

Tabla de contenido

Capítulo 1: Introducción.....	7
1.1.- Formulación del estudio propuesto	9
1.2.- Objetivos del estudio.....	11
1.2.1.- Objetivo general.....	11
1.2.2.- Objetivos específicos	11
1.3.- Hipótesis del trabajo	11
Capítulo 2: Marco Teórico	12
2.1.- Duración y frecuencia de procesos volcánicos	13
2.2.- Gatillantes de una erupción volcánica	17
2.2.1.- Gatillantes internos	19
2.2.2.- Gatillantes externos.....	21
2.3.- Sismicidad volcánica	22
2.3.1.- Sismos de alta frecuencia o volcano - tectónicos (VT).....	23
2.3.2.- Sismos de baja frecuencia o de largo periodo (LP).....	23
2.3.3.- Tremor volcánicos	23
2.3.4.- Sismos explosivos.....	23
2.3.5.- Sismos de muy largo periodo (VLP).....	23
Capítulo 3: Metodología.....	25
3.1.- Calculo del tiempo de actividad precursora y periodo de reposo	25
3.2.- Análisis estadístico.....	26
3.3.1.- Coeficiente de correlación de Pearson.....	26
3.3.2.- Línea de tendencia	26
3.3.3.- Histogramas de actividad precursora	27
Capítulo 4: Resultados	28
4.1.- Gráficos de correlación	28
4.1.1.- Correlación entre la sismicidad pre-eruptiva y el tiempo de reposo	28
4.1.2.- Correlación entre la sismicidad pre-eruptiva y el porcentaje de sílice.....	30
4.1.3.- Correlación entre la sismicidad pre-eruptiva y la profundidad del reservorio magmático	31
4.1.4.- Correlaciones al sumar la base de datos de Passarelli y Brodsky (2012)	32
4.2.- Algunos aspectos sobre la duración de la sismicidad pre-eruptiva.....	33
4.3.- Erupciones con periodos sísmicos pre-eruptivos menores o iguales a un día.....	33
Capítulo 5: Discusiones.....	40
5.1.- Análisis de la dispersión en las correlaciones desde el punto de vista de la viscosidad	40

5.2.- La erupción del volcán Calbuco	42
5.3.- Posibles explicaciones a erupciones con sismicidad previa menor a un día.....	46
5.3.- Limitaciones, alcances y mejoras del método.....	47
Capítulo 6: Conclusiones	49
Capítulo 7: Bibliografía.....	51
Capítulo 8: Anexos.....	56
8.1. Histogramas del coeficiente de correlación.....	56
8.2. Gráficos complementarios.....	57
8.3.- Histogramas de duración del periodo sísmico pre-eruptivo.....	59
8.3.1.- Configuración tectónica	59
8.3.2.- Tipo de volcán.....	61
8.4.- Tablas de datos	63

Índice de figuras

Fig. 1. Duración de la sismicidad precursora versus el tiempo de reposo en escala log-log con una varianza del 40% para una relación lineal. Los datos están sub-clasificados de acuerdo al contenido de sílice. Los datos corresponden a 73 erupciones provenientes de 34 volcanes alrededor del mundo. Fuente: Passarelli y Brodsky (2012).....	10
Fig. 2. Duración de la erupción de 3301 casos donde es bien conocido la fecha de inicio y término. Fuente: Sigurdsson, Haraldur, et al., eds. The encyclopedia of volcanoes. Elsevier, 2015.	14
Fig. 3. Intervalo de tiempo que demora en alcanzar el clímax eruptivo, para 252 erupciones explosivas bien documentadas. Fuente: Sigurdsson, Haraldur, et al., eds. The encyclopedia of volcanoes. Elsevier, 2015.....	15
Fig. 4. Magnitud y frecuencia de erupciones holocenas. Cantidad de erupciones (normalizadas por 1000) para cada uno de los VEI>1. La mejor línea que se ajusta a los datos es una curva exponencial que usa solo los valores rellenos. Los datos para VEI 7 y 8 son mostrados por triángulos abiertos y fueron obtenidos de Decker 1990. Fuente: Sigurdsson, Haraldur, et al., eds. The encyclopedia of volcanoes. Elsevier, 2015.....	16
Fig. 5. Explosividad y tiempo transcurrido entre erupciones. El intervalo de tiempo entre erupciones es contabilizado a partir de dos inicios consecutivos. El número de erupciones desde VEI 0 hasta VEI 6 son 446, 677, 2991, 692, 230, 48 y 16 respectivamente. El porcentaje de erupciones con fatalidades también fue incluido para concientizar de la peligrosidad de volcanes sin actividad por miles de años. Fuente: Sigurdsson, Haraldur, et al., eds. The encyclopedia of volcanoes. Elsevier, 2015.	17
Fig. 6. Variación de la presión interna de un reservorio debido a una inyección magmática versus la profundidad a la que se encuentra. Las curvas de color negro indican la presión crítica donde se comienzan a fracturar las paredes del reservorio. Estas curvas se construyeron para coeficientes de Poisson de las rocas circundantes (ν) igual a 0,25 y 0,5. Modificado de Cañón-Tapia (2014)	21
Fig. 7. Espectros más típicos de la sismicidad volcánica. (A) sismo de alta frecuencia o volcano – tectónico (VT), volcán Redoubt, Alaska. (B) Evento híbrido, volcán Redoubt, Alaska. (C) sismo de baja frecuencia o de largo periodo (LP), volcán Redoubt, Alaska. (D) tremor volcánico, volcán Redoubt,	

Alaska. (E) sismo explosivo, volcán Pavlof, Alaska. Fuente: Sigurdsson, Haraldur, et al., eds. The encyclopedia of volcanoes. Elsevier, 2015.	24
Fig. 8. Gráfico de correlación entre la duración de la sismicidad pre-eruptiva versus el tiempo de reposo del volcán. El contenido de sílice del material eruptado se representa mediante la barra de color del lado izquierdo, donde los tonos rojizos representan magmas riolíticos y los tonos azules los basaltos. La dispersión de los datos indica que no existe correlación entre estas variables.	28
Fig. 9. Gráfico de correlación entre la duración del periodo sísmico pre-eruptiva versus el tiempo de reposo, solo para casos donde el tiempo de reposo haya sido de al menos 1000 días.	29
Fig. 10. Gráfico de correlación entre la duración del periodo sísmico pre-eruptivo versus el contenido de sílice del magma. Debido a la alta dispersión de datos, no se encuentra una correlación entre ellos. Una erupción andesítica puede ser antecedida por horas o meses de sismicidad.	30
Fig. 11. Gráfico de correlación entre la duración del periodo sísmico pre-eruptivo versus la profundidad de la cámara magmática subyacente al volcán. Independiente de la profundidad a la que se encuentre el reservorio magmático, una erupción podría ser antecedida por horas o años de sismicidad.	32
Fig.12. En este grafico se encuentran los 123 datos del periodo 2005 – 2015 que se pudieron recopilar, más los 73 casos estudiados por Passarelli y Brodsky (2012). Existe una correlación positiva con un coeficiente de correlación de Pearson de 0,05 y una curva de tendencia potencial con un $R^2 = 0,12$	32
Fig. 13. Sismograma registrada durante el 22 y 23 de abril del 2015. Los gráficos (de arriba hacia abajo) corresponden a las magnitudes de los eventos registrados, cantidad de sismos VT, LP y HB. Los 3 gráficos inferiores muestran un análisis sobre la señal continua registrada en el volcán, donde se muestran valores de RSAM, desplazamiento reducido y SSAM. Las dos líneas verticales negras coinciden con los dos pulsos eruptivos que caracterizaron este evento. Fuente: Valderrama et al. (2015).....	34
Fig. 14. Sismograma de los eventos registrados durante el periodo 1 de enero del 2010 hasta el 21 de abril del 2015. Arriba se muestran las magnitudes de los sismos, en el centro la tasa de actividad sísmica por hora para sismos VT y abajo los sismos LP en periodos de una hora. Un aumento en la sismicidad se deja en evidencia a partir de febrero del 2015 con alrededor de 2 sismos por día en promedio. Fuente: Valderrama et al. (2015).....	34
Fig. 15. Sismograma desde el 23 de agosto hasta el 30 de septiembre. (a) Diagrama de espacio-tiempo con todos los eventos detectados previo y posterior a la erupción freática del 2014, los círculos azules y las estrellas rojas representan los sismos VT y LP respectivamente. El diagrama muestra el tiempo cuando se originó el sismo y la distancia hacia el ducto construido a partir de la lineación de hipocentros. (b) Variaciones de profundidad para los sismos VT detectados. Los círculos están escalados dependiendo de la magnitud y los colores están relacionados a la profundidad, donde los valores positivos son bajo el nivel del mar. (c) Numero de sismos VT acumulados (línea azul) y sismos LP (curva roja). (d) Magnitud versus tiempo. Fuente: Kato et al. 2015	36
Fig. 16. Sismograma que contiene el registro de las 24 horas del día 6 de enero del 2013. Aquel instrumento está instalado a 1.9 kms del cráter del volcán Colima y registra ondas de corto periodo. Las líneas verticales están separadas cada un minuto y las horizontales muestran la hora local (izquierda) y en UTC (derecha). Notar la variedad de intensidades y amplitudes de microsismos previos a la explosión. Fuente: Colima Volcano Observatory (CVO).....	36
Fig. 17. Actividad sísmica registrada por la estación LLA1 desde abril del 2007 hasta marzo del 2008. Todos los peaks sísmicos se correlacionan con erupciones. En negro resaltan los 3 sismos VT previos a la erupción del 1 de enero del 2008. Fuente: Basualto et al. 2009.....	38
Fig. 18. Presión al interior de un reservorio magmático debido a la exsolución de gases como función de la profundidad. Basaltos con 5%, 10% y 15% de agua disuelta. La zona amarilla indica la profundidad del reservorio magmático bajo el volcán Calbuco. Modificado de Cañón-Tapia (2014).	44

Fig. 19. Variación de la presión interna de un reservorio magmático debido a la inyección de magma correspondiente al 1% del volumen inicial. La zona amarilla delimita la profundidad a la que se encuentra el reservorio magmático bajo el volcán Calbuco. Modificado de Cañón-Tapia (2014).....	45
Fig. 20. Diagrama subdividido en 4 regiones dependiendo la escala de tiempo dominante. Estas regiones se asocian a diferentes mecanismos gatillantes de una erupción. La región 4 implica altas tasas de inyecciones magmáticas frente a una respuesta elástica de la corteza. Esta región se asocia con el desarrollo de la cámara magmática del volcán Calbuco. Modificado de Degruyter y Huber (2014).	46
Fig. 21. Sismograma registrado en la estación Kibumba (~18 km SE) el 1 y 2 de enero del 2010. Estos registros sísmicos muestran fracturas e infieren apertura de fisuras 30-60 minutos antes de que comenzara la erupción. (Fuente: Tedesco 2010)	47
Fig. 22. Histograma del coeficiente de correlación de Pearson entre los tiempos de sismicidad precursora y de reposo. Se puede observar la tendencia hacia una correlación positiva con la mayoría de los casos rondando el 0. Los subgrupos con mayor correlación no sobrepasarían los 0,3.	56
Fig. 23. Histograma del coeficiente de correlación de Pearson entre el porcentaje de sílice y la duración sísmica precursora. Cualquier subgrupo tendería a un coeficiente en torno a los 0.25.	56
Fig. 24. Gráfico que relaciona los tiempos de actividad precursora y de reposo, con el porcentaje de SiO ₂ como tercera variable. Los puntos azules corresponden a magmas más básicos y los de tonalidades más rojizas son más félsicos.	57
Fig. 25. Grafico que contiene la totalidad de los casos estudiados junto a los de la publicación de Passarelli y Brodsky (2012). El coeficiente de correlación de Pearson es de 0,24 y la dispersión de datos se ajusta a una curva exponencial con un R ² = 0,11.	58
Fig. 26. Aquí se encuentran solo 120 datos recopilados de erupciones ocurridas a partir del 2005 hasta el 2015 debido a la falta de información de 3 casos (1 del Marapi y 2 del Tangkubanparahu), además de los 73 casos recopilados por Passarelli y Brodsky (2012). El coeficiente de correlación de Pearson es de 0,22 y la curva que mejor se ajusta a la dispersión de datos es del tipo potencial con un R ² = 0,12.....	58
Fig. 27. Datos correspondientes a erupciones en zonas de subducción.	59
Fig. 28. Histograma de duración del tiempo precursor para las erupciones ocurridas en contextos geodinámicos de subducción. Se puede apreciar la alta probabilidad de periodos precursores sísmicos de entre 7 días hasta 3 meses.	60
Fig. 29. Histograma de erupciones ocurridas valles de rifts y sus cercanías. Debido a las escasas erupciones correspondientes a esta categoría, se podría deber la poca polarización del histograma. A pesar de esto último se desprende que es más probable tener duraciones entre 1 a 3 meses de actividad precursora.	60
Fig. 30. Histograma con los tiempos de sismicidad precursora de 7 erupciones ocurridas en intraplaca. No es posible apreciar alguna preferencia para estos tiempos, aunque es más probable tener un tiempo precursor mayor a un mes.	61
Fig. 31. Histograma con las erupciones ocurridas en zonas de rifts e intraplaca. Existe una mayor probabilidad de tener tiempos precursores entre 1 a 3 meses. Una alta probabilidad de tener tiempos precursores menores o iguales a un día también es posible observar.....	61
Fig. 32. Histograma de la duración del periodo precursor sísmico de erupciones ocurridas solo en estratovolcanes. El grosor de los datos contempla periodos precursores mayores a una semana y menores a los 3 meses. 10 Erupciones ocurrieron dentro de un día iniciada la actividad sísmica.	62
Fig. 33. Histograma de erupciones ocurridas en calderas volcánicas. No ocurrieron periodos precursores menores o iguales a un día. Ninguna polaridad es apreciable, probablemente por la poca cantidad de erupciones dentro de esta clasificación.	63
Fig. 34. Histograma de los tiempos precursores sísmicos de erupciones ocurridas en volcanes escudo y escudos de piroclastos (Rabaul). Los dos rangos de tiempo con mayor densidad de casos son los tiempos menores o iguales a un día, con 5 casos, y aquellas que duraron entre 1 y 3 meses, con 6 casos.....	63

Fig. 35. Histograma de tiempos precursores sísmicos a erupciones ocurridas en volcanes complejos. Mayor cantidad de erupciones han ocurrido con tiempos de sismicidad precursora mayor. No ocurrieron erupciones con sismicidad previa menor o igual a un día.63