

**Simulación de aplicación de mecanismos
de reducción de riesgo para la población
expuesta al riesgo volcánico: Volcán
Cotopaxi, Ecuador**

Rosa Gabriela Regalado León
rosiregalado@gmail.com

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	1
3. METODOLOGÍA.....	6
4. RESULTADOS	8
5. CONCLUSIONES	13
6. BIBLIOGRAFÍA.....	14

1. Resumen

Ecuador, localizado en América del Sur, se encuentra atravesado por la Cordillera de los Andes en la que existen volcanes activos que ponen en peligro a varias poblaciones asentadas en sus zonas de influencia. Este es el caso de las ciudades de este país que se encuentran en las áreas de paso de lahares (flujos de lodo formados por el descongelamiento violento del casquete glaciar existente) que se formarían por la erupción del volcán Cotopaxi, el volcán activo más alto del mundo.

La última reactivación del Cotopaxi, en el mes de Abril del 2015, ha obligado a las autoridades y a la población a enfrentarse a una situación hace tiempo olvidada, ya que la última gran erupción registrada sucedió en el año de 1877. Desde entonces, un gran número de personas se ha establecido en las orillas y áreas cercanas de los ríos por donde transitarían los lahares en caso de erupción. Se ha estimado que existen aproximadamente unos quinientos mil habitantes en las zonas de riesgo o afectación del volcán, por lo que en caso de ocurrir una erupción del Cotopaxi, esta representaría un desastre de magnitud importante para el Ecuador. La población y las autoridades tienen por lo tanto en sus manos una importante tarea de capacitación, planificación y acción por delante para reducir al máximo el impacto que se generaría por este desastre.

El proyecto *“Simulación de aplicación de mecanismos de reducción de riesgo para la población expuesta al riesgo volcánico: Volcán Cotopaxi, Ecuador”* utiliza la dinámica de sistemas como una herramienta para enfatizar y demostrar la importancia de la aplicación de medidas de mitigación y reducción de riesgo, con el fin de preservar la vida de los habitantes de la zona de riesgo del área del Valle de los Chillos, población que sería severamente afectada cuando el evento suceda.

2. Introducción

Ecuador, el cuarto país de menor extensión de América del Sur, se encuentra localizado en la sección Noroccidental del continente sobre la línea Equinoccial. Geográficamente ha sido dividido en cuatro regiones: Costa, Sierra, Oriente y la Región Insular o Galápagos. La región Sierra o Andina se encuentra atravesada de norte a sur por la Cordillera de los Andes, misma que está conformada por varios

volcanes en estado activo, convirtiendo al país en uno de los que presentan las más altas concentraciones de volcanes activos alrededor de zonas con alta densidad poblacional en el mundo.

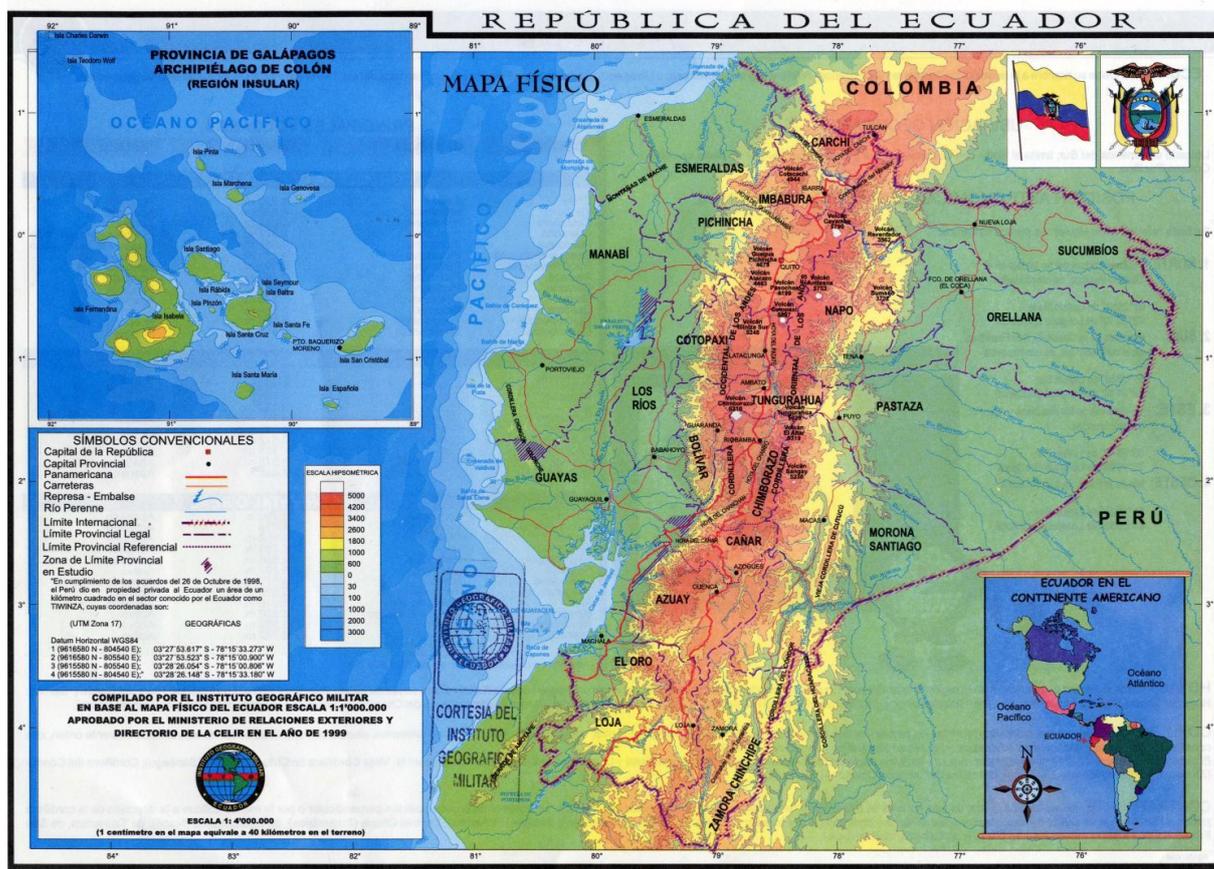


Figura 1.- Mapa Físico del Ecuador

Fuente.- Instituto Geográfico Militar, Ecuador, s/a

Es precisamente en esta cadena volcánica que se encuentra el volcán Cotopaxi, que con 5897 m de altura, es considerado el segundo volcán activo más alto del mundo y también uno de los más peligrosos debido a que como resultado de sus erupciones se pueden formar enormes lahares (flujos de lodo y escombros) producto del derretimiento súbito del glaciar, que transitarían por cauces de ríos que atraviesan varias provincias del país y en cuyas orillas se encuentran zonas con una alta densidad poblacional.

El volcán Cotopaxi se encuentra localizado en la provincia del mismo nombre en la Sierra central del país, en las coordenadas 0°38' S y 78°26' O sobre la cordillera Oriental, a una distancia de 35 km al Noreste de la ciudad de Latacunga y a 45 km al Sureste de Quito, la ciudad capital, como puede verse a continuación:

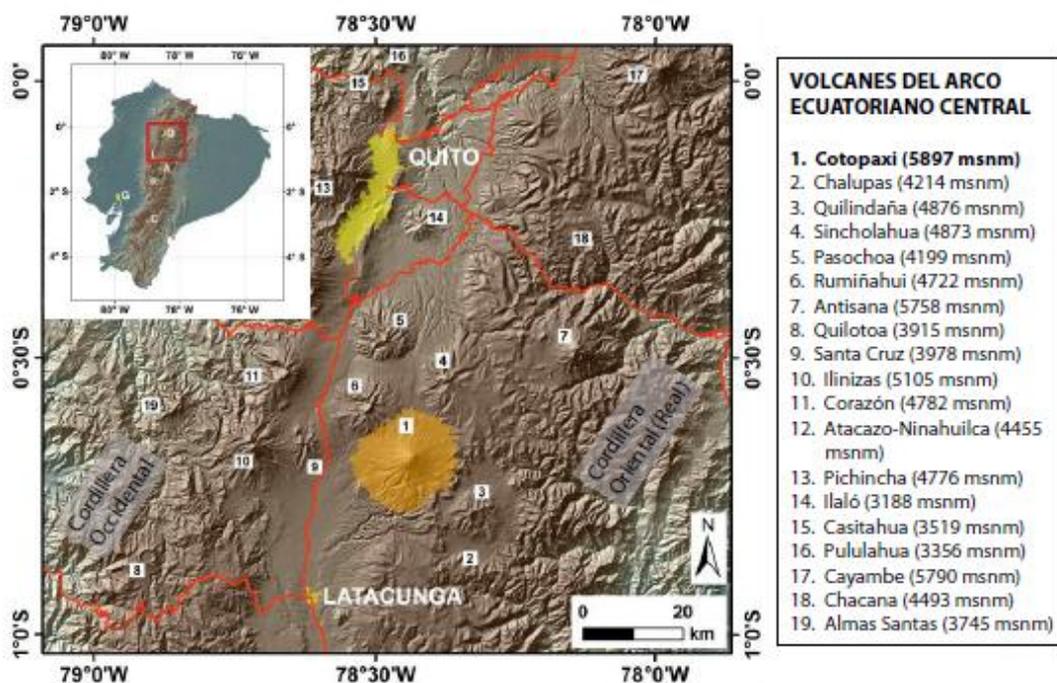


Figura 2. Volcán Cotopaxi

Fuente.- Las Potenciales Zonas de inundación por Lahares en el Volcán Cotopaxi, Ordóñez, et al, 2013

La última gran erupción registrada ocurrió en el año de 1877. Según los datos históricos que han podido ser recopilados, causó grandes estragos y destrucción en las cuencas asociadas al sistema hídrico que nace en el volcán.

De acuerdo a Aguilera y Toulkeridis, 2005, debido a la reciente edad geológica del volcán, una nueva erupción es un hecho cuya fecha de ocurrencia es imposible de precisar. Sin embargo, en base a los datos históricos, existe una elevada probabilidad de que suceda en los próximos cincuenta años. Utilizando la historia eruptiva del volcán, el tiempo promedio entre erupciones es de 117 ± 70 años, por lo que tomando como referencia la última erupción de 1877, el actual intervalo de reposo se encuentra dentro del promedio estadístico de erupciones.

El drenaje norte del volcán está conformado por los ríos Pita y El Salto que aguas abajo se unen con los ríos Santa Clara y San Pedro que atraviesan poblaciones con una alta densidad poblacional como Sangolquí, el Valle de los Chillos, Cumbayá y otros poblados del Distrito Metropolitano de Quito, capital del país. La reactivación del Cotopaxi obligó a la población y a las autoridades a retomar un tema que se ha mantenido latente por muchos años. La costumbre a la presencia del volcán, conocido como activo pero en estado de reposo, condujo al establecimiento descuidado de la población en plenas zonas de tránsito de lahares, aumentando de manera dramática en los últimos seis o siete años en el Valle de los Chillos, sin que existiera control en base al riesgo volcánico por parte de las autoridades.

En un estudio realizado por la Escuela Politécnica del Ejército en colaboración con la Universidad de Pisa, se determinó que el tiempo de llegada de los lahares al Valle de los Chillos en un evento máximo con volúmenes mayores a 40 millones de metros cúbicos (igual al de 1877) es de aproximadamente 30 minutos, con alturas de entre 7 y 30 metros que sumergirían un área representativa de las poblaciones causando graves daños tanto en vidas humanas como en infraestructura.

Varias entidades científicas, entre ellas el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (IGEPN), ente oficial encargado del monitoreo del volcán, han realizado modelos sobre las zonas de afectación por paso de lahares en caso de erupción. En la imagen se puede apreciar uno de los resultados que ha sido publicado para el drenaje norte, en el que las áreas de color rojo representan la zona de influencia por lahares. El recuadro amarillo enmarca el área del Valle de los Chillos, motivo del presente estudio.

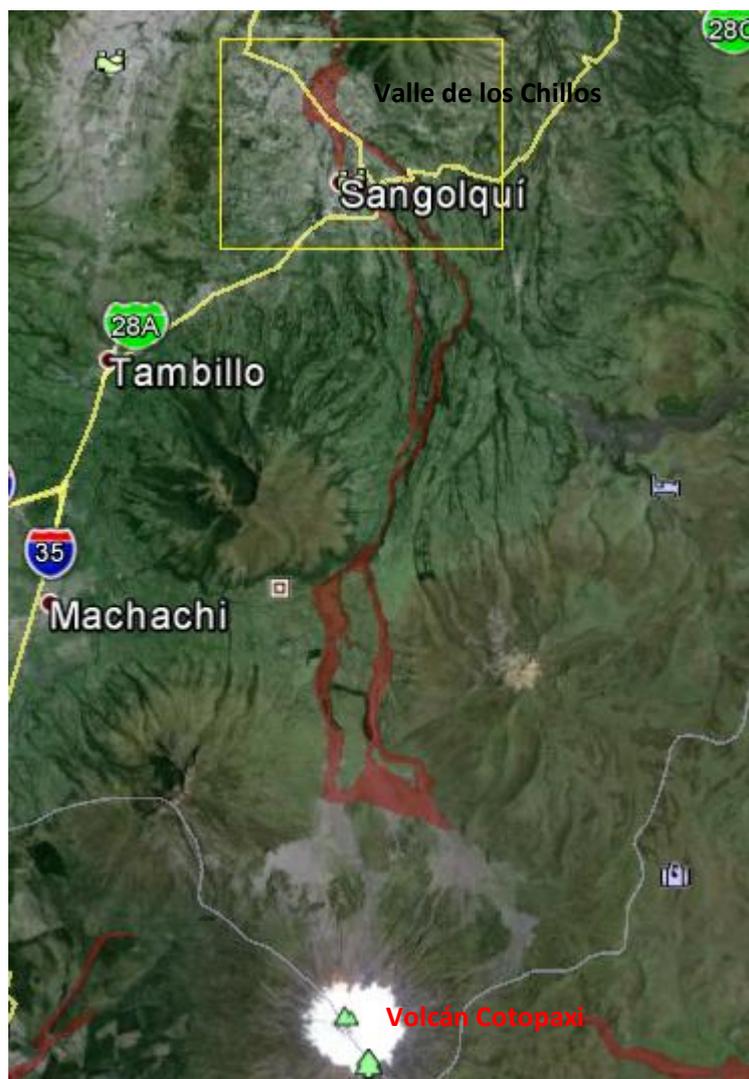


Figura 2.- Posibilidad de afectación por inundación de lahares

Fuente.- Simulación sobre Google Earth, Anónimo, 2015

En el mes de abril de 2015, el volcán presentó nueva actividad que permaneció constante hasta aproximadamente octubre del mismo año, con emisiones de gases, ceniza y continuos tremores volcánicos que son evidencia de su reactivación. A la presente fecha el volcán está catalogado como *En Erupción*, por el IGEPN. (<http://igepn.edu.ec/red-de-observatorios-vulcanologicos-rovig>) y el nivel de alerta se mantiene en amarilla hasta el momento de la elaboración del presente documento.

De acuerdo al Plan de Contingencia Nacional para la Amenaza de Erupción del Volcán Cotopaxi para las Provincias de Cotopaxi, Napo y Pichincha, elaborado por la Secretaría de Gestión de Riesgos de Ecuador, hay aproximadamente 560000 personas que podrían verse afectadas por una posible erupción del volcán Cotopaxi en las tres provincias mencionadas.

El proyecto *“Simulación de aplicación de mecanismos de reducción de riesgo para la población expuesta al riesgo volcánico: Volcán Cotopaxi, Ecuador”* pretende proporcionar información sobre cómo diferentes enfoques en políticas de mitigación y prevención de riesgos ayudarían a proteger a los habitantes asentados en las áreas de influencia directa de los lahares producidos en caso de erupción.

Dicha información podría utilizarse como una herramienta clave para el proceso de toma de decisiones de las autoridades locales y nacionales en caso de desastre, y en última instancia podría utilizarse para salvar a un número significativo de personas.

3. Metodología

La dinámica de sistemas es una poderosa herramienta de planificación que permite al usuario crear modelos de simulación de diversas situaciones tomando en consideración todas las variables del sistema en análisis, ya sea este real o planificado, y evalúa los posibles escenarios de la aplicación de diversas estrategias como un medio para obtener una meta alcanzable. Este enfoque permite a los tomadores de decisiones contar con resultados bastante claros y lógicos, permitiéndoles escoger las opciones o estrategias que mejor se ajustan a sus requerimientos y metas.

En este caso el enfoque de sistemas se utilizó para determinar las relaciones causales existentes entre cada uno de los factores que influyen en este caso en el número de habitantes en riesgo en la Zona del Valle de los Chillos por erupción del Volcán Cotopaxi.

El presente proyecto considera, en torno a los habitantes en zona de riesgo, los siguientes factores que influirían en la cantidad de pobladores que se verían

beneficiados por la implementación de acciones y obras de prevención y mitigación:

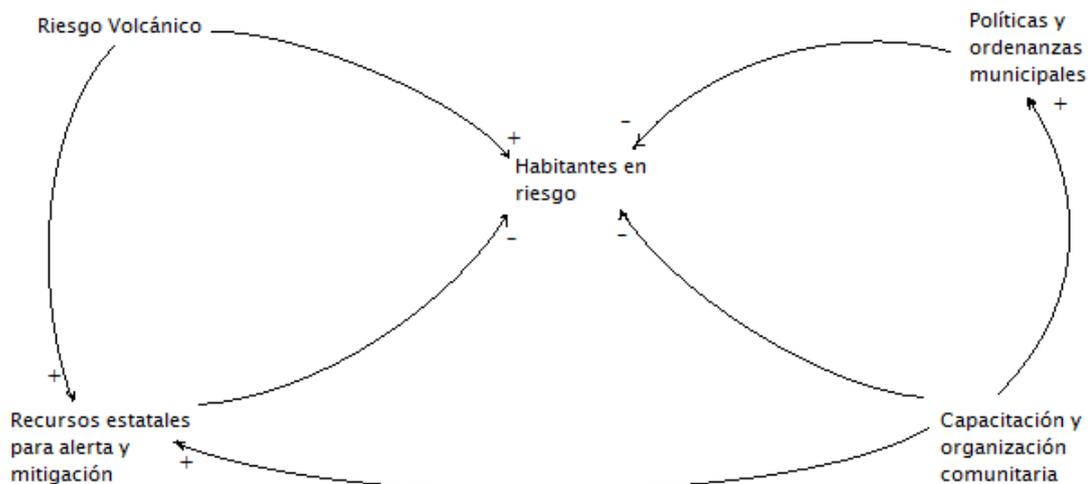
Riesgo Volcánico.- En base a los históricos, el volcán Cotopaxi es considerado como muy peligroso. El riesgo volcánico sobre la población en las áreas de influencia es por lo tanto elevado.

Políticas y ordenanzas municipales.- Durante los últimos seis o siete años ha existido un notable incremento de la población e infraestructura en zonas consideradas de riesgo en gran parte porque no ha existido una ordenanza o política municipal que prohíba la construcción o asentamiento a orillas de los ríos.

Prevención y capacitación comunitaria.- La comunidad asentada en áreas de riesgo, no ha recibido capacitación ni tiene conocimiento sobre el peligro de una erupción volcánica. Es imprescindible que la comunidad se eduque y se organice para reducir su vulnerabilidad.

Recursos estatales para alerta y mitigación.- De igual manera es de suma importancia que el estado o los gobiernos locales provean a las poblaciones vulnerables de infraestructura que permita disminuir los tiempos de respuesta, así como también mitigar los efectos destructivos de los lahares provocados por una erupción.

Las relaciones son determinadas a través de diagramas causales como el que se ha realizado de manera preliminar y que puede observarse a continuación:



Una vez determinadas las relaciones entre los distintos factores que componen el sistema, se utilizó el software VENSIM para modelar en base a ecuaciones dichas relaciones, con el fin de determinar el impacto que las políticas asumidas tendrán sobre el problema que se plantea: Cómo influye la aplicación de distintas políticas de prevención en el factor de protección de vidas humanas.

4. Resultados

A continuación se describen a detalle las variables utilizadas y sus relaciones para el desarrollo del modelo en el software VENSIM:

- Incremento.- Es el aumento de habitantes debido a nacimientos o migración de la población. Aumenta si la tasa de nacimientos o de migración aumenta.
- Disminución.- Es la reducción de habitantes debido a emigración o defunciones. Aumenta si la tasa de emigración o de defunciones incrementa.
- Tasa de natalidad.- Definido como el número de nacimientos de una población en un año.
- Tasa de Inmigración.- Definido como el número de inmigraciones registradas para la zona de estudio en un año.
- Densidad Poblacional.- Es el número de habitantes por km² en la zona de estudio.

- Área en riesgo.- Área en zona de paso de lahares por erupción del Volcán Cotopaxi en el Valle de los Chillos.
- Políticas y Ordenanzas Municipales.- Políticas y Ordenanzas implementadas por el Gobierno Local (Gobierno Autónomo Descentralizado de los Cantones Quito y Rumiñahui) para regular la expansión urbana en las zonas de riesgo.
- Capacitación y Organización Comunitaria.- Medida de la conformación de comités barriales y organización interna para la respuesta en caso de emergencia.
- Recursos estatales para alerta y mitigación.- Fondos públicos destinados a la adquisición e implementación de sistemas de alerta temprana y obras civiles para mitigar el paso de lahares
- Peligro Volcánico.- Conjunto de eventos esperables del proceso eruptivo del Volcán Cotopaxi (sismos volcánicos, caída de ceniza, flujos piroclásticos, generación de lahares)
- Reactivación.- Reinicio de la actividad volcánica del Cotopaxi
- Información de monitoreo científico.- Lecturas de los parámetros de control como cantidad de SO₂ emitida en ton/día, Número de sismos volcánicos, entre otros, monitoreados por la entidad científica a cargo (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional)
- Erupción.- Proceso en el que el Volcán libera la energía acumulada mediante emisión de lava y gases a través de su ducto volcánico.

Definición de las relaciones

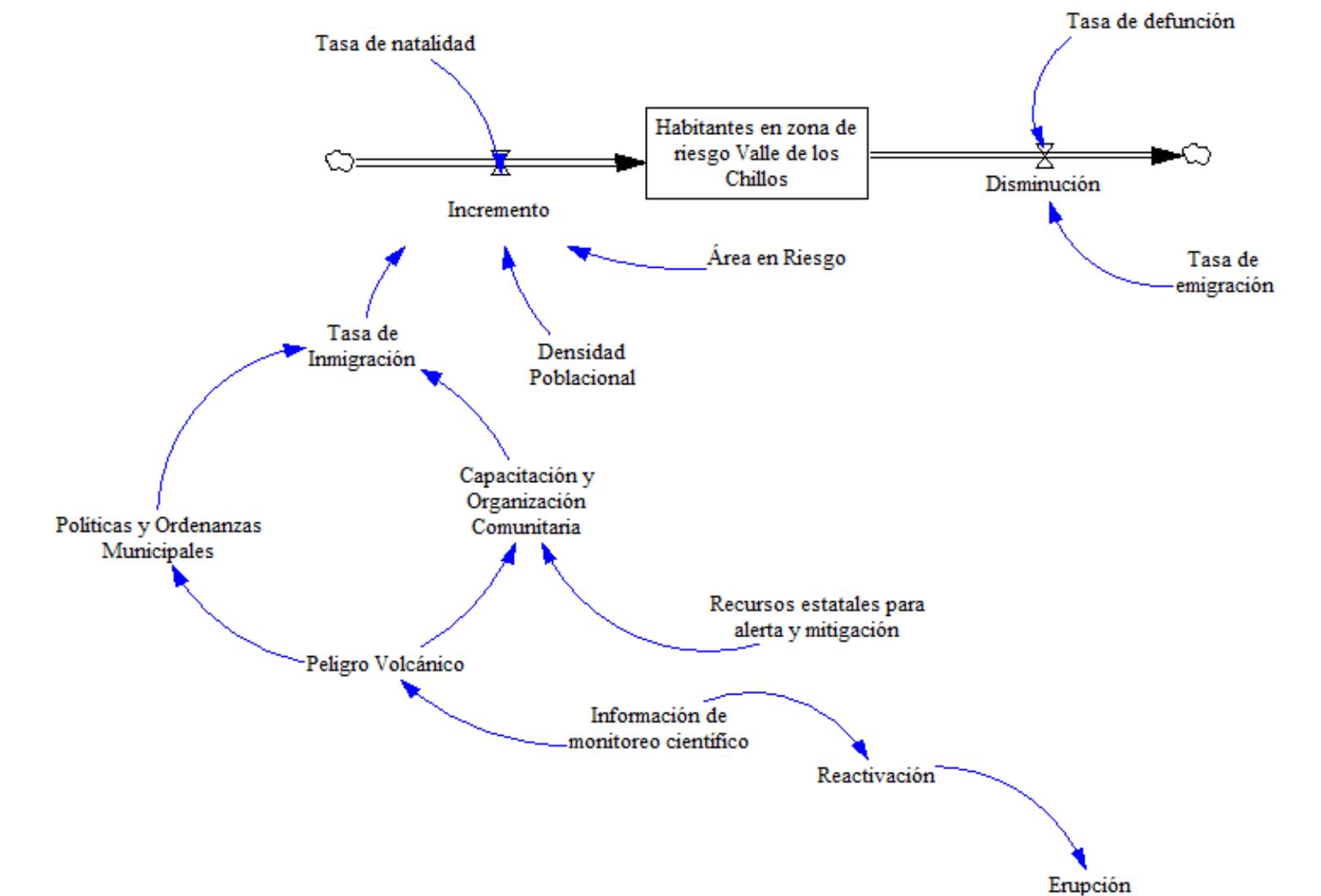
- La Tasa de Natalidad influye en el incremento de la población porque proporciona una medida de cuántas personas aumentan por nacimientos dentro de la zona de estudio

- La Tasa de Inmigración influye en el incremento porque, al igual que la anterior, proporciona una medida de cuántas personas aumentan por efectos de la inmigración hacia la zona de estudio
- El Área en riesgo se considera en este caso como un factor relevante ya que no todo el Valle de los Chillos sería afectado por el paso de lahares, únicamente una porción de él correspondiente al área aledaña a las riveras de los ríos.
- La Densidad Poblacional influye en el número de habitantes en riesgo porque permitiría conocer cuántas personas por km² viven en el área de paso de lahares.
- La Tasa de Defunción influye sobre la disminución de población debido a que proporciona un dato sobre cuántas personas abandonan el área por muerte
- La Tasa de Emigración influye sobre la disminución de habitantes porque proporciona información sobre cuantas personas migran fuera del área hacia otras zonas por diversos motivos.
- Las Políticas y Ordenanzas Municipales son relevantes en cuanto a la Tasa de Inmigración porque, de existir podrían frenar o poner un límite a las personas que establecerían su hogar en zona de riesgo.
- La Capacitación y organización comunitaria es importante en el control de la Tasa de Inmigración ya que si los pobladores están informados y organizados podría ser un factor de reducción en el número de personas que establecerían su hogar en la zona de riesgo.
- El Peligro Volcánico constituye un factor en la conformación de comités barriales o comunitarios para la información y preparación en caso de erupción. Si existe peligro, los habitantes se ven en la necesidad de prepararse.
- El Peligro Volcánico influye también en la emisión de Políticas y Ordenanzas Municipales para controlar la construcción y asentamiento

en las zonas aledañas a los ríos por los que pasarían los lahares. Si hay peligro se emiten Políticas de control.

- La información de monitoreo científico proporciona datos sobre el estado de los eventos volcánicos (peligros) que permiten determinar si el volcán está en actividad.
- La información de monitoreo permite conocer si se existe una reactivación del volcán y si finalmente este entrará en erupción.
- Los Recursos estatales para alerta y mitigación facilitan a la población la capacitación y realización de simulacros para prepararse frente a un evento eruptivo.

El modelo ya desarrollado en el software se puede apreciar a continuación:



5. Conclusiones

- El modelo de simulación presentado constituye una primera aproximación a lo que podría convertirse en una poderosa herramienta para demostrar la necesidad de la aplicación de medidas de mitigación en las zonas de riesgo por erupción del volcán Cotopaxi.
- Un modelo de simulación sobre la aplicación de medidas de mitigación permitiría a las autoridades y encargados de la gestión de riesgo tomar decisiones acertadas sobre la implementación de las mismas. Por otro lado, hasta el momento de la elaboración de este documento no se ha realizado la instalación de Sistemas de Alerta Temprana que funcionen de manera automática e instantánea para dar a la población ventaja en el tiempo para evacuación ya que este es bastante reducido.
- Es importante contar con un criterio experto en el desarrollo de modelos de simulación para poder establecer de manera correcta las relaciones existentes entre las variables y también interpretar los resultados de manera que realmente constituyan un aporte para los tomadores de decisiones.
- Las autoridades deben apoyarse en los estudios técnicos existentes para la implementación de medidas de mitigación. Se conoce de experiencias en otros países en que las estructuras tipo SABO para lahares y los Sistemas de Alerta Temprana han permitido salvar vidas humanas y proteger infraestructura importante.
- Es de suma importancia que la población en riesgo y las autoridades se mantengan siempre informados y capacitados en temas de evacuación y acción frente a una erupción volcánica. El peligro al que están expuestos los pobladores del Valle de los Chillos debe ser correctamente evaluado con el fin de que se establezcan correctas medidas de mitigación y prevención en las zonas de riesgo.

6. Bibliografía

- ANDRADE, DANIEL et. al, 2005, *Los peligros volcánicos asociados con el Cotopaxi*, Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, Institut de Recherche pour le Developpement, Corporación, Quito, Ecuador
- Aguilera, Eduardo y Toulkeridis Theofilus, 2005, *El Cotopaxi, una amenaza que acecha*, PROYECTO PREVENCIÓN DE RIESGOS ASOCIADOS CON LA ERUPCIÓN DEL VOLCÁN COTOPAXI, Quito, Ecuador.
- García, Juan Martín, *Teoría y Ejercicios Prácticos de Dinámica de Sistemas*, 2014, Barcelona, España, Cuarta Edición. <http://dinamica-de-sistemas.com/elibros.htm>
- SECRETARÍA DE GESTIÓN DE RIESGOS DEL ECUADOR, s/a, Plan de Contingencia Nacional para Amenaza de Erupción del Volcán Cotopaxi, Provincias de Cotopaxi, Napo y Pichincha, s/a
- Vera, Ramón, 2013, *Geology of Ecuador*, Gráficas Iberia, Quito, Ecuador.

Libros

Cursos Online



[Ejercicios](#)



[Curso Básico Intensivo en Dinámica de Sistemas](#)



[Avanzado](#)



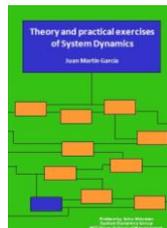
[Curso Superior en creación de modelos de simulación](#)



[Conceptos](#)



[Modelos de simulación en ecología y medioambiente](#)



[English](#)



[Planificación de empresas con modelos de simulación](#)



[Português](#)



[System Thinking aplicado al Project Management](#)