



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

**Mejora del desempeño de un clasificador mediante la
selección de características de las señales de microsismos
del volcán Cotopaxi**

Autor: Morales Zapata Steve Alexander

Director: Ing. Bernal Oñate, Carlos Paúl



- ▶ **01. Introducción**
- ▶ **02. Materiales y Métodos**
- ▶ **03. Resultados**
- ▶ **04. Conclusiones y Recomendaciones**





01. Introducción



02. Materiales y Métodos



03. Resultados



04. Conclusiones y Recomendaciones



Volcán Cotopaxi



- Debido a su potencial actividad se encuentra en constante monitoreo.
- El poder analizar las señales que este volcán produce, puede ser de gran ayuda para determinar un posibles riesgos.

Objetivo General

- Mejora del desempeño de un clasificador mediante la selección de características de las señales de microsismos del volcán Cotopaxi.

Objetivos Específicos

- Analizar el estado del arte de las metodologías utilizadas en la obtención de características.
- Identificar las mejores características mediante el empleo de escalas lineales y psico acústicas, con diferentes métodos de selección de características.
- Evaluar el desempeño del clasificador de señales de microsismos del volcán Cotopaxi y mostrarlos en un sistema en MATLAB®.





01. Introducción



02. Materiales y Métodos



03. Resultados



04. Conclusiones y Recomendaciones

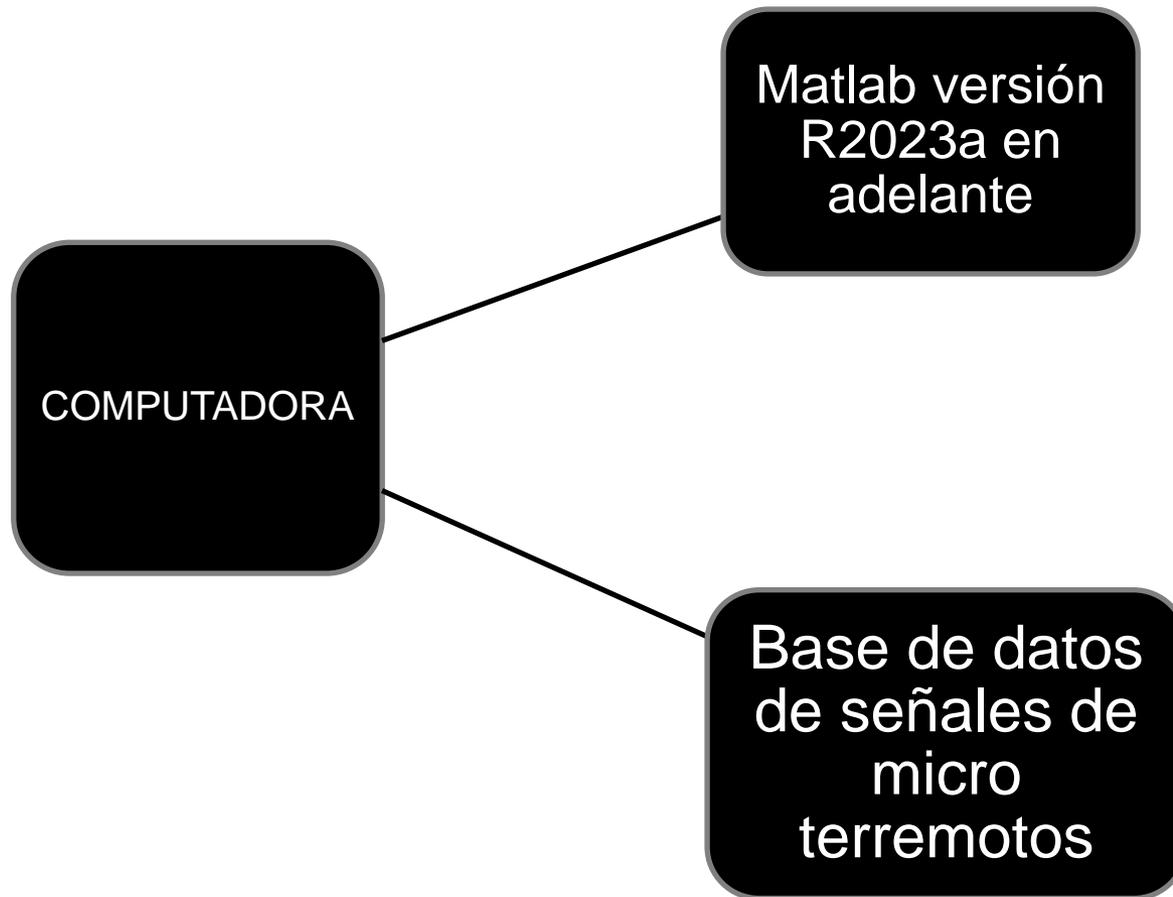


Diagrama de Bloques



Diagrama de Bloques



BASE DE DATOS

Eventos Volcanotectónico (VT)

Eventos Largo Periodo (LP)

Eventos Híbridos (HB)

Rupturas de glaciación (IC)

Eventos Regionales (RG)

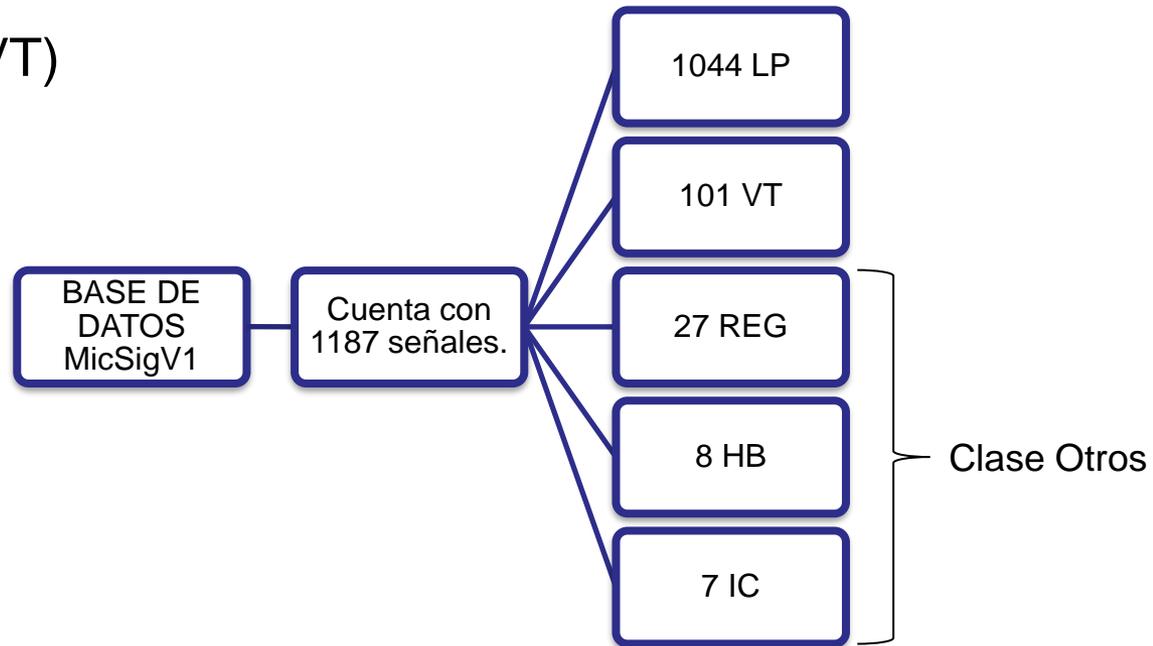
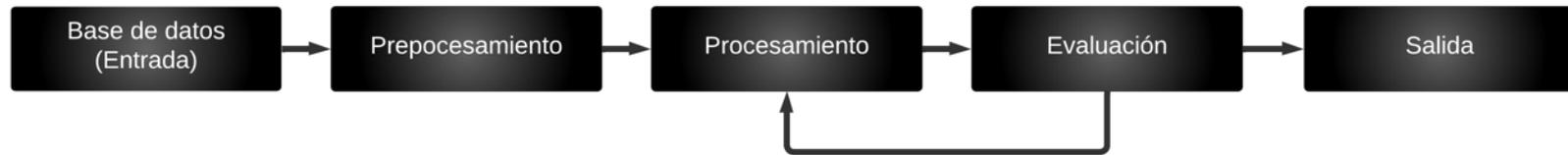


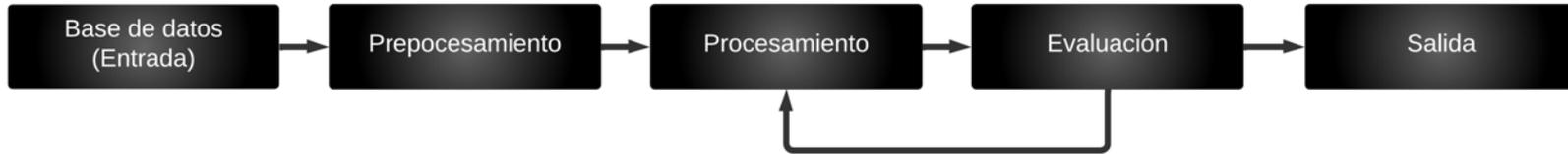
Diagrama de Bloques



PREPROCESAMIENTO



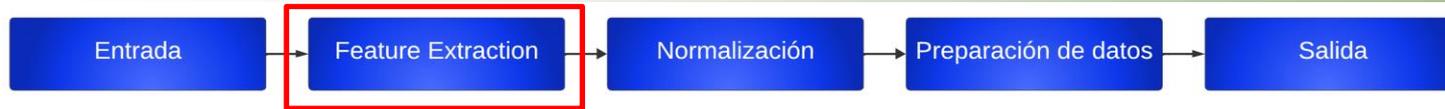
Diagrama de Bloques



PROCESAMIENTO



PROCESAMIENTO



“ESeismic: Towards an Ecuadorian volcano seismic repository” (Pérez et al., 2020).

ID	Nombre de la característica	ID	Nombre de la característica	ID	Nombre de la característica
Time-domain		f28	Peak-to-RMS ratio	f56	Percentage of energy for A6
f1	Mean	f29	Power	f57	Percentage of energy for D1
f2	Standard deviation	f30	Density of peaks above RMS	f58	Percentage of energy for D2
f3	Variance	f31	2nd highest peak value	f59	Percentage of energy for D3
f4	Entropy	f32	Freq. of 2nd highest peak	f60	Percentage of energy for D4
f5	Kurtosis	f33	3rd highest peak value	f61	Percentage of energy for D5
f6	Multiscale entropy (MSE)	f34	Freq. of 3rd highest peak	f62	Percentage of energy for D6
f7	Time to reach the maximum peak	Scale-domain		f63	A6 RMS in time-domain
f8	RMS value	f35	A6 Max. peak in freq.-domain	f64	D1 RMS in time-domain
f9	Peak-to-peak value	f36	D1 Max. peak in freq.-domain	f65	D2 RMS in time-domain
f10	Peak-to-RMS ratio	f37	D2 Max. peak in freq.-domain	f66	D3 RMS in time-domain
f11	Energy	f38	D3 Max. peak in freq.-domain	f67	D4 RMS in time-domain
f12	Zero-crossing rate	f39	D4 Max. peak in freq.-domain	f68	D5 RMS in time-domain
f13	Density of peaks above RMS	f40	D5 Max. peak in freq.-domain	f69	D6 RMS in time-domain
Frequency-domain		f41	D6 Max. peak in freq.-domain	f70	A6 Peak-to-peak in time-domain
f14	Frequency of maximum peak	f42	A6 Freq. of max. peak	f71	D1 Peak-to-peak in time-domain
f15	Bandwidth of 90% energy	f43	D2 Freq. of max. peak	f72	D2 Peak-to-peak in time-domain
f16	Entropy	f44	D3 Freq. of max. peak	f73	D3 Peak-to-peak in time-domain
f17	Mean	f45	D4 Freq. of max. peak	f74	D4 Peak-to-peak in time-domain
f18	Standard deviation	f46	D5 Freq. of max. peak	f75	D4 Peak-to-peak in time-domain
f19	Variance	f47	D6 Freq. of max. peak	f76	D6 Peak-to-peak in time-domain
f20	Energy	f48	A6 Mean in freq.-domain	f77	A6 Peak-to-RMS ratio in time-domain
f21	Kurtosis	f49	D1 Mean in freq.-domain	f78	D1 Peak-to-RMS ratio in time-domain
f22	Multiscale entropy	f50	D2 Mean in freq.-domain	f79	D2 Peak-to-RMS ratio in time-domain
f23	Maximum peak in 10–20 Hz band	f51	D3 Mean in freq.-domain	f80	D3 Peak-to-RMS ratio in time-domain
f24	Freq. of max. peak in 10–20 Hz Band	f52	D4 Mean in freq.-domain	f81	D4 Peak-to-RMS ratio in time-domain
f25	Maximum peak in 20–30 Hz band	f53	D5 Mean in freq.-domain	f82	D5 Peak-to-RMS ratio in time-domain
f26	Freq. of max. Peak in 20–30 Hz Band	f54	D6 Mean in freq.-domain	f83	D6 Peak-to-RMS ratio in time-domain
f27	RMS value	f55	Mean energy of components	f84	Mean energy of wavelet coefficients



PROCESAMIENTO

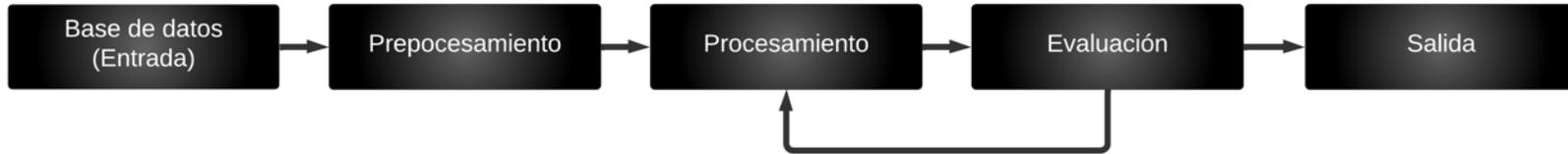


“Clasificación de eventos sismo volcánicos usando características psicoacústicas mediante técnicas de aprendizaje automático supervisado y no supervisado.” (Minango,2022)

CARACTERÍSTICAS PSICOACÚSTICAS

ID	Nombre de la característica	ID	Nombre de la característica
f85	Kurtosis	f92	Spread
f86	Slope	f93	Centroid
f87	Crest	f94	Entropy
f88	Flux	f95	RolloffPoint
f89	Skewness	f96	shorTimeEnergy
f90	Decrease	f97	harmonicRatio
f91	Flatness	f98	zeroCrossRate

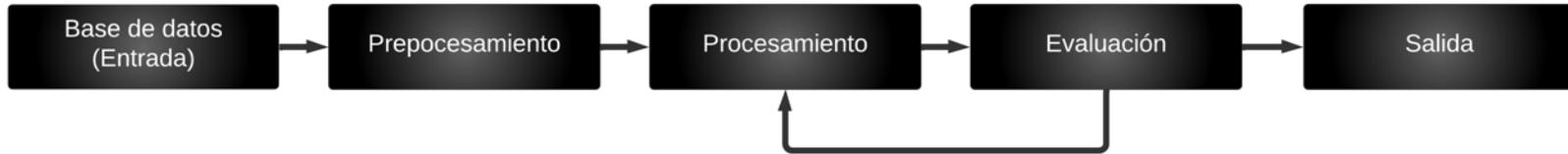
Diagrama de Bloques



PROCESAMIENTO



Diagrama de Bloques



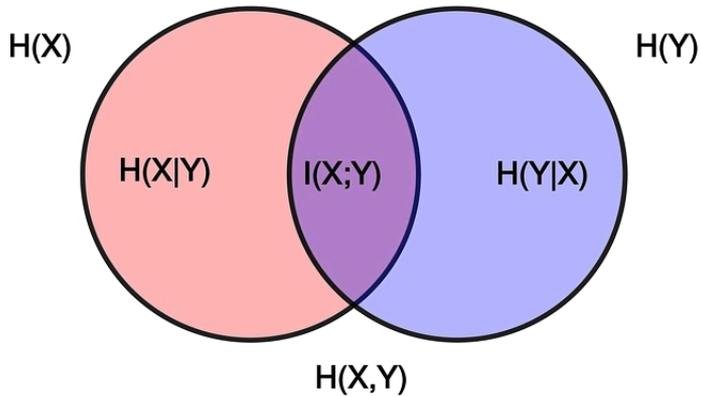
EVALUACIÓN



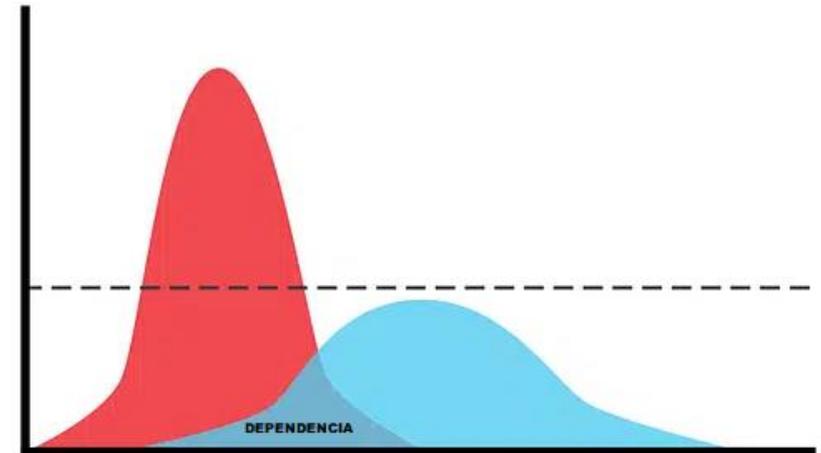
FEATURE SELECTION



Mutual Information (MI)



Statistical Dependency (SD)



FEATURE SELECTION



Sequential Forward Selection (SFS)



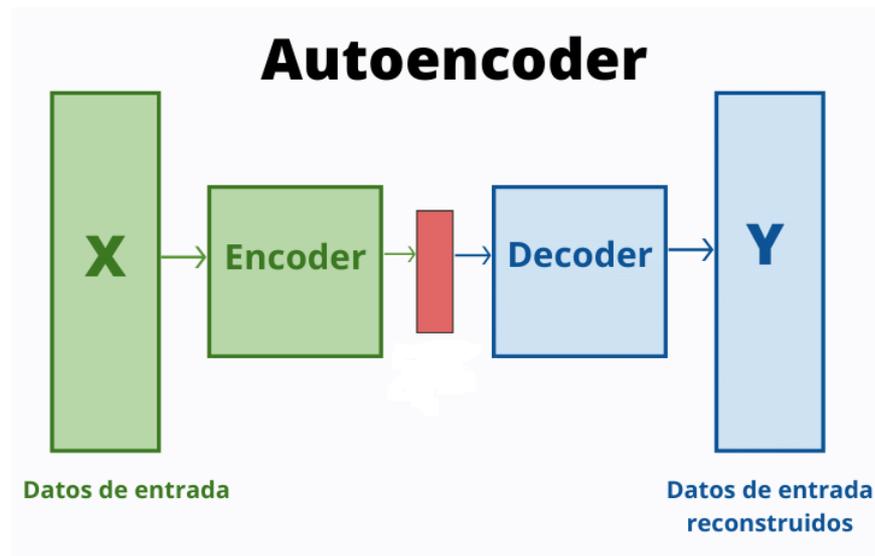
Sequential Forward Floating Selection (SFFS)





Aprendizaje No Supervisado

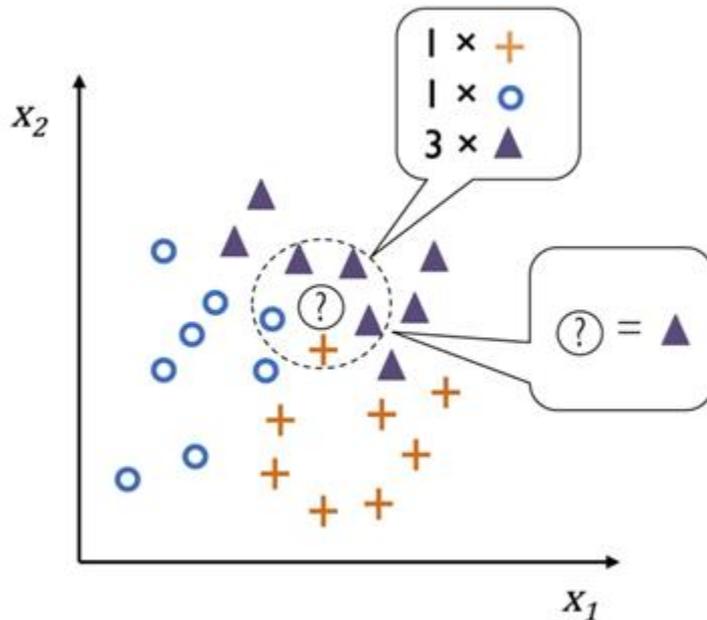
Autoencoder



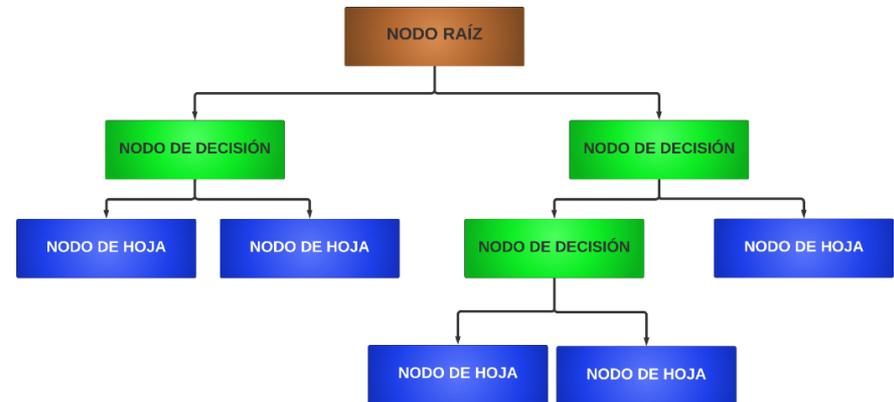


Aprendizaje Supervisado

K-nearest neighbor (KNN)



Decision Tree (DT)



MÉTRICAS



REAL

PREDICCIONES

	A	B	C
A	AA	AB	AC
B	BA	BB	BC
C	CA	CB	CC

	TP: True Positive
	FP: False Positive
	FN: False Negative
	TN: True Negative

Métricas	Descripción	Fórmula
Exactitud	Proporción de clasificaciones correctamente predichas sobre el total de instancias	$A = \frac{\sum_{i=1}^k M_{ii}}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k M_{ij}} \times 100$
Precisión	La precisión determina la fracción de predicciones positivas que fueron precisas.	$P = \frac{\sum_{i=1}^k p_i}{k} \text{ con } p_i = \frac{N_{TP}}{N_{TP} + N_{FP}} \times 100$
Sensibilidad (Recall)	Porcentaje de casos positivos que se encuentran bien clasificados	$R = \frac{\sum_{i=1}^k r_i}{k} \text{ con } r_i = \frac{N_{TP}}{N_{TP} + N_{FN}} \times 100$
Especificidad	Es conocida como la tasa negativa verdadera o en otras palabras porcentaje de casos negativos que fueron bien clasificados.	$S = \frac{\sum_{i=1}^k s_i}{k} \text{ con } s_i = \frac{N_{TN}}{N_{TN} + N_{FP}} \times 100$
Ber	La proporción promedio de muestras mal clasificadas en cada clase se calcula mediante la tasa de error balanceada, también conocida como Ber, es menos sesgado hacia las clases mayoritarias.	$BER = \frac{\sum_{i=1}^k ber_i}{k} \text{ con } ber_i = 1 - \frac{R + S}{2 \times 100}$



INTERFAZ GRÁFICA

Pestaña Ejecutable

ESPE
 UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
 INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Clasificador de señales del volcán Cotopaxi

Steve Alexander Morales Zapata

Ejecutable | Informativo

Selectores: **1** Clasificadores: **2**

MI Autoencoder
 SD KNN
 SFS DT
 SFFS DT
 Ninguno

Ingrese el número de neuronas **3**

Ingrese el valor de Q de MI **4**

Ingrese el peso de las características de MI **5**

Off On **6**

Ejecutar **7** Train y Test Aleatorio

Tipo	Exactitud	Presición	Sensibilidad	Especificidad	Ber
VT	97.1831	90.0000	79.4118	97.8462	0.1137
LP	95.4930	98.4026	96.5517	73.8095	0.1482
Otros	96.6197	8.3333	50.0000	99.7085	0.2515
Overall	94.6479	94.4909	93.4422	76.7720	0.1489

8

No	#Característica	Característica
1	72	w_t_peak2peak_D2
2	37	w_f_maxval_D2
3	24	f_peak_1020_pos
4	30	f_PeaksAboveRMSDensity_fun

9

Pestaña Informativa

ESPE
 UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
 INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Clasificador de señales del volcán Cotopaxi

Steve Alexander Morales Zapata

Ejecutable | Informativo

Selectores: **1** Clasificadores: **2**

MI Autoencoder
 SD KNN
 SFS DT
 SFFS DT
 Ninguno

Ingrese el numero de Q **3**

Ingrese el número de neuronas **4**

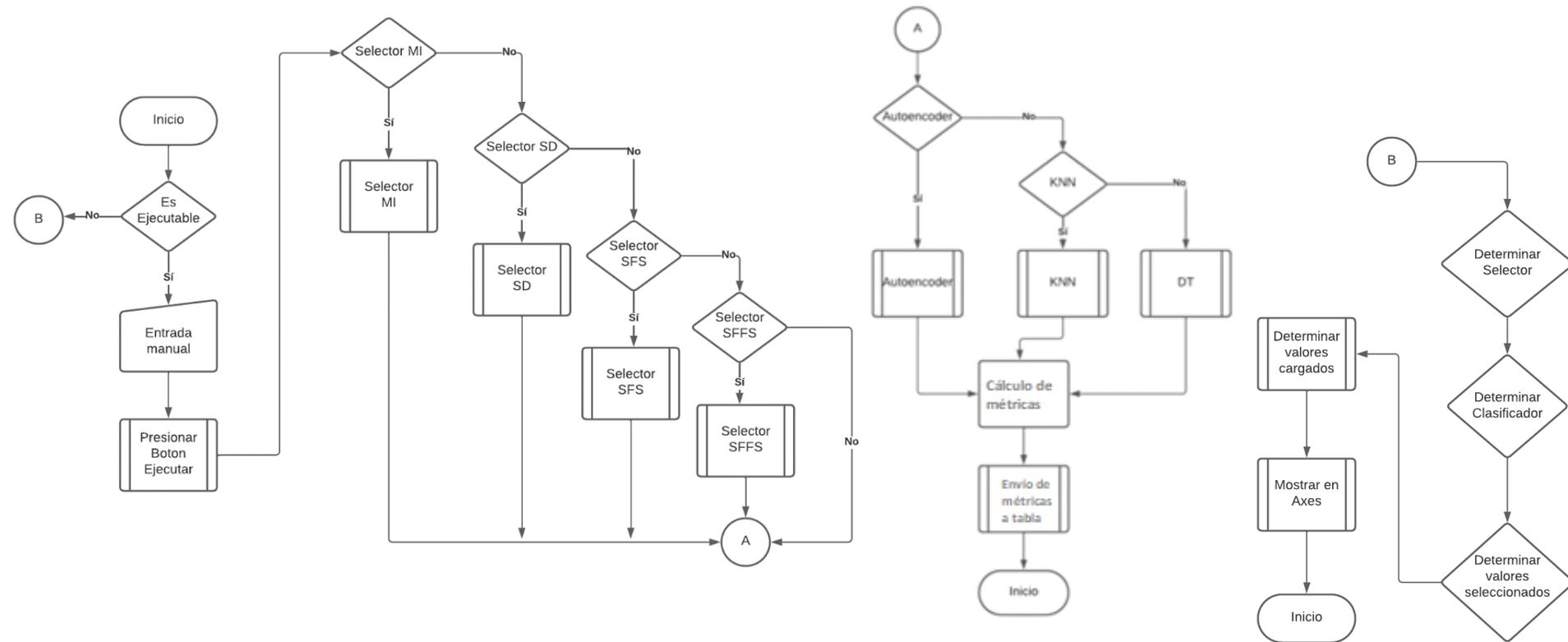
Ingrese el número de peso de selector **5**

Buscar **6**

7

Title

Diagrama de flujo de la interfaz gráfica





01. Introducción



02. Materiales y Métodos



03. Resultados



04. Conclusiones y Recomendaciones

FASE 1

SELECTORES:

- NINGUNO
- SFS
- SFFS

FASE 2

- VARIAR NÚMERO DE CARACTERÍSTICAS REFERENTE A LOS PESOS OBTENIDOS

FASE 1

Selector	Clasificador	Valor de parámetro del clasificador	Porcentaje de clasificación
SFS	Autoencoder (neuronas)	10	94.1
SFFS		20	93.8
Ninguno		50	94.6
SFS	KNN (vecinos)	8	93.24
SFFS		30	92.96
Ninguno		8	93.8
SFS	DT (divisiones)	8	93.24
SFFS		3	94.65
Ninguno		3	94.08



FASE 2

Selector	Clasificador	Valor de parámetro del clasificador	Pesos	Número de características	Porcentaje de clasificación
SD	Autoencoder (neuronas)	50	0.48	4	94.10
MI			0.2	4	94.64
SD	KNN (vecinos)	8	0.082	1352	95.21
MI			0.7	769	95.77
SD	DT (divisiones)	3	0.33	11	94.64
MI			0.19	10	94.64

AUTOENCODER



Clasificador de señales del volcán Cotopaxi

Steve Alexander Morales Zapata

Ejecutable
Informativo

Selectores:

MI

SD

SFS

SFFS

Ninguno

Clasificadores:

Autoencoder

KNN

DT

Tipo	Exactitud	Presición	Sensibilidad	Especificidad	Ber
VT	97.1831	90.0000	79.4118	97.8462	0.1137
LP	95.4930	98.4026	96.5517	73.8095	0.1482
Otros	96.6197	8.3333	50.0000	99.7085	0.2515
Overall	94.6479	94.4909	93.4422	76.7720	0.1489

Ingrese el número de neuronas

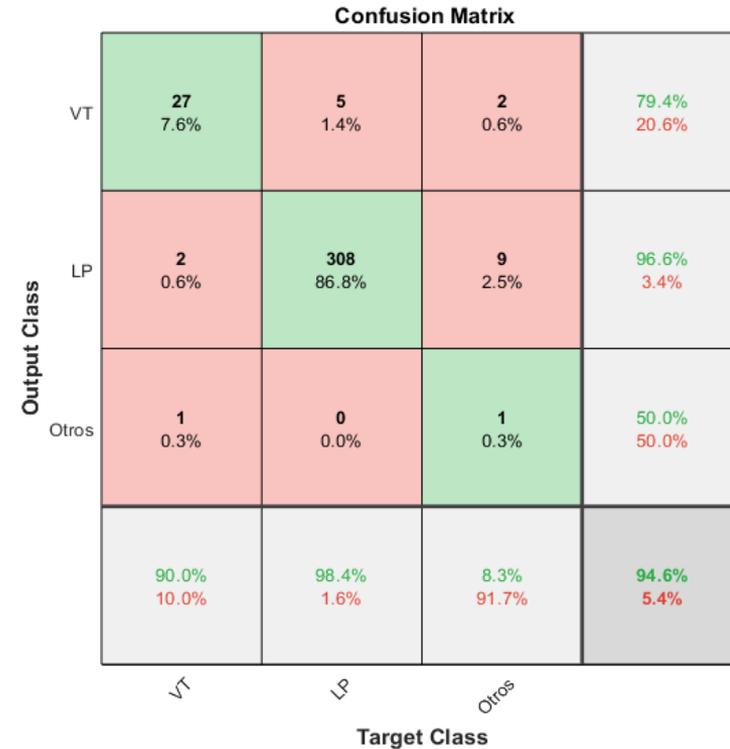
Ingrese el valor de Q de MI

Ingrese el peso de las características de MI

Off On

Ejecutar Train y Test Aleatorio

No	#Característica	Característica
1	72	w_t_peak2peak_D2
2	37	w_f_maxval_D2
3	24	f_peak_1020_pos
4	30	f_PeaksAboveRMSDensity_fun



KNN


ESPE
 UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
 INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Clasificador de señales del volcán Cotopaxi

Steve Alexander Morales Zapata

Ejecutable
Informativo

Selectores:

MI
 SD
 SFS
 SFFS
 Ninguno

Clasificadores:

Autoencoder
 KNN
 DT

Ingrese el número de vecinos

Ingrese el valor de Q de MI

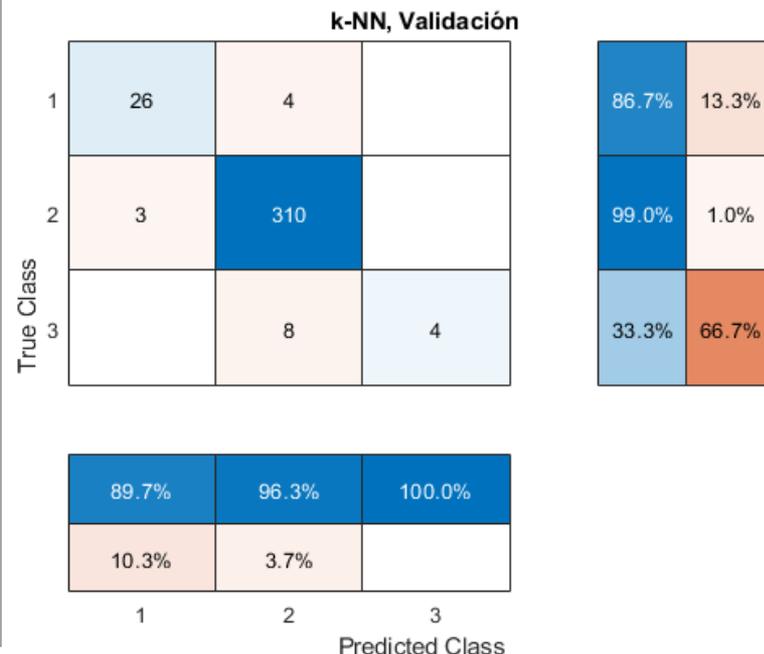
Ingrese el peso de las características de MI

Off On

Train y Test Aleatorio

Tipo	Exactitud	Presición	Sensibilidad	Especificidad	Ber
VT	98.0282	89.6552	86.6667	98.7730	0.0728
LP	95.7746	96.2733	99.0415	90.9091	0.0502
Otros	97.7465	100.0000	33.3333	97.7208	0.3447
Overall	95.7746	95.8430	95.6570	91.8193	0.0626

No	#Caracterisitica	Caracteristica
1	72	w_t_peak2peak_D2
2	37	w_f_maxval_D2
3	65	w_t_rms_D2
4	58	w_t_PEC_D2
5	30	f_PeaksAboveRMSDensity_fun
6	24	f_peak_1020_pos
7	1814	spectralDecrease



DT



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Clasificador de señales del volcán Cotopaxi

Steve Alexander Morales Zapata

Ejecutable Informativo

Selectores: MI SD SFS SFFS Ninguno
 Clasificadores: Autoencoder KNN DT

Ingrese el numero de splits: 3

Ingrese el valor de Q de MI: 12

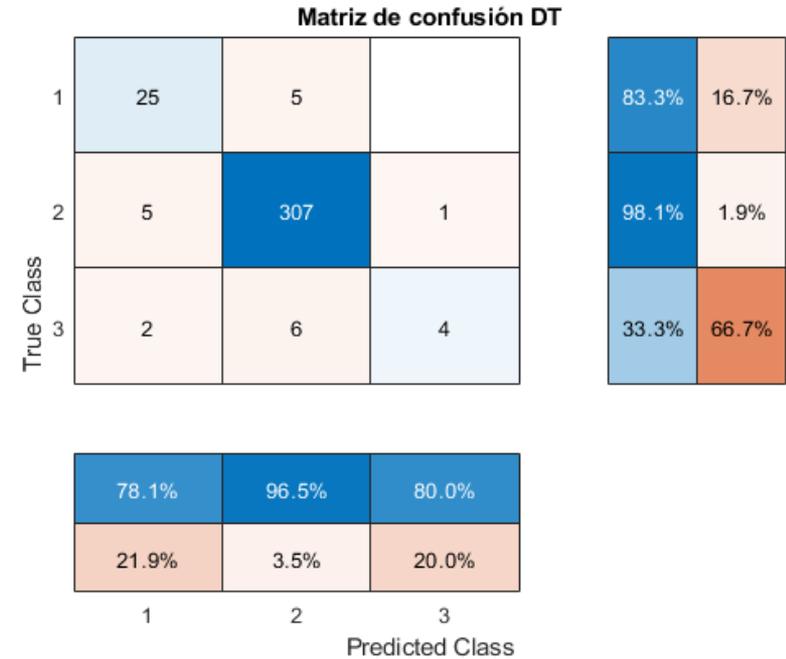
Ingrese el valor de peso de las características de MI: 0.19

Off On

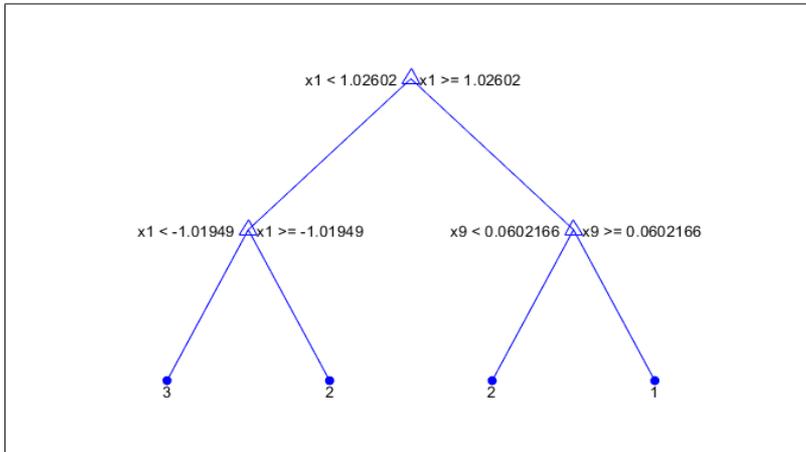
Ejecutar Train y Test Aleatorio

Tipo	Exactitud	Presición	Sensibilidad	Especificidad	Ber
VT	96.6197	78.1250	83.3333	98.4520	0.0911
LP	95.2113	96.5409	98.0831	83.7838	0.0907
Otros	97.4648	80.0000	33.3333	97.7143	0.3448
Overall	94.6479	94.3883	94.5307	85.5251	0.0997

No	#Caracteristica	Caracteristica
1	72	w_t_peak2peak_D2
2	37	w_f_maxval_D2
3	65	w_t_rms_D2
4	58	w_t_PEC_D2
5	30	f_PeaksAboveRMSDensity_fun
6	24	f_peak_1020_pos
7	1814	spectralDecrease



ÁRBOL DE DECISIÓN



MATLAB App



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Clasificador de señales del volcán Cotopaxi

Steve Alexander Morales Zapata

Ejecutable Informativo

Seleccionadores: MI, SD, SFS, SFFS, Ninguno

Clasificadores: Autoencoder, KNN, DT

Ingrese el número de splits: 10

Ingrese el valor de Q de MI: 12

Ingrese el valor de peso de las características de MI: 0.1

Off On

Ejecutar Train y Test Aleatorio

Tipo	Exactitud	Presición	Sensibilidad	Especificidad	Ber
------	-----------	-----------	--------------	---------------	-----

No	#Caracterisitica	Caracteristica
----	------------------	----------------

AUTOENCODER 

Número	Característica número	Característica
1	72	D2 Peak-to-peak in time-domain
2	37	D2 Max. peak in freq.-domain
3	24	Freq. of max. peak in 10–20 Hz Band
4	30	Density of peaks above RMS

Número	Característica número	Característica	Número	Característica número	Característica
1	72	D2 Peak-to-peak in time-domain	16	1821	Spectral Decrease
2	37	D2 Max. peak in freq.-domain	17	1825	Spectral Decrease
3	65	D2 RMS in time-domain	18	1822	Spectral Decrease
4	58	Percentage of energy for D2	19	1481	Spectral Skewness
5	30	Density of peaks above RMS	20	1495	Spectral Skewness
6	24	Freq. of max. peak in 10–20 Hz Band	21	2814	Spectral Centroid
7	1814	Spectral Decrease	22	1482	Spectral Skewness
8	1812	Spectral Decrease	23	1484	Spectral Skewness
9	1813	Spectral Decrease	24	2805	Spectral Centroid
10	1483	Spectral Skewness	25	1493	Spectral Skewness
11	1824	Spectral Decrease	26	1826	Spectral Decrease
12	1815	Spectral Decrease	27	2808	Spectral Centroid
13	1816	Spectral Decrease	28	2815	Spectral Centroid
14	2807	Spectral Centroid	29	1811	Spectral Decrease
15	1490	Spectral Skewness	30	1494	Spectral Skewness

 **KNN**



DT

Número	Característica número	Característica
1	72	D2 Peak-to-peak in time-domain
2	37	D2 Max. peak in freq.-domain
3	65	D2 RMS in time-domain
4	58	Percentage of energy for D2
5	30	Density of peaks above RMS
6	24	Freq. of max. peak in 10–20 Hz Band
7	1814	Spectral Decrease
8	1812	Spectral Decrease
9	1813	Spectral Decrease
10	1483	Spectral Skewness

MEJORES CARACTERÍSTICAS

- D2 Peak-to-peak in time-domain
- D2 Max. peak in freq.-domain
- D2 RMS in time-domain
- Percentage of energy for D2
- Density of peaks above RMS
- Freq. of max. peak in 10–20 Hz Band
- Spectral Decrease

RESULTADOS TRABAJO PREVIO

Clasificador	Exactitud%	Precisión%	Especificidad%	Sensibilidad%	Ber
Autoencoder	92.06	88.09	94.05	88.09	0.089
KNN	97.35	96.03	98.02	96.03	0.03
DT	92.06	88.09	94.05	88.09	0.089

RESULTADOS TRABAJO ACTUAL

Clasificador	Exactitud%	Precisión%	Especificidad%	Sensibilidad%	Ber
Autoencoder	94.64	94.49	76.77	93.44	0.14
KNN	95.77	95.84	91.81	95.65	0.06
DT	94.64	94.38	85.52	94.53	0.09



01. Introducción



02. Materiales y Métodos



03. Resultados



04. Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Se concluye que se tiene una mejora del clasificador mediante la selección de características de las señales de micro sismos del volcán Cotopaxi, con esto al reducir las características logrando redes menos complejas.
- El mejor resultado de este clasificador es obtenido con el clasificador KNN y el selector MI, el cual tiene un porcentaje de clasificación de 95.77%, con una precisión del 95.84%, Especificidad de 91.81%, Sensibilidad de 95.65% y un Ber de 0.06.



Conclusiones

- Las características que presentan mejores resultados para las señales de microsismos del volcán Cotopaxi, en las cuales se tiene como mejores seis lineales y una psicoacústica, las cuales son: D2 Peak-to-peak in time-domain, D2 Max. peak in freq.-domain, D2 RMS in time-domain, Percentage of energy for D2, Density of peaks above RMS, Freq. of max. peak in 10–20 Hz Band y Spectral Decrease; siendo estas las que se muestran en los selectores.
- Se implementó un sistema utilizando el software MATLAB® en el cual se engloban todas las fases del proyecto, el cual permite el análisis de características y la evaluación del clasificador visualizando los resultados de una manera detallada y gráfica.



Recomendaciones

- En la etapa de preprocesamiento, se recomienda automatizarla para que de esa manera solo incluir la base de datos con las señales y evitar la manipulación de las mismas.
- Se sugiere que investigaciones futuras profundicen en la clasificación, considerando la inclusión de las cinco clases totales presentes en la base de datos. Este enfoque permitiría una clasificación integral y precisa de todas las señales, ampliando así la comprensión y la efectividad del clasificador.
- Se recomienda incluir un análisis más profundo de los selectores SFS y SFFS, los cuales pueden permitir una selección de diferentes características.





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

**Mejora del desempeño de un clasificador mediante la
selección de características de las señales de microsismos
del volcán Cotopaxi**

Autor: Morales Zapata Steve Alexander

Director: Ing. Bernal Oñate, Carlos Paúl

