

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo General	2
1.1.2. Objetivos Específicos	2
1.2. Estructura	3
2. Marco Teórico y Estado del Arte	4
2.1. Movimiento sísmico	4
2.1.1. Localización de eventos sísmicos	4
2.1.2. Movimientos sísmicos de origen volcánico	5
2.1.3. Localización de eventos sísmicos volcánicos	6
2.2. Procesamiento de señales	6
2.2.1. Transformada discreta de Fourier (DFT)	6
2.2.2. Transformada rápida de Fourier (FFT)	7
2.2.3. Transformada de Fourier en tiempo reducido (STFT)	7
2.2.4. Ventana de Hamming	9
2.2.5. Signal-to-noise ratio (SNR)	10
2.3. Inteligencia Artificial (IA)	10
2.3.1. Machine Learning	11
2.3.2. Deep Learning	12
2.4. Redes Neuronales	13

2.4.1.	Red Neuronal Artificial	13
2.4.2.	Redes Neuronales Recurrentes (RNN)	15
2.4.3.	Desvanecimiento del gradiente	17
2.5.	Long-Short Term Memory (LSTM)	18
2.5.1.	Aplicaciones de la LSTM	19
2.6.	End-to-end	20
2.7.	Estado del Arte	20
2.7.1.	Localización de eventos con picado automático de ondas P y S	20
2.7.2.	Localización de eventos volcánicos basados en machine learning	21
2.7.3.	Modelos de entrada de información a redes neuronales	21
2.7.4.	Ponderación y propagación de la incertidumbre de los datos en redes neuronales	22
3.	Metodología e Implementación	23
3.1.	Base de datos	23
3.1.1.	Problema de intermitencia de registros	25
3.2.	Elección modelo	26
3.3.	Hiperparámetros	26
3.4.	Variable para propagar la incertidumbre	28
3.4.1.	Cálculo SNR	28
3.4.2.	Definición de la variable de incertidumbre	29
3.5.	Preprocesamiento	30
3.5.1.	Preprocesamiento señales sísmicas	30
3.5.2.	Normalización coordenadas	33
3.6.	Arquitectura LSTM	33
3.7.	Posición variable de incertidumbre	34
3.8.	Modelo LSTM previo	34
4.	Resultados	36

4.1. Barrido de hiperparámetros	36
4.2. Parámetros de preprocesamiento	37
4.3. Modelos LSTM creados	38
4.3.1. LSTM - Variable de incertidumbre agregada en la primera fila del input	38
4.3.2. LSTM - Variable de incertidumbre multiplicada por el resultado de la STFT	39
4.3.3. LSTM - Sin variable de incertidumbre	39
4.3.4. LSTM - Sin base de datos de los años 2015 a 2017 - Variable de incertidumbre multiplicada por el resultado de la STFT	40
4.3.5. Comparación de todos los modelos	40
4.4. Discusión de resultados	41
4.4.1. Porcentaje de aciertos	41
4.4.2. Desempeño a medida que aumenta la distancia al centroide	42
4.4.3. Deep Learning vs. Picado automático+HYPOSAT	43
4.4.4. Observación de la red neuronal y justificación MAE	44
4.4.5. Omisión base de datos 2015-2017	46
4.4.6. Limitaciones del método	46
5. Conclusiones	48
Bibliografía	54