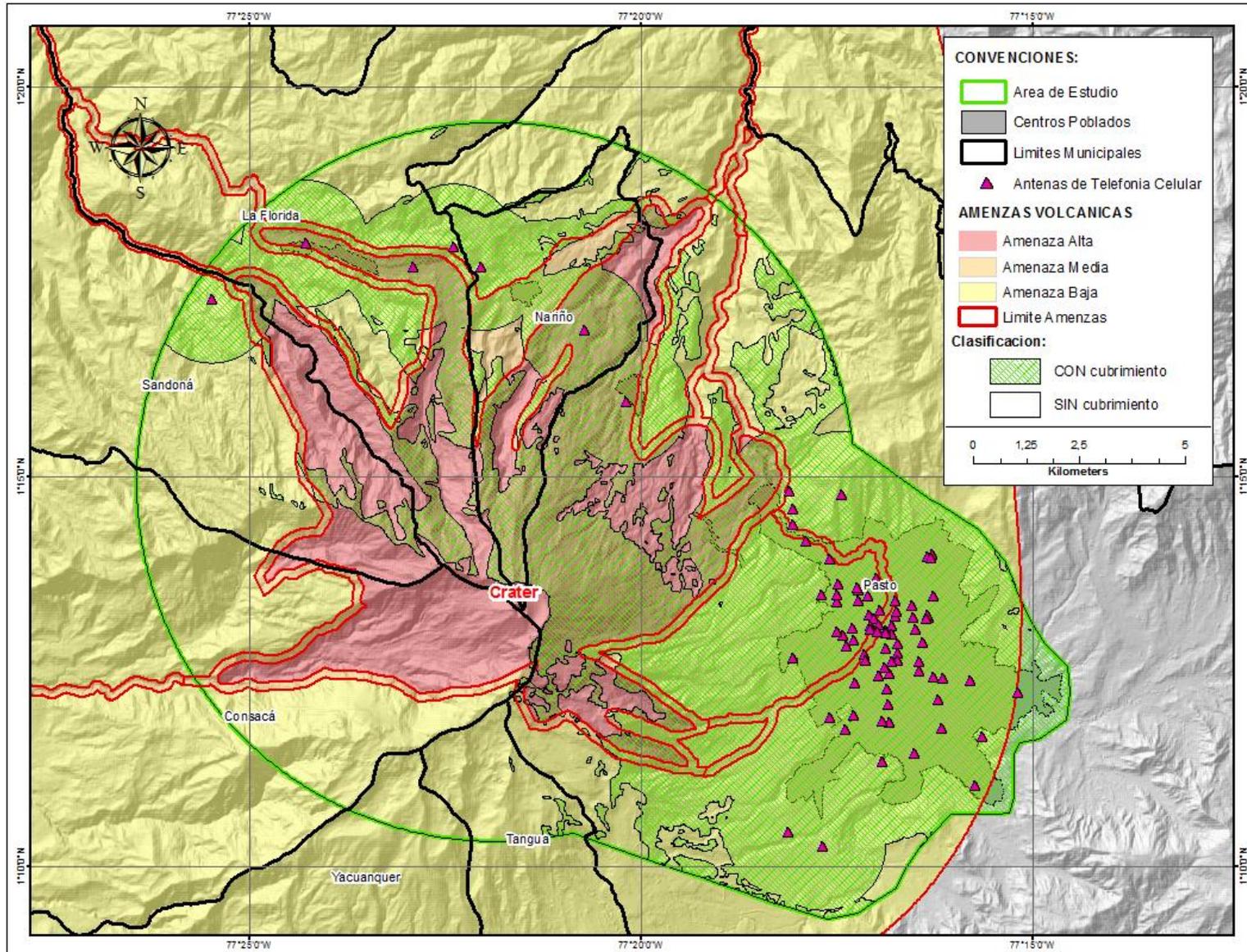


Figura 23. Mapa de estimación del área cubrimiento del servicio de telefonía celular



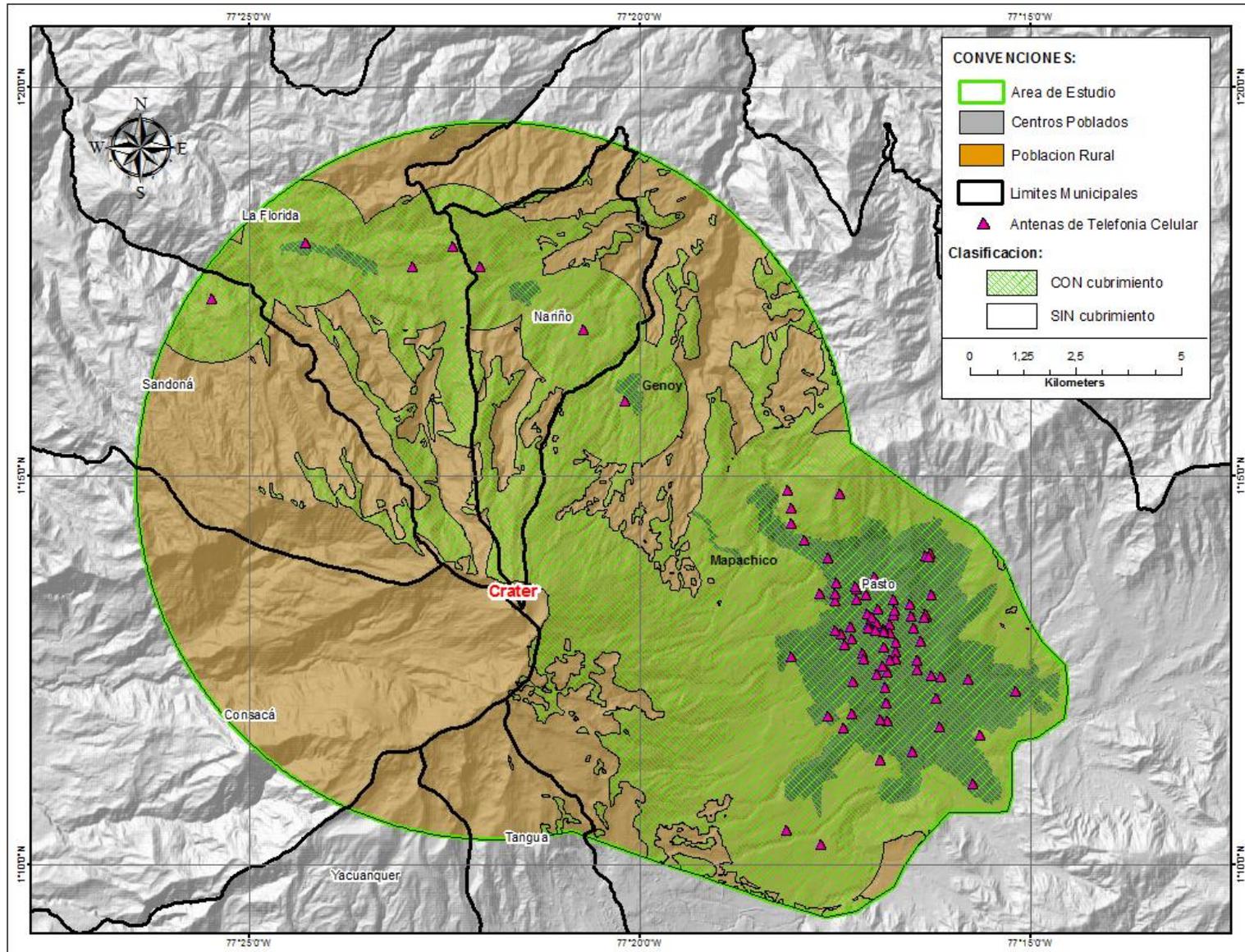
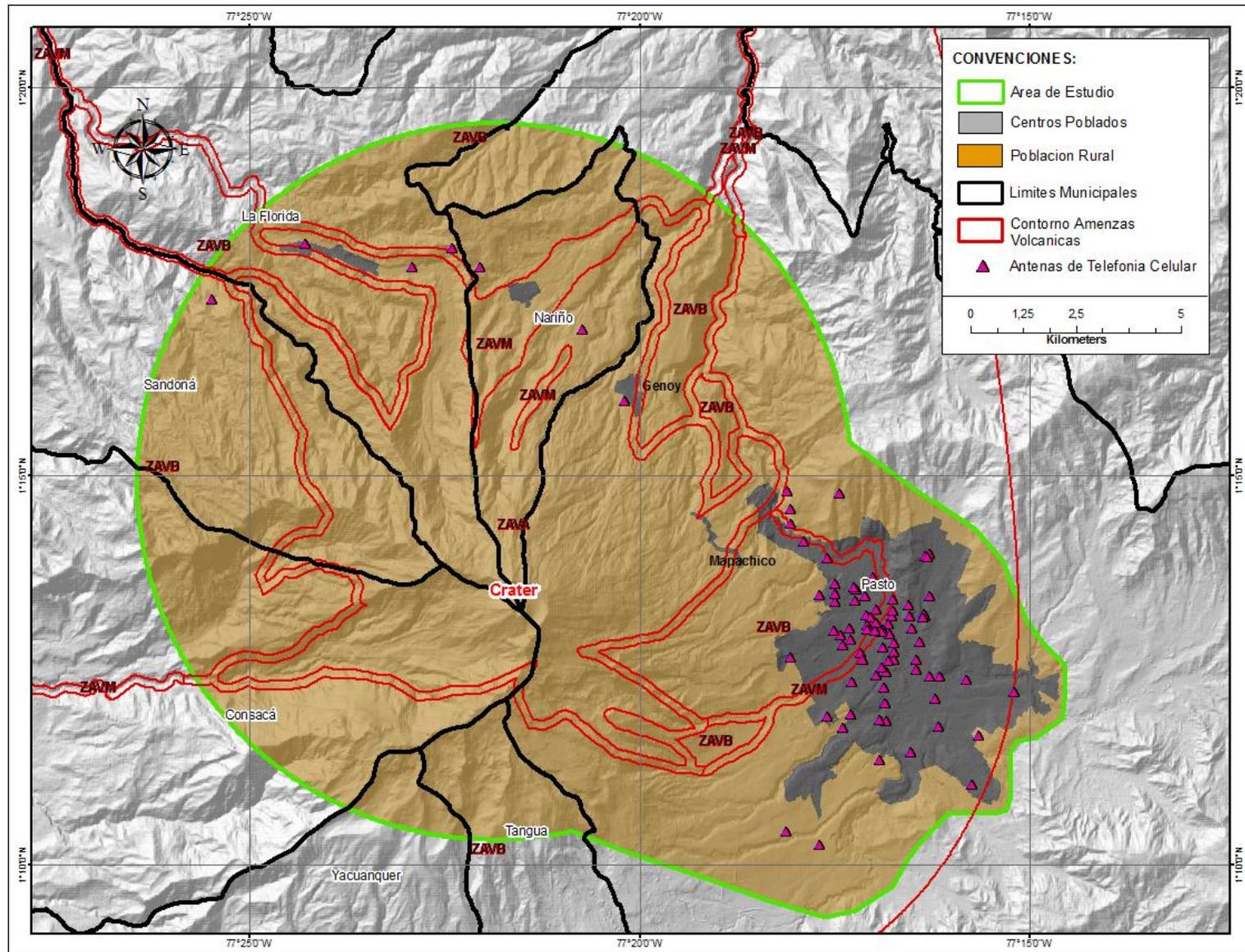


Figura 25. Mapa de relación del área cubrimiento de telefonía celular y la distribución de la población.



A través del presente análisis espacial hemos podido observar inicialmente el cubrimiento que tiene el servicio de telefonía móvil celular en el área de estudio, así como su relación con la amenaza volcánica y la distribución de la población, siendo importante resaltar que por el momento no se cuenta con un mecanismo de alerta en el volcán Galeras con una correcta efectividad y cobertura, razón por la cual es de considerable importancia iniciar la implementación de un SAT de mayor cobertura y efectividad ante el fenómeno volcánico, que use los medios disponibles de comunicación. Considerando que la presente investigación es un componente primordial para comprender el entorno geográfico de una amenaza natural, sin dejar a un lado que es necesario analizar integralmente los diferentes componentes tecnológicos y de comunicaciones existentes en Colombia.

Siendo que a través de la revisión de la literatura hemos podido establecer que la población en Colombia para el año 2014 es de aproximadamente de 48 millones habitantes según el DANE y el un número total de abonados en telefonía móvil celular es de 46.2, se deduce que el 96,2 % de la población en Colombia podría tener servicio de telefonía celular, calculando que en el año 2014 el 100 % de la población con edad suficiente para manejar un equipo celular, tendrá el servicio de comunicación celular, de los cuales en promedio un 75 % hacen referencia a celulares inteligentes (*smarphone*), donde la mayoría de usuarios han tenido acceso a servicio de datos móviles (internet); razón por la cual es posible considerar la creación de un sistema de alerta temprana a través de una aplicación APP, más cuando el acceso de la población en Colombia a las TICs se hace principalmente a través de la tecnología móvil celular y se encuentra en constante crecimiento.

Es relevante comprender que muchos ejercicios de análisis espaciales en el uso de los sistemas de información geográfica a escalas generales o regionales pueden darse a través de información cartográfica gratuita disponible en internet.

En cuanto a los resultados del análisis espacial podemos expresar:

- De las 85 antenas de telefonía móvil celular en el área de estudio, sólo 4 antenas se encuentran dentro de la ZAVA, zona cataloga de mayor peligro, debido los daños causados por los flujos piroclásticos, lo cual se asocian con destrucción total; determinando que solo un 6 % de las antenas que permiten la comunicación celular podrían verse afectadas en caso de una erupción volcánica de grandes proporciones, no obstante, la emisión de alertas se seguiría emitiendo en razón a que existen 81 antenas ubicadas fuera de la ZAVA.
- El 50,32 % de la ZAVA a nivel territorial, tiene cubrimiento del servicio de telefonía móvil celular, los lugares sin cubrimiento son sitios de mayormente despoblados y de difícil acceso, dándose el cubrimiento del servicio para la población urbana o centros poblados en un total del 97%, de la población rural y urbana calculada en el área de estudio (363.196 personas).
- Debido a que los operadores de la telefonía móvil celular pueden calcular los celulares que se conectan a una antena determinada, es posible emitir mensajes de texto zonificados o sectorizados en: información general, preparación y evacuación, en rangos o áreas con una separación promedio de 1 kilómetro, distancia media promedio entre la separación de las antenas de telefonía móvil celular en el área de estudio, lo cual podría inferir, que es posible zonificar la emisión de alertas tempranas a una escala regional o general en la zona de influencia del volcán Galeras. En otros casos de amenazas naturales, la escala geográfica para la zonificación de alertas por telefonía móvil celular, depende del número de antenas, su separación y el área de cubrimiento, siendo necesario conocer la frecuencia de cada antena y su receptor para brindar una zonificación confiable.

En consideración a los resultados obtenidos, se propone a continuación un modelo conceptual detallado en la figura 27, para la implementación del sistema de alerta temprana en el volcán Galeras, basado en tecnología móvil celular.

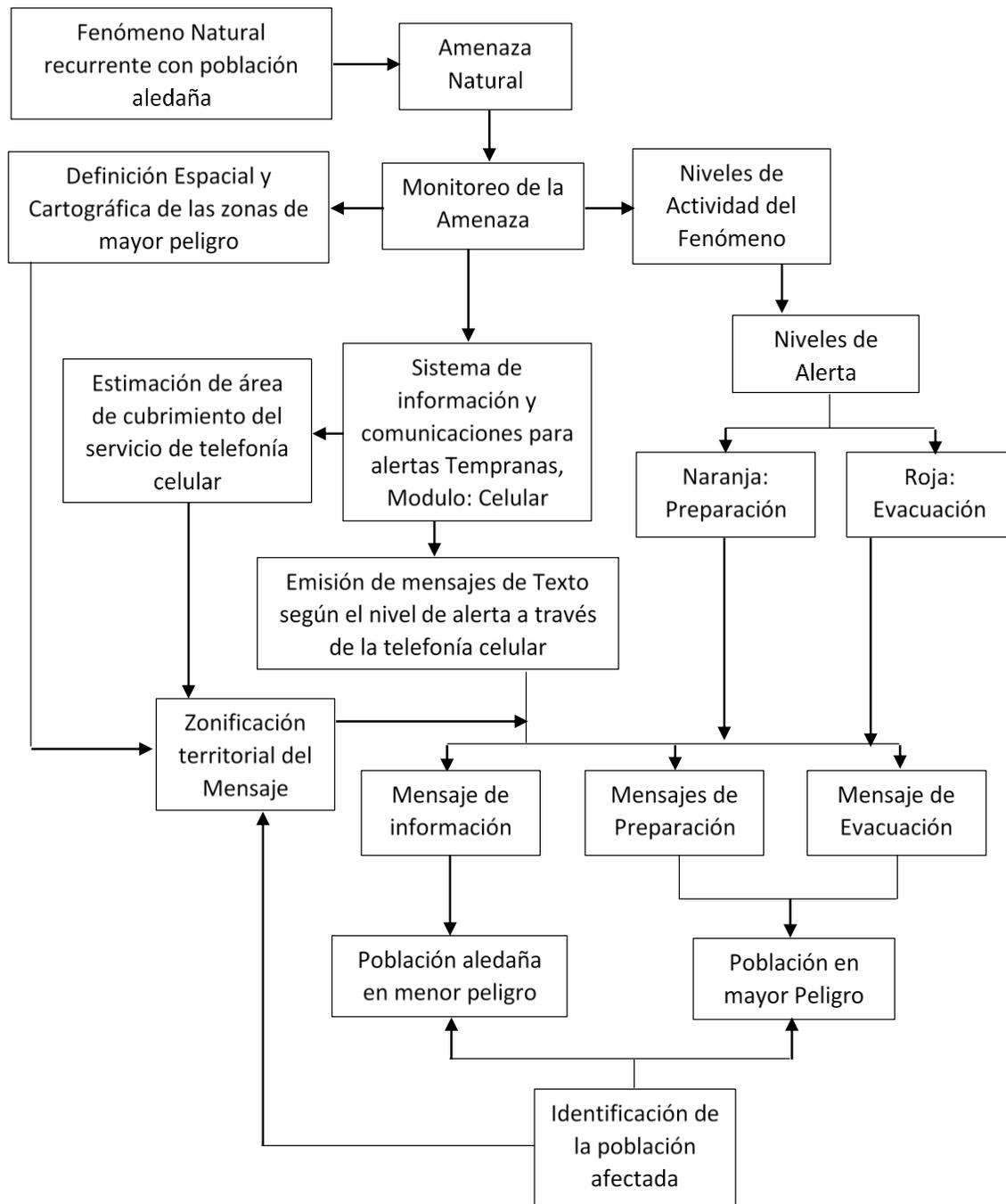


Figura 27. Modelo conceptual para la implementación del sistema de alerta temprana, basado en la tecnología móvil celular

En el modelo podemos observar la relación que tienen los diferentes componentes que deberían articular un sistema de alerta temprana, en el cual se definen 3 tipos de mensajes para alertar a la población, los cuales son:

Mensaje de información general: el cual debe llegar a las poblaciones aledañas que no tienen la necesidad de evacuación, pero si tienen que estar prevenidas para no viajar a la zona de mayor peligro, como también deben colaborar ante la situación presentada por el fenómeno natural en un nivel de alerta Naranja o Rojo.

Mensaje de Preparación: El cual debe llegar a una población en las zonas de mayor peligro, en caso de nivel de alerta Naranja, el cual quiere decir para el caso del monitoreo del volcán Galeras, erupción inminente en termino de días o semanas.

Mensaje de Evacuación: El cual debe llegar a una población en las zonas de mayor peligro, en caso de nivel de alerta Roja, el cual quiere decir para el caso del monitoreo del volcán Galeras, erupción en curso o en horas.

Es importante resaltar que el tipo de mensaje de texto a emitir debe obedecer al estudio previo sobre las características socioculturales de la población sectorizada, siendo que la interpretación del mensaje es diferente de acuerdo a las condiciones sociales, culturales y psicológicas de las poblaciones.

5. CONCLUSIONES

Los análisis espaciales que permiten la integración de los sistemas de información geográfica dentro de las TICs, se involucran en el mundo de la Geocomunicación, como una nueva disciplina del conocimiento, la cual tendrá importantes avances proporcionales a la tecnología de las telecomunicaciones.

Es completamente factible a través del análisis espacial determinar la cobertura de la red de servicio celular, en función de una amenaza natural y la distribución espacial de la población. La implementación de sistemas de alertas temprana, basados en la tecnología móvil celular, necesitaría obligatoriamente de los análisis espaciales para la comprensión del fenómeno y de su entorno geográfico y social.

La eficacia en cuanto a la velocidad y cubrimiento en la emisión de un mensaje de texto para alertar a una población, seguramente necesitara de la suspensión previa e inmediata de cualquier comunicación, con el propósito de evitar congestión o demoras en la emisión de la alerta.

Las tecnologías de la información y las comunicaciones son elementos esenciales para la definición y aplicación de los sistemas de información geográfica en el mundo, y deben observarse integralmente para el correcto desarrollo de sistemas de información geográfica, como sistemas, siendo que su uso se ha basado principalmente en la utilización de herramientas de software para realizar análisis o estudios geográficos, y en muy pocos casos estos análisis son llevados a sistemas de información, con procesos automatizados de entrada y salida de datos alfanúmero y espaciales que ayuden a resolver problemas, territoriales, ambientales y de gestión del riesgo

La información oficial e institucional, en cuanto a la ubicación real de las antenas, su altura, frecuencia y demás datos técnicos, son de suma importancia para comprender mejor la relación entre el fenómeno, la población y los medios de comunicación disponibles, al igual

que podría permitir llevar a cabo análisis espaciales más detallados y complejos, según sus necesidades, mejorando la zonificación territorial de los mensajes y por ello, la resolución o detalle de estos estudios, permitiendo optimizar las acciones en los sistemas de alerta temprana, como parte de un proceso integral en la gestión del riesgo.

La presente investigación es un punto de partida que permitirá comprender el proceso por el cual podría debe llevarse a cabo la preparación, desarrollo y funcionamiento de un sistema de alerta temprana basado en la tecnología móvil celular, siendo necesaria la integración de otras disciplinas como la ingeniería de sistemas, electrónica, de comunicaciones, sociología, psicología, entre otras, para poder implementar correctamente un sistema de este tipo.

Es necesario ampliar el conocimiento frente a las condiciones socioculturales, en cuanto a la preparación o resiliencia que tendría una población ante la ocurrencia de un fenómeno natural en los sectores de mayor y menor peligro, siendo que solo de esta forma se podría definir cuál sería el tipo de mensaje más adecuado según su ubicación geográfica y su organización social y comunitaria.

El entendimiento del fenómeno natural y su relación con la población y los medios tecnológicos y de comunicaciones disponibles en cualquier región solo es posible entenderse a través de la utilización de herramientas de SIG.

La implementación de un sistema de alerta temprana basado en la tecnología móvil celular, podría ser financiado por un pequeño porcentaje del valor cobrado a los usuarios por el servicio de celular, lo cual podría ser deducible de los impuestos, siendo que se procura mejorar la calidad de vida en nuestro país, al igual que garantizaría el libre acceso a la información y las comunicaciones de acuerdo a la Ley 1341 de 2009, y en este caso es ineludible la responsabilidad que tienen el Estado para prevenir desastres naturales

Al no contar con datos de fuentes oficiales, el análisis espacial se vio limitado a la información disponible en internet y demás medios informáticos.

6. REFERENCIAS

- Comisión de Regulación de Comunicaciones. (agosto de 2012). Situación Financiera del Sector TIC en Colombia. *Reporte de Industria TIC*, 3.
- Comisión de Regulación de Comunicaciones - CRC. (agosto de 2012). Estructura de los mercados de TIC en Colombia. *Reporte de Industria TIC*, 5.
- Comisión de Regulación de Comunicaciones - CRC. (agosto de 2012). Industria TIC en el contexto nacional. *Reporte de la Industria TIC*, 3.
- Comisión de Regulación de Comunicaciones. (agosto de 2012). Análisis de Servicios Móviles. *Reporte Industria TIC*, 10.
- CONPES 3501, Lineamientos de política para implementar un proceso de gestión integral del riesgo en la zona volcánica alta del Volcán Galeras (Consejo Nacional de Política Económica y Social 3 de diciembre de 2007).
- Contreras, D. (2006). Volcán Galeras, Hábitat en Riesgo. *Revista el Cable*, 101 - 118.
- De la Cruz-Reyna, S., & Tilling, R. I. (16 de septiembre de 2007). Scientific and public responses to the ongoing volcanic crisis at Popocatepetl Volcano, Mexico: Importance of an effective hazards-warninf system. (ScienceDirect, Ed.) *Journal of Volcanology and Geothermal Reesearch*, 121 - 134.
- Decreto 3905, Por el cual, en desarrollo del Decreto-ley 919 de 1989, se definen el objeto y los instrumentos necesarios para la implementación del Plan de Reasentamiento en la Zona de Amenaza Volcánica Alta (ZAVA) del Volcán Galeras, declarada como zona de desastre (Presidencia de la República 8 de octubre de 2008).
- Decreto 4106, Por el cual se declara la existencia de una situación de desastre en los municipios de Pasto, Nariño y La Florida, en el Departamento de Nariño (Presidencia de la República 17 de noviembre de 2005).
- El Tiempo. (Septiembre de 2006). Se llevaron antena para vigilar el Volcán Galeras.
- Federal Communicatios Commision. (26 de febrero de 2013). *Alerta de Emergencia Móvil (WEA)*. (Federal Communications Commission, Consumer and Governmental Affairs Bureau, & Consumer Inquiries and Complainsts Division , Edits.) Recuperado el 8 de junio de 2013, de Guía para el consumidor: <http://transition.fcc.gov/cgb/consumerfacts/spanish/PLAN.html>
- Hernández, V. (25 de febrero de 2011). *BBC MUNDO*. Recuperado el 20 de agosto de 2013, de http://www.bbc.co.uk/mundo/noticias/2011/02/110225_chile_alerta_celular_terremotos_I_f.shtml

Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS. (s.f.). Obtenido de http://www.sgc.gov.co/getattachment/Pasto/Volcanes/Volcan-Galeras/Actividad-historica/Actividad_historica-galeras.pdf.aspx

Instituto Smithsonian. (s.f.). Nevado del Ruiz. *Global Volcanism Program*.

Leonard, G. S., Johnston, D. M., Paton, D., Christianson, A., Becker, J., & Keys, H. (2 de mayo de 2008). Developing effective warning systems: Ongoing research at Ruapehu volcano, New Zealand. (ScienceDirect, Ed.) *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 199 - 215.

Ley 1341, Por la cual se definen principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones TIC, se crea la Agencia Nacional de Espectro y se dictan otras disposiciones (Congreso de la República 30 de julio de 2009).

Ley 1523, Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y establece el sistema nacional de gestión del riesgo de desastres y se dictan otras disposiciones (2012).

Orellana , R. (2011). Sistema de alerta temprana y gestión del riesgo natural.

Servicio Geológico Colombiano. (2011). *Observatorio Pasto*. Recuperado el 13 de abril de 2012, de <http://www.sgc.gov.co/Pasto/Volcanes/Volcan-Galeras/Generalidades.aspx>

Shuster, R. L., & Highland, L. M. (2001). Tercer Simposio Panamericano de Deslizamientos. *Socioeconomic and Environmental Impacts of Landslides in the Western Hemisphere*. Cartagena (Colombia). Recuperado el 26 de octubre de 2012

Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial. (s.f.). *SIG-OT*. Obtenido de <http://www.sigotn.igac.gov.co/sigotn/>

7. ANEXOS



Fuente INGEOMINAS – Fotografía de la cima del Volcán Galeras



Fuente INGEOMINAS – Fotografía panorámica: Ciudad de Pasto – Volcán Galeras



Fuente INGEOMINAS. Erupción Volcán Galeras 4 de Junio de 2006