

# Tabla de Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	3
1.2. Hipótesis de trabajo . . . . .	3
1.3. Objetivos generales . . . . .	3
1.4. Objetivos específicos . . . . .	4
1.5. Estructura de la tesis . . . . .	4
<b>2. Detección automática de eventos sísmicos</b>	<b>5</b>
2.1. Actividad Sísmica . . . . .	5
2.1.1. Antecedentes sísmológico de Chile . . . . .	5
2.1.2. Descripción señales sísmicas . . . . .	5
2.2. Procesamiento de Señales . . . . .	7
2.2.1. Ventana de Hamming . . . . .	7
2.2.2. Transformada de Fourier de Tiempo Reducido (STFT) . . . . .	8
2.2.3. Relación Señal-Ruido (SNR) . . . . .	8
2.3. Métodos de detección automática sísmica . . . . .	9
2.3.1. Short-Time-Average/Long-Time-Average (STA/LTA) . . . . .	9
2.3.2. Fingerprint and Similarity Thresholding (FAST) . . . . .	10
2.3.3. Machine Learning . . . . .	11
2.4. Deep Neural Network-Hidden Markov Model (DNN-HMM) . . . . .	19
2.4.1. Deep Neural Network(DNN) . . . . .	19
2.4.2. Hidden Markov Model(HMM) . . . . .	23
2.4.3. Procedimiento de entrenamiento para DNN-HMM . . . . .	32
2.5. Ejemplos de sistemas de detección sísmica con ML . . . . .	32
<b>3. Sistema DNN-HMM con modelos de duración de estados y eventos</b>	<b>36</b>
3.1. Técnica propuesta . . . . .	36
3.1.1. Extracción de características . . . . .	38
3.1.2. Procedimiento de Entrenamiento . . . . .	40
3.1.3. Procedimiento de Decodificación . . . . .	43
3.2. Descripción experimental y del sistema . . . . .	45
3.2.1. Bases de Datos . . . . .	45
3.2.2. Métrica de rendimiento . . . . .	46
3.2.3. Optimización de funciones, hiperparámetros, arquitectura y entrena- miento . . . . .	47
3.2.4. Experimentos con restricciones de duración . . . . .	47
3.2.5. Rendimiento entre dominios . . . . .	48

3.2.6.	Relación magnitud y distancia . . . . .	49
<b>4.</b>	<b>Resultados y Discusión</b>	<b>50</b>
4.1.	Optimización de funciones, hiperparámetros, arquitectura y entrenamiento .	50
4.2.	Experimentos con restricciones de duración . . . . .	50
4.3.	Rendimiento entre dominios . . . . .	52
4.4.	Relación magnitud y distancia . . . . .	54
4.5.	Demanda computacional . . . . .	56
4.6.	Comparación de modelos en ejemplos de señales sísmicas . . . . .	56
<b>5.</b>	<b>Conclusiones y Trabajo Futuro</b>	<b>60</b>
5.1.	Trabajo Futuro . . . . .	61
	<b>Bibliografía</b>	<b>63</b>
	<b>Anexos</b>	<b>72</b>
A	Algoritmos implementados en GMM-HMM . . . . .	72
A.1	Algoritmo Forward . . . . .	72
A.2	Algoritmo Backward . . . . .	73
A.3	Algoritmo de Viterbi . . . . .	74
A.4	Algoritmo de Baum-Welch . . . . .	75
B	Aplicación de EM al aprendizaje de la GMM-HMM . . . . .	78