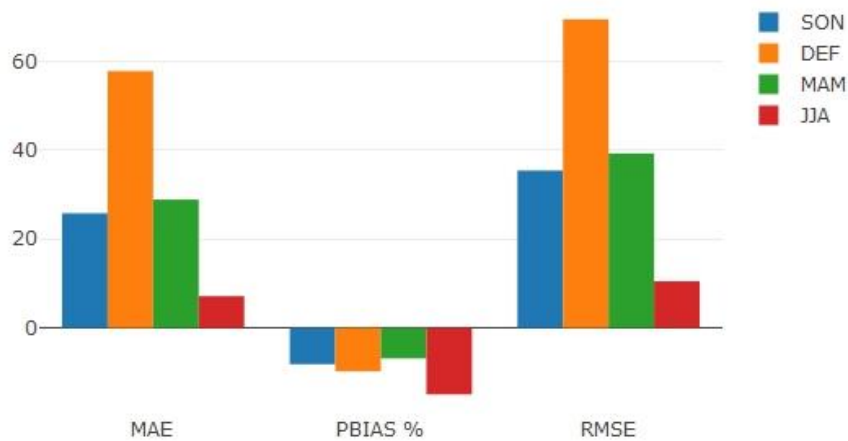
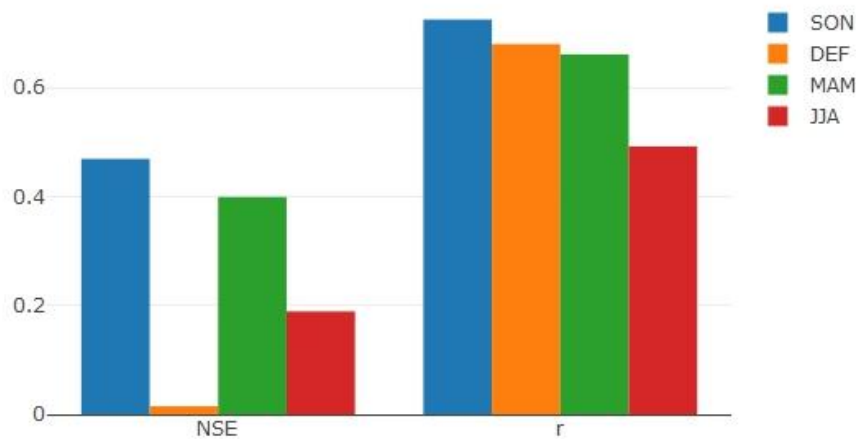


**Tabla 94.** Resumen de indicadores de comparación de la precipitación estacional– estación Kayra.

INDICADOR	SON	DEF	MAM	JJA
MAE	25.798	57.844	28.876	7.122
RMSE	35.420	69.504	39.282	10.483
PBIAS %	-8.200	-9.800	-6.900	-15.000
NSE	0.469	0.015	0.399	0.189
r	0.725	0.680	0.661	0.492

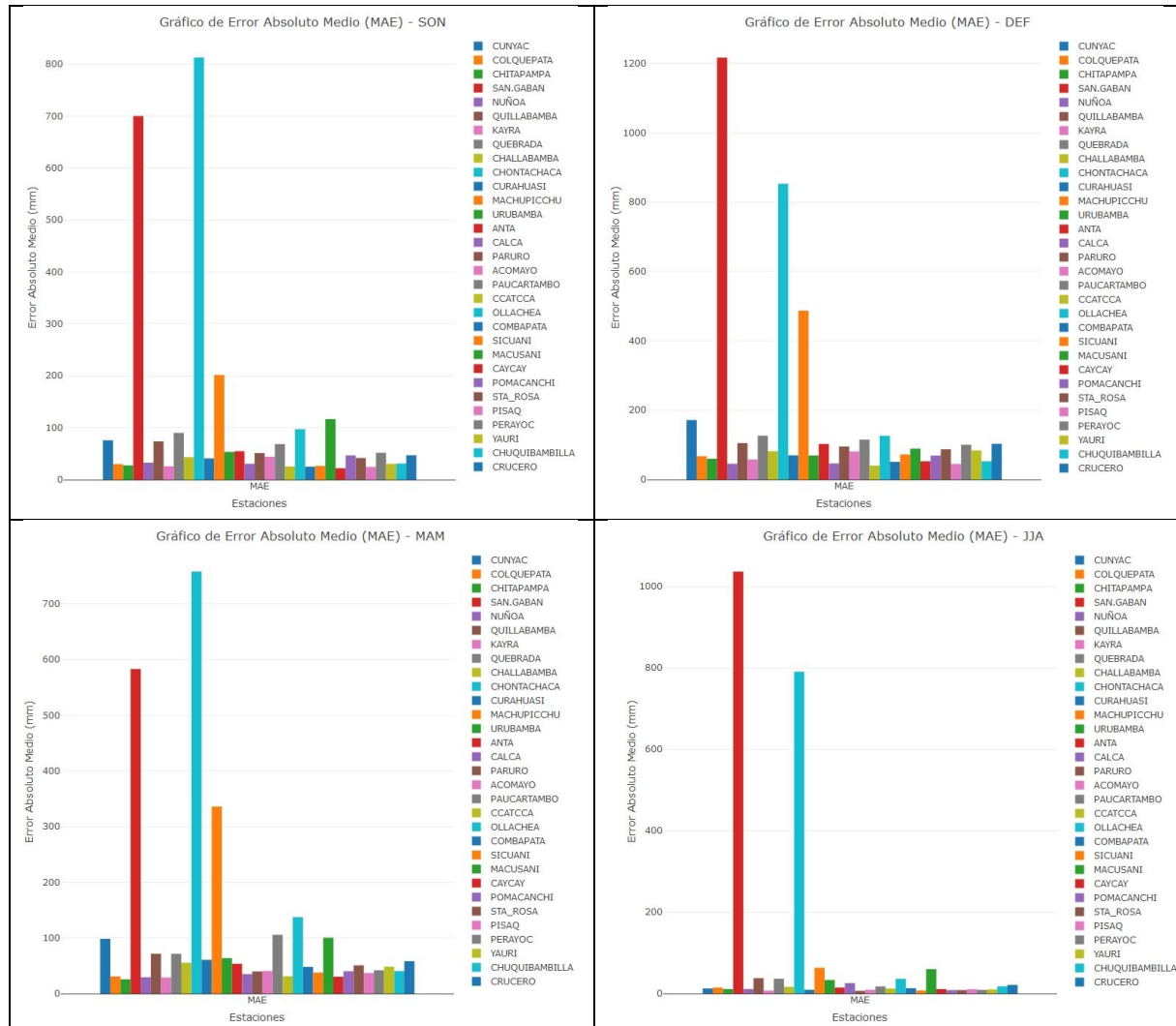


**Figura 114.** Comparativo de indicadores de la precipitación estacional- Kayra, Parte 1.



**Figura 115.** Comparativo de indicadores de la precipitación estacional - Kayra, Parte 2.

Según se muestra en la **Figura 116**, las estaciones de San Gaban y Chontachaca muestran MAE superiores a 500 mm en la precipitación estacional, seguido de la estación Machupicchu que muestra MAE mayor a 200 excepto en JJA (Junio, julio y agosto). El resto de las estaciones muestra MAE menor a 100 mm, excepto en JJA que muestra MAE menor a 50 mm.

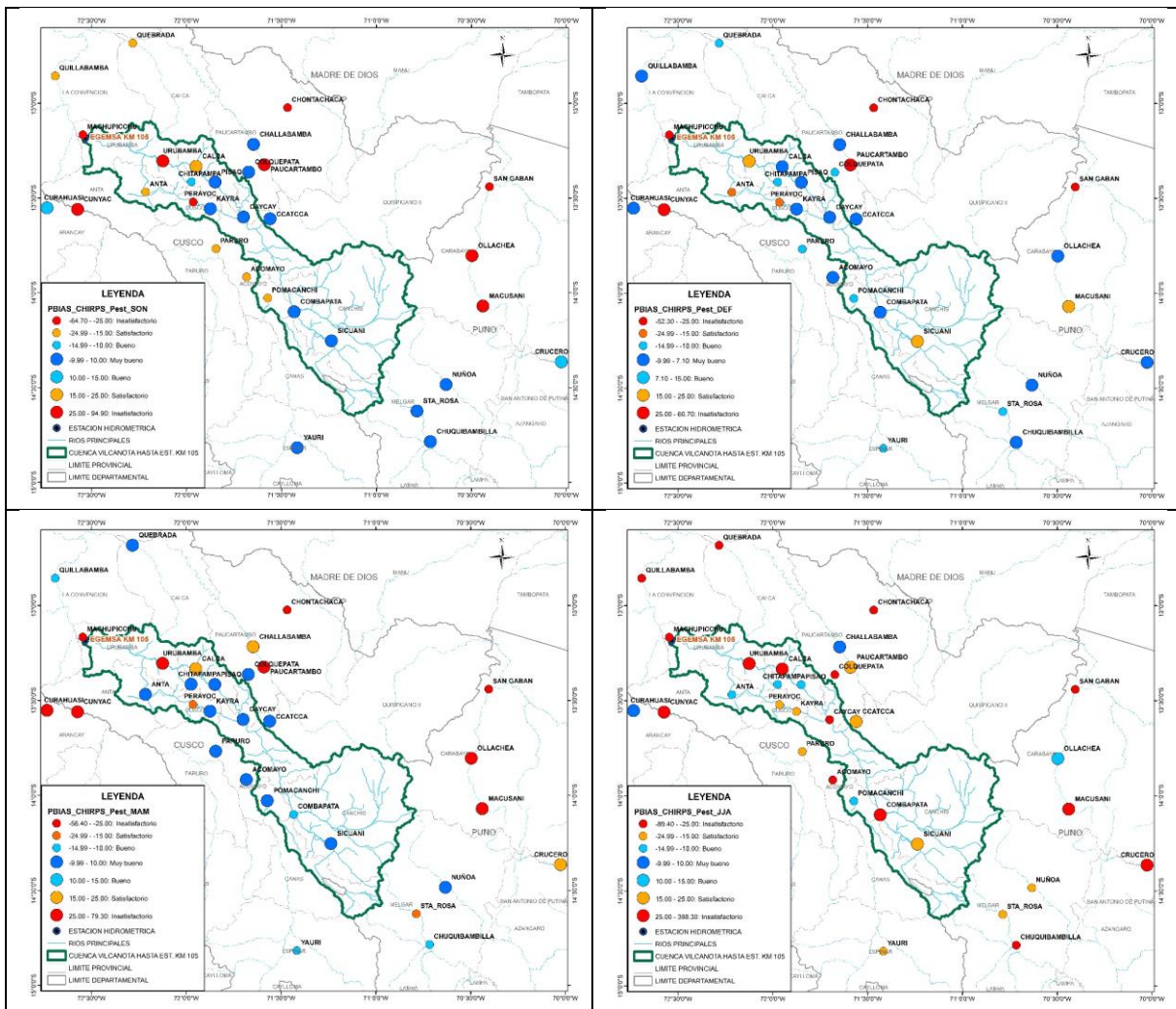


**Figura 116.** Error Absoluto Medio por cada estación SON, DEF, MAM y JJA.

En cuanto al sesgo que se muestra en la **Figura 117**, podemos indicar que:

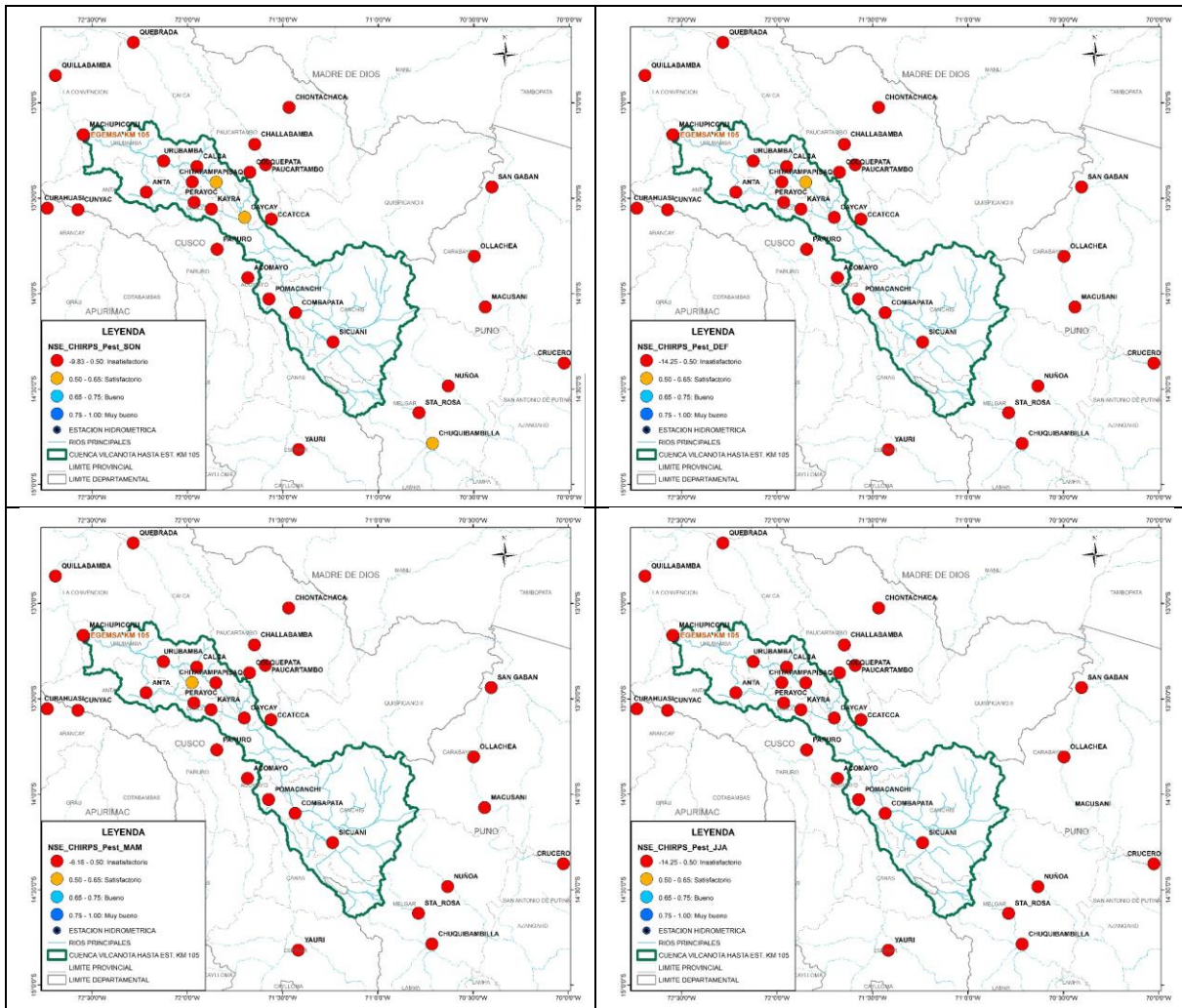
Según la precipitación estacional SON (setiembre octubre y noviembre), DEF (diciembre, enero y febrero), MAM (marzo abril y mayo), se muestran como muy buenos en una gran parte de las estaciones, seguido de otras que muestran sesgo bueno y satisfactorio. Lo que también se puede resaltar es que las estaciones de Machupicchu, Chontachaca y San Gaban muestran el sesgo como insatisfactorio, lo que además indica una subestimación de la precipitación mensual.

Por otro lado, en la estación JJA (junio julio y agosto), en su mayoría el sesgo se muestra de bueno a insatisfactorio, resaltándose además la subestimación de la precipitación mensual.



**Figura 117.** Sesgo Porcentual (PBIAS) para las 4 estaciones del año.

En cuanto a la Eficiencia de Nash, según se muestra en la **Figura 118**, en su mayoría de las estaciones de la precipitación estacional muestra como insatisfactorio.



**Figura 118.** Eficiencia de Nash (NSE) para las 4 estaciones del año.

La correlación de la precipitación estacional, según muestra la *Figura 119*, está entre  $0.07 < r < 0.8$ , considerándose desde mala a regular.

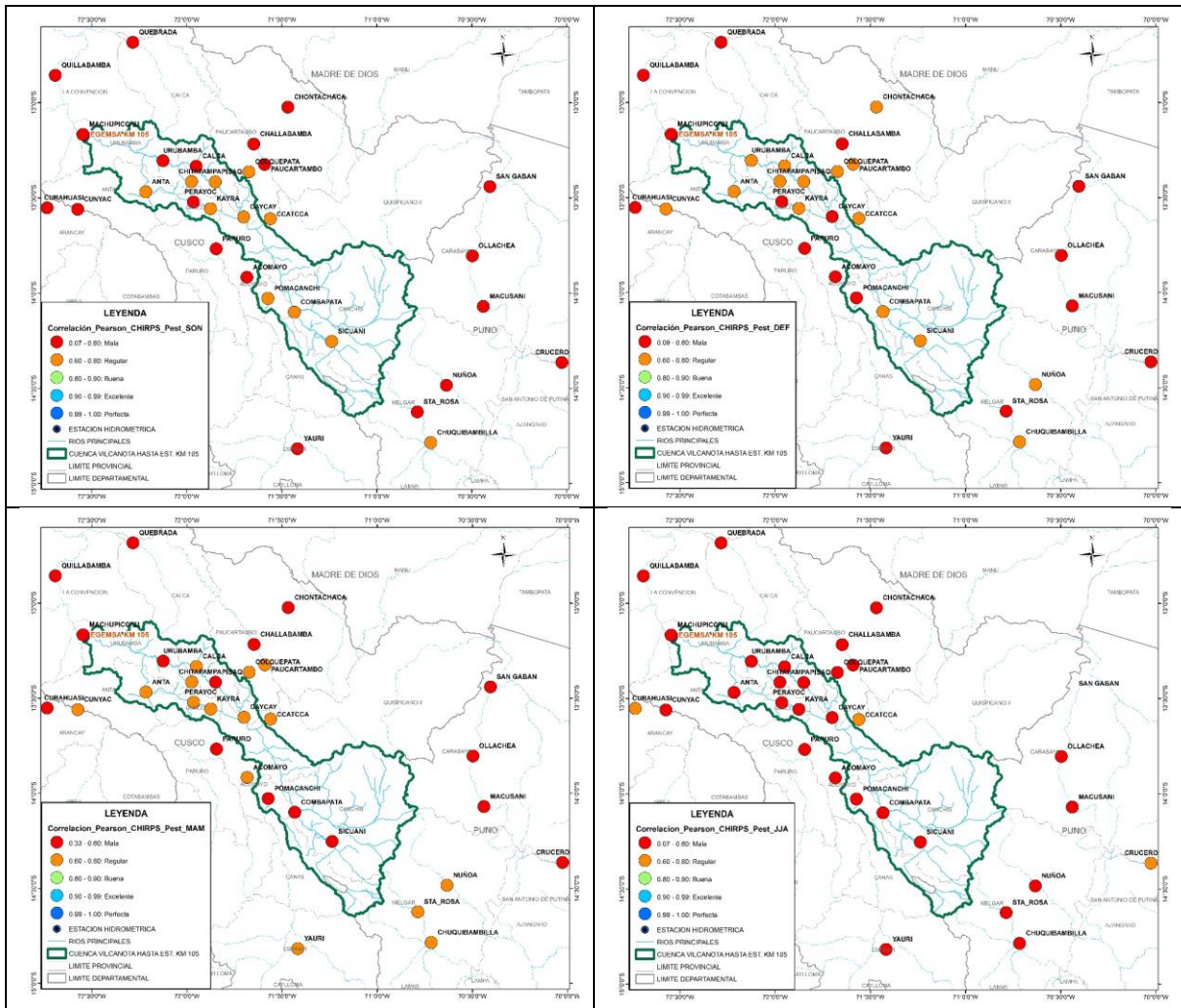


Figura 119. Correlación de Pearson (r) para las 4 estaciones del año.



### 3.6.5. Precipitación Anual

Se realiza el análisis comparativo entre las precipitaciones observadas y las estimadas por satélite CHIRPS.

**Tabla 95.** Precipitación anual observados sin corregir.

FECHA	CUNYAC	COLQUEPATA	CHITAPAMPA	SAN GABAN	NUÑO	QUILLABAMBA	KAYRA	QUEBRADA	CHALLABAMBA	CHONTACHACA	CURAHUASI	MACHUPICCHU	URUBAMBA	ANTA	CALCA	PARURO
01/12/1981	628.73	802.10	886.50	5967.43	659.60	987.01	922.90	1755.53	1063.18	6105.48	923.56	2371.00	555.98	846.40	596.67	743.20
01/12/1982	576.36	849.87	831.36	7811.69	695.40	1398.61	786.80	1608.98	973.40	5943.46	964.09	2646.52	600.13	1093.77	667.41	555.20
01/12/1983	345.37	481.85	480.20	8494.46	308.60	1311.55	483.70	1030.05	619.99	4222.51	649.86	2512.02	492.40	882.64	403.06	780.46
01/12/1984	566.90	739.80	773.60	7204.38	851.70	1654.60	800.50	1532.81	963.61	4518.78	429.52	3133.09	699.49	1197.15	682.24	1154.74
01/12/1985	573.48	752.88	630.60	6754.32	704.40	1498.08	728.30	1657.04	982.99	5827.33	843.45	2848.04	578.69	612.80	688.03	1028.25
01/12/1986	497.46	675.20	473.23	6725.80	894.50	1269.03	569.10	1399.86	869.46	5098.95	722.80	2283.21	353.30	599.60	561.38	777.87
01/12/1987	498.18	669.22	650.50	5120.45	402.40	1424.76	630.60	1393.67	851.93	4775.75	657.72	1816.22	479.70	726.44	592.96	713.23
01/12/1988	574.73	758.40	878.20	6593.03	776.40	1788.07	725.50	1563.48	997.04	5069.11	866.72	2385.30	522.50	855.30	563.67	879.55
01/12/1989	498.17	671.81	779.00	7099.57	806.90	1114.93	686.30	1421.49	865.92	4999.55	733.03	1655.30	566.20	601.40	631.55	680.97
01/12/1990	530.99	736.67	831.71	9443.20	827.70	1404.99	641.10	1651.79	933.43	7173.98	798.99	1437.66	519.20	530.90	489.36	546.92
01/12/1991	463.69	614.72	578.70	6433.90	637.30	914.77	682.40	1323.30	801.67	4811.26	683.38	1249.97	494.50	584.27	763.80	485.31
01/12/1992	407.51	545.38	494.90	7290.19	615.34	870.60	609.30	1193.56	717.51	4064.07	599.55	1534.96	406.30	346.80	562.60	566.66
01/12/1993	582.55	764.54	767.30	5643.10	757.86	1058.48	799.90	1584.56	963.96	5492.26	870.95	1989.99	572.00	1394.61	625.00	763.97
01/12/1994	636.76	822.54	844.20	5128.60	853.42	1067.28	798.40	1675.69	1032.93	5130.26	811.75	2027.95	616.10	1631.25	712.50	1028.00
01/12/1995	458.28	590.48	503.80	6523.60	597.15	920.32	560.00	1195.63	739.38	3992.13	635.80	1761.68	410.10	940.90	449.00	683.40
01/12/1996	538.51	718.66	487.30	6937.90	709.95	686.81	610.20	1471.39	896.14	5056.60	644.45	1951.71	456.20	1329.00	584.50	912.00
01/12/1997	617.31	795.13	764.40	7821.50	839.02	913.49	805.30	1559.43	973.30	5246.14	722.65	2196.13	505.10	1100.10	619.53	941.92
01/12/1998	455.29	579.93	614.90	7225.30	623.39	798.01	493.90	1240.74	761.67	3942.20	561.80	1787.93	290.70	671.99	428.50	789.40
01/12/1999	549.14	725.79	634.62	6657.60	672.42	1143.11	543.10	1614.78	1056.57	6017.06	811.80	2297.20	582.30	1382.90	622.14	758.00
01/12/2000	500.26	518.70	686.54	8784.12	673.78	1134.00	652.00	1140.10	1082.10	5708.80	772.10	2206.70	550.00	1004.30	602.41	710.30
01/12/2001	618.83	1064.80	813.29	8750.10	786.45	1269.60	864.10	1304.40	1128.30	5191.30	669.00	2122.70	609.60	1371.01	719.13	893.30
01/12/2002	619.68	889.00	845.52	7260.10	869.85	1202.70	822.10	1681.30	1072.70	5646.00	878.80	2427.50	702.40	1360.30	753.90	1028.10
01/12/2003	702.53	730.70	703.15	5819.30	708.94	1147.50	713.70	1690.60	892.00	5814.46	980.90	2157.50	499.90	923.40	626.35	828.30
01/12/2004	680.48	699.60	710.41	5524.20	719.06	1101.10	632.00	1616.90	727.75	7040.40	760.60	2020.30	524.80	897.70	627.48	819.70
01/12/2005	408.96	505.70	553.28	5861.50	587.79	954.60	638.90	1234.00	536.70	5531.00	570.80	1696.10	387.30	582.20	489.30	591.90
01/12/2006	658.84	644.90	753.02	7661.59	749.34	1126.10	856.30	1847.23	1117.70	4847.92	750.20	2034.50	519.20	875.20	663.75	804.90
01/12/2007	375.68	679.90	622.24	7979.86	613.16	1139.60	621.11	1439.60	941.97	5258.68	678.70	2154.00	459.90	803.00	550.34	754.50
01/12/2008	479.28	768.40	632.51	9079.56	613.37	1064.70	592.40	1349.70	863.90	5156.63	687.30	1730.50	524.90	813.20	550.44	631.00
01/12/2009	486.30	683.70	660.20	9312.27	595.51	1155.00	525.50	1563.00	1052.90	5528.30	690.90	2095.50	569.80	950.80	579.05	832.60
01/12/2010	410.00	813.60	756.21	8088.70	763.87	1214.00	881.10	1429.20	778.60	5307.62	654.90	2314.40	635.40	1012.70	660.76	983.80
01/12/2011	646.84	811.00	778.41	8278.90	758.54	1575.10	740.50	1763.32	1105.90	5601.27	832.30	2640.50	662.80	1120.90	693.99	948.76
01/12/2012	517.30	719.90	769.88	7970.38	747.64	1193.30	689.40	1415.36	1087.90	4841.18	1012.80	2443.18	497.64	886.10	678.40	962.80
01/12/2013	440.83	885.40	766.51	8044.64	799.16	1239.11	808.70	1648.30	942.60	5412.54	751.40	2116.30	694.90	798.60	672.87	943.80
01/12/2014	412.20	702.20	656.72	7175.30	650.92	1224.30	615.48	1565.40	850.60	6214.76	793.70	1938.50	482.70	656.90	574.38	871.60
01/12/2015	479.40	733.80	692.55	7507.30	708.32	1000.50	687.00	1505.10	1029.30	6009.70	783.30	2108.20	467.00	729.40	613.41	886.20
01/12/2016	351.70	533.10	557.20	6040.05	561.05	832.30	548.10	1380.30	623.90	4845.50	653.80	1785.60	498.90	779.40	492.03	747.50
01/12/2017	672.40	666.30	659.19	7720.46	675.64	1146.70	609.70	1270.80	853.30	5251.70	694.10	1916.20	440.10	748.10	583.22	887.00



**Tabla 96.** Precipitación anual observados sin corregir.

FECHA	ACOMAYO	PAUCARTAMBO	CCATCCA	OLLACHEA	COMBAPATA	SICUANI	MACUSANI	CAYCAY	POMACANCHI	STA. ROSA	PISAQ	PERAYOC	YAURI	CHUQUIBAMBILLA	CRUCERO
01/12/1981	1136.37	772.81	840.14	1617.43	819.70	870.88	722.17	736.57	1048.63	1052.54	660.93	894.40	921.42	850.90	915.79
01/12/1982	840.46	718.75	635.88	1400.62	676.10	689.41	767.31	680.35	976.29	983.00	865.77	1005.30	981.19	769.40	527.17
01/12/1983	340.74	380.35	325.90	1033.30	401.10	431.76	632.80	422.89	497.76	499.86	255.65	653.20	786.22	360.70	473.67
01/12/1984	855.48	824.69	800.02	1210.71	1146.40	907.65	909.02	686.07	1078.89	1073.16	539.15	930.40	1189.88	1016.50	1007.94
01/12/1985	873.98	732.40	711.78	1516.62	1086.09	825.46	810.30	674.66	980.23	978.08	788.60	882.70	1032.35	833.50	969.38
01/12/1986	749.67	544.69	485.33	1240.18	603.35	769.52	631.43	602.65	670.75	726.92	355.62	737.20	787.46	989.80	1141.22
01/12/1987	928.02	566.60	631.60	1076.82	479.82	729.23	540.49	612.83	768.25	700.53	471.50	927.20	586.79	490.40	770.15
01/12/1988	1031.10	650.03	610.10	1204.20	797.43	547.00	688.24	679.27	855.81	876.14	557.40	953.00	966.13	653.30	859.80
01/12/1989	886.50	657.63	601.40	1106.74	778.02	854.60	513.31	596.40	852.61	829.31	443.70	892.50	693.34	729.40	794.10
01/12/1990	1055.80	682.04	562.39	1215.40	725.80	733.40	421.65	667.16	892.10	1016.20	539.70	958.50	543.01	814.60	865.90
01/12/1991	746.58	589.11	551.90	1002.14	601.80	520.60	375.68	559.02	778.15	696.40	474.80	942.50	596.60	641.60	910.50
01/12/1992	528.20	518.09	538.30	952.73	745.40	524.03	462.12	488.61	661.95	460.50	422.45	722.30	499.37	592.30	1270.70
01/12/1993	775.70	760.00	686.20	1272.93	895.60	779.90	638.80	687.78	857.00	962.25	563.00	963.90	1080.10	850.30	821.50
01/12/1994	705.00	585.00	685.30	1156.90	636.20	763.10	596.90	750.34	795.00	1032.99	738.70	1020.30	893.90	795.20	1389.10
01/12/1995	644.60	601.15	537.90	1022.30	643.30	677.30	465.60	535.05	758.00	856.30	376.00	610.20	834.00	586.10	754.10
01/12/1996	851.50	613.30	557.30	1344.50	791.78	715.80	766.40	644.05	885.70	1005.40	534.20	665.20	792.20	617.70	748.80
01/12/1997	903.70	568.40	569.50	1410.60	855.18	905.70	643.40	725.47	926.32	1234.27	547.50	830.90	936.00	986.10	990.30
01/12/1998	807.20	462.50	443.60	1106.10	617.82	612.40	615.10	542.09	718.10	733.02	476.00	648.10	621.30	685.30	622.00
01/12/1999	781.70	588.40	591.50	1269.20	749.90	703.10	627.80	651.83	702.90	850.70	500.30	687.20	961.20	776.80	815.40
01/12/2000	824.00	683.90	576.50	1256.60	738.08	660.00	604.63	467.70	784.60	839.50	468.50	711.00	860.00	794.60	500.80
01/12/2001	948.60	799.60	931.20	1292.40	914.99	948.40	633.40	902.20	1070.30	746.20	794.20	940.40	1022.50	689.90	627.30
01/12/2002	1087.60	718.30	878.90	1240.67	964.21	1037.80	696.20	623.80	1024.80	935.40	724.50	921.90	964.05	956.00	698.30
01/12/2003	836.20	619.50	621.40	1051.10	782.99	705.70	651.20	788.40	818.50	728.64	559.30	924.30	891.80	774.70	650.00
01/12/2004	1039.30	605.20	748.90	1045.91	792.16	784.30	612.20	548.90	990.30	748.20	601.80	881.20	758.70	793.90	462.20
01/12/2005	662.70	429.20	571.10	734.30	654.70	641.80	584.35	514.00	706.70	694.14	439.00	600.30	731.95	738.30	479.70
01/12/2006	889.90	626.10	825.40	1132.05	869.90	765.10	767.80	691.20	986.80	850.22	691.40	860.80	917.20	817.93	560.70
01/12/2007	878.20	585.10	565.50	860.26	723.52	663.10	544.87	661.10	930.10	773.52	533.50	687.40	651.80	595.00	445.80
01/12/2008	784.40	587.00	714.70	917.56	696.55	716.50	617.03	657.40	784.50	654.96	643.80	670.70	561.50	625.50	513.80
01/12/2009	814.30	581.40	630.25	1096.37	704.11	659.10	574.06	480.90	805.20	671.95	525.70	619.05	772.50	656.70	416.60
01/12/2010	809.50	750.50	694.60	1087.22	845.55	668.40	672.32	619.30	829.10	789.15	902.40	1151.50	729.40	704.60	549.30
01/12/2011	915.70	766.07	830.20	1307.70	878.20	776.49	688.80	760.30	831.24	847.32	673.00	959.75	875.50	811.63	433.20
01/12/2012	914.30	709.80	709.70	1271.52	859.53	735.60	697.98	519.50	946.50	940.24	617.80	863.15	1049.70	832.70	587.40
01/12/2013	748.53	822.70	882.40	1095.01	863.42	721.40	784.37	756.90	911.40	830.00	745.00	941.95	702.60	913.51	633.82
01/12/2014	549.00	711.70	624.89	1117.90	713.64	650.60	748.60	535.10	715.60	714.90	530.10	686.40	740.00	858.03	474.45
01/12/2015	733.20	776.00	704.45	1237.20	783.18	704.40	676.80	579.60	848.90	844.36	382.79	790.58	798.30	836.30	645.50
01/12/2016	398.80	496.00	441.80	996.23	641.29	772.20	497.92	416.10	781.10	705.05	432.91	636.80	628.80	816.90	426.57
01/12/2017	876.40	643.30	702.10	1183.30	739.67	816.80	647.00	569.20	564.80	795.68	448.60	770.54	828.60	744.10	476.20



**Tabla 97.** Precipitación anual estimada por satélite CHIRPS sin corregir.

FECHA	CUNYAC	COLQUEPATA	CHITAPAMPA	SAN GABAN	NUÑO A	QUILLABAMBA	KAYRA	QUEBRADA	YANATILE	CHALLABAMBA	CHONTACHACA	CURAHUASI	MACHUPICCHU	URUBAMBA	ANTA	ANCACHURO	CALCA	PARURO
01/12/1981	858.00	743.06	686.67	3906.77	685.69	992.47	709.20		1290.26	1085.53	2309.09	754.53	1015.00	798.25	798.24	773.86	807.98	
01/12/1982	749.34	662.36	623.89	3635.58	612.82	882.33	606.99		1034.34	953.51	2172.56	664.83	909.82	662.52	758.16	688.19	681.05	
01/12/1983	523.31	387.58	341.02	2919.14	436.73	575.95	367.76		717.31	581.86	1414.40	427.67	584.32	378.37	456.99	387.73	395.52	
01/12/1984	742.20	734.56	651.07	3306.90	943.01	790.76	711.57		1011.48	989.49	2010.36	652.79	901.87	708.22	737.89	695.38	771.68	
01/12/1985	792.56	623.05	592.33	4140.40	952.31	1021.47	616.95		1358.63	1016.89	2154.46	730.50	978.18	670.49	708.02	682.12	671.94	
01/12/1986	669.29	520.65	477.01	4643.01	868.72	769.66	455.78		1000.52	817.32	1907.52	668.74	758.01	535.82	603.14	520.94	543.85	
01/12/1987	693.91	532.54	512.54	3742.53	741.51	900.44	515.46		1169.51	872.45	2001.14	634.65	942.73	577.18	617.06	576.07	594.48	
01/12/1988	863.38	516.39	531.93	3307.30	588.14	1033.50	527.49		1325.85	835.18	1783.01	783.56	1010.80	642.19	732.60	555.97	624.04	
01/12/1989	731.17	583.97	540.35	3314.17	594.43	817.82	500.99		1118.76	904.13	1944.76	709.48	831.50	612.47	644.19	613.79	581.98	
01/12/1990	697.35	507.40	526.85	3474.58	589.56	933.86	520.64		1159.09	737.89	1653.51	632.68	940.86	598.97	666.89	576.28	629.21	
01/12/1991	622.61	469.18	458.38	3121.18	613.89	804.13	466.60		1072.56	689.57	1580.75	587.48	785.83	563.10	618.01	521.43	510.39	
01/12/1992	552.89	412.07	436.95	3188.98	617.86	693.44	440.99		833.61	583.33	1242.06	476.11	775.97	531.01	515.21	452.22	476.63	
01/12/1993	983.96	551.27	689.43	3462.39	702.67	1146.14	662.03		1305.28	804.05	1752.06	909.67	1146.13	764.16	901.04	726.34	743.06	
01/12/1994	974.87	629.69	771.22	4108.83	837.47	1120.98	690.05		1369.49	923.93	1996.84	858.75	1229.93	908.13	1018.31	804.46	801.21	
01/12/1995	726.02	407.38	471.94	3208.43	572.34	823.03	467.57		887.12	628.20	1389.76	674.68	789.48	586.65	637.52	509.74	509.12	
01/12/1996	888.82	539.95	563.65	3506.58	640.25	950.50	598.99		1044.71	735.65	1722.26	794.55	969.22	696.75	871.93	602.27	677.96	
01/12/1997	848.52	482.35	570.14	3253.99	785.49	981.42	629.00		1021.93	648.44	1427.10	786.17	1020.16	636.86	819.90	563.13	625.50	
01/12/1998	764.80	409.26	448.88	2902.86	555.47	862.12	436.22		1013.88	570.59	1376.54	707.15	910.85	496.24	638.85	460.01	518.16	
01/12/1999	1207.99	568.88	651.88	3655.02	622.72	1426.58	603.23		1627.18	928.08	1982.27	1100.13	1425.73	803.47	1003.04	700.01	659.88	
01/12/2000	1072.14	622.18	609.89	3851.93	634.09	1240.92	590.13		1515.36	893.05	1936.64	973.70	1256.74	742.88	847.76	686.52	683.44	
01/12/2001	1096.57	877.86	851.42	4419.97	755.02	1246.16	842.37		1630.28	1257.07	2786.16	966.13	1256.31	998.89	1053.89	928.93	915.33	
01/12/2002	1094.93	773.43	781.00	4942.10	783.81	1331.70	764.64		1724.86	1226.81	2936.48	980.35	1370.78	932.36	1010.10	853.18	854.13	
01/12/2003	1052.38	737.13	655.77	3724.70	712.02	1260.64	688.87		1545.68	1136.30	2540.39	968.22	1236.33	777.15	843.26	739.37	785.15	
01/12/2004	998.98	655.49	618.69	3859.98	706.18	1224.31	617.72		1366.07	989.40	2285.00	869.31	1176.81	785.77	813.35	696.97	721.09	
01/12/2005	802.55	529.11	501.41	3499.27	599.43	1016.95	514.82		1322.01	825.49	1933.94	719.27	942.16	617.86	658.10	564.45	614.95	
01/12/2006	1066.82	744.05	724.09	3740.07	649.24	1279.37	734.18		1598.63	1115.66	2366.48	933.18	1238.71	836.48	939.83	774.83	864.40	
01/12/2007	929.39	716.50	643.89	3965.10	674.67	1210.35	644.35		1604.48	1106.65	2442.33	827.62	1121.06	772.00	804.19	726.33	744.81	
01/12/2008	841.01	723.29	660.25	3850.38	596.23	1082.94	672.07		1366.17	1068.35	2332.03	743.59	1038.08	782.33	821.00	747.30	727.60	
01/12/2009	918.20	656.89	643.27	3745.97	560.67	1141.25	625.52		1565.94	967.28	2003.35	806.90	1131.81	768.33	841.34	695.15	739.48	
01/12/2010	976.97	791.41	815.23	3662.87	655.48	1166.56	817.29		1594.84	1119.16	2374.54	852.07	1199.21	936.85	975.98	857.29	820.64	
01/12/2011	1174.67	807.43	767.74	4114.82	778.24	1286.47	773.61		1600.65	1209.19	2482.65	1046.70	1298.68	911.63	1009.29	833.04	870.20	
01/12/2012	989.55	813.69	754.41	4492.91	776.90	1034.67	810.20		1365.13	1169.40	2622.88	883.94	1029.77	807.02	903.89	798.57	888.95	
01/12/2013	961.33	941.26	770.05	4201.35	778.80	1079.19	788.68		1373.84	1303.06	2794.55	889.54	1055.57	906.12	897.71	924.26	826.18	
01/12/2014	888.94	745.23	661.03	4331.01	745.79	933.33	663.62		1129.43	1044.59	2444.91	831.91	911.73	763.38	784.14	788.26	671.94	
01/12/2015	875.27	671.23	594.36	4015.69	641.50	920.84	659.94		1196.54	965.57	2471.15	827.91	913.49	724.05	746.00	725.59	712.93	
01/12/2016	902.47	743.76	669.99	4032.89	698.67	960.86	641.19		1356.05	1104.52	2779.49	839.14	992.36	864.96	802.44	874.30	655.19	
01/12/2017	1005.38	966.21	822.66	4845.14	718.65	1079.73	810.13		1454.34	1363.69	3002.37	918.75	1074.77	970.34	959.06	1016.36	828.86	





Tabla 98. Precipitación anual estimada por satélite CHIRPS sin corregir.

FECHA	ACOMAYO	PAUCARTAMBO	CCATCCA	OLLACHEA	COMBAPATA	SICUANI	MACUSANI	CAYCAY	POMACANCHI	SANTA ROSA	PISAQ	PERAYOC	YAURI	CHUQUIBAMBILLA	CRUCERO
01/12/1981	793.70	1112.84	746.91	1521.82	809.04	783.11	912.74	683.41	821.54	780.54	621.21	681.68	703.84	764.11	977.89
01/12/1982	702.14	972.86	674.38	1357.72	630.86	622.14	861.14	575.66	678.29	650.81	528.92	633.82	633.26	635.68	710.02
01/12/1983	402.98	568.56	395.41	985.84	416.17	419.63	607.18	334.00	411.21	441.32	337.45	364.07	364.78	398.17	624.89
01/12/1984	875.55	966.75	752.80	1549.42	945.29	975.03	1286.30	679.13	943.95	1060.22	653.00	706.76	960.09	1053.76	1104.88
01/12/1985	687.00	881.33	618.72	1669.42	734.08	862.25	1302.26	569.73	723.32	1002.70	549.18	593.35	807.96	935.29	1097.35
01/12/1986	627.81	768.02	540.30	1608.49	631.55	716.83	1108.94	464.73	619.55	859.26	423.42	479.42	838.99	808.05	1002.64
01/12/1987	592.97	783.91	541.47	1417.89	643.74	656.12	1010.20	489.40	630.53	826.95	433.86	552.98	600.19	687.89	840.87
01/12/1988	631.09	785.14	544.26	1171.55	614.48	608.72	814.12	490.05	603.02	615.19	455.89	562.29	524.30	613.58	748.40
01/12/1989	632.84	866.99	601.61	1314.59	672.60	713.41	880.17	502.80	640.51	648.66	482.65	536.56	629.22	608.46	774.38
01/12/1990	605.31	714.22	568.17	1229.80	632.75	662.52	841.09	483.85	619.06	654.53	473.34	551.34	586.23	594.31	747.77
01/12/1991	516.99	688.95	468.79	1361.74	547.45	582.10	904.20	433.84	535.02	680.70	423.89	479.16	552.00	616.22	829.00
01/12/1992	495.29	569.66	439.85	1379.68	564.75	552.23	963.64	404.15	531.69	571.78	364.45	443.62	475.21	508.91	877.51
01/12/1993	717.28	743.03	583.31	1423.45	739.63	735.35	909.91	573.91	732.42	767.18	565.19	734.85	744.58	676.97	822.82
01/12/1994	819.80	887.88	664.47	1592.38	769.47	830.28	1051.71	586.82	814.92	824.69	605.09	786.39	764.30	692.47	894.44
01/12/1995	517.22	611.77	452.05	1236.64	608.42	622.70	867.60	416.50	552.65	614.13	393.21	495.06	623.70	550.03	654.77
01/12/1996	702.20	748.56	572.99	1253.15	738.12	779.45	923.13	508.27	702.38	664.54	463.95	634.66	753.05	653.78	760.53
01/12/1997	702.94	632.83	514.40	1192.73	716.58	727.87	942.83	504.24	751.41	787.77	463.18	632.92	715.41	722.02	809.89
01/12/1998	566.51	535.90	452.31	1008.55	571.41	587.76	722.90	397.20	606.61	582.17	392.81	450.60	633.53	575.86	661.71
01/12/1999	663.12	835.38	565.05	1355.97	779.36	788.63	853.35	553.93	719.41	718.72	566.01	690.04	826.28	692.63	696.67
01/12/2000	694.79	861.46	615.33	1296.14	786.37	800.01	860.72	538.20	767.85	722.31	558.71	638.14	804.25	685.35	700.16
01/12/2001	891.10	1219.27	850.13	1446.89	981.06	986.16	981.28	769.84	949.15	819.59	774.71	910.15	878.90	751.87	806.76
01/12/2002	898.23	1101.40	761.11	1616.83	919.34	935.73	1028.16	703.50	943.89	895.28	692.03	812.23	919.17	800.06	860.26
01/12/2003	811.47	1040.94	754.90	1276.77	835.78	892.83	875.26	680.96	838.58	731.30	631.13	682.94	671.41	658.76	745.68
01/12/2004	781.97	915.25	633.87	1382.93	783.57	841.33	956.93	587.20	807.84	775.59	579.26	647.70	737.35	711.94	769.13
01/12/2005	639.10	762.69	557.12	1254.71	678.78	708.79	847.83	498.61	687.30	662.16	460.24	535.44	624.62	633.68	724.39
01/12/2006	911.22	1060.59	787.38	1254.17	925.72	900.10	835.02	713.79	945.95	702.94	667.36	765.22	761.85	631.83	663.94
01/12/2007	804.63	1037.25	709.11	1364.90	836.05	842.85	837.95	635.95	820.76	734.53	600.83	660.23	738.27	682.43	706.73
01/12/2008	729.16	999.04	684.15	1269.27	737.06	758.78	820.75	623.12	757.44	668.26	630.36	671.40	639.87	621.54	660.55
01/12/2009	763.72	902.05	641.69	1256.92	755.12	735.51	788.46	601.49	780.12	626.26	566.13	663.25	616.06	585.21	616.29
01/12/2010	790.03	1088.32	802.77	1321.45	775.90	814.83	848.01	738.23	757.10	697.26	746.84	855.11	732.13	620.86	733.69
01/12/2011	887.50	1137.14	796.03	1493.95	943.14	982.67	991.20	733.86	927.22	861.04	697.76	802.16	870.57	801.26	800.37
01/12/2012	927.93	1217.38	883.40	1525.28	967.47	968.37	1082.36	739.93	976.84	815.62	696.98	823.66	922.99	757.68	835.37
01/12/2013	851.21	1491.06	932.84	1744.62	926.70	1051.61	1471.78	757.56	909.74	821.49	745.37	828.64	762.62	718.72	1085.27
01/12/2014	764.16	1237.06	830.12	1736.60	809.48	917.97	1455.91	651.71	797.42	775.19	621.63	712.87	656.24	656.96	979.15
01/12/2015	780.01	1099.57	761.00	1537.68	812.07	856.87	1208.07	625.10	810.70	660.87	578.25	668.24	670.86	592.62	844.50
01/12/2016	706.23	1229.58	766.80	1589.41	791.83	849.96	1322.80	585.47	767.34	706.93	625.34	709.35	634.58	611.26	932.85
01/12/2017	915.71	1584.19	998.21	1911.49	971.65	1049.66	1510.98	784.59	969.18	744.55	774.97	866.99	716.74	633.64	970.81

Pues así se tiene para la estación Kayra.

### 3.6.5.1. Estadísticas de comparación por pares precipitación anual

#### Estación Kayra

- Error absoluto medio

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Si - Oi|$$

$n=37$ ,

$$\sum_{i=1}^n |Si - Oi| = 3705.04$$

$$MAE = \frac{3705.04}{37}$$

$$MAE = 100.158 \text{ mm}$$

- Raíz del error medio cuadrático

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Si - Oi)^2}$$

$n=37$ ,

$$\sum_{i=1}^n (Si - Oi)^2 = 505922.49$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{505922.49}{37}}$$

$$RMSE = 116.934 \text{ mm}$$

- Sesgo porcentual

$$BIAS (\%) \text{ o } PBIAS = 100 * \frac{\sum_{i=1}^n (Si - Oi)}{\sum_{i=1}^n Oi}$$

$$\sum_{i=1}^n (Si - Oi) = -2188.58$$

$$\sum_{i=1}^n (O_i) = 25375.39$$

$$BIAS (\%) \text{ o } PBIAS = 100 * \frac{-2188.58}{25375.39}$$

$$BIAS (\%) \text{ o } PBIAS = -8.6$$

- Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$$

$$\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2 = 505922.49$$

$$\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 = 478044.60$$

$$NSE = 1 - \frac{505922.49}{478044.60}$$

$$NSE = -0.058$$

- Coeficiente de correlación de Pearson (r)

$$r_x = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} * \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

$$n=37$$

$$\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})] = 320657.73$$

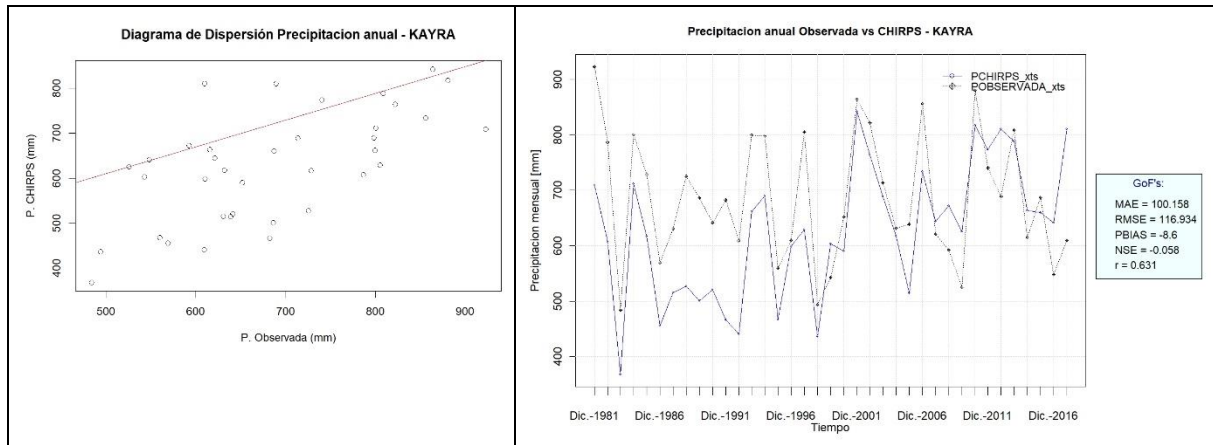
$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = 478044.60$$

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = 539737.36$$

$$r_x = \frac{\frac{1}{37-1} 320657.73}{\sqrt{\frac{1}{37-1} 478044.60} * \sqrt{\frac{1}{37-1} 539737.36}} = \frac{8907.16}{115.23 * 122.44}$$

$$r_x = 0.631$$

Se tiene los diagramas de dispersión y la serie de tiempo de la precipitación anual observada y estimada por satélite CHIRPS.

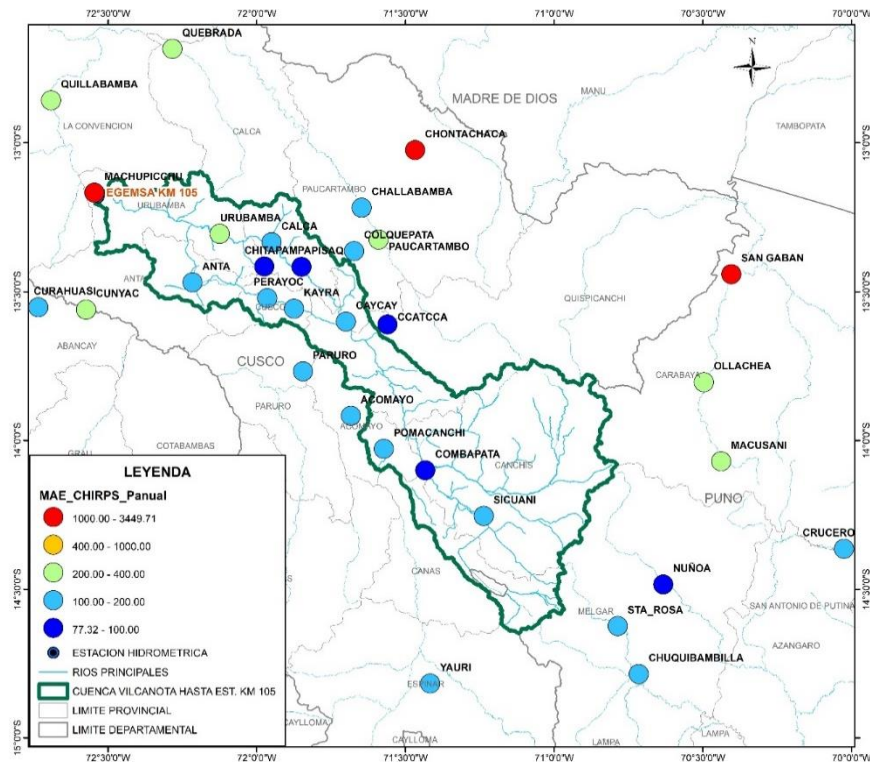


**Figura 120.** Diagramas de dispersión y series de tiempo de precipitación anual estación kayra.

**Tabla 99.** Resumen de los indicadores de comparación de la precipitación anual.

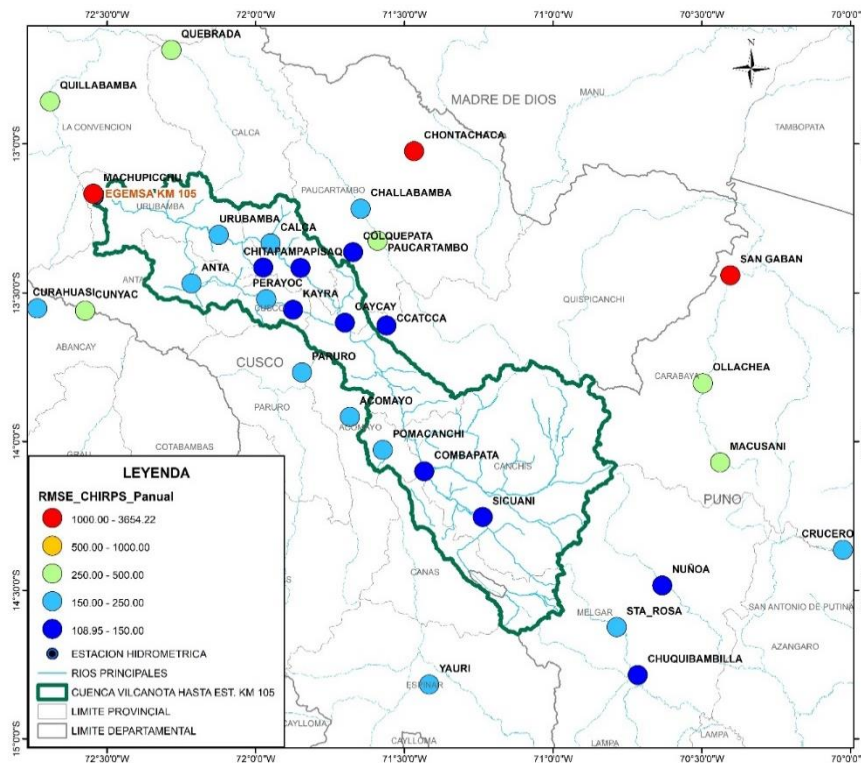
N	ESTACION	MAE_CHIRPS	RMSE_CHIRPS	PBIAS_CHIRPS	NSE_CHIRPS	Pearson_CHIRPS
1	CUNYAC	353.450	380.899	67.200	-14.811	0.507
2	COLQUEPATA	121.422	146.352	-9.700	-0.547	0.545
3	CHITAPAMPA	94.233	126.222	-9.500	-0.154	0.591
4	SAN GABAN	3449.718	3654.227	-47.700	-9.422	0.067
5	NUÑO A	77.320	108.950	-1.500	0.176	0.552
6	QUILLABAMBA	226.616	318.147	-11.500	-0.841	0.088
7	KAYRA	100.158	116.934	-8.600	-0.058	0.631
8	QUEBRADA	264.965	306.197	-12.900	-1.571	0.440
9	CHALLABAMBA	159.398	201.225	4.200	-0.843	0.430
10	CHONTACHACA	3198.348	3274.056	-60.200	-20.070	0.352
11	CURAHUASI	132.806	154.528	6.800	-0.596	0.422
12	MACHUPICCHU	1070.900	1137.855	-50.900	-7.884	0.226
13	URUBAMBA	212.680	237.464	39.300	-5.618	0.583
14	ANTA	173.810	238.565	-12.400	0.302	0.703
15	CALCA	115.997	151.873	14.600	-2.212	0.517
16	PARURO	139.583	174.045	-13.900	-0.307	0.556
17	ACOMAYO	141.592	183.257	-11.100	-0.176	0.455
18	PAUCARTAMBO	296.364	359.327	46.100	-10.196	0.556
19	CCATCCA	81.858	109.175	1.800	0.314	0.695
20	OLLACHEA	272.402	330.556	20.500	-2.621	0.243
21	COMBAPATA	90.337	115.670	-0.800	0.351	0.656
22	SICUANI	106.732	130.213	7.900	-0.180	0.630
23	MACUSANI	351.623	403.358	55.100	-12.376	0.355
24	CAYCAY	104.084	120.002	-6.100	-0.284	0.477
25	POMACANCHI	122.189	156.474	-10.300	-0.379	0.537
26	STA_ROSA	126.448	170.385	-11.400	-0.191	0.493
27	PISAQ	85.351	116.884	0.100	0.349	0.621
28	PERAYOC	182.861	223.516	-20.600	-1.545	0.422
29	YAURI	129.715	172.573	-13.600	-0.106	0.611
30	CHUQUIBAMBILLA	112.847	131.368	-10.900	0.085	0.682
31	CRUCERO	198.769	245.610	14.700	-0.032	0.412

Así como se muestra en la **Figura 121** las estaciones: Machupicchu, Chontachaca y San Gaban indican el  $1000 < MAE < 3449.71$  mm, considerándose los mas altos de todas las estaciones; por otro lado, las estaciones: Chitapampa, Písaq, Ccatcca, Combapata y Nuñoa tienen  $77.32 < MAE < 100$  mm, siendo las estaciones con menor MAE.



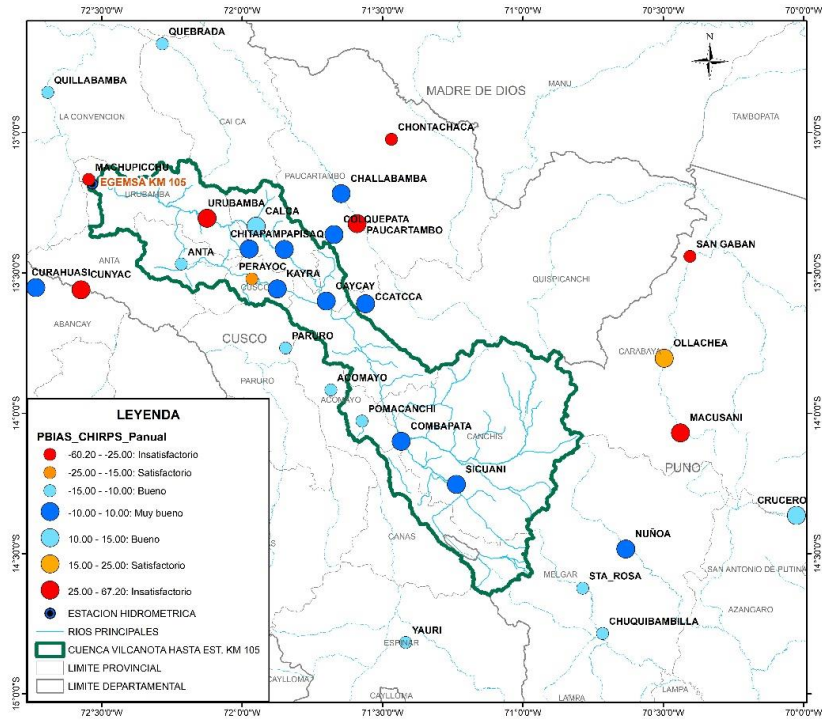
**Figura 121.** Variación espacial del error absoluto medio (MAE) precipitación anual sin corregir.

En cuanto al RMSE también las estaciones: Machupicchu, Chontachaca y San Gaban muestran valores entre 1000-3654 mm, considerado los valores mas altos; por otro lado, tenemos a las estaciones: Chitapampa, Písaq, Kayra, Caycay, Ccatcca, Combapata, Sicuani, Nuñoa y Chuquibambilla muestran valores entre 180.95-150 mm siendo los mas bajos con respecto a la precipitación anual observada.



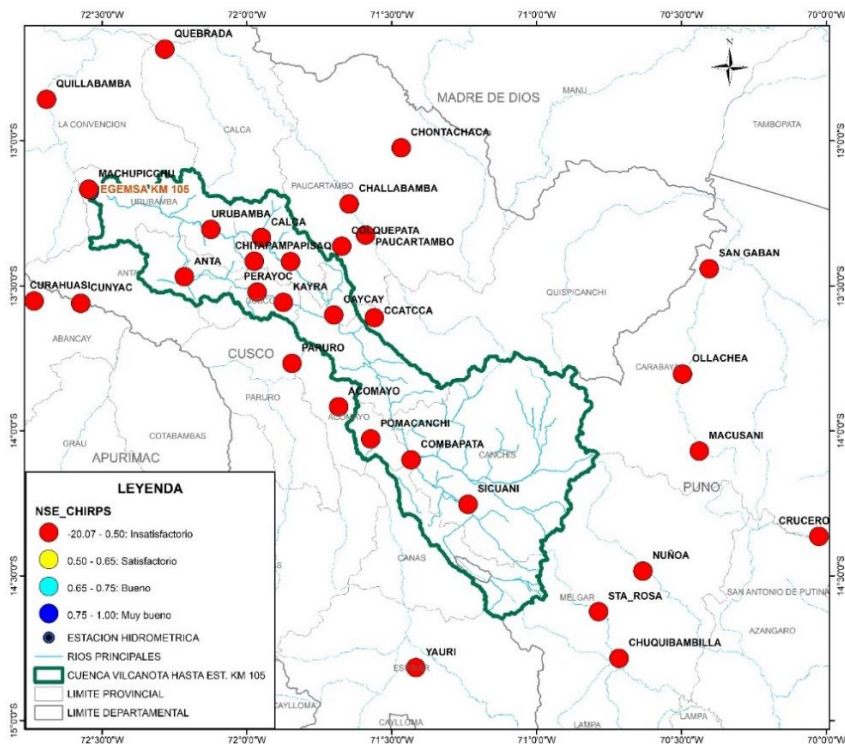
**Figura 122.** Variación espacial de la Raíz del Error Medio Cuadrático (RMSE) de la precipitación anual sin corregir.

El producto CHIRPS en las estaciones: Machupicchu, Chontachaca y San Gaban, según la **Figura 123**, muestran  $-60.2 < PBIAS < -25$ , con estimación insatisfactoria, lo que significa que subestiman la precipitación anual; por otro lado las estaciones: Cunyac, Urubamba, Paucartambo, y Macusani muestran  $25 < PBIAS < 67.2$  con estimación insatisfactoria, lo que significa que sobreestiman la precipitación anual; mientras tanto las estaciones Curahuasi, Chitapampa, Písaq, Challabamba, Colquepata, Kayra, Caycay, Ccatcca, Combapata, Sicuani y Nuñoa muestran  $-10 < PBIAS < 10$ , con estimación muy buena.



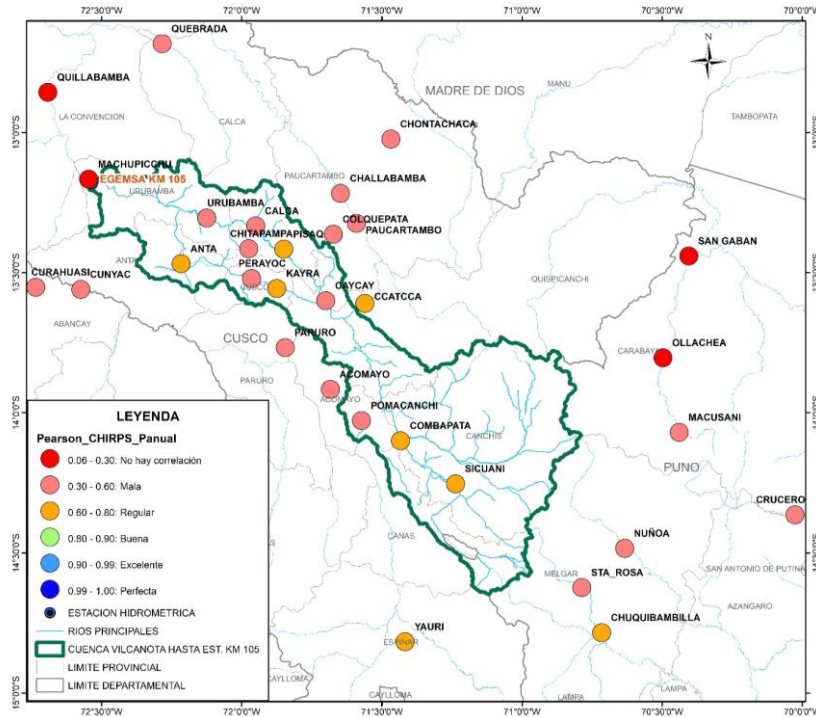
**Figura 123.** Variación espacial del Sesgo Porcentual (PBIAS) de la precipitación anual sin corregir.

De acuerdo a la **Figura 124**, el producto CHIRPS en todas las estaciones muestra  $NSE < 0.50$ , lo que indica que la eficiencia de estimación de la precipitación anual es insatisfactoria.



**Figura 124.** Variación espacial de la Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE) de la precipitación anual sin corregir.

Según la **Figura 125**, la estimación de la precipitación anual del producto CHIRPS muestra que la correlación esta menor a 0.80, considerándose como correlación regular a mala.



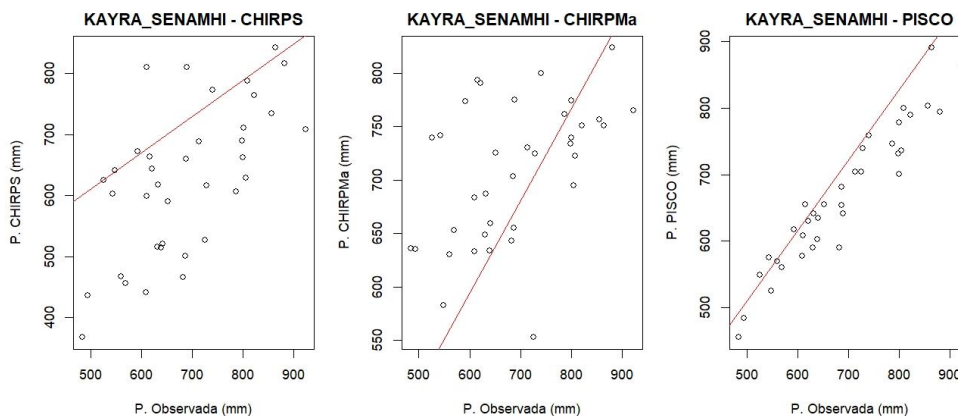
**Figura 125.** Variación espacial de la Correlación de Pearson (r) de la precipitación anual sin corregir.

### 3.6.5.2. Comparación con otros productos de precipitación anual

#### Resumen de estadísticas de comparación por pares

#### Estación Kayra

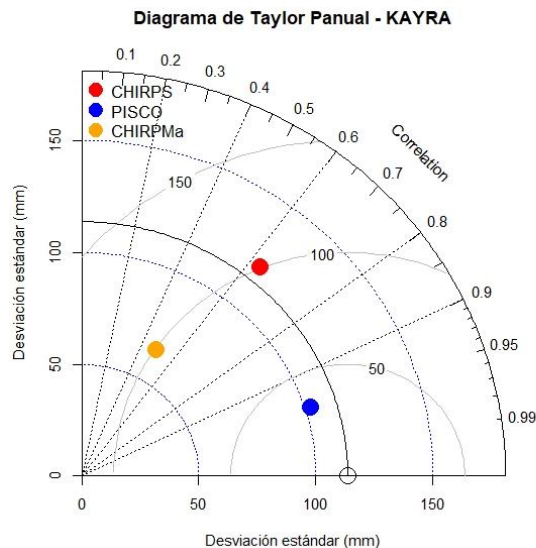
Se puede apreciar según la **Figura 126** el producto PISCO muestra mejor correspondencia según la dispersión con respecto a los datos observados, seguido del producto CHIRPM.



**Figura 126.** Diagrama de dispersión de la precipitación anual CHIRPS, CHIRPM y PISCO.



Finalmente, la comparación de la precipitación anual de los productos CHIRPS, PISCO Y CHIRPMd, según la **Figura 127**, donde mediante el Diagrama de Taylor se aprecia que el producto PISCO con  $r > 0.90$ ,  $RMSE < 40$  mm y desviación estándar 100 mm, las cuales están cercanas a los indicadores de los datos observados, que los otros productos, seguido del producto CHIRPS con  $r > 0.61$ ,  $RMSE < 100$  mm y desviación estándar 120 mm.



**Figura 127.** Diagrama de Taylor de datos observados y productos CHIRPS, CHIRPMd, PISCO de la precipitación anual– estación Kayra.

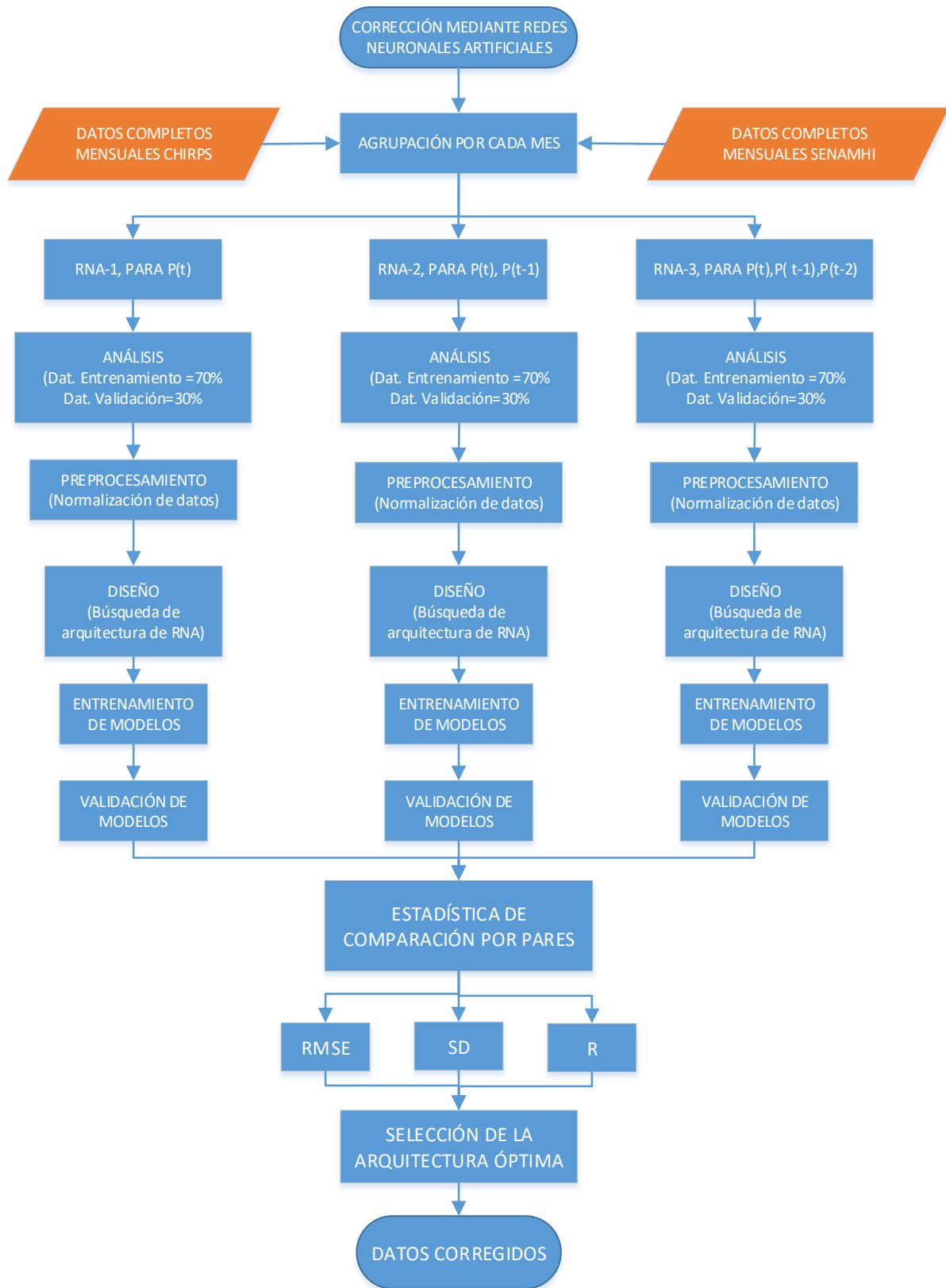
El Diagrama de Taylor para todas las estaciones se muestra en el anexo A.5.

### 3.6.6. Corrección mediante Redes Neuronales Artificiales (RNA)

Según la investigación de (Lujano & Felipe, 2013), el algoritmo de aprendizaje para el tipo de red perceptrón multicapa, es el Backpropagation, con una tasa de aprendizaje igual a 0.25 y un factor momento igual a 0.90. En general, el valor de la tasa de aprendizaje ( $\alpha$ ) suele estar comprendida entre 0.05 y 0.25, (Hilera & Martínez, 1995) y El factor momento suele tomar un valor próximo a 1 por ejemplo 0.9 (Rumelhart, Hinton, & Williams, 1986).

El sistema aprende mucho más rápido en general con valores más altos del momento y la tasa de aprendizaje. (Rumelhart, Hinton, & Williams, 1986).

### Modelamiento de Redes Neuronales Artificiales (RNA)



**Figura 128.** Diagrama de flujo de la corrección mediante el Modelo de Redes Neuronales Artificiales.

**Tabla 100.** Distribución de datos de precipitación mensual para la corrección por RNA.

PROCEDIMIENTO	AÑOS		CANTIDAD (Años)	PORCENTAJE (%)
	DESDE	HASTA		
Entrenamiento	1981	2005	25	68%
Validación	2006	2016	11	30%
Test	2017	2017	1	3%
<b>Total</b>			<b>37</b>	<b>100%</b>

### 3.6.6.1. Arquitectura de las Redes Neuronales Artificiales

Tabla 101. Planteamiento de los modelos de RNA de acuerdo a la cantidad de variables de entrada.

N° DE VARIABLES DE ENTRADA	MODELO	VARIABLE SALIDA	VARIABLES ENTRADA
1	RNA-1	P(t)	P(t)
2	RNA-2	P(t)	P(t), P(t-1)
3	RNA-3	P(t)	P(t), P(t-1), P(t-2)

### 3.6.6.2. Entrenamiento de los modelos

**Tabla 102.** Consideraciones importantes para el modelamiento de Redes Neuronales Artificiales.

ENTRENAMIENTO DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES (RNA)	
ENTRADAS	P(t), P(t-1), P(t-2)
ARQUITECTURA	Perceptron Multicapa
TIPO DE CONEXIÓN	Feed-Forward (Hacia Adelante)
CAPAS OCULTAS	Monocapa (1 capa oculta)
NEURONAS EN CAPA OCULTA	Desde 6 neuronas/ Hasta 15 neuronas
N° DE ITERACIONES	750000
NEURONAS EN CAPA DE SALIDA	1 neurona
FUNCIÓN DE ACTIVACIÓN	Logística sigmoidea
ALGORITMO DE APRENDIZAJE	Supervisado
TIPO DE APRENDIZAJE	Aprendizaje por corrección de error
TASA DE APRENDIZAJE	0.25
FACTOR MOMENTO	0.9
ALGORITMO DE ENTRENAMIENTO	Backpropagation
SALIDA	P(t)

### 3.6.6.3. Selección del mejor modelo de red neuronal.

La corrección de datos mediante RNA de la precipitación estimada por satélite CHIRPS para la estación Kayra, se presentan a continuación, según los datos observados.

**Tabla 103.** Precipitación estimada por satélite CHIRPS – Estación Kayra.

Nº	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1981	147.45	114.22	87.52	32.59	3.55	2.49	1.95	4.90	22.67	73.73	101.00	117.13
2	1982	145.11	101.41	117.73	22.80	3.38	3.20	2.25	4.61	13.40	37.02	104.17	51.89
3	1983	67.28	52.06	55.71	28.00	4.00	2.64	2.00	4.03	10.56	16.90	46.12	78.45
4	1984	182.70	179.73	73.68	46.70	5.89	3.35	3.39	5.73	9.55	48.26	78.42	74.16
5	1985	81.92	103.56	91.76	38.04	7.84	2.91	2.22	5.85	21.44	54.59	103.74	103.08
6	1986	96.25	88.87	84.93	43.13	3.99	2.39	1.92	5.58	10.38	21.97	39.63	56.74
7	1987	147.76	82.60	53.02	15.30	6.98	3.31	2.63	2.80	7.67	21.09	85.87	86.42
8	1988	103.59	91.15	124.77	36.09	3.77	2.15	1.37	2.71	10.40	18.26	38.48	94.76
9	1989	121.78	96.81	86.94	22.74	4.15	2.54	2.38	4.70	7.72	33.79	55.88	61.57
10	1990	92.33	69.82	52.28	38.42	4.00	5.26	1.75	3.71	12.70	55.33	97.06	87.97
11	1991	60.15	119.47	78.26	25.21	6.66	4.20	1.37	3.01	9.23	32.93	51.63	74.48
12	1992	94.80	76.24	47.02	25.92	2.74	4.94	1.67	8.17	6.88	38.23	66.46	67.91
13	1993	140.35	109.42	54.61	33.40	3.15	2.58	2.06	5.96	10.55	46.93	106.91	146.12
14	1994	145.28	132.01	119.29	38.95	5.64	2.34	2.21	2.94	14.63	50.95	46.27	129.55
15	1995	101.42	55.82	109.05	12.09	3.66	2.64	2.18	3.52	17.51	29.22	49.39	81.06
16	1996	142.86	102.79	65.16	39.52	6.04	2.19	1.48	6.19	8.03	44.10	54.64	125.98
17	1997	122.30	124.84	93.69	14.96	4.05	2.11	1.42	5.36	8.27	31.03	103.93	117.03
18	1998	70.56	102.36	60.41	10.26	2.51	2.76	1.47	3.17	8.78	31.82	66.48	75.65
19	1999	113.87	105.62	87.44	43.49	5.20	2.47	1.74	3.93	25.30	33.77	54.95	125.46
20	2000	137.97	112.97	101.82	23.01	3.78	3.65	1.90	4.46	12.43	53.45	41.94	92.75
21	2001	214.15	146.08	150.43	31.67	9.78	2.33	5.33	9.12	13.22	76.81	91.82	91.62
22	2002	107.28	187.99	109.22	41.84	4.40	3.17	5.17	4.67	16.73	61.71	87.37	135.09
23	2003	150.03	151.93	120.21	43.45	4.75	3.29	1.53	8.45	10.47	35.49	41.37	117.90
24	2004	156.26	106.29	81.29	26.08	3.68	5.15	5.37	7.57	16.54	38.84	67.83	102.81
25	2005	96.76	106.62	83.61	33.86	3.88	2.11	1.65	4.23	8.78	31.58	56.02	85.73
26	2006	164.88	123.59	99.79	46.74	2.74	4.54	2.43	5.81	9.81	62.35	84.03	127.46
27	2007	107.92	108.25	130.42	45.47	6.18	2.13	3.26	3.43	8.44	50.12	71.44	107.29
28	2008	140.75	141.85	71.98	21.84	5.22	4.62	1.65	4.80	15.38	57.52	67.22	139.25
29	2009	119.80	111.89	81.09	21.08	3.31	2.11	2.29	3.52	12.38	29.90	130.23	107.92
30	2010	233.76	121.97	124.93	16.40	4.01	2.62	2.03	4.28	12.99	67.97	44.21	182.11
31	2011	126.68	186.18	125.82	49.57	5.93	2.40	1.94	4.30	24.36	45.02	81.69	119.72
32	2012	116.19	156.32	122.14	53.62	4.21	2.92	1.99	3.12	28.31	25.84	110.45	185.10
33	2013	148.94	127.73	116.82	13.86	8.40	4.39	2.43	7.46	16.83	98.30	82.83	160.68
34	2014	166.48	124.91	72.62	41.44	9.93	2.76	2.35	5.85	22.22	62.26	34.74	118.05
35	2015	125.22	143.99	93.00	46.08	11.91	4.36	3.97	6.25	16.83	24.86	46.46	137.01
36	2016	97.05	97.04	100.09	41.37	7.53	2.83	4.37	20.30	30.32	75.41	30.91	133.96
37	2017	120.56	127.24	137.98	44.61	13.72	2.77	3.25	6.44	22.68	69.85	112.31	148.74

**Tabla 104.** Precipitación observada según SENAMHI – Estación Kayra.

N°	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1981	225.40	80.80	124.40	56.90	1.80	3.90	0.00	9.80	45.90	108.90	120.80	144.30
2	1982	178.90	115.50	143.10	58.80	0.00	9.20	3.40	4.90	14.00	37.90	122.50	98.60
3	1983	128.40	84.00	54.50	29.80	3.40	6.20	0.50	0.90	5.50	26.00	44.30	100.20
4	1984	198.60	142.40	71.00	82.80	0.00	2.00	1.30	11.40	4.20	114.60	69.40	102.80
5	1985	129.10	119.40	74.20	33.20	15.60	11.60	0.90	0.00	43.30	62.10	116.50	122.40
6	1986	76.40	92.20	125.70	65.50	6.20	0.00	1.80	4.20	7.50	17.30	69.60	102.70
7	1987	224.30	87.90	48.60	13.10	2.10	1.30	9.20	0.00	8.20	26.50	101.80	107.60
8	1988	163.80	84.30	166.50	108.90	4.60	0.00	0.00	0.00	9.90	36.20	47.60	103.70
9	1989	151.40	126.80	119.30	38.60	6.40	9.10	0.00	6.10	30.70	48.70	60.70	88.50
10	1990	157.60	90.40	60.20	47.40	7.50	31.80	0.00	5.80	13.30	73.70	86.90	66.50
11	1991	97.60	163.60	105.20	45.10	11.00	5.10	1.50	0.00	21.40	49.30	83.60	99.00
12	1992	114.10	102.40	104.00	14.90	0.00	19.40	0.00	21.40	8.00	50.70	117.40	57.00
13	1993	206.70	110.50	75.80	18.80	0.90	0.00	2.70	6.90	18.00	46.20	111.90	201.50
14	1994	177.00	163.90	173.90	45.50	11.80	0.00	0.00	0.00	25.70	40.20	40.50	119.90
15	1995	122.00	94.80	95.30	17.80	0.00	0.00	0.60	1.20	28.80	26.70	70.20	102.60
16	1996	131.90	98.00	70.50	32.30	11.00	0.00	0.00	6.30	19.60	58.40	49.00	133.20
17	1997	123.30	127.70	104.80	31.00	4.80	0.00	0.00	7.10	12.30	44.40	201.50	148.40
18	1998	116.30	156.20	22.60	31.00	1.60	1.90	0.00	1.60	4.30	49.80	49.70	58.90
19	1999	89.30	92.20	92.00	42.80	1.30	3.40	1.00	0.00	43.10	18.80	39.70	119.50
20	2000	197.40	137.30	119.50	10.90	2.60	5.80	2.70	4.50	10.70	49.30	29.30	82.00
21	2001	233.00	173.10	137.40	36.40	11.50	0.00	17.40	10.20	20.60	38.30	96.80	89.40
22	2002	134.50	184.60	112.70	21.60	16.20	2.50	27.10	3.70	10.30	78.70	97.80	132.40
23	2003	163.90	135.50	142.90	56.50	2.00	6.40	0.00	21.30	3.70	34.60	23.10	123.80
24	2004	173.70	125.80	66.50	21.00	2.40	20.50	17.00	9.00	21.70	25.60	60.90	87.90
25	2005	140.80	130.60	120.20	33.10	3.20	0.40	1.20	4.00	4.50	39.10	59.30	102.50
26	2006	203.40	155.50	145.90	40.90	0.20	4.90	0.00	10.50	7.50	72.50	67.80	147.20
27	2007	140.80	58.70	107.30	93.60	5.80	0.00	4.00	0.00	1.00	49.27	72.23	88.40
28	2008	108.80	109.20	64.40	7.60	8.70	2.10	0.00	3.90	13.90	51.70	90.20	131.90
29	2009	112.50	108.30	79.10	21.30	5.30	0.00	3.30	0.70	15.10	8.30	88.70	82.90
30	2010	268.50	168.50	129.20	16.60	1.30	0.00	1.40	4.70	8.20	70.00	40.00	172.70
31	2011	103.40	179.30	131.90	67.60	3.90	3.20	3.70	0.00	38.90	38.20	60.20	110.20
32	2012	70.50	167.70	41.70	48.10	4.50	1.20	0.00	0.10	18.40	19.50	138.20	179.50
33	2013	180.50	137.20	75.50	13.00	25.30	6.10	2.00	12.40	6.30	105.00	86.00	159.40
34	2014	161.90	116.50	36.50	35.00	10.10	0.00	3.20	5.80	12.60	52.18	29.60	152.10
35	2015	169.80	146.50	66.70	69.80	18.60	3.90	10.30	4.60	16.10	19.10	48.60	113.00
36	2016	104.00	153.10	54.30	24.40	3.00	0.00	4.50	0.50	7.00	79.50	28.00	89.80
37	2017	111.20	86.90	122.80	47.50	11.20	5.90	0.00	8.40	19.00	33.70	61.40	101.70

La corrección mediante Redes Neuronales Artificiales (RNA), son realizadas para cada mes, para el cual se considera modelos RNA-1, RNA-2 y RNA3, según se indica en la **Tabla 101**. Se detalla el procedimiento para cada mes a continuación.

Mes de enero – Estación Kayra

(N) ENE	(N) ENE_senamhi	(N) ENE	(N) DIC	(N) ENE_senamhi	(N) ENE	(N) NOV	(N) DIC	(N) ENE_senamhi
TRN 147.45	225.4	TRN 147.45	117.13	225.4	TRN 147.45	101	117.13	225.4
TRN 145.11	178.9	TRN 145.11	51.89	178.9	TRN 145.11	104.17	51.89	178.9
TRN 67.28	128.4	TRN 67.28	78.45	128.4	TRN 67.28	46.12	78.45	128.4
TRN 182.7	198.6	TRN 182.7	74.16	198.6	TRN 182.7	78.42	74.16	198.6
TRN 81.92	129.1	TRN 81.92	103.08	129.1	TRN 81.92	103.74	103.08	129.1
TRN 96.25	76.4	TRN 96.25	56.74	76.4	TRN 96.25	39.63	56.74	76.4
TRN 147.76	224.3	TRN 147.76	86.42	224.3	TRN 147.76	85.87	86.42	224.3
TRN 103.59	163.8	TRN 103.59	94.76	163.8	TRN 103.59	38.48	94.76	163.8
TRN 121.78	151.4	TRN 121.78	61.57	151.4	TRN 121.78	55.88	61.57	151.4
TRN 92.33	157.6	TRN 92.33	87.97	157.6	TRN 92.33	97.06	87.97	157.6
TRN 60.15	97.6	TRN 60.15	74.48	97.6	TRN 60.15	51.63	74.48	97.6
TRN 94.8	114.1	TRN 94.8	67.91	114.1	TRN 94.8	66.46	67.91	114.1
TRN 140.35	206.7	TRN 140.35	146.12	206.7	TRN 140.35	106.91	146.12	206.7
TRN 145.28	177	TRN 145.28	129.55	177	TRN 145.28	46.27	129.55	177
TRN 101.42	122	TRN 101.42	81.06	122	TRN 101.42	49.39	81.06	122
TRN 142.86	131.9	TRN 142.86	125.98	131.9	TRN 142.86	54.64	125.98	131.9
TRN 122.3	123.3	TRN 122.3	117.03	123.3	TRN 122.3	103.93	117.03	123.3
TRN 70.56	116.3	TRN 70.56	75.65	116.3	TRN 70.56	66.48	75.65	116.3
TRN 113.87	89.3	TRN 113.87	125.46	89.3	TRN 113.87	54.95	125.46	89.3
TRN 137.97	197.4	TRN 137.97	92.75	197.4	TRN 137.97	41.94	92.75	197.4
TRN 214.15	233	TRN 214.15	91.62	233	TRN 214.15	91.82	91.62	233
TRN 107.28	134.5	TRN 107.28	135.09	134.5	TRN 107.28	87.37	135.09	134.5
TRN 150.03	163.9	TRN 150.03	117.9	163.9	TRN 150.03	41.37	117.9	163.9
TRN 156.26	173.7	TRN 156.26	102.81	173.7	TRN 156.26	67.83	102.81	173.7
TRN 96.76	140.8	TRN 96.76	85.73	140.8	TRN 96.76	56.02	85.73	140.8
VLD 164.88	203.4	VLD 164.88	127.46	203.4	VLD 164.88	84.03	127.46	203.4
VLD 107.92	140.8	VLD 107.92	107.29	140.8	VLD 107.92	71.44	107.29	140.8
VLD 140.75	108.8	VLD 140.75	139.25	108.8	VLD 140.75	67.22	139.25	108.8
VLD 119.8	112.5	VLD 119.8	107.92	112.5	VLD 119.8	130.23	107.92	112.5
VLD 233.76	268.5	VLD 233.76	182.11	268.5	VLD 233.76	44.21	182.11	268.5
VLD 126.68	103.4	VLD 126.68	119.72	103.4	VLD 126.68	81.69	119.72	103.4
VLD 116.19	70.5	VLD 116.19	185.1	70.5	VLD 116.19	110.45	185.1	70.5
VLD 148.94	180.5	VLD 148.94	160.68	180.5	VLD 148.94	82.83	160.68	180.5
VLD 166.48	161.9	VLD 166.48	118.05	161.9	VLD 166.48	34.74	118.05	161.9
VLD 125.22	169.8	VLD 125.22	137.01	169.8	VLD 125.22	46.46	137.01	169.8
VLD 97.05	104	VLD 97.05	133.96	104	VLD 97.05	30.91	133.96	104
TST 120.56	111.2	TST 120.56	148.74	111.2	TST 120.56	112.31	148.74	111.2

Análisis de distribución de datos. RNA-1 = ENE (t)

Encoded Columns	Encoded Data
ENE	ENE
ENE_senamhi	ENE_senamhi
0.005702	0.782323
-0.021255	-0.547475
-0.917862	0.292424
0.411785	0.64697
-0.749208	0.29596
-0.584125	0.029798
0.009274	0.776768
-0.499568	0.471212
-0.290018	0.408586
-0.629284	0.439899
-1	0.136869
-0.600829	0.220202
-0.07609	0.687879
-0.019296	0.537879
-0.524567	0.260101
-0.047175	0.310101
-0.284027	0.266667
-0.880076	0.231313
-0.381142	0.094949
-0.103508	0.640909
0.774091	0.820707
-0.457059	0.323232
0.035424	0.471717
0.107194	0.521212
-0.57825	0.355051
0.206497	0.671212
-0.449686	0.355051
-0.071482	0.193434
-0.312828	0.212121
Parameter	Value
Column type	input
Format	numerical
Scaling range	[-1..1]
Encoded into	1 columns
Min	60.15
Max	233.76
Mean	127.255135
Std. deviation	36.703432
Scaling factor	0.01152

Normalización de datos RNA-1 = ENE (t)

Análisis de distribución de datos. RNA-2 = ENE (t, t-1)

Encoded Columns	Encoded Data	
ENE	ENE	
DIC	DIC	
ENE_senamhi	ENE_senamhi	
0.005702	-0.020494	0.782323
-0.021255	-1	0.547475
-0.917862	-0.601231	0.292424
0.411785	-0.665641	0.64697
-0.749208	-0.231439	0.29596
-0.584125	-0.927183	0.029798
0.009274	-0.48157	0.776768
-0.499568	-0.356355	0.471212
-0.290018	-0.854666	0.408586
-0.629284	-0.458299	0.439899
-1	-0.660836	0.136869
-0.600829	-0.759478	0.220202
-0.07609	0.414759	0.687879
-0.019296	0.165979	0.537879
-0.524567	-0.562045	0.260101
-0.047175	0.112379	0.310101
-0.284027	-0.021995	0.266667
-0.880076	-0.64327	0.231313
-0.381142	0.104572	0.094949
-0.103508	-0.386533	0.640909
0.774091	-0.403498	0.820707
-0.457059	0.249155	0.323232
0.035424	-0.008933	0.471717
0.107194	-0.235493	0.521212
-0.57825	-0.49193	0.355051
0.206497	0.1346	0.671212
-0.449686	-0.168231	0.355051
-0.071482	0.311613	0.193434
-0.312828	-0.158772	0.212121
Parameter	Value	
Column type	input	
Format	numerical	
Scaling range	[-1..1]	
Encoded into	1 columns	
Min	60.15	
Max	233.76	
Mean	127.255135	
Std. deviation	36.703432	
Scaling factor	0.01152	

Normalización de datos. RNA-2 = ENE (t, t-1)

Análisis de distribución de datos. RNA-3 = ENE (t, t-1, t-2)

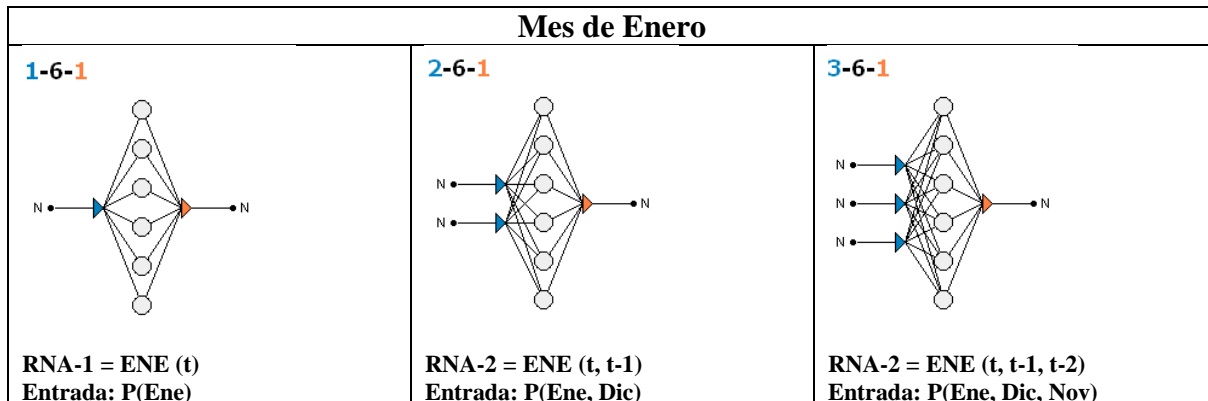
Encoded Columns	Encoded Data		
ENE	ENE		
NOV	NOV		
DIC	DIC		
ENE_senamhi	ENE_senamhi		
0.005702	0.411398	-0.020494	0.782323
-0.021255	0.475232	-1	0.547475
-0.917862	-0.693717	-0.601231	0.292424
0.411785	-0.043294	-0.665641	0.64697
-0.749208	0.466573	-0.231439	0.29596
-0.584125	-0.824406	-0.927183	0.029798
0.009274	0.106726	-0.48157	0.776768
-0.499568	-0.847563	-0.356355	0.471212
-0.290018	-0.497181	-0.854666	0.408586
-0.629284	0.332058	-0.458299	0.439899
-1	-0.582763	-0.660836	0.136869
-0.600829	-0.284132	-0.759478	0.220202
-0.07609	0.530407	0.414759	0.687879
-0.019296	-0.690697	0.165979	0.537879
-0.524567	-0.62787	-0.562045	0.260101
-0.047175	-0.522151	0.112379	0.310101
-0.284027	0.470399	-0.021995	0.266667
-0.880076	-0.283729	-0.64327	0.231313
-0.381142	-0.515908	0.104572	0.094949
-0.103508	-0.77789	-0.386533	0.640909
0.774091	0.22654	-0.403498	0.820707
-0.457059	0.136931	0.249155	0.323232
0.035424	-0.789368	-0.008933	0.471717
0.107194	-0.256545	-0.235493	0.521212
-0.57825	-0.494362	-0.49193	0.355051
0.206497	0.069674	0.1346	0.671212
-0.449686	-0.18385	-0.168231	0.355051
-0.071482	-0.268828	0.311613	0.193434
-0.312828	1	-0.158772	0.212121
Parameter	Value		
Column type	input		
Format	numerical		
Scaling range	[-1..1]		
Encoded into	1 columns		
Min	60.15		
Max	233.76		
Mean	127.255135		
Std. deviation	36.703432		
Scaling factor	0.01152		

Normalización de datos. RNA-3 = ENE (t, t-1, t-2)

Figura 129. Análisis y Preprocesamiento (normalización) de los datos para los modelos RNA-1, RNA-2 y RNA-3, mes de enero-Kayra.

En la **Figura 129**, se muestra la selección de datos: 68% para el entrenamiento, 30 % para la validación y 3% para el test, luego se normaliza los datos dentro de la escala de [-1,1].

Posteriormente se procede a la búsqueda de la arquitectura de RNA para su entrenamiento y validación de acuerdo a los modelos planteados. En la **Figura 130** se tienen las arquitecturas simplificadas según las variables consideradas como entradas a la RNA.



**Figura 130.** Modelos de RNA planteados para la corrección de datos del mes de enero - Kayra.

RNA-1: modelo de red neuronal de una variable de entrada que conforma una neurona de entrada con datos de precipitación mensual del mes de enero, 6 neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida.

RNA-2: modelo de red neuronal de 2 variables de entrada que conforman 2 neuronas de entrada con datos de precipitación mensual del mes de enero y diciembre, 6 neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida.

RNA-3: modelo de red neuronal de 3 variables de entrada que conforman 3 neuronas de entrada con datos de precipitación mensual del mes de enero, diciembre y noviembre, 6 neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida.

Cada uno de los modelos de RNA en referencia al objetivo de los datos observados por SENAMHI tiene salida de la precipitación corregida.

El cuadro de las precipitaciones corregidas según cada RNA se presenta en la **Tabla 105**.

**Tabla 105.** Salida de las diferentes arquitecturas, mes de enero – Kayra.

PROCEDIMIENTO	ROW	AÑO	ENE	NOV	DIC	OBJETIVO	RNA_T	RNA_T_1	RNA_T_2
TRN	0	1981	147.45	101.00	117.13	225.40	185.27	183.02	192.76
TRN	1	1982	145.11	104.17	51.89	178.90	185.91	179.94	196.77
TRN	2	1983	67.28	46.12	78.45	128.40	115.13	119.83	106.05
TRN	3	1984	182.70	78.42	74.16	198.60	197.97	207.14	217.51
TRN	4	1985	81.92	103.74	103.08	129.10	127.53	146.58	127.33
TRN	5	1986	96.25	39.63	56.74	76.40	130.67	91.45	120.76
TRN	6	1987	147.76	85.87	86.42	224.30	185.22	206.71	188.86
TRN	7	1988	103.59	38.48	94.76	163.80	126.28	142.53	123.47
TRN	8	1989	121.78	55.88	61.57	151.40	133.04	145.09	148.30
TRN	9	1990	92.33	97.06	87.97	157.60	130.88	143.28	134.74
TRN	10	1991	60.15	51.63	74.48	97.60	105.93	107.28	104.28
TRN	11	1992	94.80	66.46	67.91	114.10	130.87	109.89	127.20
TRN	12	1993	140.35	106.91	146.12	206.70	188.75	170.76	185.58
TRN	13	1994	145.28	46.27	129.55	177.00	185.85	178.54	163.56
TRN	14	1995	101.42	49.39	81.06	122.00	128.29	139.04	125.98
TRN	15	1996	142.86	54.64	125.98	131.90	186.97	176.54	165.17
TRN	16	1997	122.30	103.93	117.03	123.30	138.20	134.96	166.60
TRN	17	1998	70.56	66.48	75.65	116.30	118.72	114.80	111.30
TRN	18	1999	113.87	54.95	125.46	89.30	109.85	113.47	135.37
TRN	19	2000	137.97	41.94	92.75	197.40	191.05	197.85	156.61
TRN	20	2001	214.15	91.82	91.62	233.00	232.96	226.88	235.36
TRN	21	2002	107.28	87.37	135.09	134.50	121.20	104.53	141.36
TRN	22	2003	150.03	41.37	117.90	163.90	184.99	184.17	167.56
TRN	23	2004	156.26	67.83	102.81	173.70	185.55	191.88	188.31
TRN	24	2005	96.76	56.02	85.73	140.80	130.56	141.95	124.29
VLD	25	2006	164.88	84.03	127.46	203.40	188.05	189.56	201.89
VLD	26	2007	107.92	71.44	107.29	140.80	120.11	127.93	137.59
VLD	27	2008	140.75	67.22	139.25	108.80	188.42	171.74	167.69
VLD	28	2009	119.80	130.23	107.92	112.50	118.04	139.99	177.26
VLD	29	2010	233.76	44.21	182.11	268.50	253.89	252.21	232.87
VLD	30	2011	126.68	81.69	119.72	103.40	182.19	144.46	160.57
VLD	31	2012	116.19	110.45	185.10	70.50	108.64	108.65	156.91
VLD	32	2013	148.94	82.83	160.68	180.50	185.06	182.89	182.47
VLD	33	2014	166.48	34.74	118.05	161.90	188.68	190.17	182.69
VLD	34	2015	125.22	46.46	137.01	169.80	169.80	131.54	141.82
VLD	35	2016	97.05	30.91	133.96	104.00	130.48	104.01	115.44
TST	36	2017	120.56	112.31	148.74	111.20	122.85	117.30	165.87

Los valores del objetivo son los valores de la precipitación según SENAMHI.

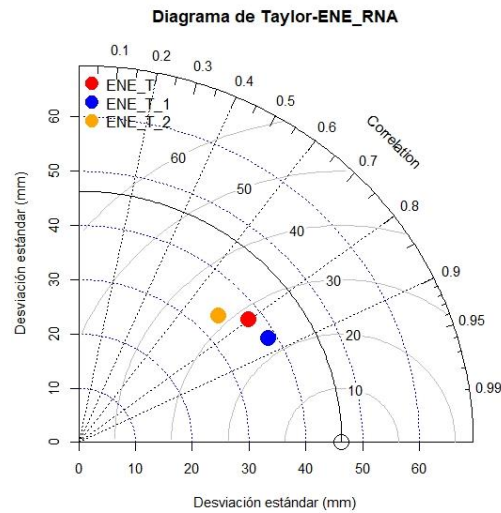
TRN: Train – Entrenamiento.

VLD: Validation – Validación.

TST: Test – Prueba.

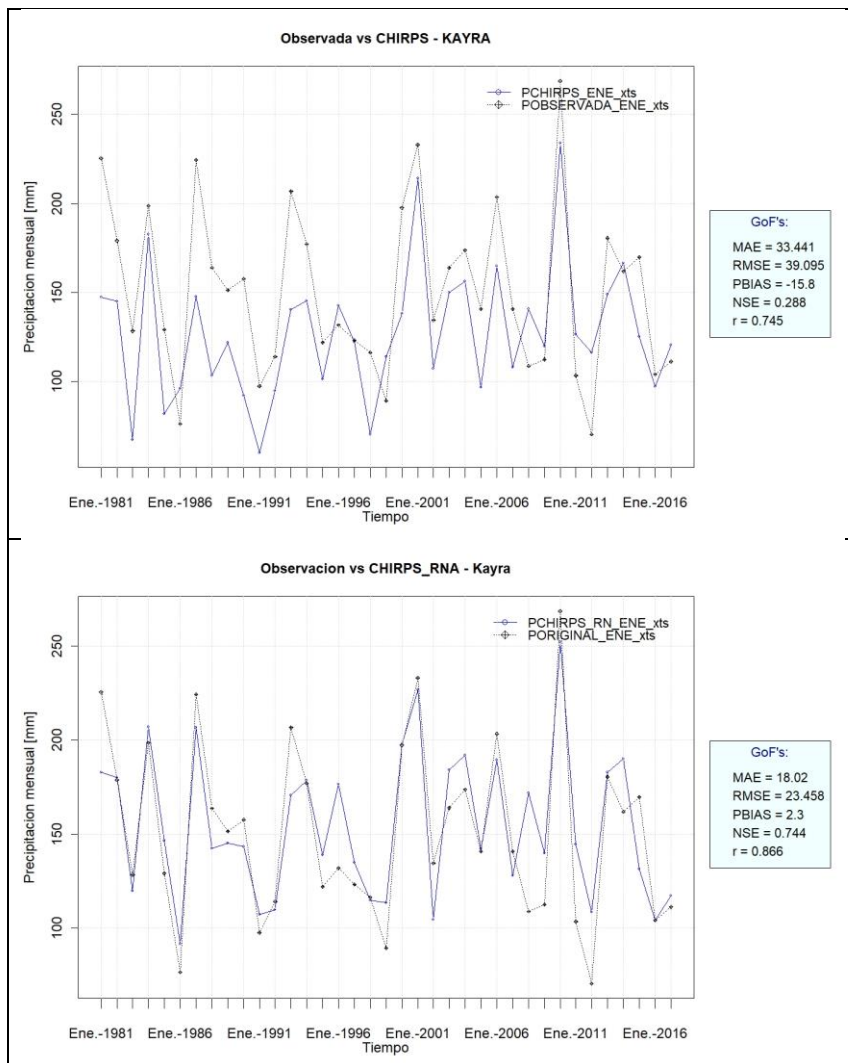
Según el diagrama de Taylor, el modelo RNA-2(ENE\_T\_1), tiene el mejor comportamiento en la correlación, RMSE y desviación estándar; por lo tanto, es el seleccionado.





**Figura 131.** Selección de arquitectura óptima de los modelos RNA-1(ENE\_T), RNA-2(ENE\_T\_1), RNA-3 (ENE\_T\_2), mes de enero – Kayra.

La diferencia en la serie de tiempo antes y después de la corrección se muestra a continuación.

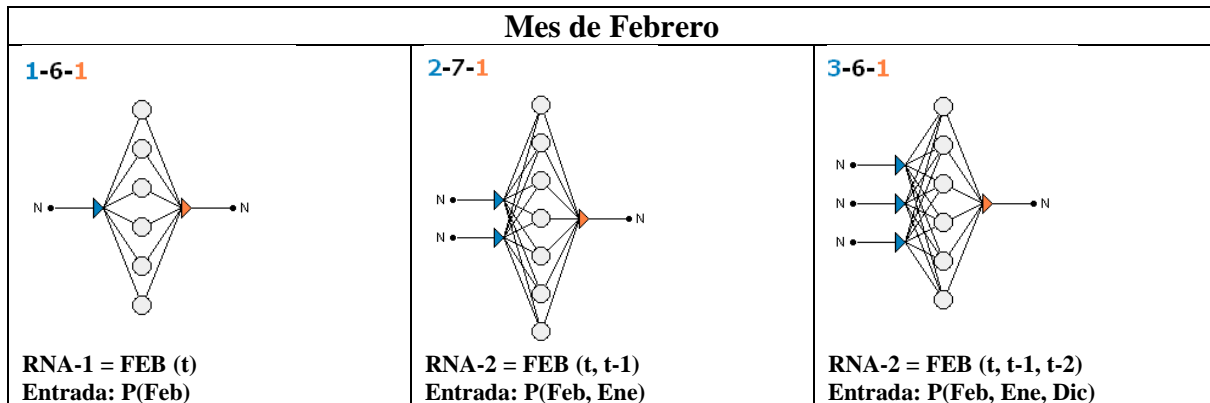


**Figura 132.** Serie de tiempo antes y después de la corrección mediante RNA, enero – Kayra.



En la **Figura 133**, se muestra la selección de datos: 68% para el entrenamiento, 30 % para la validación y 3% para el test, luego se normaliza los datos dentro de la escala de [-1,1].

Posteriormente se procede a la búsqueda de la arquitectura de RNA para su entrenamiento y validación de acuerdo a los modelos planteados. Se tienen las arquitecturas simplificadas según las variables consideradas como entradas a la RNA.



**Figura 134.** Modelos de RNA planteados para la corrección de datos del mes de febrero - Kayra.

RNA-1: modelo de red neuronal de una variable de entrada que conforma una neurona de entrada con datos de precipitación mensual del mes de febrero, 6 neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida.

RNA-2: modelo de red neuronal de 2 variables de entrada que conforman 2 neuronas de entrada con datos de precipitación mensual del mes de febrero y enero, 7 neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida.

RNA-3: modelo de red neuronal de 3 variables de entrada que conforman 3 neuronas de entrada con datos de precipitación mensual del mes de febrero, enero y diciembre, 6 neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida.

Cada uno de los modelos de RNA en referencia al objetivo de los datos observados por SENAMHI tiene salida de la precipitación corregida.

El cuadro de las precipitaciones corregidas según cada RNA se presenta en la **Tabla 106**.

**Tabla 106.** Salida de las diferentes arquitecturas – mes de febrero – Kayra.

PROCEDIMIENTO	ROW	AÑO	ENE	FEB	DIC	OBJETIVO	RNA_T	RNA_T_1	RNA_T_2
TRN	0	1981	147.45	114.22	117.13	80.80	125.90	120.78	102.87
TRN	1	1982	145.11	101.41	51.89	115.50	114.93	107.62	121.13
TRN	2	1983	67.28	52.06	78.45	84.00	84.70	92.99	89.05
TRN	3	1984	182.70	179.73	74.16	142.40	165.00	149.36	141.24
TRN	4	1985	81.92	103.56	103.08	119.40	116.74	130.34	117.06
TRN	5	1986	96.25	88.87	56.74	92.20	104.97	96.13	100.44
TRN	6	1987	147.76	82.60	86.42	87.90	100.51	101.00	89.80
TRN	7	1988	103.59	91.15	94.76	84.30	106.69	95.44	88.41
TRN	8	1989	121.78	96.81	61.57	126.80	111.14	98.41	120.81
TRN	9	1990	92.33	69.82	87.97	90.40	92.72	89.38	94.50
TRN	10	1991	60.15	119.47	74.48	163.60	130.39	172.77	173.74
TRN	11	1992	94.80	76.24	67.91	102.40	96.41	90.47	80.82
TRN	12	1993	140.35	109.42	146.12	110.50	121.76	113.29	110.95
TRN	13	1994	145.28	132.01	129.55	163.90	140.53	137.72	150.26
TRN	14	1995	101.42	55.82	81.06	94.80	86.15	89.54	95.69
TRN	15	1996	142.86	102.79	125.98	98.00	116.09	107.89	95.84
TRN	16	1997	122.30	124.84	117.03	127.70	134.87	132.67	130.79
TRN	17	1998	70.56	102.36	75.65	156.20	115.73	143.74	145.54
TRN	18	1999	113.87	105.62	125.46	92.20	118.49	106.94	88.92
TRN	19	2000	137.97	112.97	92.75	137.30	124.82	116.60	130.47
TRN	20	2001	214.15	146.08	91.62	173.10	150.22	161.15	175.72
TRN	21	2002	107.28	187.99	135.09	184.60	167.18	180.17	180.25
TRN	22	2003	150.03	151.93	117.90	135.50	153.61	147.20	141.90
TRN	23	2004	156.26	106.29	102.81	125.80	119.07	116.15	112.93
TRN	24	2005	96.76	106.62	85.73	130.60	119.35	118.31	138.52
VLD	25	2006	164.88	123.59	127.46	155.50	133.84	136.69	154.87
VLD	26	2007	107.92	108.25	107.29	58.70	120.75	112.82	92.91
VLD	27	2008	140.75	141.85	139.25	109.20	147.53	144.22	159.15
VLD	28	2009	119.80	111.89	107.92	108.30	123.89	114.22	90.31
VLD	29	2010	233.76	121.97	182.11	168.50	132.50	157.73	164.48
VLD	30	2011	126.68	186.18	119.72	179.30	166.74	174.35	152.19
VLD	31	2012	116.19	156.32	185.10	167.70	155.91	167.70	168.72
VLD	32	2013	148.94	127.73	160.68	137.20	137.20	134.94	137.20
VLD	33	2014	166.48	124.91	118.05	116.50	134.93	138.37	168.39
VLD	34	2015	125.22	143.99	137.01	146.50	148.92	152.15	160.56
VLD	35	2016	97.05	97.04	133.96	153.10	111.33	103.45	124.22
TST	36	2017	120.56	127.24	148.74	86.90	136.81	136.82	107.12

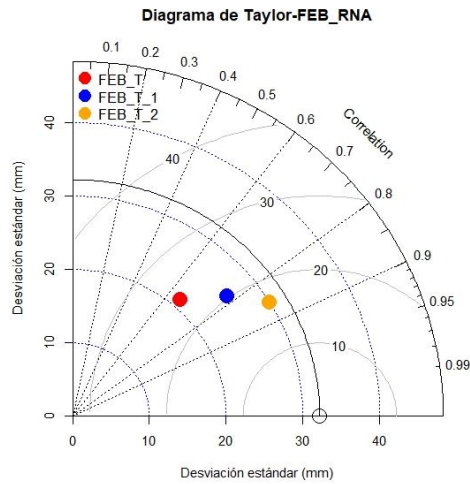
Los valores del objetivo son los valores de la precipitación según SENAMHI.

TRN: Train – Entrenamiento.

VLD: Validation – Validación.

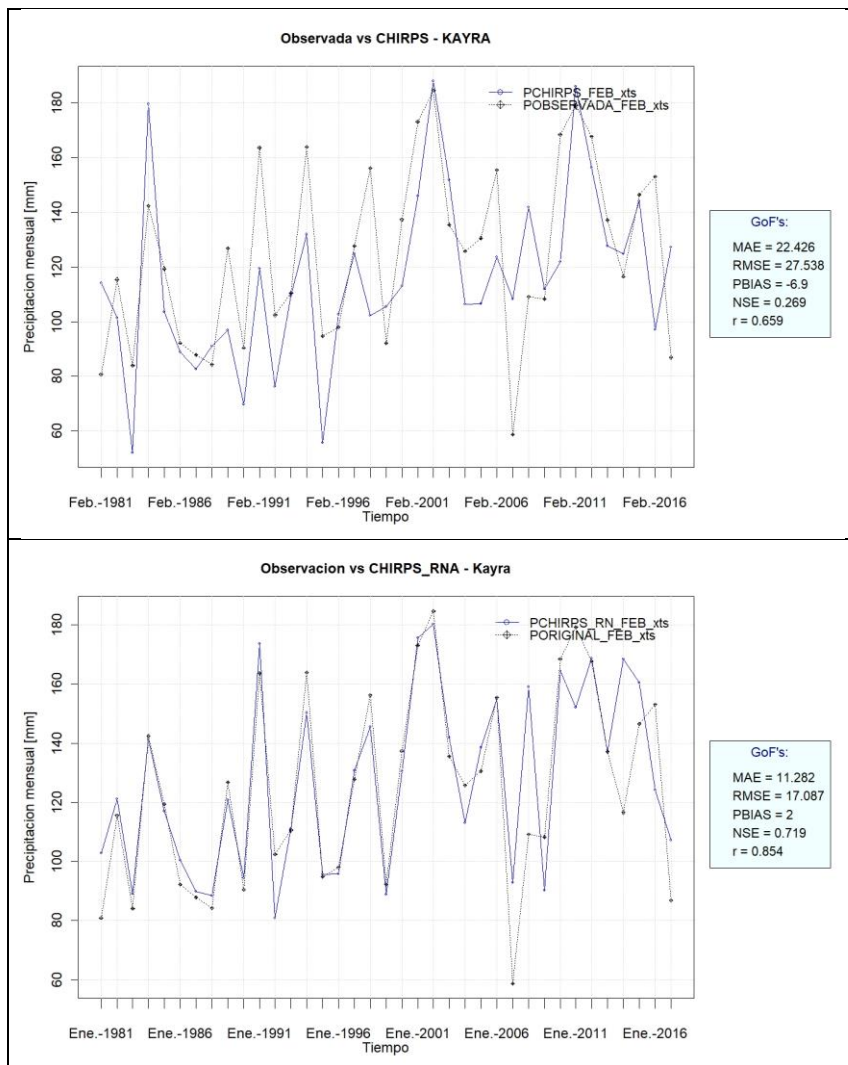
TST: Test – Prueba.

Según el diagrama de Taylor, el modelo RNA-2(FEB\_T\_2), tiene el mejor comportamiento en la correlación, RMSE y desviación estándar; por lo tanto, es el seleccionado.



**Figura 135.** Selección de arquitectura óptima de los modelos RNA-1(FEB\_T), RNA-2(FEB\_T\_1), RNA-3 (FEB\_T\_2) – mes de febrero – Kayra.

La diferencia en la serie de tiempo antes y después de la corrección se muestra a continuación.



**Figura 136.** Serie de tiempo antes y después de la corrección mediante RNA, febrero – Kayra.



### **Mes de marzo – Estación Kayra**

No fue posible la corrección con ningún modelo, dado que las variables de entrada del mes de marzo, febrero y enero según consideraciones de la Tabla 101, no converge en un resultado respecto a la salida objetivo.

Mes de abril – Estación Kayra

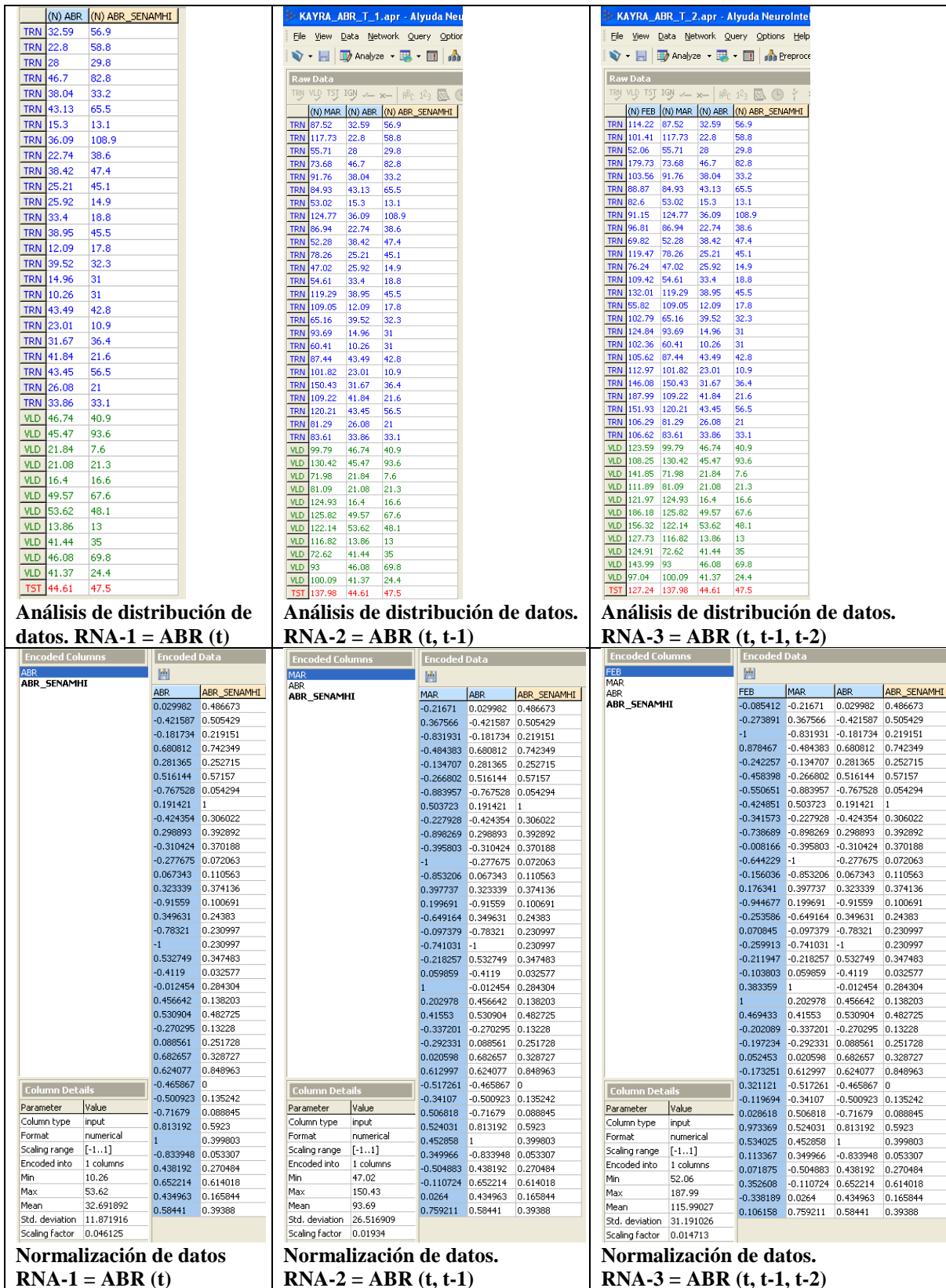
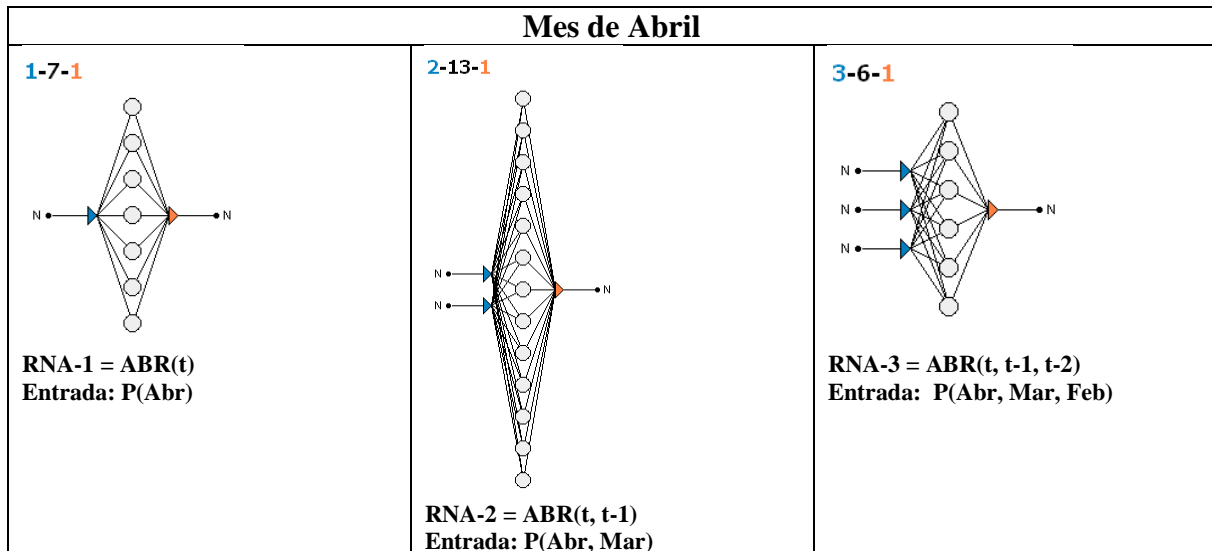


Figura 137. Análisis y Preprocesamiento (normalización) de los datos para los modelos RNA-1, RNA-2 y RNA-3, mes de abril – Kayra.

En la **Figura 137**, se muestra la selección de datos: 68% para el entrenamiento, 30 % para la validación y 3% para el test, luego se normaliza los datos dentro de la escala de [-1,1].

Posteriormente se procede a la búsqueda de la arquitectura de RNA para su entrenamiento y validación de acuerdo a los modelos planteados. Se tienen las arquitecturas simplificadas según las variables consideradas como entradas a la RNA.



**Figura 138.** Modelos de RNA planteados para la corrección de datos del mes de abril - Kayra.

RNA-1: modelo de red neuronal de una variable de entrada que conforma una neurona de entrada con datos de precipitación mensual del mes de abril, 7 neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida.

RNA-2: modelo de red neuronal de 2 variables de entrada que conforma 2 neuronas de entrada con datos de precipitación mensual del mes de abril y marzo, 13 neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida.

RNA-3: modelo de red neuronal de 3 variables de entrada que conforman 3 neuronas de entrada con datos de precipitación mensual del mes de abril, marzo y febrero, 6 neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida.

Cada uno de los modelos de RNA en referencia al objetivo de los datos observados por SENAMHI tiene salida de la precipitación corregida.

El cuadro de las precipitaciones corregidas según cada RNA se presenta en la tabla.



**Tabla 107.** Salida de las diferentes arquitecturas mes de abril – Kayra.

PROCEDIMIENTO	ROW	AÑO	FEB	MAR	ABR	OBJETIVO	RNA_T	RNA_T_1	RNA_T_2
TRN	0	1981	114.22	87.52	32.59	56.90	39.91	40.57	35.86
TRN	1	1982	101.41	117.73	22.80	58.80	28.62	36.86	35.85
TRN	2	1983	52.06	55.71	28.00	29.80	33.27	28.76	32.00
TRN	3	1984	179.73	73.68	46.70	82.80	82.36	53.96	47.16
TRN	4	1985	103.56	91.76	38.04	33.20	46.11	48.19	49.46
TRN	5	1986	88.87	84.93	43.13	65.50	48.98	52.56	63.39
TRN	6	1987	82.60	53.02	15.30	13.10	26.20	20.28	18.90
TRN	7	1988	91.15	124.77	36.09	108.90	101.85	54.04	77.42
TRN	8	1989	96.81	86.94	22.74	38.60	28.59	30.05	26.58
TRN	9	1990	69.82	52.28	38.42	47.40	41.03	38.50	42.04
TRN	10	1991	119.47	78.26	25.21	45.10	30.00	30.59	26.20
TRN	11	1992	76.24	47.02	25.92	14.90	30.58	25.68	24.57
TRN	12	1993	109.42	54.61	33.40	18.80	32.25	33.60	31.18
TRN	13	1994	132.01	119.29	38.95	45.50	36.25	55.97	54.28
TRN	14	1995	55.82	109.05	12.09	17.80	25.40	25.28	33.76
TRN	15	1996	102.79	65.16	39.52	32.30	32.62	43.08	41.20
TRN	16	1997	124.84	93.69	14.96	31.00	26.11	24.97	21.38
TRN	17	1998	102.36	60.41	10.26	31.00	24.99	18.82	17.68
TRN	18	1999	105.62	87.44	43.49	42.80	55.88	53.60	57.01
TRN	19	2000	112.97	101.82	23.01	10.90	28.71	33.42	28.20
TRN	20	2001	146.08	150.43	31.67	36.40	42.57	54.97	50.18
TRN	21	2002	187.99	109.22	41.84	21.60	31.26	56.88	44.20
TRN	22	2003	151.93	120.21	43.45	56.50	55.11	60.94	54.88
TRN	23	2004	106.29	81.29	26.08	21.00	30.73	32.05	27.87
TRN	24	2005	106.62	83.61	33.86	33.10	30.64	41.07	37.78
VLD	25	2006	123.59	99.79	46.74	40.90	82.40	60.07	62.38
VLD	26	2007	108.25	130.42	45.47	93.60	79.35	64.81	88.82
VLD	27	2008	141.85	71.98	21.84	7.60	28.21	26.59	23.51
VLD	28	2009	111.89	81.09	21.08	21.30	27.93	27.54	23.67
VLD	29	2010	121.97	124.93	16.40	16.60	26.49	31.84	26.26
VLD	30	2011	186.18	125.82	49.57	67.60	83.06	67.60	56.06
VLD	31	2012	156.32	122.14	53.62	48.10	84.50	70.26	71.01
VLD	32	2013	127.73	116.82	13.86	13.00	25.83	27.96	22.97
VLD	33	2014	124.91	72.62	41.44	35.00	29.14	47.36	43.08
VLD	34	2015	143.99	93.00	46.08	69.80	81.39	57.86	51.79
VLD	35	2016	97.04	100.09	41.37	24.40	28.91	54.22	66.24
TST	36	2017	127.24	137.98	44.61	47.50	73.05	65.35	82.13

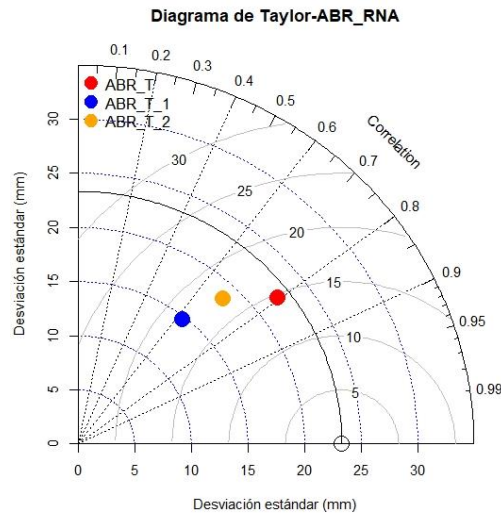
Los valores del objetivo son los valores de la precipitación según SENAMHI.

TRN: Train – Entrenamiento.

VLD: Validation – Validación.

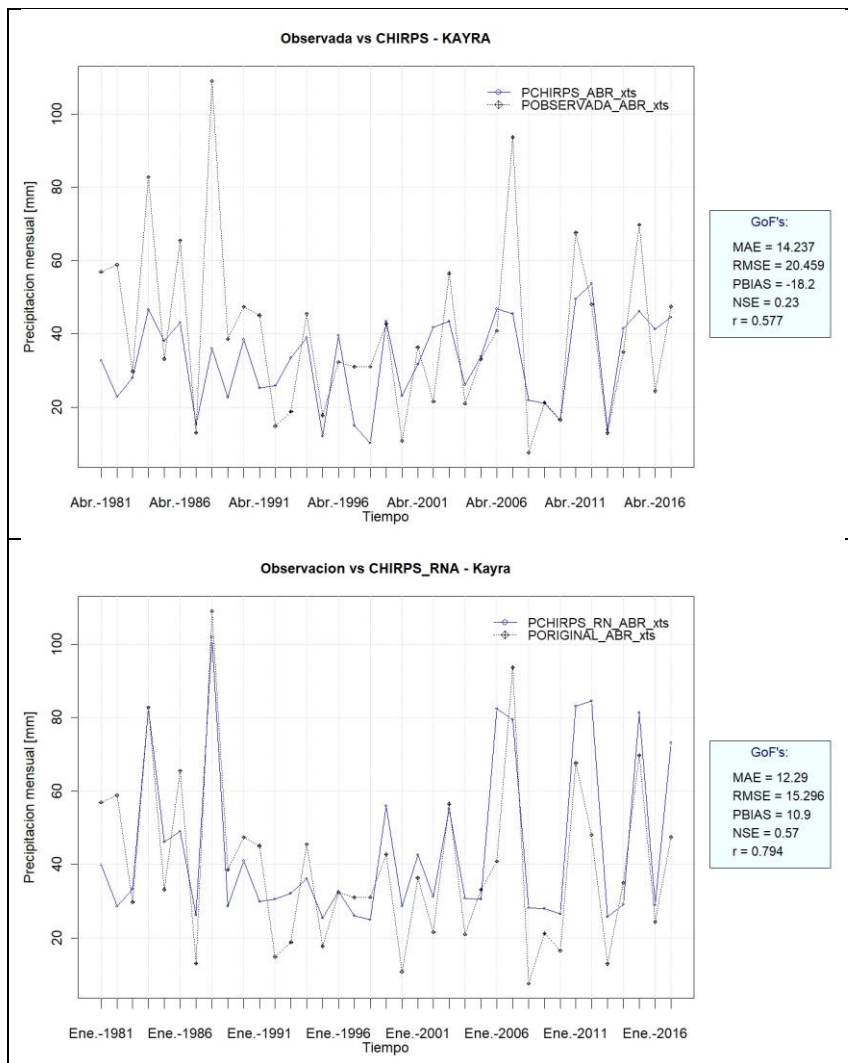
TST: Test – Prueba.

Según el diagrama de Taylor, el modelo RNA-1(ABR\_T), tiene el mejor comportamiento en la correlación, RMSE y desviación estándar; por lo tanto, es el seleccionado.



**Figura 139.** Selección de arquitectura óptima de los modelos RNA-1(ABR\_T), RNA-2(ABR\_T\_1), RNA-3 (ABR\_T\_2), mes de abril – Kayra.

La diferencia en la serie de tiempo antes y después de la corrección se muestra a continuación.



**Figura 140.** Serie de tiempo antes y después de la corrección mediante RNA, abril – Kayra.



Mes de mayo – Estación Kayra

Table with 3 columns: (N) MAY, (N) MAY, SENAMHI. Rows include TRN (3.55 to 7.53) and VLD (2.74 to 7.53) data.

Table with 4 columns: (N) ABR, (N) MAY, (N) MAY, SENAMHI. Rows include TRN (32.59 to 44.61) and VLD (46.74 to 7.53) data.

Table with 5 columns: (N) MAR, (N) ABR, (N) MAY, (N) MAY, SENAMHI. Rows include TRN (87.52 to 137.98) and VLD (99.79 to 7.53) data.

Análisis de distribución de datos. RNA-1 = MAY (t)

Análisis de distribución de datos. RNA-2 = MAY (t, t-1)

Análisis de distribución de datos. RNA-3 = MAY (t, t-1, t-2)

Software interface for RNA-1 data normalization, showing 'Encoded Columns' and 'Encoded Data' for MAY and MAY\_SENAMHI.

Normalización de datos RNA-1 = MAY (t)

Software interface for RNA-2 data normalization, showing 'Encoded Columns' and 'Encoded Data' for ABR, MAY, and MAY\_SENAMHI.

Normalización de datos. RNA-2 = MAY (t, t-1)

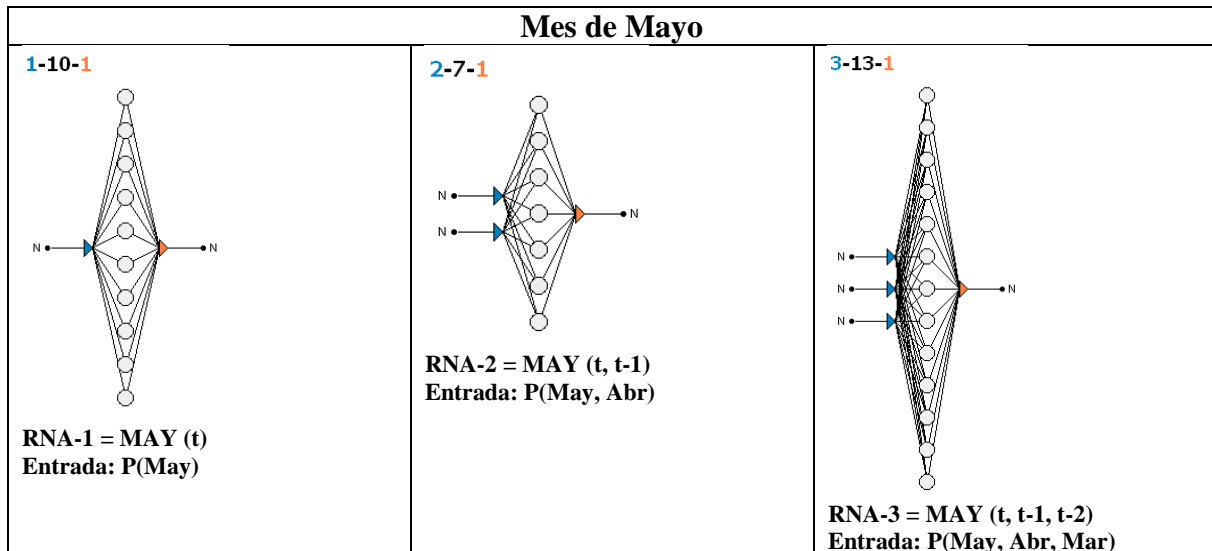
Software interface for RNA-3 data normalization, showing 'Encoded Columns' and 'Encoded Data' for MAR, ABR, MAY, and MAY\_SENAMHI.

Normalización de datos. RNA-3 = MAY (t, t-1, t-2)

Figura 141. Análisis y Preprocesamiento (normalización) de los datos para los modelos RNA-1, RNA-2 y RNA-3, mes de mayo – Kayra.

En la **Figura 141**, se muestra la selección de datos: 68% para el entrenamiento, 30 % para la validación y 3% para el test, luego se normaliza los datos dentro de la escala de [-1,1].

Posteriormente se procede a la búsqueda de la arquitectura de RNA para su entrenamiento y validación de acuerdo a los modelos planteados. Se tienen las arquitecturas simplificadas según las variables consideradas como entradas a la RNA.



**Figura 142.** Modelos de RNA planteados para la corrección de datos del mes de mayo - Kayra.

RNA-1: modelo de red neuronal de una variable de entrada que conforma una neurona de entrada con datos de precipitación mensual del mes de mayo, 10 neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida.

RNA-2: modelo de red neuronal de 2 variables de entrada que conforma 2 neuronas de entrada con datos de precipitación mensual del mes de mayo y abril, 7 neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida.

RNA-3: modelo de red neuronal de 3 variables de entrada que conforman 3 neuronas de entrada con datos de precipitación mensual del mes de mayo, abril y marzo, 13 neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida.

Cada uno de los modelos de RNA en referencia al objetivo de los datos observados por SENAMHI tiene salida de la precipitación corregida.

El cuadro de las precipitaciones corregidas según cada RNA se presenta en la **Tabla 108**.

**Tabla 108.** Salida de las diferentes arquitecturas, mes de mayo – Kayra.

PROCEDIMIENTO	ROW	AÑO	MAR	ABR	MAY	OBJETIVO	RNA_T	RNA_T_1	RNA_T_2
TRN	0	1981	87.52	32.59	3.55	1.80	3.60	4.04	4.18
TRN	1	1982	117.73	22.80	3.38	0.00	3.45	2.23	1.35
TRN	2	1983	55.71	28.00	4.00	3.40	4.05	3.86	2.45
TRN	3	1984	73.68	46.70	5.89	0.00	6.57	7.13	4.60
TRN	4	1985	91.76	38.04	7.84	15.60	10.19	11.76	16.51
TRN	5	1986	84.93	43.13	3.99	6.20	4.04	5.19	2.86
TRN	6	1987	53.02	15.30	6.98	2.10	8.49	4.74	3.19
TRN	7	1988	124.77	36.09	3.77	4.60	3.82	4.81	4.47
TRN	8	1989	86.94	22.74	4.15	6.40	4.21	3.01	4.61
TRN	9	1990	52.28	38.42	4.00	7.50	4.05	5.28	6.00
TRN	10	1991	78.26	25.21	6.66	11.00	7.90	8.06	10.46
TRN	11	1992	47.02	25.92	2.74	0.00	2.93	2.03	1.32
TRN	12	1993	54.61	33.40	3.15	0.90	3.25	3.60	2.95
TRN	13	1994	119.29	38.95	5.64	11.80	6.18	7.87	10.78
TRN	14	1995	109.05	12.09	3.66	0.00	3.71	1.72	2.07
TRN	15	1996	65.16	39.52	6.04	11.00	6.82	8.49	7.52
TRN	16	1997	93.69	14.96	4.05	4.80	4.10	2.02	4.30
TRN	17	1998	60.41	10.26	2.51	1.60	2.77	1.31	1.19
TRN	18	1999	87.44	43.49	5.20	1.30	5.53	6.70	4.74
TRN	19	2000	101.82	23.01	3.78	2.60	3.83	2.64	3.47
TRN	20	2001	150.43	31.67	9.78	11.50	14.13	14.94	11.15
TRN	21	2002	109.22	41.84	4.40	16.20	4.49	5.77	8.57
TRN	22	2003	120.21	43.45	4.75	2.00	4.92	6.10	8.11
TRN	23	2004	81.29	26.08	3.68	2.40	3.73	3.04	2.92
TRN	24	2005	83.61	33.86	3.88	3.20	3.93	4.73	4.06
VLD	25	2006	99.79	46.74	2.74	0.20	2.93	3.87	2.46
VLD	26	2007	130.42	45.47	6.18	5.80	7.05	7.76	8.75
VLD	27	2008	71.98	21.84	5.22	8.70	5.55	4.23	3.75
VLD	28	2009	81.09	21.08	3.31	5.30	3.39	1.99	2.48
VLD	29	2010	124.93	16.40	4.01	1.30	4.06	2.09	0.97
VLD	30	2011	125.82	49.57	5.93	3.90	6.64	6.65	8.47
VLD	31	2012	122.14	53.62	4.21	4.50	4.28	4.50	4.99
VLD	32	2013	116.82	13.86	8.40	25.30	11.33	6.21	8.26
VLD	33	2014	72.62	41.44	9.93	10.10	14.42	14.25	13.72
VLD	34	2015	93.00	46.08	11.91	18.60	17.77	15.70	18.60
VLD	35	2016	100.09	41.37	7.53	3.00	9.56	10.70	16.01
TST	36	2017	137.98	44.61	13.72	11.20	19.94	17.49	20.64

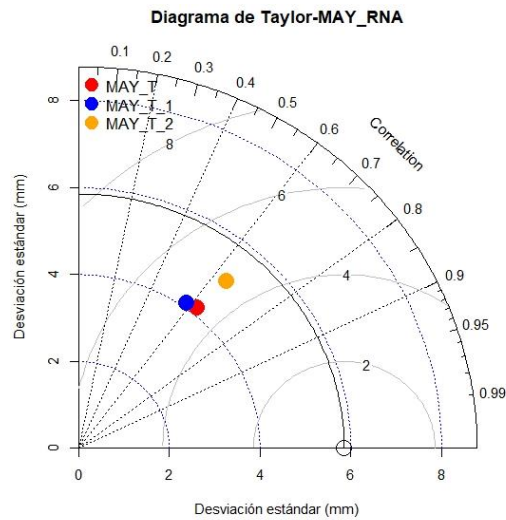
Los valores del objetivo son los valores de la precipitación según SENAMHI.

TRN: Train – Entrenamiento.

VLD: Validation – Validación.

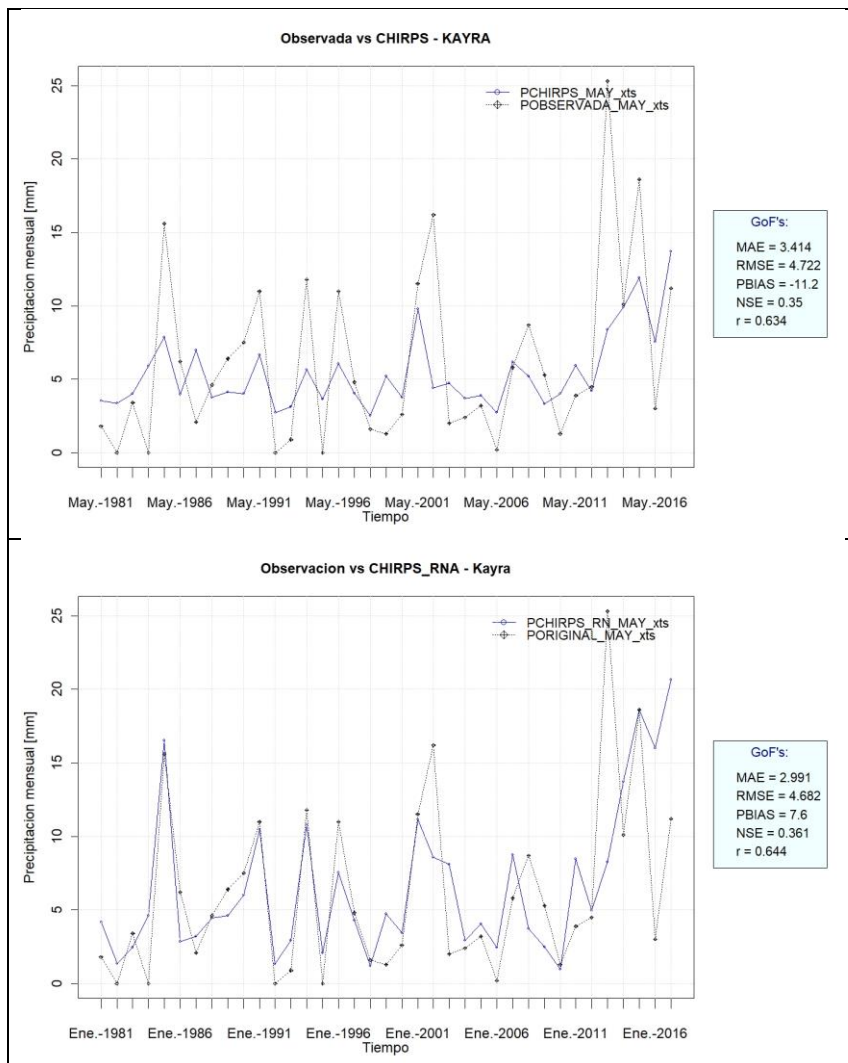
TST: Test – Prueba.

Según el diagrama de Taylor, el modelo RNA-3(MAY\_T\_2), tiene el mejor comportamiento en la correlación, RMSE y desviación estándar; por lo tanto, es el seleccionado.



**Figura 143.** Selección de arquitectura óptima de los modelos RNA-1(MAY\_T), RNA-2(MAY\_T\_1), RNA-3 (MAY\_T\_2) – mes de mayo – Kayra.

La diferencia en la serie de tiempo antes y después de la corrección se muestra a continuación.



**Figura 144.** Serie de tiempo antes y después de la corrección mediante RNA, mayo – Kayra.



### **Mes de junio – Estación Kayra**

No fue posible la corrección con ningún modelo, dado que las variables de entrada del mes de junio, mayo y abril según consideraciones de la Tabla 101, no converge en un resultado respecto a la salida objetivo.

Mes de julio – Estación Kayra

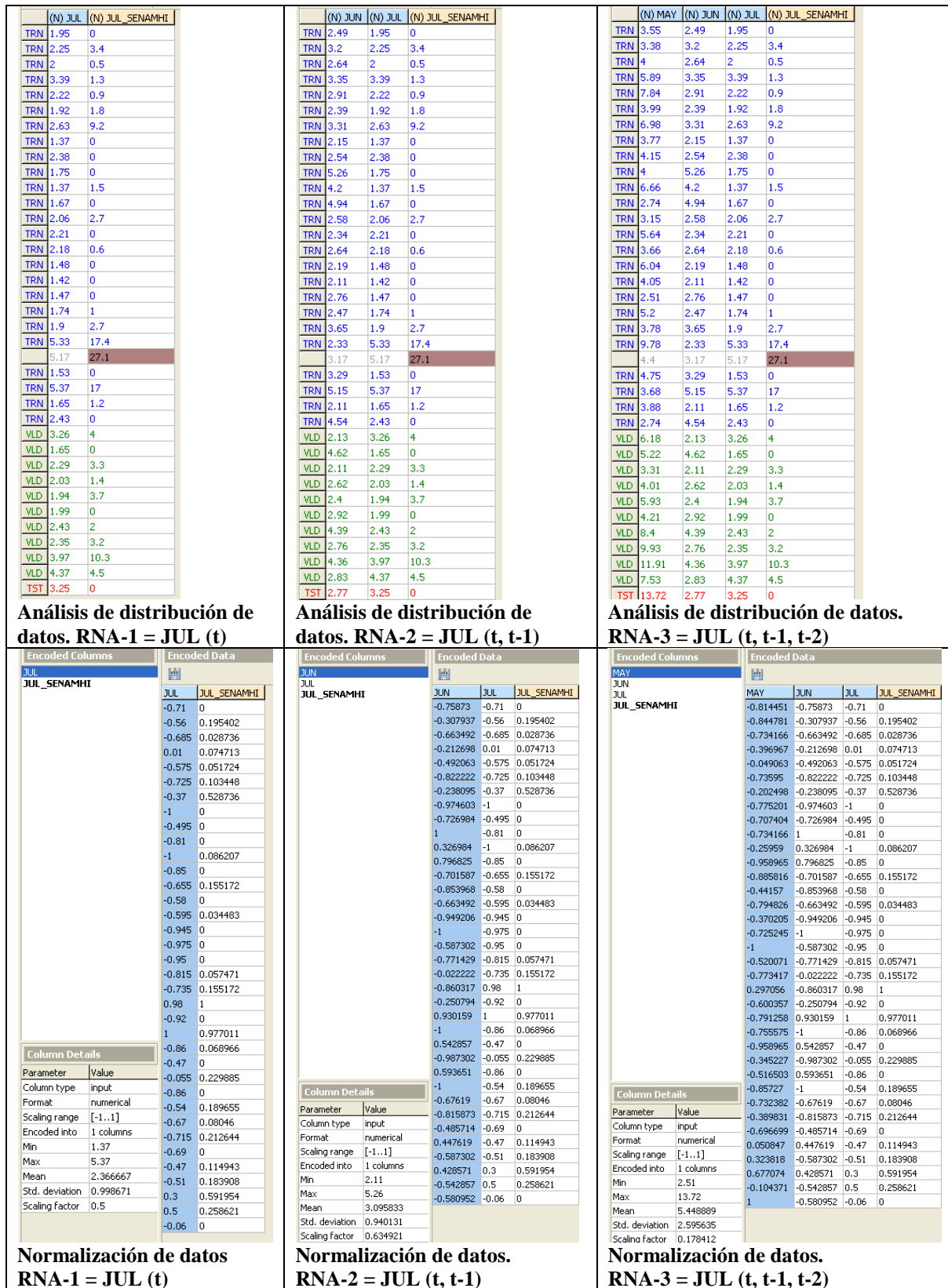


Figura 145. Análisis y Preprocesamiento (normalización) de los datos para los modelos RNA-1, RNA-2 y RNA-3, mes de julio – Kayra.

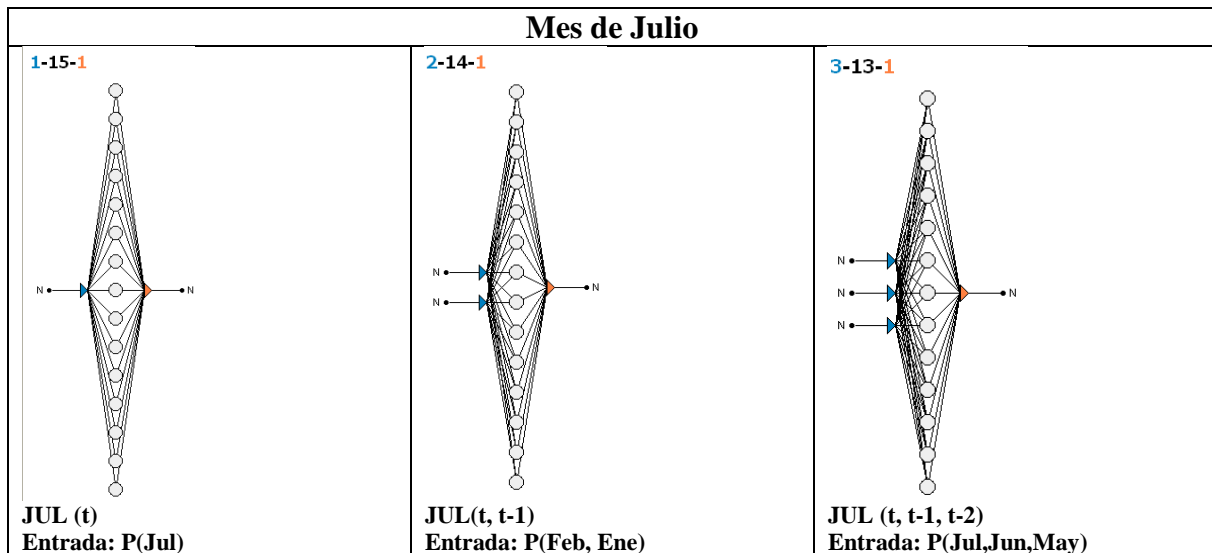


En la **Figura 145**, se muestra la selección de datos: 68% para el entrenamiento, 30 % para la validación y 3% para el test, luego se normaliza los datos dentro de la escala de [-1,1].

Se puede observar la identificación de valores atípicos las cuales están lejos de la mayoría de los datos. Para su cálculo e identificación se utilizó el siguiente criterio.

Para una columna numérica dada se elimina todos los valores que son más bajos que (media - coeficiente \* desviación estándar) o más altos que (media + coeficiente \* desviación estándar). El coeficiente se asume 3.5 que está dentro del rango de [2,4], recomendado según la ayuda del programa Alyuda Neuro Intelligence 2.1.

Posteriormente se procede a la búsqueda de la arquitectura de RNA para su entrenamiento y validación de acuerdo a los modelos planteados. Se tienen las arquitecturas simplificadas según las variables consideradas como entradas a la RNA.



**Figura 146.** Modelos de RNA planteados para la corrección de datos del mes de julio - Kayra.

RNA-1: modelo de red neuronal de una variable de entrada que conforma una neurona de entrada con datos de precipitación mensual del mes de julio, 15 neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida.

RNA-2: modelo de red neuronal de 2 variables de entrada que conforma 2 neuronas de entrada con datos de precipitación mensual del mes de julio y junio, 14 neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida.

RNA-3: modelo de red neuronal de 3 variables de entrada que conforman 3 neuronas de entrada con datos de precipitación mensual del mes de julio, junio y mayo, 13 neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida.

Cada uno de los modelos de RNA en referencia al objetivo de los datos observados por SENAMHI tiene salida de la precipitación corregida.

El cuadro de las precipitaciones corregidas según cada RNA se presenta en la **Tabla 109**.

**Tabla 109.** Salida de las diferentes arquitecturas – mes de julio – Kayra.

PROCEDIMIENTO	ROW	AÑO	MAY	JUN	JUL	OBJETIVO	RNA_T	RNA_T_1	RNA_T_2
TRN	0	1981	3.55	2.49	1.95	0.00	0.93	1.28	1.43
TRN	1	1982	3.38	3.20	2.25	3.40	1.80	1.87	1.93
TRN	2	1983	4.00	2.64	2.00	0.50	1.04	1.37	1.55
TRN	3	1984	5.89	3.35	3.39	1.30	3.34	5.42	5.18
TRN	4	1985	7.84	2.91	2.22	0.90	1.69	1.75	2.43
TRN	5	1986	3.99	2.39	1.92	1.80	0.88	1.23	1.42
TRN	6	1987	6.98	3.31	2.63	9.20	3.16	2.73	3.28
TRN	7	1988	3.77	2.15	1.37	0.00	0.40	0.74	0.97
TRN	8	1989	4.15	2.54	2.38	0.00	2.30	1.94	2.01
TRN	9	1990	4.00	5.26	1.75	0.00	0.63	1.55	1.95
TRN	10	1991	6.66	4.20	1.37	1.50	0.40	0.95	1.52
TRN	11	1992	2.74	4.94	1.67	0.00	0.56	1.38	1.61
TRN	12	1993	3.15	2.58	2.06	2.70	1.19	1.44	1.52
TRN	13	1994	5.64	2.34	2.21	0.00	1.66	1.61	1.91
TRN	14	1995	3.66	2.64	2.18	0.60	1.56	1.62	1.72
TRN	15	1996	6.04	2.19	1.48	0.00	0.44	0.81	1.18
TRN	16	1997	4.05	2.11	1.42	0.00	0.42	0.77	1.01
TRN	17	1998	2.51	2.76	1.47	0.00	0.44	0.86	1.03
TRN	18	1999	5.20	2.47	1.74	1.00	0.62	1.06	1.38
TRN	19	2000	3.78	3.65	1.90	2.70	0.84	1.43	1.66
TRN	20	2001	9.78	2.33	5.33	17.40	16.89	13.15	12.57
TRN	21	2002							
TRN	22	2003	4.75	3.29	1.53	0.00	0.46	0.97	1.31
TRN	23	2004	3.68	5.15	5.37	17.00	16.95	14.20	12.79
TRN	24	2005	3.88	2.11	1.65	1.20	0.54	0.93	1.14
TRN	25	2006	2.74	4.54	2.43	0.00	2.49	2.67	2.58
VLD	26	2007	6.18	2.13	3.26	4.00	3.49	4.20	4.05
VLD	27	2008	5.22	4.62	1.65	0.00	0.54	1.29	1.78
VLD	28	2009	3.31	2.11	2.29	3.30	1.95	1.68	1.68
VLD	29	2010	4.01	2.62	2.03	1.40	1.11	1.41	1.58
VLD	30	2011	5.93	2.40	1.94	3.70	0.91	1.26	1.63
VLD	31	2012	4.21	2.92	1.99	0.00	1.02	1.41	1.63
VLD	32	2013	8.40	4.39	2.43	2.00	2.49	2.62	3.70
VLD	33	2014	9.93	2.76	2.35	3.20	2.18	1.94	3.01
VLD	34	2015	11.91	4.36	3.97	10.30	2.97	8.84	10.30
VLD	35	2016	7.53	2.83	4.37	4.50	4.50	9.74	9.05
TST	36	2017	13.72	2.77	3.25	0.00	3.50	4.50	6.88

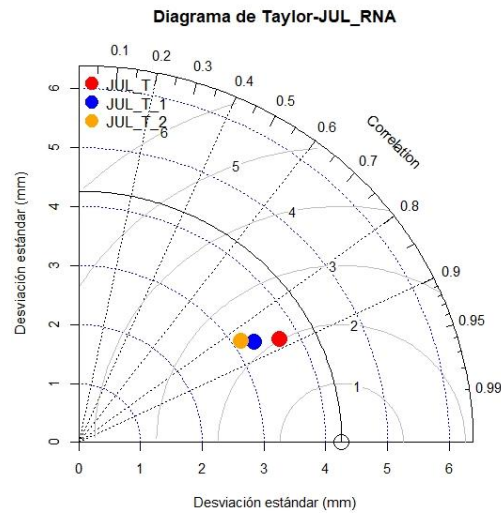
Los valores del objetivo son los valores de la precipitación según SENAMHI.

TRN: Train – Entrenamiento.

VLD: Validation – Validación.

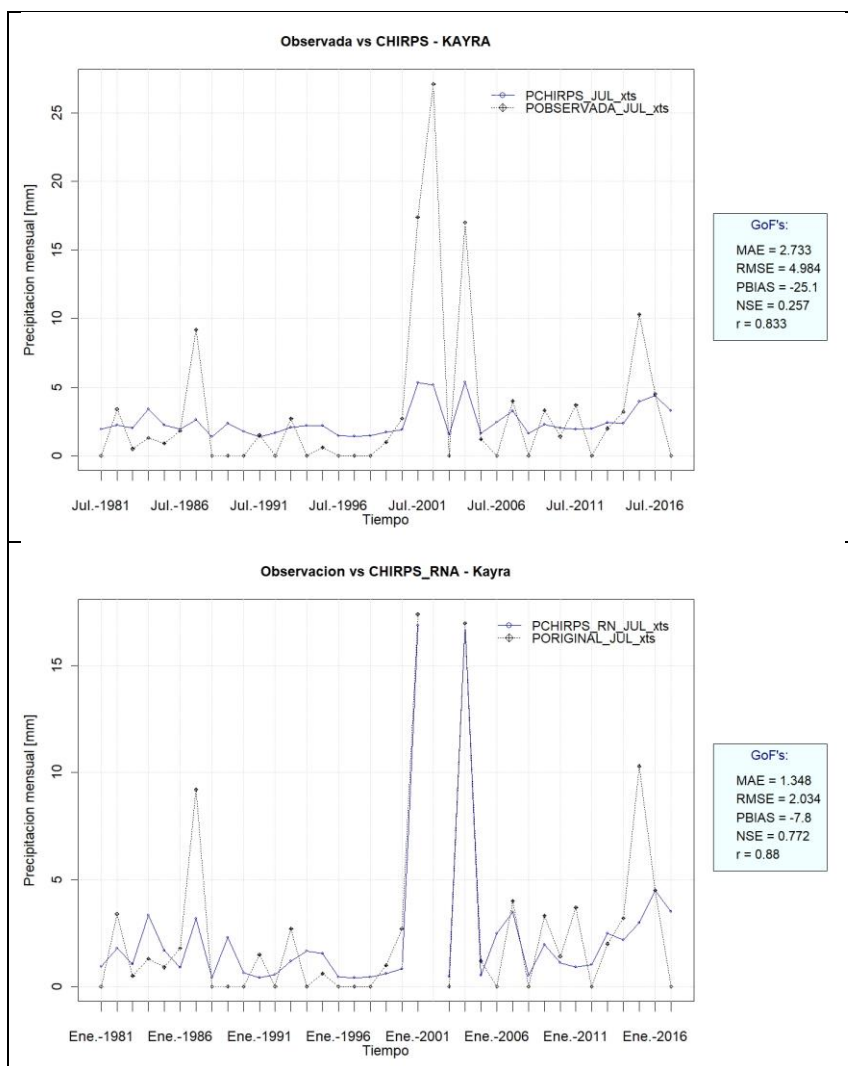
TST: Test – Prueba.

Según el diagrama de Taylor, el modelo RNA-1(JUL\_T), tiene el mejor comportamiento en la correlación, RMSE y desviación estándar; por lo tanto, es el seleccionado.



**Figura 147.** Selección de arquitectura óptima de los modelos RNA-1(JUL\_T), RNA-2(JUL\_T\_1), RNA-3 (JUL\_T\_2), mes de julio – Kayra.

La diferencia en la serie de tiempo antes y después de la corrección se muestra a continuación.



**Figura 148.** Serie de tiempo antes y después de la corrección mediante RNA, julio – Kayra.

Mes de agosto – Estación Kayra

(N) AGO	(N) AGO_SENAMHI	(N) JUL	(N) AGO	(N) AGO_SENAMHI	(N) JUN	(N) JUL	(N) AGO	(N) AGO_SENAMHI
TRN 4.9	9.8	TRN 1.95	4.9	9.8	TRN 2.49	1.95	4.9	9.8
TRN 4.61	4.9	TRN 2.25	4.61	4.9	TRN 3.2	2.25	4.61	4.9
TRN 4.03	0.9	TRN 2	4.03	0.9	TRN 2.64	2	4.03	0.9
TRN 5.73	11.4	TRN 3.39	5.73	11.4	TRN 3.35	3.39	5.73	11.4
TRN 5.85	0	TRN 2.22	5.85	0	TRN 2.91	2.22	5.85	0
TRN 5.58	4.2	TRN 1.92	5.58	4.2	TRN 2.39	1.92	5.58	4.2
TRN 2.8	0	TRN 2.63	2.8	0	TRN 3.31	2.63	2.8	0
TRN 2.71	0	TRN 1.37	2.71	0	TRN 2.15	1.37	2.71	0
TRN 4.7	6.1	TRN 2.38	4.7	6.1	TRN 2.54	2.38	4.7	6.1
TRN 3.71	5.8	TRN 1.75	3.71	5.8	TRN 5.26	1.75	3.71	5.8
TRN 3.01	0	TRN 1.37	3.01	0	TRN 4.2	1.37	3.01	0
TRN 8.17	21.4	TRN 1.67	8.17	21.4	TRN 4.94	1.67	8.17	21.4
TRN 5.96	6.9	TRN 2.06	5.96	6.9	TRN 2.58	2.06	5.96	6.9
TRN 2.94	0	TRN 2.21	2.94	0	TRN 2.34	2.21	2.94	0
TRN 3.52	1.2	TRN 2.18	3.52	1.2	TRN 2.64	2.18	3.52	1.2
TRN 6.19	6.3	TRN 1.48	6.19	6.3	TRN 2.19	1.48	6.19	6.3
TRN 5.36	7.1	TRN 1.42	5.36	7.1	TRN 2.11	1.42	5.36	7.1
TRN 3.17	1.6	TRN 1.47	3.17	1.6	TRN 2.76	1.47	3.17	1.6
TRN 3.93	0	TRN 1.74	3.93	0	TRN 2.47	1.74	3.93	0
TRN 4.46	4.5	TRN 1.9	4.46	4.5	TRN 3.65	1.9	4.46	4.5
TRN 9.12	10.2	TRN 5.33	9.12	10.2	TRN 2.33	5.33	9.12	10.2
TRN 4.67	3.7	TRN 5.17	4.67	3.7	TRN 3.17	5.17	4.67	3.7
TRN 8.45	21.3	TRN 1.53	8.45	21.3	TRN 3.29	1.53	8.45	21.3
TRN 7.57	9	TRN 5.37	7.57	9	TRN 5.15	5.37	7.57	9
TRN 4.23	4	TRN 1.65	4.23	4	TRN 2.11	1.65	4.23	4
VLD 5.81	10.5	VLD 2.43	5.81	10.5	VLD 4.54	2.43	5.81	10.5
VLD 3.43	0	VLD 3.26	3.43	0	VLD 2.13	3.26	3.43	0
VLD 4.8	3.9	VLD 1.65	4.8	3.9	VLD 4.62	1.65	4.8	3.9
VLD 3.52	0.7	VLD 2.29	3.52	0.7	VLD 2.11	2.29	3.52	0.7
VLD 4.28	4.7	VLD 2.03	4.28	4.7	VLD 2.62	2.03	4.28	4.7
VLD 4.3	0	VLD 1.94	4.3	0	VLD 2.4	1.94	4.3	0
VLD 3.12	0.1	VLD 1.99	3.12	0.1	VLD 2.92	1.99	3.12	0.1
VLD 7.46	12.4	VLD 2.43	7.46	12.4	VLD 4.39	2.43	7.46	12.4
VLD 5.85	5.8	VLD 2.35	5.85	5.8	VLD 2.76	2.35	5.85	5.8
VLD 6.25	4.6	VLD 3.97	6.25	4.6	VLD 4.36	3.97	6.25	4.6
20.3	0.5	4.37	20.3	0.5	2.83	4.37	20.3	0.5
TST 6.44	8.4	TST 3.25	6.44	8.4	TST 2.77	3.25	6.44	8.4

Análisis de distribución de datos. RNA-1 = AGO (t)

Análisis de distribución de datos. RNA-2 = AGO (t, t-1)

Análisis de distribución de datos. RNA-3 = AGO (t, t-1, t-2)

Encoded Columns	Encoded Data
AGO	AGO
AGO_SENAMHI	AGO_SENAMHI
	-0.316693 0.457944
	-0.407176 0.228972
	-0.588144 0.042056
	-0.057722 0.53271
	-0.020281 0
	-0.104524 0.196262
	-0.971919 0
	-1 0
	-0.379095 0.285047
	-0.687988 0.271028
	-0.906396 0
	0.703588 1
	0.014041 0.32243
	-0.928237 0
	-0.74727 0.056075
	0.085803 0.294393
	-0.173167 0.331776
	-0.856474 0.074766
	-0.619345 0
	-0.453978 0.21028
	1 0.476636
	-0.388456 0.172897
	0.790952 0.995327
	0.516381 0.420561
	-0.525741 0.186916
	-0.032761 0.490654
	-0.775351 0
	-0.347894 0.182243
	-0.74727 0.03271
	-0.51014 0.219626
	-0.5039 0
	-0.872075 0.004673
	0.482059 0.579439
	-0.020281 0.271028
	2.71
	9.12
	5.0175
	0.163807 0.392523
	1.655845
	0.312012

Parameter	Value
Column type	input
Format	numerical
Scaling range	[-1..1]
Encoded into	1 columns
Min	2.71
Max	9.12
Mean	5.0175
Std. deviation	1.655845
Scaling factor	0.312012

Normalización de datos RNA-1 = AGO (t)

Encoded Columns	Encoded Data
JUL	JUL
AGO	AGO
AGO_SENAMHI	AGO_SENAMHI
	-0.71 -0.316693 0.457944
	-0.56 -0.407176 0.228972
	-0.685 -0.588144 0.042056
	0.01 -0.057722 0.53271
	-0.575 -0.020281 0
	-0.725 -0.104524 0.196262
	-0.37 -0.971919 0
	-1 -1 0
	-0.495 -0.379095 0.285047
	-0.81 -0.687988 0.271028
	-1 -0.906396 0
	-0.85 0.703588 1
	-0.655 0.014041 0.32243
	-0.58 -0.928237 0
	-0.595 -0.74727 0.056075
	-0.945 0.085803 0.294393
	-0.975 -0.173167 0.331776
	-0.95 -0.856474 0.074766
	-0.815 -0.619345 0
	-0.735 -0.453978 0.21028
	0.98 1 0.476636
	0.9 -0.388456 0.172897
	-0.92 0.790952 0.995327
	1 0.516381 0.420561
	-0.86 -0.525741 0.186916
	-0.47 -0.032761 0.490654
	-0.055 -0.775351 0
	-0.86 -0.347894 0.182243
	-0.54 -0.74727 0.03271
	-0.67 -0.51014 0.219626
	-0.715 -0.5039 0
	-0.69 -0.872075 0.004673
	-0.47 0.482059 0.579439
	-0.51 -0.020281 0.271028
	0.3 0.104524 0.214953
	-0.06 0.163807 0.392523

Parameter	Value
Column type	input
Format	numerical
Scaling range	[-1..1]
Encoded into	1 columns
Min	1.37
Max	5.37
Mean	2.388889
Std. deviation	1.050555
Scaling factor	0.5

Normalización de datos. RNA-2 = AGO (t, t-1)

Encoded Columns	Encoded Data
JUN	JUN
JUL	JUL
AGO	AGO
AGO_SENAMHI	AGO_SENAMHI
	-0.75873 -0.71 -0.316693 0.457944
	-0.307937 -0.56 -0.407176 0.228972
	-0.663492 -0.685 -0.588144 0.042056
	-0.212698 0.01 -0.057722 0.53271
	-0.492063 -0.575 -0.020281 0
	-0.822222 -0.725 -0.104524 0.196262
	-0.238095 -0.37 -0.971919 0
	-0.974603 -1 -1 0
	-0.726984 -0.495 -0.379095 0.285047
	1 -0.81 -0.687988 0.271028
	0.326984 -1 -0.906396 0
	0.796825 -0.85 0.703588 1
	-0.701587 -0.655 0.014041 0.32243
	-0.853968 -0.58 -0.928237 0
	-0.663492 -0.595 -0.74727 0.056075
	-0.949206 -0.945 0.085803 0.294393
	-1 -0.975 -0.173167 0.331776
	-0.587302 -0.95 -0.856474 0.074766
	-0.771429 -0.815 -0.619345 0
	-0.022222 -0.735 -0.453978 0.21028
	-0.860317 0.98 1 0.476636
	-0.326984 0.9 -0.388456 0.172897
	-0.250794 -0.92 0.790952 0.995327
	0.930159 1 0.516381 0.420561
	-1 -0.86 -0.525741 0.186916
	0.542857 -0.47 -0.032761 0.490654
	-0.987302 -0.055 -0.775351 0
	0.593651 -0.86 -0.347894 0.182243
	-1 -0.54 -0.74727 0.03271
	-0.67619 -0.67 -0.51014 0.219626
	-0.815873 -0.715 -0.5039 0
	-0.485714 -0.69 -0.872075 0.004673
	0.447619 -0.47 0.482059 0.579439
	-0.587302 -0.51 -0.020281 0.271028
	2.11
	9.12
	5.0175
	0.163807 0.392523
	1.655845
	0.312012

Parameter	Value
Column type	input
Format	numerical
Scaling range	[-1..1]
Encoded into	1 columns
Min	2.11
Max	9.12
Mean	3.105278
Std. deviation	0.93912
Scaling factor	0.634921

Normalización de datos. RNA-3 = AGO (t, t-1, t-2)

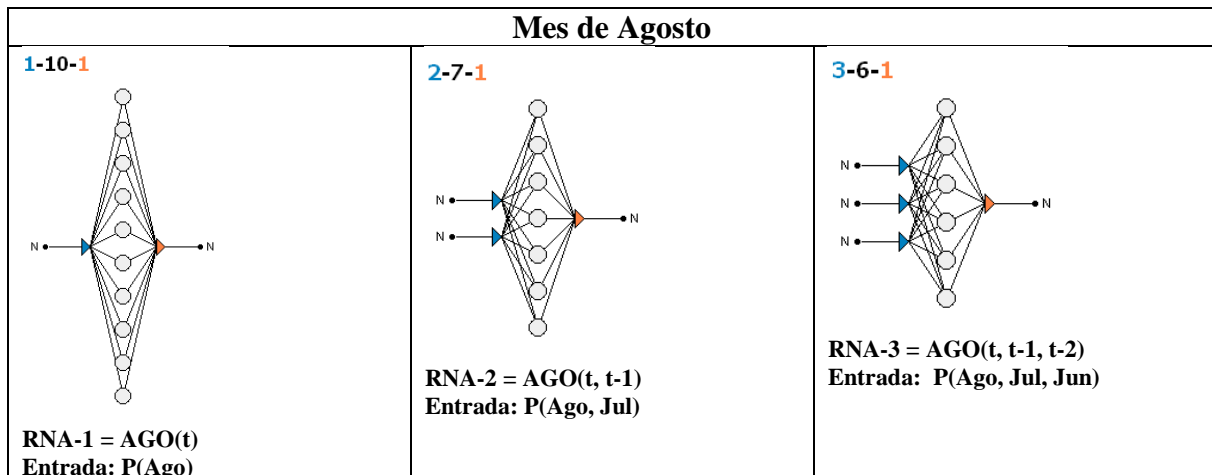
Figura 149. Análisis y Preprocesamiento (normalización) de los datos para los modelos RNA-1, RNA-2 y RNA-3, mes de agosto – Kayra.

En la **Figura 149**, se muestra la selección de datos: 68% para el entrenamiento, 30 % para la validación y 3% para el test, luego se normaliza los datos dentro de la escala de  $[-1,1]$ .

Se puede observar la identificación de valores atípicos las cuales están lejos de la mayoría de los datos. Para su cálculo e identificación se utilizó el siguiente criterio.

Para una columna numérica dada se elimina todos los valores que son más bajos que  $(\text{media} - \text{coeficiente} * \text{desviación estándar})$  o más altos que  $(\text{media} + \text{coeficiente} * \text{desviación estándar})$ . El coeficiente se asume 3.5 que está dentro del rango de  $[2,4]$ , recomendado según la ayuda del programa Alyuda Neuro Intelligence 2.1.

Posteriormente se procede a la búsqueda de la arquitectura de RNA para su entrenamiento y validación de acuerdo a los modelos planteados. Se tienen las arquitecturas simplificadas según las variables consideradas como entradas a la RNA.



**Figura 150.** Modelos de RNA planteados para la corrección de datos del mes de agosto - Kayra.

RNA-1: modelo de red neuronal de una variable de entrada que conforma una neurona de entrada con datos de precipitación mensual del mes de agosto, 10 neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida.

RNA-2: modelo de red neuronal de 2 variables de entrada que conforma 2 neuronas de entrada con datos de precipitación mensual del mes de agosto y julio, 7 neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida.

RNA-3: modelo de red neuronal de 3 variables de entrada que conforman 3 neuronas de entrada con datos de precipitación mensual del mes de agosto, julio y junio, 6 neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida.

Cada uno de los modelos de RNA en referencia al objetivo de los datos observados por SENAMHI tiene salida de la precipitación corregida.

El cuadro de las precipitaciones corregidas según cada RNA se presenta en la **Tabla 110**.

**Tabla 110.** Salida de las diferentes arquitecturas – mes de agosto – Kayra.

PROCEDIMIENTO	ROW	AÑO	JUN	JUL	AGO	OBJETIVO	RNA_T	RNA_T_1	RNA_T_2
TRN	0	1981	2.49	1.95	4.90	9.80	5.82	4.52	3.90
TRN	1	1982	3.20	2.25	4.61	4.90	5.08	3.50	3.77
TRN	2	1983	2.64	2.00	4.03	0.90	3.06	2.61	2.41
TRN	3	1984	3.35	3.39	5.73	11.40	6.31	5.19	5.06
TRN	4	1985	2.91	2.22	5.85	0.00	6.22	7.27	7.04
TRN	5	1986	2.39	1.92	5.58	4.20	6.38	6.74	5.69
TRN	6	1987	3.31	2.63	2.80	0.00	0.47	1.09	1.29
TRN	7	1988	2.15	1.37	2.71	0.00	0.40	1.44	1.28
TRN	8	1989	2.54	2.38	4.70	6.10	5.34	3.57	3.00
TRN	9	1990	5.26	1.75	3.71	5.80	2.02	2.30	5.47
TRN	10	1991	4.20	1.37	3.01	0.00	0.66	1.70	2.89
TRN	11	1992	4.94	1.67	8.17	21.40	16.34	16.31	18.27
TRN	12	1993	2.58	2.06	5.96	6.90	6.13	7.95	7.11
TRN	13	1994	2.34	2.21	2.94	0.00	0.59	1.31	1.18
TRN	14	1995	2.64	2.18	3.52	1.20	1.52	1.83	1.72
TRN	15	1996	2.19	1.48	6.19	6.30	5.92	9.86	8.53
TRN	16	1997	2.11	1.42	5.36	7.10	6.38	6.70	5.47
TRN	17	1998	2.76	1.47	3.17	1.60	0.86	1.81	1.88
TRN	18	1999	2.47	1.74	3.93	0.00	2.72	2.64	2.36
TRN	19	2000	3.65	1.90	4.46	4.50	4.59	3.50	4.61
TRN	20	2001	2.33	5.33	9.12	10.20	14.80	13.86	10.78
TRN	21	2002	3.17	5.17	4.67	3.70	5.25	1.79	1.45
TRN	22	2003	3.29	1.53	8.45	21.30	16.57	17.04	17.43
TRN	23	2004	5.15	5.37	7.57	9.00	12.14	8.64	11.05
TRN	24	2005	2.11	1.65	4.23	4.00	3.78	3.25	2.56
VLD	25	2006	4.54	2.43	5.81	10.50	6.26	6.80	10.16
VLD	26	2007	2.13	3.26	3.43	0.00	1.32	1.32	1.04
VLD	27	2008	4.62	1.65	4.80	3.90	5.60	4.60	8.25
VLD	28	2009	2.11	2.29	3.52	0.70	1.52	1.78	1.41
VLD	29	2010	2.62	2.03	4.28	4.70	3.96	3.02	2.74
VLD	30	2011	2.40	1.94	4.30	0.00	4.03	3.13	2.65
VLD	31	2012	2.92	1.99	3.12	0.10	0.79	1.53	1.62
VLD	32	2013	4.39	2.43	7.46	12.40	10.89	13.22	15.60
VLD	33	2014	2.76	2.35	5.85	5.80	6.22	7.07	6.43
VLD	34	2015	4.36	3.97	6.25	4.60	5.87	6.10	7.60
VLD	35	2016							
TST	36	2017	2.77	3.25	6.44	8.40	5.78	7.87	6.53

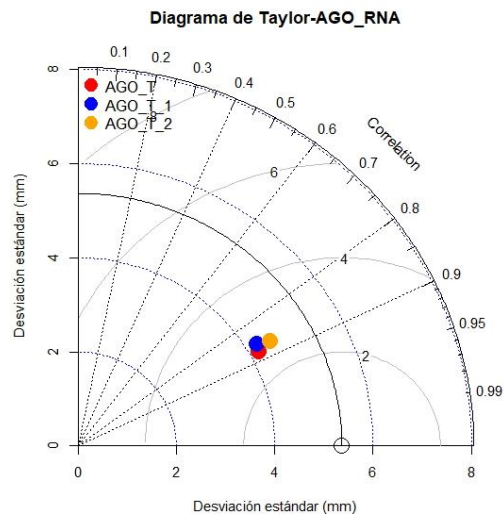
Los valores del objetivo son los valores de la precipitación según SENAMHI.

TRN: Train – Entrenamiento.

VLD: Validation – Validación.

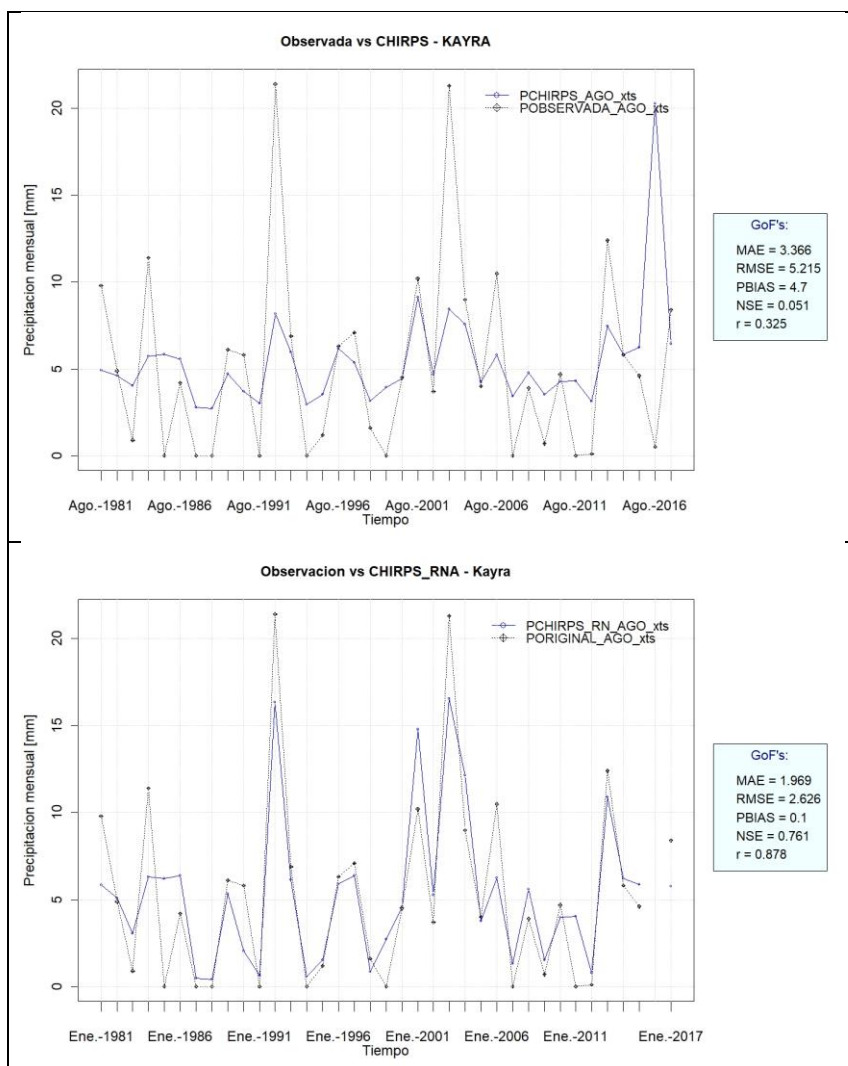
TST: Test – Prueba.

Según el diagrama de Taylor, el modelo RNA-1(AGO\_T), tiene el mejor comportamiento en la correlación, RMSE, aunque no en la desviación estándar; por lo tanto, es el seleccionado.



**Figura 151.** Selección de arquitectura óptima de los modelos RNA-1(AGO\_T), RNA-2(AGO\_T\_1), RNA-3 (AGO\_T\_2) – mes de agosto – Kayra.

La diferencia en la serie de tiempo antes y después de la corrección se muestra a continuación.



**Figura 152.** Serie de tiempo antes y después de la corrección mediante RNA, agosto – Kayra.



### **Mes de setiembre – Estación Kayra**

No fue posible la corrección con ningún modelo, dado que las variables de entrada del mes de setiembre, agosto y julio según consideraciones de la Tabla 101, no converge en un resultado respecto a la salida objetivo.



Mes de octubre – Estación Kayra

(N) OCT	(N) OCT_SENAMHI	(N) SET	(N) OCT	(N) OCT_SENAMHI	(N) AGO	(N) SET	(N) OCT	(N) OCT_SENAMHI
TRN 73.73	108.9	TRN 22.67	73.73	108.9	TRN 4.9	22.67	73.73	108.9
TRN 37.02	37.9	TRN 13.4	37.02	37.9	TRN 4.61	13.4	37.02	37.9
TRN 16.9	26	TRN 10.56	16.9	26	TRN 4.03	10.56	16.9	26
TRN 48.26	114.6	TRN 9.55	48.26	114.6	TRN 5.73	9.55	48.26	114.6
TRN 54.59	62.1	TRN 21.44	54.59	62.1	TRN 5.85	21.44	54.59	62.1
TRN 21.97	17.3	TRN 10.38	21.97	17.3	TRN 5.58	10.38	21.97	17.3
TRN 21.09	26.5	TRN 7.67	21.09	26.5	TRN 2.8	7.67	21.09	26.5
TRN 18.26	36.2	TRN 10.4	18.26	36.2	TRN 2.71	10.4	18.26	36.2
TRN 33.79	48.7	TRN 7.72	33.79	48.7	TRN 4.7	7.72	33.79	48.7
TRN 55.33	73.7	TRN 12.7	55.33	73.7	TRN 3.71	12.7	55.33	73.7
TRN 32.93	49.3	TRN 9.23	32.93	49.3	TRN 3.01	9.23	32.93	49.3
TRN 38.23	50.7	TRN 6.88	38.23	50.7	TRN 8.17	6.88	38.23	50.7
TRN 46.93	46.2	TRN 10.55	46.93	46.2	TRN 5.96	10.55	46.93	46.2
TRN 50.95	40.2	TRN 14.63	50.95	40.2	TRN 2.94	14.63	50.95	40.2
TRN 29.22	26.7	TRN 17.51	29.22	26.7	TRN 3.52	17.51	29.22	26.7
TRN 44.1	58.4	TRN 8.03	44.1	58.4	TRN 6.19	8.03	44.1	58.4
TRN 31.03	44.4	TRN 8.27	31.03	44.4	TRN 5.36	8.27	31.03	44.4
TRN 31.82	49.8	TRN 8.78	31.82	49.8	TRN 3.17	8.78	31.82	49.8
TRN 33.77	18.8	TRN 25.3	33.77	18.8	TRN 3.93	25.3	33.77	18.8
TRN 53.45	49.3	TRN 12.43	53.45	49.3	TRN 4.46	12.43	53.45	49.3
TRN 76.81	38.3	TRN 13.22	76.81	38.3	TRN 9.12	13.22	76.81	38.3
TRN 61.71	78.7	TRN 16.73	61.71	78.7	TRN 4.67	16.73	61.71	78.7
TRN 35.49	34.6	TRN 10.47	35.49	34.6	TRN 8.45	10.47	35.49	34.6
TRN 38.84	25.6	TRN 16.54	38.84	25.6	TRN 7.57	16.54	38.84	25.6
TRN 31.58	39.1	TRN 8.78	31.58	39.1	TRN 4.23	8.78	31.58	39.1
VLD 62.35	72.5	VLD 9.81	62.35	72.5	VLD 5.81	9.81	62.35	72.5
VLD 50.12	49.274761	VLD 8.44	50.12	49.274761	VLD 3.43	8.44	50.12	49.274761
VLD 57.52	51.7	VLD 15.38	57.52	51.7	VLD 4.8	15.38	57.52	51.7
VLD 29.9	8.3	VLD 12.38	29.9	8.3	VLD 3.52	12.38	29.9	8.3
VLD 67.97	70	VLD 12.99	67.97	70	VLD 4.28	12.99	67.97	70
VLD 45.02	38.2	VLD 24.36	45.02	38.2	VLD 4.3	24.36	45.02	38.2
VLD 25.84	19.5	VLD 28.31	25.84	19.5	VLD 3.12	28.31	25.84	19.5
VLD 98.3	105	VLD 16.83	98.3	105	VLD 7.46	16.83	98.3	105
VLD 62.26	52.175182	VLD 22.22	62.26	52.175182	VLD 5.85	22.22	62.26	52.175182
VLD 24.86	19.1	VLD 16.83	24.86	19.1	VLD 6.25	16.83	24.86	19.1
VLD 75.41	79.5	VLD 30.32	75.41	79.5	20.3	30.32	75.41	79.5
TST 69.85	33.7	TST 22.68	69.85	33.7	TST 6.44	22.68	69.85	33.7

Análisis de distribución de datos. RNA-1 = OCT (t)

Análisis de distribución de datos. RNA-2 = OCT (t, t-1)

Análisis de distribución de datos. RNA-3 = OCT (t, t-1, t-2)

Encoded Columns	Encoded Data
OCT	OCT
OCT_SENAMHI	OCT_SENAMHI
	0.396314 0.946378
	-0.505651 0.278457
	-1 0.16651
	-0.229484 1
	-0.073956 0.506115
	-0.87543 0.084666
	-0.897052 0.171214
	-0.966585 0.262465
	-0.585012 0.380056
	-0.055774 0.61524
	-0.606143 0.385701
	-0.475921 0.398871
	-0.262162 0.356538
	-0.163391 0.300094
	-0.697297 0.173095
	-0.331695 0.471308
	-0.652826 0.339605
	-0.633415 0.390405
	-0.585504 0.098777
	-0.101966 0.385701
	0.47199 0.28222
	0.100983 0.662277
	-0.543243 0.247413
	-0.460934 0.162747
	-0.639312 0.289746
	0.116708 0.603951
	-0.183784 0.385463
	-0.001966 0.408278
	-0.68059 0
	0.254791 0.580433
	-0.309091 0.281279
	-0.780344 0.105362
	1 0.90969
	0.114496 0.412749
	16.9 -0.804423 0.101599
	98.3 0.437592 0.669802
	45.6 0.300983 0.238946
	18.857442
	0.02457

Normalización de datos. RNA-1 = OCT (t)

Encoded Columns	Encoded Data
SET	SET
OCT	OCT
OCT_SENAMHI	OCT_SENAMHI
	0.34727 0.396314 0.946378
	-0.443686 -0.505651 0.278457
	-0.686007 -1 0.16651
	-0.772184 -0.229484 1
	0.242321 -0.073956 0.506115
	-0.701365 -0.87543 0.084666
	-0.932594 -0.897052 0.171214
	-0.699659 -0.966585 0.262465
	-0.928328 -0.585012 0.380056
	-0.503413 -0.055774 0.61524
	-0.799488 -0.606143 0.385701
	-1 -0.475921 0.398871
	-0.68686 -0.262162 0.356538
	-0.338737 -0.163391 0.300094
	-0.093003 -0.697297 0.173095
	-0.901877 -0.331695 0.471308
	-0.881399 -0.652826 0.339605
	-0.837884 -0.633415 0.390405
	0.571672 -0.585504 0.098777
	-0.526451 -0.101966 0.385701
	-0.459044 0.47199 0.28222
	-0.159556 0.100983 0.662277
	-0.693686 -0.543243 0.247413
	-0.175768 -0.460934 0.162747
	-0.837884 -0.639312 0.289746
	-0.75 0.116708 0.603951
	-0.866894 -0.183784 0.385463
	-0.274744 -0.001966 0.408278
	-0.530717 -0.68059 0
	-0.478669 0.254791 0.580433
	-0.491468 -0.309091 0.281279
	0.828498 -0.780344 0.105362
	-0.151024 1 0.90969
	0.308874 0.114496 0.412749
	-0.151024 -0.804423 0.101599
	1 0.437592 0.669802
	0.348123 0.300983 0.238946

Normalización de datos. RNA-2 = OCT (t, t-1)

Encoded Columns	Encoded Data
AGO	AGO
SET	SET
OCT	OCT
OCT_SENAMHI	OCT_SENAMHI
	-0.316693 0.473635 0.396314 0.946378
	-0.407176 -0.391507 -0.505651 0.278457
	-0.588144 -0.656556 -1 0.16651
	-0.057722 -0.750817 -0.229484 1
	-0.020281 0.358843 -0.073956 0.506115
	-0.104524 -0.673355 -0.87543 0.084666
	-0.971919 -0.926272 -0.897052 0.171214
	-1 -0.671489 -0.966585 0.262465
	-0.379095 -0.921605 -0.585012 0.380056
	-0.687988 -0.456636 -0.055774 0.61524
	-0.906396 -0.780681 -0.606143 0.385701
	0.703588 -1 -0.475921 0.398871
	0.101401 -0.65749 -0.262162 0.356538
	-0.928237 -0.276715 -0.163391 0.300094
	-0.74727 -0.007933 -0.697297 0.173095
	0.085803 -0.892874 -0.331695 0.471308
	-0.173167 -0.870275 -0.652826 0.339605
	-0.856474 -0.822678 -0.633415 0.390405
	-0.619345 0.719085 -0.585504 0.098777
	-0.453978 -0.482035 -0.101966 0.385701
	1 -0.408306 0.47199 0.28222
	-0.388456 -0.080728 0.100983 0.662277
	0.790952 -0.664956 -0.543243 0.247413
	0.516381 -0.09846 -0.460934 0.162747
	-0.525741 -0.822678 -0.639312 0.289746
	-0.032761 -0.726552 0.116708 0.603951
	-0.775351 -0.85441 -0.183784 0.385463
	-0.347894 -0.20672 -0.001966 0.408278
	-0.74727 -0.486701 -0.68059 0
	-0.51014 -0.429771 0.254791 0.580433
	-0.5039 0.631358 -0.309091 0.281279
	-0.872075 1 -0.780344 0.105362
	0.482059 -0.071395 1 0.90969
	-0.020281 0.431638 0.114496 0.412749
	Min 2.71
	Max 9.12
	Mean 5.0175
	Std. deviation 1.655845
	Scaling factor 0.312012

Normalización de datos. RNA-3 = OCT (t, t-1, t-2)

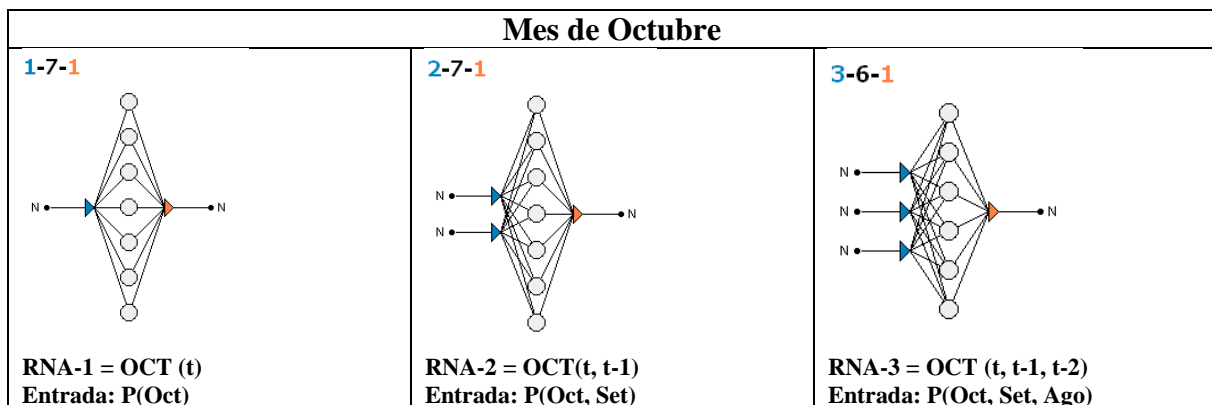
Figura 153. Análisis y Preprocesamiento (normalización) de los datos para los modelos RNA-1, RNA-2 y RNA-3, mes de octubre – Kayra.

En la **Figura 153**, se muestra la selección de datos: 68% para el entrenamiento, 30 % para la validación y 3% para el test, luego se normaliza los datos dentro de la escala de [-1,1].

Se puede observar la identificación de valores atípicos las cuales están lejos de la mayoría de los datos. Para su cálculo e identificación se utilizó el siguiente criterio.

Para una columna numérica dada se elimina todos los valores que son más bajos que (media - coeficiente \* desviación estándar) o más altos que (media + coeficiente \* desviación estándar). El coeficiente se asume 3.5 que está dentro del rango de [2,4], recomendado según la ayuda del programa Alyuda Neuro Intelligence 2.1.

Posteriormente se procede a la búsqueda de la arquitectura de RNA para su entrenamiento y validación de acuerdo a los modelos planteados. Se tienen las arquitecturas simplificadas según las variables consideradas como entradas a la RNA.



**Figura 154.** Modelos de RNA planteados para la corrección de datos del mes de octubre - Kayra.

RNA-1: modelo de red neuronal de una variable de entrada que conforma una neurona de entrada con datos de precipitación mensual del mes de octubre, 7 neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida.

RNA-2: modelo de red neuronal de 2 variables de entrada que conforma 2 neuronas de entrada con datos de precipitación mensual del mes de octubre y setiembre, 7 neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida.

RNA-3: modelo de red neuronal de 3 variables de entrada que conforman 3 neuronas de entrada con datos de precipitación mensual del mes de octubre, setiembre y agosto, 6 neuronas en la capa oculta y una neurona en la capa de salida.

Cada uno de los modelos de RNA en referencia al objetivo de los datos observados por SENAMHI tiene salida de la precipitación corregida.