

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL  
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y  
CIVIL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS:**

**"Estimación de Hietograma de diseño mediante  
inteligencia artificial en la cuenca Llochaccniyocc,  
Ayacucho, 2025"**

Para optar el título profesional de:  
**INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:  
**Bach. Elvis Armando HUAMAN HUAMANI**

ASESOR:  
**MSc. Ing. Jaime Leonardo BENDEZÚ PRADO**

**AYACUCHO - PERÚ  
2025**

# Resumen

La falta de estaciones pluviométricas para la obtención de precipitaciones en las cuencas de nuestro territorio Peruano, no facilitan realizar cálculos para el estudio hidrológico, por lo que es importante la obtención de las precipitaciones diarias de registros históricos para la obtención de los hietogramas; donde el objetivo principal de esta investigación es estimar las precipitaciones sintéticas y por ende los hietogramas de diseño utilizando los algoritmos de inteligencia artificial aprovechando los datos de los parámetros morfométricos y físicos de las cuencas como entrada en el entrenamiento del modelo, para predecir y estimar mejores resultados, el método utilizado en la presente investigación es el modelo MLP (Multilayer Perceptrón), donde la arquitectura de la red consta de 1 capa de entrada con 37 neuronas, 1 capa oculta y 1 capa de salida con 37 neuronas de salida, y la función de activación RELU con un error MRS de 80%, donde se generaron las precipitaciones sintéticas o estimadas con un buen desempeño de la red logrando cumplir los objetivos de la investigación.

**Palabras clave:** Inteligencia artificial, hietogramas, entrenamiento, Perceptron multicapa, sintética.

# Abstract

The lack of rain gauge stations for obtaining precipitation data in the river basins of Peruvian territory hinders the performance of hydrological studies. Therefore, obtaining daily precipitation from historical records is essential for generating hyetographs. The main objective of this research is to estimate synthetic precipitation and, consequently, design hyetographs using artificial intelligence algorithms. These algorithms take advantage of morphometric and physical basin parameters as input for training the model to predict and estimate more accurate results. The method used in this study is the MLP (Multilayer Perceptron) model, where the neural network architecture consists of one input layer with 37 neurons, one hidden layer, and one output layer with 37 output neurons. The activation function used is ReLU, with a mean relative error (MRE) of 80%. The model successfully generated synthetic or estimated precipitation with good network performance, achieving the research objectives.

**Keywords:** Artificial Intelligence, hietographs, train, Multilayer perceptron, synthetic .

# Introducción

La siguiente investigación consta de los siguientes:

- **Capítulo I: Planteamiento del problema.** Donde se plantea el problema con la incognita: ¿En qué medida los Hietogramas de diseño pueden estimarse, mediante inteligencia artificial en Chuschi, Ayacucho 2025?.
- **Capítulo 2: Marco Teórico.**El marco teórico o estado del arte consta de la base teórica, base conceptual, donde definimos e indagamos las diferentes investigaciones para definir y entender bien las variables para luego operacionalizarlos para lograr el objetivo de la investigación.
- **Capítulo 3: Metodología de Investigación.** Enfoque, Alcance, Diseño de investigación ,Población y Muestra, Hipotesis ,Operacionalización de variables ,Técnicas e Instrumentos, Desarrollo del trabajo de tesis.
- **Capítulo 4: Análisis de resultado de la investigación.** Resultados obtenidos a partir del mejor modelo de inteligencia artificial entrenada, validada para la obtención de los resultados con la arquitectura de red con mayor desempeño en el aprendizaje.
- **Conclusiones y recomendaciones.** Se concluye que se cumplieron con los objetivos propuestos de la presente investigación obteniendo los hietogramas de diseño para el cálculo del caudal de diseño.
- **Referencias bibliográficas.** Para la presente investigación de utilizaron una gama de revistas científicas relacionados a la investigación.
- **Anexos.** Se adjuntan la dataset para el entrenamiento del modelo de red neuronal artificial.

# Dedicatoria

*A nuestro Divino todopoderoso por permitirme  
peregrinar en este mundo para cumplir con mis  
metas y sueños.*

*A mis padres y hermanos por el apoyo  
incondicional para la realización de esta presente  
investigación ya sea económicamente y moralmente  
para lograr el objetivo de culminar la presente  
investigación.*

# Agradecimientos

*A mi Universidad Nacional San Cristobal de Huamanga por cobijarme durante la estadía y permanencia en mi formación profesional como Ingeniero Civil.*

*Al Msc. Ing. Jaime Leonardo, BENDEZÚ PRADO, asesor de la presente tesis, por el apoyo incondicional, por las sugerencias y recomendaciones en la realización de la presente investigación.*

*A mis jurados el Msc. Ing. Edmundo, CANCHARI GUTIERREZ y Msc. Ing. Saul Walter, RETAMOZO FERNÁNDEZ, por la revisión de la presente investigación, aportando con sus sugerencias y recomendaciones en mejorar la investigación.*

*A mis compañeros ingenieros por el apoyo en la realización de las diferentes necesidades para culminar mi trabajo de investigación .*

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga  
Ayacucho, 2025

Elvis Armando Huamán Huamaní

# Índice general

<b>Resumen</b>	<b>i</b>
<b>Introducción</b>	<b>ii</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>iii</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>iii</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>iv</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>ix</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>xx</b>
<b>Glosario</b>	<b>xxii</b>
<b>Acrónimos</b>	<b>xxiv</b>
<b>Símbolos</b>	<b>xxv</b>
<b>1 Planteamiento del problema</b>	<b>1</b>
1.1 Descripción del problema . . . . .	1
1.2 Delimitación del problema . . . . .	1
1.2.1 Espacial . . . . .	1
1.2.2 Delimitación de la cuenca Llochaccniyocc . . . . .	2
1.2.3 Parámetros morfométricos de la cuenca Llochaccniyocc . . . . .	3
1.2.4 Parámetros morfométricos de las subcuenca Llochaccniyocc . . . . .	4
1.2.5 Temporal . . . . .	4
1.2.6 Temática y unidad de análisis . . . . .	4
1.3 Formulación del problema . . . . .	5
1.3.1 Problema general . . . . .	5
1.3.2 Problemas específicos . . . . .	5
1.4 Justificación e importancia . . . . .	5
1.5 Limitaciones o restricciones . . . . .	5
1.6 Objetivos . . . . .	6
1.6.1 Objetivo general . . . . .	6
1.6.2 Objetivos específicos . . . . .	6

<b>2 Marco teórico</b>	<b>7</b>
2.1 Antecedentes	7
2.1.1 Investigaciones internacionales.	7
2.1.2 Investigaciones nacionales	8
2.2 Bases teóricas	8
2.2.1 Cuenca hidrográfica	8
2.2.1.1 Clasificación de Cuencas	9
2.2.1.2 Elementos de las Cuencas	10
2.2.1.3 Características físicas de la Cuenca	11
2.2.1.4 Parámetros de relieve	12
2.2.1.5 Parámetros de la red hidrográfica de la cuenca	13
2.2.1.6 Tiempo de Concentración	15
2.2.1.7 Hietograma de diseño	16
2.2.1.8 Precipitación	16
2.2.1.9 Temperatura del aire atmosférico	16
2.2.2 Modelo de redes neuronales artificiales(RNA)	17
2.2.2.1 La neurona biológica	17
2.2.2.2 La neurona artificial	17
2.2.2.3 Elementos básicos de una red neuronal	19
2.2.2.4 Funciones de activaciones	19
2.2.2.5 Selección de las redes neuronales artificiales	21
2.2.2.6 Conexiones entre neuronas	21
2.2.2.7 Mecanismos de aprendizaje	22
2.2.2.8 Datos disponibles en la RNA	23
2.2.3 Marco conceptual	23
2.2.3.1 Modelo de series de tiempo de autorregresión(AR(P))	23
2.2.3.2 Modelos de Media móvil(MA(q))	24
2.2.3.3 Modelos de Autoregresión y Media móvil(ARMA(p,q))	24
2.2.3.4 Modelos de Autoregresión integrado y Media móvil(ARIMA(p,d,q))	25
<b>3 Método de la investigación</b>	<b>27</b>
3.1 Enfoque.	27
3.2 Alcance	27
3.3 Diseño de investigación	27
3.4 Población y muestra	27
3.4.1 Población	27
3.4.2 Muestra	27

3.5	Hipótesis . . . . .	27
3.5.1	Hipótesis general . . . . .	28
3.5.2	Hipótesis específicas . . . . .	28
3.6	Operacionalización de variables, definición conceptual . . . . .	28
3.6.1	Variables e indicadores . . . . .	28
3.7	Técnicas e instrumentos . . . . .	28
3.7.1	Técnicas . . . . .	28
3.7.2	Instrumentos . . . . .	29
3.8	Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información . . . . .	29
3.9	Desarrollo del trabajo de tesis . . . . .	29
3.9.1	Obtención de la set data . . . . .	29
3.9.2	Creación del modelo de Red Neuronal Artificial . . . . .	40
3.9.2.1	Instalación e Importación de librerías en Python . . . . .	40
3.9.2.2	Importación de la Data set a Python . . . . .	40
3.9.2.3	Arquitectura del Modelo de Red Neuronal Artificial . . . . .	47
3.9.2.4	Iteración de épocas del Modelo de Red Neuronal Artificial . . . . .	50
3.9.2.5	Verificación del error cuadrático medio . . . . .	52
3.9.2.6	Validación de Modelo seleccionado . . . . .	53
3.9.2.7	Prueba del modelo de Red Neuronal Artificial . . . . .	56
3.9.3	Obtención de los hietogramas de diseño a partir de las precipitaciones . . . . .	57
3.9.4	Modelos probabilísticos . . . . .	62
3.9.5	Pruebas de ajustes de bondad . . . . .	66
3.9.6	Curvas I-D-F y Número de curva . . . . .	68
3.9.6.1	Obtención de las curvas I-D-F . . . . .	68
<b>4</b>	<b>Resultados</b>	<b>74</b>
4.1	Análisis e interpretación . . . . .	74
4.1.1	Resultados e interpretación estadística . . . . .	74
4.1.2	Resultados para la generación de caudales para un TR=100 años . . . . .	78
4.1.3	Resultados de entrenamiento de la Red Neuronal Artificial . . . . .	79
4.1.4	Resultados de la validaciòn de la Red Neuronal Artificial . . . . .	115
4.1.5	Resultados generados RNA para los hietogramas de entrenamiento . . . . .	137
4.1.6	Resultados generados con RNA para la validación del modelo propuesto . . . . .	141
4.1.7	Resultados generados con RNA para la cuenca Llochacniyocc . . . . .	141
4.1.8	Hietogramas de diseño de Llochacniyocc . . . . .	141
<b>5</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>144</b>

<b>Conclusiones</b>	<b>144</b>
5.1 Conclusiones para el objetivo principal . . . . .	144
Conclusiones . . . . .	144
5.2 Conclusiones para los objetivos específicos . . . . .	144
5.3 Recomendaciones . . . . .	145
Recomendaciones . . . . .	145
<b>Referencias Bibliográficas</b>	<b>146</b>
<b>A Anexos</b>	<b>148</b>
A.1 Plano telemático de la cuenca Llochaccniyocc . . . . .	150
A.2 Planos de delimitación de la cuenca . . . . .	151
A.3 Muestreo para realización de calicatas en lecho del río . . . . .	152

# Índice de figuras

<b>Figura 1</b>	Punto de interés o punto de aforo del puente Llachocniyocc . . . . .	2
<b>Figura 2</b>	Delimitación de la cuenca Llochacniyocc. . . . .	3
<b>Figura 3</b>	Subcuencas de la cuenca del puente Llochacniyocc . . . . .	4
<b>Figura 4</b>	Cuenca Hidrográfica . . . . .	9
<b>Figura 5</b>	Forma de la Cuenca . . . . .	12
<b>Figura 6</b>	red hidrográfica de la cuenca . . . . .	14
<b>Figura 7</b>	Red hidrográfica de la cuenca . . . . .	15
<b>Figura 8</b>	Neurona biológica . . . . .	17
<b>Figura 9</b>	Parámetros de ingreso y salida junto a las capas del modelo de red neuronal implementado . . . . .	18
<b>Figura 10</b>	Modelo de red neuronal creado en nntool de MATLAB para la arquitectura de datos . . . . .	19
<b>Figura 11</b>	Funciones de activaciones de redes neuronales . . . . .	21
<b>Figura 12</b>	Parámetros estadísticos de los datos ingresados e importados al Python para la Red Neuronal Artificial. . . . .	42
<b>Figura 13</b>	Parámetros estadísticos de la Data Set . . . . .	43
<b>Figura 14</b>	Parámetros estadísticos de la Data Set . . . . .	43
<b>Figura 15</b>	Parámetros estadísticos de la Data Set . . . . .	43
<b>Figura 16</b>	Parámetros estadísticos de la Data Set . . . . .	43
<b>Figura 17</b>	Parámetros estadísticos de la Data Set . . . . .	44
<b>Figura 18</b>	Parámetros estadísticos de la Data Set . . . . .	44
<b>Figura 19</b>	Parámetros estadísticos de la Data Set . . . . .	44
<b>Figura 20</b>	Parámetros estadísticos de la Data Set . . . . .	44
<b>Figura 21</b>	Parámetros estadísticos de la Data Set . . . . .	45
<b>Figura 22</b>	Parámetros estadísticos de la Data Set . . . . .	45
<b>Figura 23</b>	Parámetros estadísticos de la Data Set . . . . .	45

<b>Figura 24</b>	Parámetros estadísticos de la Data Set . . . . .	45
<b>Figura 25</b>	Parámetros estadísticos de la Data Set . . . . .	46
<b>Figura 26</b>	Parámetros estadísticos de la Data Set . . . . .	46
<b>Figura 27</b>	Parámetros estadísticos de la Data Set . . . . .	46
<b>Figura 28</b>	Parámetros estadísticos de la Data Set . . . . .	46
<b>Figura 29</b>	Planteamiento del Modelo de Red Neuronal Artificial para el entrenamiento, validación y prueba . . . . .	47
<b>Figura 30</b>	Planteamiento del Modelo de Red Neuronal Artificial para el entrenamiento, validación y prueba . . . . .	48
<b>Figura 31</b>	Diagrama de flujo para el Modelo de Red Neuronal Artificial . . . . .	49
<b>Figura 32</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1981 . . . . .	50
<b>Figura 33</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1981 . . . . .	51
<b>Figura 34</b>	Verificación del error cuadrático medio con 2000 iteraciones . . . . .	52
<b>Figura 35</b>	Verificación del error cuadrático medio con 2000 iteraciones . . . . .	53
<b>Figura 36</b>	Validación del modelo de Red Neuronal Artificial . . . . .	55
<b>Figura 37</b>	Validación del modelo de Red Neuronal Artificial . . . . .	56
<b>Figura 38</b>	Series de tiempo para la precipitación máxima diaria anual de la subcuenca1 de 1981 al 2015 . . . . .	58
<b>Figura 39</b>	Histograma para la precipitación máxima diaria anual de la de la subcuenca1 de 1981 al 2015 . . . . .	58
<b>Figura 40</b>	Valor crítico para el t de Student . . . . .	61
<b>Figura 41</b>	Distribución LogPerson III para los datos medidos ajustados a la distribución probabilística . . . . .	65
<b>Figura 42</b>	Histograma de la Distribución Distribución LogPerson III . . . . .	65
<b>Figura 43</b>	Prueba de consistencia de la Prueba de Smirnov Kolgomorov para la Distribución Distribución LogPerson III . . . . .	67
<b>Figura 44</b>	Ingreso de datos para el método Dick y pesckle . . . . .	68
<b>Figura 45</b>	Hietograma de diseño para TR=500 años con dato real . . . . .	72
<b>Figura 46</b>	Hietograma de diseño para TR=500 años con RNA . . . . .	72

<b>Figura 47</b>	Hietograma de diseño para TR=100 años con dato real . . . . .	73
<b>Figura 48</b>	Hietograma de diseño para TR=100 años con RNA . . . . .	73
<b>Figura 49</b>	Hietograma de diseño para TR=50 años con dato real . . . . .	73
<b>Figura 50</b>	Hietograma de diseño para TR=50 años con RNA . . . . .	73
<b>Figura 51</b>	resultado estadísticos . . . . .	74
<b>Figura 52</b>	Resumen del modelo . . . . .	75
<b>Figura 53</b>	Resultado estadísticos . . . . .	75
<b>Figura 54</b>	Coefficientes de la regresión . . . . .	76
<b>Figura 55</b>	Estadísticos de residuos . . . . .	76
<b>Figura 56</b>	Histograma entre la frecuencia y la regresión de residuo estandarizado . . . . .	77
<b>Figura 57</b>	Problema acumulado esperado vs problema acumulado observado . . . . .	77
<b>Figura 58</b>	Gráficos de dispersión . . . . .	78
<b>Figura 59</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1981 . . . . .	79
<b>Figura 60</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1982 . . . . .	79
<b>Figura 61</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1982 . . . . .	80
<b>Figura 62</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1983 . . . . .	80
<b>Figura 63</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1983 . . . . .	81
<b>Figura 64</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1984 . . . . .	81
<b>Figura 65</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1984 . . . . .	82
<b>Figura 66</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1985 . . . . .	82
<b>Figura 67</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1985 . . . . .	83

<b>Figura 68</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1986 . . . . .	83
<b>Figura 69</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1986 . . . . .	84
<b>Figura 70</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1987 . . . . .	84
<b>Figura 71</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1987 . . . . .	85
<b>Figura 72</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1988 . . . . .	85
<b>Figura 73</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1988 . . . . .	86
<b>Figura 74</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1989 . . . . .	86
<b>Figura 75</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1989 . . . . .	87
<b>Figura 76</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1990 . . . . .	87
<b>Figura 77</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1990 . . . . .	88
<b>Figura 78</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1991 . . . . .	88
<b>Figura 79</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1991 . . . . .	89
<b>Figura 80</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1992 . . . . .	89
<b>Figura 81</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1992 . . . . .	90
<b>Figura 82</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1993 . . . . .	90
<b>Figura 83</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1993 . . . . .	91

<b>Figura 84</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1994 . . . . .	91
<b>Figura 85</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1994 . . . . .	92
<b>Figura 86</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1995 . . . . .	92
<b>Figura 87</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1995 . . . . .	93
<b>Figura 88</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1996 . . . . .	93
<b>Figura 89</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1996 . . . . .	94
<b>Figura 90</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1997 . . . . .	94
<b>Figura 91</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1997 . . . . .	95
<b>Figura 92</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1998 . . . . .	95
<b>Figura 93</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1998 . . . . .	96
<b>Figura 94</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1999 . . . . .	96
<b>Figura 95</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1999 . . . . .	97
<b>Figura 96</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2000 . . . . .	97
<b>Figura 97</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2000 . . . . .	98
<b>Figura 98</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2001 . . . . .	98
<b>Figura 99</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2001 . . . . .	99

<b>Figura 100</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2002	99
<b>Figura 101</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2002	100
<b>Figura 102</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2003	100
<b>Figura 103</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2003	101
<b>Figura 104</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2004	101
<b>Figura 105</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2004	102
<b>Figura 106</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2005	102
<b>Figura 107</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2005	103
<b>Figura 108</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2006	103
<b>Figura 109</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2006	104
<b>Figura 110</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2007	104
<b>Figura 111</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2007	105
<b>Figura 112</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2008	105
<b>Figura 113</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2008	106
<b>Figura 114</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2009	106
<b>Figura 115</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2009	107

<b>Figura 116</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación máxima diaria anual media de 2010	107
<b>Figura 117</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación máxima diaria anual media de 2010	108
<b>Figura 118</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación máxima diaria anual media de 2011	108
<b>Figura 119</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación máxima diaria anual media de 2011	109
<b>Figura 120</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación máxima diaria anual media de 2012	109
<b>Figura 121</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación máxima diaria anual media de 2012	110
<b>Figura 122</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación máxima diaria anual media de 2013	110
<b>Figura 123</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación máxima diaria anual media de 2013	111
<b>Figura 124</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación máxima diaria anual media de 2014	111
<b>Figura 125</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación máxima diaria anual media de 2014	112
<b>Figura 126</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación máxima diaria anual media de 2015	112
<b>Figura 127</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación máxima diaria anual media de 2015	113
<b>Figura 128</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación máxima diaria anual media de 2016	113
<b>Figura 129</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación máxima diaria anual media de 2016	114
<b>Figura 130</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación máxima diaria anual media de 1981	115
<b>Figura 131</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación máxima diaria anual media de 1982	115

<b>Figura 132</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1983	116
<b>Figura 133</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1984	116
<b>Figura 134</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1985	117
<b>Figura 135</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1986	117
<b>Figura 136</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1987	118
<b>Figura 137</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1988	118
<b>Figura 138</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1989	119
<b>Figura 139</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1990	119
<b>Figura 140</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1991	120
<b>Figura 141</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1992	120
<b>Figura 142</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1993	121
<b>Figura 143</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1994	121
<b>Figura 144</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1995	122
<b>Figura 145</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1996	122
<b>Figura 146</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1997	123
<b>Figura 147</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1998	123

<b>Figura 148</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1999	124
<b>Figura 149</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2000	124
<b>Figura 150</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2001	125
<b>Figura 151</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2002	125
<b>Figura 152</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2003	126
<b>Figura 153</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2004	126
<b>Figura 154</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2005	127
<b>Figura 155</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2006	127
<b>Figura 156</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2007	128
<b>Figura 157</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2008	128
<b>Figura 158</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2009	129
<b>Figura 159</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2010	129
<b>Figura 160</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2011	130
<b>Figura 161</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2012	130
<b>Figura 162</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2013	131
<b>Figura 163</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2014	131

<b>Figura 164</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2015 . . . . .	132
<b>Figura 165</b>	Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2016 . . . . .	132
<b>Figura 166</b>	Generación de los series de tiempo para el entrenamiento de todas las subcuencas . . . . .	136
<b>Figura 167</b>	Hietograma de diseño para TR=500 años con dato real . . . . .	137
<b>Figura 168</b>	Hietograma de diseño para TR=500 años con RNA . . . . .	137
<b>Figura 169</b>	Hietograma de diseño para TR=100 años con dato real . . . . .	137
<b>Figura 170</b>	Hietograma de diseño para TR=100 años con RNA . . . . .	137
<b>Figura 171</b>	Hietograma de diseño para TR=50 años con dato real . . . . .	137
<b>Figura 172</b>	Hietograma de diseño para TR=50 años con RNA . . . . .	137
<b>Figura 173</b>	Hietograma de diseño para TR=500 años con dato real . . . . .	138
<b>Figura 174</b>	Hietograma de diseño para TR=500 años con RNA . . . . .	138
<b>Figura 175</b>	Hietograma de diseño para TR=100 años con dato real . . . . .	138
<b>Figura 176</b>	Hietograma de diseño para TR=100 años con RNA . . . . .	138
<b>Figura 177</b>	Hietograma de diseño para TR=50 años con dato real . . . . .	138
<b>Figura 178</b>	Hietograma de diseño para TR=50 años con RNA . . . . .	138
<b>Figura 179</b>	Hietograma de diseño para TR=500 años con dato real . . . . .	139
<b>Figura 180</b>	Hietograma de diseño para TR=500 años con RNA . . . . .	139
<b>Figura 181</b>	Hietograma de diseño para TR=100 años con dato real . . . . .	139
<b>Figura 182</b>	Hietograma de diseño para TR=100 años con RNA . . . . .	139
<b>Figura 183</b>	Hietograma de diseño para TR=50 años con dato real . . . . .	139
<b>Figura 184</b>	Hietograma de diseño para TR=50 años con RNA . . . . .	139
<b>Figura 185</b>	Hietograma de diseño para TR=500 años con dato real . . . . .	140
<b>Figura 186</b>	Hietograma de diseño para TR=500 años con RNA . . . . .	140
<b>Figura 187</b>	Hietograma de diseño para TR=500 años con dato real . . . . .	140
<b>Figura 188</b>	Hietograma de diseño para TR=500 años con RNA . . . . .	140
<b>Figura 189</b>	Hietograma de diseño para TR=500 años con dato real . . . . .	140
<b>Figura 190</b>	Hietograma de diseño para TR=500 años con RNA . . . . .	140

<b>Figura 191</b>	Hietograma generado con RNA para TR=500 años . . . . .	142
<b>Figura 192</b>	Hietograma generado con RNA para TR=100 años . . . . .	142
<b>Figura 193</b>	Hietograma generado con RNA para TR=50 años . . . . .	143
<b>Figura 194</b>	Mapa telemático de la cuenca del puente Llochacniyocc . . . . .	150
<b>Figura 195</b>	Delimitación de la cuenca del puente de Llochacniyocc . . . . .	151
<b>Figura 196</b>	Calicata realizada en el río para el cálculo de socavacion a traves de la obtención de coeficiente de manning . . . . .	152
<b>Figura 197</b>	Calicata en el lecho del río para obtención de coeficiente de manning . . . . .	153
<b>Figura 198</b>	Calicata en el lecho del río para obtención de coeficiente de manning . . . . .	153
<b>Figura 199</b>	Visita a campo de la cuenca Llochacniyocc . . . . .	154
<b>Figura 200</b>	Visita a campo de la cuenca Llochacniyocc . . . . .	155

# Índice de tablas

<b>Tabla 1</b>	Características físicas y parámetros morfométricos de la cuenca Llochaccniyocc	3
<b>Tabla 2</b>	Tipo de pendiente en una Cuenca. . . . .	13
<b>Tabla 3</b>	VARIABLES, Dimensiones, indicadores y unidades . . . . .	28
<b>Tabla 4</b>	Simbología de los Características físicas y parámetros morfométricos de la cuenca . . . . .	29
<b>Tabla 5</b>	Simbología de la precipitación media de la cuenca . . . . .	30
<b>Tabla 6</b>	Parámetros de ingreso de las subcuencas para el entrenamiento, la validación y la prueba de la Red Neuronal Artificial . . . . .	32
<b>Tabla 7</b>	Parámetros de salida de la precipitación (mm) para el entrenamiento, la validación y la prueba de la Red Neuronal Artificial . . . . .	35
<b>Tabla 8</b>	Parámetros de ingreso de las subcuencas para el entrenamiento, la validación y la prueba de la Red Neuronal Artificial . . . . .	37
<b>Tabla 9</b>	Simbología de los Características físicas y parámetros morfométricos de la cuenca . . . . .	57
<b>Tabla 10</b>	Valores críticos "d" para la prueba Kolgomorov - Smirnov de bondad de ajuste .	67
<b>Tabla 11</b>	Ingreso de datos para el método Dick y Pesckle . . . . .	69
<b>Tabla 12</b>	Utilización de la regresión lineal múltiple para la linealización de los parámetros de la curva IDF. . . . .	70
<b>Tabla 13</b>	Obtención de los parámetros con regresión lineal múltiple . . . . .	70
<b>Tabla 14</b>	Cuadro de intensidades para las curvas IDF . . . . .	71
<b>Tabla 15</b>	Obtención de las curvas IDF . . . . .	72
<b>Tabla 16</b>	Simbología de los Características físicas y parámetros morfométricos de la cuenca . . . . .	133
<b>Tabla 17</b>	Simbología de los Características físicas y parámetros morfométricos de la cuenca . . . . .	134
<b>Tabla 18</b>	Simbología de los Características físicas y parámetros morfométricos de la cuenca . . . . .	141

<b>Tabla 19</b>	Matriz de consistencia . . . . .	148
<b>Tabla 20</b>	Matriz de operacionalización de variables . . . . .	149

# Glosario

**Optimización:** Proceso de ajustar los pesos para minimizar la función de pérdida. Ejemplos de algoritmos SGD (Stochastic Gradient Descent), Adam, RMSprop.

**Red Neuronal Convolutiva (CNN):** Tipo de red especializada en procesamiento de imágenes mediante filtros y capas de convolución..

**Red Neuronal Recurrente (RNN):** Red con conexiones que retroalimentan salidas anteriores, útil para secuencias (texto, series temporales).

**Deep Learning (Aprendizaje profundo):** Ramas de redes neuronales con muchas capas ocultas, que permiten aprender características complejas..

**Overfitting (Sobreajuste):** Ocurre cuando la red se ajusta demasiado a los datos de entrenamiento y pierde capacidad de generalizar.

**Underfitting (Subajuste):** La red no logra aprender la relación entre datos de entrada y salida..

**Red Neuronal Artificial (RNA):** Modelo computacional inspirado en el cerebro humano, compuesto por nodos (neuronas) conectados entre sí, que procesan información en capas..

**MLP (Multilayer Perceptron):** Tipo de red neuronal feedforward que contiene una o más capas ocultas entre la entrada y la salida. Utiliza funciones de activación no lineales..

**Capa de Entrada:** Primera capa de una red MLP donde se introducen los datos originales para su procesamiento..

**Series de tiempo:** Cuando se describen registros de series de datos a través del tiempo.

**Unidimensionalidad:** Cuando las series de tiempo tienen una sola dimensión en el tiempo como la temperatura, precipitación y no están en función de varias variables.

**Datos observados:** Son los datos recogidos de campo medidos por las estaciones encargadas de registrar las variables meteorológicas e hidrométricas.

**Datos estimados:** Son datos calculados estadísticamente o con algún modelo matemático o computacional.

**Capa Oculta:** Capas intermedias entre la entrada y salida. Son responsables del aprendizaje de características complejas.

**Capa de Salida:** Capa final de la red que entrega el resultado del procesamiento, dependiendo de la tarea (clasificación, regresión, etc..)

**Neurona Nodo:** Unidad básica de procesamiento en una red neuronal. Calcula una salida aplicando una función de activación a una combinación lineal de entradas..

**Descenso por gradiente:** Es un algoritmo que estima numericamente donde una función genera sus valores más bajos que tiende a converger la función.

**Pesos (Weights):** Valores que multiplican las entradas de cada neurona. Se ajustan durante el entrenamiento para mejorar el desempeño de la red..

**Función de Activación:** Función no lineal (como ReLU, Sigmoid o Tanh) que permite a la red aprender relaciones complejas.

# Acrónimos

<b>AI</b>	Artificial Intelligence
<b>BP</b>	BackPropagation
<b>BPA</b>	Back Propagation Algorith
<b>FFN</b>	Feed forward network
<b>GPU</b>	Graphics Processing Unit
<b>Ho</b>	Hidden Output (Salida oculta)
<b>Io</b>	Input (Entrada)
<b>MLP</b>	Multilayer Perceptron
<b>MSE</b>	Mean Squared Error
<b>MSE</b>	Mean square error
<b>NMSE</b>	Normalized mean square error
<b>ReLU</b>	Rectified Linear Unit
<b>RMSE</b>	Root mean square error
<b>RNN</b>	Recurrent Neural Network
<b>SARIMA</b>	Seasonal Auto Regressive Integrative Moving Average
<b>SD</b>	Desviación standar
<b>SENAMHI</b>	Servicio Nacional de meteorología e hidrología del Perú
<b>SGD</b>	Stochastic Gradient Descent
<b>Sigmoid</b>	Sigmoid Function
<b>Tanh</b>	Hyperbolic Tangent
<b>TS</b>	Time series
<b>UGL</b>	Un Grado de Libertad
<b>Wi</b>	Pesos sinápticos

# Símbolos

$P_i$	Precipitación
$A$	Área de la Cuenca
$P$	Perímetro de la cuenca
$H$	Altitud de la cuenca
$D_d$	Densidad de drenaje
$R_b$	Relación de Bifurcación
$R_l$	Relación de longitud
$S_m$	Pendiente media del cauce principal
$X_t$	Serie no estacionaria con varianza infinita
$W$	Matriz de pesos entre dos capas
$X, x$	Datos originales
$Y, y$	Datos normalizados
$Z, z$	Datos estandarizados
$\varepsilon_t, \xi_t$	Componentes estocástico
$T_{\min}$	Temperatura mínima ambiental anual
$T_{\max}$	Temperatura máxima ambiental anual
$T_{\text{prom}}$	Temperatura promedio ambiental anual
$\phi$	Parámetro Poblacional
$\hat{\phi}$	Parámetro Estimado
$T_c$	Tiempo de concentración
$\beta$	Coefficientes de regresión lineal
$\hat{\beta}_i$	Coefficientes de regresión lineal estimado
$t_i$	t de student
$SCE$	Suma de cuadrados explicativa
$SCR$	Suma de cuadrados residuales

$SCT$	Suma de cuadrados totales
$L$	Longitud total de la corriente
$S_m$	Pendiente media del cauce principal
$I_p$	Indice de pendiente

“Empieza por el principio,” – dijo el Rey con gravedad – “y sigue hasta llegar al final; allí te paras.”

– Lewis Carroll, *Alice in Wonderland*

# 1 Planteamiento del problema

---

## 1.1 Descripción del problema

---

Uno de los principales desafíos en la realización de estudios hidrológicos es la escasez de estaciones hidrométricas y meteorológicas en las áreas de interés. Esta limitación conlleva a la falta de registros históricos confiables. Además, muchas de las estaciones existentes presentan problemas de inoperatividad, deficiencias en la instrumentación y carencia de equipos adecuados. Por estas razones, la obtención directa de datos de precipitación resulta dificultosa, lo que obliga a utilizar precipitaciones sintéticas estimadas a partir de estaciones cercanas mediante métodos empíricos, generalmente aplicando interpolaciones basadas en la altitud y en los datos de precipitación disponibles en puntos vecinos.

En los estudios hidrológicos, el procesamiento y análisis adecuado de los datos provenientes de estaciones meteorológicas e hidrológicas es fundamental, especialmente variables como precipitación, caudal, temperatura, humedad, y velocidad del viento. Entre estas, la precipitación adquiere un rol clave, ya que permite realizar modelamientos de escorrentía, estimar caudales de diseño, efectuar cálculos hidráulicos, evaluar el abastecimiento y dotación de agua para consumo humano y riego, diseñar canales, y establecer sistemas de alerta temprana frente a inundaciones, entre otros.

Ante estas limitaciones, una alternativa viable consiste en la generación sintética de hietogramas de diseño a partir de precipitaciones máximas diarias anuales es la utilización de la inteligencia artificial, este enfoque se aplicará en la subcuenca de Llochaccniyocc, utilizando tanto parámetros morfométricos como información de estaciones cercanas, en este contexto, se desarrollará la presente tesis titulada: “Estimación de hietograma de diseño mediante inteligencia artificial en la cuenca Llochaccniyocc, Ayacucho, 2025.”

## 1.2 Delimitación del problema

---

### 1.2.1 Espacial

---

El trabajo se llevará a cabo en la siguiente región:

**Departamentos:** Ayacucho

**Provincias:** Cangallo

**Distrito:** Chuschi

**Cuenca:** Cuenca del puente Llochacniyocc.

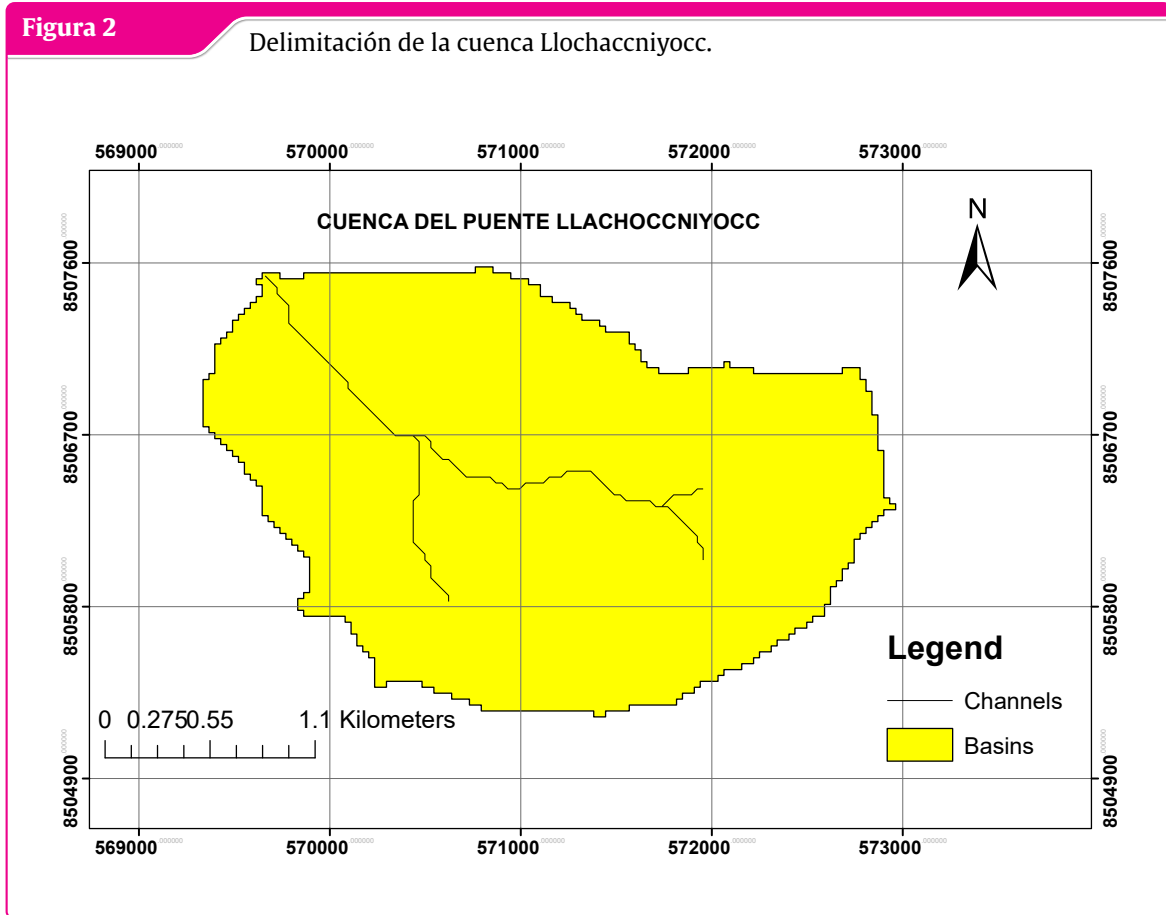
El presente trabajo esta parametrizado y se desarrolla en la cuenca del puente ´Llachocniyocc con el punto de interés y salida de la cuenca en el punto de aforo E(593310.4 m ), S(8492388.0 m ) ubicado entre la provincia de Cangallo, Distrito Chuschi.

## 1.2.2 Delimitación de la cuenca Llochacniyocc

Se delimita del puente Llochacniyocc, que viene hacer la cuenca del río Llochacniyocc por tributar muchos ríos que son afluentes al río Llochacniyocc, donde estos ríos bajan de las cabeceras de las cuencas altas , el cual es afluente del río Apurimac y el Amazonas para desembocar en el oceano Atlántico, abarca la provincia de cangallo por ser una Microcuenca, en la presente investigación se delimita a partir del punto de interés o punto de aforo llamado puente de Llochacniyocc. La presente investigación evaluará todo el área delimitada correspondiente a la cuenca del río Llochacniyocc, donde todas las tormentas de diseño viajarán desde las divisorias extremas con un tiempo de concentración las cuales desembocarán en el punto de aforo de la cuenca, y con los parámetros morfométricos obtenidos por la cuenca y las subcuencas del puente de Llochacniyocc se evaluarán y analizarán la los hietogramas de diseño.



**Fuente:** Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

### 1.2.3 Parámetros morfométricos de la cuenca Llochaccniyocc

Delimitación de la cuenca Llochaccniyocc

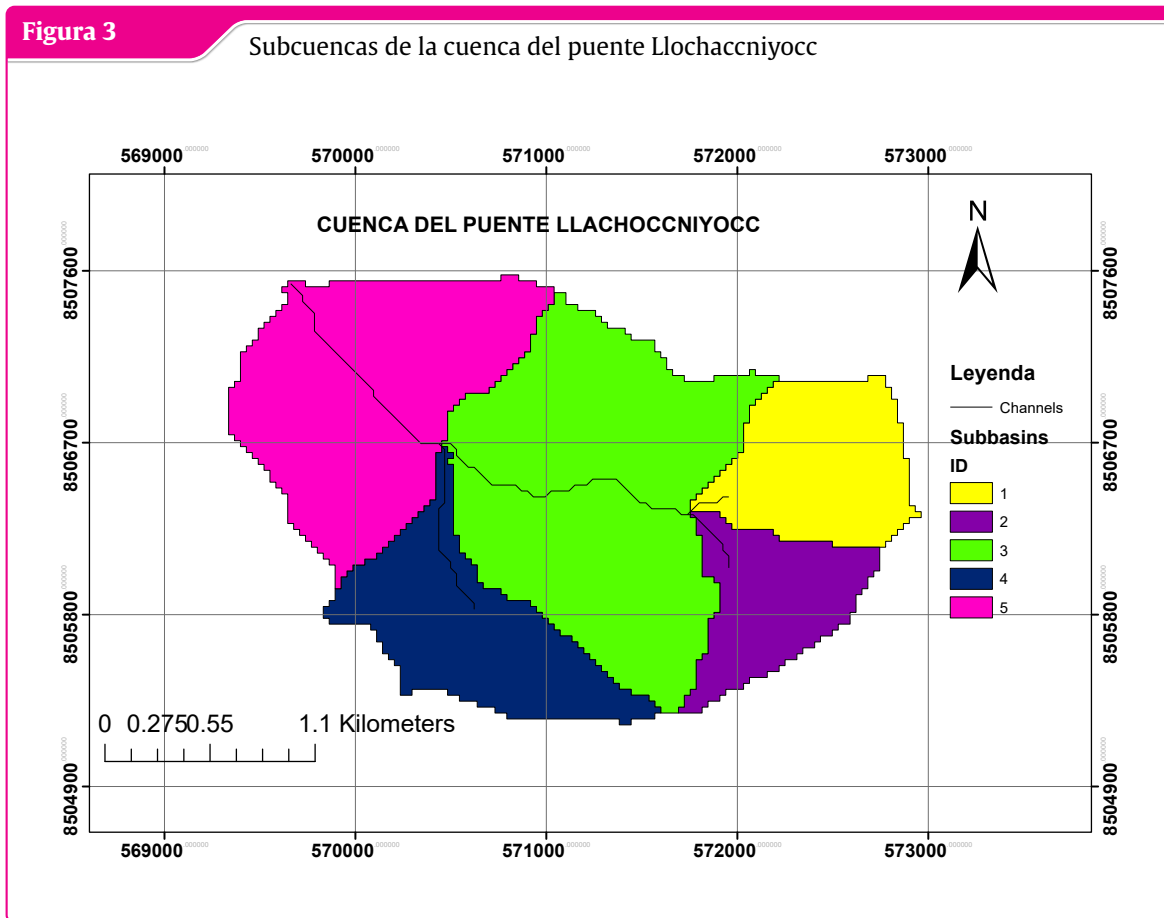
**Tabla 1:** Características físicas y parámetros morfométricos de la cuenca Llochaccniyocc

Salida en X	Salida en Y	Perímetro (Km)	Área (km <sup>2</sup> )	Centroide X
569661.17	8507532.48	12.462	5.9	543538.1
Centroide Y	Elev. media (m.s.n.m)	Elevación (m.s.n.m)		
8478947.1	4199.35	2380		
tiemp. Conc. (hrs)	Orografía	Balance de agua		
0.59	20.9	1.01		

Fuente: Elaboración Propia

### 1.2.4 Parámetros morfométricos de las subcuenca Llochaccniyocc

Delimitación de la cuenca de Llochacniyocc.



**Fuente:** Elaboración propia

### 1.2.5 Temporal

La investigación se desarrollará durante el año 2025, con procesamiento de los datos de parámetros morfométricos de las subcuencas de Llochocniyocc y variables meteorológicas de las estaciones cercanas.

### 1.2.6 Temática y unidad de análisis

La obtención Hietograma de diseño a partir de Precipitaciones sintéticas máximas diarias anuales generados con los modelos de Feedforward - Backpropagation para las subcuencas LLachocniyocc, donde no hay registros de estaciones de precipitaciones y Parámetros Morfométricos y variable meteorológica de temperatura del aire o ambiental de las Subcuencas en mención para calcular la precipitación sintética para estas subcuencas.

## 1.3 Formulación del problema

---

### 1.3.1 Problema general

---

¿En qué medida los Hietogramas de diseño pueden estimarse, mediante inteligencia artificial en Chuschi, Ayacucho 2025?

### 1.3.2 Problemas específicos

---

- ① ¿ En qué medida pueden estimarse las precipitaciones máximas diarias anuales mediante inteligencia artificial en Chuschi, Ayacucho 2025?
- ② ¿En qué medida pueden entrenarse las precipitaciones máximas diarias anuales , mediante inteligencia artificial en Chuschi, Ayacucho 2025?
- ③ ¿En qué medida pueden validarse las precipitaciones máximas diarias anuales , mediante inteligencia artificial en Chuschi, Ayacucho 2025?

## 1.4 Justificación e importancia

---

La investigación descriptiva denominada Estimación de Hietograma de diseño mediante inteligencia artificial en la cuenca Llochacniyocc, Ayacucho, 2025", permitirá obtener datos de precipitaciones sintéticas como alternativa de solución a la falta de precipitaciones en los lugares donde no hay estaciones pluviométricas. Se pueden utilizar los datos obtenidos por el modelo de la red neuronal artificial para poder realizar diferentes estudios hidrológicos para proyectos de estructuras hidráulicas, abastecimiento de agua para consumo e irrigaciones y otros. Para realizar modelamientos de precipitación escorrentía en el tránsito de avenidas. Para determinar estiaje y máximas avenidas de ríos . para pronósticos de sequias e inundaciones. Para realizar el balance hídrico, oferta hídrica y demanda hídrica de cuencas.

## 1.5 Limitaciones o restricciones

---

Una de las limitaciones fue la falta de datos de precipitación y variables meteorológicas registrada por el SENAMHI para todas las cuencas solo se encontraron algunos datos de algunas cuencas por lo que finalmente todos los datos fueron reemplazadas por los datos del producto grillado PISCO-SENAMHI para precipitación y por los datos obtenidos de la NASA del servidor GIOVANNI para temperatura .

## 1.6 Objetivos

---

**1.6.1** **Objetivo general**

---

Estimar los Hietogramas de diseño mediante inteligencia artificial en Chuschi, Ayacucho 2025.

**1.6.2** **Objetivos específicos**

---

- ① Estimar las precipitaciones máximas mediante inteligencia artificial en Chuschi, Ayacucho 2025.
- ② Entrenar los datos de precipitaciones máximas diarias anuales , mediante inteligencia artificial en Chuschi, Ayacucho 2025.
- ③ Validar los datos de precipitaciones máximas diarias anuales , mediante inteligencia artificial en Chuschi, Ayacucho 2025.

“El aspecto más triste de la vida actual es que la ciencia gana en conocimiento más rápidamente que la sociedad en sabiduría.”

— Isaac Asimov

## 2 Marco teórico

### 2.1 Antecedentes

---

#### 2.1.1 Investigaciones internacionales.

---

Desde su creación en 1943 por Warren Sturgis McCulloch y Walter Harry Pitts, las redes neuronales artificiales han experimentado un desarrollo extraordinario, extendiendo su aplicación a prácticamente todos los campos de la ciencia y la tecnología gracias al aporte de numerosos investigadores. En el ámbito específico de la generación de datos sintéticos utilizando modelos de redes neuronales y series de tiempo, la diversidad de investigaciones es muy amplia debido a la gran cantidad de modelos y tipos de red existentes. Por este motivo, la presente tesis toma como referencia trabajos anteriores que utilizan distintas variables de entrada, aunque destaca que ninguna de estas investigaciones previas ha empleado parámetros morfométricos, lo que representa la novedad del estudio aquí presentado.

Por ejemplo Según [Villenas Quinapallo \(2020\)](#) Concluye que el modelo elegido de la red neuronal de todos los modelos que se puedan elegir hay uno que mejor estima los valores a la cuenca y se debería encontrar ese modelo para paroximarnos más a los datos observados y esta investigación se aplica a la cuenca del río Chalpi norte en Quito Ecuador.

Los métodos de generación de datos sintético podría utilizarse para ampliar los registros de datos disponibles en las cuencas hidrográficas con datos limitados y para crear una serie de datos sintético y se podría completar los datos faltantes o proyectar ([Jia y Culver, 2006](#)).

De acuerdo a [Martinez Acosta et al. \(2020\)](#), los modelos de series de tiempo, los cuales son de naturaleza estocástica, también se aplican al análisis de variables meteorológicas como la precipitación. Su propósito es generar información, especialmente para completar datos faltantes y realizar pronósticos, utilizando metodologías como AR(P), MA(q), ARMA(p,q), ARIMA(p,d,q) y SARIMA(p,d,q). Esta investigación tuvo como caso de aplicación la cuenca del río Sinú en Colombia.

De acuerdo con [Kim et al. \(2020\)](#), la arquitectura de este modelo se configura mediante la creación de múltiples capas de entrada que integran todas las variables candidatas consideradas, incluyendo índices climáticos y datos de precipitación. Para refinar este proceso, se diseñó un método específico destinado a seleccionar las variables de entrada preliminares a partir del conjunto completo de

candidatas. El estudio donde se presenta este desarrollo fue realizado en la cuenca del río Han, ubicada en Corea del Sur.

Sin embargo según [Hiemstra y Creese \(1970\)](#) es conveniente sintetizar las precipitaciones secuenciales como una extensión de los registros existentes o para crear datos donde no existen.

### **2.1.2 Investigaciones nacionales**

---

Según [Herrera et al. \(2013\)](#), numerosas investigaciones realizadas durante la última década han utilizado Redes Neuronales Artificiales (ANNs) para la generación y predicción de variables hidrológicas, como es el caso de los pronósticos de crecidas e inundaciones. La capacidad de estas redes para identificar patrones complejos no evidentes sugiere su potencial adaptación a problemas de estimación y predicción en el ámbito hidrológico. El estudio de referencia fue aplicado específicamente a la cuenca del río Quilca-Chili, ubicada en el departamento de Arequipa, al sur de Perú.

En la tesis de [Sanchez \(2009\)](#) ” Se generarán series sintéticas mensuales en base a las estaciones hidrométricas Ardilla y Ciruelo y luego se determinará la capacidad de almacenamiento por el método Range, para el Proyecto Especial Chira- Piura ”

y conocemos todos los detalles: La capacidad de las Redes Neuronales Artificiales (ANNs) para identificar patrones complejos y relaciones no lineales subyacentes en los datos las convierte en una herramienta prometedora para su adaptación a problemas de estimación y predicción en hidrología, tales como el pronóstico de crecidas e inundaciones. Esta potencial aplicación fue explorada en el estudio de referencia, el cual implementó dichos modelos en la cuenca del río Quilca-Chili, localizada en el departamento de Arequipa, al sur de Perú.

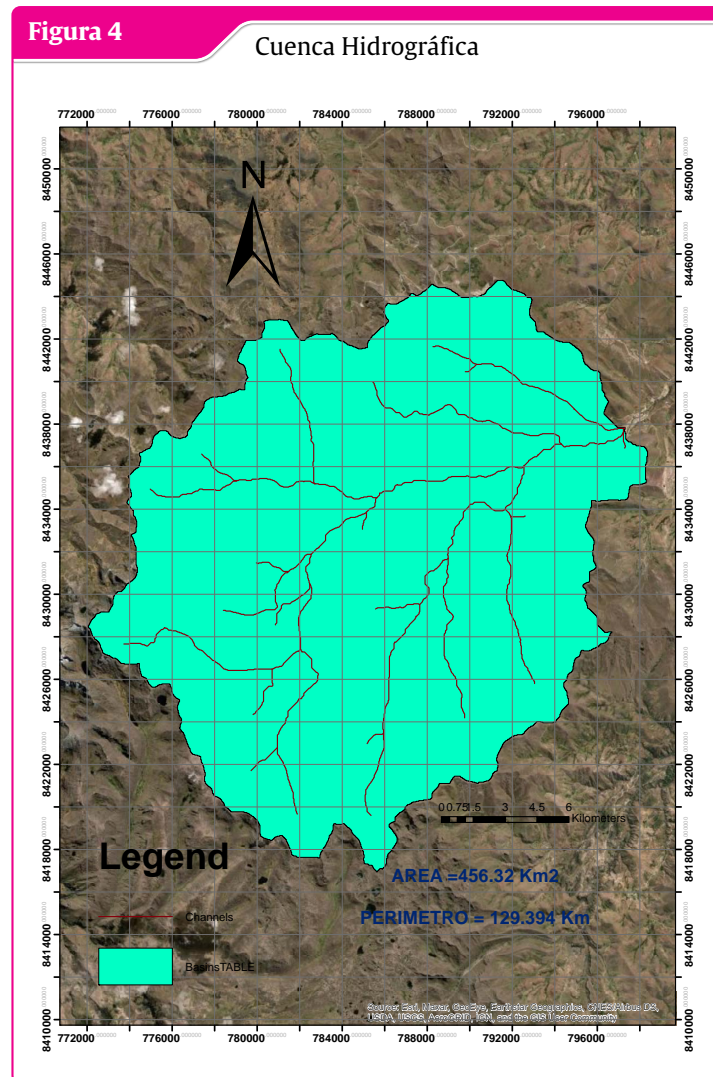
## **2.2 Bases teóricas**

---

### **2.2.1 Cuenca hidrográfica**

---

Según [Fiering y Jackson \(1971\)](#), “ Una cuenca hidrográfica se define como un área del terreno donde el agua precipitada converge naturalmente a través de una red de drenaje, como ríos y quebradas, hacia un único punto de salida común.”(p.19).



Fuente: Elaborado con ArcGIS

### 2.2.1.1 Clasificación de Cuenas

#### Por el tamaño

Una cuenca se puede clasificar atendiendo a su tamaño, en cuencas grandes y cuencas pequeñas.

- **Cuenca Grande:** Según **Fiering y Jackson (1971)**, “Es aquella cuenca donde su área es mayor a 250 km<sup>2</sup>, donde predominan las características fisiográficas (pendiente, elevación, área, cauce). El efecto de almacenaje del cauce es muy importante”(p.14).
- **Cuenca pequeña:** Según **Fiering y Jackson (1971)**, “Es aquella cuenca donde su área es menor a 250 km<sup>2</sup>, la forma y la cantidad de escurrimiento está influenciado por las características físicas del suelo. La cuenca pequeña responde a las lluvias de fuerte intensidad y pequeña duración”(p.14).

### En función a la salida

Desde el punto de vista de la salida de una cuenca, existen dos tipos de cuencas: endorreicas y exorreicas [Fiering y Jackson \(1971\)](#).

- **Cuencas Endorreicas:** Según [Fiering y Jackson \(1971\)](#), “El punto de salida está dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago ”(p.14).
- **Cuencas Exorreicas:** Según [Fiering y Jackson \(1971\)](#), “En las cuencas exorreicas el punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca, pudiendo ser en otra corriente de agua o en el mar ”(p.14).

### En función a la Elevación

Otra forma de clasificarlas, de clara aplicación en las cuencas andinas, basada en la elevación relativa de sus partes, se clasifica en: cuencas, alta, media y baja

- **Cuenca alta:** Según [Fiering y Jackson \(1971\)](#):

La cuenca alta, también denominada cabecera o zona de recepción, se localiza en la parte superior del sistema. Esta sección se caracteriza por captar y almacenar la mayor proporción del agua precipitada, principalmente en forma de nieve y hielo en sus nevados y glaciares, así como en las lagunas y represamientos de las altiplanicies. Desde el punto de vista socioambiental, esta área suele presentar una cobertura vegetal representada por pastizales o bosques, y una presión demográfica comparativamente menor..(p.14)

- **Cuenca media:** Según [Fiering y Jackson \(1971\)](#), “ La cuenca media se caracteriza por presentar una pendiente relativamente pronunciada, donde el caudal adopta un comportamiento torrencial y turbulento. Esta morfología y dinámica fluvial determinan que este sector sea identificado morfológica e hidrológicamente como la zona de escurrimiento y transporte de sedimentos, ya que la energía cinética del agua permite movilizar los materiales erosionados aguas abajo. ”(p.15).
- **Cuenca Baja:** Según [Fiering y Jackson \(1971\)](#), “ La cuenca baja se caracteriza por presentar la menor pendiente relativa del sistema fluvial, con un caudal de flujo continuo y un cauce bien definido que discurre por una extensa planicie de inundación. Debido a la reducción drástica de la energía hidráulica en este sector, los sedimentos transportados por la corriente se depositan, lo que da forma a una morfología conocida como cono de deyección, que define a esta zona esencialmente como un área de depósito. ”(p.15).

#### **2.2.1.2 Elementos de las Cuencas**

---

Las cuencas presentan los siguientes elementos: Parteaguas o divisoria de aguas, área de la cuenca y el cauce principal de la cuenca.

- **Parteaguas o divisoria de aguas:** Fiering y Jackson (1971), “ Línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico, que separa la cuenca en estudio de las cuencas vecinas ”(p.20).
- **Area de la cuenca:** Fiering y Jackson (1971), “ Superficie en proyección horizontal, delimitada por la divisoria de aguas ”(p.20).
- **Cauce principal de una cuenca:** Fiering y Jackson (1971), “ Corriente que pasa por la salida de la cuenca; las demás corrientes se denominan cauces secundarios (tributarios). Las cuencas correspondientes a las corrientes tributarias se llaman cuencas tributarias o subcuencas ”(p.20).

### **2.2.1.3** Características físicas de la Cuenca

---

Acontinuación describiremos los conceptos de los parámetros morfométricos de la cuenca y las características físicas mas importantes relacionadas con nuestras variables presentadas en esta investigación:

#### **Area de la cuenca (A)**

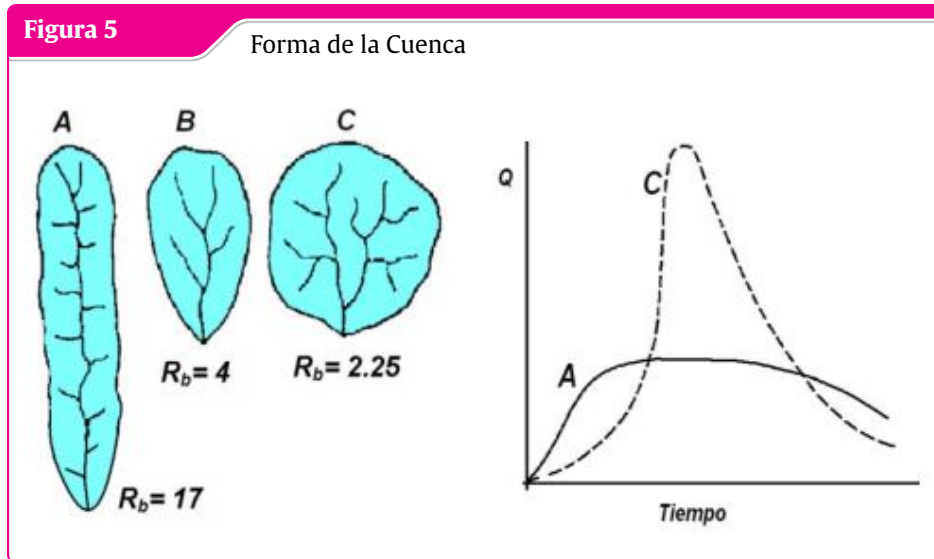
“ El área de la cuenca corresponde a la superficie de proyección horizontal, delimitada por la divisoria de aguas, que presenta una forma predominantemente irregular. Esta superficie, expresada en unidades de kilómetros cuadrados, representa el parámetro fundamental para la caracterización morfométrica del territorio que comprende la cuenca hidrográfica. ” (Fiering y Jackson, 1971, p.17).

#### **Perimetro de la cuenca (P)**

“ El perímetro de una cuenca hidrográfica se define como la longitud total del límite exterior que delimita su contorno. Esta línea perimetral, de forma irregular, resulta de proyectar la divisoria de aguas sobre un plano horizontal una vez concluido el proceso de delimitación de la cuenca. Representa, por lo tanto, la frontera areal que encierra el territorio de drenaje natural hacia un cauce principal. ” (Fiering y Jackson, 1971, p.17).

#### **Forma de la cuenca**

La forma de la cuenca afecta en el tránsito de avenidas de la escorrentia en la cuenca y esta en función de la relación de bifurcación como se observa en la imagen debajo.



Fuente: Adaptado de Fiering y Jackson (1971).

#### 2.2.1.4 Parámetros de relieve

A continuación definiremos los parámetros de relieve como la pendiente de la cuenca.

##### Pendiente de la cuenca

La pendiente media de la cuenca es un parámetro físico de gran relevancia hidrológica debido a su compleja interrelación con procesos fundamentales como la infiltración, la escorrentía superficial, la humedad del suelo y la contribución del flujo subterráneo a los cauces. Asimismo, actúa como un factor determinante en la velocidad del flujo superficial, ejerciendo una influencia directa en el tiempo de concentración de la escorrentía y, en consecuencia, en la magnitud potencial de las avenidas o crecidas. Existen diversos criterios para evaluar la pendiente media de una cuenca, entre las que se destacan son: criterio de Alford y criterio de Horton (Fiering y Jackson, 1971, p.23).

##### Índice de Pendiente ( $I_p$ ) (M. Roche)

El índice de pendiente es un parámetro morfométrico que se calcula ponderando las pendientes existentes con la longitud del tramo recorrido por el río. Este valor resulta indicativo para inferir la granulometría predominante en el cauce y constituye, además, una expresión sintética del relieve de la cuenca. Su determinación se realiza mediante la metodología del rectángulo equivalente, la cual permite una representación simplificada de la forma de la cuenca para facilitar el cálculo, con la siguiente ecuación (Fiering y Jackson, 1971, p.24).

$$I_p = \sum_{i=2}^n \sqrt{\beta_i(a_i - a_{i-1})} * \frac{1}{\sqrt{L}} \quad (2.1)$$

$$\beta_i = \frac{A_i}{A_T}$$

Donde:

$I_p$  = índice de pendiente

$n$  = número de curvas de nivel existente en el rectángulo equivalente, incluido los extremos (lados menores)

$c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$  = cotas de las  $n$  curvas de nivel consideradas (Km).

$\beta_i$  = fracción de la superficie total de la cuenca comprendida entre las cotas  $a_i - a_{i-1}$ .

$L$  = longitud del lado mayor del rectángulo equivalente (Km).

$A_i$  = área entre curvas de nivel

$A_T$  = área total de la cuenca

### Clasificación de Pendientes en una cuenca

“ El valor de la pendiente permite clasificar el relieve o topografía del terreno según la siguiente tabla ” (Fiering y Jackson, 1971, p.27).

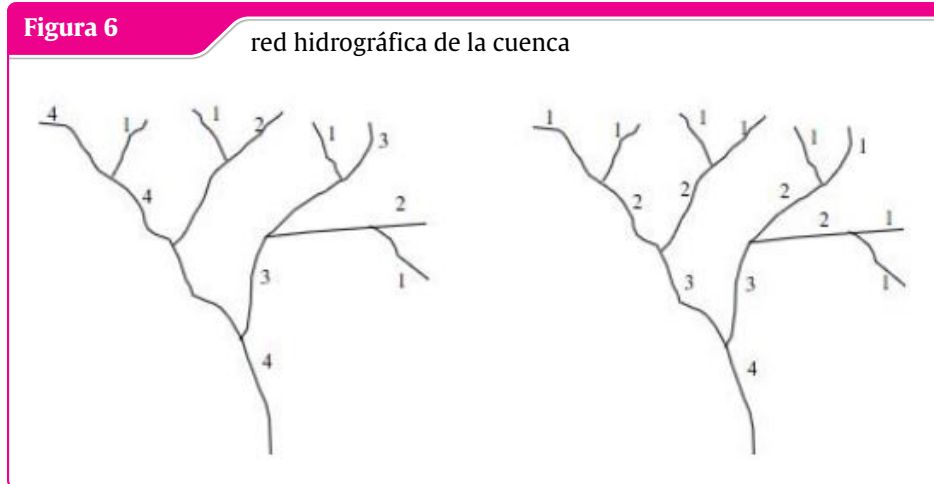
**Tabla 2:** Tipo de pendiente en una Cuenca.

Pendiente(%)	Tipo de terreno
2	Plano
5	Suave
10	Accidentado Medio
15	Accidentado
25	Fuertemente Accidentado
50	Escarpado
>50	Muy Escarpado

**Fuente:** Elaboración Propia

#### 2.2.1.5 Parámetros de la red hidrográfica de la cuenca

“ El orden de la red de drenaje es un valor numérico que cuantifica el nivel de ramificación o complejidad jerárquica del sistema de cauces en una cuenca. Para su determinación, existen diversos sistemas de clasificación, siendo los más reconocidos los propuestos por Horton y Strahler, cuyos criterios establecen la metodología para asignar un orden específico a cada tramo fluvial dentro de la cuenca hidrográfica ” (Fiering y Jackson, 1971, p.32).



Fuente: Adaptado de (Cahuana y Yugar, 2009).

### La frecuencia de la corriente de primer orden

Es la relación entre la magnitud de la corriente y el área de la cuenca.

### La longitud total de la corriente(L)

es la suma de la longitud de cada rama.

### La longitud media de la ladera

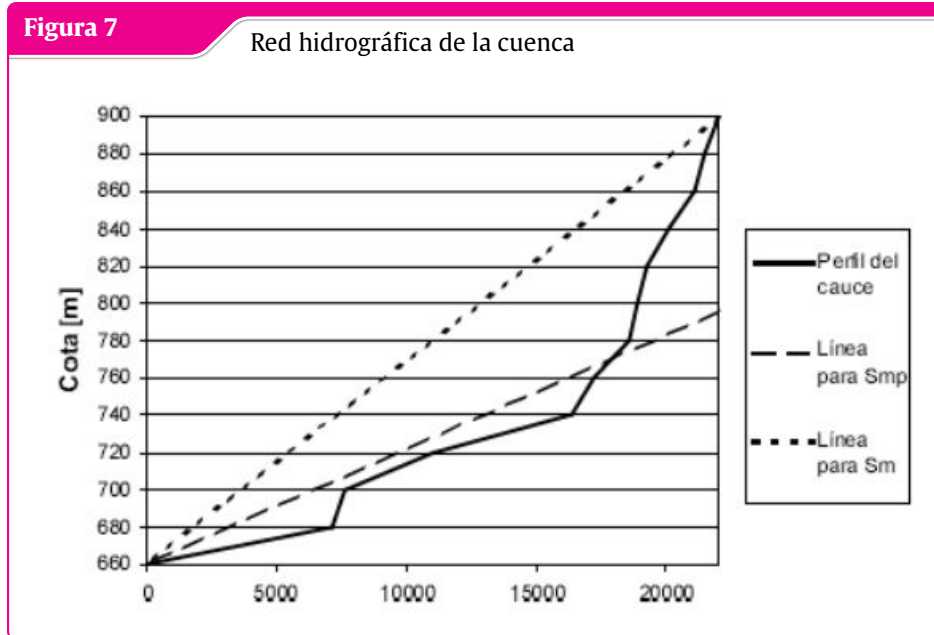
es la media de las distancias calculadas a lo largo de la dirección del flujo de cada punto no perteneciente a la red fluvial desde el punto en el que fluye hacia la red.

### La pendiente media del cauce principal (Sm):

“relación entre la altura total del cauce principal (cota máxima, H<sub>max</sub> menos cota mínima, H<sub>min</sub>) y la longitud del mismo, L de la figura”(Fiering y Jackson, 1971, P.35)

$$S_m = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{L} \quad (2.2)$$

La pendiente media ponderada (S<sub>mp</sub>) se define como la pendiente de la hipotenusa de un triángulo rectángulo, construido de modo que su vértice superior coincide con el punto de salida de la cuenca y su área es equivalente al área delimitada por el perfil longitudinal del río principal, desde la cabecera hasta su cota mínima en la desembocadura. Este método geométrico, representado en la figura adjunta, permite obtener un valor único y representativo de la pendiente general del cauce principal.



Fuente: Adoptada de (Cahuana y Yugar, 2009).

### 2.2.1.6 Tiempo de Concentración

El tiempo de concentración ( $T_c$ ) representa el período necesario para que toda la cuenca hidrográfica contribuya de manera efectiva al caudal en su punto de desagüe. Conceptual y operativamente, se define como el intervalo de tiempo que tarda una gota de agua precipitada en el punto hidráulicamente más alejado de la cuenca en recorrer la superficie y la red de drenaje hasta alcanzar la sección de salida o de control.

#### Kirpich

$$T_c = 0.06626 \left( \frac{L_p^2}{s} \right)^{0.385} \quad (2.3)$$

#### Temez

$$T_c = 0.126 \left( \frac{L_p}{s_p^{0.35}} \right)^{0.75} \quad (2.4)$$

#### Pasini

$$T_c = 0.023 \left( \frac{AL_p}{s_p} \right)^{0.5} \quad (2.5)$$

#### Pizarro

$$T_c = 13.548 \left( \frac{L^2}{H} \right)^{0.77} \quad (2.6)$$

### 2.2.1.7 Hietograma de diseño

---

Según [Fiering y Jackson \(1971\)](#), Un hietograma de diseño constituye una herramienta fundamental en hidrología, representando gráficamente la variación temporal de la intensidad de lluvia correspondiente a una tormenta de diseño. Su aplicación principal reside en la ingeniería hidrológica, donde se emplea para simular eventos de precipitación extrema con el objetivo de dimensionar y planificar infraestructuras hidráulicas como sistemas de drenaje, presas y obras de control de avenidas.

- Duración del evento (min, h)
- Distribución temporal de la lluvia
- Período de retorno
- Precipitación

### 2.2.1.8 Precipitación

---

Desde la perspectiva de la ingeniería hidrológica, la precipitación constituye el origen principal del agua en la superficie terrestre, por lo que su medición representa la base fundamental para la mayoría de los estudios relacionados con la gestión y el control de los recursos hídricos. En el presente capítulo se analizarán dos aspectos esenciales de este fenómeno: en primer lugar, los mecanismos de su generación y algunos métodos de predicción ante condiciones atmosféricas específicas, lo cual requerirá examinar conceptos básicos de meteorología; y en segundo lugar, las técnicas para su medición, junto con diversos criterios para el análisis, síntesis, corrección y procesamiento de los datos pluviométricos ([Cahuana y Yugar, 2009, P.113](#)).

### 2.2.1.9 Temperatura del aire atmosférico

---

La temperatura es un parámetro fundamental que cuantifica numéricamente el nivel de energía interna resultante del intercambio de calor entre la atmósfera y la superficie terrestre, indicando el estado de equilibrio térmico entre los sistemas biológicos y su entorno. La naturaleza gaseosa y fluida del aire le confiere una alta movilidad, potenciando su capacidad dinámica para estos intercambios. Esta transferencia de energía desencadena respuestas fisiológicas en los seres vivos, las cuales están moduladas por factores intrínsecos (como la edad, la estructura de la piel o la pigmentación en animales, y la disponibilidad de agua y nutrientes en plantas) y extrínsecos. Por consiguiente, el nivel energético ambiental, expresado a través de la temperatura, constituye un factor de análisis crítico cuya variación diurna está sujeta a la influencia de múltiples variables ([Cahuana y Yugar, 2009](#)).

### Temperatura máxima diaria de la atmósfera

“La temperatura máxima diaria se determina a partir del valor más elevado registrado en las 24 lecturas horarias obtenidas del termógrafo. Para garantizar la precisión del dato, estos registros son contrastados con las mediciones simultáneas del termómetro de mercurio, el cual sirve como instrumento de referencia para la verificación ”(Cahuana y Yugar, 2009).

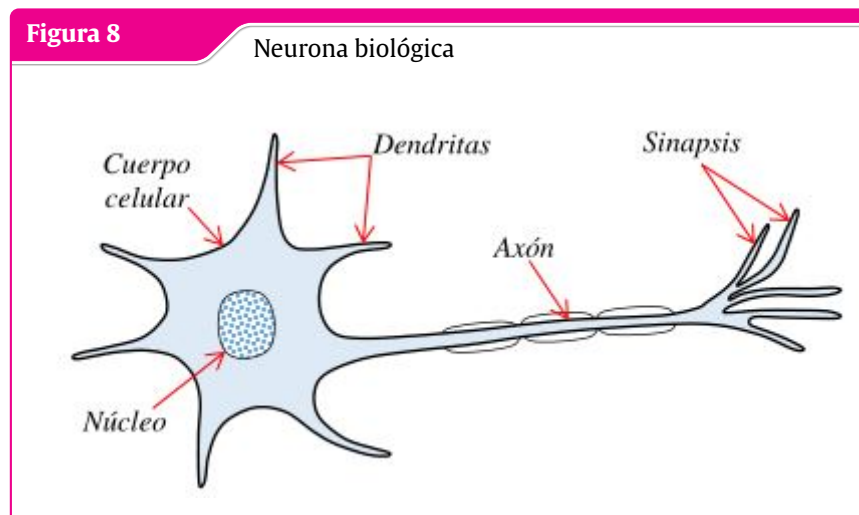
### Temperatura mínima diarias de la atmósfera

“La temperatura mínima diaria del aire se obtiene a partir de la mínima registrada dentro de los 24 registros horarios que surgen de la lectura de la banda de termógrafo”(Cahuana y Yugar, 2009).

## 2.2.2 Modelo de redes neuronales artificiales(RNA)

### 2.2.2.1 La neurona biológica

La unidad fundamental de una red neuronal, análoga a la neurona biológica, está compuesta por una estructura dendrítica arborescente que se conecta al soma o cuerpo celular, donde se aloja el núcleo. Desde este cuerpo neuronal se extiende una prolongación única denominada axón, la cual presenta ramificaciones en su segmento distal. Esta configuración estructural inspira el diseño computacional de las neuronas artificiales (Cahuana y Yugar, 2009, p.29).



Fuente: Adaptado de Salinas2009

### 2.2.2.2 La neurona artificial

Según Basogain Olabe (1998):

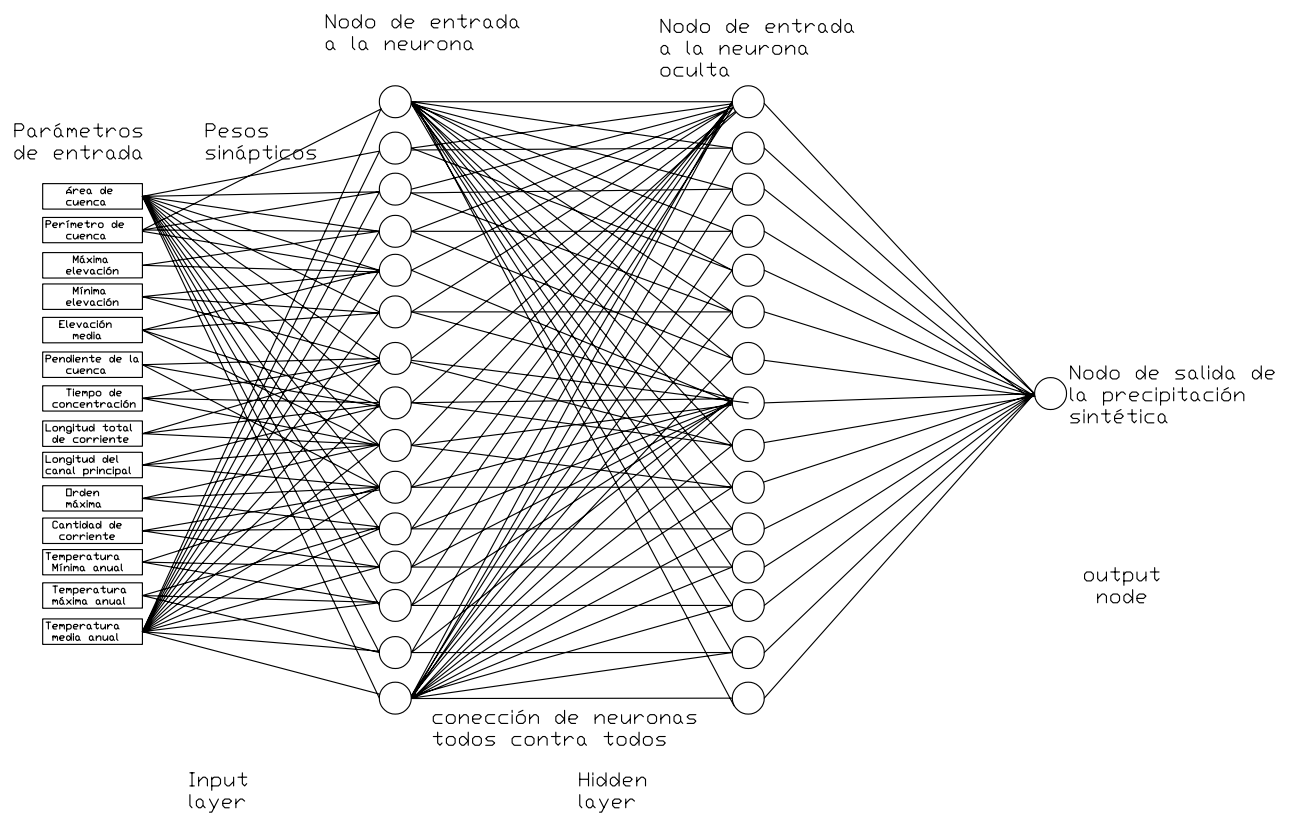
El diseño de la neurona artificial busca emular el funcionamiento esencial de su contraparte biológica. En su operación básica, la unidad recibe un conjunto de entradas, que representan las señales provenientes de otras neuronas. Cada una de estas señales es modulada por un factor de ponderación o "peso", análogo a la fuerza de la conexión sináptica. Posteriormente, se realiza la suma ponderada de todas las entradas, cuyo resultado determina el nivel de activación de la neurona. Este proceso fundamental puede representarse vectorialmente mediante una expresión matemática específica.

$$Z_j = \sum w_{ij} x_j - \theta_i \quad (2.7)$$

Siendo  $Z_j$  la salida,  $x$  el vector de entrada,  $w$  el vector de pesos y el umbral. Normalmente la señal de salida  $Z_j$  suele ser procesada por una función de activación  $f$  para producir la señal de salida de la neurona  $Y_i$ . La función  $f$  puede ser una función lineal, o una función umbral o una función no lineal que simula con mayor precisión las características de transferencia no lineales de las neuronas biológicas.[p.14]

Figura 9

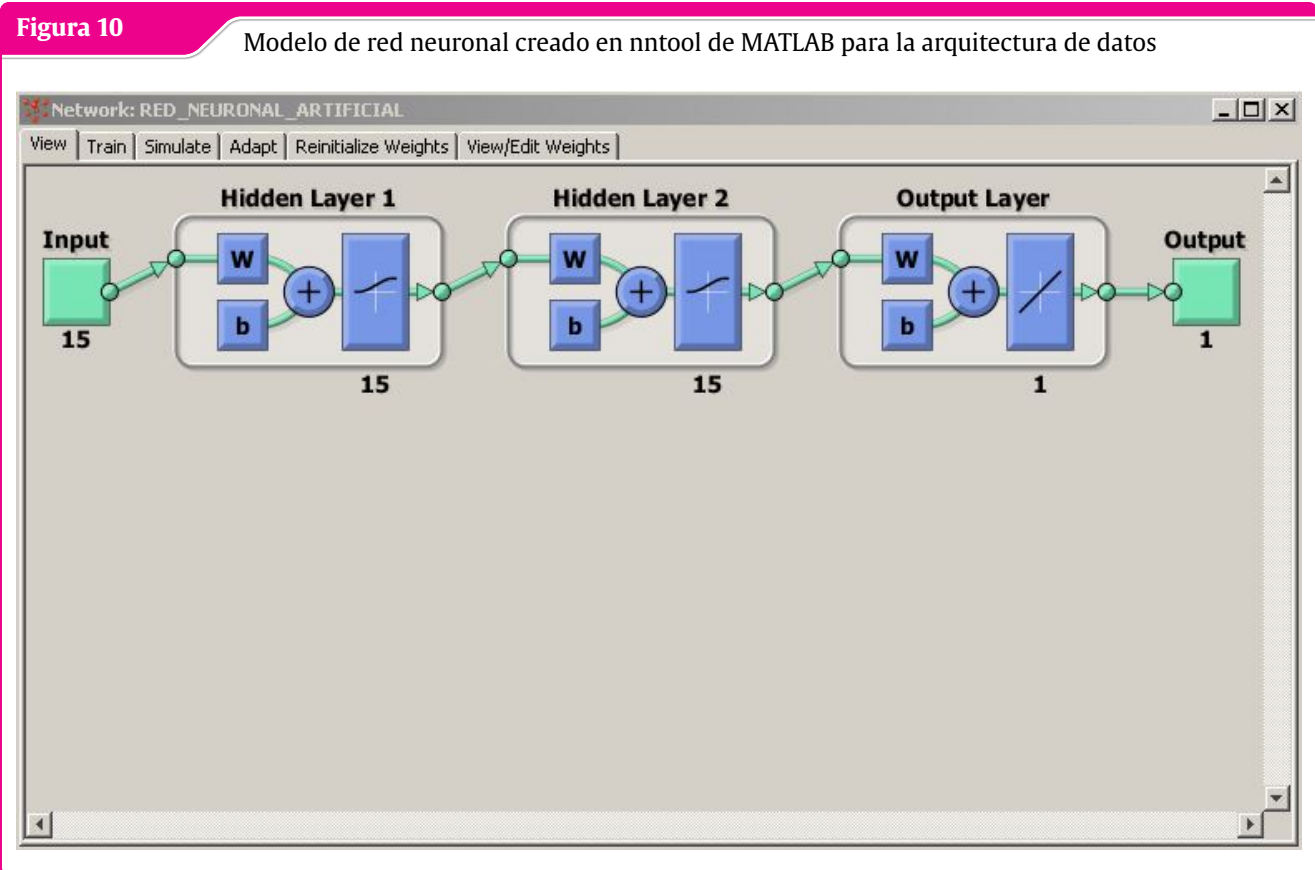
Parámetros de ingreso y salida junto a las capas del modelo de red neuronal implementado



Fuente: Elaboración propia

### 2.2.2.3 Elementos básicos de una red neuronal

puede apreciarse un esquema de una red neuronal artificial de tres capas con conexiones hacia delante:



Fuente: Elaboración propia

La arquitectura de la red neuronal está constituida por un conjunto de conexiones sinápticas representadas mediante pesos, las cuales se organizan en una estructura de capas —siendo tres la configuración básica, aunque este número puede variar—. El flujo de información sigue una trayectoria definida: los datos ingresan por la capa de entrada, son procesados a través de una o varias capas ocultas y finalmente se obtiene el resultado en la capa de salida. Es importante destacar que la capa oculta puede estar compuesta por múltiples subcapas, lo que incrementa la capacidad de procesamiento y abstracción del modelo (Socha y Ortiz, 2005, p.57)

### 2.2.2.4 Funciones de activaciones

Según Zhang y Patuwo (1998) “La función de activación también llamado función de transferencia. Ello determina la relación entre las entradas y salidas de un nodo y una red”.

- **Funciones lineales:** Son aquellos que dan una salida lineal

$$f(x) = x$$

$$f(x) = \begin{cases} -1 & \text{si } x \leq -1 \\ x & \text{si } -1 < x < 1 \\ 1 & \text{si } x \geq 1 \end{cases}$$

- **Funciones escalón:** Son aquellos que dan una salida binaria dependiente de si el valor de entrada está por encima o por debajo del valor umbral (Socha y Ortiz, 2005).

$$f(x) = \text{sgn}(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x \geq 0 \\ 0 & \text{si } x < 0 \end{cases}$$

- **Funciones sigmoideas:** Socha y Ortiz (2005) Son aquellas monótonas acotadas que dan una salida gradual no lineal para entradas. Las funciones sigmoideas más populares son :

**La función logística [0 a 1]:**

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$$

**La función tangente hiperbólica de [-1 a 1]:**

$$f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$$


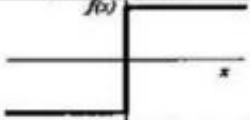
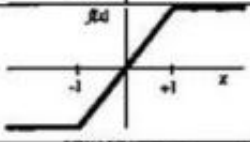

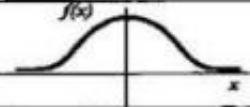
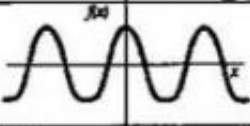
- **Función seno o coseno:**

$$f(x) = \text{sen}(x) ; f(x) = \text{cos}(x)$$

Aunque existen otras funciones de activación, se suelen utilizar la sigmoide y la tangente hiperbólica. Los motivos son que, no sólo se consiguen resultados bastante aceptables, sino que además son funciones computacionalmente poco costosas en comparación con otras existentes. Esto es debido, principalmente, a que su derivada es función de ellas mismas. (Socha y Ortiz, 2005).

Figura 11

Funciones de activaciones de redes neuronales

	Función	Rango	Gráfica
<b>Identidad</b>	$y = x$	$[-\infty, +\infty]$	
<b>Escalón</b>	$y = \text{sign}(x)$ $y = H(x)$	$\{-1, +1\}$ $\{0, +1\}$	
<b>Lineal a tramos</b>	$y = \begin{cases} -1, & \text{si } x < -l \\ x, & \text{si } -l \leq x \leq +l \\ +1, & \text{si } x > +l \end{cases}$	$[-1, +1]$	
<b>Sigmoidea</b>	$y = \frac{1}{1 + e^{-x}}$ $y = \text{tgh}(x)$	$[0, +1]$ $[-1, +1]$	
<b>Gaussiana</b>	$y = Ae^{-Bx^2}$	$[0, +1]$	
<b>Sinusoidal</b>	$y = A \text{sen}(ax + \varphi)$	$[-1, +1]$	

Fuente: Adaptado de Socha y Ortiz (2005)

### 2.2.2.5 Selección de las redes neuronales artificiales

Tenemos redes : Adaline y Madaline, ART, Back propagation ,BAM ,The Boltzman ,Machine Brain ,State in a Box ,Cascade Corelation Networks ,Counter Propagation,DBD, DNNA , DRS , FLN ,Hamming , Hopfield , LVQ ,Perceptron, PNN, Recirculation, SOM y SPR.

Respecto a la cuestión de cuántos tipos de RNA existen actualmente, se puede decir que se trata de un número inabarcable. Sin embargo, también se puede decir que del total hay aproximadamente 40 modelos que son bien conocidos por la comunidad de investigadores en RNA.(Montaño, 2002, P.35).

### 2.2.2.6 Conexiones entre neuronas

#### Algoritmo backpropagation

Según Montaño (2002):

El algoritmo de retropropagación opera en dos fases diferenciadas. La primera es una fase de funcionamiento o propagación hacia adelante, en la que un patrón de entrada es procesado a través de las capas de la red previamente entrenada para generar una salida. La segunda fase, de entrenamiento o aprendizaje, consiste en la propagación hacia atrás del error; aquí se ajustan iterativamente los pesos sinápticos de la red con el objetivo de minimizar la discrepancia entre la salida generada por la red y la salida deseada para ese patrón de entrada específico.

- **Monocapa:** una sola capa, ej. de este tipo de redes son el perceptrón y la Adaline.
- **Multicapa:** varias capas de neuronas, un ej. es el perceptrón multicapa

### **Conexiones hacia adelante y hacia atrás (feedforward/feedback)**

En las redes neuronales de tipo recurrente o retroalimentado, cada neurona puede establecer conexiones con todas las demás, generando bucles de realimentación. Al recibir una entrada, las neuronas iteran recalculando su estado de activación de forma sucesiva hasta alcanzar colectivamente un estado de equilibrio, donde las salidas de todas las unidades se estabilizan y no se producen más cambios. En este punto, al permanecer constantes tanto las entradas como las salidas, la red mantiene un estado global estable. Esta arquitectura, que incorpora fenómenos de retroalimentación, se considera una representación más fiel de la dinámica observada en el cerebro humano. (Gestal, 2013)

#### **2.2.2.7 Mecanismos de aprendizaje**

---

##### **Aprendizaje supervisado**

El aprendizaje supervisado consiste en presentar a la red neuronal un conjunto de datos de entrenamiento, cada uno de los cuales incluye un patrón de entrada y su correspondiente salida deseada. Mediante un proceso iterativo, la red ajusta automáticamente los pesos de sus conexiones sinápticas con el objetivo de minimizar la diferencia entre su salida calculada y el valor objetivo, hasta alcanzar una convergencia donde las respuestas de la red se aproximan a las deseadas. (Morales, 2010)

## Aprendizaje no supervisado o autoorganizado

El aprendizaje no supervisado, también denominado autoorganizado, permite a las redes neuronales identificar automáticamente patrones de similitud, correlación o estructura inherentes al conjunto de datos de entrenamiento, sin requerir retroalimentación externa ni información a priori. En este paradigma, la red opera de forma autónoma para descubrir características significativas, regularidades estadísticas, correlaciones o redundancias dentro de los datos, extrayendo así conocimiento directamente de la estructura interna de la información proporcionada. (Morales, 2010)

### 2.2.2.8 Datos disponibles en la RNA

se divide generalmente en dos o tres partes:

- **Serie de calibración:** Para determinar los pesos de las conexiones y los umbrales de los nodos.
- **Serie de validación:** Mide la habilidad de generalización de la red.
- **Serie de verificación:** Es opcional y se utiliza para verificar que la red no se sobre-entrene.

### 2.2.3 Marco conceptual

#### 2.2.3.1 Modelo de series de tiempo de autorregresión(AR(P))

1. Formas del modelo AR(P) según **Fiering y Jackson (1971)**:

$$Y_t = u + \sum_{j=1}^P \phi_j (Y_{t-j} - u) + \sigma (1 - R^2)^{\frac{1}{2}} \xi_t \quad (2.8)$$

Parámetros:

$$u; \sigma^2; \phi_j; \dots; \phi_P; R^2; (\sigma_\xi^2 = 1) \quad (2.9)$$

2. según **Yevjevich (1975)**:

$$\begin{aligned} Y_t &= u + \sigma Z_t \\ Z_t &= \sum_{j=1}^P \phi_j Z_{t-j} + \varepsilon_t \\ Z_t &= \sum_{j=1}^P \phi_j Z_{t-j} + \sigma_\varepsilon \xi_t \end{aligned} \quad (2.10)$$

Parámetros:

$$u; \sigma^2; \phi_j; \dots; \phi_P; \sigma_\varepsilon^2; (\sigma_\xi^2 = 1) \quad (2.11)$$

3. Formas del modelo AR(P) según Salas y Yevjevich (1980):

$$\begin{aligned}
 Y_t &= u + \sum_{j=1}^P \phi_j (Y_{t-j} - u) + \varepsilon_t \\
 Y_t &= u + \sum_{j=1}^P \phi_j (Y_{t-j} - u) + \sigma_\varepsilon \xi_t
 \end{aligned}
 \tag{2.12}$$

Parámetros:

$$; \phi_1, \dots, \phi_P ; \sigma_\varepsilon^2
 \tag{2.13}$$

4. Formas del modelo AR(P) según Salas y Yevjevich (1980):

$$\begin{aligned}
 Y_t &= u + \sigma Z_t \\
 Z_t &= \sum_{j=1}^P \phi_j Z_{t-j} + \varepsilon_t \\
 Z_t &= \sum_{j=1}^P \phi_j Z_{t-j} + \sigma_\varepsilon \xi_t
 \end{aligned}
 \tag{2.14}$$

Parámetros:

$$u ; \phi_1, \dots, \phi_P ; \sigma_\varepsilon^2 ; (\sigma_\xi^2 = 1)
 \tag{2.15}$$

**2.2.3.2 Modelos de Media móvil(MA(q))**

---

$$\begin{aligned}
 Z_t &= \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_j \varepsilon_{t-j} \\
 Z_t &= \varepsilon_t - \sum_{j=0}^q \theta_j \varepsilon_{t-j}
 \end{aligned}
 \tag{2.16}$$

Donde:

Por conveni3n  $\theta_0 = -1$

$u = \text{media}$

**2.2.3.3 Modelos de Autoregresi3n y Media m3vil(ARMA(p,q))**

---

$$\begin{aligned}
 Y_t &= u + Z_t \\
 Z_t &= \varphi_1 Z_{t-1} + \varphi_2 Z_{t-2} + \dots + \varphi_p Z_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q}
 \end{aligned}
 \tag{2.17}$$

### 2.2.3.4 Modelos de Autoregresión integrado y Media móvil (ARIMA(p,d,q))

La diferenciación de la serie de tiempo puede utilizarse para eliminar su no estacionalidad. La diferenciación de primer orden se define por:

$$u_t = x_t - x_{t-1} \quad (2.18)$$

tomar la primera diferencia de una serie elimina o atenúa los componentes de baja frecuencia de la serie, por lo que diferenciar una vez puede ser útil para eliminar la tendencia de una serie o en los casos en que la serie no es estacionaria en la media o en el nivel si la serie es no estacionaria tanto en el nivel como en la pendiente entonces se necesitan dos operaciones consecutivas de diferenciación en este caso la segunda diferencia de la serie está representada por

$$w_t = u_t - u_{t-1} = (x_t - x_{t-1}) - (x_{t-1} - x_{t-2}) = x_t - 2x_{t-1} + x_{t-2} \quad (2.19)$$

En general, la operación de diferenciación puede realizarse varias veces, pero en la práctica sólo se utilizan una o dos operaciones de diferenciación.

si la serie presenta periodicidad, se puede utilizar la diferenciación estacional

$$u_t = x_t - x_{t-w} \quad (2.20)$$

donde  $w$  es el período . típicamente  $w$  es igual a 12 para las series mensuales si es necesario para lograr la estacionalidad la diferencia estacional podría repetirse  $D$  veces por ejemplo para  $D=2$  y  $w=12$

$$w_t = u_t - u_{t-12} = (x_t - x_{t-12}) - (x_{t-12} - x_{t-24}) = x_t - 2x_{t-12} + x_{t-24} \quad (2.21)$$

la diferenciación por sí sola puede no ser suficiente para lograr la estacionariedad la transformación logarítmica de los datos también puede ser útil, ya que los cambios en los logaritmos son esencialmente cambios porcentuales otras transformaciones también pueden ser utilizadas. El comportamiento de la serie diferenciada  $W_t$  o  $U_t$  puede ser representado por un proceso de ARMA(p,q) estacionario .

El modelo para ARIMA(p,d,q) donde los parámetros  $p$  y  $q$  indican el orden de los componentes de autoregresión y media móvil y  $d$  es el número de operación de diferencias necesarias para obtener la  $u_t$  series estacionarias.

$$u_t = \sum_{i=1}^p \phi_i u_{t-i} + \varepsilon_t - \sum_{i=1}^q \theta_i \varepsilon_{t-i} \quad (2.22)$$

el modelo para  $X_t$  denominado ARIMA(p,d,q) donde los parámetros p y q indican el orden de las componentes autorregresiva y media móvil y “d” es el número de operaciones de diferenciación necesarias para obtener la serie  $U_t$  estacionaria. Para d=1 y sustituyendo  $U_t$  por  $X_t - X_{t-1}$  obtenemos:

$$x_t = x_{t-1} + \phi_1(x_{t-1} - x_{t-2}) + \dots + \phi_p(x_{t-p} - x_{t-p-1}) + \varepsilon_t - \theta_1\varepsilon_{t-1} - \theta_2\varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q\varepsilon_{t-q} \quad (2.23)$$

Aunque la serie  $U_t$  generada por la ecuación anterior estacionaria, la serie  $X_t$  generada por la ecuación es no estacionaria. De hecho

$$x_t = (x_t - x_{t-1}) + (x_{t-1} - x_{t-2}) + (x_{t-2} - x_{t-3}) + \dots = u_t + u_{t-1} + u_{t-2} + \dots \quad (2.24)$$

donde:

$U_t$ =diferencia de operaciones

$X_t$  es no estacionaria con varianza infinita.

*“La inteligencia consiste no solo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica.”*

– Aristóteles

## 3 Método de la investigación

### 3.1 Enfoque.

---

La presente investigación tendrá un enfoque cuantitativo, porque los cálculos se realizan con valores numéricos para los histogramas de diseño y para las precipitaciones sintéticas trabajan con valores numéricos para determinar los valores utilizando modelos de Feedforward- Backpropagation.

### 3.2 Alcance

---

El alcance de la investigación utilizada en la presente investigación es de un nivel Descriptivo, porque se describirá la obtención de los histogramas sintéticos para la cuenca del puente Llochaccniyocc, previa investigación en otros países como se menciona en los antecedentes de investigación.

### 3.3 Diseño de investigación

---

El diseño de investigación será longitudinal porque se recolectará datos de precipitaciones de los registros históricos de años pasados como series de tiempo por lo que la investigación es longitudinal de varios momentos para la investigación .

### 3.4 Población y muestra

---

#### 3.4.1 Población

---

En la presente investigación la población según la Autoridad Nacional del Agua (ANA), es la cuenca de Pampas con un área de 23,113 km<sup>2</sup>.

#### 3.4.2 Muestra

---

Para la muestra en la investigación se eligió el muestreo no probabilístico discreto por conveniencia, eligiendo la Microcuenca delimitada del puente Llochaccniyocc con un área de 5,9 km<sup>2</sup>, la cual será analizada para la determinación de los histogramas de diseño.

### 3.5 Hipótesis

---

#### 3.5.1 Hipótesis general

---

El modelo de redes neuronales perceptrón multicapa pueden estimar los Hietogramas de diseño en la cuenca Llochacniyocc, Ayacucho, 2025.

### 3.5.2 Hipótesis específicas

- ① El modelo de redes neuronales perceptrón multicapa pueden estimar las precipitaciones máximas diarias anuales en la cuenca Llochacniyocc, Ayacucho, 2025.
- ② El entrenamiento de los datos de precipitaciones máximas diarias anuales pueden determinar el modelo de redes neuronales perceptrón multicapa en la cuenca Llochacniyocc, Ayacucho, 2025.
- ③ La validación de los datos de precipitaciones máximas diarias anuales pueden determinar el modelo de redes neuronales perceptrón multicapa en la cuenca Llochacniyocc, Ayacucho, 2025.

## 3.6 Operacionalización de variables, definición conceptual

### 3.6.1 Variables e indicadores

La operacionalización de variables se muestra a continuación en la siguiente tabla:

**Tabla 3:** Variables, Dimensiones, indicadores y unidades

Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidades
Hietograma de diseño	Precipitación sintética.	área	(km <sup>2</sup> )
		Perimetro	(m)
	Entrenamiento	Altura promedio	(m)
		tiempo de concentración	(hrs)
	Validación	Flujo medio	(m)
		Precipitación	(mm)

## 3.7 Técnicas e instrumentos

### 3.7.1 Técnicas

Análisis documental .

### 3.7.2 Instrumentos

registros .

## 3.8 Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información

La técnica de regresión lineal múltiple y la tabla ANOVA para contratación de hipótesis y verificación entre la relación de variables e indicadores.

## 3.9 Desarrollo del trabajo de tesis

### 3.9.1 Obtención de la set data

Para la presente investigación se obtiene la data de 100 cuencas entre cuenca pequeñas medianas y grandes sustraídos los parámetros morfométricos y físicos de la cuenca para el ingreso de parámetros a la red neuronal artificial y para la salida de la red neuronal artificial se cuentan con los datos de precipitación obtenidos del PISCO-SENAMHI las cuales, son utilizadas para determinar el mejor modelo de red neuronal artificial.

**Tabla 4:** Simbología de los Características físicas y parámetros morfométricos de la cuenca

Simbología	Parámetros físico y morfométricos
P1	Área
P2	Perimetro
P3	Máxima elevacion
P4	Mínima elevación
P5	Elevación media
P6	Pendiente media
P7	Vector de dirección
P8	Coficiente compacidad
P9	Ratio de circularidad
P10	Diametro topológico
P11	Relación de Alargamiento
P12	Factor de forma
P13	Tiempo de Concentración
P14	Longitud de canal
P15	Pendiente del Canal
P16	Longitud de la Ladera principal
P17	orden máxima

<b>P18</b>	cantidad de flujo de Corrientes
<b>P19</b>	Longitud de flujo de Corriente
<b>P20</b>	Frecuencia de flujo
<b>P21</b>	Densidad drenaje
<b>P22</b>	Relación de Bifurcación
<b>P23</b>	Relación de Longitud
<b>P24</b>	Relación de Área
<b>P25</b>	Relación de Pendiente

*Fuente:* Elaboración Propia

**Tabla 5:** Simbología de la precipitación media de la cuenca

<b>Simbología</b>	<b>Precipitación media (mm) de la cuenca</b>
<b>Prec.1981</b>	Precipitación media del año 1981
<b>Prec.1982</b>	Precipitación media del año 1982
<b>Prec.1983</b>	Precipitación media del año 1983
<b>Prec.1984</b>	Precipitación media del año 1984
<b>Prec.1985</b>	Precipitación media del año 1985
<b>Prec.1986</b>	Precipitación media del año 1986
<b>Prec.1987</b>	Precipitación media del año 1987
<b>Prec.1988</b>	Precipitación media del año 1988
<b>Prec.1989</b>	Precipitación media del año 1989
<b>Prec.1990</b>	Precipitación media del año 1990
<b>Prec.1991</b>	Precipitación media del año 1991
<b>Prec.1992</b>	Precipitación media del año 1992
<b>Prec.1993</b>	Precipitación media del año 1993
<b>Prec.1994</b>	Precipitación media del año 1994
<b>Prec.1995</b>	Precipitación media del año 1995
<b>Prec.1996</b>	Precipitación media del año 1996
<b>Prec.1997</b>	Precipitación media del año 1997
<b>Prec.1998</b>	Precipitación media del año 1998
<b>Prec.1999</b>	Precipitación media del año 1999
<b>Prec.2000</b>	Precipitación media del año 2000
<b>Prec.2001</b>	Precipitación media del año 2001
<b>Prec.2002</b>	Precipitación media del año 2002
<b>Prec.2003</b>	Precipitación media del año 2003

<b>Prec.2004</b>	Precipitación media del año 2004
<b>Prec.2005</b>	Precipitación media del año 2005
<b>Prec.2006</b>	Precipitación media del año 2006
<b>Prec.2007</b>	Precipitación media del año 2007
<b>Prec.2008</b>	Precipitación media del año 2008
<b>Prec.2009</b>	Precipitación media del año 2009
<b>Prec.2010</b>	Precipitación media del año 2010
<b>Prec.2011</b>	Precipitación media del año 2011
<b>Prec.2012</b>	Precipitación media del año 2012
<b>Prec.2013</b>	Precipitación media del año 2013
<b>Prec.2014</b>	Precipitación media del año 2014
<b>Prec.2015</b>	Precipitación media del año 2015
<b>Prec.2016</b>	Precipitación media del año 2016

---

**Fuente:** Elaboración Propia

Para la presente investigación la obtención de la Data Set es obtenido a partir de las delimitaciones de las subcuencas utilizando programas GIS para la extracción de los parámetros morfométricos y los parámetros físicos, donde para el ingreso a la Red Neuronal Artificial los parámetros de ingreso están simbolizados para los 25 parámetros de ingreso

Tabla 6: Parámetros de ingreso de las subcuencas para el entrenamiento, la validación y la prueba de la Red Neuronal Artificial

SUBCUENCAS	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25
Subcuenca1	640.8	159.2	4825.9	3391.1	4253.2	9.1	11.5	5.6	0.3	51.0	0.6	12.7	5.8	50.6	2.5	1344.4	5.0	189.0	438.6	0.2	0.7	3.4	1.8	3.7	1.2
Subcuenca2	10.6	16.9	4034.7	2810.5	3405.2	18.9	2.6	4.6	0.5	2.0	1.0	2.8	0.7	3.8	16.8	290.4	2.0	3.0	4.0	0.2	0.4	2.0	6.9	5.6	0.9
Subcuenca3	23.2	21.5	4111.8	2589.2	3417.8	21.4	2.7	4.0	0.6	6.0	1.2	5.1	0.8	4.6	19.7	1771.0	2.0	6.0	8.9	0.2	0.4	5.0	1.8	5.8	1.5
Subcuenca4	134.0	72.2	4492.3	2405.6	3766.6	22.8	9.2	5.5	0.3	24.0	0.5	5.2	2.3	26.0	7.7	231.2	3.0	27.0	70.6	0.2	0.5	4.9	2.8	5.9	1.8
Subcuenca5	55.0	35.6	4703.3	2879.5	3622.6	18.6	4.7	4.3	0.5	7.0	0.8	4.9	1.4	11.1	10.4	702.4	3.0	13.0	29.1	0.1	0.5	3.0	1.5	3.5	1.3
Subcuenca6	50.6	45.9	5271.9	4503.9	4756.4	11.9	3.6	5.7	0.3	7.0	0.6	4.0	2.1	12.7	2.6	242.8	3.0	10.0	29.4	0.1	0.6	2.6	0.8	0.8	3.4
Subcuenca7	5.5	9.8	4375.2	3584.9	3961.6	28.6	1.1	3.7	0.7	1.0	1.7	3.5	0.5	1.5	8.1	57.0	1.0	1.0	1.6	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Subcuenca8	26.1	25.4	4402.9	3135.9	3851.2	19.2	3.2	4.4	0.5	6.0	0.9	4.0	1.1	6.5	12.3	756.7	2.0	6.0	12.9	0.2	0.5	5.0	2.9	7.8	1.9
Subcuenca9	105.8	56.4	4748.3	3013.7	4203.6	15.2	7.6	4.9	0.4	7.0	0.6	5.6	2.1	19.1	8.0	216.2	3.0	22.0	59.5	0.1	0.6	4.0	2.3	5.2	1.1
Subcuenca10	15.8	24.2	4326.3	3632.1	3976.4	9.4	3.5	5.4	0.3	2.0	0.6	2.2	1.3	7.2	7.8	197.3	2.0	3.0	8.9	0.1	0.6	2.0	0.1	2.0	1.2
Subcuenca11	485.8	127.4	4615.2	2872.3	3896.5	14.4	15.7	5.1	0.4	35.0	0.7	12.7	4.4	38.2	3.7	237.7	5.0	117.0	305.7	0.2	0.6	3.1	1.6	3.4	1.4
Subcuenca12	121.2	69.2	4508.9	3323.9	4052.9	9.3	11.2	5.6	0.3	15.0	0.5	4.5	3.1	26.9	3.9	468.5	4.0	31.0	74.5	0.2	0.6	2.8	1.9	3.2	1.2
Subcuenca13	9.4	16.7	4541.8	4148.0	4333.4	10.0	2.7	4.8	0.4	3.0	0.8	2.1	1.2	4.4	3.9	129.5	2.0	4.0	5.6	0.2	0.6	3.0	1.7	3.6	1.4
Subcuenca14	43.5	33.1	4326.4	2023.7	3236.5	28.8	4.7	4.5	0.5	8.0	0.8	4.9	1.0	8.8	19.9	608.8	3.0	12.0	22.0	0.2	0.5	3.0	1.7	3.6	1.7
Subcuenca15	49.2	38.4	5076.9	3229.7	4316.0	23.6	6.8	4.9	0.4	10.0	0.6	3.7	1.4	13.5	10.0	170.4	2.0	12.0	24.5	0.2	0.5	11.0	13.2	19.0	1.9
Subcuenca16	29.0	26.8	4461.6	2826.8	3824.3	20.2	4.1	4.4	0.5	5.0	0.7	3.2	1.1	9.0	15.8	602.0	3.0	9.0	18.7	0.2	0.6	2.5	0.3	3.4	1.3
Subcuenca17	9.1	14.1	4294.7	3877.0	4080.6	9.6	1.9	4.1	0.6	1.0	1.1	2.8	1.0	3.2	6.7	94.0	1.0	1.0	3.3	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
Subcuenca18	47.1	36.9	4391.5	2714.2	3889.0	22.0	5.6	4.8	0.4	7.0	0.6	3.6	1.4	13.1	11.2	482.0	3.0	11.0	27.9	0.1	0.6	2.8	1.0	3.3	1.5
Subcuenca19	11.0	16.0	4928.1	4503.0	4709.9	13.6	2.8	4.3	0.5	2.0	0.8	2.4	1.2	4.6	3.8	126.4	2.0	3.0	7.9	0.2	0.7	2.0	0.3	2.2	1.6
Subcuenca20	6.4	11.9	4081.0	3136.6	3567.1	17.8	2.0	4.2	0.6	1.0	1.7	3.7	0.5	1.7	12.0	71.0	1.0	1.0	1.7	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Subcuenca21	38.3	34.1	4142.1	3451.5	3723.4	8.8	4.9	4.9	0.4	8.0	0.7	3.6	1.9	10.7	3.1	91.6	3.0	17.0	26.2	0.2	0.7	3.5	2.5	4.2	1.2
Subcuenca22	552.5	136.6	4345.0	3067.2	3719.8	10.6	16.5	5.2	0.4	38.0	0.6	12.6	5.6	43.8	2.5	769.9	5.0	137.0	396.7	0.1	0.7	3.2	1.5	3.6	1.4
Subcuenca23	456.0	111.1	5050.4	3685.5	4217.8	15.7	5.8	4.7	0.5	8.9	0.8	4.3	4.7	35.0	2.8	321.0	5.0	100.0	265.6	0.2	0.6	3.1	2.2	4.2	1.2
Subcuenca24	37.3	31.6	4686.4	2776.5	3802.2	26.2	5.8	4.7	0.5	8.9	0.8	4.3	1.0	7.9	19.8	321.0	3.0	13.0	20.0	0.2	0.6	3.1	2.2	4.2	1.2
Subcuenca25	24.3	24.1	3872.1	2418.3	3151.8	21.8	5.3	4.6	0.5	8.4	0.8	4.3	1.0	6.4	13.2	327.4	2.0	5.0	9.7	0.2	0.6	3.1	2.2	4.3	1.2
Subcuenca26	640.8	159.2	4825.9	3391.1	4253.2	9.1	11.5	5.6	0.3	51.0	0.6	12.7	5.8	50.6	2.5	1344.4	5.0	189.0	438.6	0.2	0.7	3.4	1.8	3.7	1.2
Subcuenca27	10.6	16.9	4034.7	2810.5	3405.2	18.9	2.6	4.6	0.5	2.0	1.0	2.8	0.7	3.8	16.8	290.4	2.0	3.0	4.0	0.2	0.4	2.0	6.9	5.6	0.9
Subcuenca28	23.2	21.5	4111.8	2589.2	3417.8	21.4	2.7	4.0	0.6	6.0	1.2	5.1	0.8	4.6	19.7	1771.0	2.0	6.0	8.9	0.2	0.4	5.0	1.8	5.8	1.5
Subcuenca29	134.0	72.2	4492.3	2405.6	3766.6	22.8	9.2	5.5	0.3	24.0	0.5	5.2	2.3	26.0	7.7	231.2	3.0	27.0	70.6	0.2	0.5	4.9	2.8	5.9	1.8
Subcuenca30	55.0	35.6	4703.3	2879.5	3622.6	18.6	4.7	4.3	0.5	7.0	0.8	4.9	1.4	11.1	10.4	702.4	3.0	13.0	29.1	0.1	0.5	3.0	1.5	3.5	1.3
Subcuenca31	50.6	45.9	5271.9	4503.9	4756.4	11.9	3.6	5.7	0.3	7.0	0.6	4.0	2.1	12.7	2.6	242.8	3.0	10.0	29.4	0.1	0.6	2.6	0.8	0.8	3.4
Subcuenca32	5.5	9.8	4375.2	3584.9	3961.6	28.6	1.1	3.7	0.7	1.0	1.7	3.5	0.5	1.5	8.1	57.0	1.0	1.0	1.6	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Subcuenca149	38.3	34.1	4142.2	3451.6	3723.2	8.8	4.9	5.0	0.4	8.0	0.7	3.6	1.9	10.8	3.1	91.5	3.0	17.0	26.3	0.2	0.7	3.5	2.4	4.3	1.2

<b>Subcuenca150</b>	47.1	36.9	4391.5	2714.1	3889.0	21.9	5.6	4.8	0.5	7.1	0.6	3.5	1.5	13.1	11.3	482.0	3.0	11.0	27.9	0.2	0.5	2.8	1.1	3.3	1.6
<b>Subcuenca151</b>	24.3	24.0	3872.0	2418.3	3151.8	21.9	5.2	4.5	0.5	8.5	0.8	4.2	0.9	6.5	13.2	327.4	2.1	5.0	9.6	0.3	0.6	3.1	2.2	4.2	1.1
<b>Subcuenca152</b>	485.8	127.4	4615.3	2872.4	3896.6	14.3	15.7	5.1	0.3	34.9	0.7	12.8	4.3	38.1	3.7	237.8	5.0	117.0	305.7	0.3	0.5	3.1	1.5	3.3	1.4
<b>Subcuenca153</b>	11.0	16.0	4928.1	4503.1	4710.0	13.6	2.9	4.3	0.5	2.0	0.9	2.5	1.2	4.6	3.7	126.3	2.0	3.0	7.8	0.2	0.7	2.0	0.3	2.1	1.5
<b>Subcuenca154</b>	26.1	25.3	4402.8	3135.9	3851.3	19.2	3.3	4.4	0.5	5.9	0.9	4.1	1.0	6.5	12.3	756.8	1.9	6.1	12.9	0.2	0.4	5.0	2.8	7.8	1.9
<b>Subcuenca155</b>	37.3	31.6	4686.4	2776.5	3802.1	26.1	5.7	4.7	0.4	8.8	0.7	4.2	1.0	8.0	19.8	321.0	2.9	12.9	20.0	0.2	0.5	3.1	2.2	4.1	1.3
<b>Subcuenca156</b>	29.0	26.7	4461.7	2826.8	3824.2	20.1	4.1	4.3	0.5	5.0	0.7	3.3	1.1	9.0	15.8	601.9	2.9	9.0	18.7	0.2	0.6	2.5	0.3	3.3	1.4
<b>Subcuenca157</b>	38.3	34.0	4142.0	3451.5	3723.5	8.7	5.0	4.9	0.5	8.0	0.7	3.5	1.9	10.7	3.1	91.6	3.0	16.9	26.2	0.2	0.8	3.4	2.4	4.3	1.2
<b>Subcuenca158</b>	9.1	14.1	4294.7	3877.1	4080.5	9.7	2.0	4.2	0.5	1.0	1.0	2.9	1.0	3.2	6.6	94.0	1.0	1.1	3.3	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Subcuenca159</b>	121.3	69.3	4508.9	3323.9	4052.8	9.3	11.2	5.6	0.4	14.9	0.6	4.5	3.1	26.9	4.0	468.4	4.0	31.0	74.6	0.1	0.7	2.8	2.0	3.2	1.1
<b>Subcuenca160</b>	24.2	24.1	3872.1	2418.4	3151.8	21.9	5.3	4.7	0.5	8.4	0.8	4.2	1.0	6.4	13.0	327.5	2.0	4.9	9.6	0.1	0.5	3.1	2.2	4.3	1.2
<b>Subcuenca161</b>	55.0	35.6	4703.4	2879.5	3622.6	18.6	4.7	4.2	0.6	7.0	0.8	5.0	1.4	11.1	10.4	702.4	2.9	13.0	29.1	0.1	0.6	3.0	1.6	3.5	1.4
<b>Subcuenca162</b>	105.7	56.4	4748.4	3013.8	4203.4	15.2	7.6	4.8	0.3	7.1	0.6	5.6	2.1	19.1	8.0	216.1	2.9	22.0	59.5	0.1	0.6	4.1	2.3	5.3	1.0
<b>Subcuenca163</b>	24.3	24.0	3872.1	2418.2	3151.7	21.8	5.3	4.6	0.5	8.4	0.9	4.3	1.0	6.3	13.1	327.4	2.0	5.0	9.7	0.2	0.6	3.1	2.2	4.2	1.3
<b>Subcuenca164</b>	485.8	127.4	4615.2	2872.3	3896.5	14.4	15.7	5.2	0.4	35.0	0.6	12.7	4.3	38.1	3.8	237.7	5.1	116.9	305.7	0.1	0.6	3.0	1.6	3.3	1.5
<b>Subcuenca165</b>	134.0	72.2	4492.4	2405.6	3766.6	22.8	9.2	5.6	0.3	24.0	0.5	5.2	2.3	25.8	7.6	231.2	3.1	27.0	70.6	0.2	0.6	4.9	2.8	5.8	1.9
<b>Subcuenca166</b>	552.5	136.6	4344.9	3067.1	3719.9	10.5	16.5	5.1	0.3	38.0	0.6	12.6	5.6	43.8	2.6	770.0	5.1	137.0	396.7	0.2	0.7	3.2	1.5	3.6	1.4
<b>Subcuenca167</b>	9.4	16.7	4541.7	4148.0	4333.4	10.0	2.7	4.8	0.5	3.0	0.9	2.1	1.2	4.3	3.8	129.5	2.0	4.0	5.6	0.3	0.6	3.1	1.7	3.6	1.5
<b>Subcuenca168</b>	11.0	16.0	4928.1	4503.1	4709.9	13.6	2.7	4.3	0.6	2.0	0.9	2.4	1.3	4.7	3.8	126.4	2.1	3.0	7.8	0.2	0.6	1.9	0.4	2.2	1.6
<b>Subcuenca169</b>	29.1	26.8	4461.7	2826.8	3824.3	20.1	4.1	4.5	0.5	5.0	0.6	3.4	1.1	9.0	15.7	602.0	2.9	9.0	18.7	0.2	0.7	2.5	0.3	3.4	1.3
<b>Subcuenca170</b>	15.8	24.2	4326.1	3632.1	3976.5	9.4	3.4	5.4	0.3	2.0	0.6	2.2	1.3	7.2	7.8	197.3	2.0	3.1	8.8	0.1	0.6	2.0	0.1	2.1	1.2
<b>Subcuenca171</b>	55.1	35.7	4703.4	2879.5	3622.6	18.6	4.8	4.2	0.6	6.9	0.8	4.9	1.4	11.1	10.4	702.4	3.0	12.9	29.0	0.1	0.6	3.0	1.5	3.6	1.4
<b>Subcuenca172</b>	9.1	14.2	4294.7	3877.0	4080.6	9.6	1.9	4.2	0.7	1.0	1.1	2.8	1.1	3.3	6.7	94.0	1.0	1.0	3.2	0.1	0.4	0.0	0.0	0.1	0.0
<b>Subcuenca173</b>	38.3	34.0	4142.1	3451.5	3723.3	8.7	4.9	4.8	0.4	8.0	0.6	3.5	1.9	10.7	3.1	91.5	3.0	17.0	26.1	0.3	0.8	3.5	2.5	4.3	1.2
<b>Subcuenca174</b>	105.8	56.4	4748.3	3013.8	4203.6	15.2	7.6	4.9	0.5	7.0	0.6	5.6	2.1	19.0	8.1	216.3	2.9	22.0	59.5	0.2	0.6	3.9	2.3	5.2	1.1
<b>Subcuenca175</b>	121.2	69.2	4509.0	3323.9	4053.0	9.3	11.2	5.6	0.4	15.0	0.5	4.5	3.1	26.9	4.0	468.5	4.0	31.0	74.5	0.2	0.6	2.9	2.0	3.1	1.2
<b>Subcuenca176</b>	37.3	31.5	4686.5	2776.5	3802.3	26.1	5.8	4.6	0.4	9.0	0.8	4.3	1.0	8.1	19.8	321.0	3.0	13.0	20.0	0.1	0.6	3.0	2.2	4.2	1.2
<b>Subcuenca177</b>	485.7	127.4	4615.2	2872.3	3896.5	14.4	15.7	5.2	0.4	35.0	0.7	12.6	4.3	38.1	3.7	237.8	5.0	117.0	305.7	0.2	0.5	3.2	1.6	3.4	1.4
<b>Subcuenca178</b>	23.2	21.5	4111.9	2589.3	3417.8	21.4	2.6	4.0	0.7	6.0	1.2	5.2	0.8	4.6	19.7	1771.1	1.9	6.0	8.8	0.2	0.4	5.0	1.9	5.8	1.5
<b>Subcuenca179</b>	11.0	16.0	4928.0	4503.0	4709.9	13.7	2.8	4.4	0.6	2.0	0.9	2.4	1.2	4.6	3.8	126.4	2.0	3.0	7.9	0.3	0.8	2.1	0.5	2.1	1.6
<b>Subcuenca180</b>	47.1	36.9	4391.6	2714.2	3888.9	22.0	5.5	4.7	0.4	7.0	0.6	3.6	1.4	13.1	11.2	482.1	3.0	11.0	27.8	0.1	0.6	2.9	1.1	3.3	1.5
<b>Subcuenca181</b>	9.2	14.1	4294.8	3877.1	4080.6	9.6	2.0	4.1	0.5	1.0	1.0	2.8	1.1	3.2	6.6	94.0	1.1	0.9	3.2	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Subcuenca182</b>	9.4	16.7	4541.8	4148.0	4333.5	10.0	2.7	4.8	0.5	3.0	0.8	2.1	1.2	4.5	3.9	129.6	2.0	4.1	5.7	0.2	0.4	3.1	1.6	3.6	1.5
<b>Subcuenca183</b>	134.0	72.2	4492.3	2405.7	3766.7	22.9	9.3	5.5	0.4	24.0	0.6	5.1	2.4	26.0	7.7	231.2	3.0	27.0	70.6	0.2	0.5	4.9	2.8	5.8	1.8
<b>Subcuenca184</b>	38.3	34.1	4142.1	3451.5	3723.3	8.8	4.9	4.9	0.4	8.0	0.6	3.5	2.0	10.7	3.1	91.7	3.0	17.0	26.1	0.3	0.6	3.5	2.5	4.3	1.3
<b>Subcuenca185</b>	29.0	26.8	4461.6	2826.8	3824.3	20.2	4.1	4.5	0.5	4.9	0.7	3.2	1.0	9.0	15.7	602.0	3.0	9.0	18.7	0.1	0.7	2.5	0.3	3.3	1.4

<b>Subcuenca186</b>	105.8	56.3	4748.3	3013.7	4203.6	15.3	7.6	4.9	0.4	7.0	0.6	5.5	2.1	19.0	8.1	216.2	2.9	22.0	59.4	0.0	0.6	3.9	2.3	5.2	1.0
<b>Subcuenca187</b>	55.0	35.6	4703.3	2879.6	3622.6	18.5	4.8	4.3	0.6	7.0	0.8	5.0	1.4	11.1	10.4	702.4	3.0	13.0	29.1	0.1	0.5	2.9	1.5	3.5	1.3
<b>Subcuenca188</b>	50.6	46.0	5271.9	4503.9	4756.2	11.9	3.5	5.7	0.3	7.0	0.6	3.9	2.2	12.6	2.6	242.9	3.0	10.0	29.4	0.1	0.6	2.6	0.9	0.9	3.5
<b>Subcuenca189</b>	485.8	127.4	4615.3	2872.3	3896.6	14.4	15.6	5.2	0.4	35.0	0.7	12.7	4.4	38.1	3.8	237.8	4.9	117.0	305.7	0.2	0.5	3.1	1.6	3.4	1.4
<b>Subcuenca190</b>	49.1	38.6	5076.9	3229.7	4316.0	23.6	6.7	4.9	0.5	10.0	0.6	3.6	1.4	13.5	9.9	170.4	2.0	12.0	24.5	0.2	0.5	11.0	13.2	19.0	1.9
<b>Subcuenca191</b>	10.6	16.9	4034.6	2810.5	3405.2	18.9	2.5	4.5	0.4	2.1	1.0	2.8	0.7	3.7	16.8	290.3	2.1	3.1	3.9	0.1	0.3	2.0	6.9	5.5	0.8
<b>Subcuenca192</b>	26.1	25.3	4402.9	3135.9	3851.3	19.2	3.2	4.3	0.6	5.9	0.8	4.0	1.1	6.5	12.3	756.7	2.0	5.9	12.9	0.1	0.5	5.0	3.0	7.8	1.8
<b>Subcuenca193</b>	485.9	127.4	4615.2	2872.3	3896.6	14.4	15.7	5.1	0.4	35.0	0.7	12.7	4.4	38.2	3.7	237.7	5.0	117.1	305.8	0.1	0.5	3.0	1.6	3.3	1.4
<b>Subcuenca194</b>	15.8	24.2	4326.2	3632.1	3976.4	9.4	3.5	5.4	0.4	2.0	0.6	2.2	1.2	7.1	7.8	197.3	2.0	3.0	8.9	0.1	0.5	1.9	0.0	2.1	1.1
<b>Subcuenca195</b>	47.1	36.9	4391.4	2714.2	3889.0	22.0	5.7	4.7	0.5	7.0	0.6	3.5	1.3	13.1	11.2	482.0	3.0	11.0	28.0	0.2	0.5	2.9	1.1	3.3	1.6
<b>Subcuenca196</b>	552.5	136.6	4345.0	3067.2	3719.7	10.6	16.5	5.1	0.3	38.0	0.6	12.6	5.6	43.8	2.6	770.0	5.1	137.0	396.8	0.2	0.7	3.3	1.4	3.5	1.3
<b>Subcuenca197</b>	43.5	33.1	4326.4	2023.7	3236.6	28.6	4.7	4.4	0.4	8.0	0.8	5.0	1.0	8.9	19.8	608.9	3.0	12.0	22.0	0.2	0.5	3.0	1.6	3.6	1.6
<b>Subcuenca198</b>	37.4	31.6	4686.4	2776.5	3802.1	26.2	5.7	4.7	0.5	8.9	0.8	4.2	1.1	7.9	19.9	321.1	3.0	13.1	20.1	0.1	0.5	3.1	2.1	4.3	1.1
<b>Subcuenca199</b>	37.3	31.6	4686.4	2776.5	3802.3	26.2	5.7	4.6	0.5	8.9	0.9	4.3	1.1	7.9	19.9	321.1	3.0	13.0	20.0	0.2	0.7	3.1	2.1	4.2	1.2
<b>Subcuenca200</b>	55.0	35.6	4703.2	2879.5	3622.6	18.5	4.8	4.3	0.5	6.9	0.7	4.9	1.3	11.2	10.4	702.5	3.0	13.0	29.0	0.1	0.5	3.0	1.6	3.5	1.3

*Fuente:* Elaboración Propia

Tabla 7: Parámetros de salida de la precipitación (mm) para el entrenamiento, la validación y la prueba de la Red Neuronal Artificial

SUBCUENCAS	Prec.1981	Prec.1982	Prec.1983	Prec.1984	Prec.1985	Prec.1986	Prec.1987	Prec.1988	Prec.1989	Prec.1990	Prec.1991	Prec.1992	Prec.1993	Prec.1994	Prec.1995	Prec.1996	Prec.1997	Prec.1998
Subcuenca1	12.8	8.4	5.5	22.9	9.2	9.4	6.0	13.2	23.4	12.6	14.1	7.2	12.1	21.4	12.8	15.1	11.6	13.7
Subcuenca2	19.1	24.1	22.7	20.6	33.6	20.4	25.6	21.4	22.8	23.5	19.6	30.6	23.1	25.7	16.3	22.1	20.3	20.6
Subcuenca3	28.1	31.6	33.8	45.0	23.3	23.6	37.2	45.7	38.9	30.2	30.0	24.0	31.7	35.8	19.7	37.5	32.4	26.2
Subcuenca4	34.7	38.7	23.4	32.1	17.5	24.3	19.7	35.9	25.5	21.1	17.6	19.9	22.2	25.2	14.0	21.5	21.0	19.5
Subcuenca5	17.4	21.6	19.5	41.8	23.9	23.9	25.2	37.6	34.2	26.5	30.2	22.7	18.8	17.5	23.5	24.0	51.5	28.5
Subcuenca6	58.3	53.9	31.9	35.1	33.0	55.7	37.3	43.2	38.9	34.6	27.4	35.3	37.6	41.0	30.1	33.3	32.4	41.6
Subcuenca7	10.0	17.7	11.9	14.7	10.5	9.7	11.1	13.9	14.4	12.2	12.5	11.6	16.2	11.1	9.0	11.9	12.9	13.0
Subcuenca8	17.8	16.0	20.0	19.4	10.9	11.6	15.3	27.4	19.5	14.4	19.4	13.1	20.9	19.5	11.9	14.1	15.8	13.8
Subcuenca9	24.5	20.6	11.0	35.5	15.6	26.2	9.6	25.1	48.3	23.3	22.4	18.2	22.6	32.0	16.2	27.8	20.6	23.8
Subcuenca10	13.0	14.3	11.4	11.0	9.3	9.5	9.4	12.9	12.2	17.1	12.1	11.3	10.4	10.0	9.2	13.3	11.4	10.3
Subcuenca11	14.2	22.5	17.9	15.5	11.6	14.2	13.0	18.6	18.0	20.8	14.5	13.6	12.5	15.1	11.4	17.7	15.2	11.9
Subcuenca12	32.0	35.6	23.7	36.7	22.0	35.7	25.2	34.7	81.7	24.8	30.0	25.1	31.6	27.1	29.9	23.2	24.2	23.7
Subcuenca13	27.1	36.2	24.2	30.9	20.3	31.4	23.9	31.5	32.9	16.2	20.7	24.1	25.6	23.0	17.0	36.8	23.4	23.6
Subcuenca14	29.4	34.3	36.4	51.4	34.5	30.9	37.9	44.4	41.2	34.3	37.1	36.3	43.3	38.4	25.1	34.6	82.6	36.9
Subcuenca15	10.8	9.3	11.8	13.7	9.6	15.8	16.4	17.6	14.3	15.7	13.4	10.7	15.1	16.6	12.1	10.6	14.7	15.0
Subcuenca16	32.7	39.1	22.5	33.9	29.4	32.4	27.3	44.0	40.1	27.8	21.4	24.5	20.6	23.9	19.5	24.4	23.6	30.2
Subcuenca17	32.5	38.3	30.4	29.6	24.7	40.5	33.2	36.0	80.6	28.9	32.6	30.8	25.8	21.7	28.8	26.5	35.5	25.2
Subcuenca18	16.2	15.9	9.9	16.5	8.4	14.9	17.5	14.1	14.0	16.2	18.5	10.9	13.6	10.1	7.2	8.8	13.0	11.9
Subcuenca19	22.7	26.7	27.7	33.8	22.6	35.4	17.6	26.8	25.1	24.8	24.3	18.1	27.7	36.3	18.1	23.8	25.1	32.7
Subcuenca20	15.7	18.6	20.3	39.7	17.7	19.6	22.4	31.7	32.4	19.1	24.5	20.2	17.4	17.8	19.2	18.2	46.2	23.9
Subcuenca21	25.0	37.4	37.4	49.7	26.6	34.0	42.3	41.4	52.4	46.9	38.4	30.6	36.7	39.3	28.4	41.9	32.9	34.0
Subcuenca22	19.4	20.1	28.2	25.1	19.0	17.5	23.8	30.7	37.3	31.9	21.4	22.3	25.9	28.4	14.5	17.0	17.8	18.0
Subcuenca23	23.7	26.4	21.9	29.8	19.7	24.4	22.6	29.4	34.0	23.8	22.8	21.0	23.2	24.4	17.9	22.9	26.5	22.6
Subcuenca24	25.6	27.2	22.6	30.1	20.2	25.1	23.3	30.2	34.5	24.3	23.2	21.6	23.8	24.5	18.1	23.3	27.2	23.0
Subcuenca25	27.4	27.4	22.6	30.5	19.5	25.3	23.2	30.6	35.0	24.3	23.4	21.2	23.8	24.5	18.2	23.3	27.5	23.1
Subcuenca26	12.8	8.4	5.5	22.9	9.2	9.4	6.0	13.2	23.4	12.6	14.1	7.2	12.1	21.4	12.8	15.1	11.6	13.7
Subcuenca27	19.1	24.1	22.7	20.6	33.6	20.4	25.6	21.4	22.8	23.5	19.6	30.6	23.1	25.7	16.3	22.1	20.3	20.6
Subcuenca28	28.1	31.6	33.8	45.0	23.3	23.6	37.2	45.7	38.9	30.2	30.0	24.0	31.7	35.8	19.7	37.5	32.4	26.2
Subcuenca29	34.7	38.7	23.4	32.1	17.5	24.3	19.7	35.9	25.5	21.1	17.6	19.9	22.2	25.2	14.0	21.5	21.0	19.5
Subcuenca30	17.4	21.6	19.5	41.8	23.9	23.9	25.2	37.6	34.2	26.5	30.2	22.7	18.8	17.5	23.5	24.0	51.5	28.5
Subcuenca31	58.3	53.9	31.9	35.1	33.0	55.7	37.3	43.2	38.9	34.6	27.4	35.3	37.6	41.0	30.1	33.3	32.4	41.6
Subcuenca32	10.0	17.7	11.9	14.7	10.5	9.7	11.1	13.9	14.4	12.2	12.5	11.6	16.2	11.1	9.0	11.9	12.9	13.0
Subcuenca149	17.8	16.0	20.0	19.4	10.9	11.6	15.3	27.4	19.5	14.4	19.4	13.1	20.9	19.5	11.9	14.1	15.8	13.8

<b>Subcuenca150</b>	24.5	20.6	11.0	35.5	15.6	26.2	9.6	25.1	48.3	23.3	22.4	18.2	22.6	32.0	16.2	27.8	20.6	23.8
<b>Subcuenca151</b>	13.0	14.3	11.4	11.0	9.3	9.5	9.4	12.9	12.2	17.1	12.1	11.3	10.4	10.0	9.2	13.3	11.4	10.3
<b>Subcuenca152</b>	14.2	22.5	17.9	15.5	11.6	14.2	13.0	18.6	18.0	20.8	14.5	13.6	12.5	15.1	11.4	17.7	15.2	11.9
<b>Subcuenca153</b>	32.0	35.6	23.7	36.7	22.0	35.7	25.2	34.7	81.7	24.8	30.0	25.1	31.6	27.1	29.9	23.2	24.2	23.7
<b>Subcuenca154</b>	27.1	36.2	24.2	30.9	20.3	31.4	23.9	31.5	32.9	16.2	20.7	24.1	25.6	23.0	17.0	36.8	23.4	23.6
<b>Subcuenca155</b>	29.4	34.3	36.4	51.4	34.5	30.9	37.9	44.4	41.2	34.3	37.1	36.3	43.3	38.4	25.1	34.6	82.6	36.9
<b>Subcuenca156</b>	10.8	9.3	11.8	13.7	9.6	15.8	16.4	17.6	14.3	15.7	13.4	10.7	15.1	16.6	12.1	10.6	14.7	15.0
<b>Subcuenca157</b>	32.7	39.1	22.5	33.9	29.4	32.4	27.3	44.0	40.1	27.8	21.4	24.5	20.6	23.9	19.5	24.4	23.6	30.2
<b>Subcuenca158</b>	32.5	38.3	30.4	29.6	24.7	40.5	33.2	36.0	80.6	28.9	32.6	30.8	25.8	21.7	28.8	26.5	35.5	25.2
<b>Subcuenca159</b>	16.2	15.9	9.9	16.5	8.4	14.9	17.5	14.1	14.0	16.2	18.5	10.9	13.6	10.1	7.2	8.8	13.0	11.9
<b>Subcuenca160</b>	22.7	26.7	27.7	33.8	22.6	35.4	17.6	26.8	25.1	24.8	24.3	18.1	27.7	36.3	18.1	23.8	25.1	32.7
<b>Subcuenca161</b>	15.7	18.6	20.3	39.7	17.7	19.6	22.4	31.7	32.4	19.1	24.5	20.2	17.4	17.8	19.2	18.2	46.2	23.9
<b>Subcuenca162</b>	25.0	37.4	37.4	49.7	26.6	34.0	42.3	41.4	52.4	46.9	38.4	30.6	36.7	39.3	28.4	41.9	32.9	34.0
<b>Subcuenca163</b>	27.3	27.3	22.6	30.5	19.7	25.3	23.2	30.5	35.0	24.4	23.3	21.2	23.8	24.5	18.2	23.4	27.4	23.2
<b>Subcuenca164</b>	14.3	22.5	17.9	15.6	11.7	14.2	13.0	18.6	18.0	20.7	14.4	13.6	12.6	15.2	11.4	17.6	15.2	11.8
<b>Subcuenca165</b>	34.7	38.7	23.4	32.2	17.5	24.3	19.8	35.9	25.6	21.0	17.5	19.9	22.2	25.1	13.9	21.6	21.0	19.5
<b>Subcuenca166</b>	19.5	20.1	28.2	25.1	18.9	17.5	23.6	30.7	37.3	31.9	21.5	22.3	25.9	28.4	14.5	17.1	17.8	18.0
<b>Subcuenca167</b>	27.1	36.3	24.2	30.8	20.3	31.4	23.9	31.5	32.9	16.2	20.7	24.1	25.7	23.1	17.0	36.8	23.5	23.6
<b>Subcuenca168</b>	22.6	26.7	27.7	33.8	22.6	35.4	17.6	26.9	25.1	24.8	24.3	18.1	27.8	36.4	18.2	23.8	25.1	32.8
<b>Subcuenca169</b>	32.7	39.1	22.4	33.9	29.4	32.4	27.3	44.0	40.1	27.8	21.4	24.5	20.6	23.9	19.5	24.5	23.6	30.2
<b>Subcuenca170</b>	13.0	14.4	11.3	10.9	9.3	9.5	9.4	12.9	12.2	17.1	12.0	11.3	10.3	9.9	9.2	13.3	11.4	10.3
<b>Subcuenca171</b>	17.4	21.6	19.4	41.8	24.0	23.8	25.2	37.6	34.2	26.5	30.2	22.7	18.7	17.5	23.5	24.1	51.5	28.5
<b>Subcuenca172</b>	32.5	38.4	30.4	29.6	24.7	40.5	33.2	35.9	80.7	29.1	32.5	30.8	25.8	21.7	28.8	26.5	35.4	25.1
<b>Subcuenca173</b>	24.9	37.5	37.4	49.6	26.5	34.0	42.3	41.4	52.4	46.8	38.4	30.5	36.6	39.2	28.4	41.9	33.0	34.0
<b>Subcuenca174</b>	24.4	20.7	11.0	35.5	15.6	26.2	9.7	25.2	48.3	23.3	22.4	18.2	22.6	32.0	16.2	27.8	20.5	23.7
<b>Subcuenca175</b>	32.0	35.7	23.7	36.6	21.9	35.7	25.0	34.6	81.7	24.9	30.0	25.1	31.6	27.1	29.9	23.1	24.3	23.7
<b>Subcuenca176</b>	25.6	27.3	22.6	30.1	20.2	25.0	23.3	30.2	34.5	24.1	23.1	21.5	23.8	24.5	18.1	23.3	27.2	23.0
<b>Subcuenca177</b>	14.2	22.5	17.9	15.5	11.7	14.2	13.0	18.6	18.0	20.9	14.6	13.7	12.5	15.1	11.4	17.7	15.3	11.8
<b>Subcuenca178</b>	28.1	31.6	33.9	45.1	23.3	23.6	37.3	45.7	39.0	30.1	30.0	24.0	31.8	35.7	19.6	37.5	32.4	26.3
<b>Subcuenca179</b>	22.8	26.8	27.7	33.8	22.6	35.3	17.7	26.8	25.1	24.8	24.3	18.2	27.8	36.3	18.1	23.8	25.0	32.7
<b>Subcuenca180</b>	16.2	15.8	9.8	16.4	8.4	14.9	17.5	14.2	13.9	16.2	18.4	10.9	13.6	10.2	7.3	8.8	13.0	11.9
<b>Subcuenca181</b>	32.5	38.3	30.4	29.6	24.7	40.5	33.1	35.9	80.6	29.0	32.6	30.8	25.8	21.7	28.8	26.5	35.5	25.2
<b>Subcuenca182</b>	27.1	36.2	24.2	30.9	20.3	31.4	24.0	31.6	33.0	16.2	20.8	24.1	25.6	22.9	16.9	36.8	23.5	23.6
<b>Subcuenca183</b>	34.7	38.8	23.4	32.2	17.5	24.3	19.9	35.9	25.4	21.1	17.5	19.9	22.3	25.2	13.9	21.6	21.0	19.5
<b>Subcuenca184</b>	24.9	37.4	37.4	49.7	26.6	33.9	42.3	41.5	52.4	46.8	38.4	30.5	36.7	39.4	28.4	41.8	32.8	34.0
<b>Subcuenca185</b>	32.6	39.1	22.4	33.9	29.5	32.4	27.2	44.0	40.2	27.8	21.4	24.6	20.6	23.9	19.4	24.4	23.6	30.3

<b>Subcuenca186</b>	24.5	20.6	11.0	35.5	15.5	26.2	9.6	25.1	48.2	23.3	22.4	18.2	22.6	31.8	16.2	27.8	20.6	23.8
<b>Subcuenca187</b>	17.3	21.6	19.5	41.8	23.9	23.8	25.2	37.6	34.3	26.5	30.2	22.7	18.8	17.4	23.6	23.9	51.5	28.4
<b>Subcuenca188</b>	58.3	54.0	31.8	35.2	33.0	55.7	37.4	43.1	38.8	34.6	27.2	35.3	37.7	41.0	30.1	33.2	32.4	41.6
<b>Subcuenca189</b>	14.2	22.5	17.9	15.5	11.6	14.1	13.1	18.5	18.0	20.8	14.5	13.6	12.5	15.2	11.4	17.7	15.2	11.9
<b>Subcuenca190</b>	10.8	9.4	11.7	13.7	9.5	15.8	16.5	17.6	14.3	15.7	13.4	10.7	15.0	16.6	12.0	10.7	14.6	15.0
<b>Subcuenca191</b>	19.1	24.1	22.8	20.7	33.6	20.3	25.5	21.3	22.8	23.6	19.7	30.6	23.1	25.6	16.4	22.1	20.3	20.6
<b>Subcuenca192</b>	17.8	16.0	20.0	19.4	10.9	11.6	15.3	27.4	19.5	14.4	19.4	13.1	20.9	19.5	11.8	14.1	15.8	13.7
<b>Subcuenca193</b>	14.3	22.5	17.9	15.5	11.6	14.1	13.0	18.6	18.0	20.7	14.5	13.6	12.5	15.2	11.4	17.6	15.2	11.8
<b>Subcuenca194</b>	12.9	14.4	11.3	11.0	9.2	9.6	9.4	12.9	12.2	17.1	12.1	11.2	10.4	10.0	9.3	13.2	11.4	10.4
<b>Subcuenca195</b>	16.2	15.9	10.0	16.5	8.4	14.9	17.5	14.1	14.0	16.1	18.4	10.9	13.6	10.2	7.3	8.9	12.9	12.0
<b>Subcuenca196</b>	19.4	20.1	28.2	25.1	18.9	17.5	23.8	30.6	37.3	31.9	21.4	22.3	25.9	28.4	14.5	17.0	17.8	18.0
<b>Subcuenca197</b>	29.3	34.3	36.5	51.5	34.5	30.9	37.8	44.3	41.3	34.3	37.1	36.3	43.3	38.4	25.1	34.7	82.5	36.8
<b>Subcuenca198</b>	25.5	27.2	22.6	30.0	20.3	25.0	23.3	30.1	34.6	24.2	23.2	21.6	23.7	24.5	18.1	23.2	27.2	23.0
<b>Subcuenca199</b>	25.6	27.2	22.7	30.1	20.2	25.1	23.4	30.2	34.5	24.3	23.2	21.6	23.7	24.5	18.1	23.3	27.3	23.1
<b>Subcuenca200</b>	17.4	21.7	19.3	41.8	24.0	23.9	25.3	37.6	34.1	26.5	30.2	22.8	18.9	17.6	23.4	23.9	51.4	28.4

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8: Parámetros de ingreso de las subcuencas para el entrenamiento, la validación y la prueba de la Red Neuronal Artificial

SUBCUENCAS	Prec.1999	Prec.2000	Prec.2001	Prec.2002	Prec.2003	Prec.2004	Prec.2005	Prec.2006	Prec.2007	Prec.2008	Prec.2009	Prec.2010	Prec.2011	Prec.2012	Prec.2013	Prec.2014	Prec.2015
<b>Subcuenca1</b>	14.4	17.8	16.1	15.4	12.0	9.6	18.0	15.5	11.3	18.4	8.6	12.3	18.0	10.6	10.9	13.2	14.4
<b>Subcuenca2</b>	21.2	21.7	17.2	21.7	20.5	22.5	19.5	22.5	18.1	27.8	21.0	24.8	24.4	23.2	24.9	17.2	25.2
<b>Subcuenca3</b>	27.1	24.6	26.0	20.9	20.2	26.2	38.4	25.9	25.6	48.7	46.3	39.4	32.6	33.1	31.6	23.0	18.5
<b>Subcuenca4</b>	20.9	26.5	16.0	20.1	18.3	21.9	19.7	22.3	16.4	20.8	15.8	23.9	28.8	14.7	20.3	31.7	22.5
<b>Subcuenca5</b>	30.8	11.6	12.2	20.3	25.7	34.4	23.6	20.8	17.8	30.4	20.0	20.9	30.7	22.1	20.7	19.7	26.1
<b>Subcuenca6</b>	22.5	26.8	29.2	33.7	33.0	27.6	27.2	20.9	20.7	52.0	49.8	29.3	39.5	44.7	38.7	51.0	27.9
<b>Subcuenca7</b>	14.7	8.2	7.3	10.2	10.0	11.2	8.1	11.5	10.1	16.8	15.2	11.6	14.1	11.8	10.3	10.3	10.8
<b>Subcuenca8</b>	23.8	17.7	13.7	16.4	14.7	19.1	16.6	20.4	15.2	17.9	21.3	22.1	24.1	16.5	14.6	14.4	13.3
<b>Subcuenca9</b>	19.6	29.0	19.6	21.7	23.8	22.0	18.1	27.2	17.9	25.7	16.3	24.6	25.9	18.6	16.7	16.9	14.0
<b>Subcuenca10</b>	14.8	14.5	14.5	10.8	9.0	9.6	10.7	12.4	12.7	10.5	9.8	11.5	13.9	12.7	10.4	11.2	13.4
<b>Subcuenca11</b>	17.2	15.9	14.0	12.6	12.8	12.2	15.0	14.6	13.6	12.9	12.8	16.1	19.1	13.0	13.1	13.5	13.4
<b>Subcuenca12</b>	22.3	33.3	22.2	24.1	27.2	19.6	26.9	28.9	18.4	17.5	23.5	37.2	26.9	17.8	20.6	23.3	16.5
<b>Subcuenca13</b>	17.1	26.0	23.4	21.6	23.8	16.2	24.1	19.1	22.2	22.7	19.1	24.0	23.9	19.3	22.2	18.6	24.0
<b>Subcuenca14</b>	36.4	21.3	20.1	26.2	38.2	40.5	40.4	33.8	28.9	56.7	40.8	32.2	35.6	48.2	35.4	26.3	33.3
<b>Subcuenca15</b>	12.8	14.1	12.7	11.8	12.3	14.3	12.7	18.1	10.1	11.7	11.6	13.7	14.6	12.8	14.3	14.1	10.8
<b>Subcuenca16</b>	24.0	30.2	21.5	26.0	18.3	33.7	24.2	30.5	21.6	25.8	14.6	29.7	30.9	23.4	20.5	44.6	30.1

<b>Subcuenca17</b>	22.8	28.1	20.2	24.2	21.1	27.0	26.7	32.6	18.2	21.7	22.2	31.1	28.5	16.5	17.7	21.8	13.9
<b>Subcuenca18</b>	16.1	9.7	5.9	10.8	9.6	12.5	11.5	19.8	11.9	10.8	15.1	15.1	14.6	10.2	15.6	10.5	10.7
<b>Subcuenca19</b>	33.6	30.5	23.9	36.1	21.3	23.2	27.1	29.6	24.5	23.9	32.7	25.6	29.6	26.0	26.7	23.6	19.6
<b>Subcuenca20</b>	19.9	13.1	11.6	19.2	20.2	27.2	20.0	21.5	18.8	38.3	21.1	20.2	29.4	24.3	19.8	19.5	17.9
<b>Subcuenca21</b>	50.3	34.9	28.2	26.0	26.7	61.9	30.8	28.0	30.0	46.2	43.4	31.0	42.7	31.8	40.4	30.3	21.4
<b>Subcuenca22</b>	24.4	12.8	14.0	17.2	18.5	22.5	20.8	18.5	19.1	34.7	25.9	23.7	30.6	20.7	19.9	17.9	18.3
<b>Subcuenca23</b>	23.0	21.3	17.7	20.3	19.9	23.4	21.8	22.5	18.3	26.9	23.0	23.6	26.3	21.5	21.2	21.5	18.9
<b>Subcuenca24</b>	23.4	21.5	17.8	20.5	20.2	24.0	22.0	22.8	18.6	27.3	23.7	24.2	26.7	21.9	21.6	21.9	19.1
<b>Subcuenca25</b>	23.5	21.4	17.8	20.5	20.2	24.1	22.1	22.8	18.7	27.3	23.8	24.1	26.8	21.9	21.5	22.1	18.8
<b>Subcuenca26</b>	14.4	17.8	16.1	15.4	12.0	9.6	18.0	15.5	11.3	18.4	8.6	12.3	18.0	10.6	10.9	13.2	14.4
<b>Subcuenca27</b>	21.2	21.7	17.2	21.7	20.5	22.5	19.5	22.5	18.1	27.8	21.0	24.8	24.4	23.2	24.9	17.2	25.2
<b>Subcuenca28</b>	27.1	24.6	26.0	20.9	20.2	26.2	38.4	25.9	25.6	48.7	46.3	39.4	32.6	33.1	31.6	23.0	18.5
<b>Subcuenca29</b>	20.9	26.5	16.0	20.1	18.3	21.9	19.7	22.3	16.4	20.8	15.8	23.9	28.8	14.7	20.3	31.7	22.5
<b>Subcuenca30</b>	30.8	11.6	12.2	20.3	25.7	34.4	23.6	20.8	17.8	30.4	20.0	20.9	30.7	22.1	20.7	19.7	26.1
<b>Subcuenca31</b>	22.5	26.8	29.2	33.7	33.0	27.6	27.2	20.9	20.7	52.0	49.8	29.3	39.5	44.7	38.7	51.0	27.9
<b>Subcuenca32</b>	14.7	8.2	7.3	10.2	10.0	11.2	8.1	11.5	10.1	16.8	15.2	11.6	14.1	11.8	10.3	10.3	10.8
<b>Subcuenca149</b>	23.8	17.7	13.7	16.4	14.7	19.1	16.6	20.4	15.2	17.9	21.3	22.1	24.1	16.5	14.6	14.4	13.3
<b>Subcuenca150</b>	19.6	29.0	19.6	21.7	23.8	22.0	18.1	27.2	17.9	25.7	16.3	24.6	25.9	18.6	16.7	16.9	14.0
<b>Subcuenca151</b>	14.8	14.5	14.5	10.8	9.0	9.6	10.7	12.4	12.7	10.5	9.8	11.5	13.9	12.7	10.4	11.2	13.4
<b>Subcuenca152</b>	17.2	15.9	14.0	12.6	12.8	12.2	15.0	14.6	13.6	12.9	12.8	16.1	19.1	13.0	13.1	13.5	13.4
<b>Subcuenca153</b>	22.3	33.3	22.2	24.1	27.2	19.6	26.9	28.9	18.4	17.5	23.5	37.2	26.9	17.8	20.6	23.3	16.5
<b>Subcuenca154</b>	17.1	26.0	23.4	21.6	23.8	16.2	24.1	19.1	22.2	22.7	19.1	24.0	23.9	19.3	22.2	18.6	24.0
<b>Subcuenca155</b>	36.4	21.3	20.1	26.2	38.2	40.5	40.4	33.8	28.9	56.7	40.8	32.2	35.6	48.2	35.4	26.3	33.3
<b>Subcuenca156</b>	12.8	14.1	12.7	11.8	12.3	14.3	12.7	18.1	10.1	11.7	11.6	13.7	14.6	12.8	14.3	14.1	10.8
<b>Subcuenca157</b>	24.0	30.2	21.5	26.0	18.3	33.7	24.2	30.5	21.6	25.8	14.6	29.7	30.9	23.4	20.5	44.6	30.1
<b>Subcuenca158</b>	22.8	28.1	20.2	24.2	21.1	27.0	26.7	32.6	18.2	21.7	22.2	31.1	28.5	16.5	17.7	21.8	13.9
<b>Subcuenca159</b>	16.1	9.7	5.9	10.8	9.6	12.5	11.5	19.8	11.9	10.8	15.1	15.1	14.6	10.2	15.6	10.5	10.7
<b>Subcuenca160</b>	33.6	30.5	23.9	36.1	21.3	23.2	27.1	29.6	24.5	23.9	32.7	25.6	29.6	26.0	26.7	23.6	19.6
<b>Subcuenca161</b>	19.9	13.1	11.6	19.2	20.2	27.2	20.0	21.5	18.8	38.3	21.1	20.2	29.4	24.3	19.8	19.5	17.9
<b>Subcuenca162</b>	50.3	34.9	28.2	26.0	26.7	61.9	30.8	28.0	30.0	46.2	43.4	31.0	42.7	31.8	40.4	30.3	21.4
<b>Subcuenca163</b>	23.6	21.4	17.9	20.4	20.2	24.1	22.0	22.8	18.7	27.3	23.9	24.1	26.7	21.9	21.5	22.0	18.9
<b>Subcuenca164</b>	17.2	15.8	13.9	12.6	12.8	12.2	15.0	14.6	13.7	12.9	12.8	16.1	19.1	12.9	13.1	13.5	13.4
<b>Subcuenca165</b>	20.8	26.5	16.0	20.0	18.3	21.9	19.6	22.2	16.3	20.8	15.8	23.9	28.7	14.7	20.3	31.8	22.5
<b>Subcuenca166</b>	24.3	12.7	14.1	17.1	18.6	22.5	20.8	18.5	19.1	34.8	25.9	23.7	30.6	20.7	19.9	17.8	18.2
<b>Subcuenca167</b>	17.2	25.9	23.5	21.7	23.7	16.2	24.0	19.1	22.2	22.7	19.0	24.0	23.8	19.3	22.2	18.6	24.0
<b>Subcuenca168</b>	33.6	30.4	23.9	35.9	21.4	23.1	27.1	29.7	24.4	23.9	32.8	25.6	29.7	26.0	26.7	23.5	19.6

<b>Subcuenca169</b>	24.1	30.2	21.5	26.0	18.3	33.6	24.2	30.6	21.5	25.8	14.7	29.7	30.9	23.4	20.5	44.7	30.1
<b>Subcuenca170</b>	14.7	14.6	14.5	10.7	8.9	9.6	10.7	12.4	12.7	10.4	9.8	11.5	13.9	12.7	10.3	11.2	13.4
<b>Subcuenca171</b>	30.8	11.5	12.3	20.3	25.7	34.4	23.6	20.8	17.7	30.4	20.0	20.9	30.7	22.1	20.8	19.7	26.0
<b>Subcuenca172</b>	22.9	28.2	20.2	24.1	21.1	27.1	26.6	32.6	18.2	21.7	22.1	31.0	28.4	16.6	17.7	21.8	13.8
<b>Subcuenca173</b>	50.4	34.9	28.2	25.9	26.7	61.9	30.8	28.0	30.1	46.1	43.4	31.0	42.7	31.7	40.5	30.4	21.4
<b>Subcuenca174</b>	19.7	29.1	19.6	21.6	23.7	22.0	18.3	27.1	17.9	25.7	16.3	24.6	25.8	18.7	16.8	16.9	13.9
<b>Subcuenca175</b>	22.3	33.2	22.2	24.1	27.1	19.6	26.9	29.0	18.3	17.5	23.4	37.2	26.9	17.9	20.5	23.2	16.6
<b>Subcuenca176</b>	23.4	21.4	17.8	20.5	20.1	24.1	22.0	22.8	18.6	27.3	23.7	24.2	26.7	22.0	21.7	21.8	19.1
<b>Subcuenca177</b>	17.2	15.8	13.9	12.6	12.7	12.2	15.0	14.7	13.5	12.9	12.9	16.1	19.0	13.0	13.2	13.5	13.5
<b>Subcuenca178</b>	27.1	24.6	26.0	20.8	20.3	26.1	38.3	25.9	25.6	48.7	46.3	39.3	32.5	33.1	31.6	22.9	18.5
<b>Subcuenca179</b>	33.7	30.5	23.9	36.0	21.3	23.3	27.1	29.6	24.5	23.9	32.7	25.6	29.7	25.9	26.8	23.7	19.6
<b>Subcuenca180</b>	16.1	9.8	5.9	10.8	9.7	12.5	11.5	19.8	12.0	10.9	15.1	15.1	14.6	10.2	15.6	10.6	10.8
<b>Subcuenca181</b>	22.8	28.2	20.2	24.2	21.1	27.0	26.7	32.7	18.2	21.6	22.1	31.1	28.5	16.5	17.7	21.9	13.8
<b>Subcuenca182</b>	17.0	26.0	23.3	21.7	23.8	16.2	24.1	19.1	22.2	22.8	19.1	24.0	23.8	19.3	22.3	18.6	24.1
<b>Subcuenca183</b>	20.8	26.6	15.9	20.0	18.3	21.8	19.8	22.3	16.3	20.7	15.7	23.8	28.7	14.7	20.3	31.7	22.4
<b>Subcuenca184</b>	50.2	34.9	28.2	25.9	26.7	61.9	30.7	28.1	30.0	46.1	43.4	31.0	42.7	31.8	40.4	30.4	21.4
<b>Subcuenca185</b>	24.0	30.2	21.5	26.0	18.2	33.6	24.2	30.6	21.6	25.8	14.6	29.8	30.9	23.4	20.4	44.6	30.2
<b>Subcuenca186</b>	19.7	29.0	19.6	21.6	23.8	22.1	18.1	27.2	17.9	25.8	16.3	24.6	25.9	18.6	16.7	16.8	14.1
<b>Subcuenca187</b>	30.7	11.6	12.2	20.3	25.7	34.4	23.5	20.8	17.8	30.3	20.0	20.9	30.8	22.1	20.8	19.7	26.0
<b>Subcuenca188</b>	22.6	26.8	29.3	33.7	32.9	27.7	27.3	20.8	20.7	52.0	49.7	29.4	39.4	44.6	38.7	51.0	27.8
<b>Subcuenca189</b>	17.1	15.8	13.9	12.6	12.7	12.2	15.0	14.7	13.6	12.8	12.9	16.1	19.0	13.0	13.1	13.5	13.5
<b>Subcuenca190</b>	12.8	14.0	12.8	12.0	12.3	14.2	12.8	18.0	10.1	11.7	11.6	13.7	14.5	12.7	14.4	14.1	10.9
<b>Subcuenca191</b>	21.3	21.6	17.2	21.7	20.6	22.4	19.6	22.5	18.1	27.7	20.9	24.9	24.4	23.2	25.0	17.1	25.2
<b>Subcuenca192</b>	23.8	17.7	13.7	16.3	14.8	19.1	16.6	20.4	15.2	17.9	21.3	22.2	24.2	16.5	14.6	14.4	13.3
<b>Subcuenca193</b>	17.2	15.8	14.0	12.7	12.8	12.2	15.0	14.7	13.6	12.9	12.9	16.2	19.1	12.9	13.1	13.5	13.4
<b>Subcuenca194</b>	14.7	14.5	14.4	10.9	9.0	9.7	10.7	12.5	12.8	10.6	9.9	11.5	13.8	12.7	10.3	11.3	13.3
<b>Subcuenca195</b>	16.1	9.7	5.8	10.8	9.7	12.4	11.5	19.9	12.0	10.8	15.1	15.1	14.6	10.2	15.7	10.6	10.6
<b>Subcuenca196</b>	24.4	12.8	14.1	17.2	18.5	22.5	20.8	18.5	19.0	34.7	26.0	23.7	30.6	20.8	19.9	17.9	18.3
<b>Subcuenca197</b>	36.5	21.2	20.2	26.2	38.2	40.4	40.4	33.8	29.0	56.8	40.8	32.1	35.6	48.2	35.5	26.3	33.4
<b>Subcuenca198</b>	23.5	21.4	17.9	20.5	20.2	24.0	21.9	22.8	18.8	27.3	23.8	24.1	26.7	22.0	21.7	21.9	19.1
<b>Subcuenca199</b>	23.4	21.4	17.8	20.6	20.2	24.1	22.0	22.8	18.6	27.2	23.6	24.3	26.7	22.0	21.6	21.8	19.1
<b>Subcuenca200</b>	30.8	11.6	12.2	20.4	25.7	34.5	23.6	20.8	17.8	30.4	20.0	20.9	30.7	22.0	20.8	19.7	26.1

Fuente: Elaboración Propia

## 3.9.2 Creación del modelo de Red Neuronal Artificial

### 3.9.2.1 Instalación e Importación de librerías en Python

Para la creación del modelo de Red Neuronal Artificial se cuenta con el código ingresado en el Programa de Anaconda Jupyter Notebook de Python y el programa de Google Colab donde primeramente se instala y se importan las librerías a utilizarse en Python para utilizar las herramientas de cada librería, donde tenemos a continuación las principales librerías utilizadas en esta investigación:

#### Código Fuente para la creación del modelo de Red Neuronal con Jupyter Notebook

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib import pyplot
import numpy as np
from sklearn.preprocessing import PowerTransformer
from sklearn.metrics import mean_squared_error
from sklearn import preprocessing
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
from sklearn.model_selection import train_test_split
from scikeras.wrappers import KerasClassifier
from keras.models import Sequential
from keras.layers import Dense
from keras import backend as k
from keras.optimizers import SGD
from keras.models import model_from_json
from keras.metrics import binary_crossentropy
```

### 3.9.2.2 Importación de la Data set a Python

Luego del procesamiento de los datos seleccionados en la hoja de excel exportamos la hoja del cálculo al Python para lo cual tenemos la sintaxis del código fuente de la exportación de la Data Set, donde en la presente investigación contamos con 500 datos, para el entrenamiento, la validación y la prueba para la generación de la precipitación y por ende el Hietrograma de diseño por bloques alternos de la precipitación media para la Cuenca de Llochaccniyocc

**Código Fuente para la creación del modelo de Red Neuronal con Jupyter Notebook**

```

datos_imp = pd.read_excel('DATOS\ _HIDRO\ _3.xlsx')
col_imp=datos_imp.columns
datos=datos_imp.values
print(datos_imp.describe())
print(datos_imp)
datos_imp.hist()
pyplot.show()

X_entr=datos[0:450 , 0:25]
Y_entr=datos[0:450 , 25:60]
Y_GRAF= datos[0:450 , 25]
N=len(X_entr)

dat_val=0.25

X_eval=datos[450:, 0:25]
Y_eval=datos[450: , 25:60]

X_num = range(N)

plt.plot(X\_num,X\_entr,'o',label = feature, markersize = 1)
plt.plot(X\_num,Y_GRAF.T, lw = 0.1, color = red, label = y)
plt.legend()
plt.show()
print(X_entr)
print(Y_entr)
print(X_eval)
print(Y_eval)

```

Luego de ingresar los datos calculamos los parámetros estadísticos descriptivos para cada parámetro de entrada, donde los datos son divididos 450 datos para el entrenamiento y los datos restantes para la validación y prueba respectiva para la utilización del modelo de Red Neuronal Artificial, donde en la Figura N°12 podemos observar los parámetros estadísticos descriptivos para los parámetros de ingreso

Figura 12

Parámetros estadísticos de los datos ingresados e importados al Python para la Red Neuronal Artificial.

	P1	P2	P3	P4	P5	\
count	499.000000	499.000000	499.000000	499.000000	499.000000	
mean	106.409497	45.144811	4483.185210	3186.342936	3894.036976	
std	166.176414	37.253220	336.344113	615.400153	394.376702	
min	5.399430	9.698920	3871.982266	2023.649114	3151.662851	
25%	15.705694	21.433681	4294.706035	2776.516915	3671.197015	
50%	38.256587	33.073791	4461.558093	3067.221181	3888.929697	
75%	105.759738	56.389274	4686.478480	3584.880633	4203.510275	
max	640.753000	159.189000	5271.992902	4503.995335	4756.395736	

	P6	P7	P8	P9	P10	...	\
count	499.000000	499.000000	499.000000	499.000000	499.000000	...	
mean	17.143616	5.837079	4.720627	0.460302	9.999668	...	
std	6.092188	4.153497	0.518794	0.111964	10.577132	...	
min	8.681042	0.969489	3.623865	0.204867	0.831414	...	
25%	10.594357	2.731344	4.329104	0.381428	2.973627	...	
50%	17.781727	4.760946	4.716654	0.448882	7.000000	...	
75%	21.825688	6.802897	5.102373	0.536580	8.960063	...	
max	28.832531	16.583490	5.837394	0.781977	51.000000	...	

(a) Parámetros de Ingreso a la Red Neuronal Artificial

	Prec.2007	Prec.2008	Prec.2009	Prec.2010	Prec.2011	Prec.2012	\
count	499.000000	499.000000	499.000000	499.000000	499.000000	499.000000	
mean	22.735530	18.684436	27.094513	23.896326	24.465277	26.525895	
std	5.652407	5.060525	12.519236	11.013654	7.510394	7.228905	
min	11.408999	9.971987	10.409756	8.561000	11.308740	13.802893	
25%	19.142055	16.311314	17.622104	15.774672	20.910628	23.888649	
50%	22.457439	18.332563	25.747000	21.236626	24.103247	26.795571	
75%	27.161288	21.569350	30.409001	25.884143	29.668071	30.630264	
max	33.882395	30.119068	56.820851	49.814890	39.496275	42.753407	

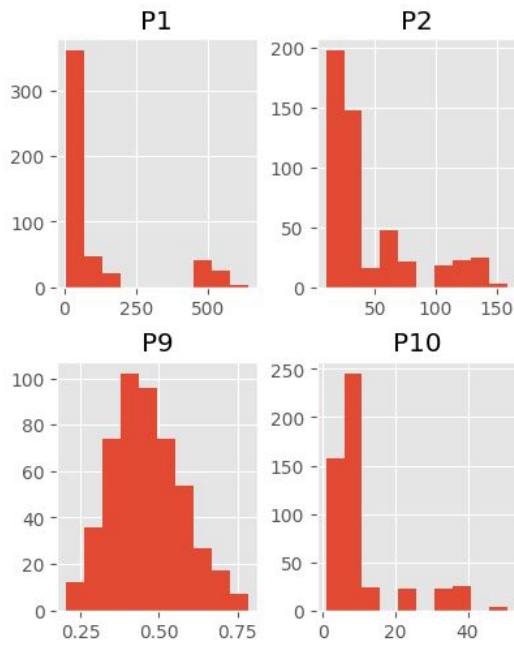
	Prec.2013	Prec.2014	Prec.2015	Prec.2016
count	499.000000	499.000000	499.000000	499.000000
mean	21.593848	21.602361	21.290567	18.734707
std	8.821125	7.730930	8.740913	5.700710
min	10.145816	10.212749	10.204272	10.563639
25%	14.700979	16.663109	16.799294	13.821484
50%	20.732000	20.568239	19.795392	18.488138
75%	23.388649	24.878802	23.238154	22.453168
max	48.218392	40.477837	51.066730	33.423092

(b) Datos de Salida para la Red Neuronal Artificial

Fuente: Elaboración Propia utilizando Google Colab y Jupyter Notebook de Python Anaconda

**Figura 13** Parámetros estadísticos de

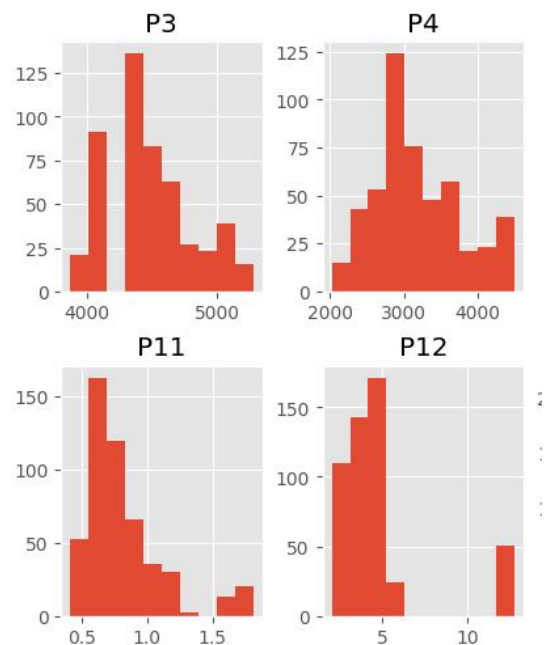
la Data Set



Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 14** Parámetros estadísticos de

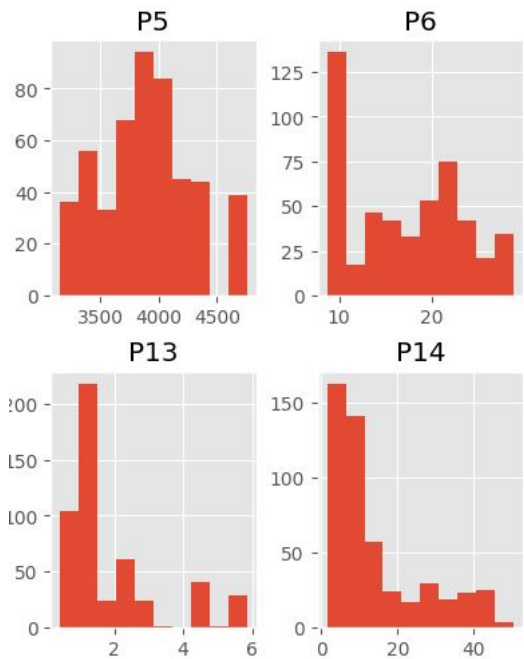
la Data Set



Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 15** Parámetros estadísticos de

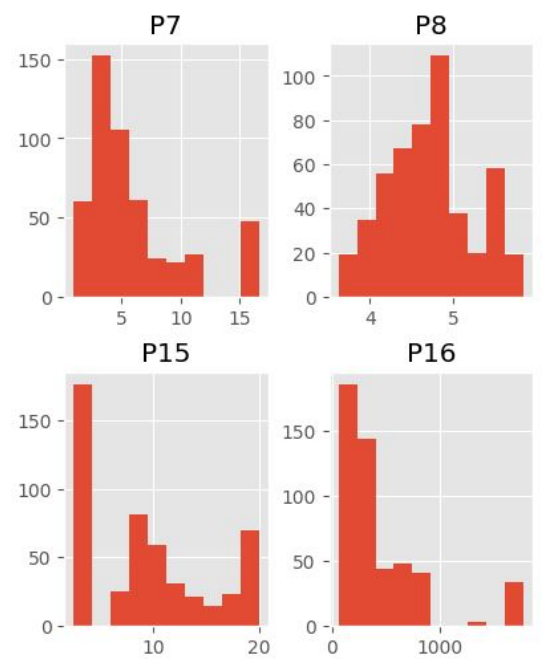
la Data Set



Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 16** Parámetros estadísticos de

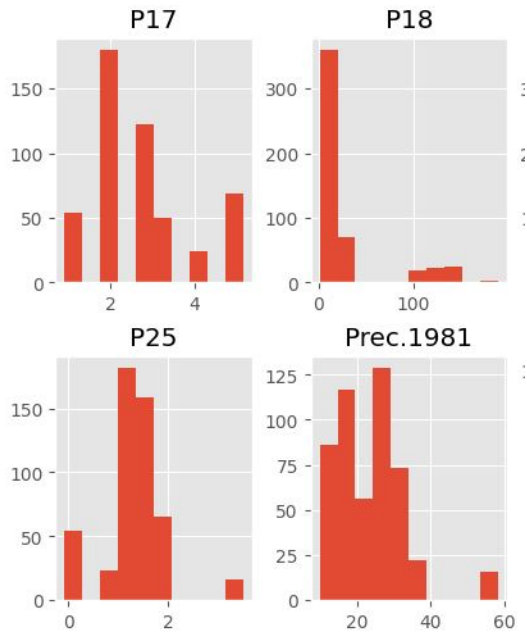
la Data Set



Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 17** Parámetros estadísticos de

la Data Set

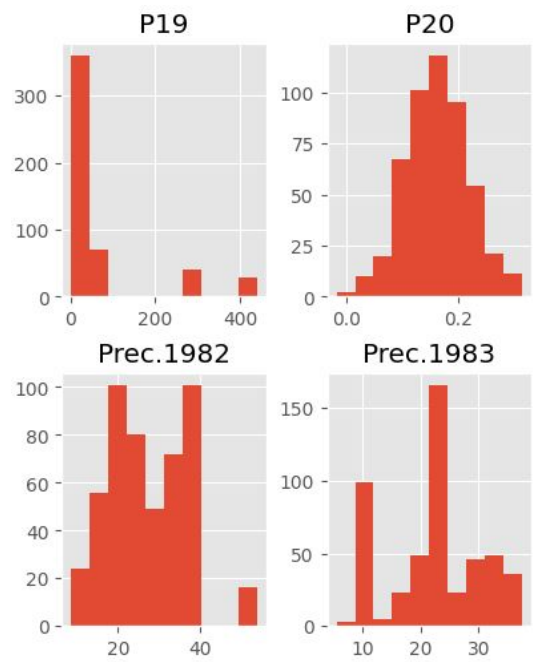


**Fuente:** Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 18**

Parámetros estadísticos de

la Data Set

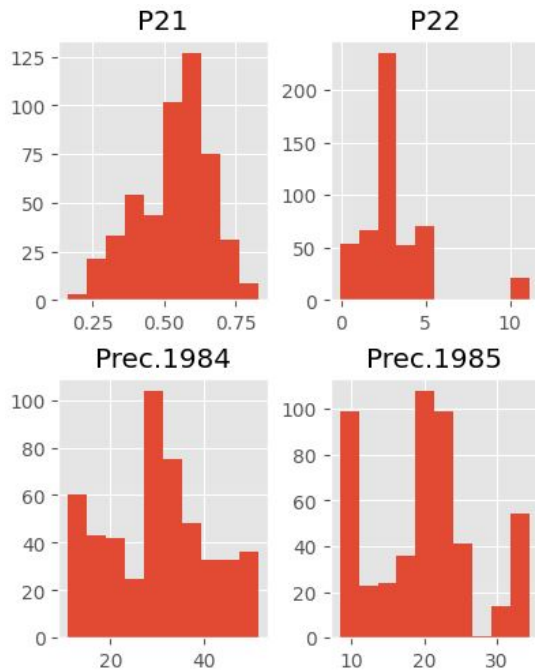


**Fuente:** Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 19**

Parámetros estadísticos de

la Data Set

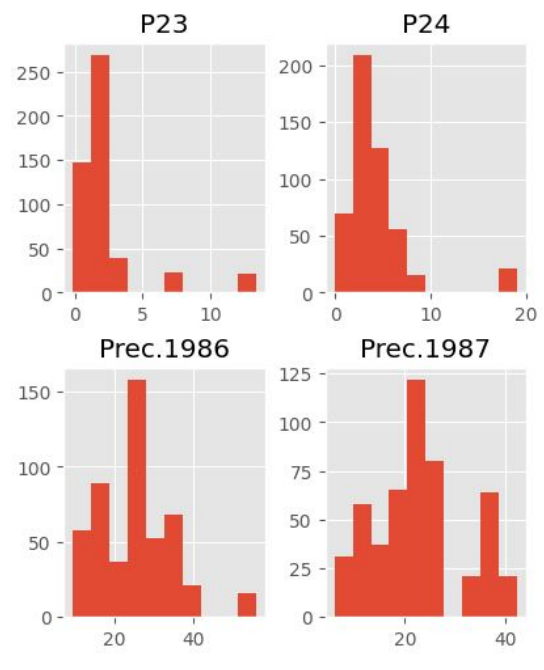


**Fuente:** Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 20**

Parámetros estadísticos de

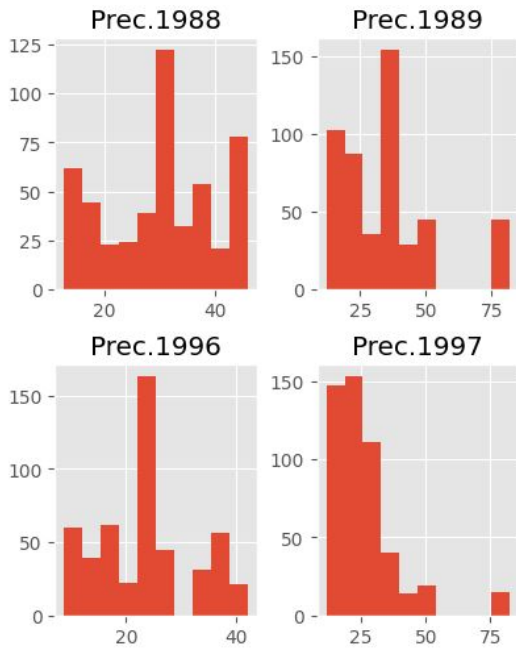
la Data Set



**Fuente:** Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 21** Parámetros estadísticos de

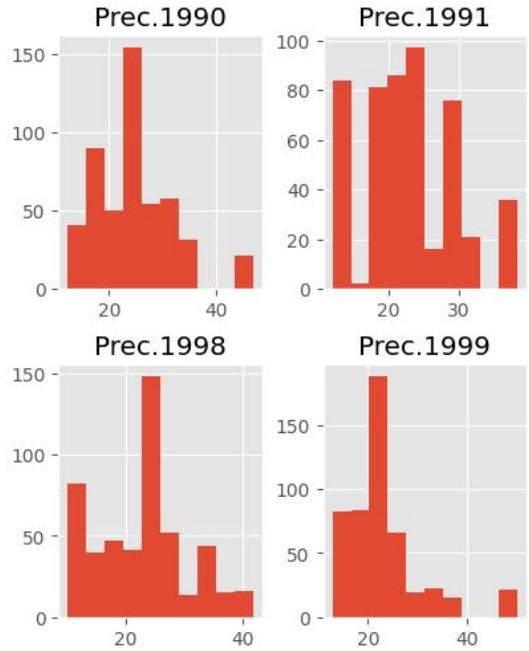
la Data Set



Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 22** Parámetros estadísticos de

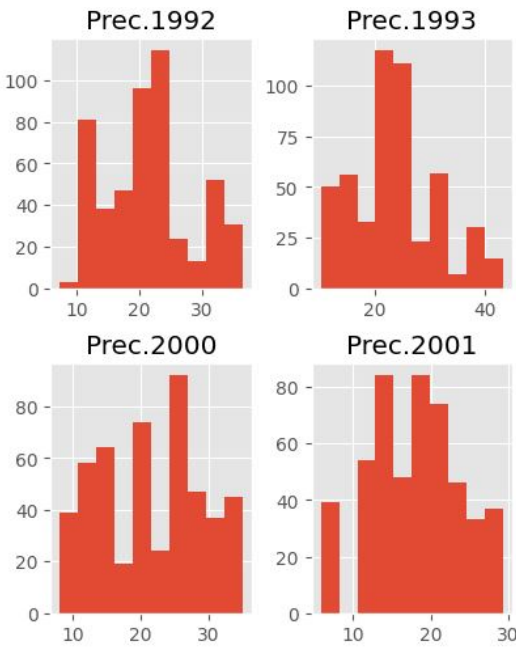
la Data Set



Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 23** Parámetros estadísticos de

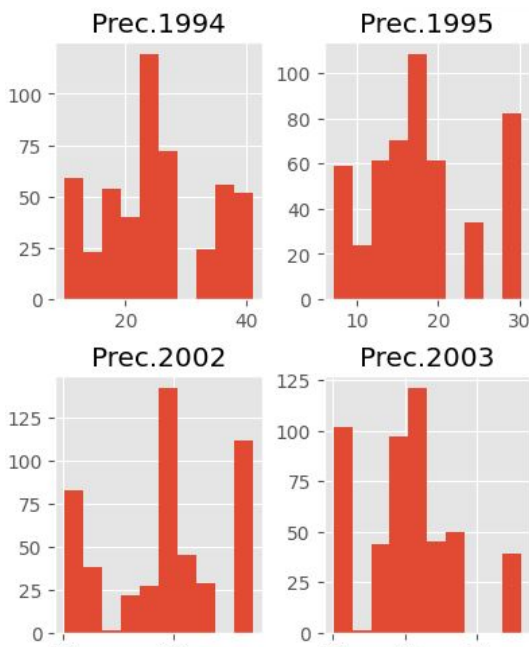
la Data Set



Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

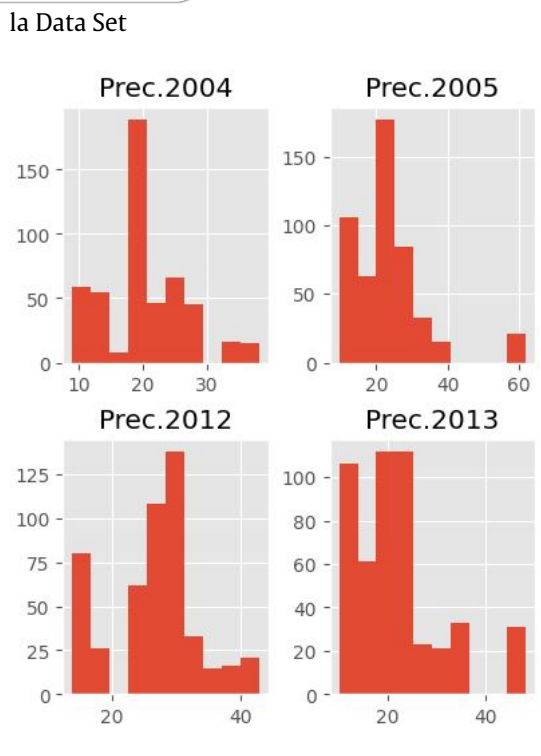
**Figura 24** Parámetros estadísticos de

la Data Set



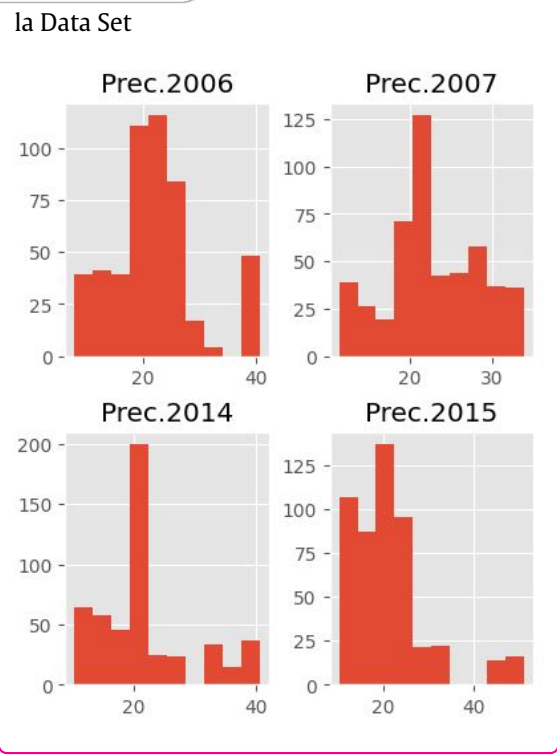
Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 25** Parámetros estadísticos de la Data Set



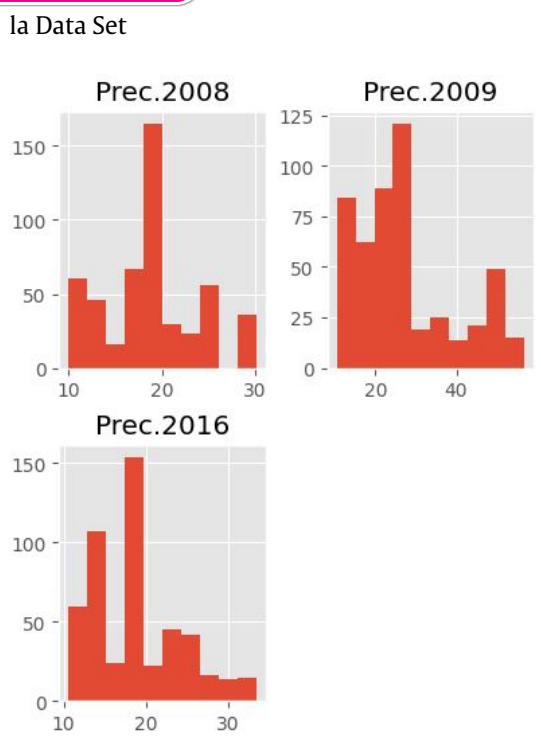
**Fuente:** Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 26** Parámetros estadísticos de la Data Set



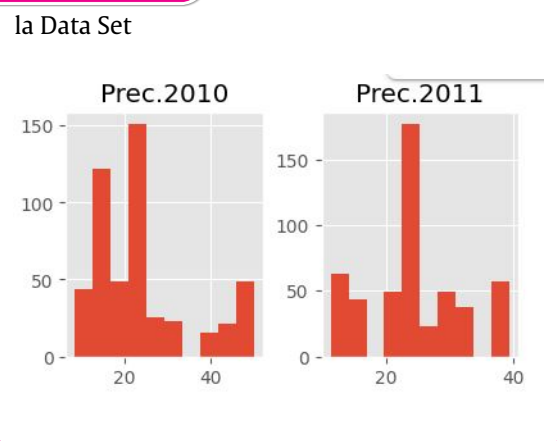
**Fuente:** Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 27** Parámetros estadísticos de la Data Set



**Fuente:** Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 28** Parámetros estadísticos de la Data Set



**Fuente:** Elaboración propia con Python Jupyter

### 3.9.2.3 Arquitectura del Modelo de Red Neuronal Artificial

Para el modelamiento se tiene el siguiente código fuente mostrado debajo donde con los datos se crea la arquitectura de red como se aprecia en el código fuente definiendo las capas de entrada y salida de la red Neuronal Artificial estableciendo las neuronas utilizadas en el modelamiento donde podemos apreciar para la entrada se cuenta con 25 neuronas, para la capa oculta se cuenta con 37 neuronas y para la capa de salida con 35 neuronas, con una función de activación RELU

#### Código Fuente para la creación del modelo de Red Neuronal con Jupyter Notebook

```
k.clear_session()

modelo = Sequential()
[modelo.add(Dense(25, input_dim = 25, activation = 'relu', kernel_initializer = 'he_uniform'))
modelo.add(Dense(37, activation='relu'))
modelo.add(Dense(35, activation='linear'))

modelo.compile(loss = 'mean_squared_error', optimizer = 'adam', metrics = ['mae', 'mse'])
modelo.summary()
```

**Figura 29**

Planteamiento del Modelo de Red Neuronal Artificial para el entrenamiento, validación y prueba

Model: "sequential"

Layer (type)	Output Shape	Param #
dense (Dense)	(None, 25)	650
dense_1 (Dense)	(None, 37)	962
dense_2 (Dense)	(None, 35)	1,330

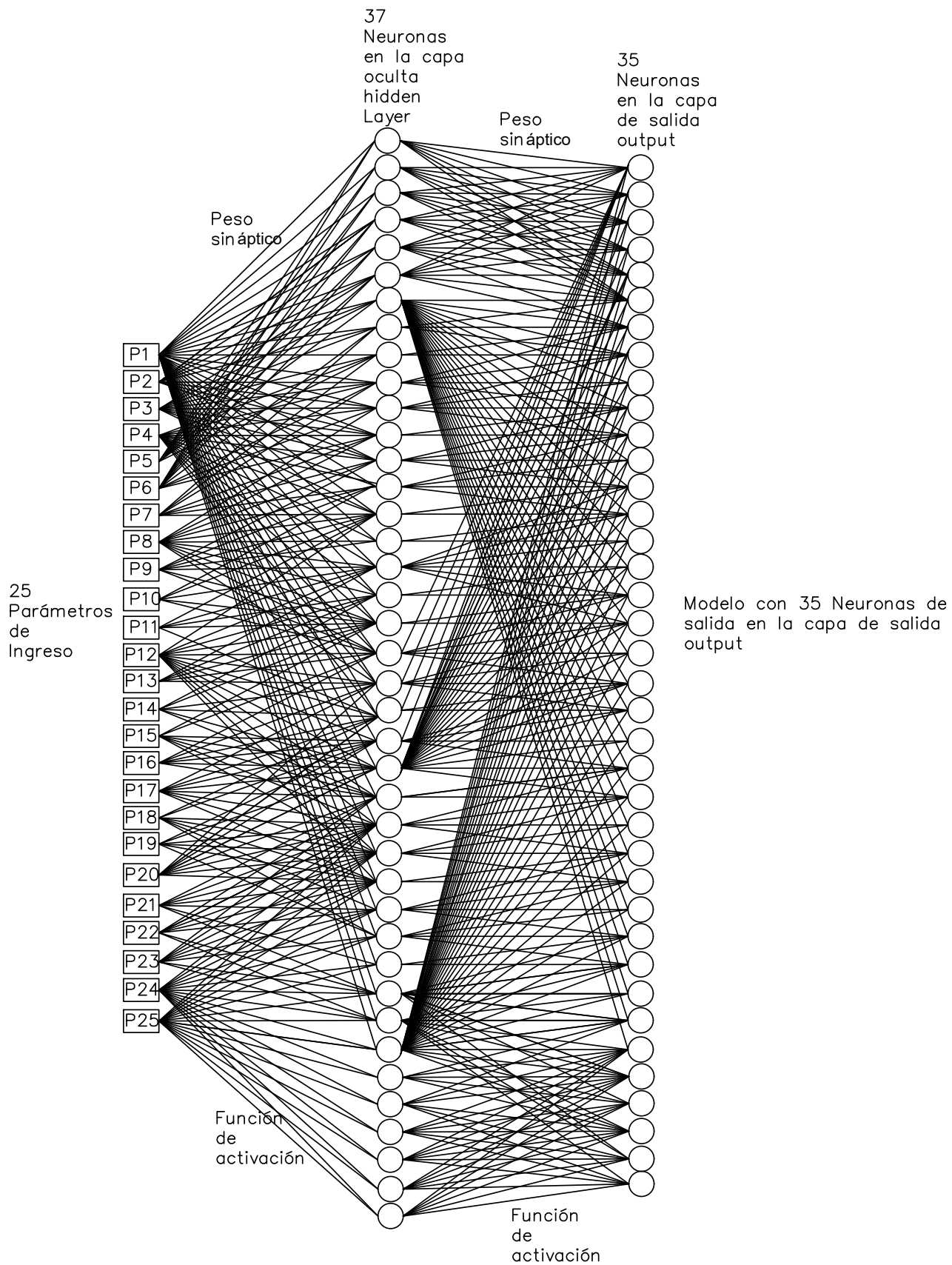
Total params: 2,942 (11.49 KB)  
 Trainable params: 2,942 (11.49 KB)  
 Non-trainable params: 0 (0.00 B)

**Fuente:** Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

El modelo de la arquitectura de datos se verifica en la imagen debajo donde podemos apreciar los parámetros de ingreso, las capas ocultas y los parametros de salida en la capas respectivas, el presente modelo utiliza las función de activación RELU para encontrar el error deseado y para predecir la precipitación con mayor confiabilidad

Figura 30

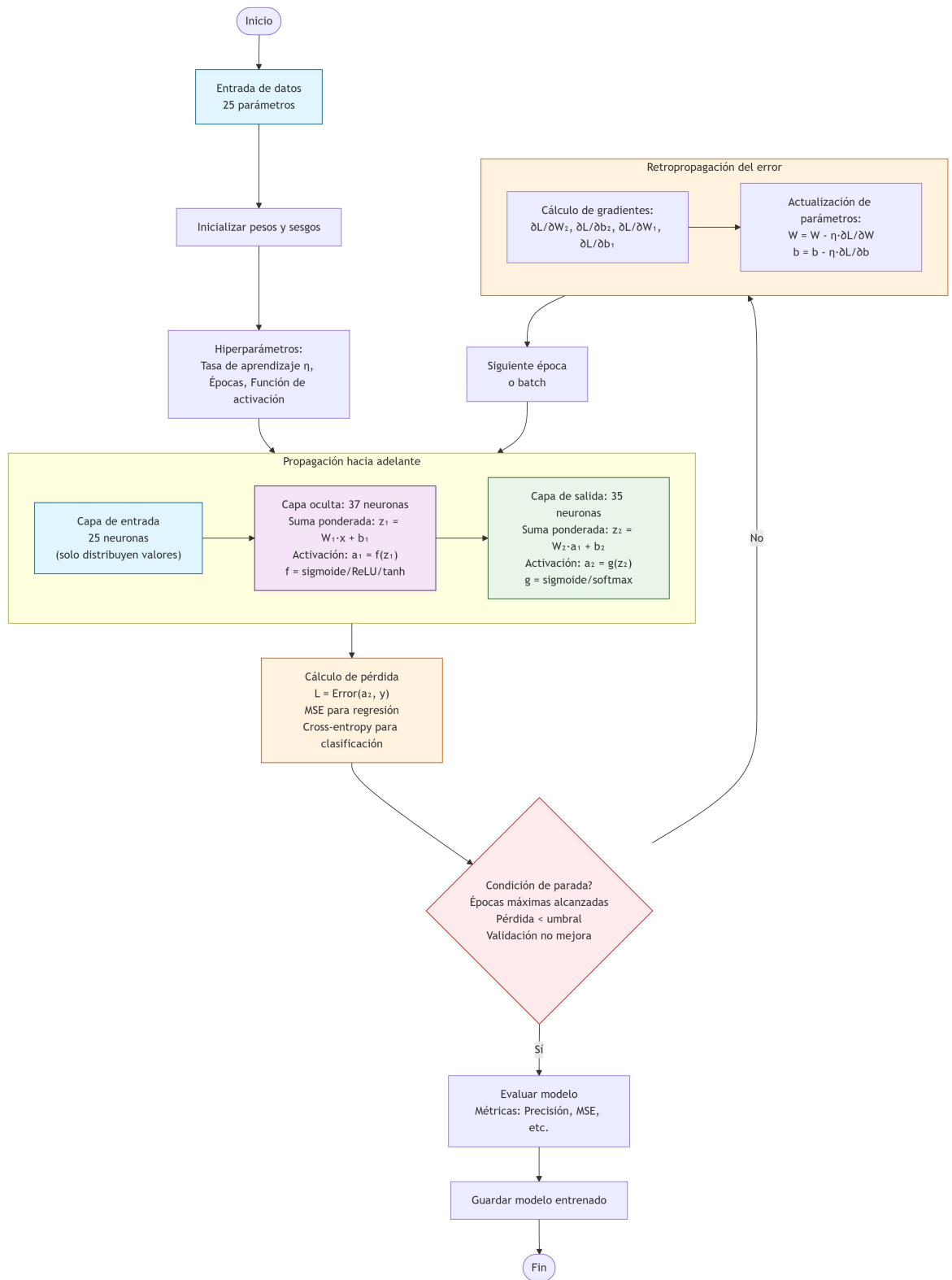
Planteamiento del Modelo de Red Neuronal Artificial para el entrenamiento, validación y prueba



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 31

Diagrama de flujo para el Modelo de Red Neuronal Artificial



Fuente: Elaboración Propia

### 3.9.2.4 Iteración de épocas del Modelo de Red Neuronal Artificial

para procesar el modelo de Red Neuronal Artificial se utilizaron 2000 épocas hasta encontrar el error medio deseado para los valores con una precisión al 90 %

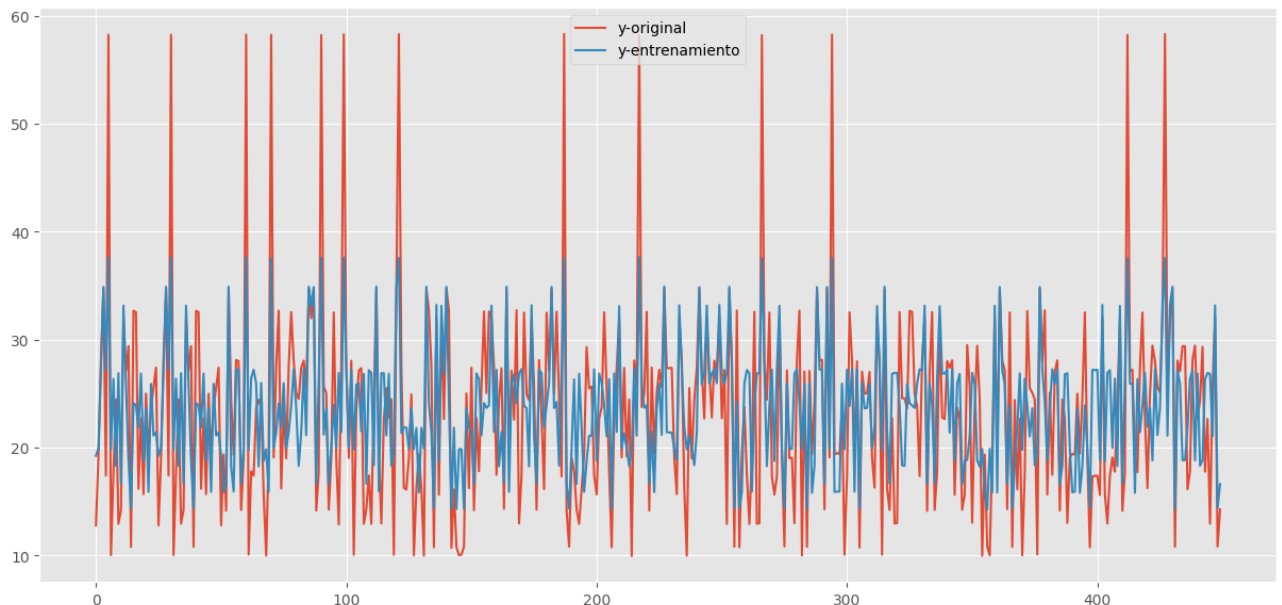
#### Código Fuente para la creación del modelo de Red Neuronal con Jupyter Notebook

```
batch_size = X_entr.shape[0]
history = modelo.fit(X_entr, Y_entr, epochs=2000,
validation_split=dat_val,batch_size=batch_size )
print( history)
Y_entr_RN = modelo.predict(X_entr)
loss, mae, mse = modelo.evaluate(X_eval, Y_eval, verbose=0)
print('El error promedio es: print(' keys:', history.history.keys())

plt.plot(Y_entr, label= y-original )
plt.plot(Y_entr_RN, label= y-entrenamiento )
plt.legend()
plt.show()
```

Figura 32

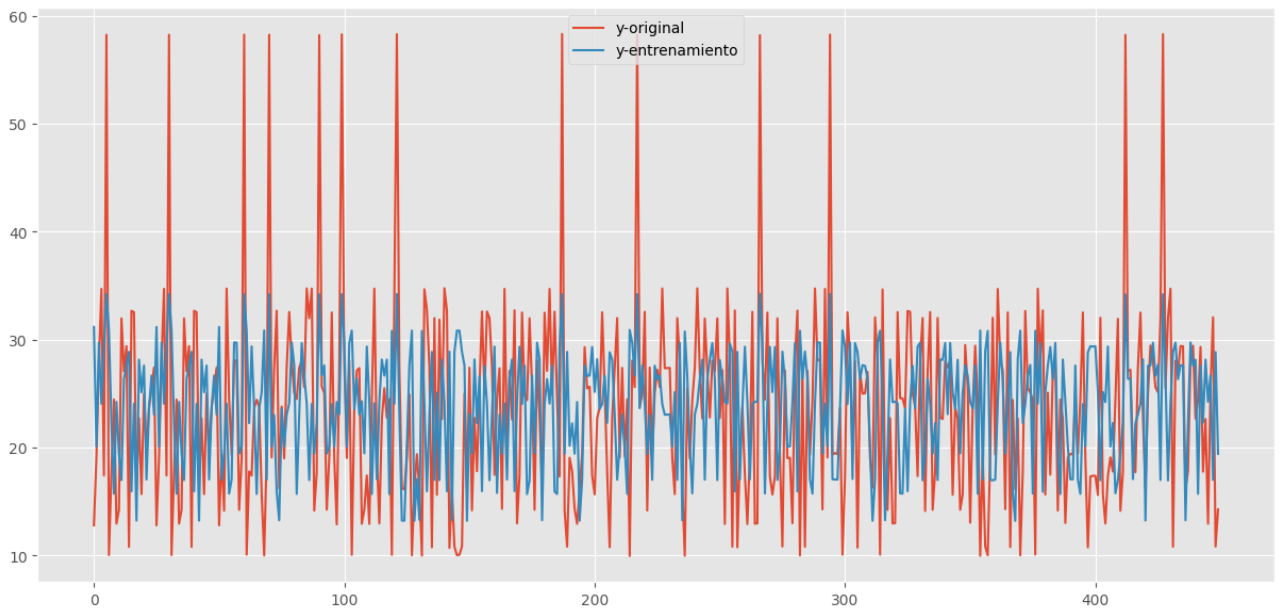
Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1981



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

**Figura 33**

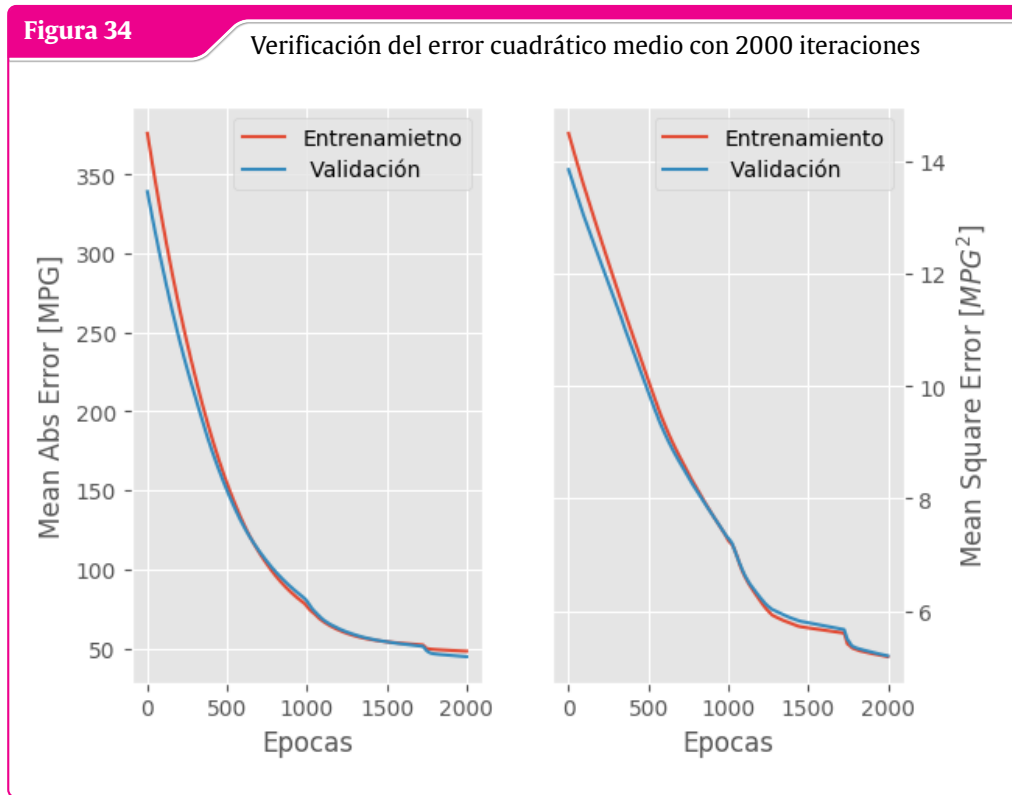
Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1981



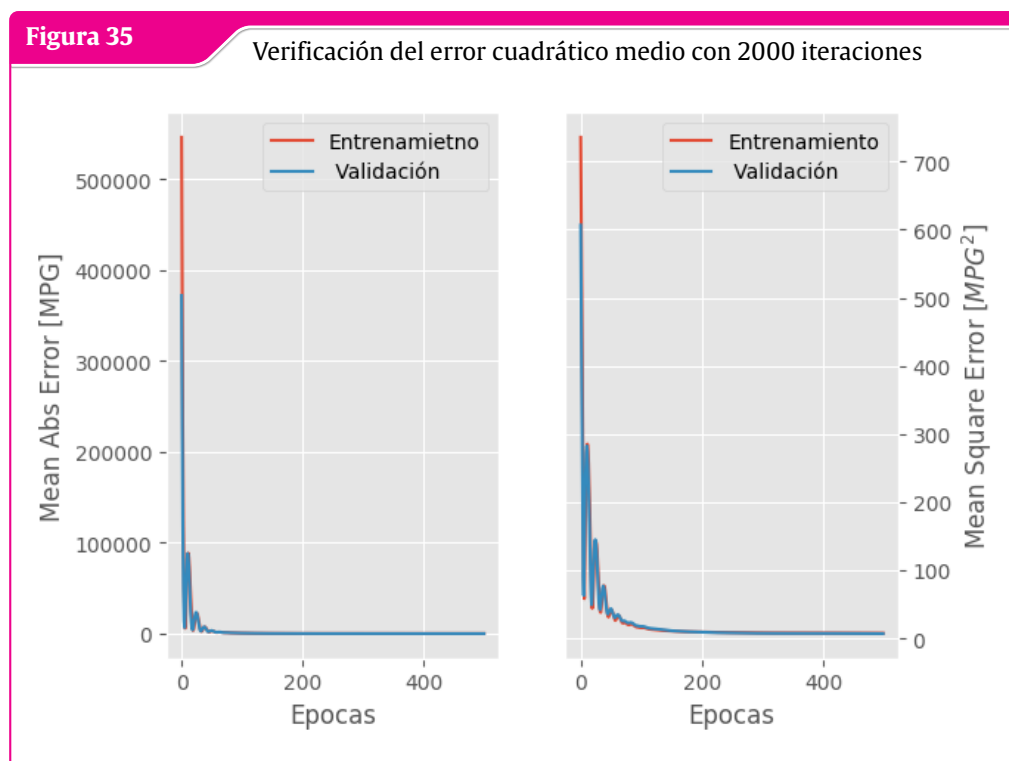
**Fuente:** Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

**3.9.2.5 Verificación del error cuadrático medio**

Verificaciones de los errores para decidir el mejor modelo con mayor desempeño de la red



**Fuente:** Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



**Fuente:** Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

### 3.9.2.6 Validación de Modelo seleccionado

Una vez entrenado el modelo de red seleccionado procedemos a verificar con los datos de validación de la Red Neuronal Artificial, para lo cual utilizamos los datos seleccionados para la validación donde de los 500 datos se toman 100 datos para la validación aunque muchos autores mencionan oportunamente utilizar entre el 20 al 25% de los datos totales para la presente investigación se toma con criterio los 100 últimos datos los cuales validarán al modelo entrenado cumpliendo un buen desempeño de la Red Neuronal Artificial.

La validación de un modelo MLP con 500 datos, utilizando el 20% (100 muestras) para validación y 80% (400 muestras) para entrenamiento, representa una partición más equilibrada que permite una evaluación robusta de la capacidad de generalización del modelo, el cual posee 25 entradas, 37 neuronas con activación ReLU en la capa oculta y 35 salidas lineales, totalizando aproximadamente 2,292 parámetros entrenables. Los 400 datos de entrenamiento proporcionan una base suficiente para que el modelo aprenda los patrones complejos entre las variables de entrada y las 35 dimensiones de salida, mientras que las 100 muestras de validación permiten calcular métricas confiables como el Error Cuadrático Medio (MSE) y el Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ), tanto globales como desglosadas por cada una de las salidas, identificando posibles dimensiones problemáticas. Durante el entrenamiento, se monitorea simultáneamente la pérdida en entrenamiento y validación, donde una divergencia sostenida indicaría overfitting, riesgo que se mitiga mediante técnicas como early stopping (deteniendo el entrenamiento cuando la pérdida de validación deja de mejorar),

regularización L2 en las capas densas, y posiblemente dropout, especialmente importante dada la alta capacidad del modelo. La función ReLU en la capa oculta acelera la convergencia pero requiere monitoreo de neuronas inactivas, mientras que la activación lineal en salida exige normalización adecuada de los targets. Esta partición 80/20, complementada con validación cruzada k-fold si se requiere mayor robustez estadística, garantiza que el modelo no solo se ajuste bien a los datos de entrenamiento, sino que generalice efectivamente a nuevas observaciones, validando la relación entre los 25 parámetros de entrada y las 35 variables de salida en un contexto de regresión multivariada.

#### Código Fuente para la creación del modelo de Red Neuronal con Jupyter Notebook

```
Y_eval_RN = modelo.predict(X_eval)
loss, mae, mse = modelo.evaluate(X_eval, Y_eval, verbose=0)

print('RNA:', Y_eval_RN)
print('reales:', Y_eval)

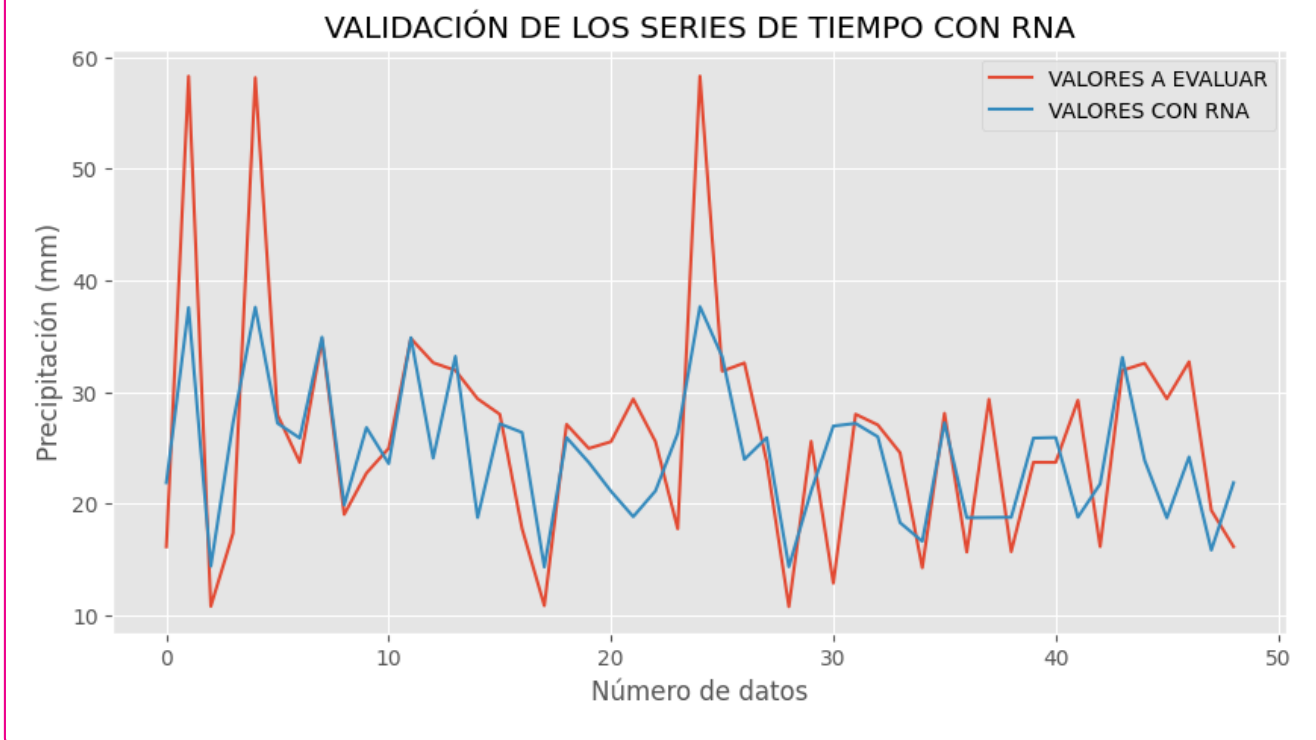
print('El error promedio es: print("mae: print("mse:

plt.figure(figsize=(10, 5))
plt.style.use('ggplot')
plt.plot(Y_eval, label="VALORES A EVALUAR")
plt.plot(Y_eval_RN, label="VALORES CON RNA")
plt.title('SERIES DE TIEMPO CON RNA')
plt.xlabel('Número de datos')
plt.ylabel('Precipitación (mm)')
plt.legend()

plt.legend()
plt.show()
```

Figura 36

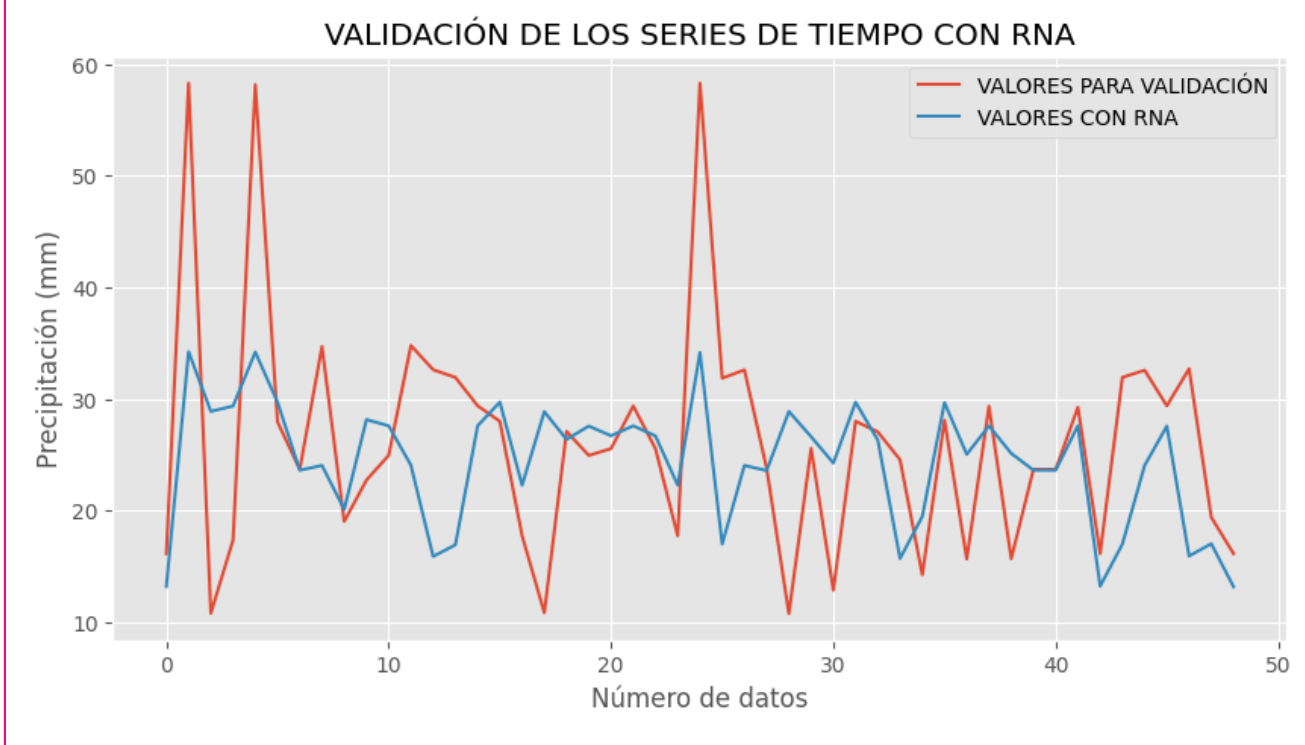
Validación del modelo de Red Neuronal Artificial



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 37

Validación del modelo de Red Neuronal Artificial



**Fuente:** Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

### 3.9.2.7 Prueba del modelo de Red Neuronal Artificial

Una vez entrenado y validado el modelo de Red Neuronal Artificial con un buen desempeño y error medio promedio admisible, realizamos para prueba del modelo ingresando los datos de entrada para predecir los resultados obtenidos con RNA

#### Código Fuente para la creación del modelo de Red Neuronal con Jupyter Notebook

```
PARAMETROS_INGRESADO = pd.DataFrame([640.8, 159.2, 4825.9, 3391.1, 4253.2, 9
.1, 11.5, 5.6, 0.3, 51, 0.6, 12.7, 5.8, 50.6, 2.5, 1344.4, 5, 189, 438.6, 0.2, 0.7, 3.4, 1
.8, 3.7, 1.2])
PARAMETROS_INGRESADO=PARAMETROS_INGRESADO.transpose()
print(PARAMETROS_INGRESADO)
VALOR_PREDECIDO = modelo.predict(PARAMETROS_INGRESADO)
print('VALOR_PREDECIDO :', VALOR\_PREDECIDO)
```

### 3.9.3 Obtención de los hietogramas de diseño a partir de las precipitaciones

**Tabla 9:** Simbología de los Características físicas y parámetros morfométricos de la cuenca

<b>Año</b>	<b>Subcuenca1</b>
<b>1981</b>	12.8
<b>1982</b>	8.4
<b>1983</b>	5.5
<b>1984</b>	22.9
<b>1985</b>	9.2
<b>1986</b>	9.4
<b>1987</b>	6
<b>1988</b>	13.2
<b>1989</b>	23.4
<b>1990</b>	12.6
<b>1991</b>	14.1
<b>1992</b>	7.2
<b>1993</b>	12.1
<b>1994</b>	21.4
<b>1995</b>	12.8
<b>1996</b>	15.1
<b>1997</b>	11.6
<b>1998</b>	13.7
<b>1999</b>	14.4
<b>2000</b>	17.8
<b>2001</b>	16.1
<b>2002</b>	15.4
<b>2003</b>	12
<b>2004</b>	9.6
<b>2005</b>	18
<b>2006</b>	15.5
<b>2007</b>	11.3
<b>2008</b>	18.4
<b>2009</b>	8.6
<b>2010</b>	12.3
<b>2011</b>	18
<b>2012</b>	10.6

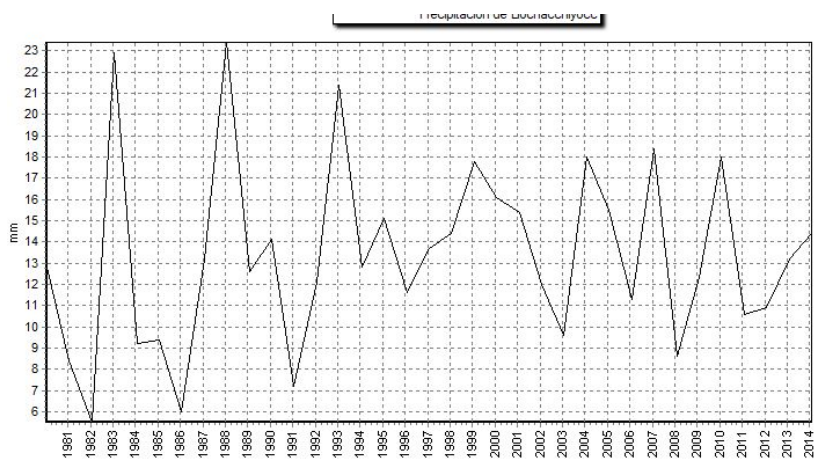
**2013** 10.9

**2014** 13.2

**2015** 14.4

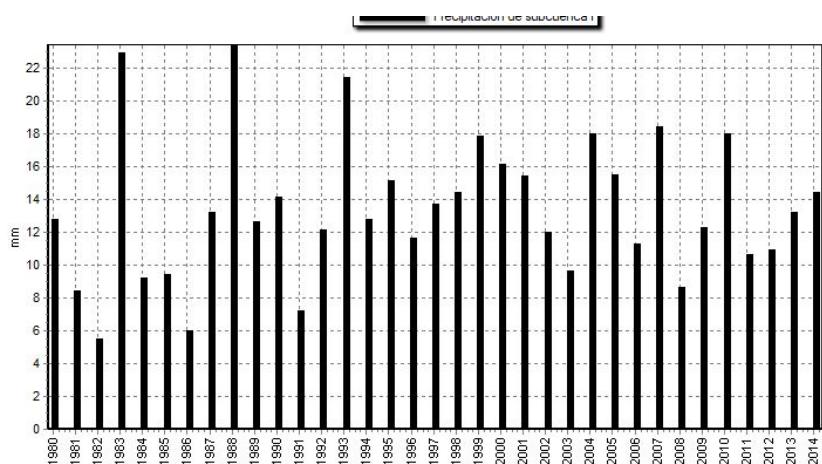
**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 38** Series de tiempo para la precipitación máxima diaria anual de la subcuenca1 de 1981 al 2015



**Fuente:** Elaboracion Propia

**Figura 39** Histograma para la precipitación máxima diaria anual de la de la subcuenca1 de 1981 al 2015



**Fuente:** Elaboracion Propia

### Análisis de consistencia de datos de una serie hidrológica

Antes de realizar los distintos modelos hidrológicos y metodologías para la determinación del caudal en máximas avenidas, se realizaron ajustes probabilísticos para determinar la precipitación

para los periodos de retorno requeridos y con ello determinar los caudales de diseño. En el presente estudio se determinaron los caudales con el modelo HEC-HMS a partir de hietogramas generadas con las precipitaciones del PISCO-SENAMHI.

**Análisis doble Masa** Este análisis se utiliza para tener una cierta confiabilidad en la información, así como también, para analizar la consistencia de los datos relacionado a los errores que pueden producirse durante la obtención de los mismos, y no para una corrección a partir de la recta doble masa. El diagrama doble masa se obtiene ploteando los valores acumulados de las precipitaciones máximas para 24 horas. El análisis doble masa propiamente dicho, consiste en conocer mediante los quiebres que se presentan en los diagramas, las causas de los fenómenos naturales, o si estos han sido ocasionados por errores sistemáticos. En este último caso, permite determinar el rango de los periodos dudosos y confiables para la estación en estudio, la cual se deberá corregir utilizando ciertos criterios estadísticos.

**Análisis estadístico** Después de obtener los gráficos para el análisis visual y gráfica de doble masa, los períodos de posible corrección, y los períodos de datos que se mantendrán con sus valores originales, se procede al análisis estadístico de saltos, tanto en la media como en la desviación estándar.

#### Análisis de saltos

**Consistencia de la Media** El análisis estadístico consiste en probar, mediante la prueba t (prueba de hipótesis), si los valores medios ( $x_1$ ,  $x_2$ ) de las submuestras, son estadísticamente iguales o diferentes con una probabilidad del 95 % o con 5 % de nivel de significancia, de la siguiente manera:

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} x_i \quad ; \quad S_1(x) = \left[ \frac{1}{n_1-1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} x_j \quad ; \quad S_2(x) = \left[ \frac{1}{n_2-1} \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

$x_i$ : Valores de la serie del periodo1.

$x_j$ : Valores de la serie del periodo2.

$\bar{x}_1$  :  $\bar{x}_2$  : media de los períodos 1 y 2 respectivamente.

$S_1(x)$ ,  $S_2(x)$ : desviación estándar de los períodos 1 y 2 respectivamente.

n: tamaño de la muestra.

n1 y n2: tamaño de las submuestras.

n=n1+n2.

**Cálculo del (tc) calculado según:**

$$t_c = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_{\bar{d}}} \quad (3.1)$$

Donde:

$\mu_1 - \mu_2 = 0$  (la hipótesis es que las medias son iguales)

Quedando:

$$t_c = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_{\bar{d}}}$$

**Cálculo del (tc) en relación a las media**

**Desviación de las diferencias de los promedios**

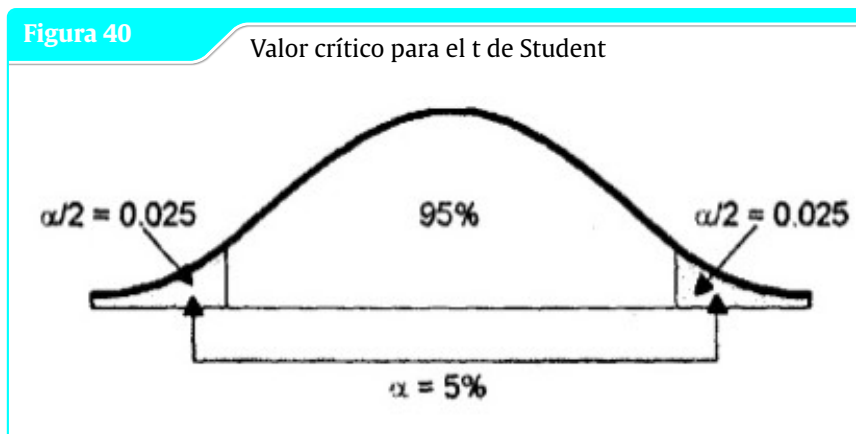
$$S_p = \left[ \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.2)$$

**Desviación estándar ponderada**

$$S_{\bar{d}} = S_p \left[ \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.3)$$

**Cálculo del t tabular teórico (tt)**

El valor crítico de t se obtiene de la tabla de t de Student, con una probabilidad al 95 % o con un nivel de significación del 5 %, es decir con  $\alpha/2=0.025$  y con grados de libertad  $y=n_1+n_2-2$



Fuente: Elaboración Propia

### Comparación del $t_c$ con el $t_t$

Si  $|t_c| \leq t_t$  (95%)  $\rightarrow \bar{x}_1 = \bar{x}_2$ , estadísticamente. En este caso, siendo las medias estadísticamente iguales, no se debe realizar procesos de corrección.

Si  $|t_c| > t_t$  (95%)  $\rightarrow \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$ , estadísticamente. En este caso, siendo las medias estadísticamente diferentes, se debe realizar procesos de corrección.

### Consistencia de desviación estándar

El análisis estadístico consiste en probar, mediante la prueba F, si los valores de las desviaciones estándar de las submuestras son estadísticamente iguales o diferentes con un 95% de probabilidad o con un 5% de nivel de significación, de la siguiente forma:

$$S_1^2(x) = \left(\frac{1}{n_1-1}\right) \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 \quad ; \quad S_2^2(x) = \left(\frac{1}{n_2-1}\right) \sum_{j=1}^{n_2} (x_j - \bar{x}_2)^2$$

### Cálculo de la varianza de ambos períodos

$$F_c = \frac{S_1^2(x)}{S_2^2(x)} \quad ; \quad \text{si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$F_c = \frac{S_2^2(x)}{S_1^2(x)} \quad ; \quad S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

### Cálculo del F calculado ( $F_c$ )

Para el cálculo del F tabular (valor crítico de F o  $F_t$ ), se obtiene de las tablas de F de Fisher para una probabilidad del 95%, es decir, con un nivel de significación  $\alpha=0.005$  y grados de libertad:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{G.L.N} = n_1 - 1 \\ \text{G.L.D} = n_2 - 1 \end{array} \right\}, \text{ si } S_1^2(x) > S_2^2(x)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{G.L.N} = n_2 - 1 \\ \text{G.L.D} = n_1 - 1 \end{array} \right\}, \text{ si } S_2^2(x) > S_1^2(x)$$

### Cálculo del F tabular según las condiciones Comparación del Fc con el Ft

Si  $F_c \leq F_t (95\%) \rightarrow S_1(x) = S_2(x)$ ; estadísticamente.

Si  $F_c > F_t (95\%) \rightarrow S_1(x) \neq S_2(x)$ ; estadísticamente diferentes por lo que se debe corregir.

### Corrección de datos

En los casos en que los parámetros media y desviación estándar de las submuestras de las series de tiempo, resultan estadísticamente iguales, la información original no se corrige, por ser consistente con 95% de probabilidad, aun cuando la doble masa se observe pequeños quiebres. En caso contrario, se corrigen los valores de las submuestras mediante las siguientes ecuaciones:

$$X'_{(t)} = \frac{x_t - \bar{x}_1}{S_1(x)} \cdot S_2(x) + \bar{x}_2 \quad (3.4)$$

Donde:

$X'_{(t)}$ : valor corregido de saltos

$x_t$ : valor a ser corregido

## 3.9.4 Modelos probabilísticos

Los modelos probabilísticos se caracterizan por ser independientes en el tiempo, es decir son modelos donde la secuencia en el tiempo de las variables no interesa y estas siguen la ley de una determinada distribución de frecuencias o la ley de un determinado modelo probabilístico. Se ha considerado emplear los siguientes modelos probabilísticos: Normal, Log Normal de 2 parámetros, Pearson Tipo III, Log Pearson Tipo III y Gumbel.

### Distribución Normal

La función de densidad de probabilidad normal se define como:

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{S}\right)^2} \quad (3.5)$$

Donde:

$f(x)$ : función densidad normal de la variable x.

$x$  : Variable independiente.

$\mu$  : parámetro de localización, igual a la media aritmética de  $x$ .

$S$  : parámetro de escala, igual a la desviación estándar de  $x$ .

### Distribución Log Normal 2 parámetros

La función de distribución de probabilidad es:

$$f(y \leq y_i) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{y_i} e^{-\left(\frac{y-\bar{y}}{2s^2}\right)^2} dy \quad (3.6)$$

Donde:

$\bar{y}$  y  $s$  son parámetros de la distribución.

Considerando que  $y = \log x$ , donde  $x$  es la variable independiente en análisis.

### Distribución Pearson Tipo III

La función de densidad de  $x$  es:

$$f(y \leq y_i) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{y_i} e^{-\left(\frac{y-\bar{y}}{2s^2}\right)^2} dy \quad (3.7)$$

Donde:

$x_0$  : Parámetro de posición.

$U_y$  : Parámetro de escala o media.

$SY^2$  : Parámetro de forma a varianza.

### Distribución Log Pearson Tipo III

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(\ln x - x_0)}{\beta}}}{x\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} \quad (3.8)$$

Valido para:

$$X_0 \leq x \leq \infty$$

$$-\infty \leq x \leq \infty$$

$$0 \leq y \leq \infty$$

$$0 \leq \beta \leq \infty$$

Donde:

$\gamma$  : Parámetro de forma.

$\beta$  : Parámetro de escala.

$X_0$  : Parámetro de origen de la variable.

### **Distribución Gumbel**

La distribución de Valores Tipo I conocida como distribución Gumbel o Doble Exponencial, tiene como función de distribución de probabilidades la siguiente expresión:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (3.9)$$

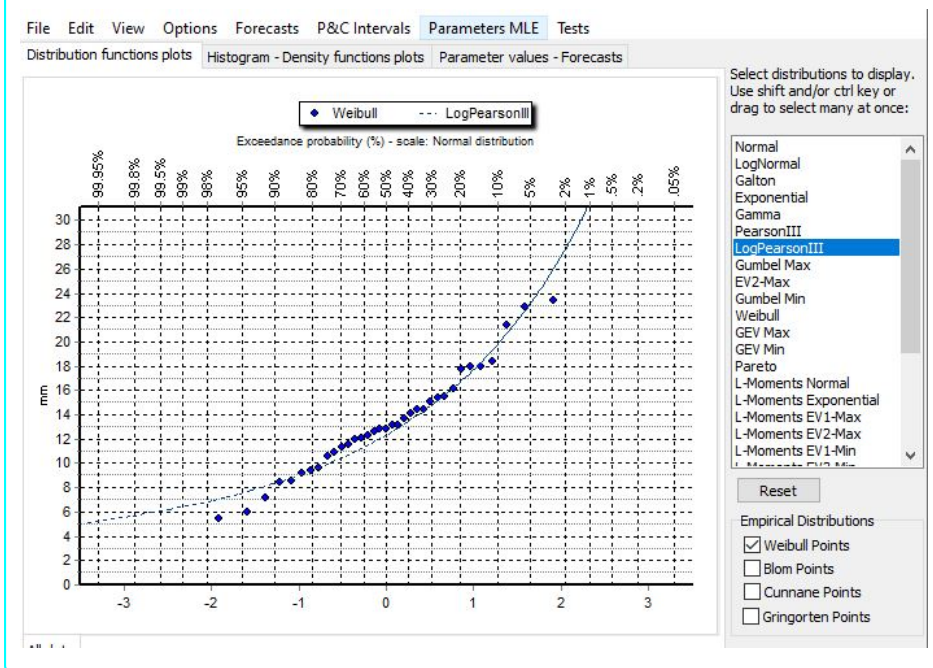
Utilizando el método de momentos se tiene el Parámetro de concentración para distribución de Gumbel:

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma}$$

Parámetro de localización para distribución de Gumbel

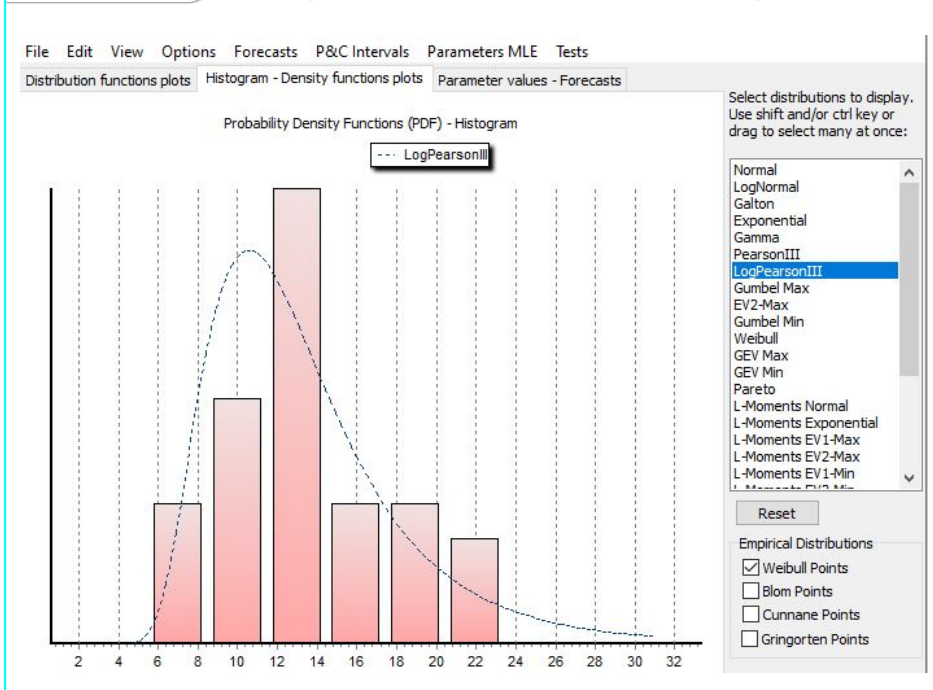
$$\beta = \mu - 0.45\sigma$$

**Figura 41** Distribución LogPerson III para los datos medidos ajustados a la distribución probabilística



Fuente: Elaboracion Propia

**Figura 42** Histograma de la Distribución Distribución LogPerson III



Fuente: Elaboracion Propia

### 3.9.5 Pruebas de ajustes de bondad

Para la selección del modelo probabilístico adecuado se emplean los métodos gráfico y estadístico.

#### Método de Chi cuadrado

Determinado por la cantidad de frecuencias esperadas y observadas en una distribución con cierta cantidad de intervalos (k):

$$k = 1 + 1.33 \log N$$

Donde:

N : Número de datos disponibles.

Luego se realiza la comparación con la siguiente fórmula:

$$K_c^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(\theta_i - e_i)^2}{e_i} \quad (3.10)$$

Donde:

$K_c^2$  : Valor de chi cuadrado.

$\theta_i$  : Datos observados.

$e_i$  : Datos esperada.

#### Método de Kolmogorov - Smirnov

La Prueba Estadística de Kolmogorov - Smirnov, consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia D que hay entre la función de distribución observada  $F_0(Q_m)$  y la estimada  $F(Q_m)$

$$D = \max |F_0(Q_m) - F(Q_m)|$$

Con un valor crítico d que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionado (Tabla N° 1). Si  $D < d$ , se acepta la hipótesis. Esta prueba tiene la ventaja sobre la prueba chi-cuadrado de que compara los datos con el modelo estadístico sin necesidad de agruparlos. La función de distribución de probabilidad observada se calcula como Distribución de Probabilidad observada:

$$F_0(Q_m) = 1 - \frac{m}{n+1}$$

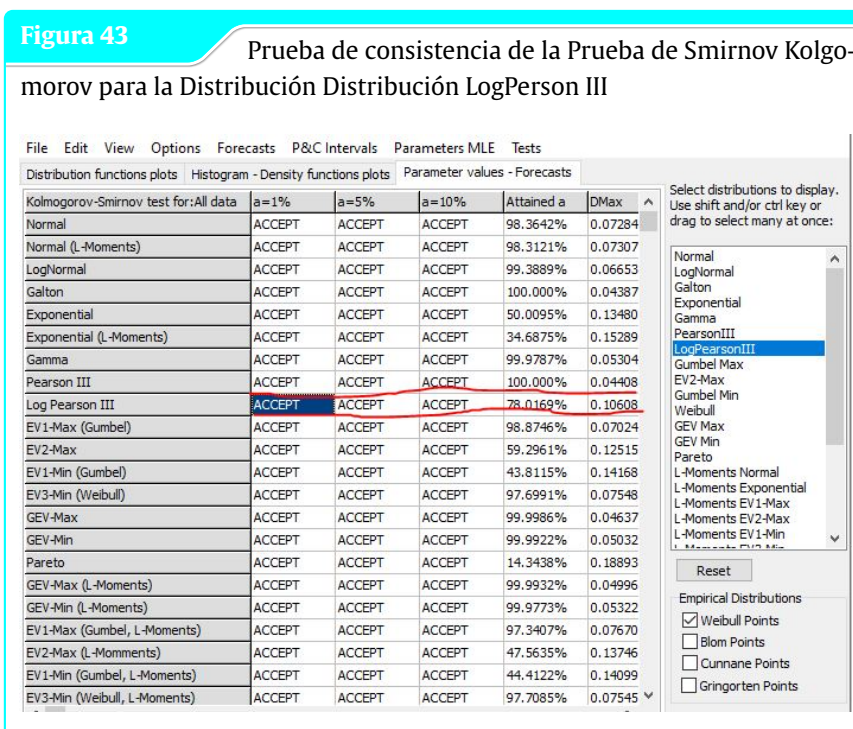
Donde:

m: es el número de orden del dato Qm en una lista de mayor a menor y n es el número total de datos..

**Tabla 10:** Valores críticos "d" para la prueba Kolgomorov - Smirnov de bondad de ajuste

TAMAÑO DE LA MUESTRA	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
5	0.51	0.56	<b>0.67</b>
10	0.37	0.41	<b>0.49</b>
15	0.3	0.34	<b>0.4</b>
20	0.26	0.29	<b>0.35</b>
25	0.24	0.26	<b>0.32</b>
30	0.22	0.24	<b>0.29</b>
40	0.19	0.21	<b>0.25</b>
<b>N grande</b>	$1.22/\sqrt{n}$	$1.36/\sqrt{n}$	$1.63/\sqrt{n}$

**Fuente:** Elaboración Propia



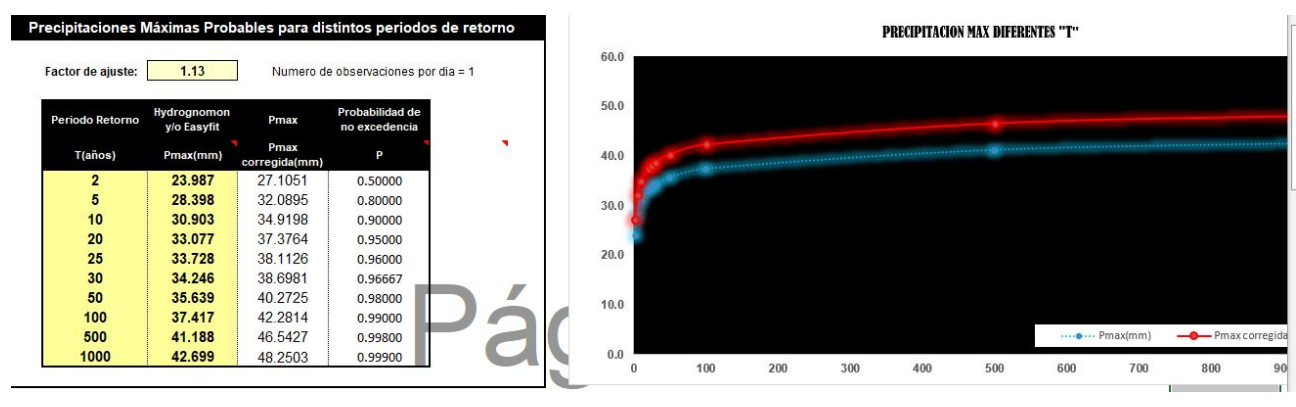
### 3.9.6 Curvas I-D-F y Número de curva

#### 3.9.6.1 Obtención de las curvas I-D-F

Para la obtención de la curva IDF, primeramente necesitamos obtener la precipitación media para los registros históricos de precipitaciones máximas en 24 horas, donde la obtención de la precipitación media para la cuenca del puente Pilpicancha se calcula a partir de las estaciones pluviométricas de Allpachaca y Huancapi según los polígonos de Thiesen, y una vez calculado la precipitación media de la cuenca necesitamos realizar la corrección de los datos utilizando el análisis y la consistencia de datos, luego de corregir necesitamos utilizar modelos de distribución estadístico para obtener la precipitación para diferentes tiempos de retornos, las cuales son importante para calcular por el método de Dick y Pesckle las intensidades, duración y tiempo de retorno y para la generalización del método utilizamos la herramienta de regresión lineal calculando las Curvas I-D-F, para la obtención de los hietogramas de bloques alternos.

Figura 44

Ingreso de datos para el método Dick y pesckle



Fuente: Elaboracion Propia

#### Obtención de "Pd" por Dick y Pesckle

Con el método Dick y Pesckle obtenemos la intensidad, duración y tiempos de retorno pero no generalizados para todos los valores de intensidad, duración y tiempo de concentración es por ello con estos datos utilizando regresión lineal se calculan las curvas I-D-F, generalizando para cualquier valor.

El método de desagregación de las precipitaciones máximas se realizó mediante la fórmula Dyck y Pesckle.

$$P_d = P_{24h} \left( \frac{d}{1440} \right)^{0.25} \quad (3.11)$$

Pd= lluvia máxima de duración.

d = duración de la lluvia en min.

P24h= lluvia máxima diaria en mm.

**Tabla 11**

Ingreso de datos para el método Dick y Pesckle

PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA DIFERENTES TIEMPOS DE DURACIÓN											
Tiempo de Duración	Cociente/Duración	Precipitación máxima Pmax (mm) por tiempos de duración									
		2 años	5 años	10 años	20 años	25 años	30 años	50 años	100 años	500 años	1000 años
24.00 hr	1440.00	27.1051	32.0895	34.9198	37.3764	38.1126	38.6981	40.2725	42.2814	46.5427	48.2503
22.00 hr	1320.00	26.5218	31.3990	34.1684	36.5722	37.2925	37.8654	39.4059	41.3716	45.5412	47.2121
20.00 hr	1200.00	25.8974	30.6597	33.3639	35.7111	36.4144	36.9738	38.4781	40.3975	44.4689	46.1004
18.00 hr	1080.00	25.2241	29.8627	32.4966	34.7827	35.4678	36.0126	37.4778	39.3473	43.3128	44.9020
16.00 hr	960.00	24.4922	28.9961	31.5536	33.7734	34.4387	34.9677	36.3903	38.2056	42.0560	43.5991
14.00 hr	840.00	23.6881	28.0442	30.5177	32.6646	33.3080	33.8196	35.1956	36.9512	40.6753	42.1677
12.00 hr	720.00	22.7926	26.9840	29.3640	31.4297	32.0488	32.5411	33.8650	35.5543	39.1376	40.5735
10.00 hr	600.00	21.7770	25.7816	28.0556	30.0293	30.6208	31.0911	32.3561	33.9701	37.3937	38.7657
8.00 hr	480.00	20.5954	24.3828	26.5333	28.4000	28.9593	29.4042	30.6005	32.1269	35.3648	36.6623
6.00 hr	360.00	19.1662	22.6907	24.6920	26.4291	26.9497	27.3637	28.4770	29.8975	32.9106	34.1181
5.00 hr	300.00	18.3122	21.6797	23.5918	25.2515	25.7489	26.1444	27.2081	28.5653	31.4442	32.5979
4.00 hr	240.00	17.3186	20.5034	22.3118	23.8814	24.3518	24.7259	25.7319	27.0154	29.7381	30.8292
3.00 hr	180.00	16.1168	19.0805	20.7635	22.2242	22.6619	23.0100	23.9462	25.1407	27.6744	28.6898
2.00 hr	120.00	14.5632	17.2412	18.7619	20.0818	20.4773	20.7919	21.6378	22.7172	25.0067	25.9242
1.00 hr	60.00	12.2461	14.4981	15.7768	16.8867	17.2193	17.4838	18.1952	19.1028	21.0280	21.7995

Fuente: Elaboracion Propia

**obtención de las curvas I-D-F**

para la obtención de las curvas I-D-F se necesita calcular los coeficientes de la ecuación para generalizar cualquier valor y utilizando la herramienta de la regresión lineal múltiple se calcula los coeficientes de las curvas I-D-F. Representación matemática de las curvas Intensidad - Duración - Período de retorno:

$$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n} \tag{3.12}$$

Donde:

- I = Intensidad (mm/hr)
- t = Duración de la lluvia (min)
- T = Periodo de retorno (años)
- k,m,n = Parámetros de ajuste

Efectuando un cambio de variable :

$$d = KT^m \tag{3.13}$$

Reemplazando en la expresión anterior se tiene:

$$I = \frac{d}{t^n} \tag{3.14}$$

$$I = d \cdot t^{-n} \tag{3.15}$$

**Tabla 12** Utilización de la regresión lineal múltiple para la linealización de los parámetros de la curva IDF.

Resumen de aplicación de regresión potencial		
Periodo de Retorno (años)	Término cte. de regresión (d)	Coef. de regresión [n]
2	264.00453363172	-0.75000000000
5	312.55306856967	-0.75000000000
10	340.12040374516	-0.75000000000
20	364.04797458059	-0.75000000000
25	371.21854146159	-0.75000000000
30	376.92087561514	-0.75000000000
50	392.25587305996	-0.75000000000
100	411.82277068241	-0.75000000000
500	453.32731052622	-0.75000000000
1000	469.95994394227	-0.75000000000
Promedio =	375.62312958147	-0.75000000000

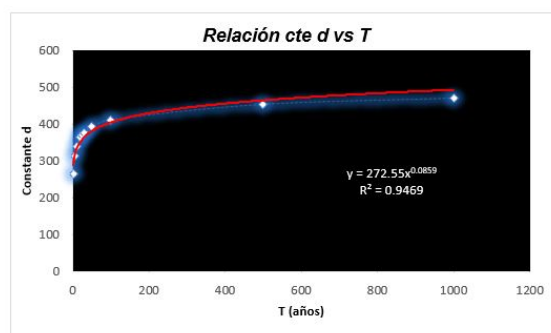
Fuente: Elaboración Propia

En función del cambio de variable realizado, se realiza otra regresión de potencia entre las columnas del periodo de retorno (T) y el término constante de regresión (d), para obtener valores de la ecuación:

$$d = K \cdot T^m \tag{3.16}$$

**Tabla 13** Obtención de los parámetros con regresión lineal múltiple

Regresión potencial						
Nº	T	d	ln T	ln d	ln T * ln d	(ln T)^2
1	2	264.0045	0.6931	5.5760	3.8650	0.4805
2	5	312.5531	1.6094	5.7448	9.2459	2.5903
3	10	340.1204	2.3026	5.8293	13.4225	5.3019
4	20	364.0480	2.9957	5.8973	17.6667	8.9744
5	25	371.2185	3.2189	5.9168	19.0454	10.3612
6	30	376.9209	3.4012	5.9320	20.1760	11.5681
7	50	392.2559	3.9120	5.9719	23.3623	15.3039
8	100	411.8228	4.6052	6.0206	27.7259	21.2076
9	500	453.3273	6.2146	6.1166	38.0124	38.6214
10	1000	469.9599	6.9078	6.1526	42.5010	47.7171
10	1742.0000	3756.2313	35.8605	59.1579	215.0229	162.1263
Ln (K) =	5.6078	K =	272.5502	m =	0.0859	



Fuente: Elaboración Propia

Constante de regresión (K) = 272.550

Coefficiente de regresión (m) = 0.086

Curva IDF para el puente de Llachocniyocc, donde tenemos la expresión matemática de intensidad para la zona de estudio.

$$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n} \quad (3.17)$$

$$I = \frac{272.55025T^{0.0858797}}{t^{0.75}} \quad (3.18)$$

Donde:

I = Intensidad de precipitación (mm/hr)

T = Periodo de retorno (años)

t = Tiempo de duración de precipitación (min)

**Tabla 14**

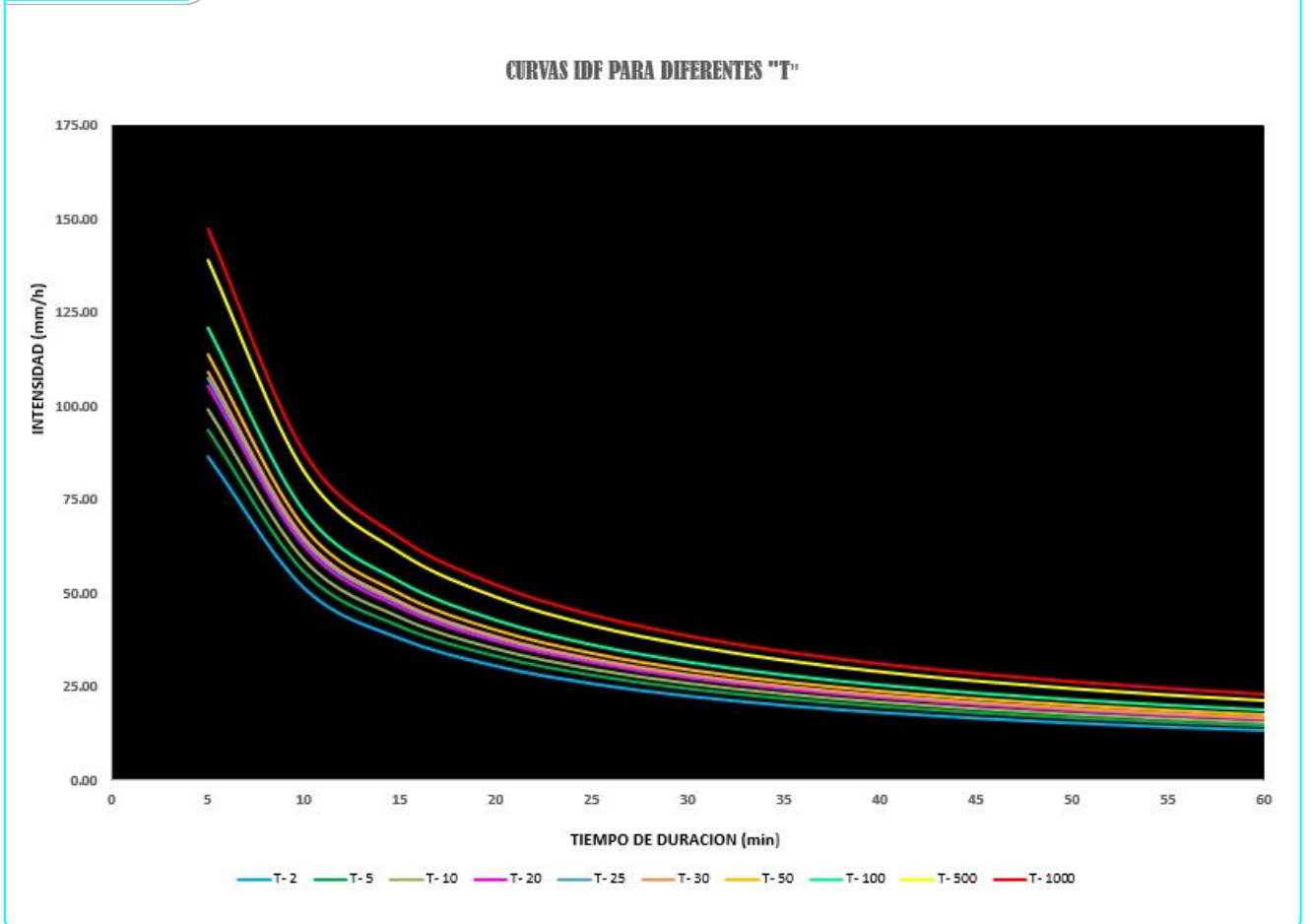
Cuadro de intensidades para las curvas IDF

años T	Cuadro de intensidades para diferentes tiempos de duración											
	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
<b>T- 2</b>	86.51	51.44	37.95	30.59	25.87	22.57	20.10	18.19	16.65	15.38	14.32	13.42
<b>T- 5</b>	93.59	55.65	41.06	33.09	27.99	24.41	21.75	19.68	18.01	16.64	15.50	14.52
<b>T- 10</b>	99.33	59.06	43.58	35.12	29.71	25.91	23.08	20.88	19.12	17.66	16.45	15.41
<b>T- 20</b>	105.43	62.69	46.25	37.27	31.53	27.50	24.50	22.16	20.29	18.75	17.45	16.35
<b>T- 25</b>	107.47	63.90	47.14	38.00	32.14	28.03	24.97	22.59	20.68	19.11	17.79	16.67
<b>T- 30</b>	109.16	64.91	47.89	38.59	32.65	28.47	25.37	22.95	21.01	19.41	18.07	16.93
<b>T- 50</b>	114.06	67.82	50.04	40.33	34.11	29.75	26.50	23.98	21.95	20.28	18.88	17.69
<b>T- 100</b>	121.05	71.98	53.11	42.80	36.20	31.58	28.13	25.45	23.30	21.53	20.04	18.78
<b>T- 500</b>	139.00	82.65	60.98	49.14	41.57	36.26	32.30	29.22	26.75	24.72	23.01	21.56
<b>T- 1000</b>	147.52	87.72	64.72	52.16	44.12	38.48	34.28	31.01	28.39	26.23	24.42	22.88

**Fuente:** Elaboración Propia

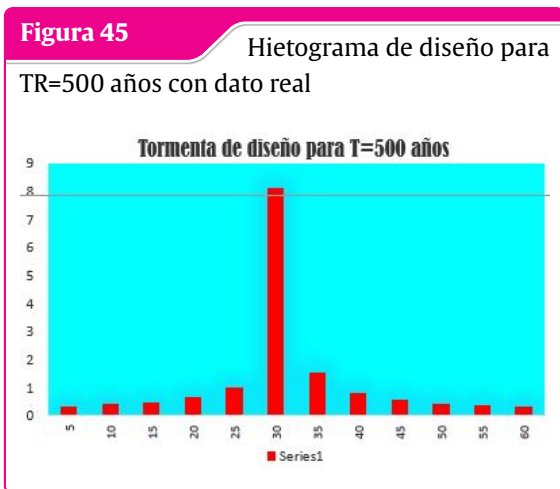
**Tabla 15**

Obtención de las curvas IDF

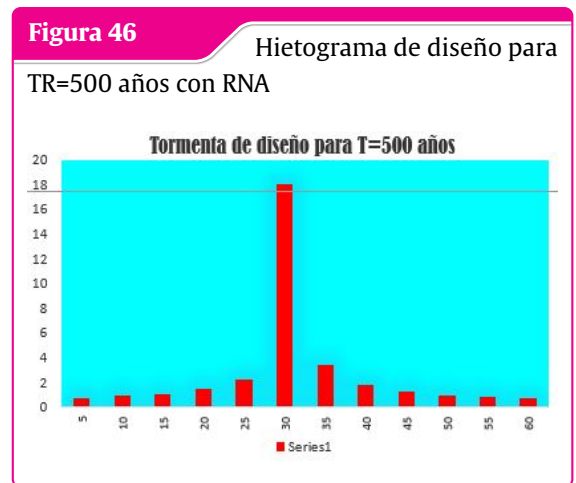


Fuente: Elaboración Propia

**Hietograma utilizando el método de bloques alternos  
Para la Subcuenca 1**

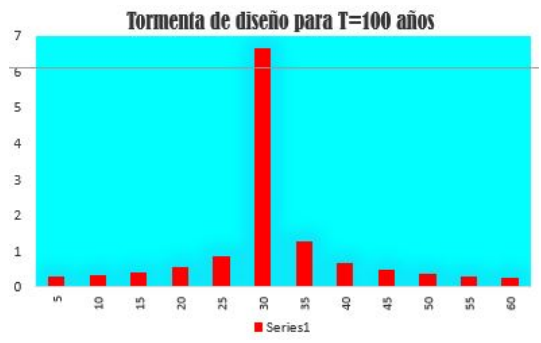


Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter



Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 47** Hietograma de diseño para TR=100 años con dato real



Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 48** Hietograma de diseño para TR=100 años con RNA



Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 49** Hietograma de diseño para TR=50 años con dato real



Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 50** Hietograma de diseño para TR=50 años con RNA



Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

“Debo reconocer que un hombre que concluye que un argumento no tiene realidad, porque se le ha escapado a su investigación, es culpable de imperdonable arrogancia.”

– David Hume

## 4 Resultados

### 4.1 Análisis e interpretación

#### 4.1.1 Resultados e interpretación estadística

Se tienen los estadísticos descriptivos para los 25 parámetros de entrada como variables independientes e ingresos al modelo de red neuronal artificial

**Figura 51** resultado estadísticos

Estadísticos descriptivos			
	Media	Desv. Desviación	N
PRECIP_ANUAL	23,8317	9,40963	499
P1	106,4095	166,17641	499
P2	45,1448	37,25322	499
P3	4483,1852	336,34411	499
P4	3186,3429	615,40015	499
P5	3894,0370	394,37670	499
P6	17,1436	6,09219	499
P7	5,8371	4,15350	499
P8	4,7206	,51879	499
P9	,4603	,11196	499
P10	9,9997	10,57713	499
P11	,8101	,29717	499
P12	4,7740	2,82848	499
P13	1,8621	1,39331	499
P14	13,9970	12,45410	499
P15	9,2962	5,80817	499
P16	422,2605	423,32838	499
P17	2,7473	1,15607	499
P18	25,86553	40,441494	499
P19	65,8792	111,55467	499
P20	,1638	,05644	499
P21	,5359	,12693	499
P22	3,2164	2,09326	499
P23	2,2321	2,71579	499
P24	4,2299	3,59734	499
P25	1,3032	,62889	499

Fuente: Elaboración Propia con SPSS

Figura 52

## Resumen del modelo

Resumen del modelo <sup>b</sup>										
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación	Estadísticos de cambio					Durbin-Watson
					Cambio en R cuadrado	Cambio en F	gl1	gl2	Sig. Cambio en F	
1	,920 <sup>a</sup>	,846	,838	3,78636	,846	104,104	25	473	<.001	1,976

a. Predictores: (Constante), P25, P6, P20, P12, P23, P16, P3, P21, P9, P17, P15, P11, P8, P22, P5, P1, P10, P4, P7, P13, P24, P19, P18, P14, P2

b. Variable dependiente: PRECIP\_ANUAL

Fuente: Elaboración Propia con SPSS

Se observa que la correlación se encuentra con buena significancia Sig <0.01 que se encuentra por debajo del 0.05 donde existe altamente correlación entre las variables.

Figura 53

## Resultado estadísticos

ANOVA <sup>a</sup>						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	37312,347	25	1492,494	104,104	<.001 <sup>b</sup>
	Residuo	6781,167	473	14,337		
	Total	44093,514	498			

a. Variable dependiente: PRECIP\_ANUAL

b. Predictores: (Constante), P25, P6, P20, P12, P23, P16, P3, P21, P9, P17, P15, P11, P8, P22, P5, P1, P10, P4, P7, P13, P24, P19, P18, P14, P2

Fuente: Elaboración Propia con SPSS

### Interpretación

F = 104.104 con p <0.001 significa:

- Diferencias mas que significativas entre los grupos
- Probabilidad menor al 0.1 % de que estas diferencias sean por azar
- Probabilidad menor al 0.1 % de que estas diferencias sean por azar La variación entre grupos es 104 veces mayor que la variación dentro de grupos.

En conclusión se cuenta con una alta correlación entre los parámetros con una lata significancia de 0.01 menor al 0.05.

Figura 54

## Coeficientes de la regresión

		Coeficientes <sup>a</sup>						
		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados			95.0% intervalo de confianza para B	
Modelo		B	Desv. Error	Beta	t	Sig.	Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	46,912	14,502		3,235	,001	18,415	75,408
	P1	,198	,060	3,503	3,322	<.001	,081	,316
	P2	-1,254	,441	-4,965	-2,844	,005	-2,121	-,388
	P3	-,016	,003	-,561	-5,163	<.001	-,022	-,010
	P4	,019	,005	1,250	3,871	<.001	,009	,029
	P5	-,002	,003	-,070	-,478	,633	-,008	,005
	P6	-,678	,105	-,439	-6,438	<.001	-,885	-,471
	P7	-3,801	,661	-1,678	-5,749	<.001	-5,100	-2,502
	P8	-14,376	1,944	-,793	-7,395	<.001	-18,196	-10,556
	P9	4,441	3,528	,053	1,259	,209	-2,492	11,374
	P10	1,009	,157	1,134	6,414	<.001	,700	1,318
	P11	-5,573	2,418	-,176	-2,305	,022	-10,324	-,822
	P12	4,626	1,307	1,391	3,539	<.001	2,057	7,195
	P13	27,760	3,245	4,110	8,555	<.001	21,383	34,136
	P14	4,110	1,019	5,439	4,033	<.001	2,107	6,112
	P15	4,018	,350	2,480	11,488	<.001	3,331	4,706
	P16	-,026	,003	-1,159	-8,638	<.001	-,032	-,020
	P17	-4,162	1,282	-,511	-3,247	,001	-6,681	-1,644
	P18	-,484	,119	-2,079	-4,075	<.001	-,717	-,250
	P19	-,399	,066	-4,734	-6,059	<.001	-,529	-,270
	P20	,438	3,712	,003	,118	,906	-6,856	7,733
	P21	-1,135	3,324	-,015	-,341	,733	-7,667	5,397
	P22	8,741	1,120	1,945	7,808	<.001	6,541	10,941
	P23	2,625	,342	,758	7,680	<.001	1,953	3,296
	P24	-7,515	,707	-2,873	-10,631	<.001	-8,904	-6,126
	P25	10,135	1,178	,677	8,600	<.001	7,819	12,450

a. Variable dependiente: PRECIP\_ANUAL

Fuente: Elaboración Propia con SPSS

Figura 55

## Estadísticos de residuos

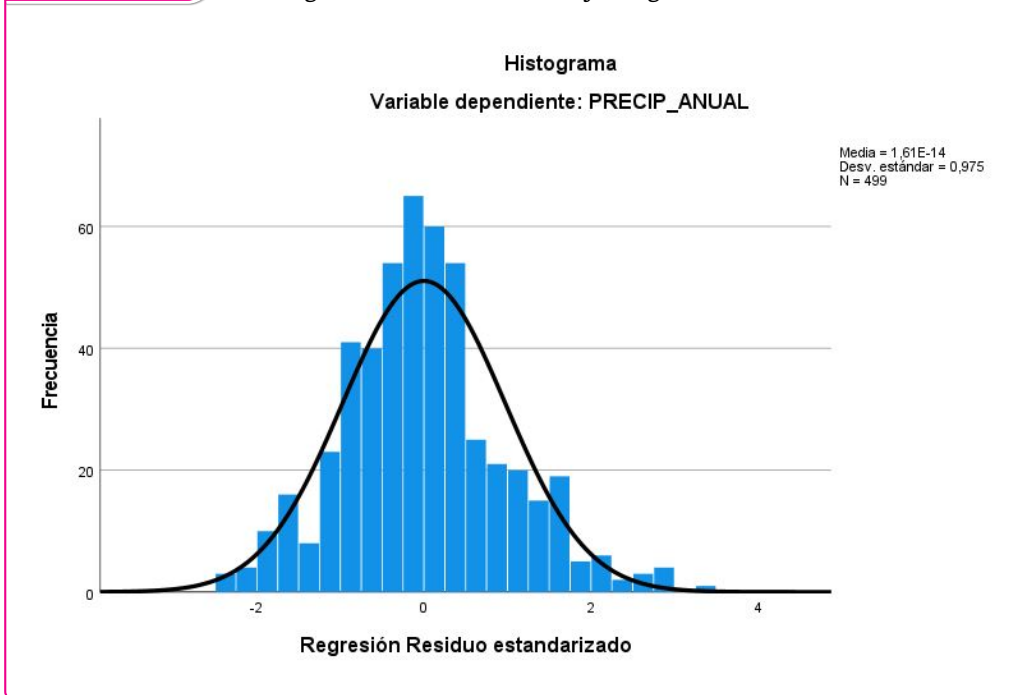
Estadísticas de residuos <sup>a</sup>					
	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación	N
Valor pronosticado	5,6972	57,9422	23,8317	8,65589	499
Residuo	-9,29415	12,48293	,00000	3,69009	499
Desv. Valor pronosticado	-2,095	3,941	,000	1,000	499
Desv. Residuo	-2,455	3,297	,000	,975	499

a. Variable dependiente: PRECIP\_ANUAL

Fuente: Elaboración Propia con SPSS

Figura 56

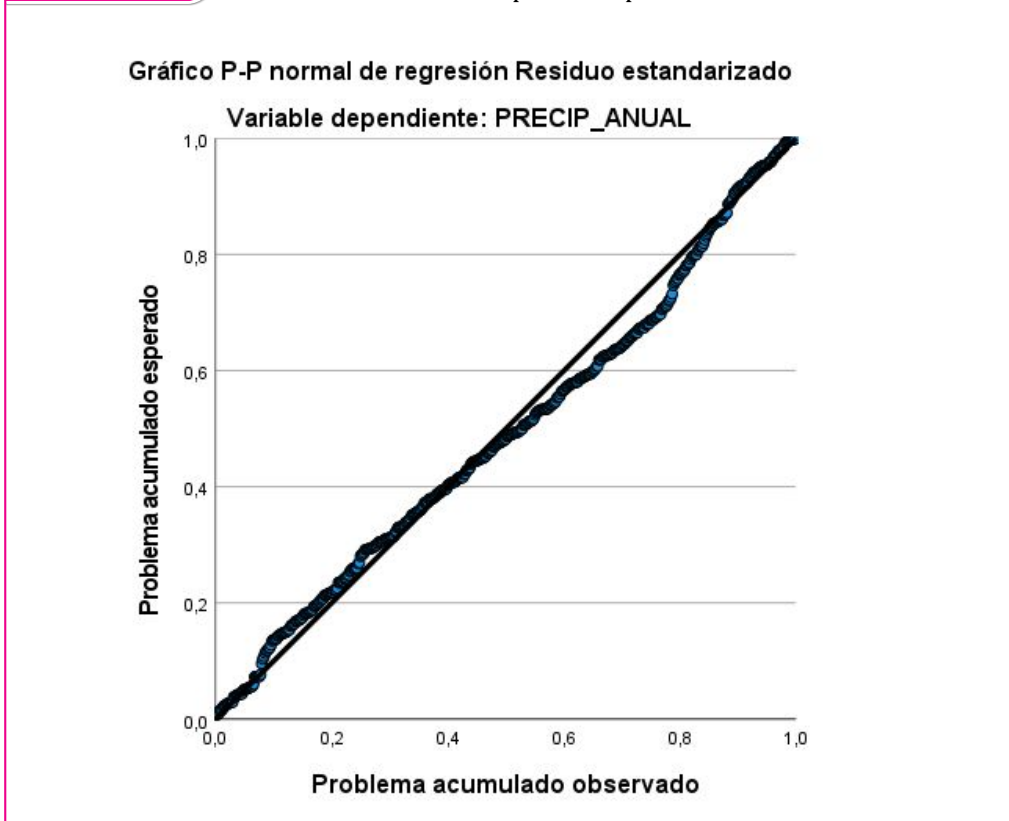
Histograma entre la frecuencia y la regresión de residuo estandarizado



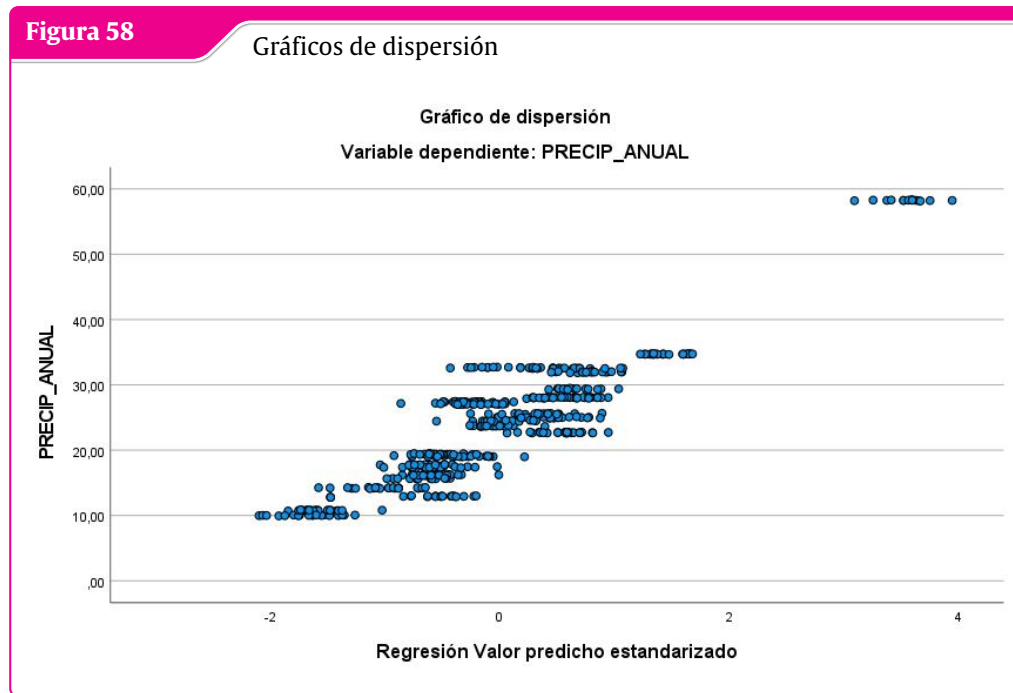
Fuente: Elaboración Propia con SPSS

Figura 57

Problema acumulado esperado vs problema acumulado observado



Fuente: Elaboración Propia con SPSS



Fuente: Elaboración Propia con SPSS

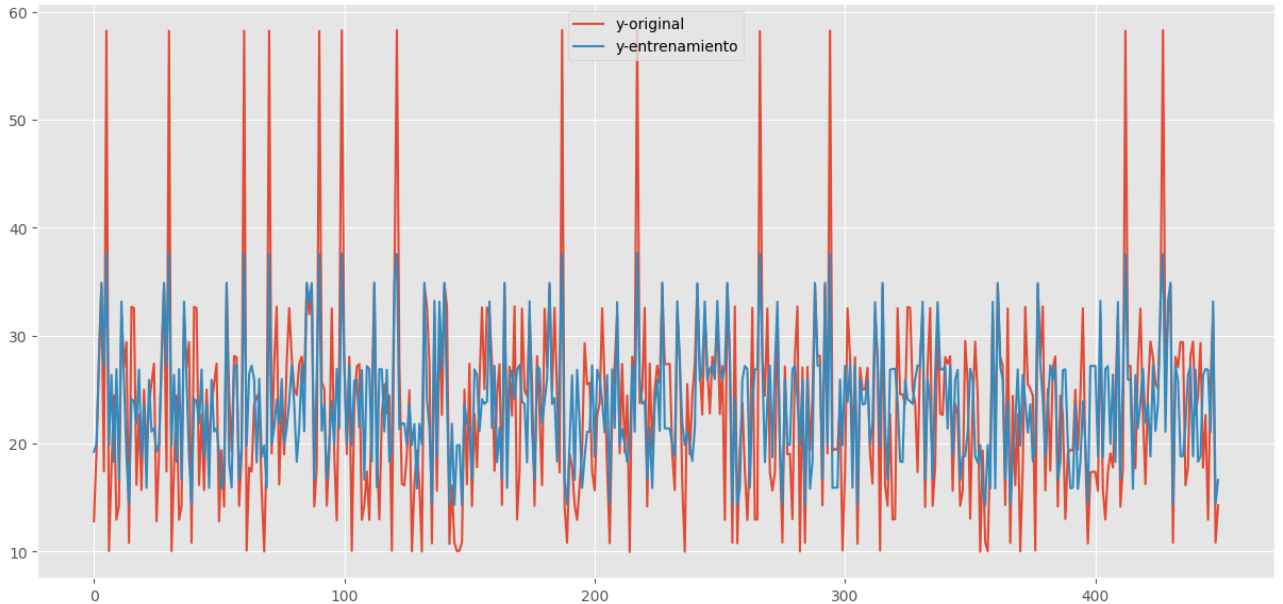
#### 4.1.2 Resultados para la generación de caudales para un TR=100 años

Para la obtención del modelo de red neuronal se considera las capas ocultas y la capas de salidas con 30 y 7 neuronas respectivamente para contribuir al mejor entrenamiento para desarrollo de los resultados.

### 4.1.3 Resultados de entrenamiento de la Red Neuronal Artificial

**Figura 59**

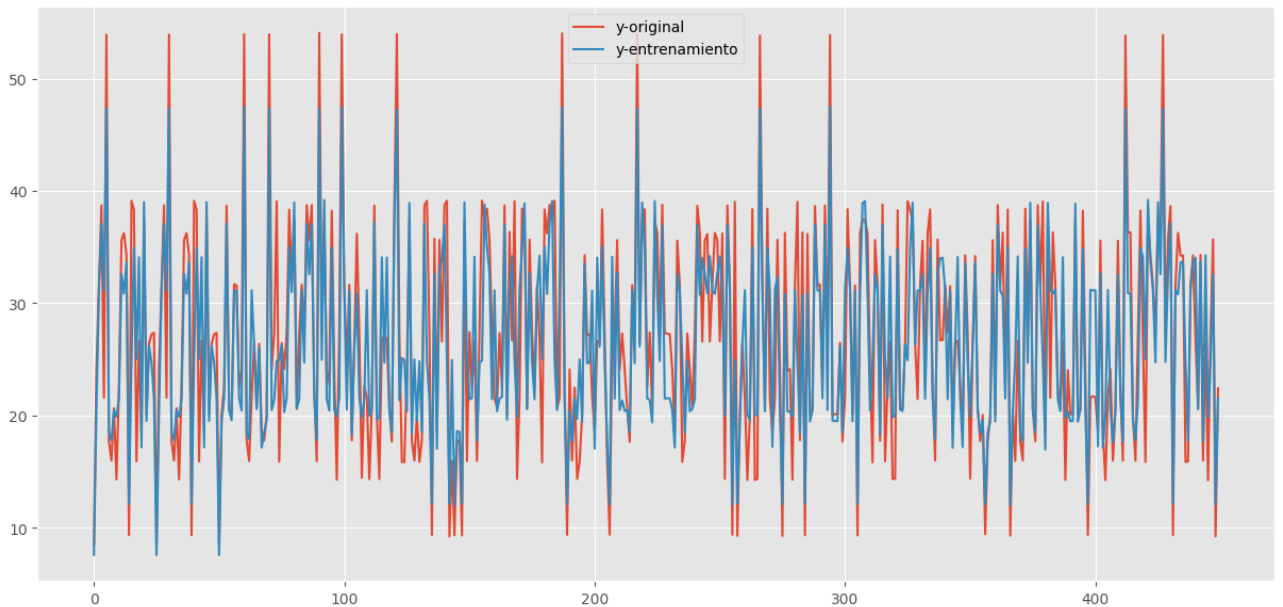
Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1981



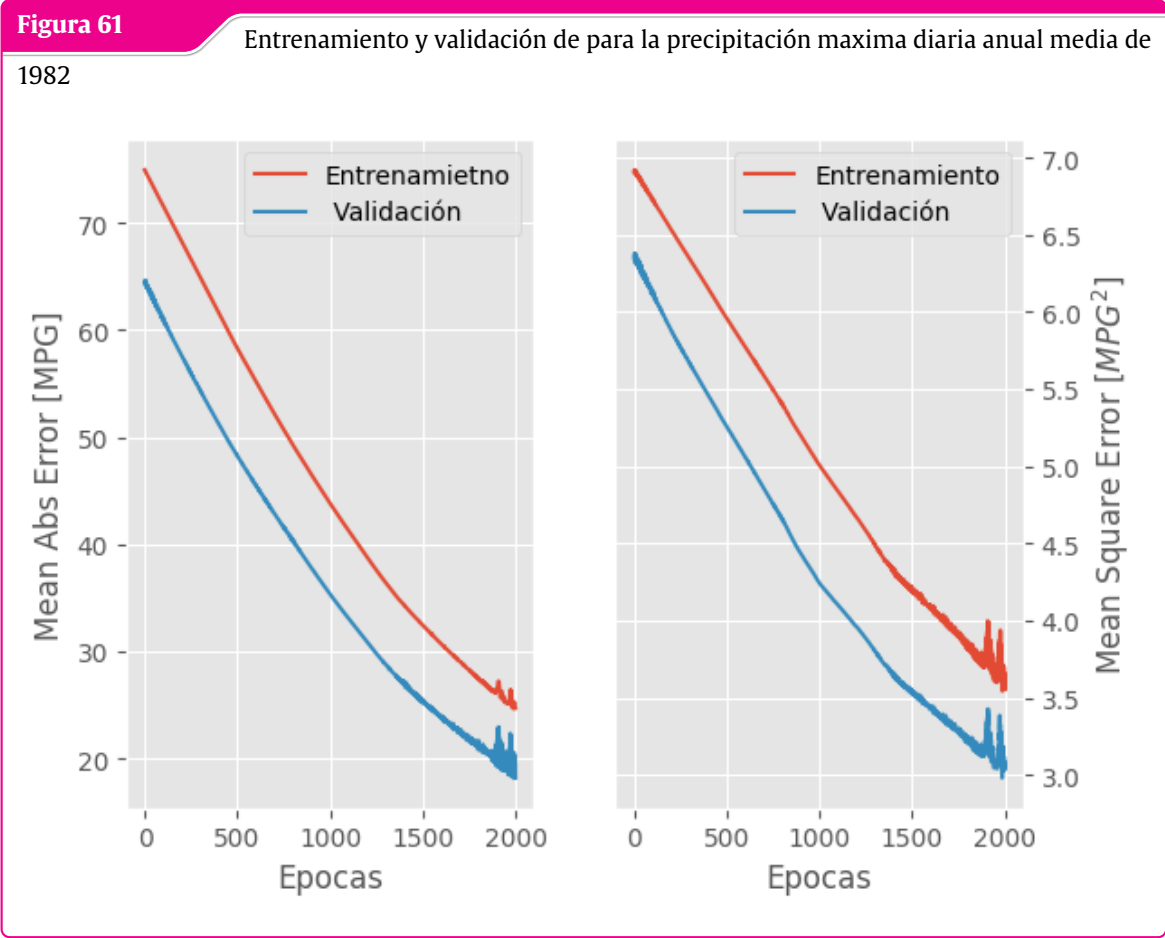
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

**Figura 60**

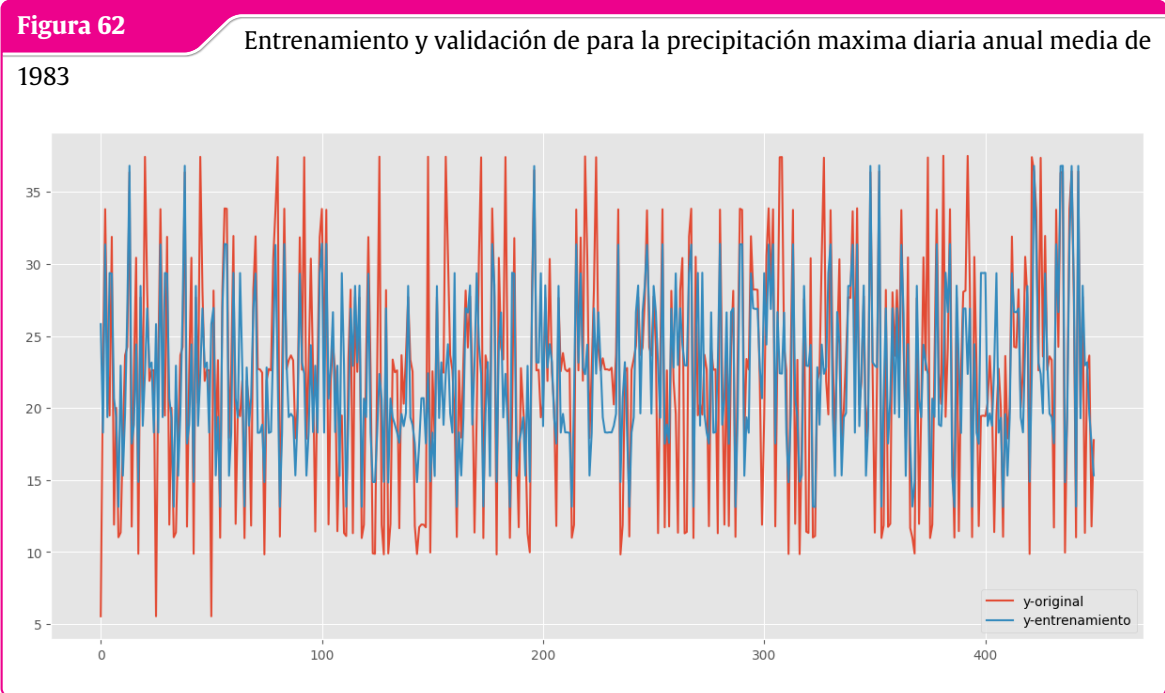
Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1982



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



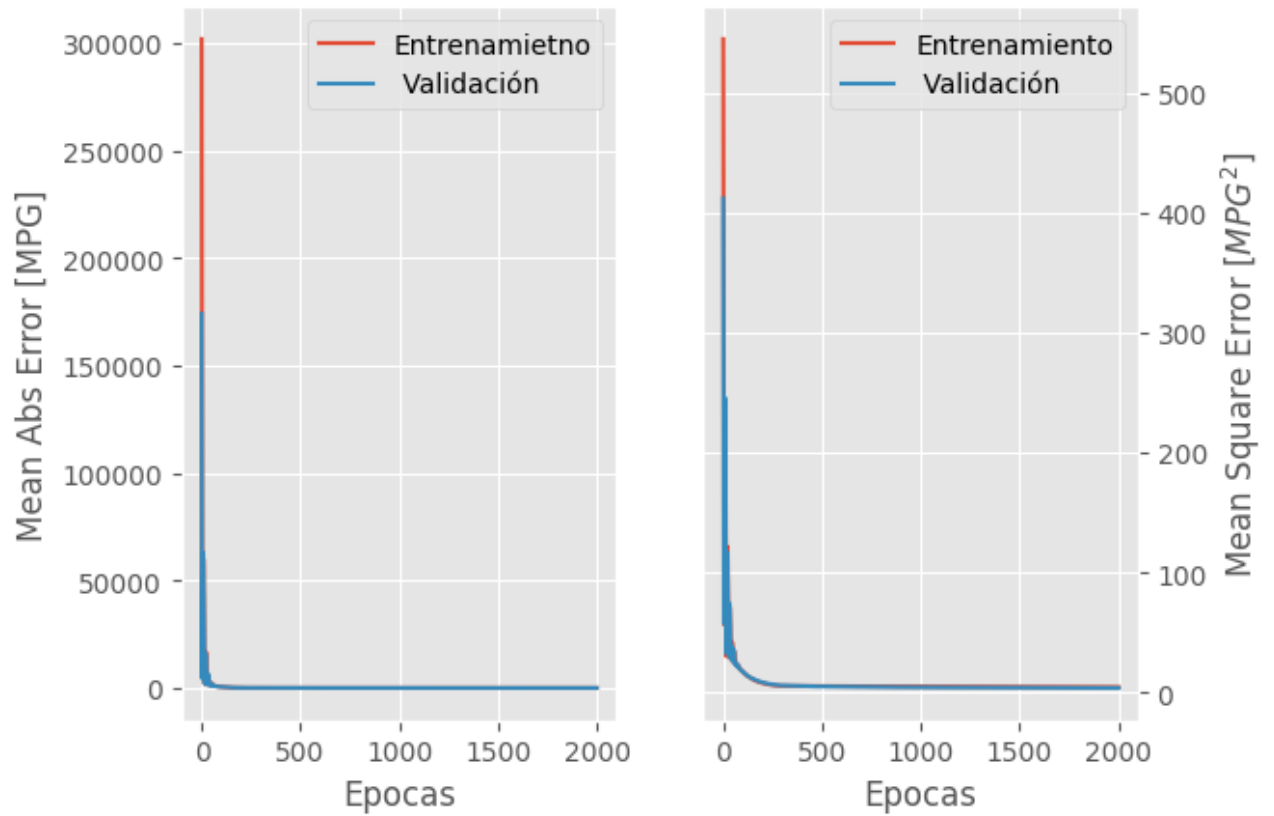
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 63

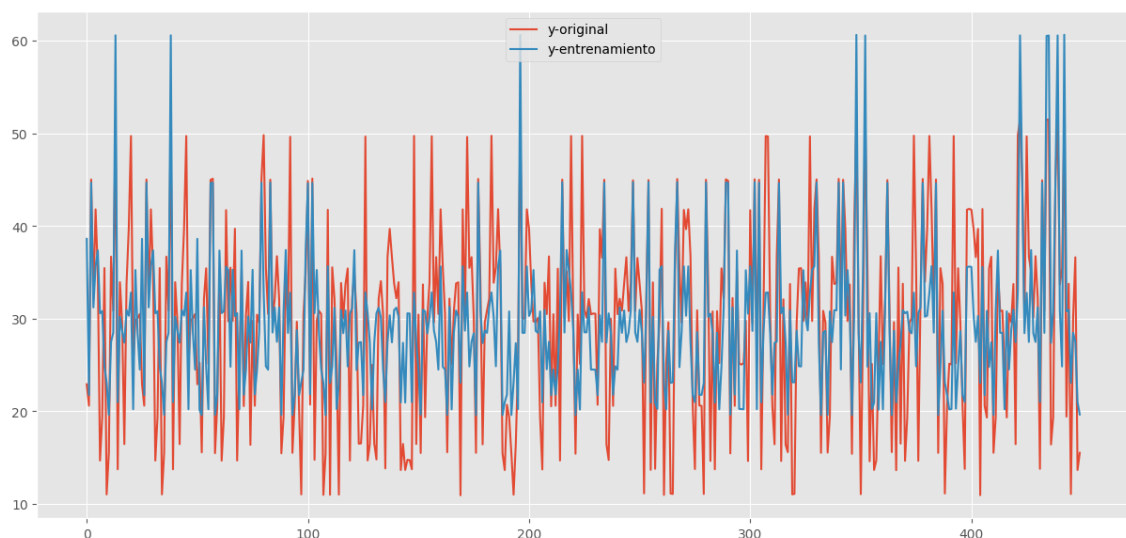
Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1983



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 64

Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1984

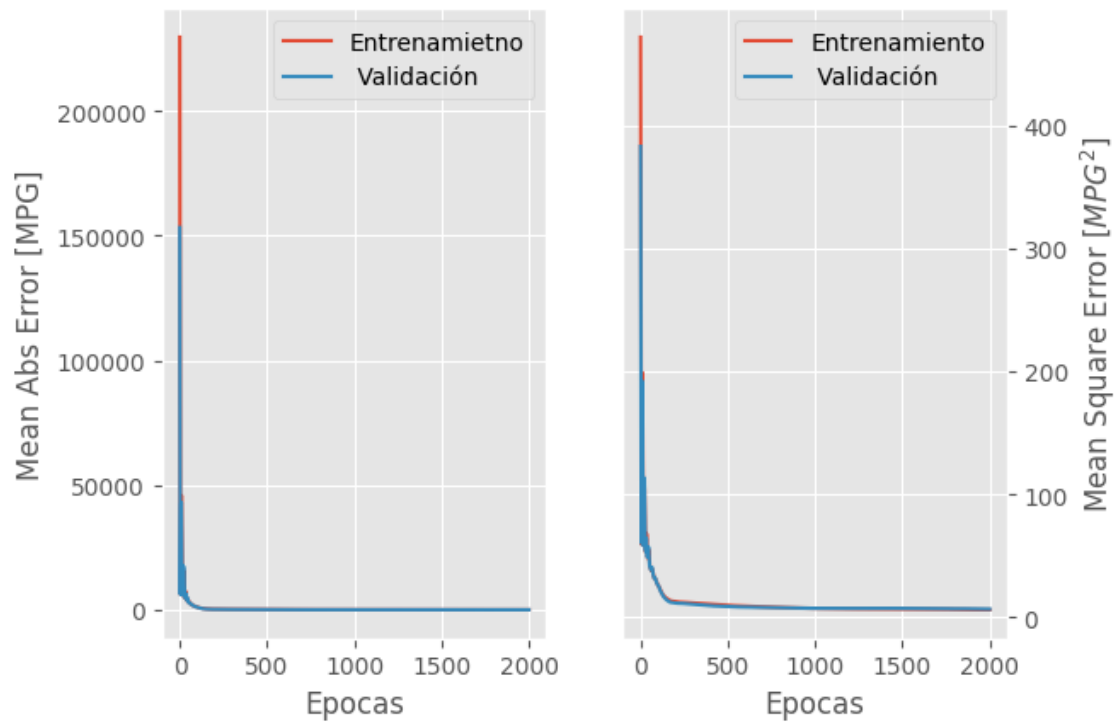


Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 65

Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de

1984

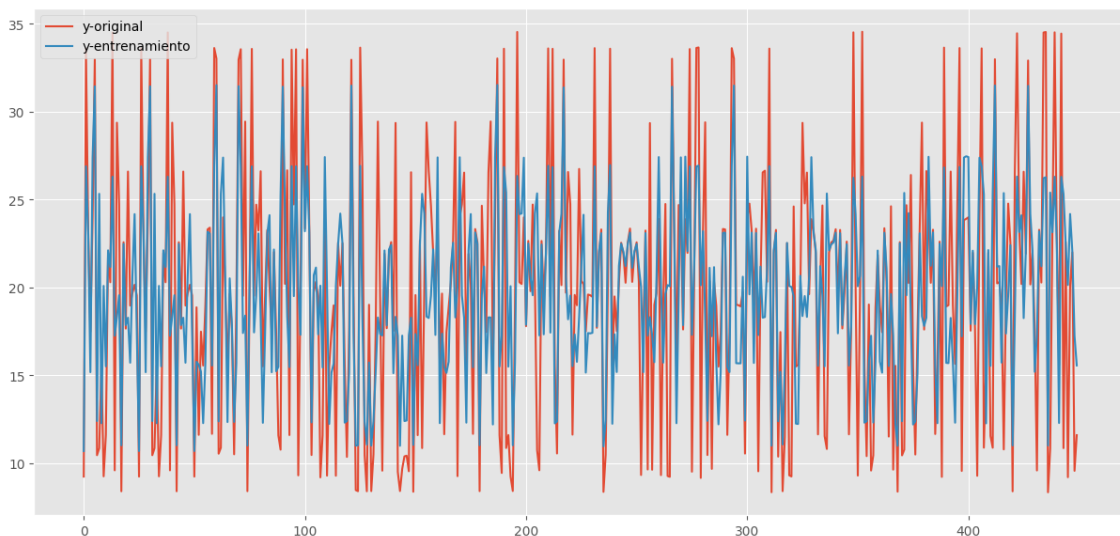


Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

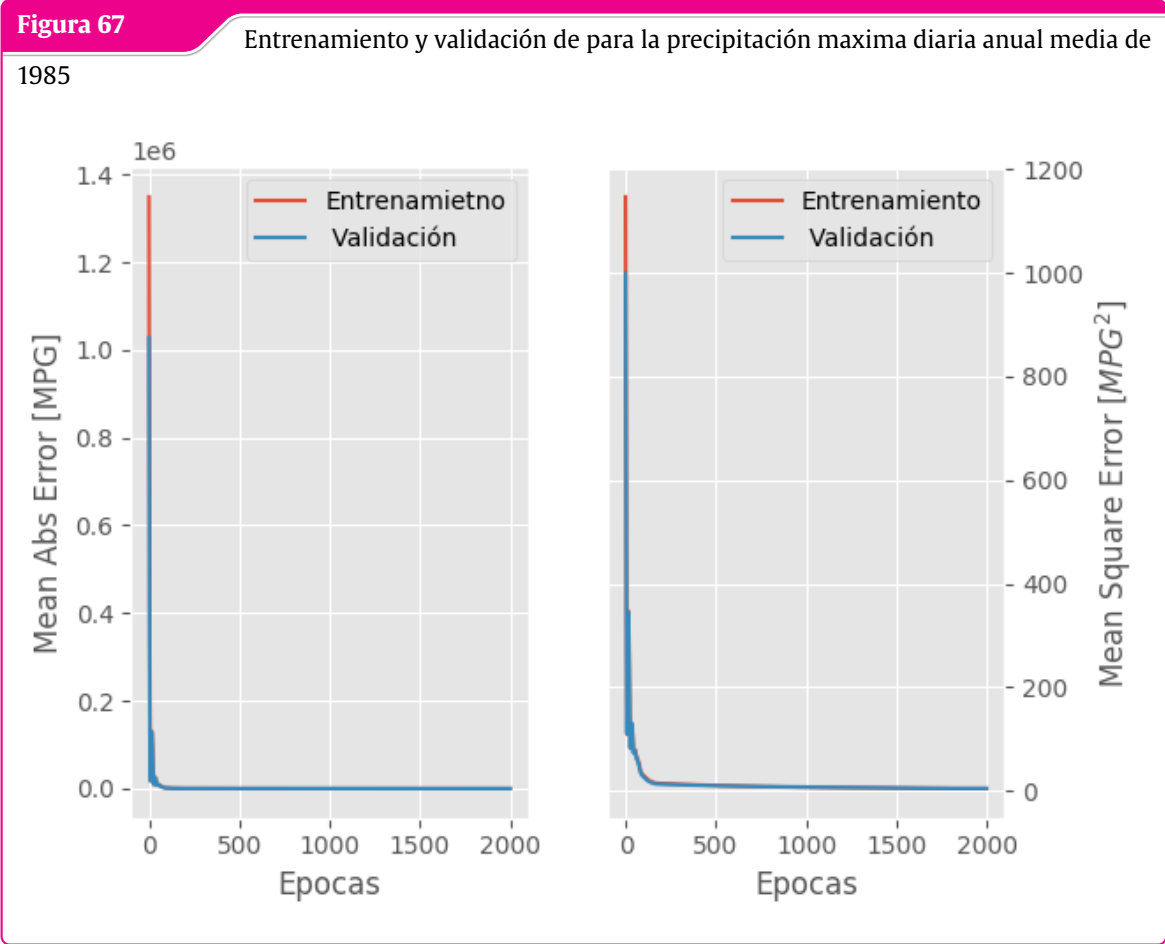
Figura 66

Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de

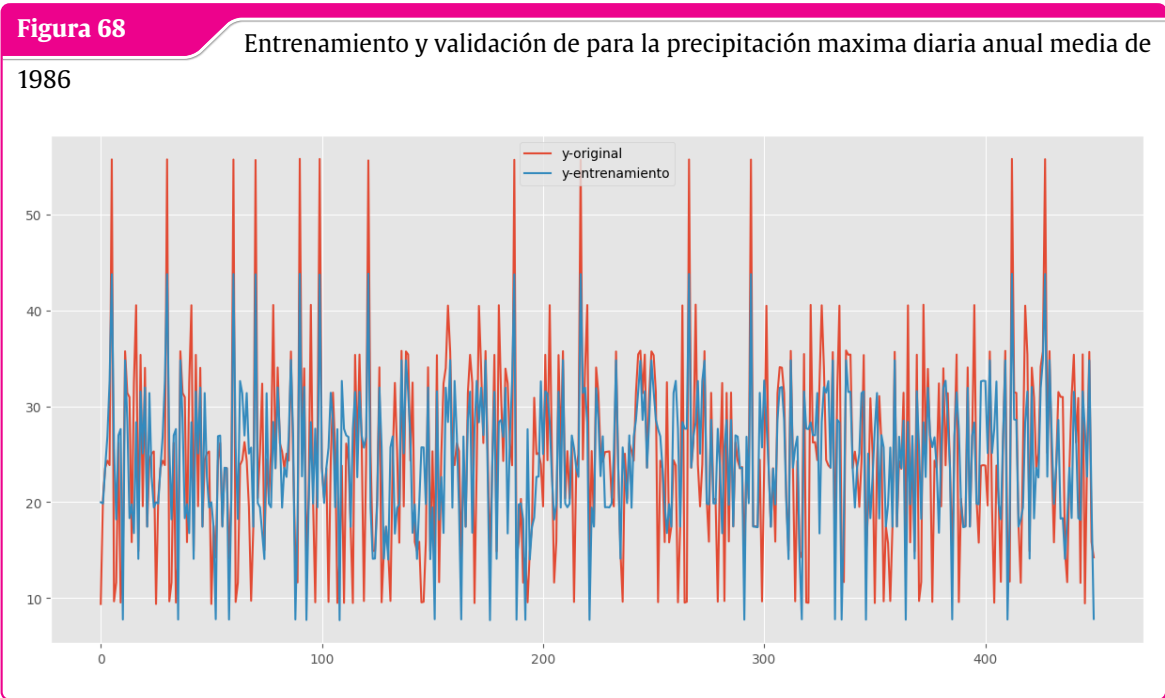
1985



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

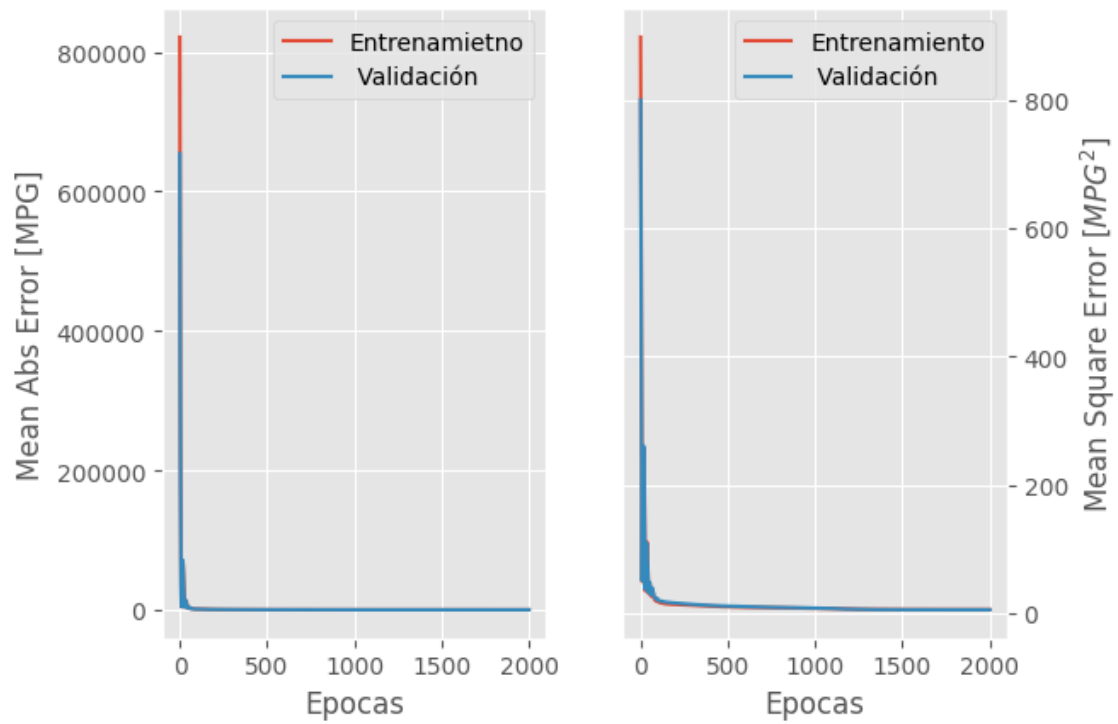


Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 69

Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de

1986

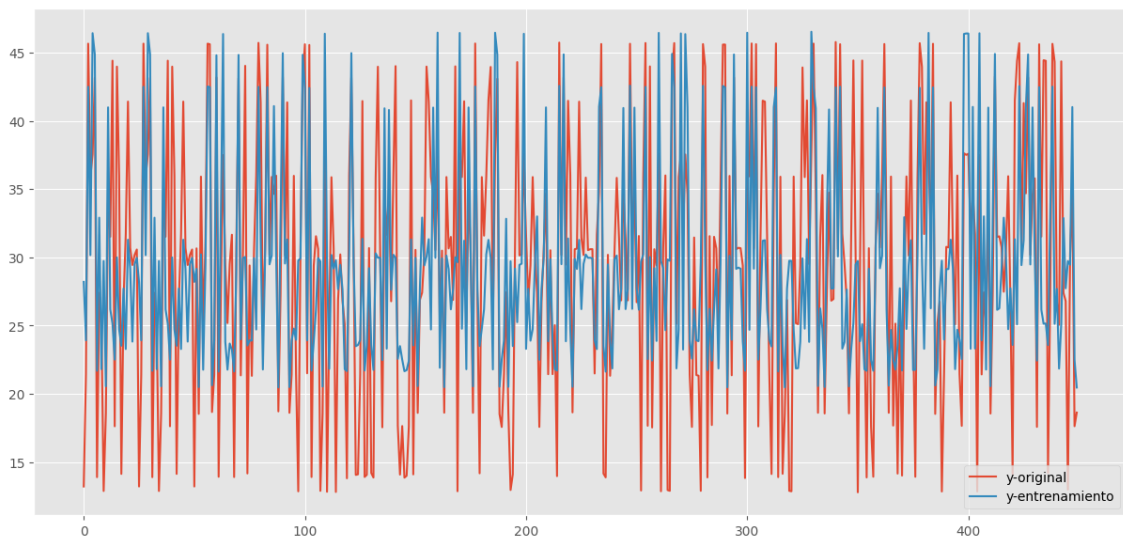


Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

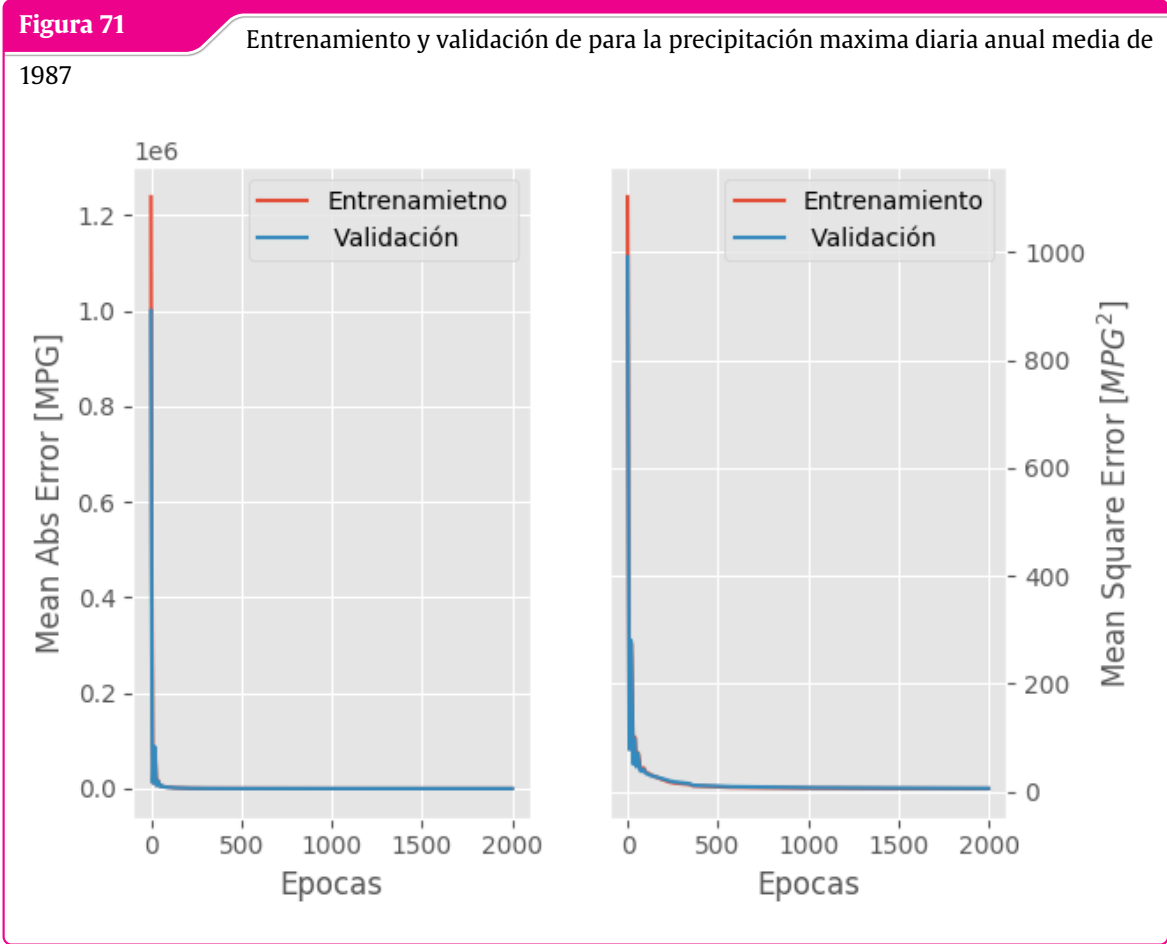
Figura 70

Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de

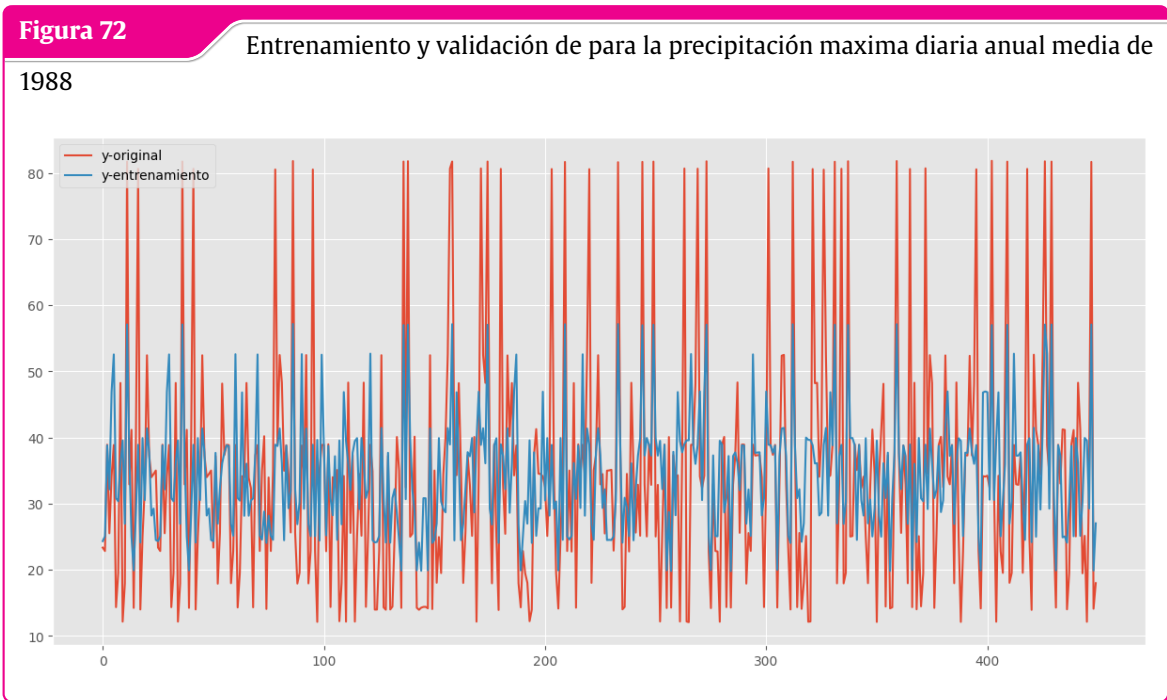
1987



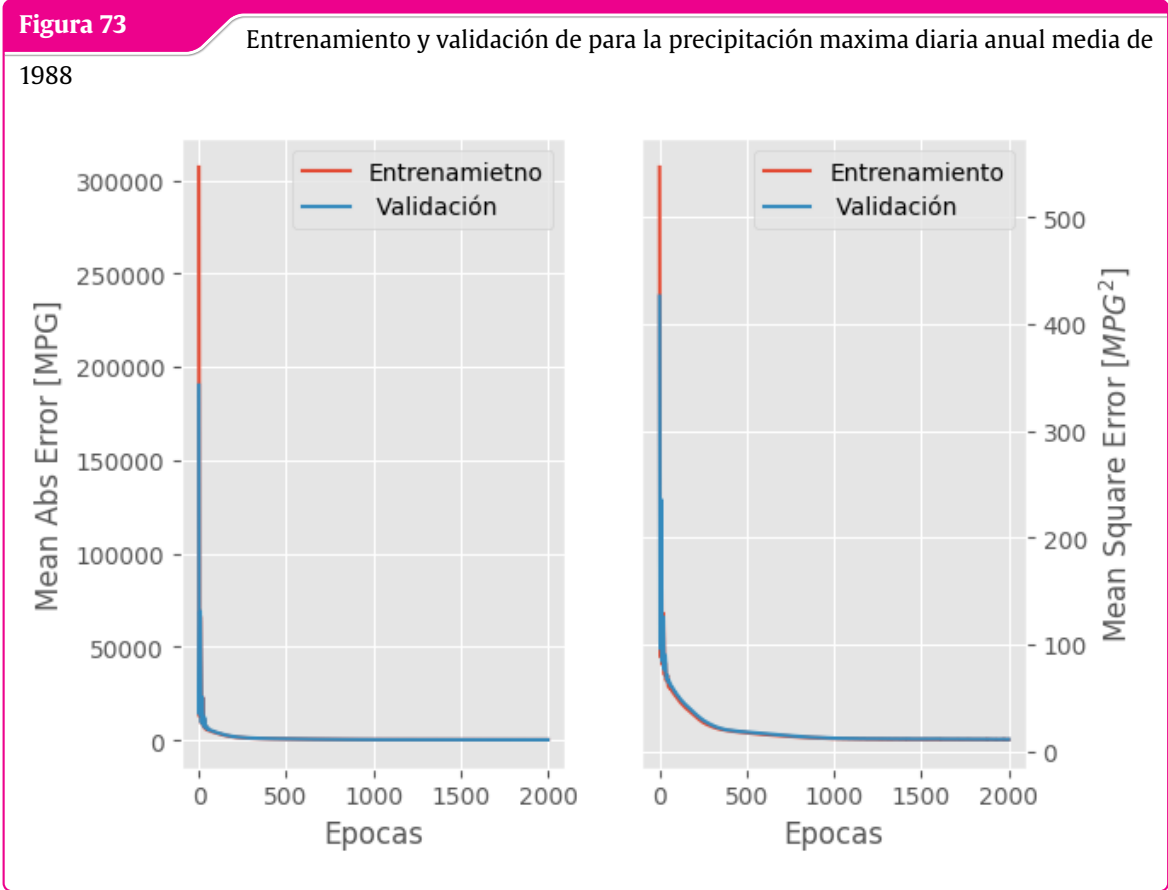
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



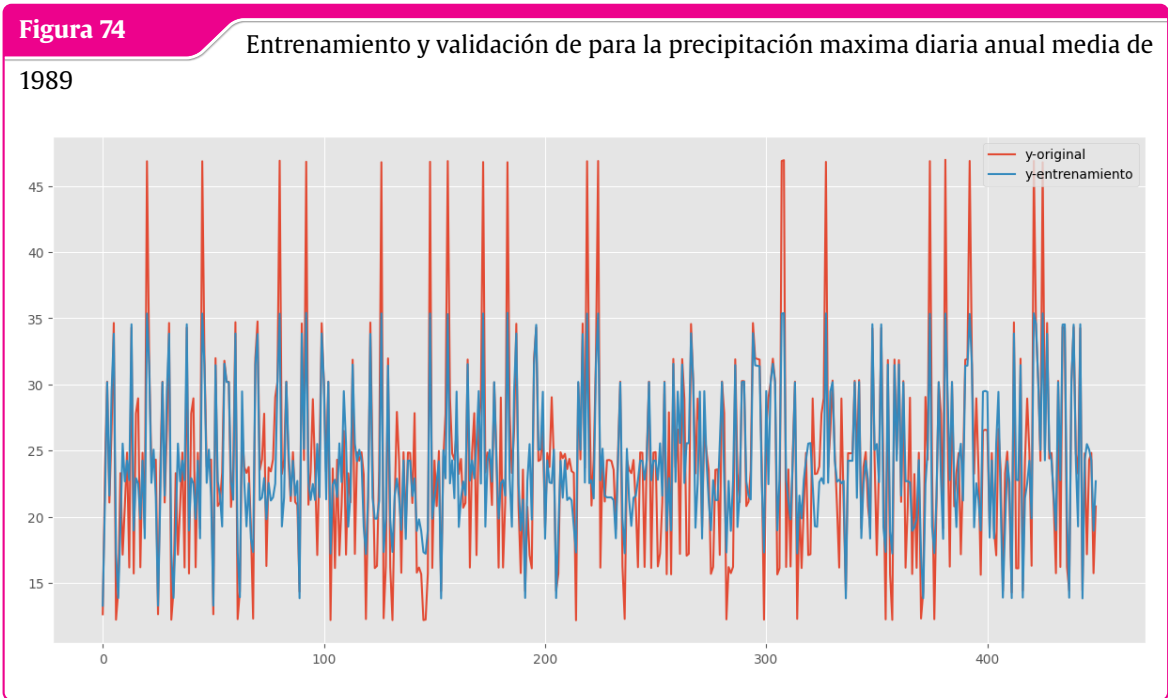
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

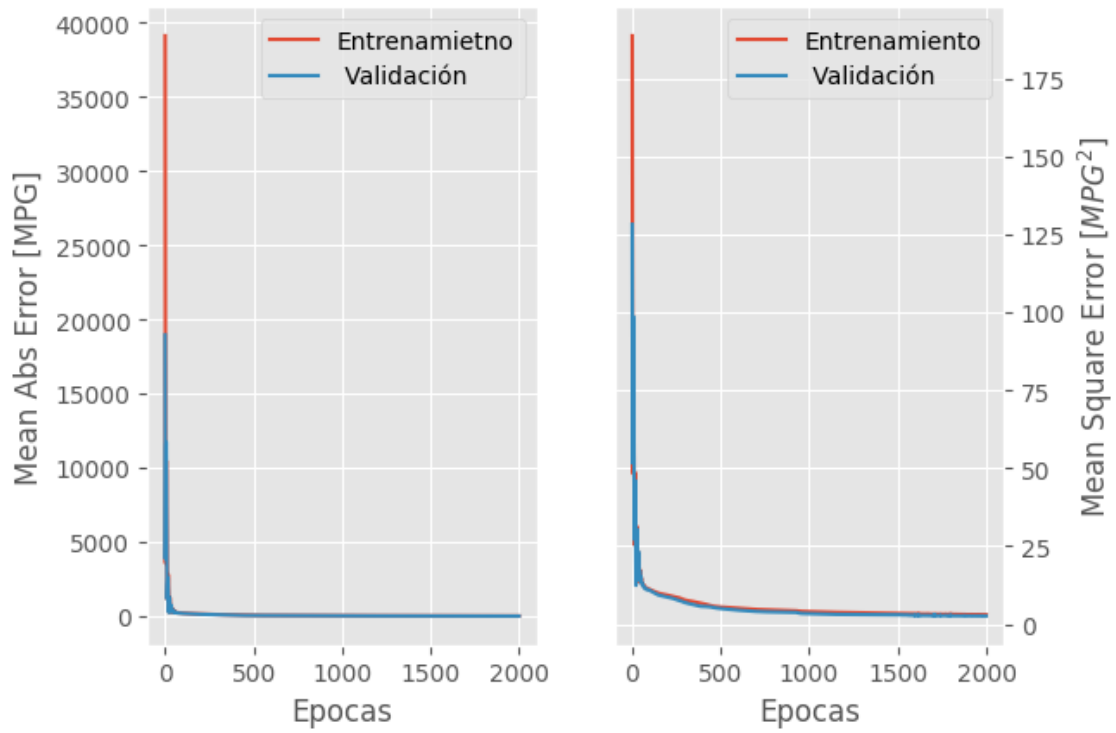


Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 75

Entrenamiento y validación de para la precipitación máxima diaria anual media de

1989

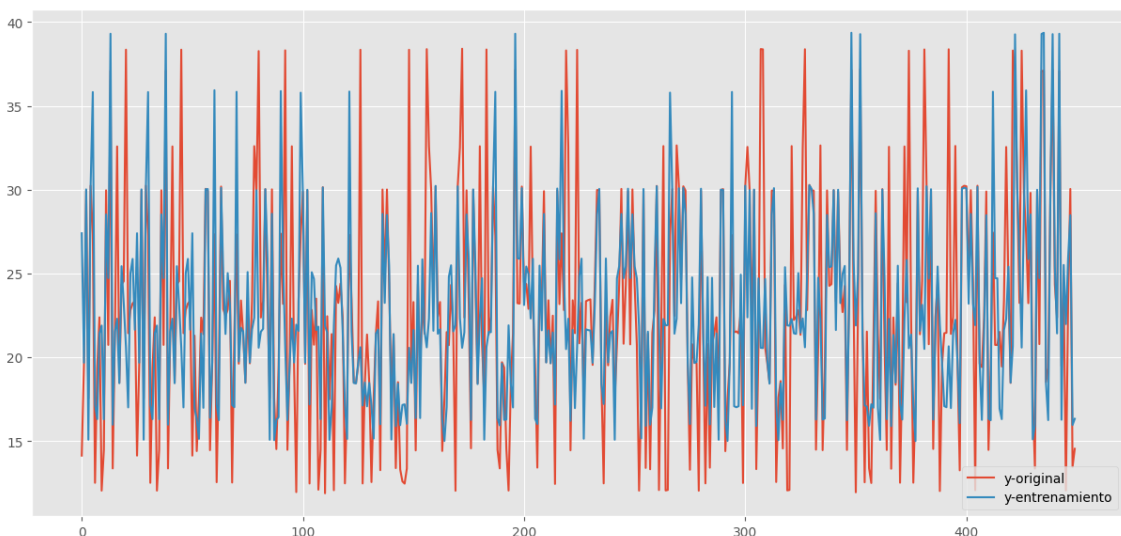


Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 76

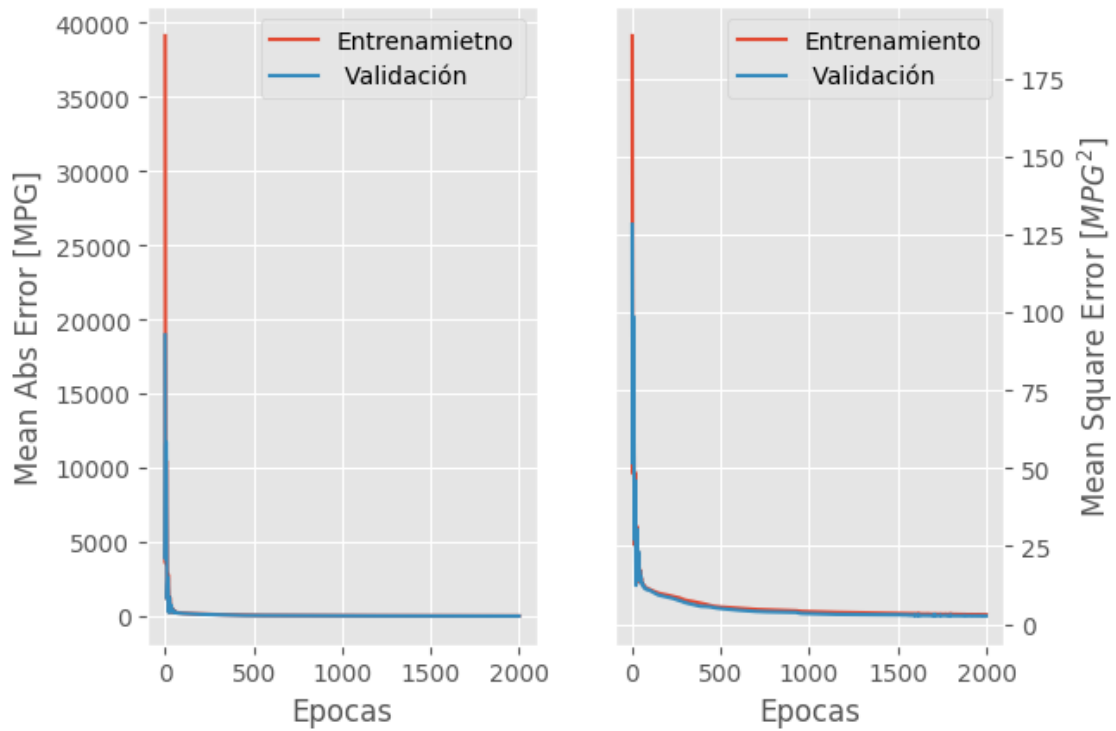
Entrenamiento y validación de para la precipitación máxima diaria anual media de

1990



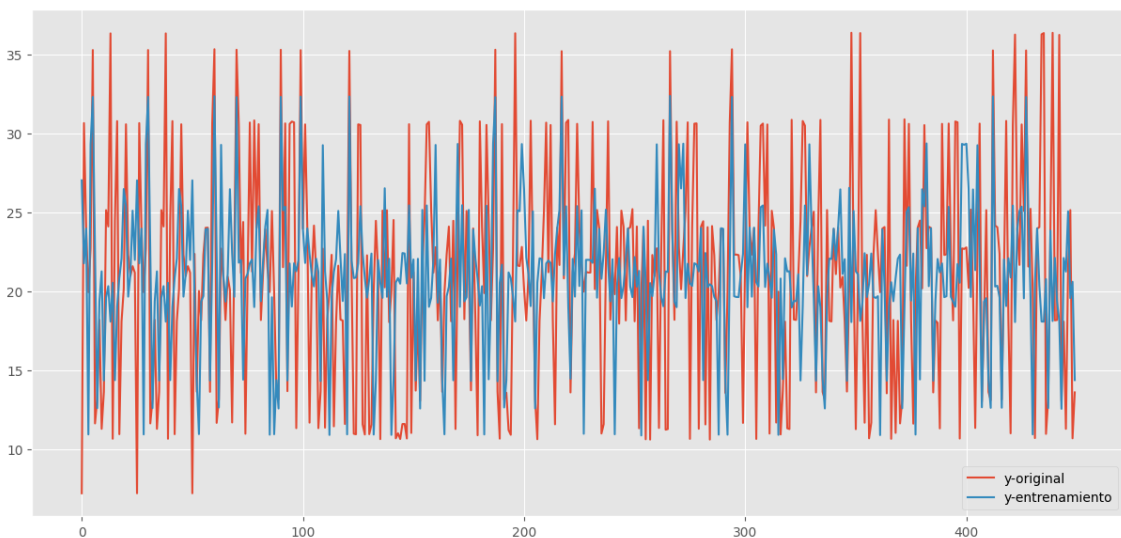
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

**Figura 77** Entrenamiento y validación de para la precipitación máxima diaria anual media de 1990



**Fuente:** Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

**Figura 78** Entrenamiento y validación de para la precipitación máxima diaria anual media de 1991

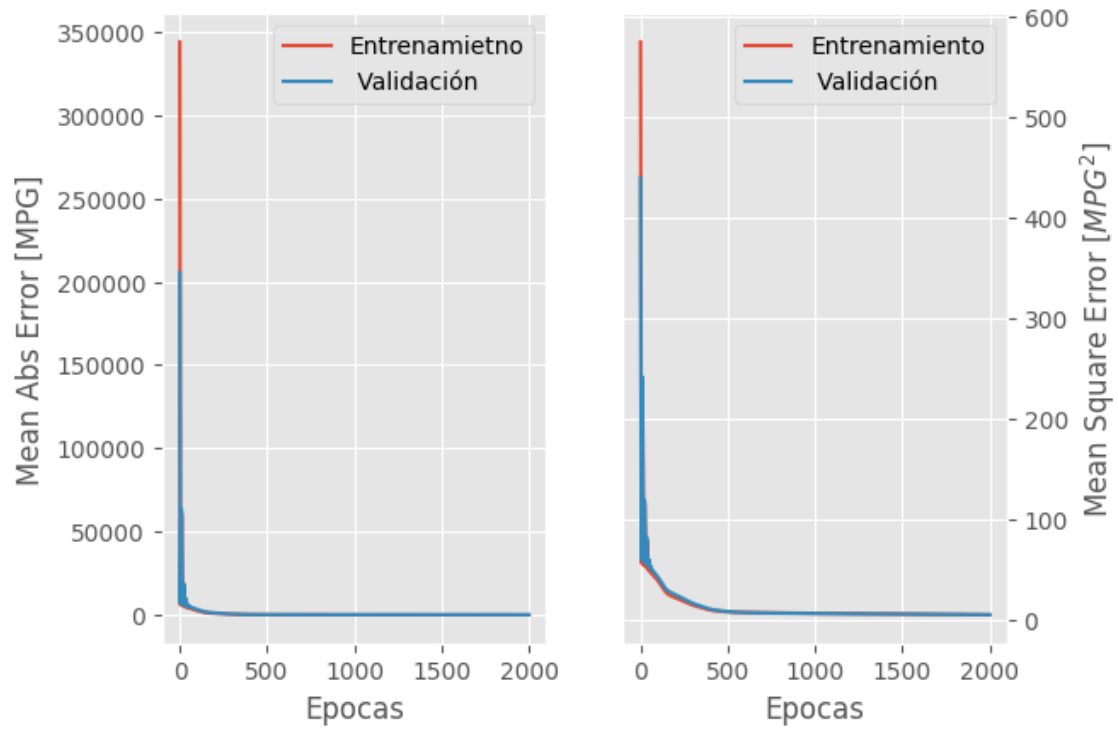


**Fuente:** Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 79

Entrenamiento y validación de para la precipitación máxima diaria anual media de

1991

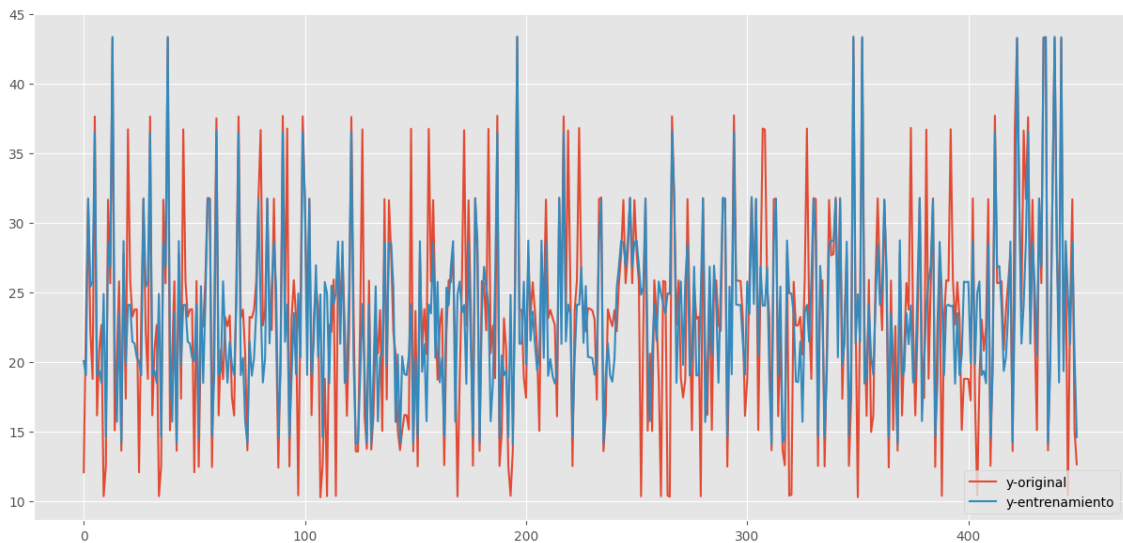


Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

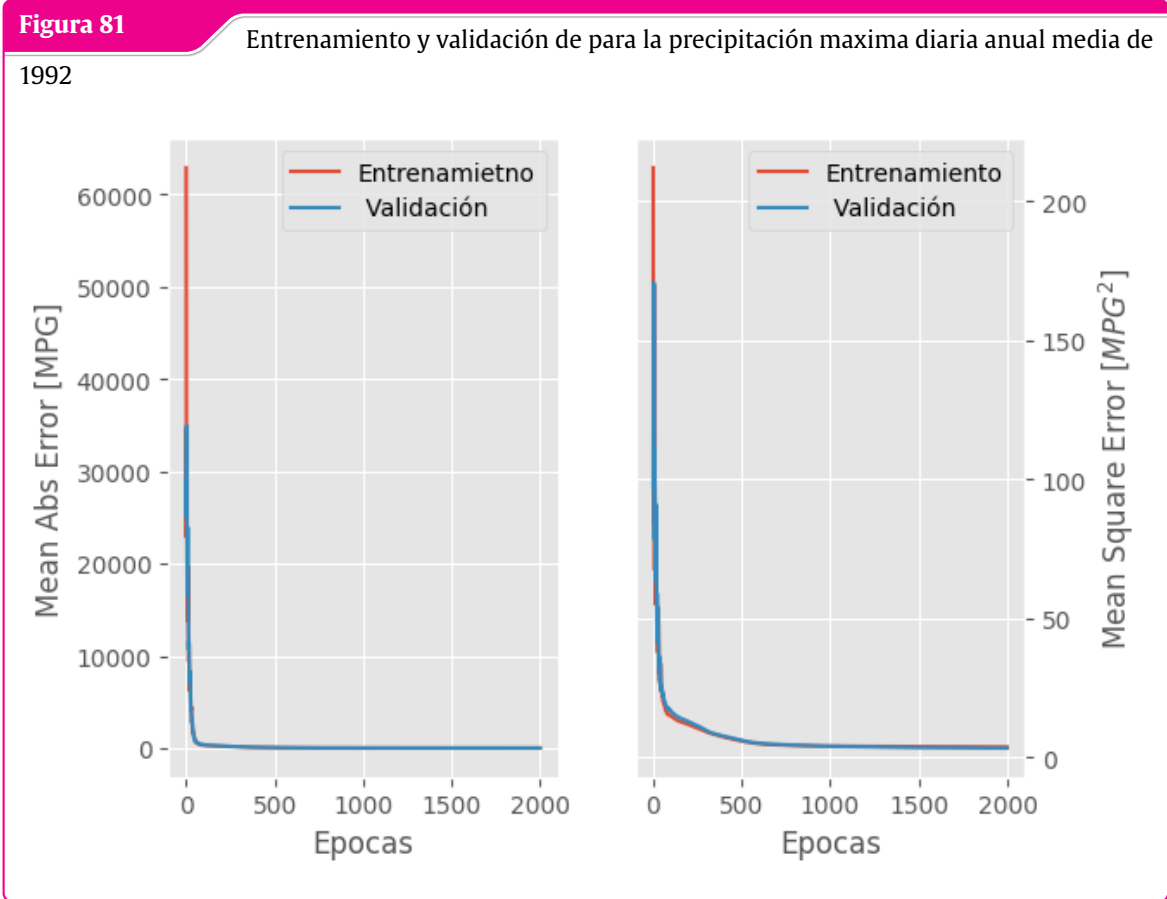
Figura 80

Entrenamiento y validación de para la precipitación máxima diaria anual media de

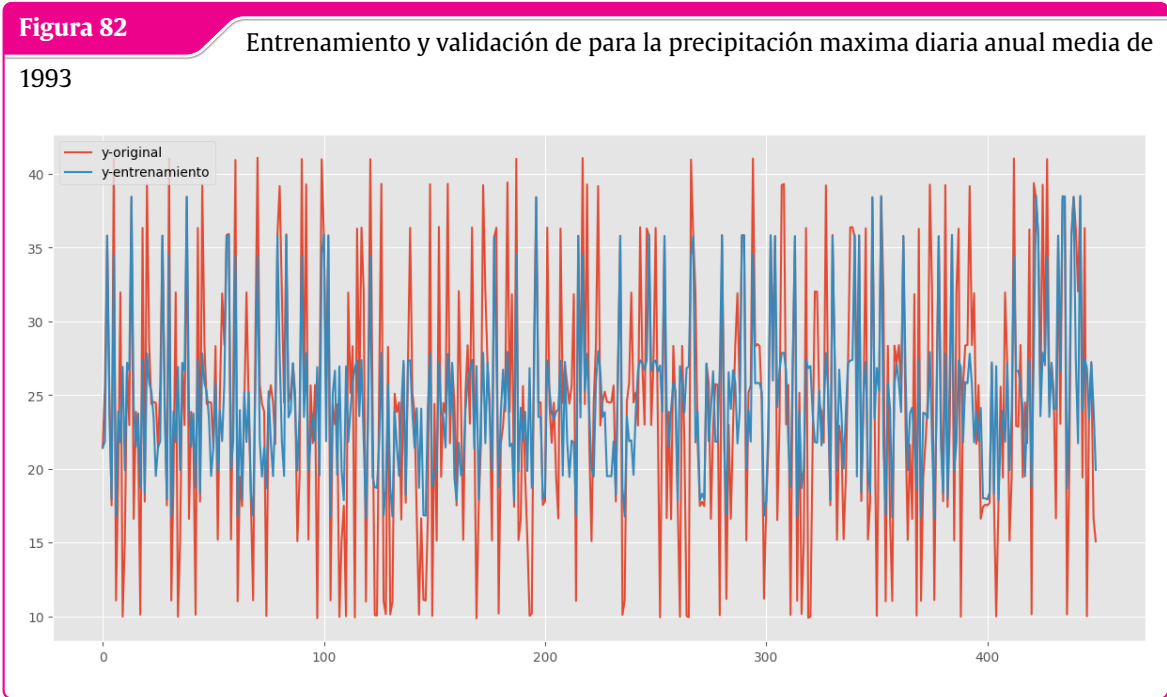
1992



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

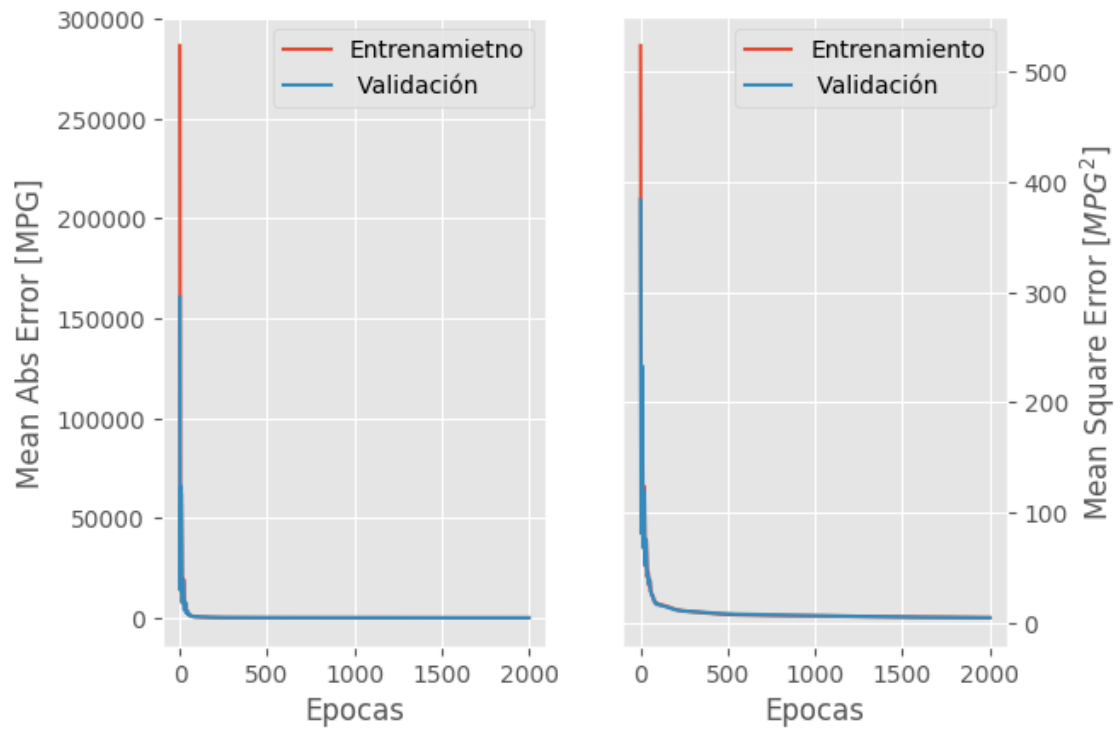


Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 83

Entrenamiento y validación de para la precipitación máxima diaria anual media de

1993

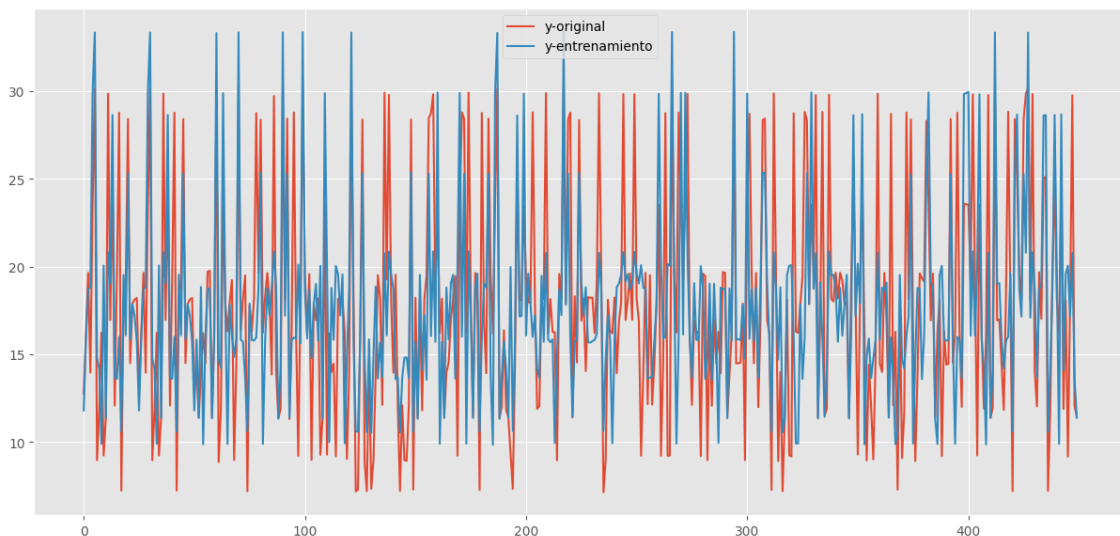


Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 84

Entrenamiento y validación de para la precipitación máxima diaria anual media de

1994

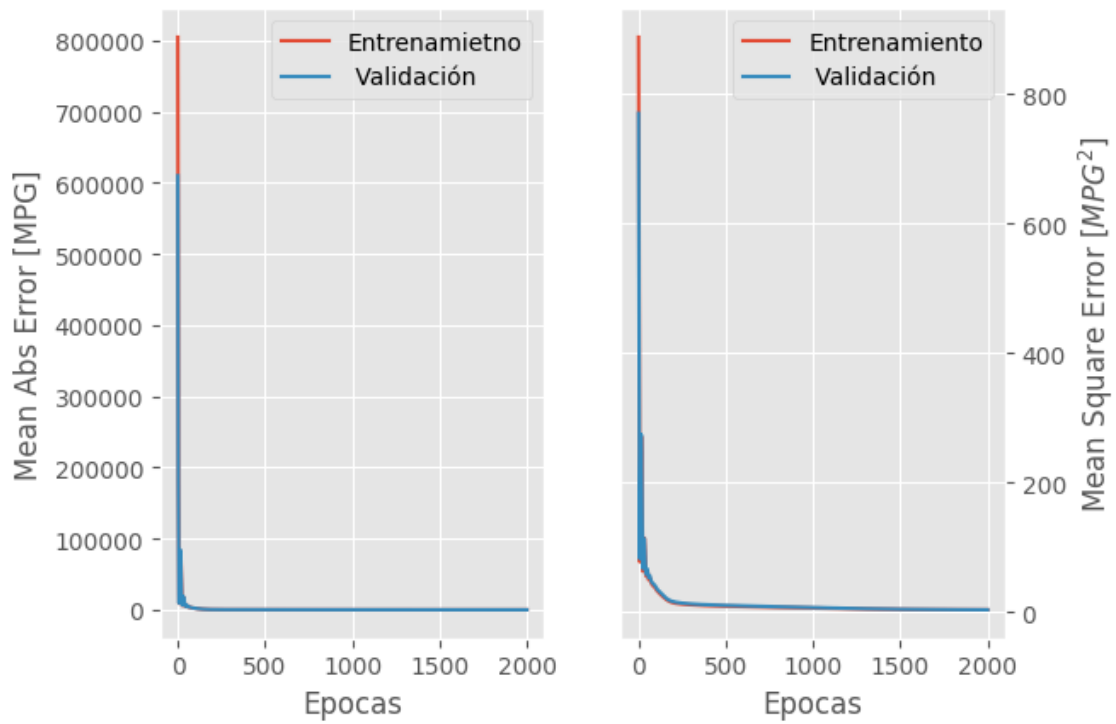


Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 85

Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de

1994

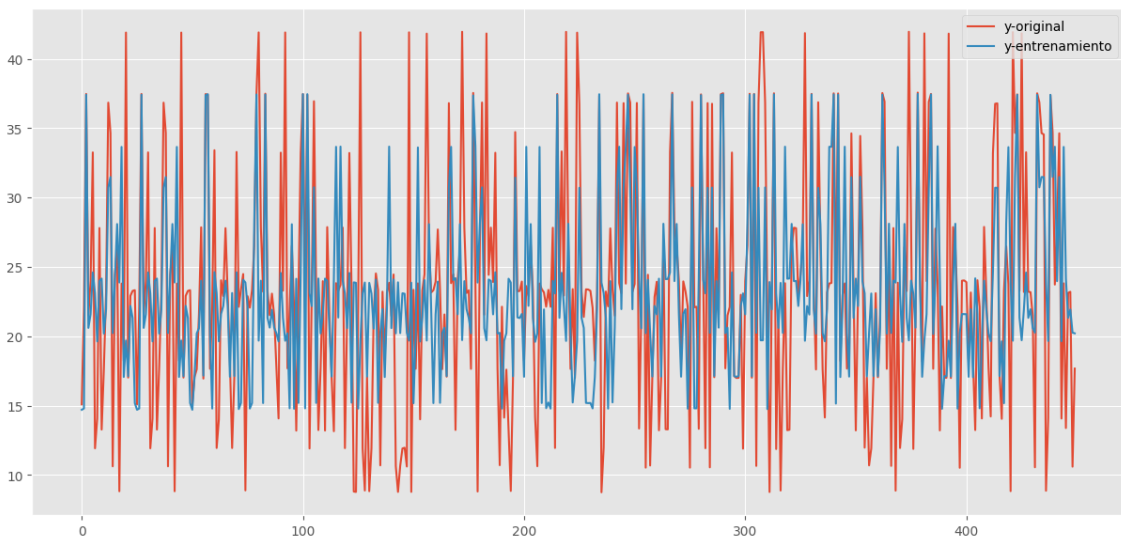


Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

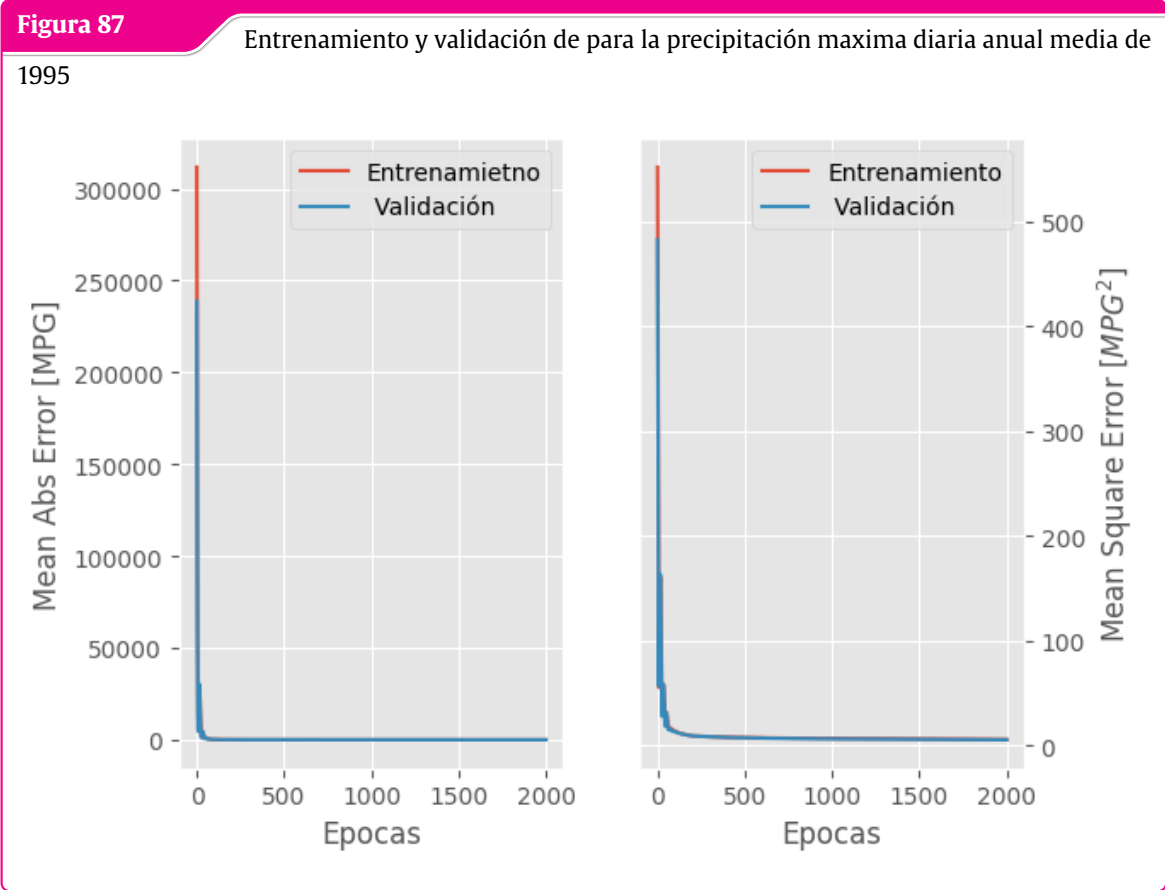
Figura 86

Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de

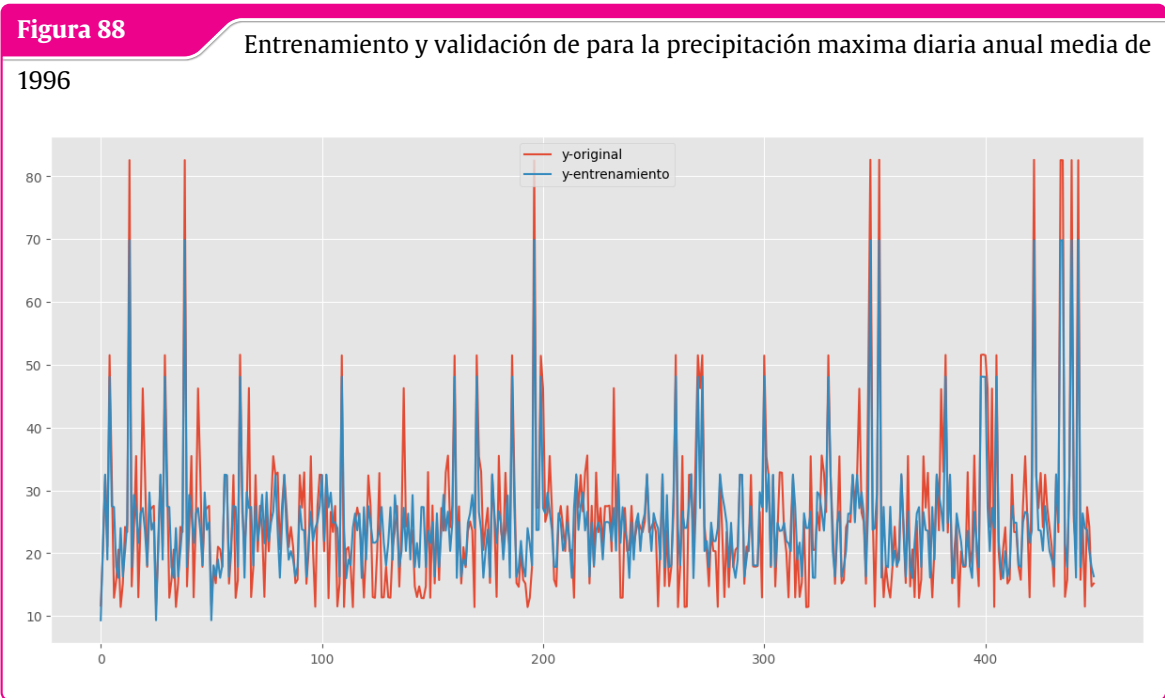
1995



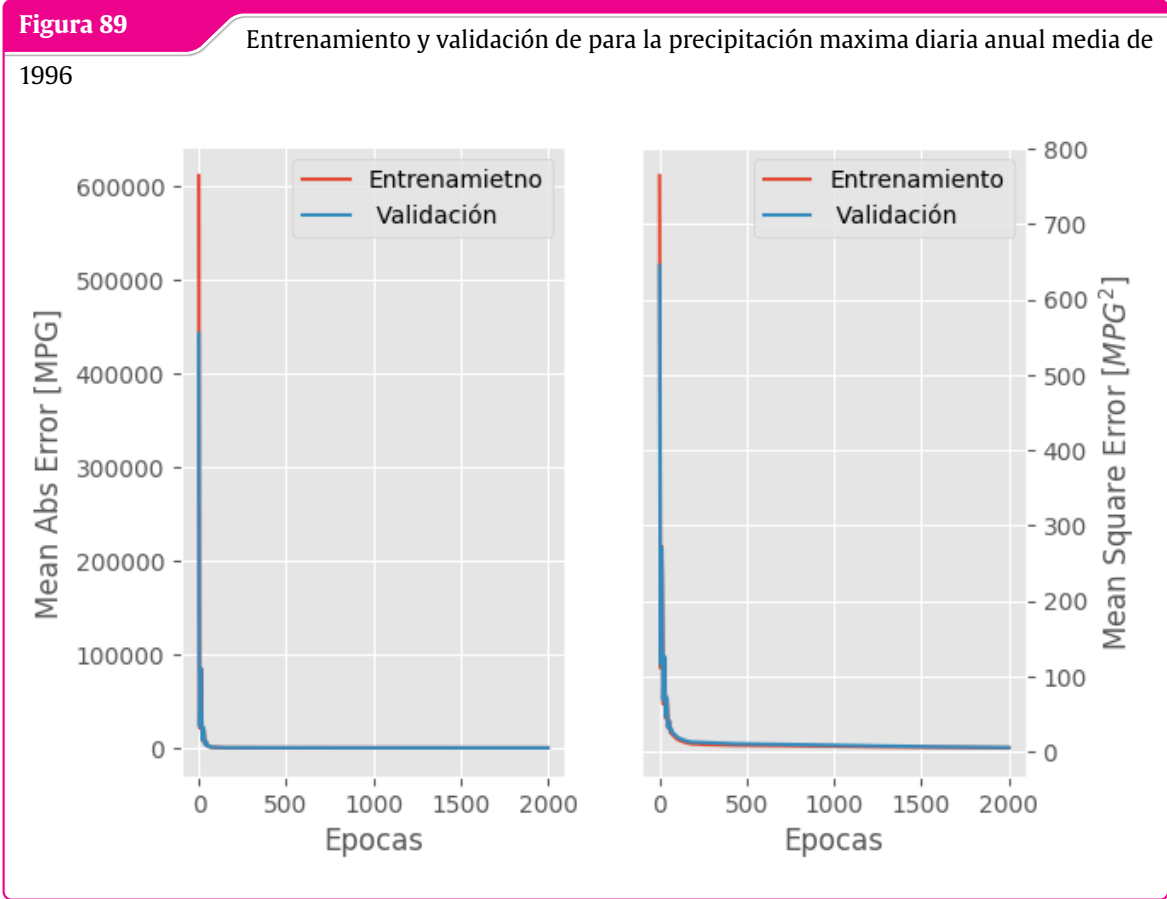
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



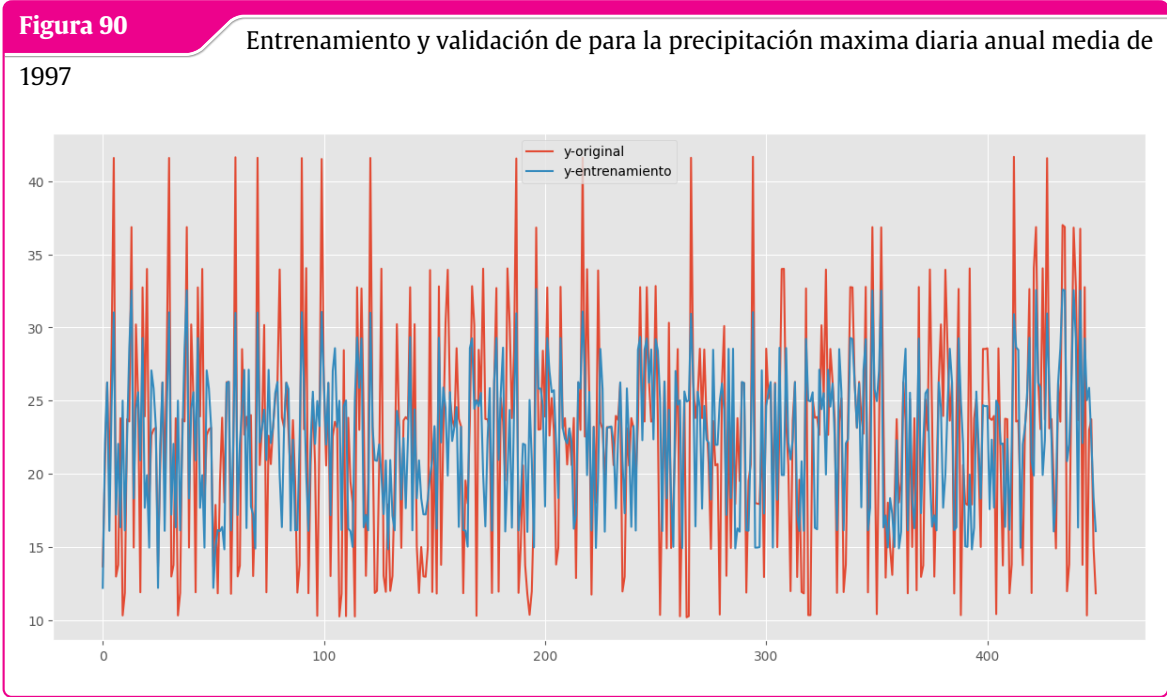
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

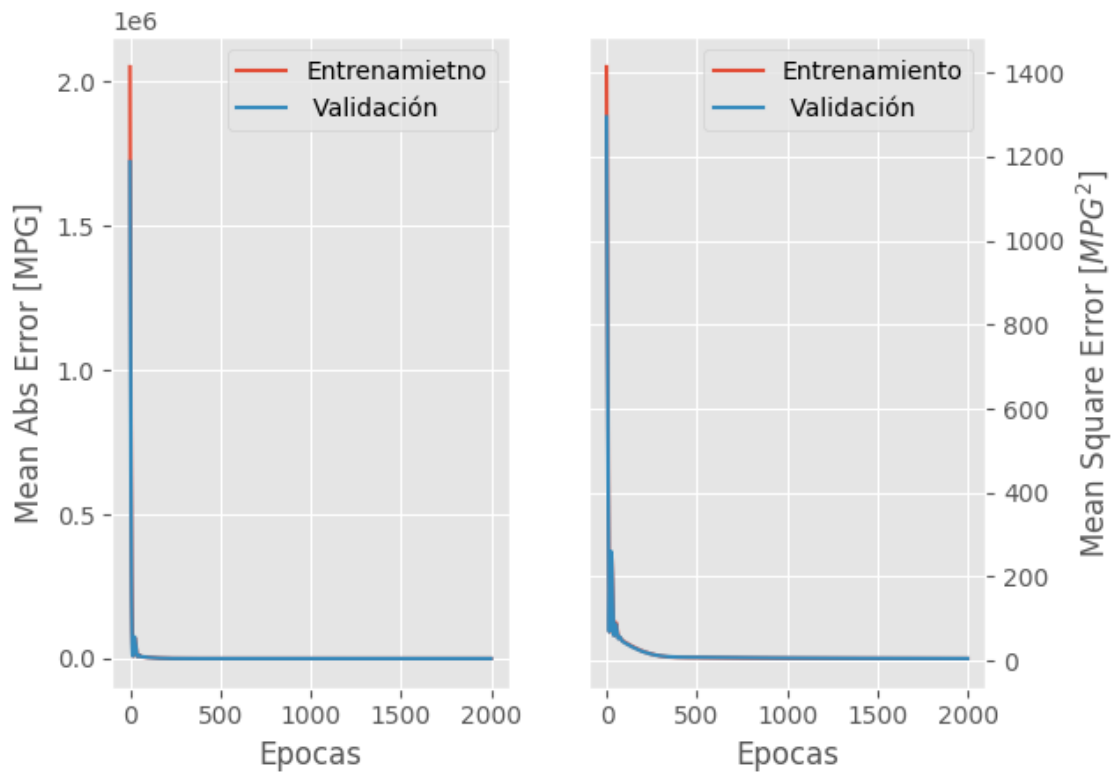


Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 91

Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de

1997

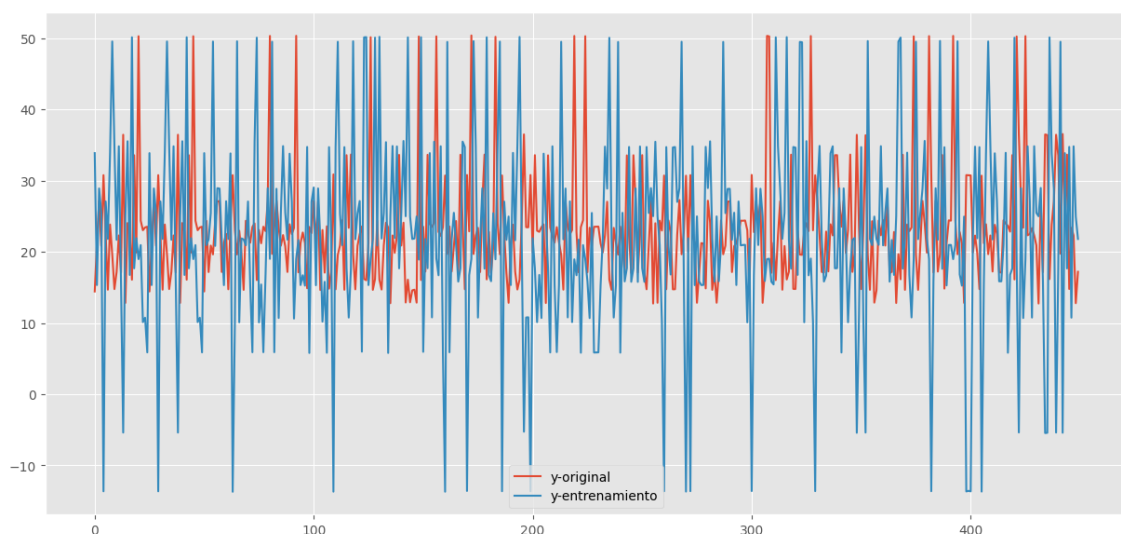


Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

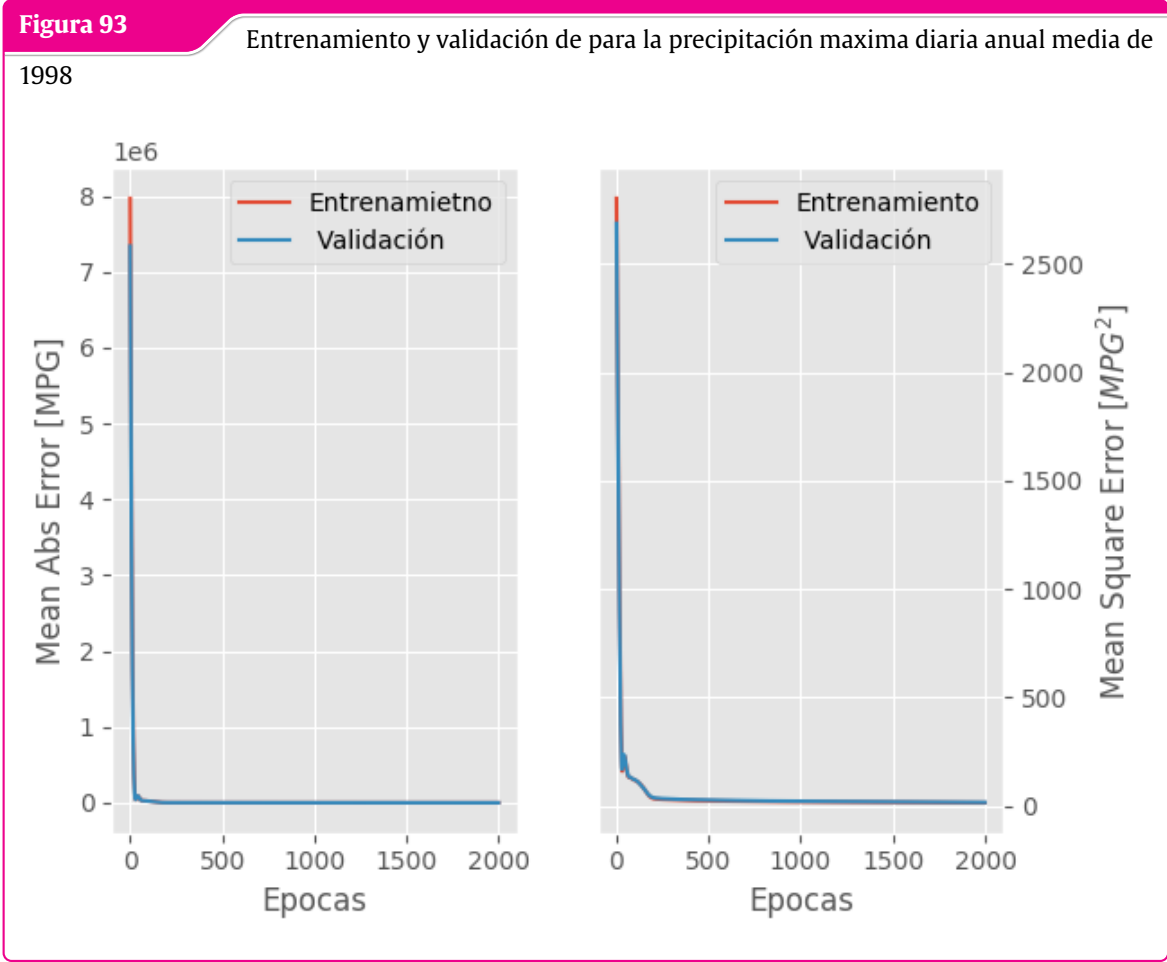
Figura 92

Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de

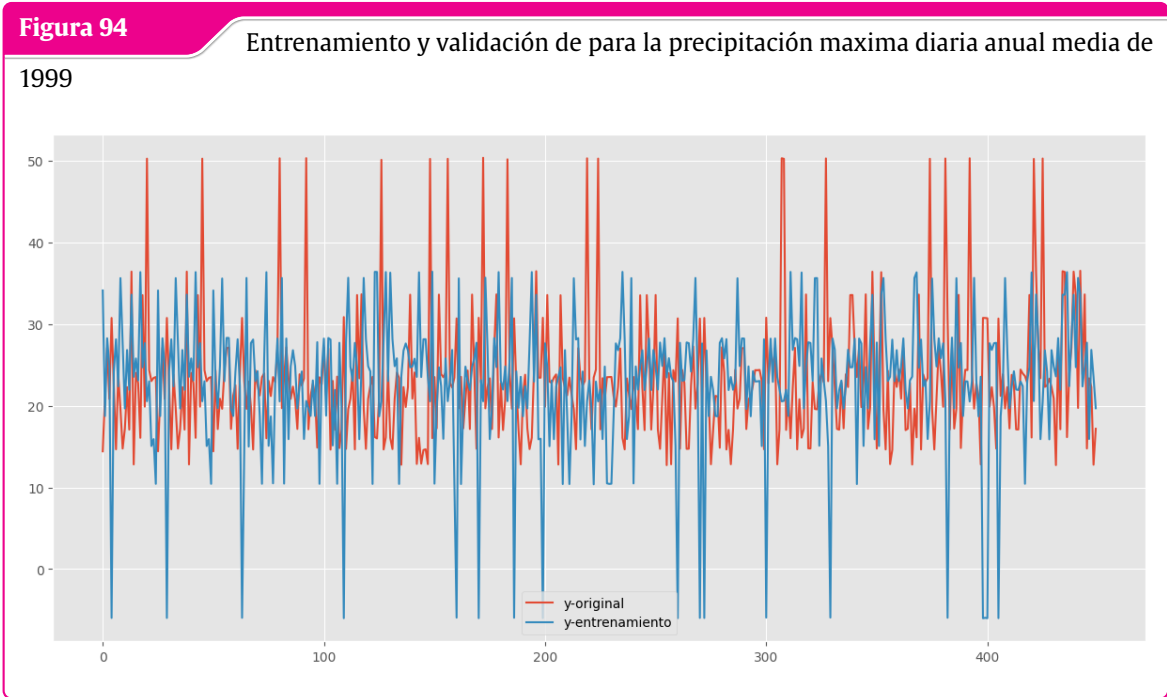
1998



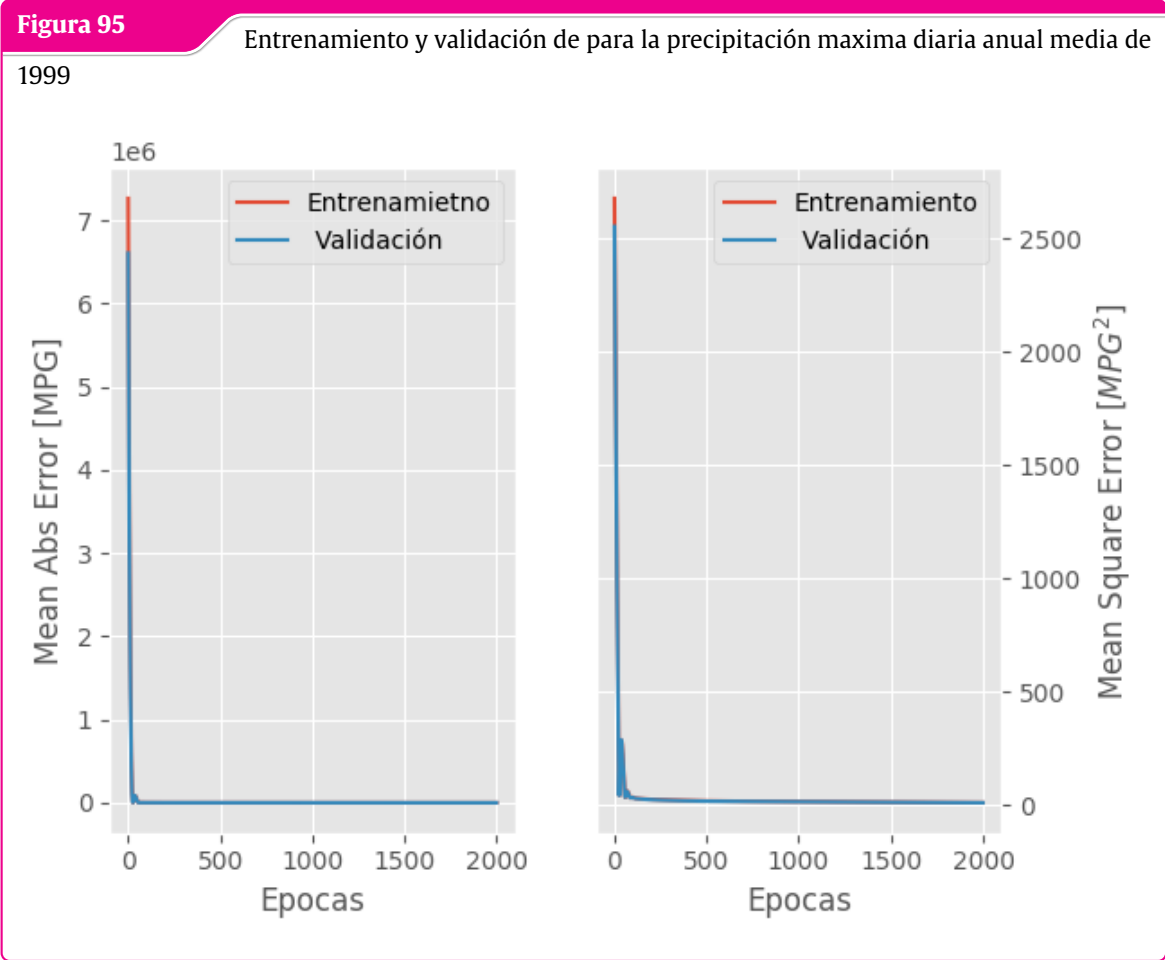
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



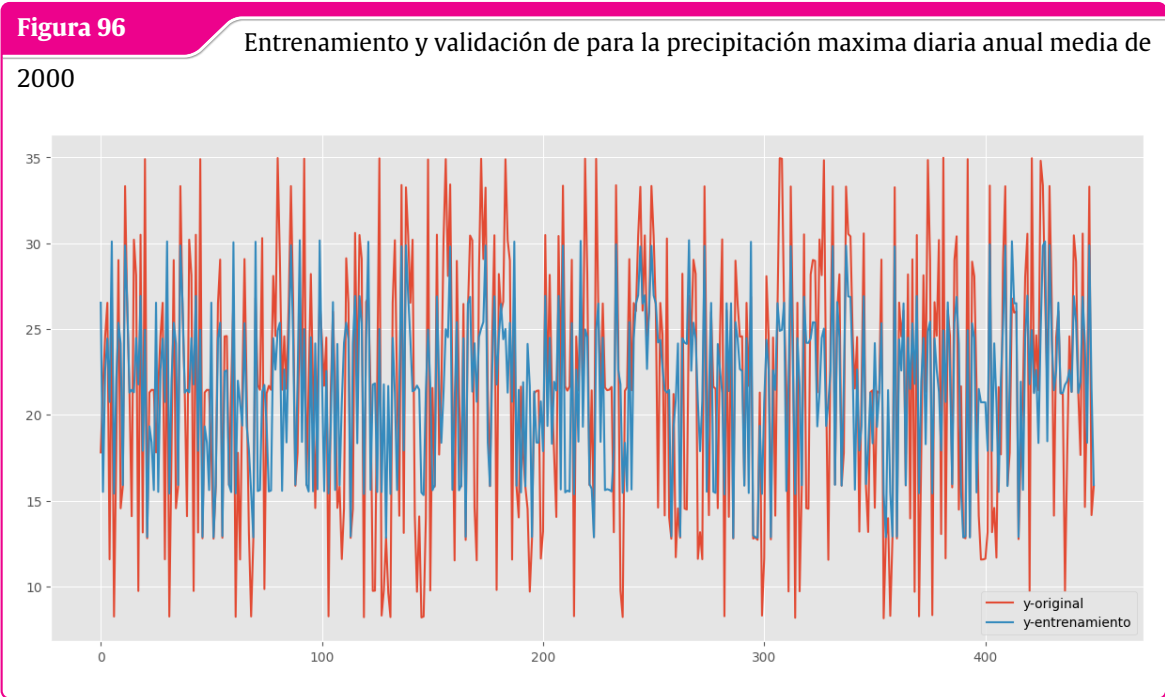
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

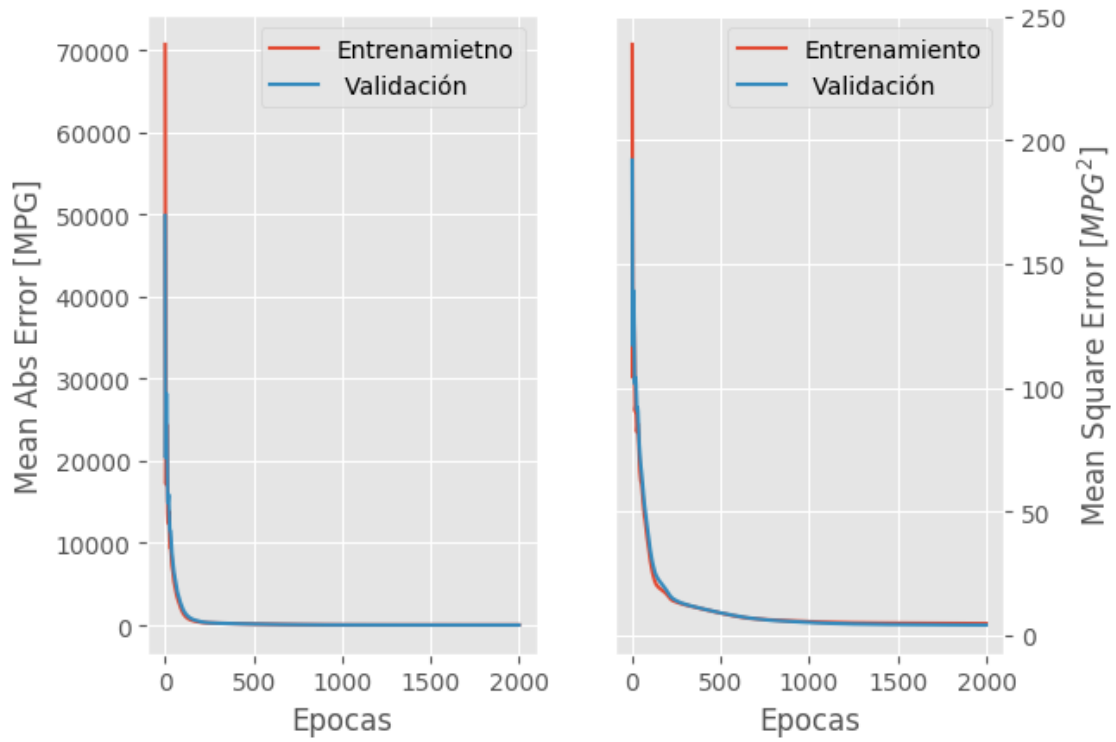


Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 97

Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de

2000

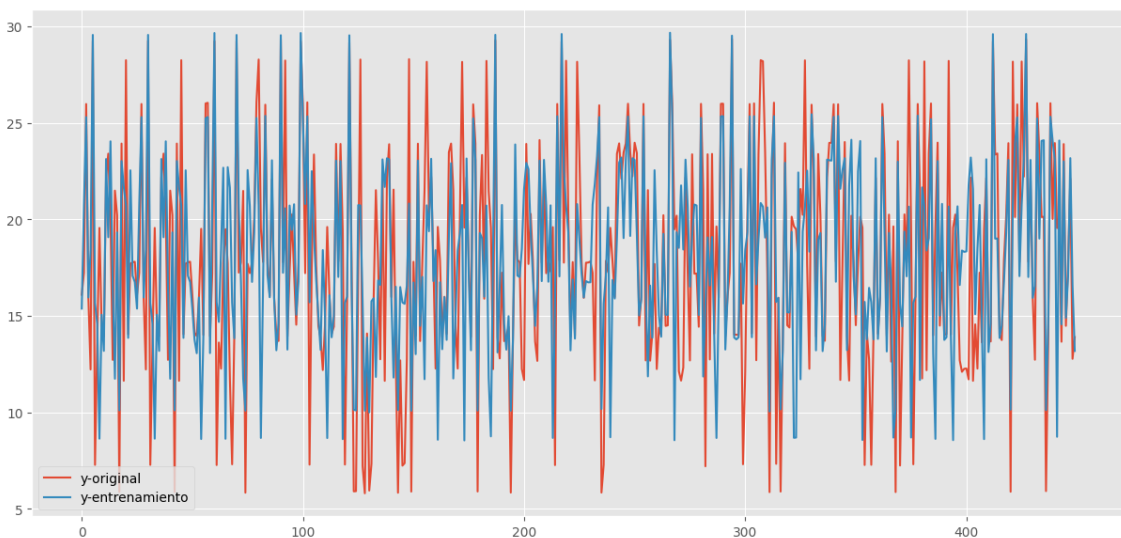


**Fuente:** Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 98

Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de

2001

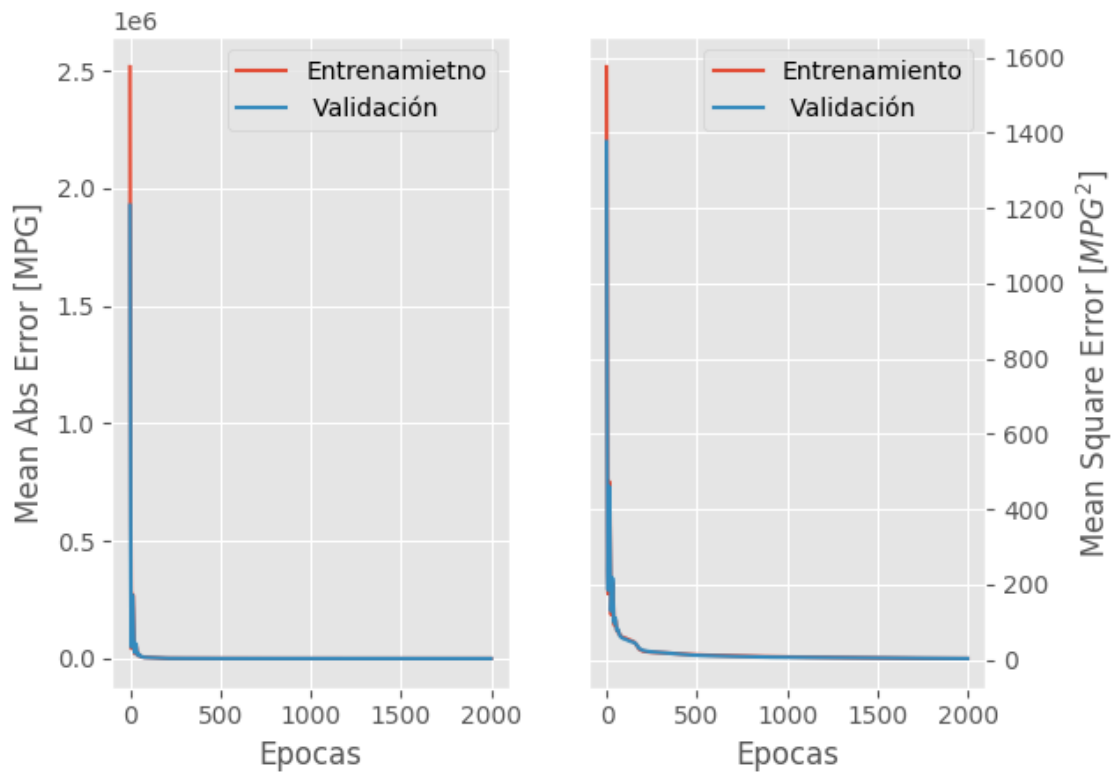


**Fuente:** Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 99

Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de

2001

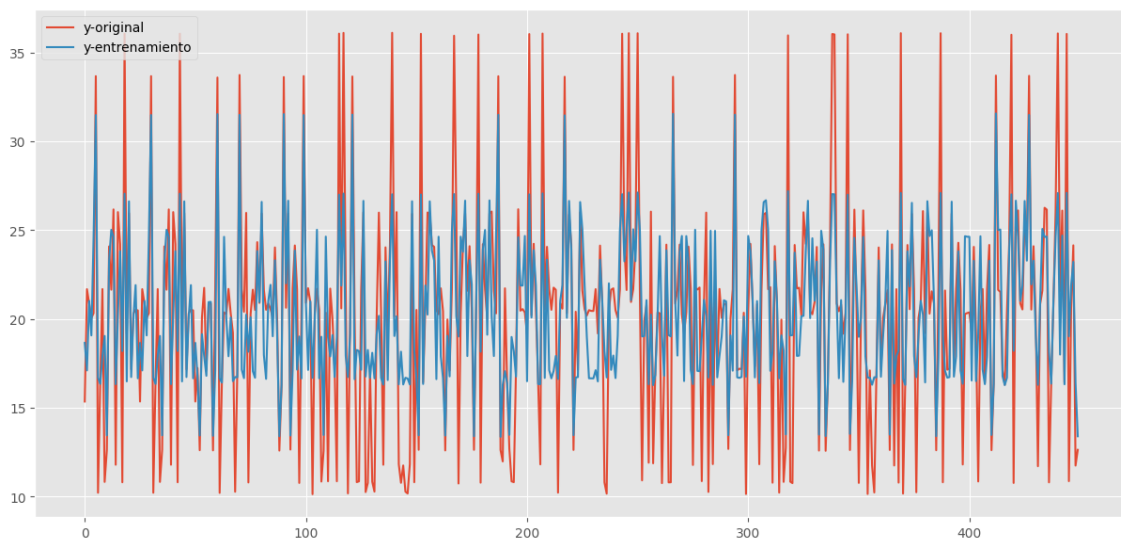


Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 100

Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de

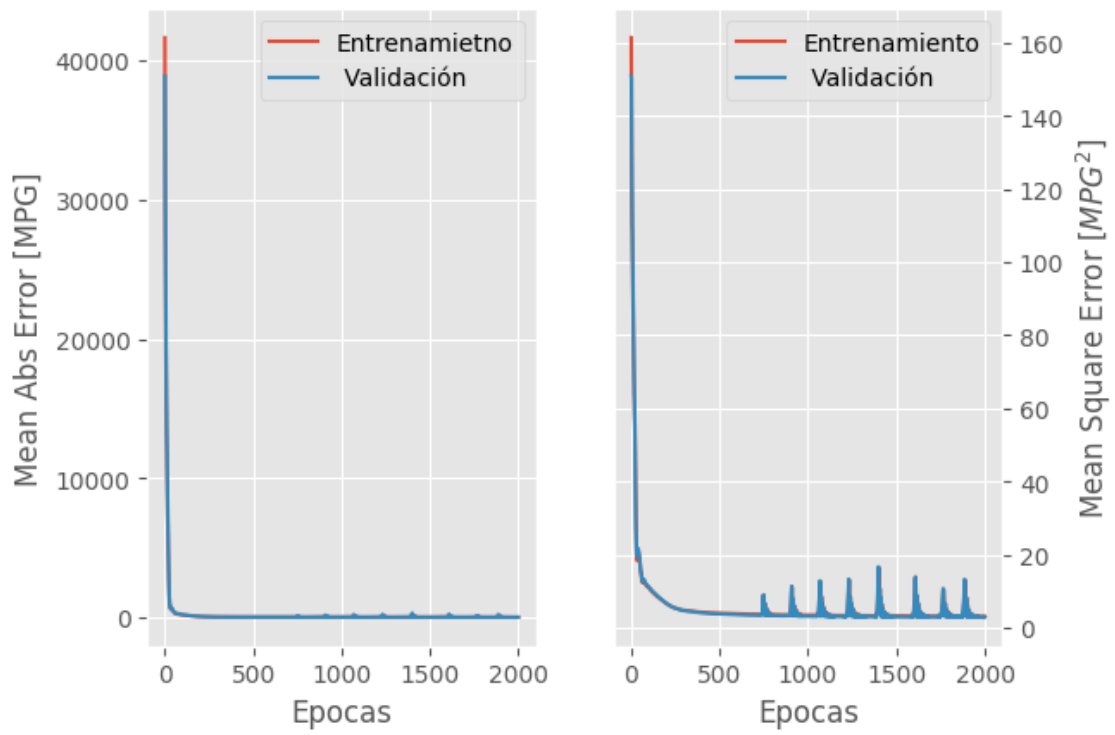
2002



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

**Figura 101** Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de

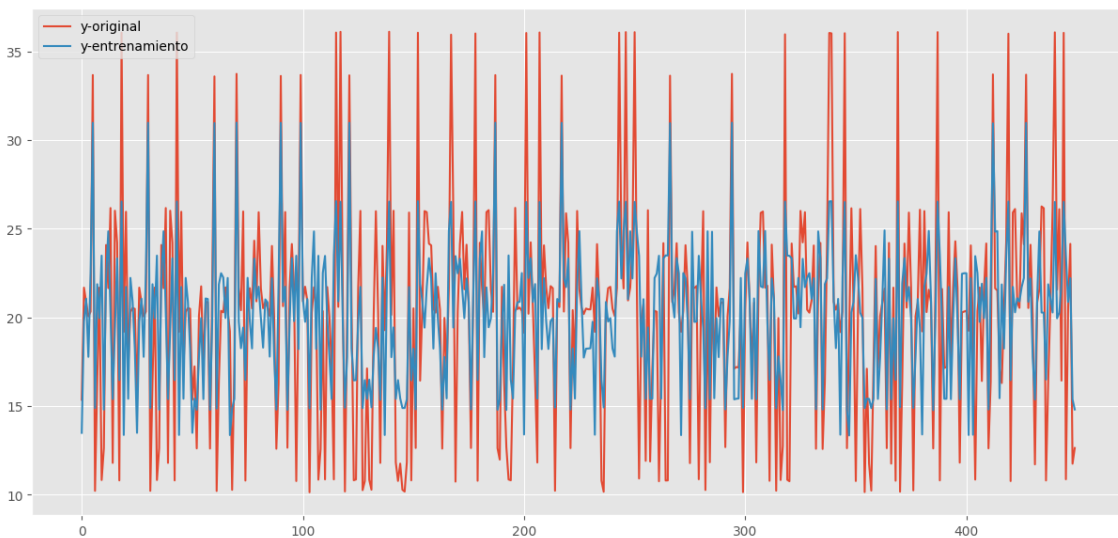
2002



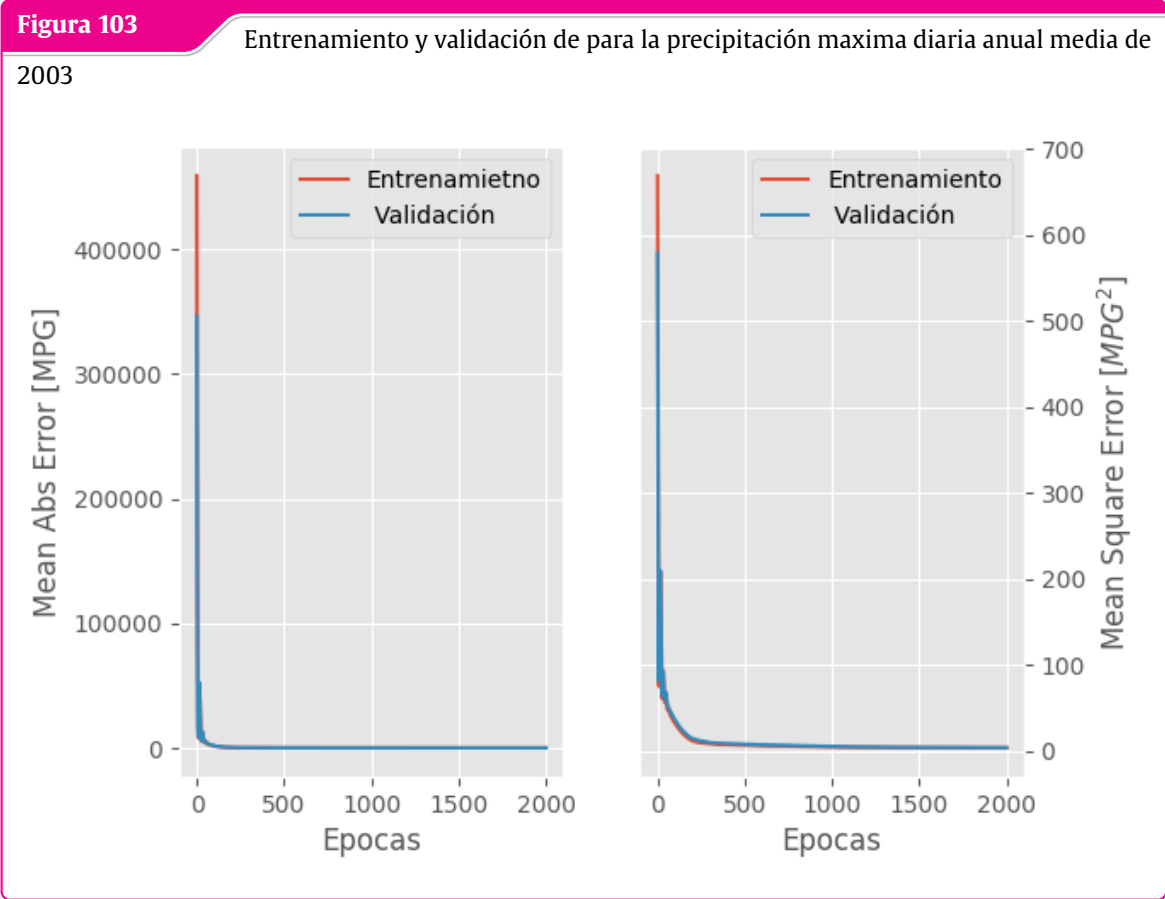
**Fuente:** Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

**Figura 102** Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de

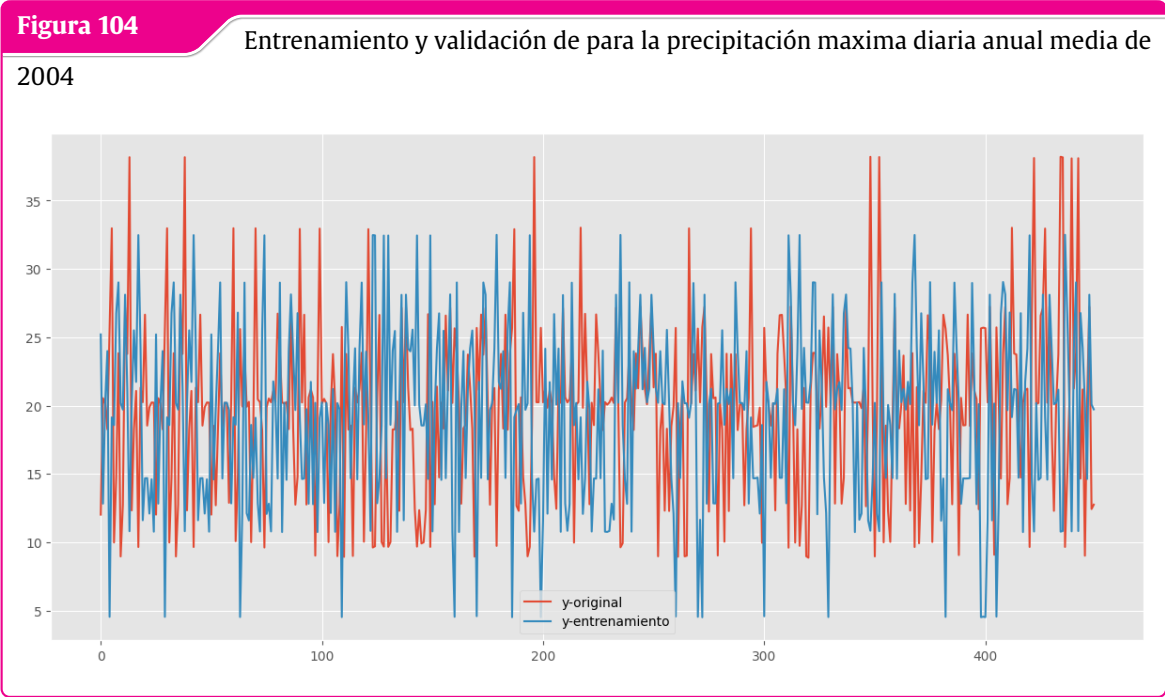
2003



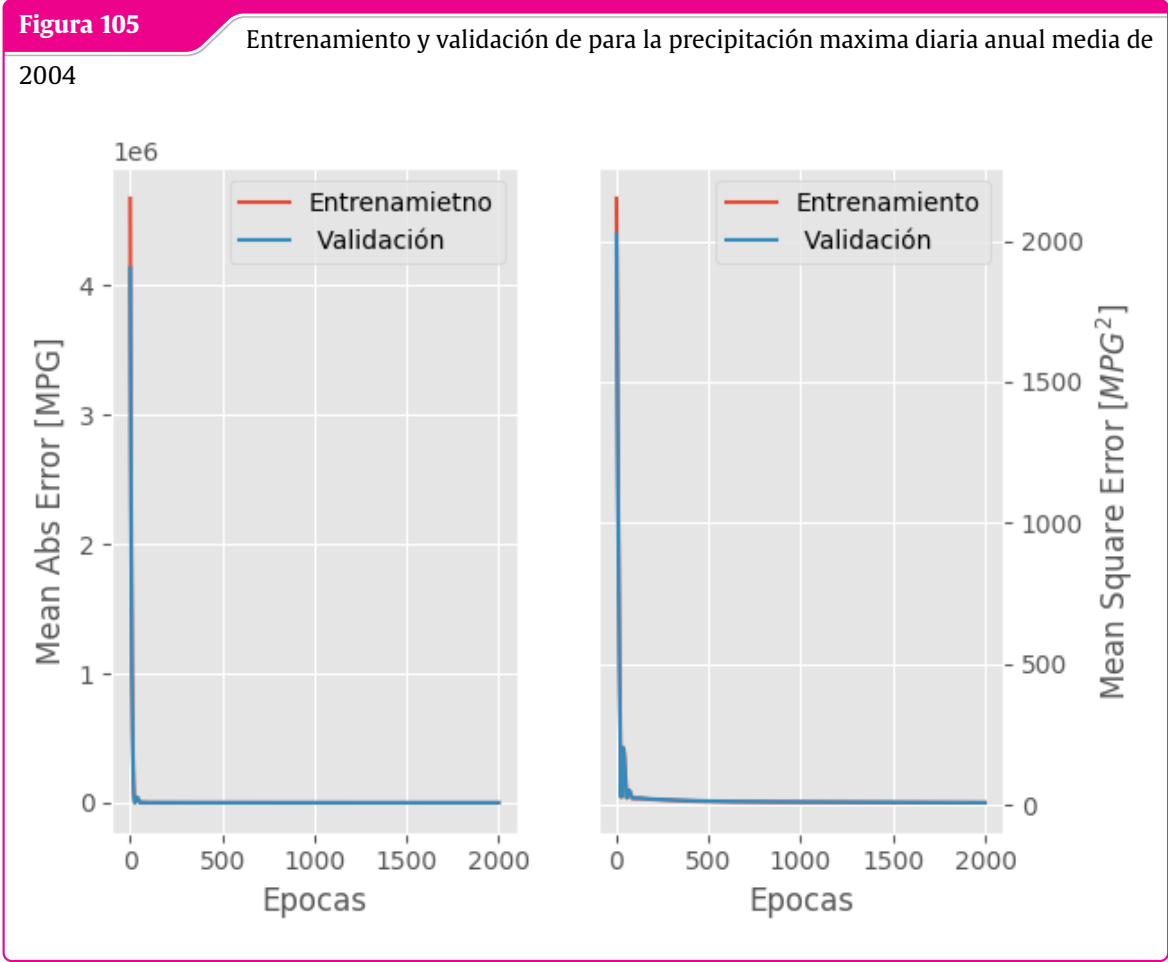
**Fuente:** Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



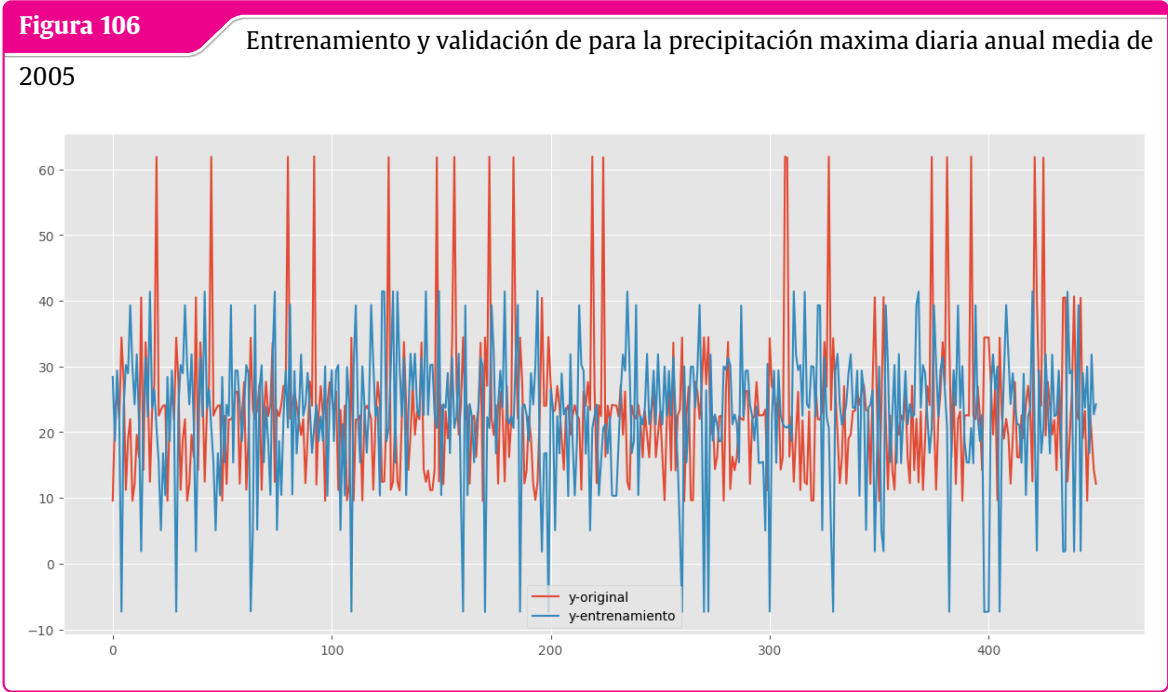
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



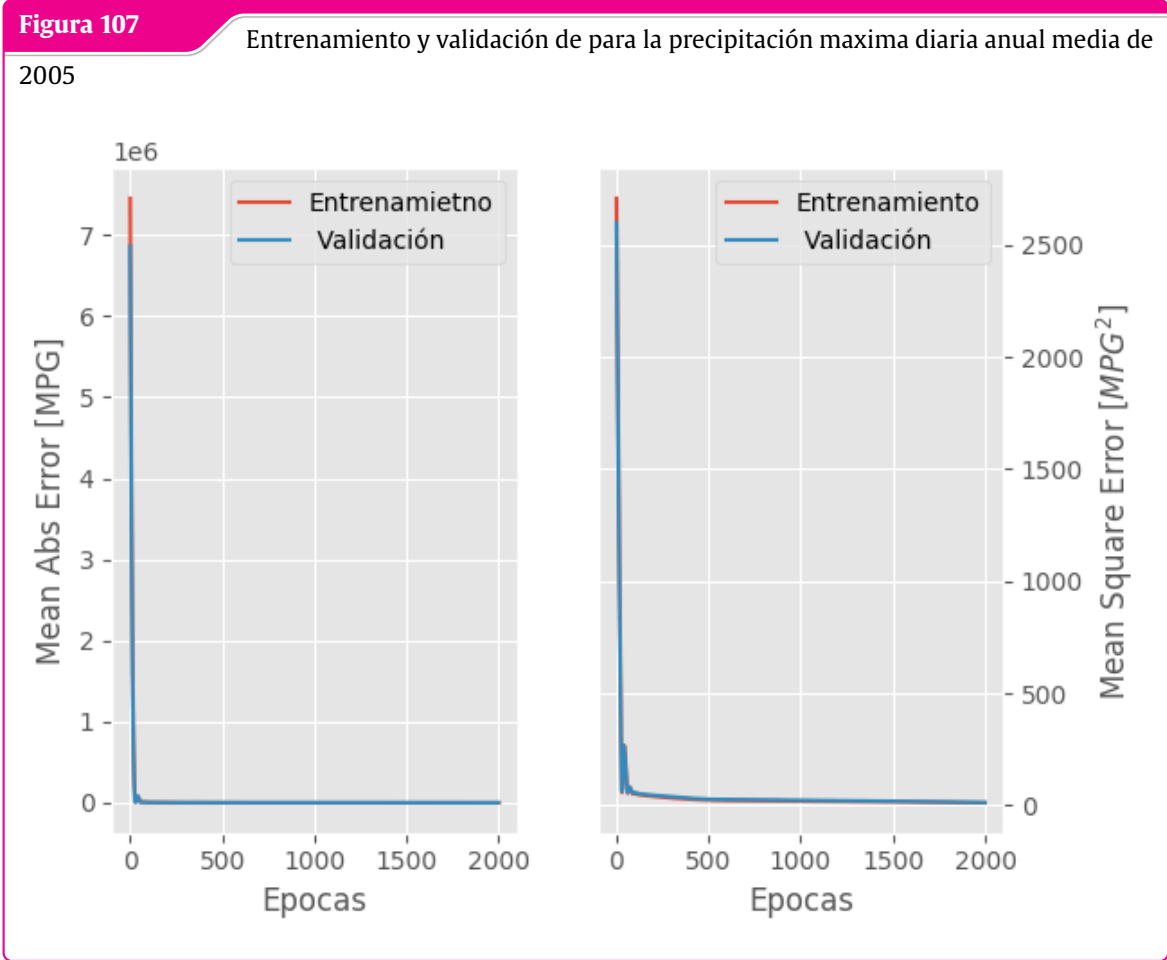
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



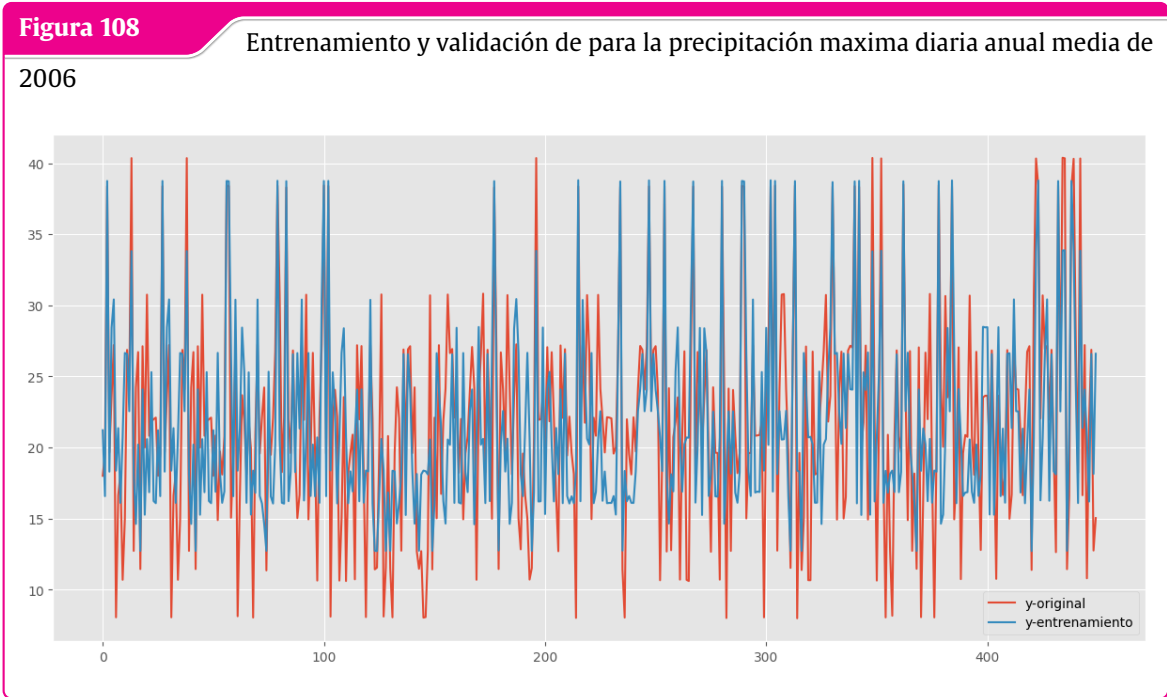
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



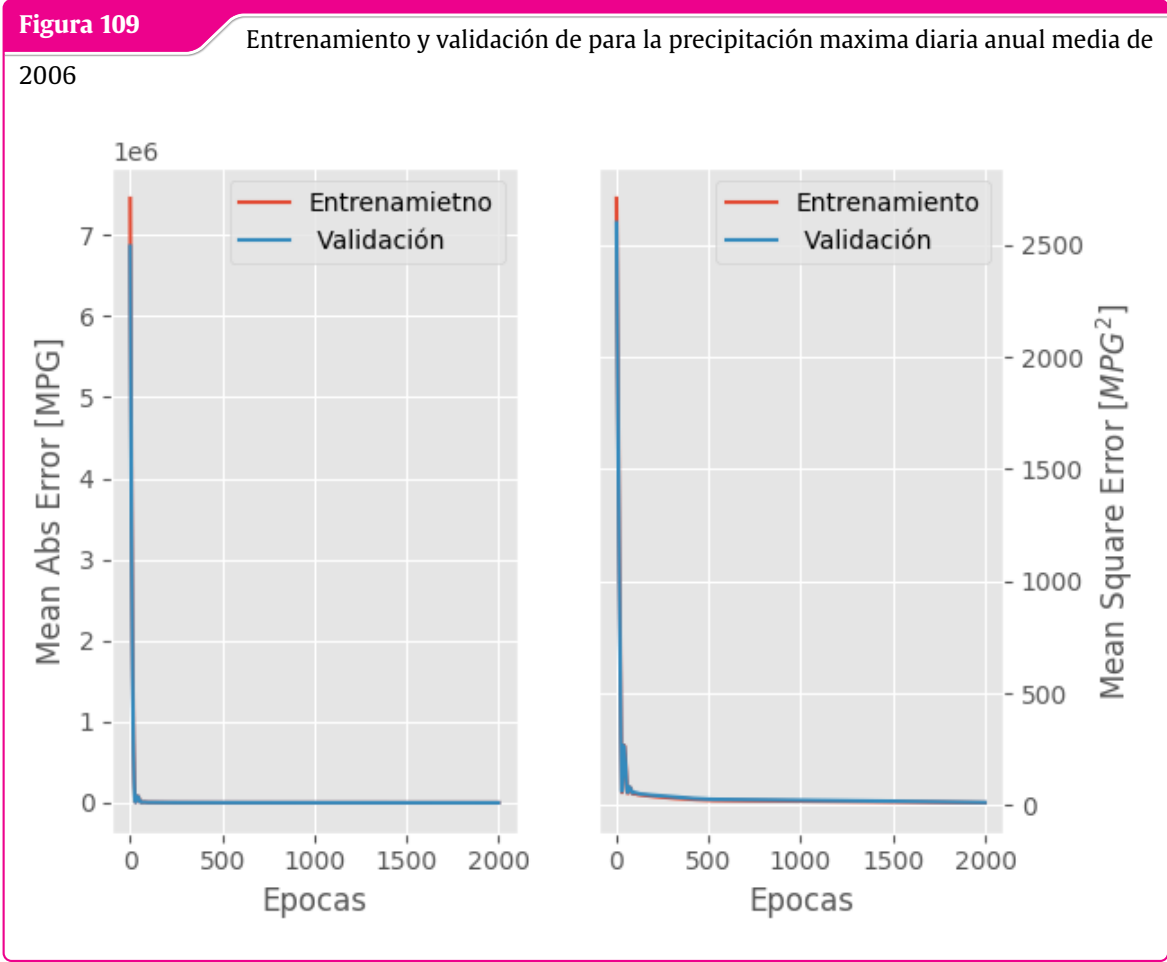
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



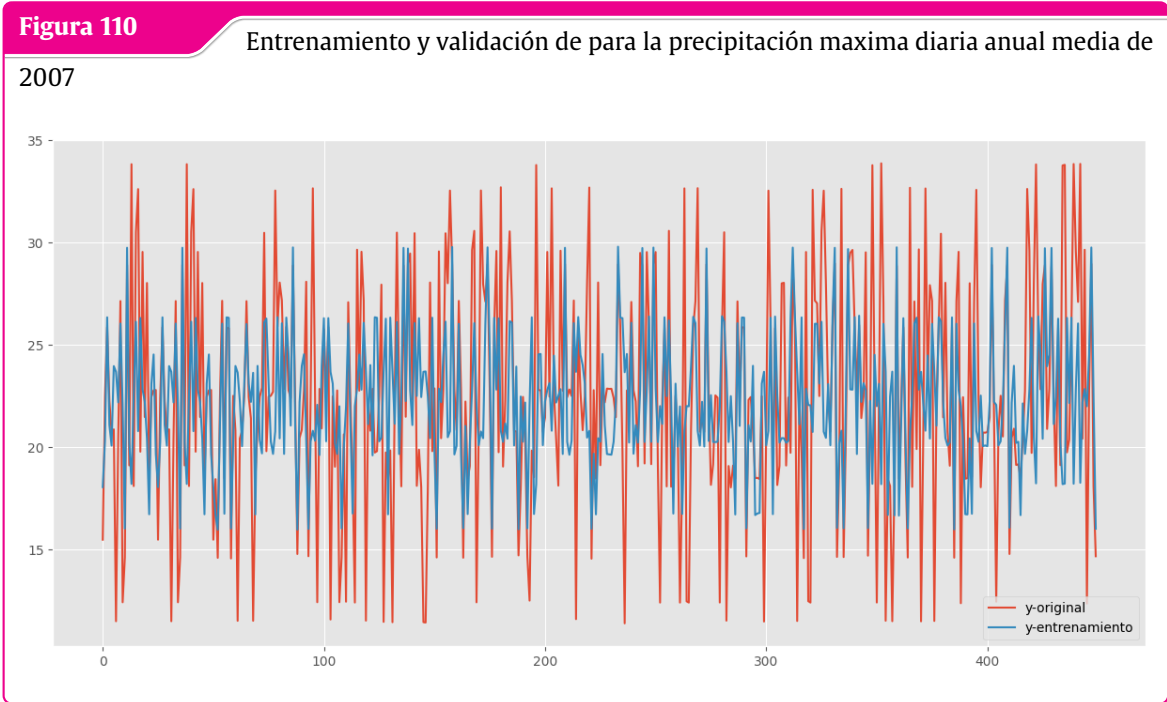
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



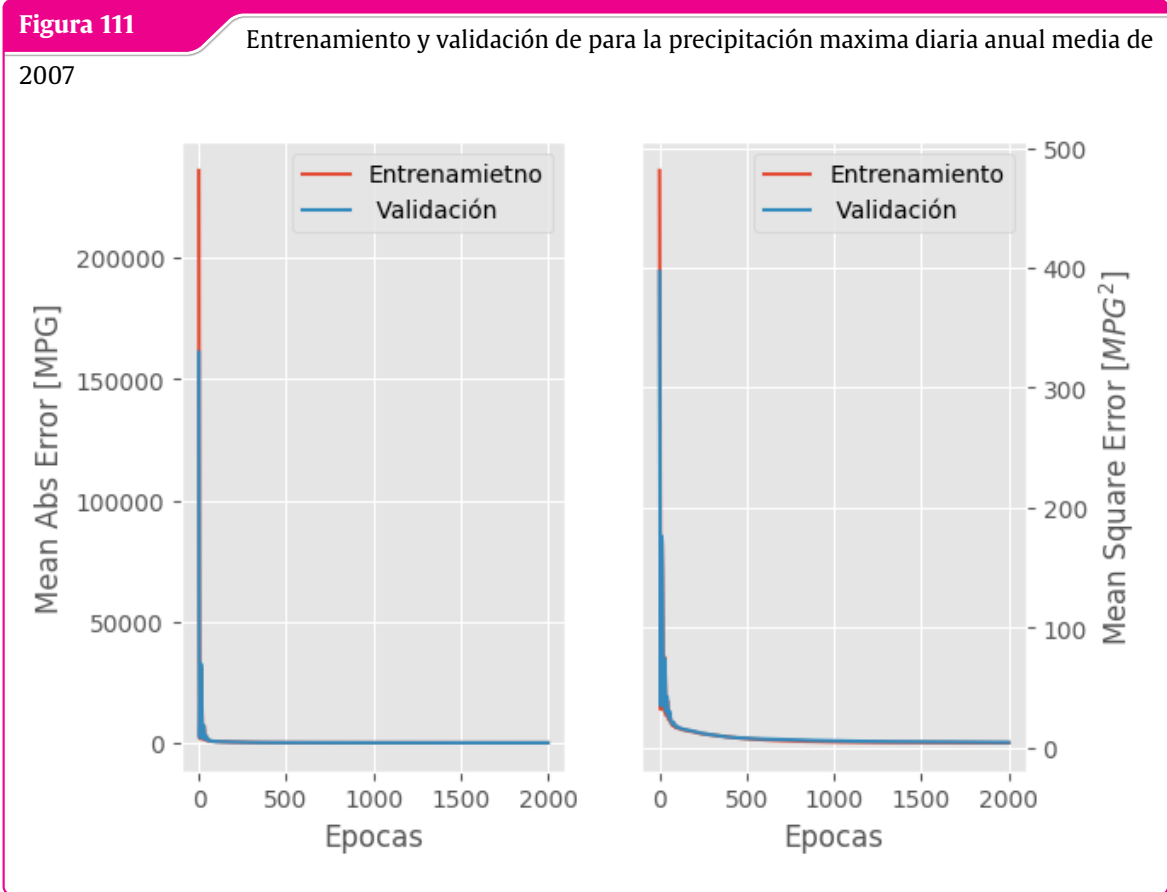
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



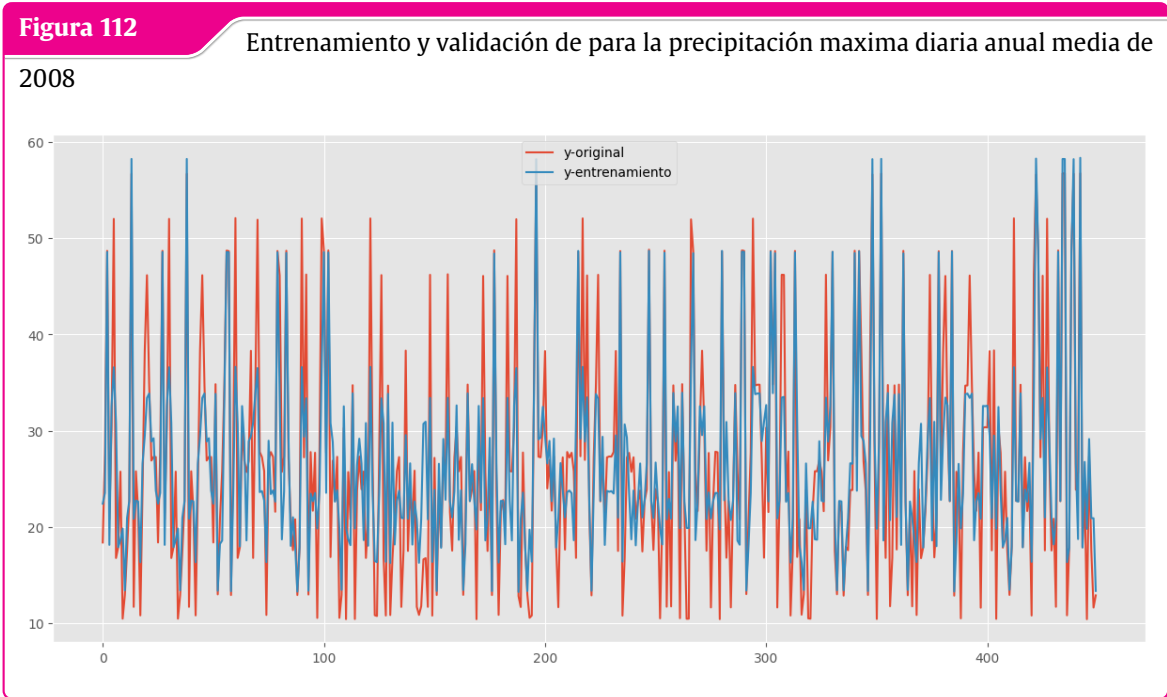
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

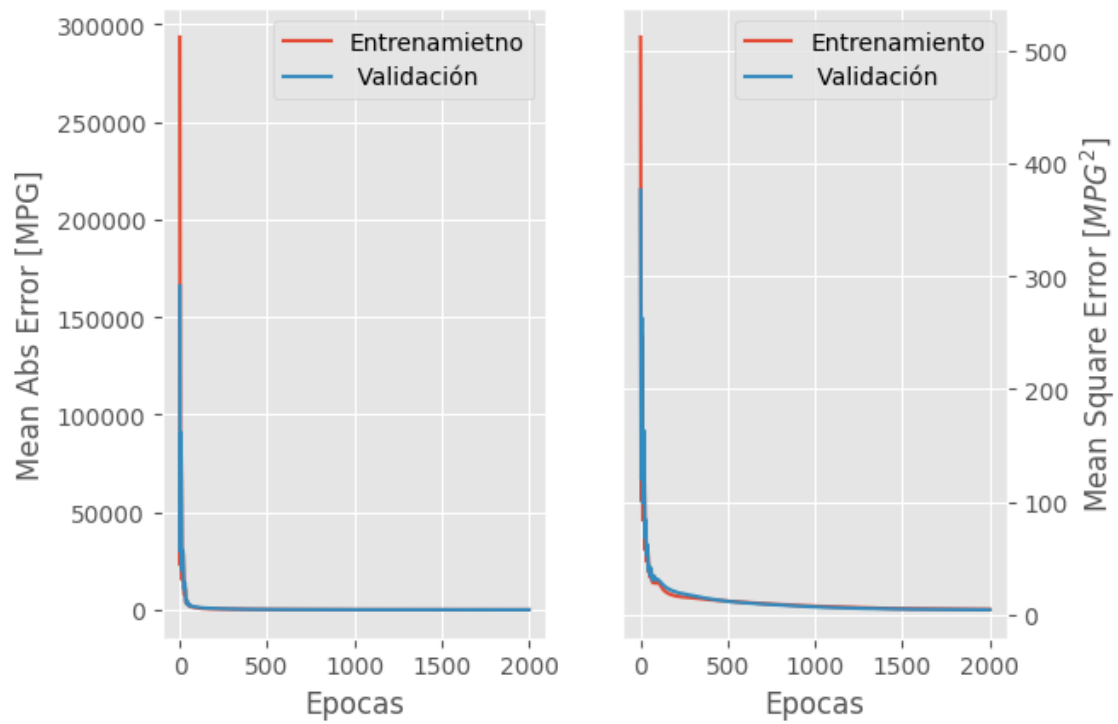


Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 113

Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de

2008

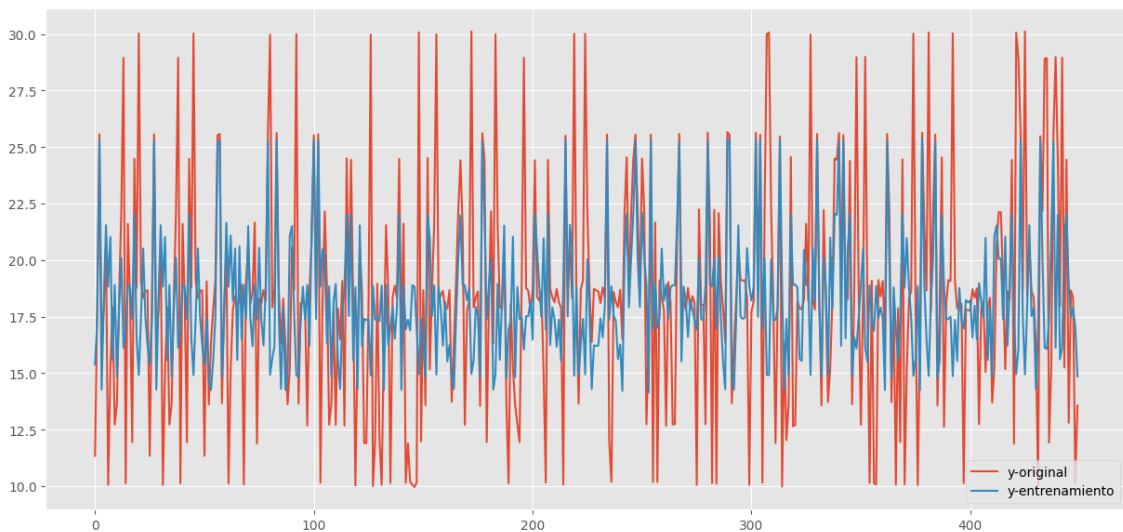


Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 114

Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de

2009

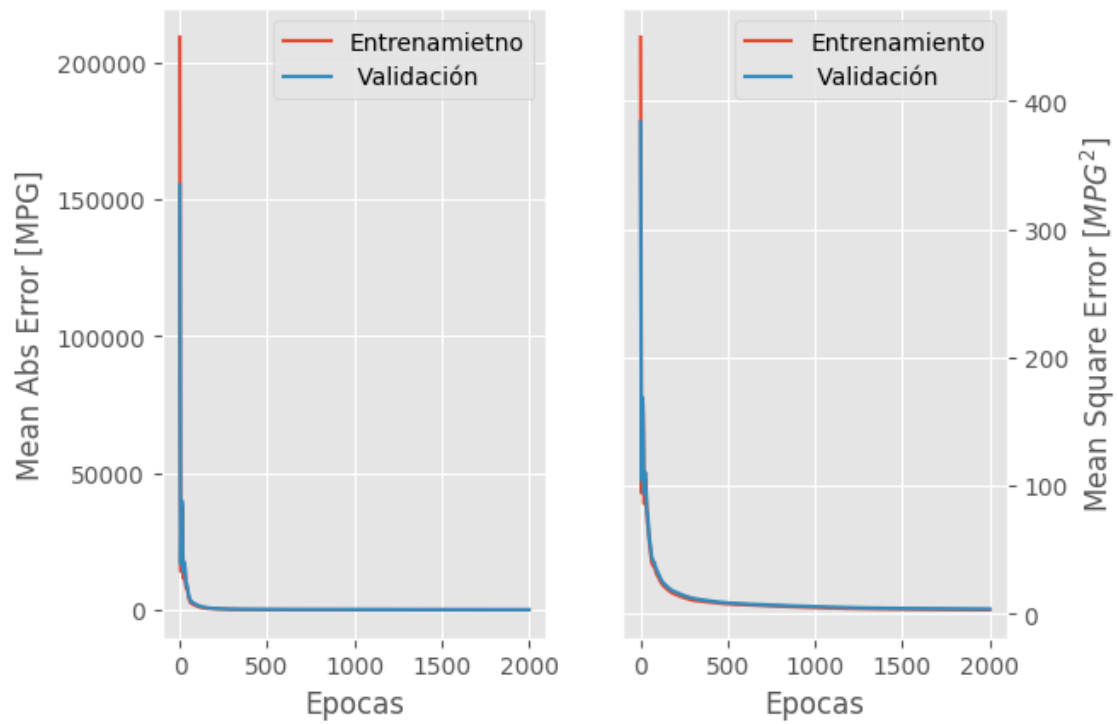


Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 115

Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de

2009

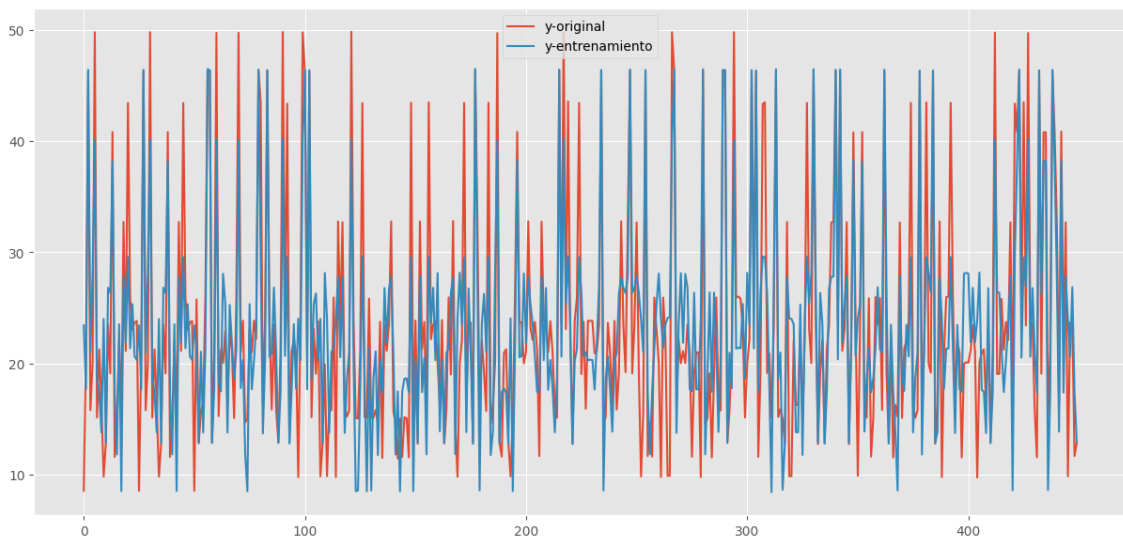


Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 116

Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de

2010

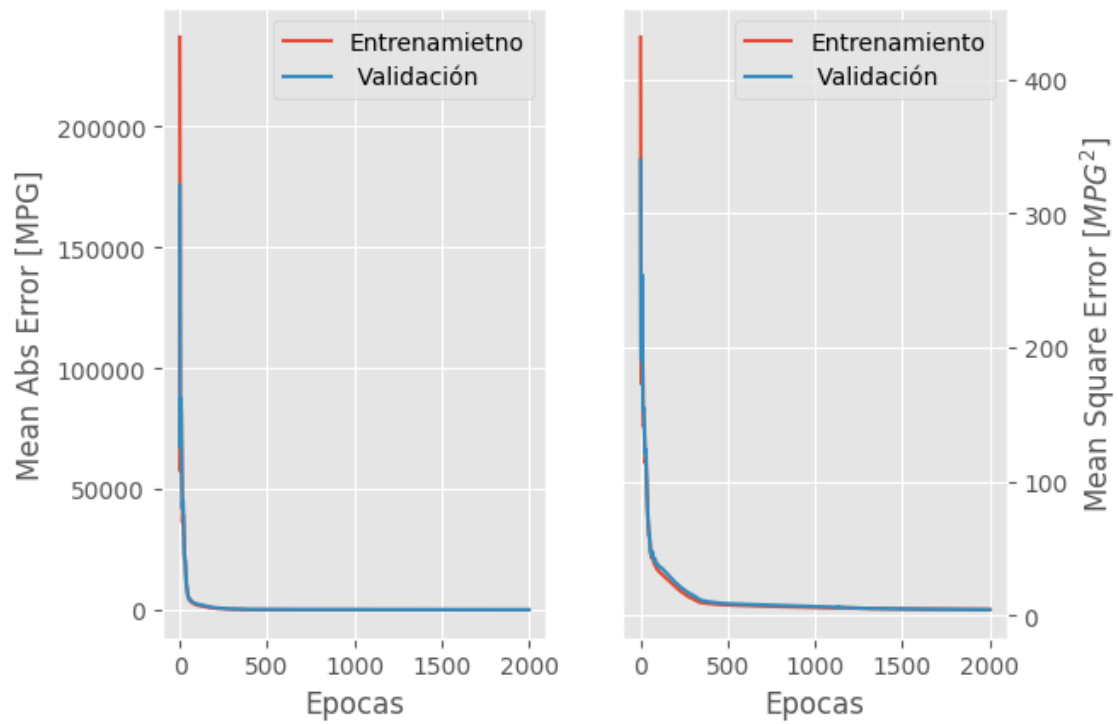


Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 117

Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de

2010

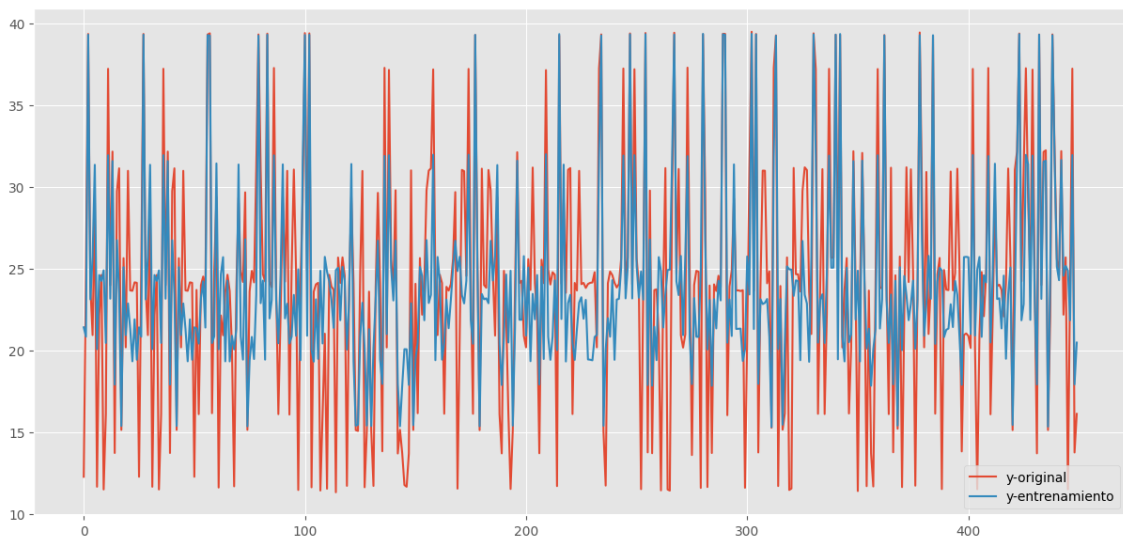


Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 118

Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de

2011

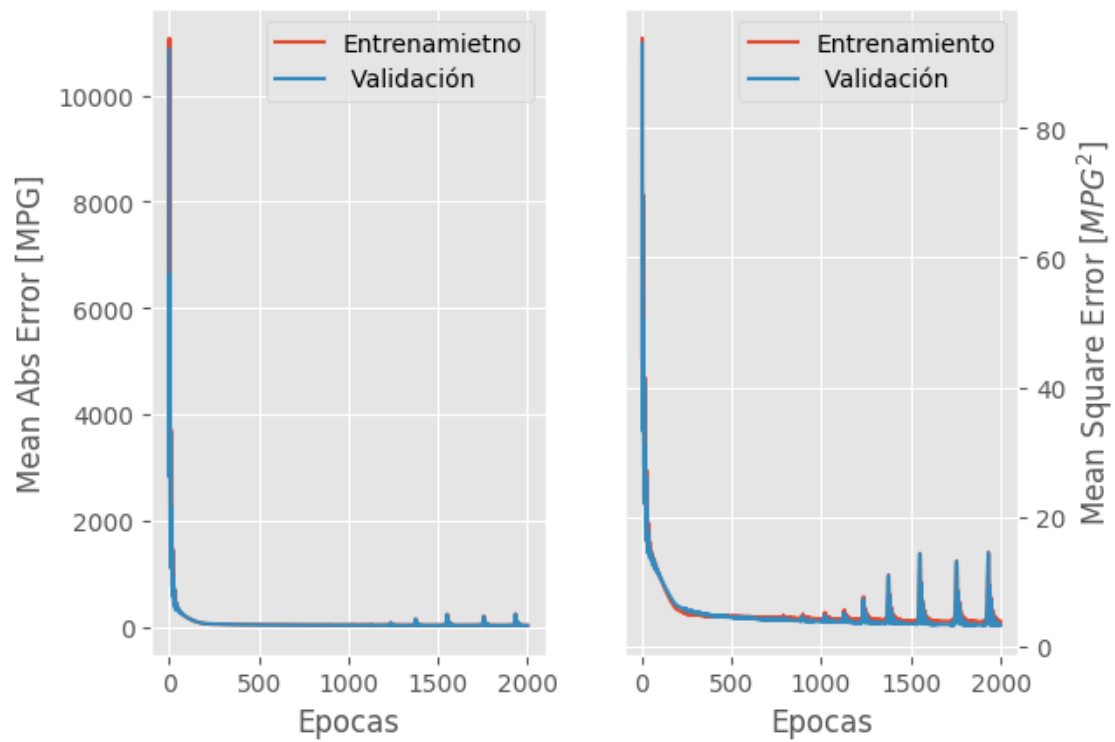


Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 119

Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de

2011

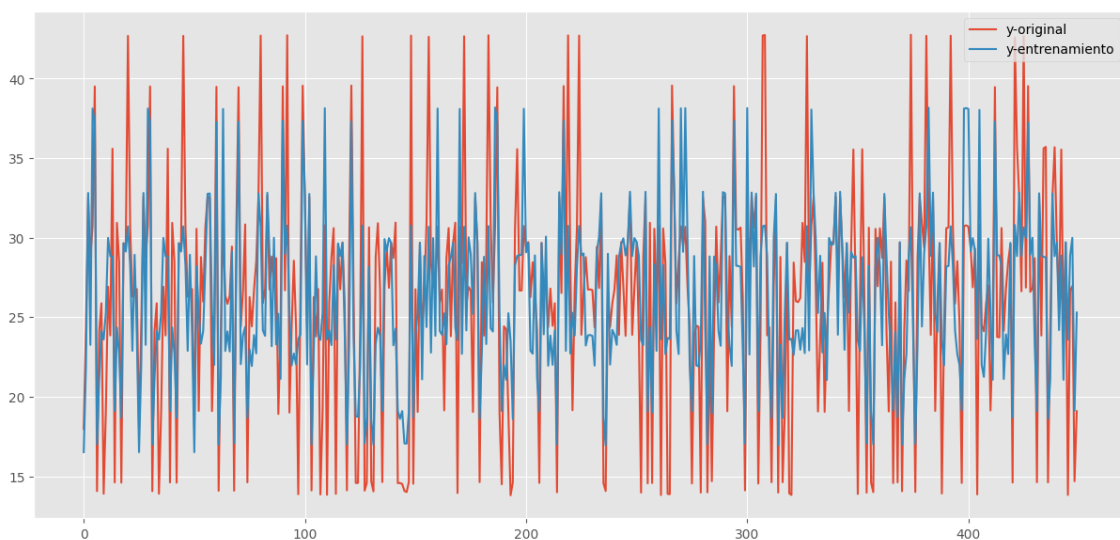


Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

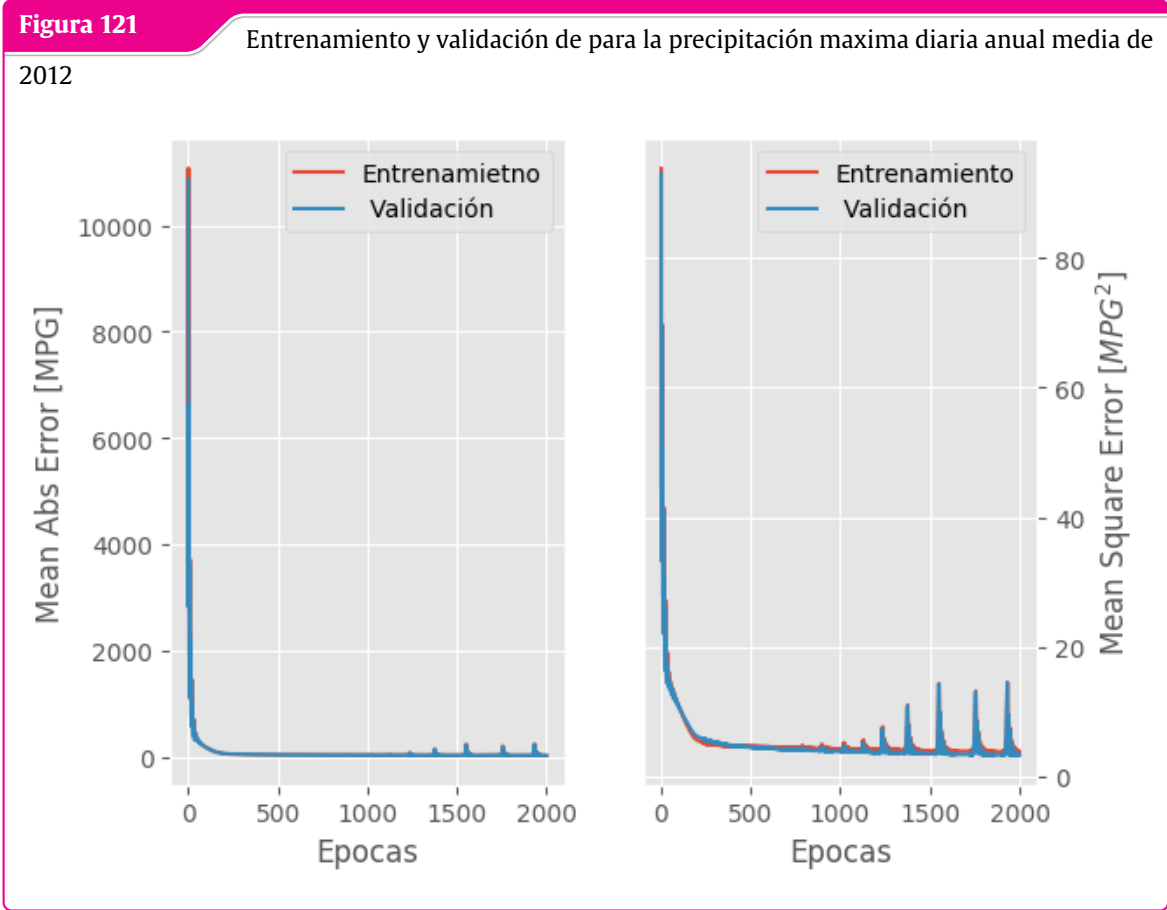
Figura 120

Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de

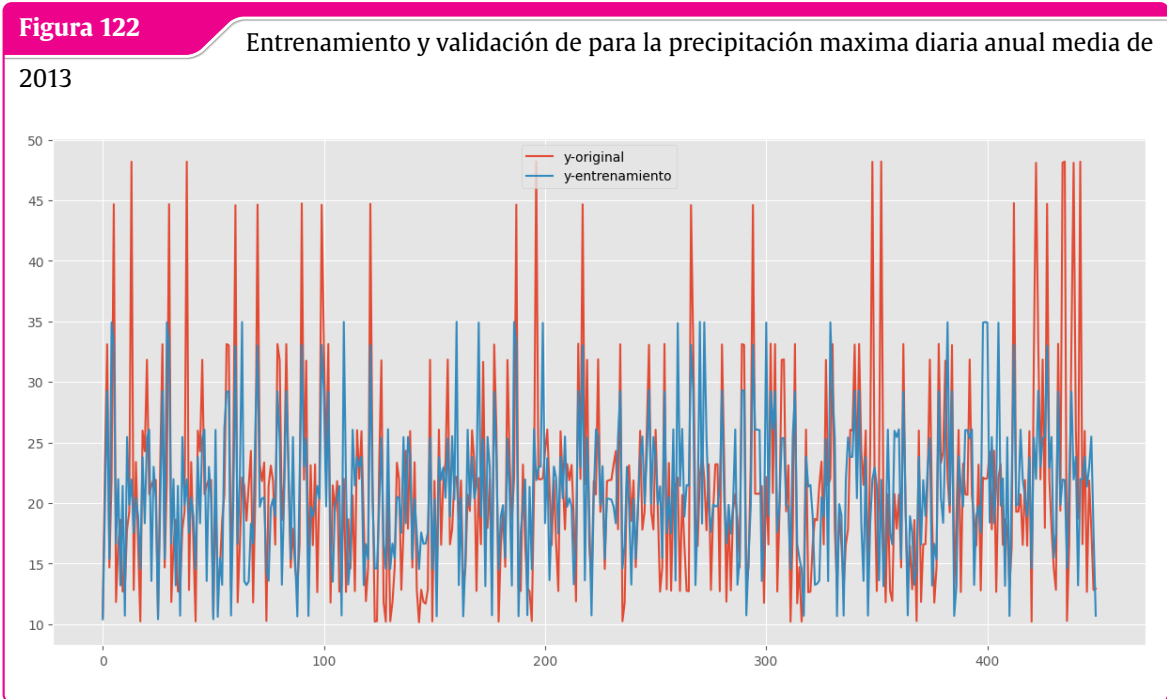
2012



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

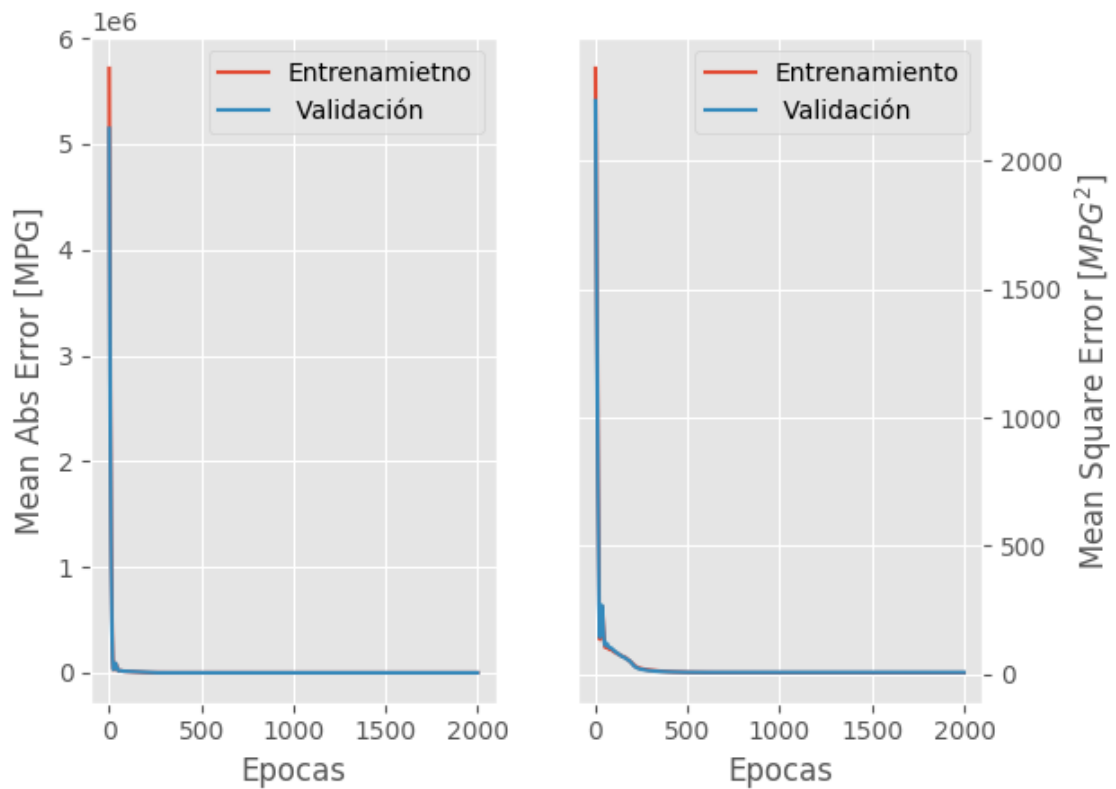


Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 123

Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de

2013

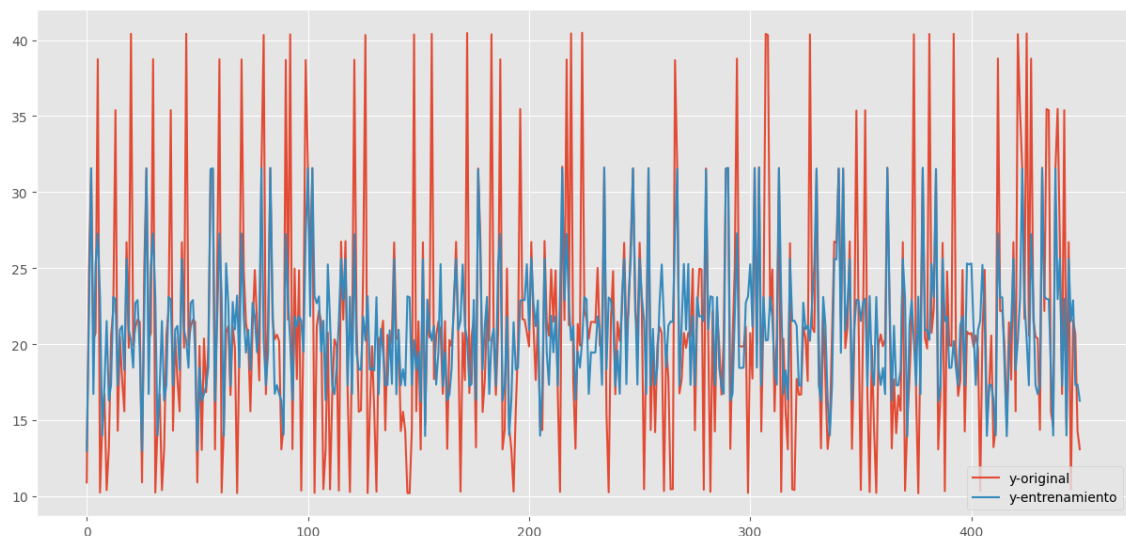


Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

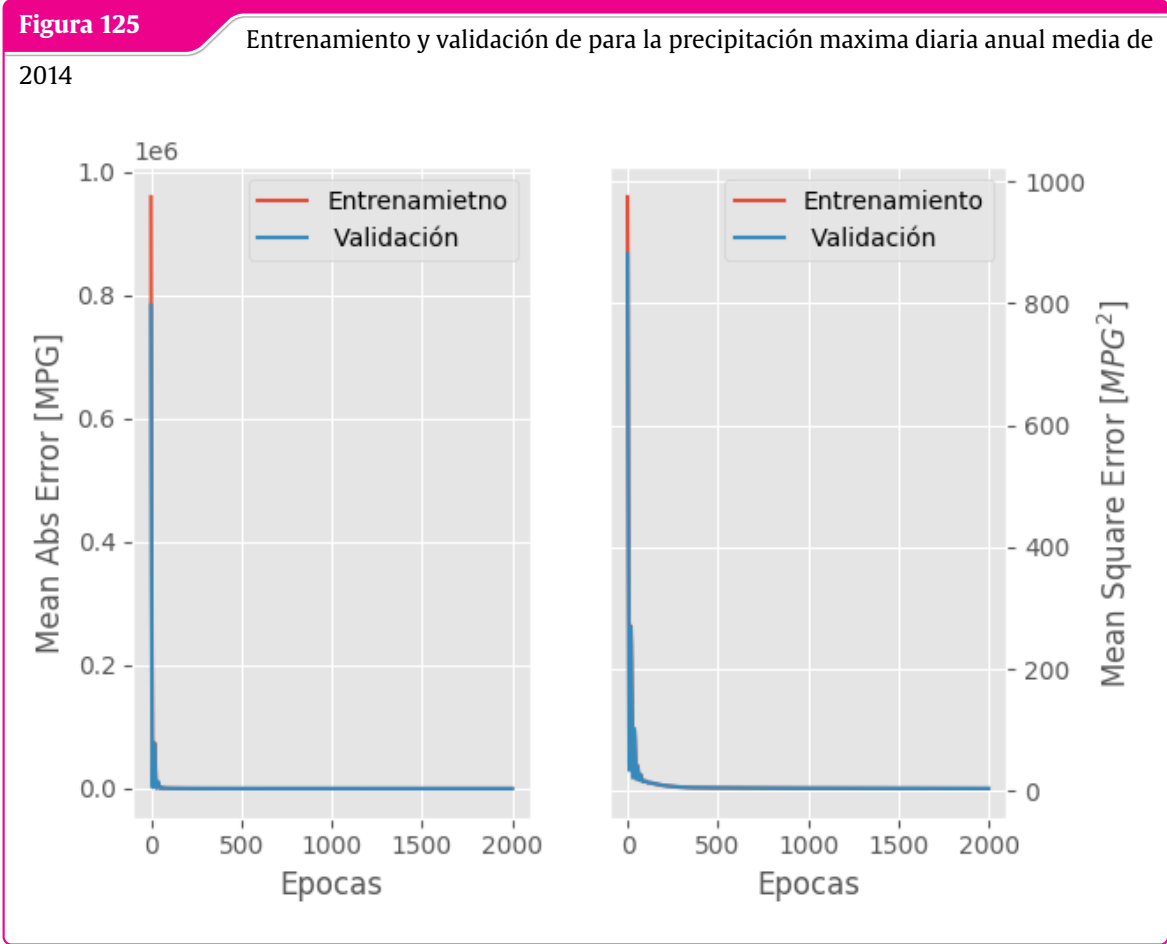
Figura 124

Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de

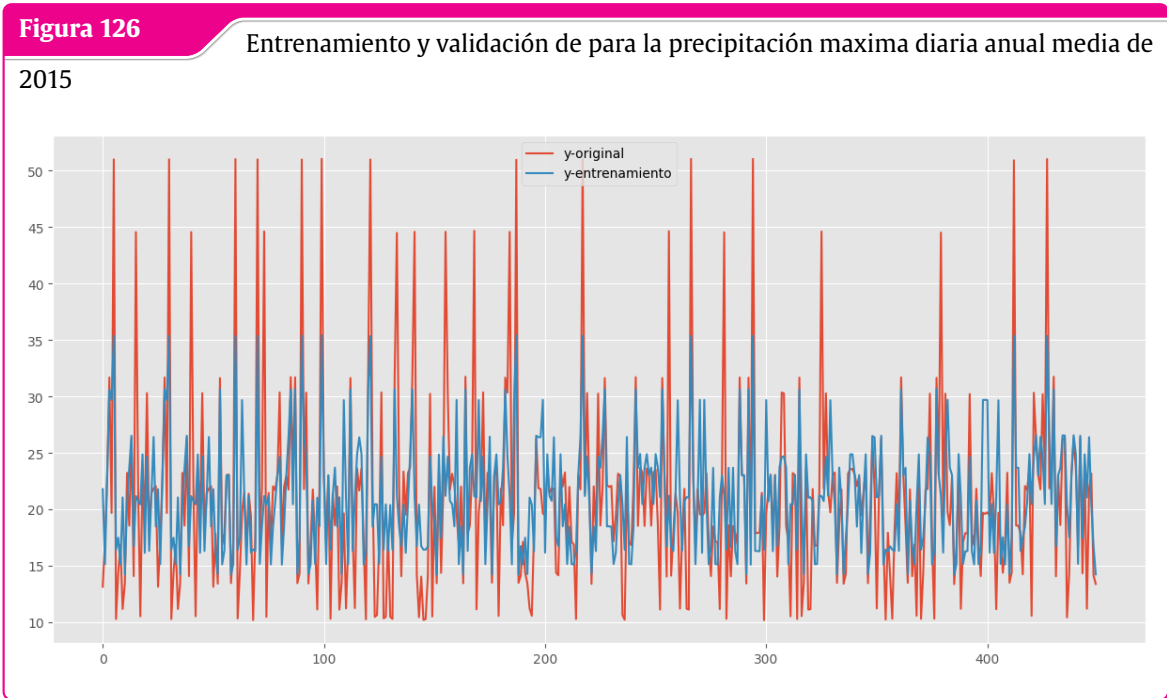
2014



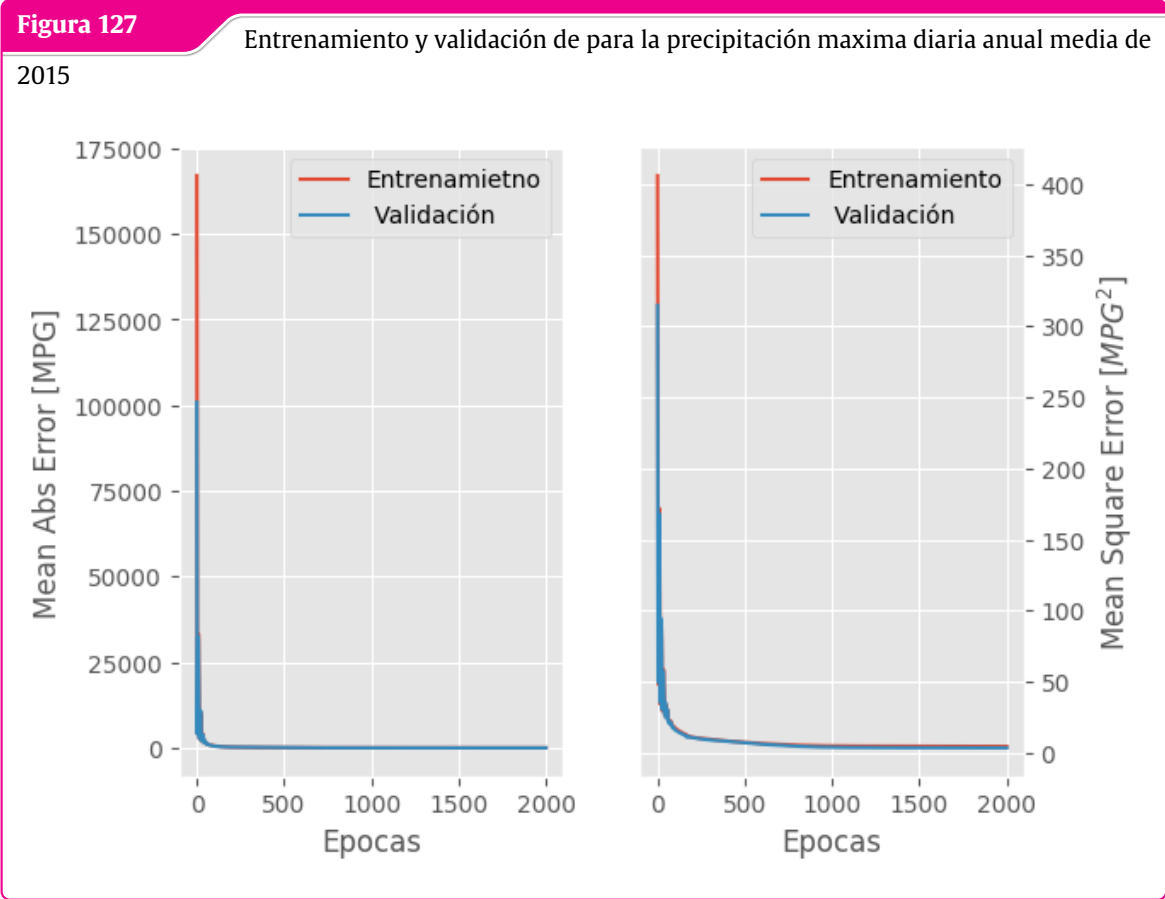
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



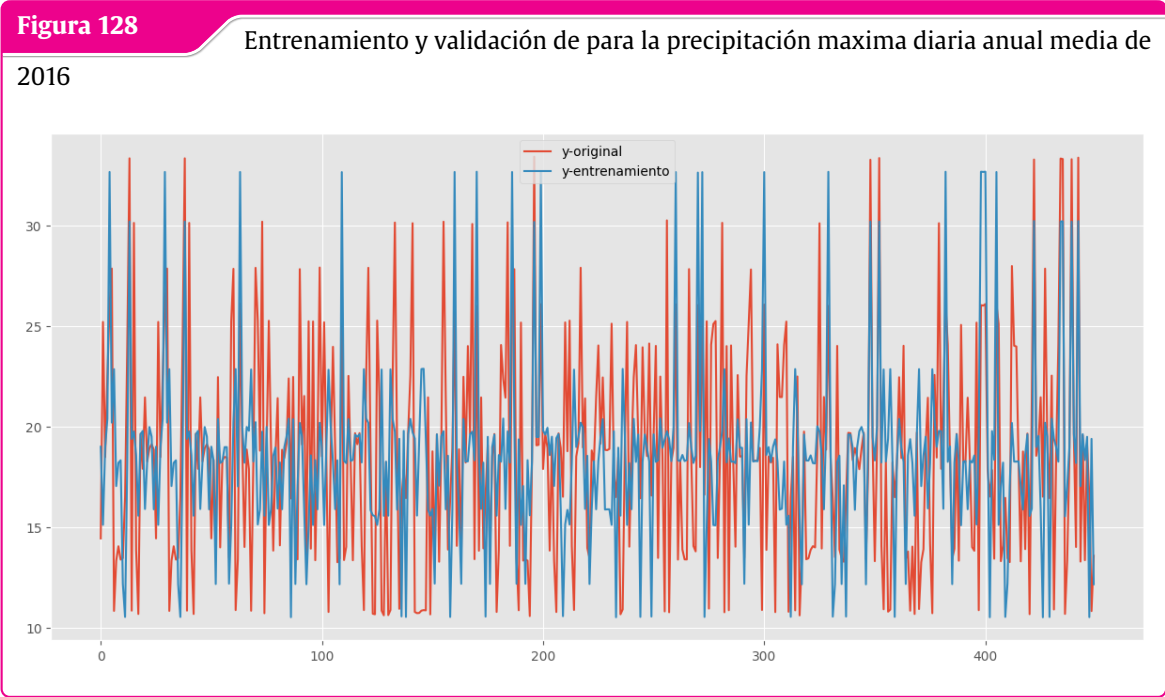
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

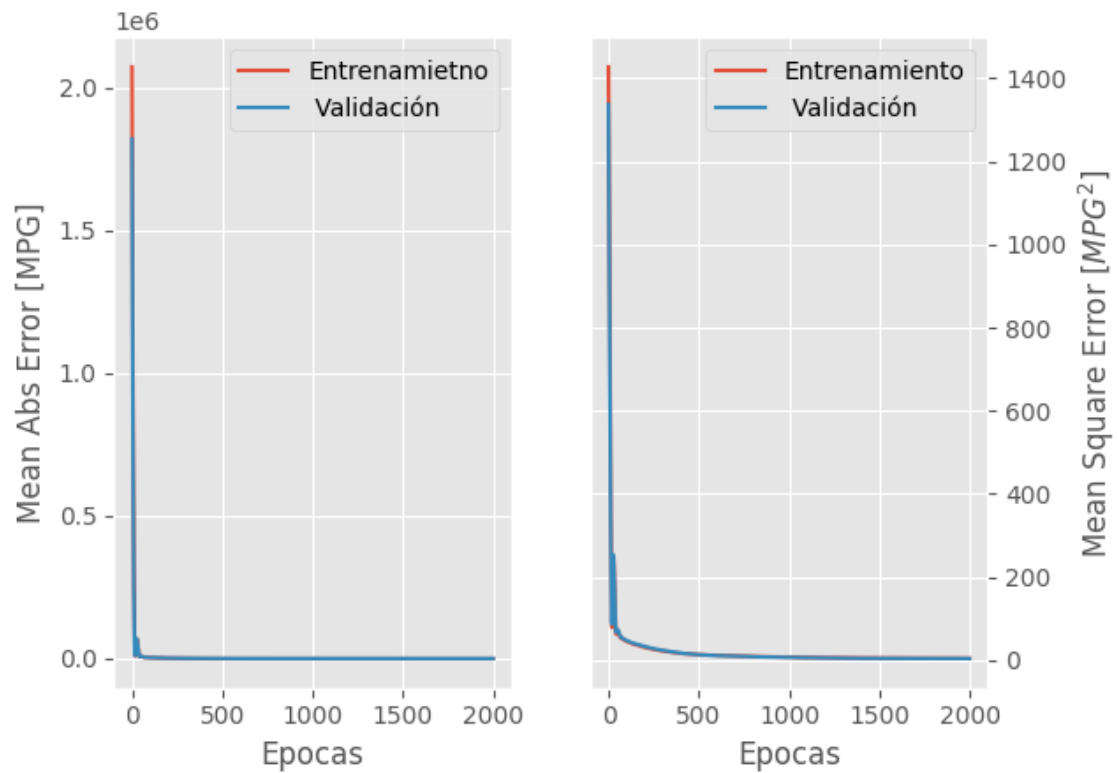


Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 129

Entrenamiento y validación de para la precipitación máxima diaria anual media de

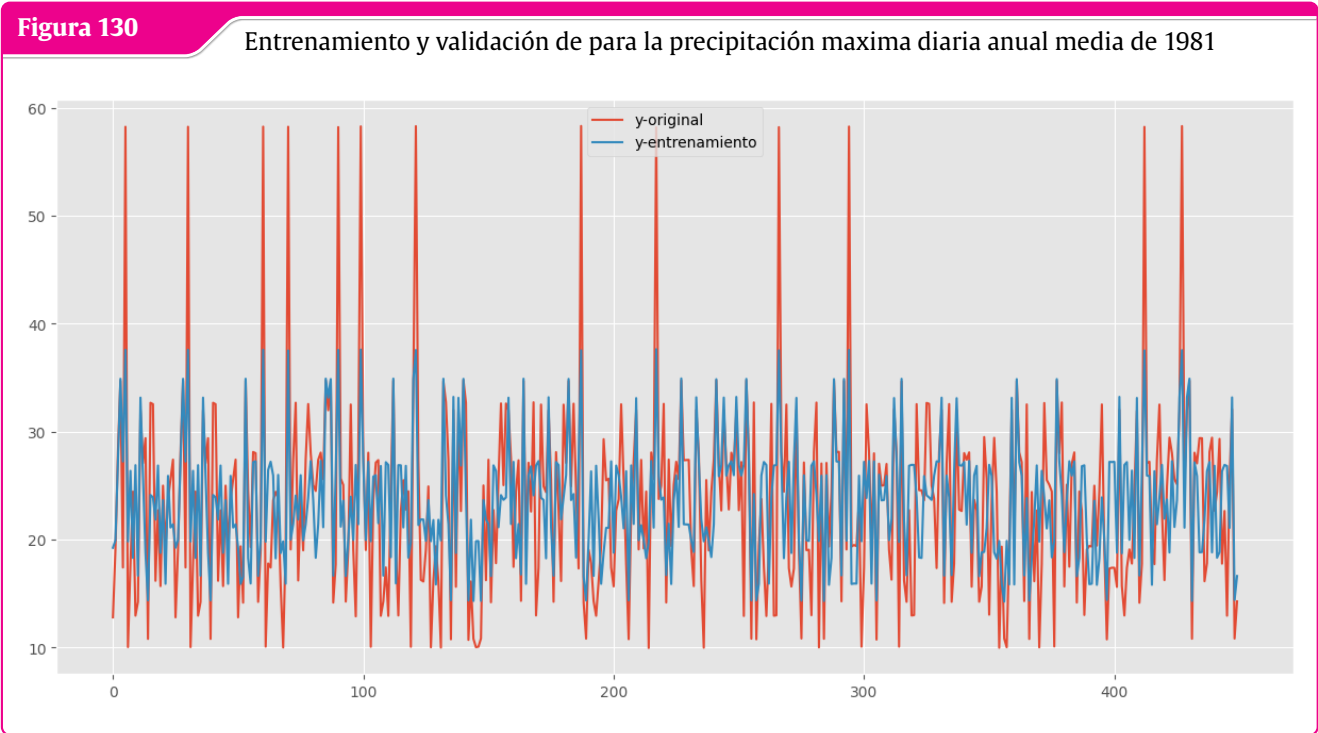
2016



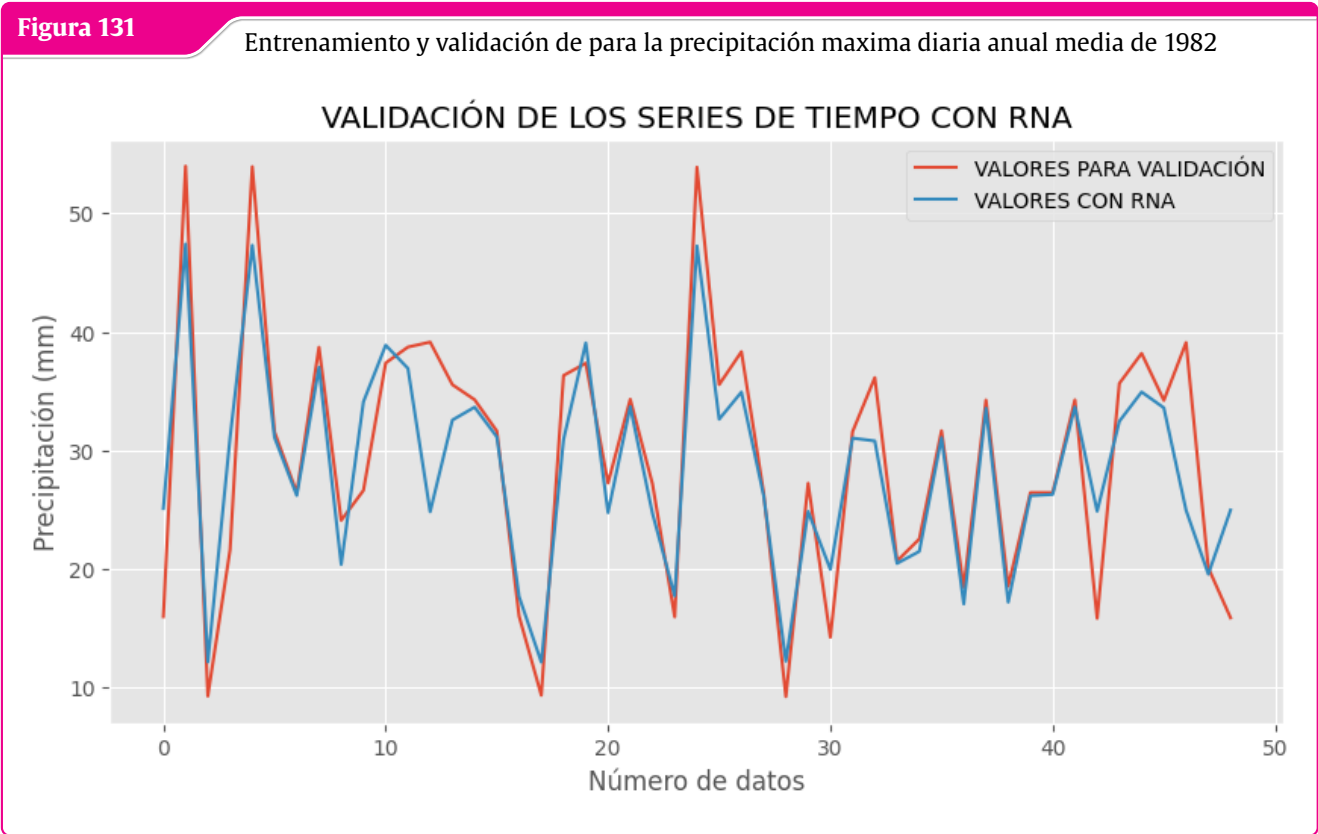
**Fuente:** Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

#### 4.1.4

#### Resultados de la validación de la Red Neuronal Artificial



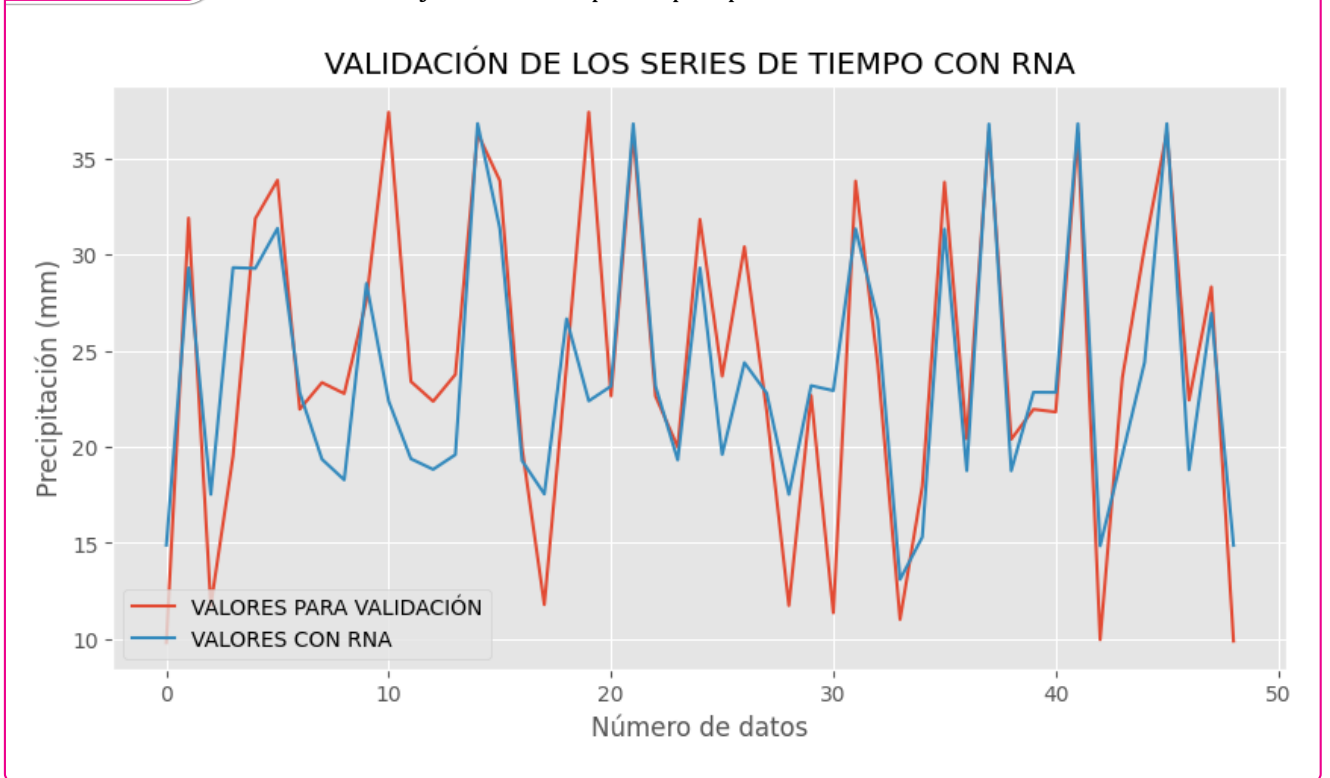
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

**Figura 132**

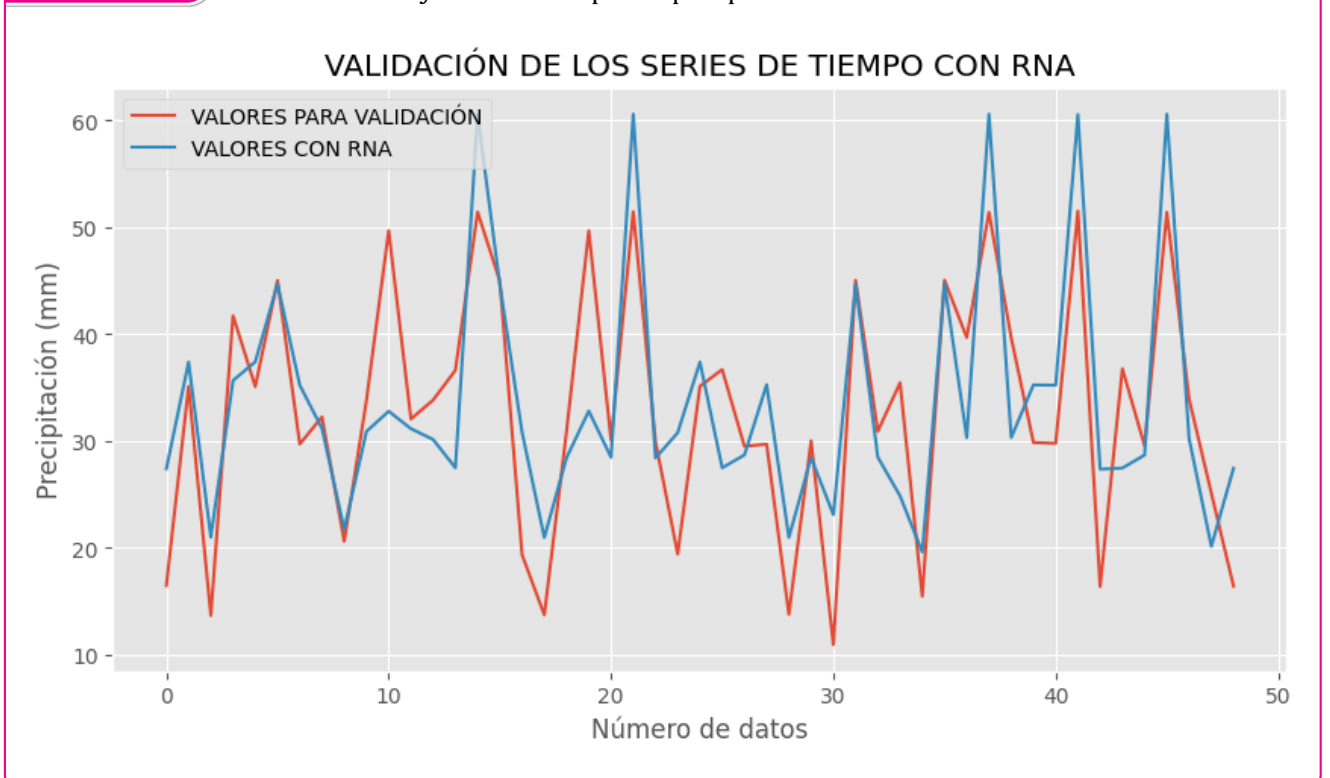
Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1983



**Fuente:** Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

**Figura 133**

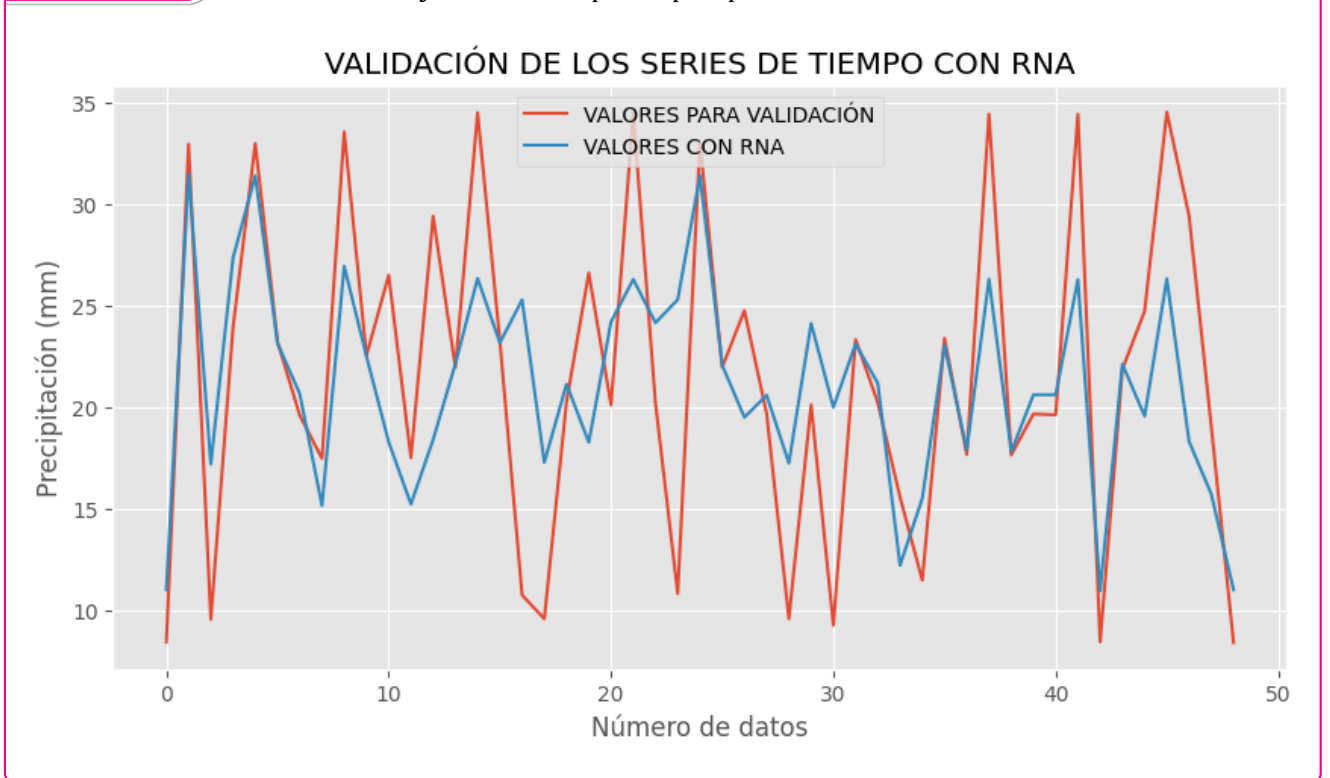
Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1984



**Fuente:** Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

**Figura 134**

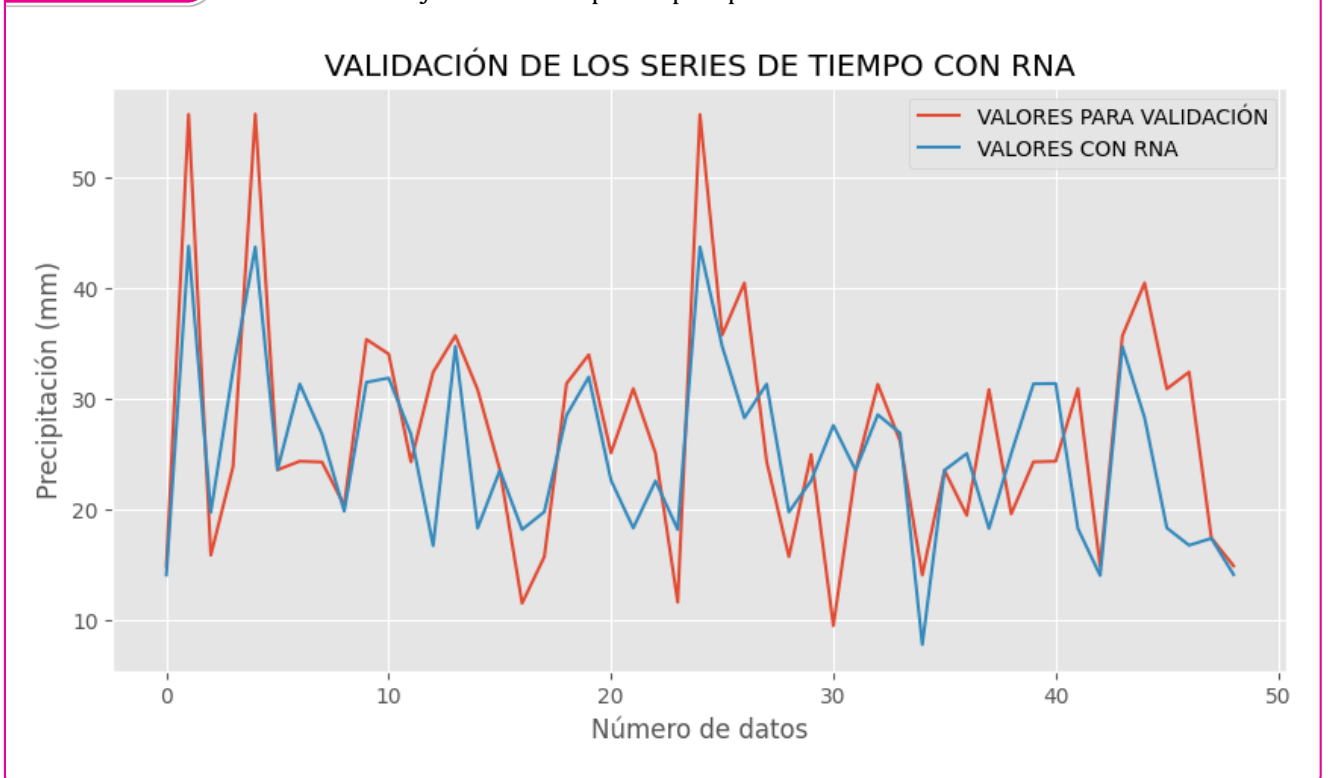
Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1985



**Fuente:** Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

**Figura 135**

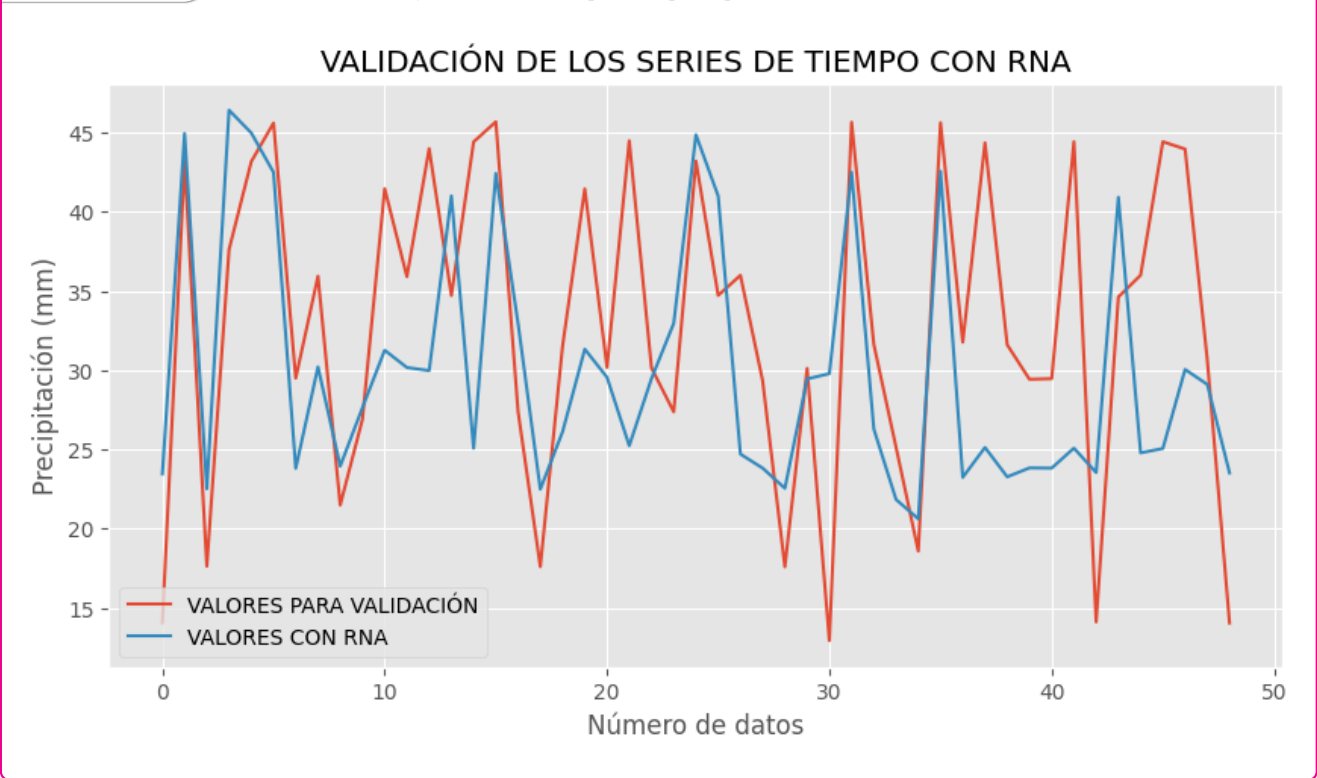
Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1986



**Fuente:** Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 136

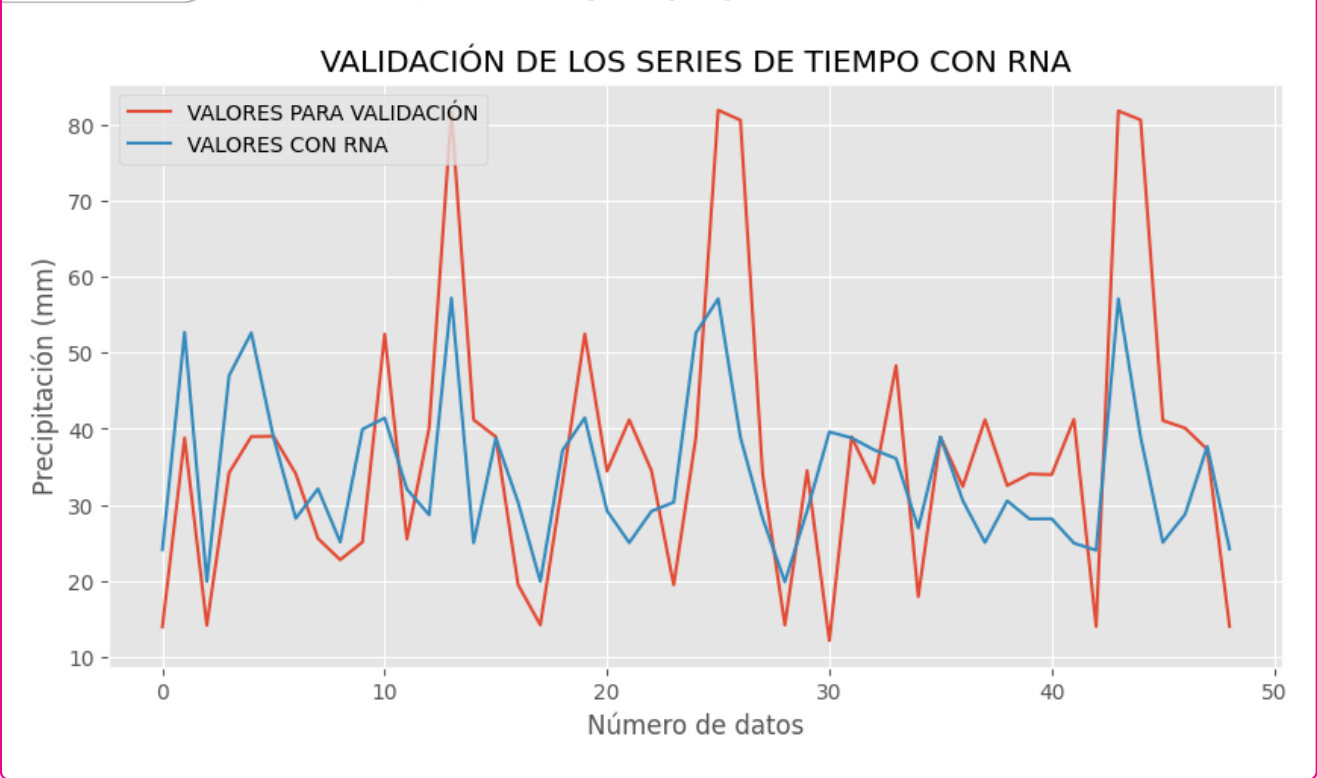
Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1987



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 137

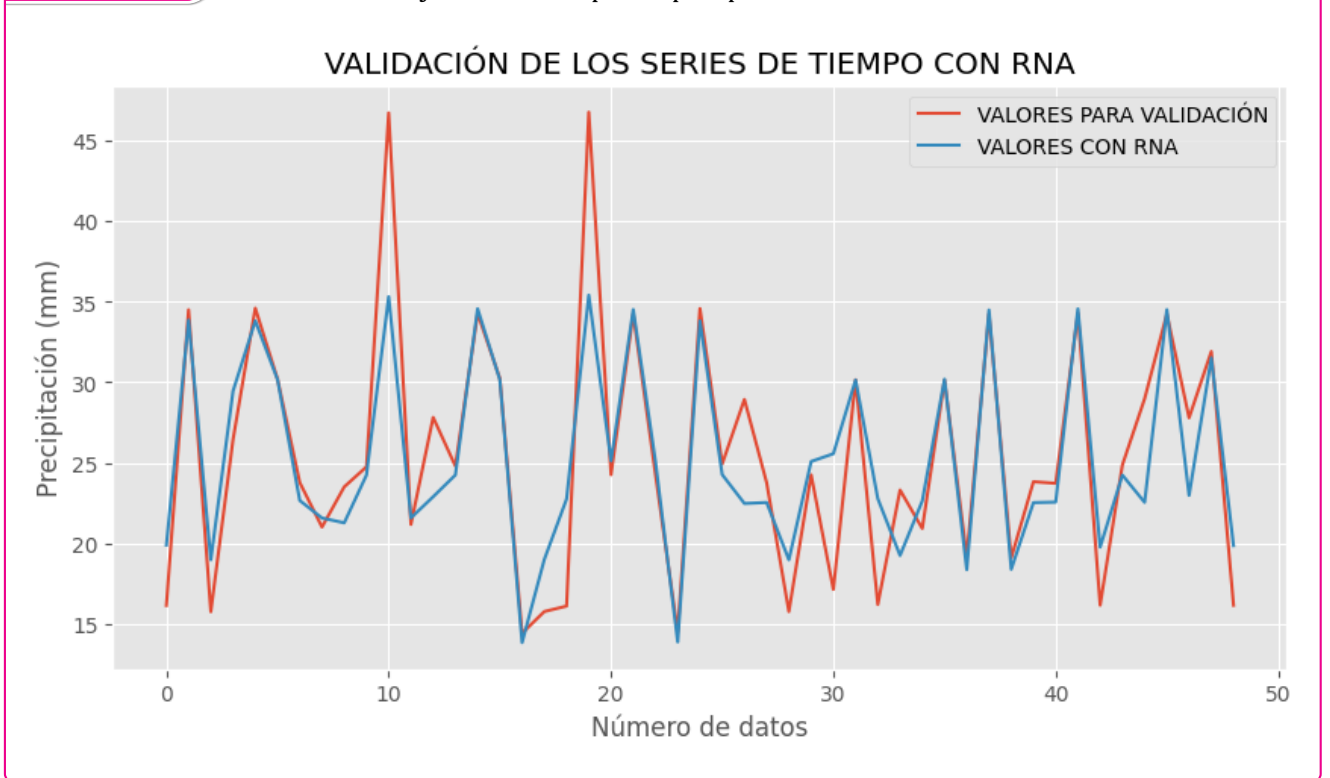
Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1988



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

**Figura 138**

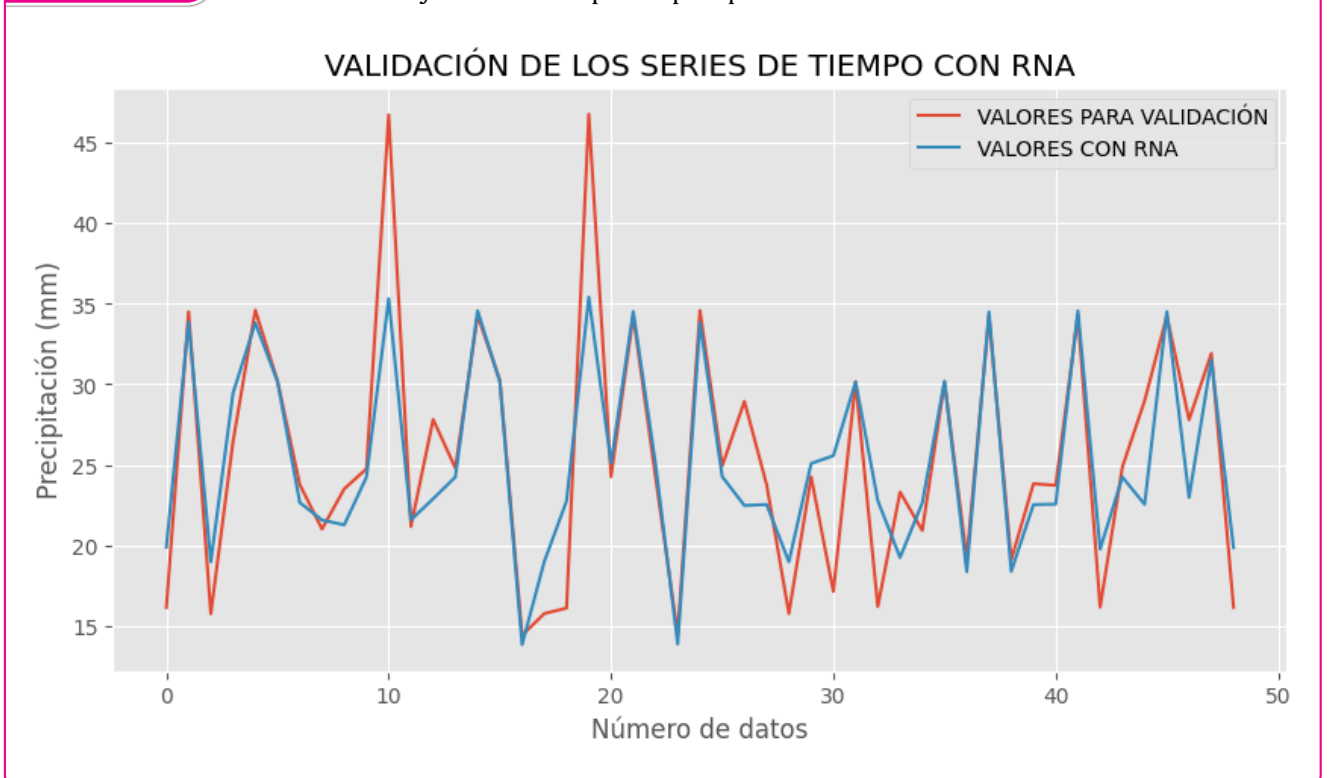
Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1989



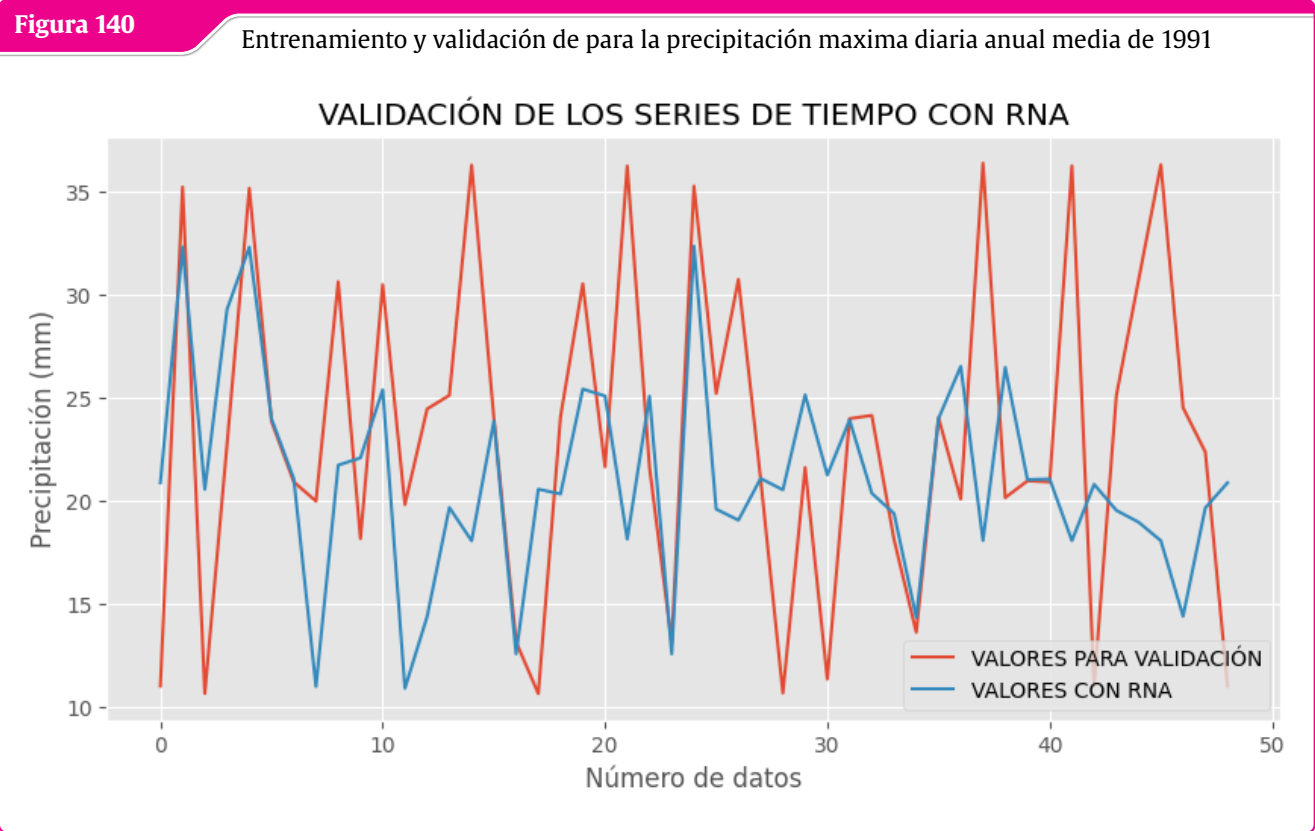
**Fuente:** Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

**Figura 139**

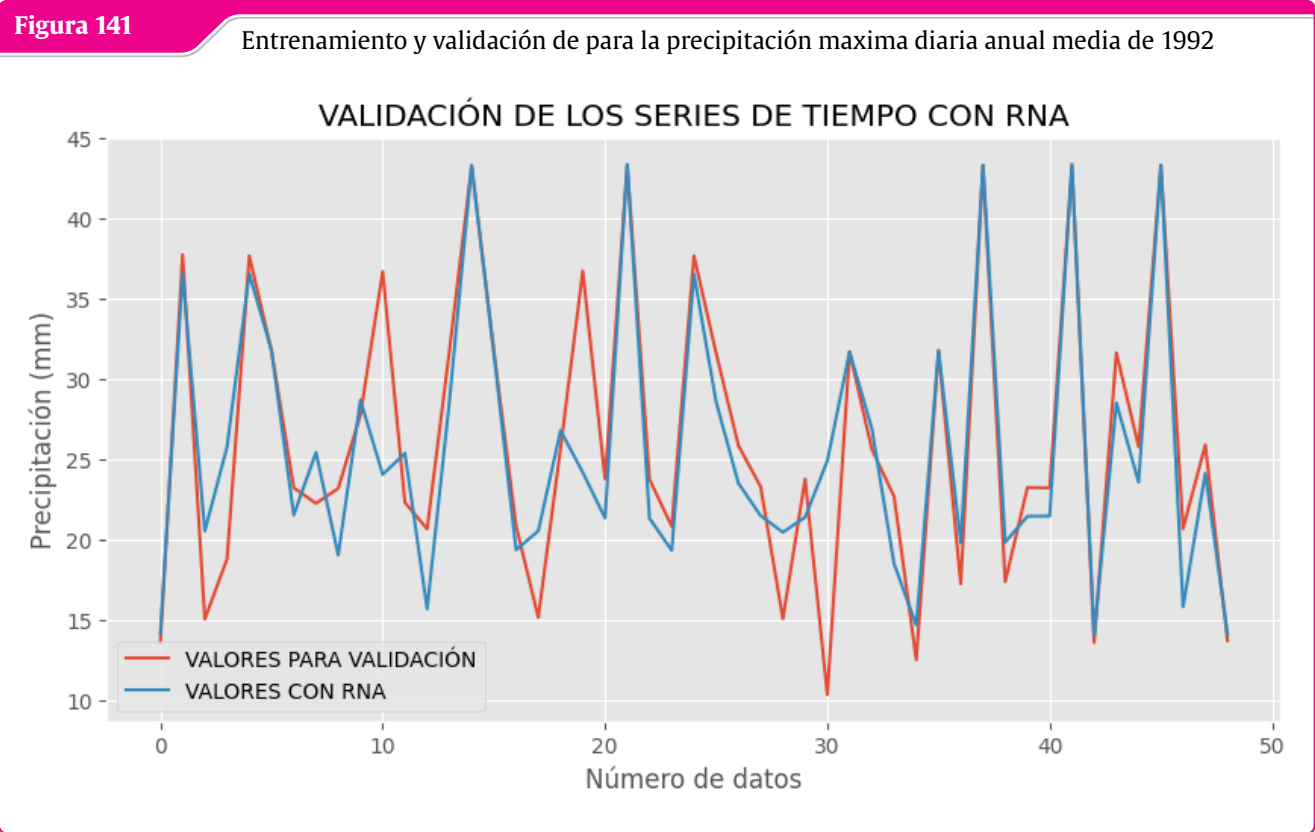
Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1990



**Fuente:** Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



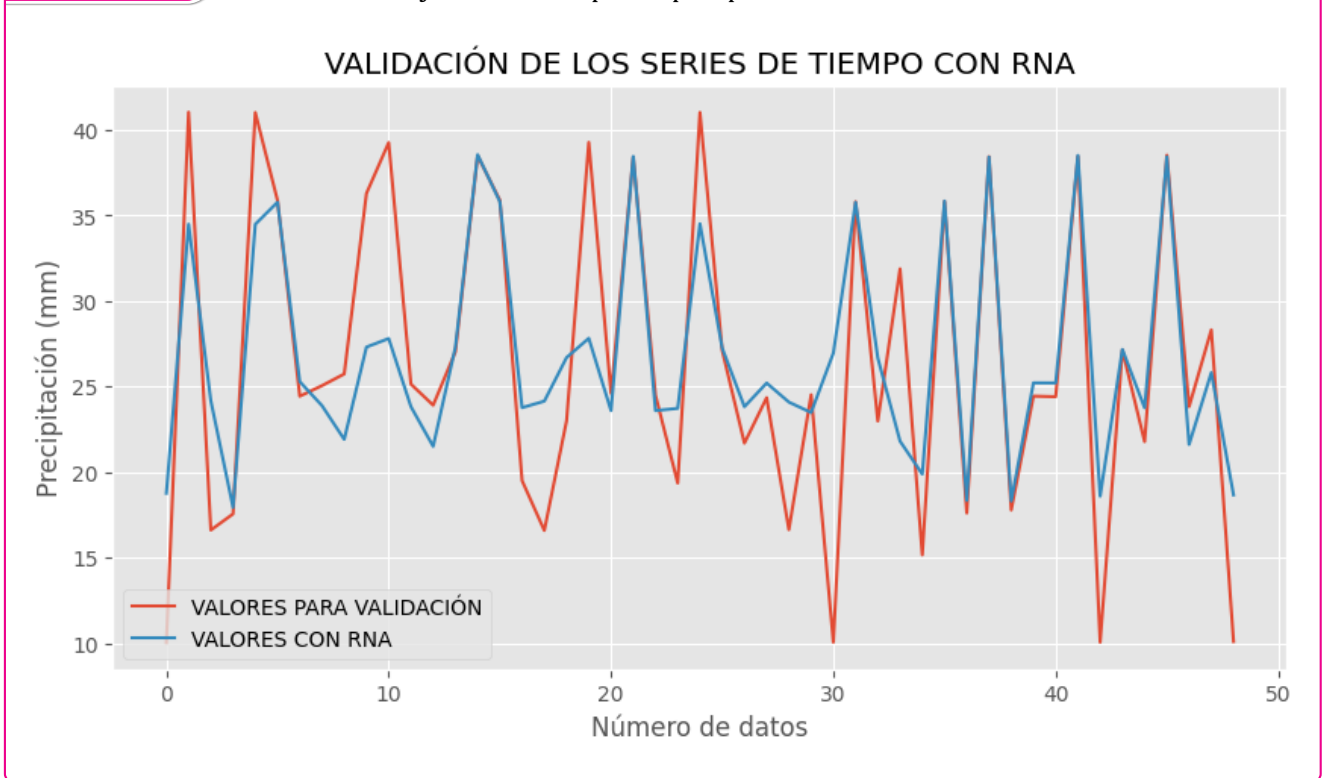
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

**Figura 142**

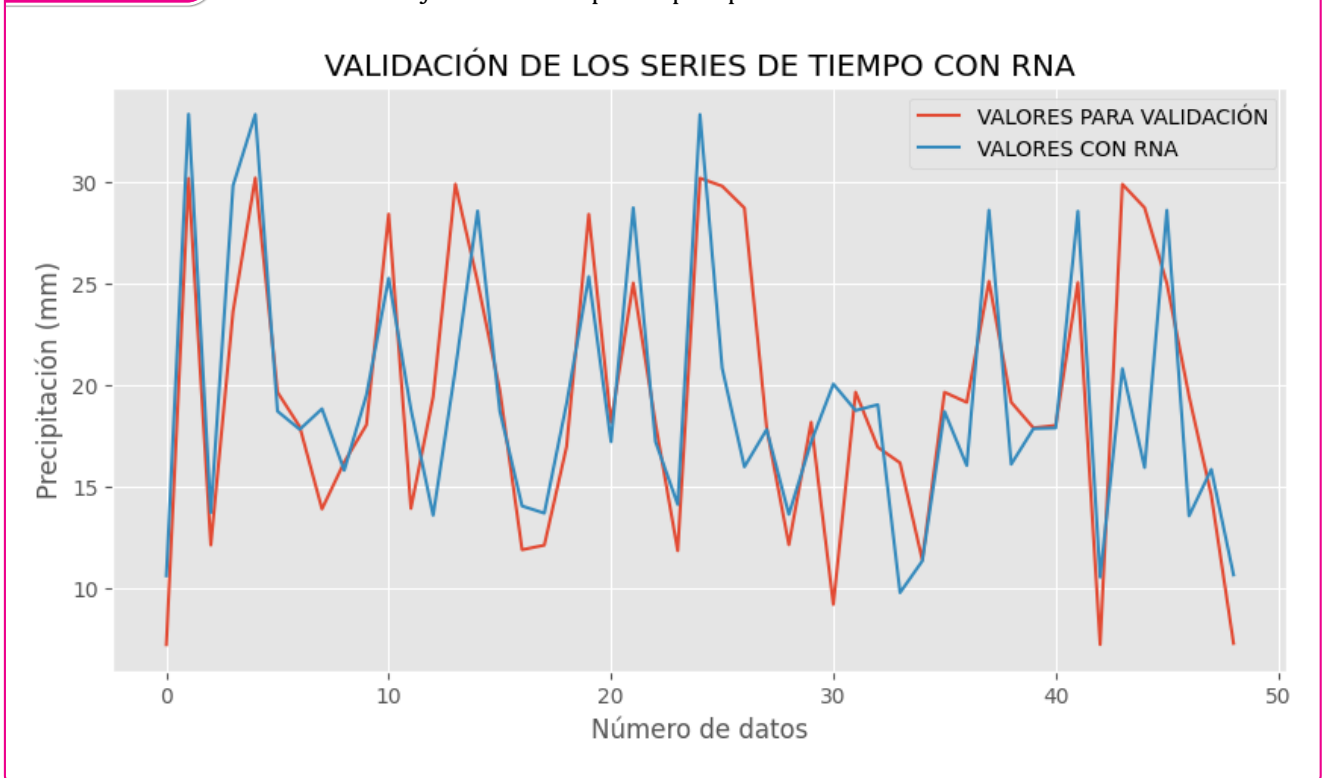
Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1993



**Fuente:** Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

**Figura 143**

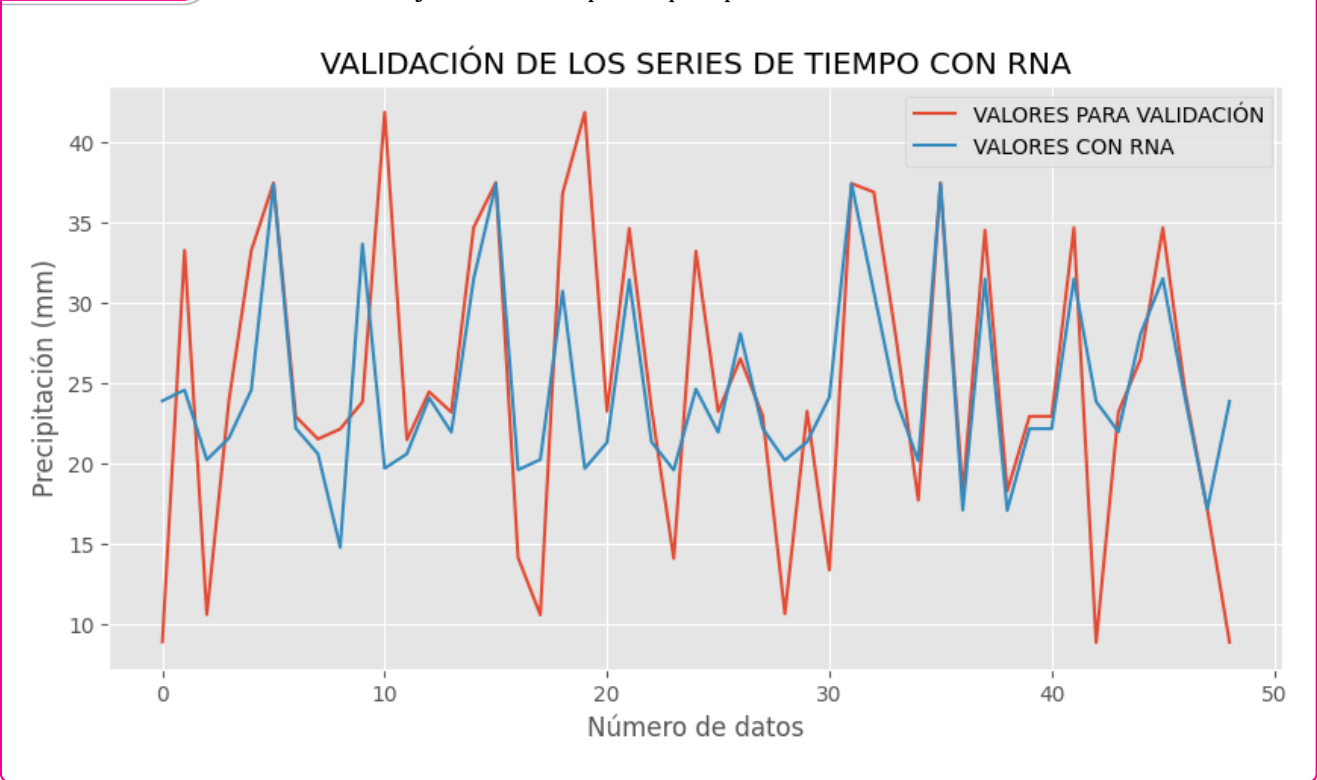
Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1994



**Fuente:** Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 144

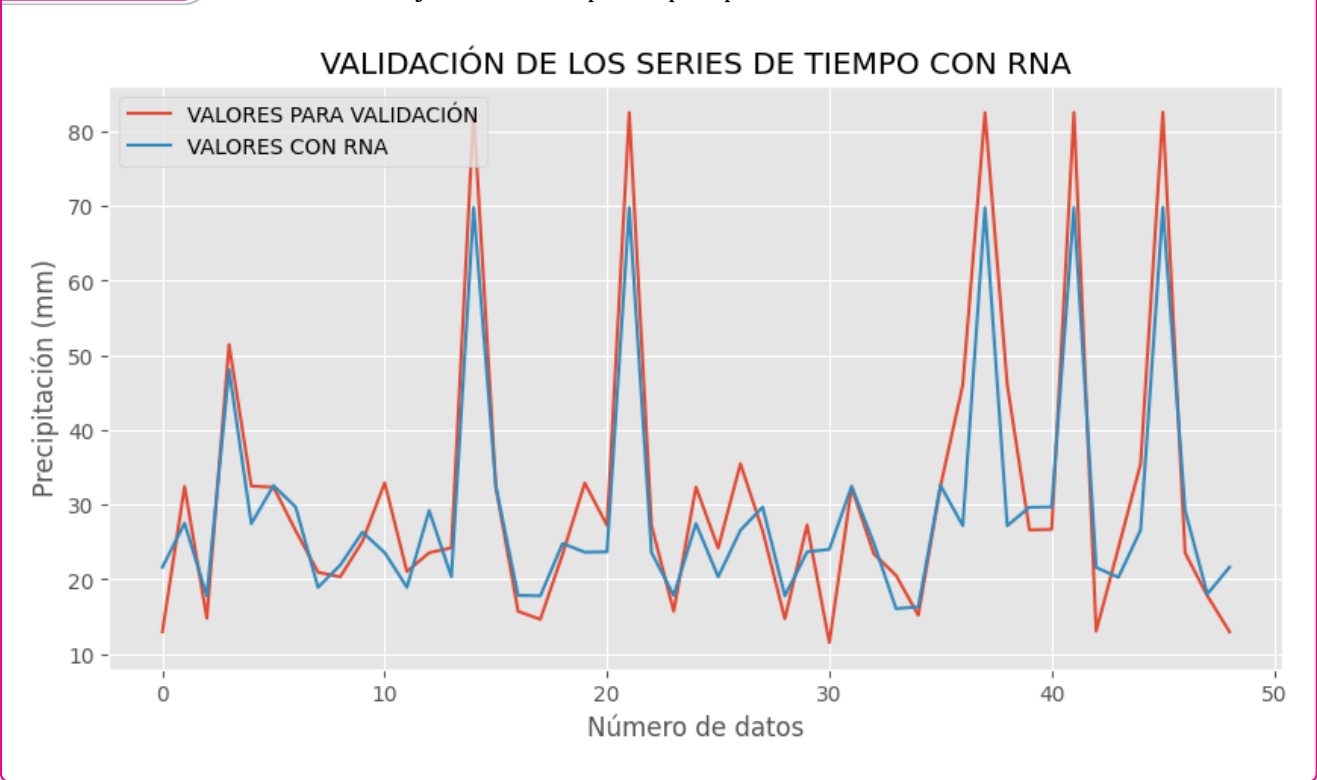
Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1995



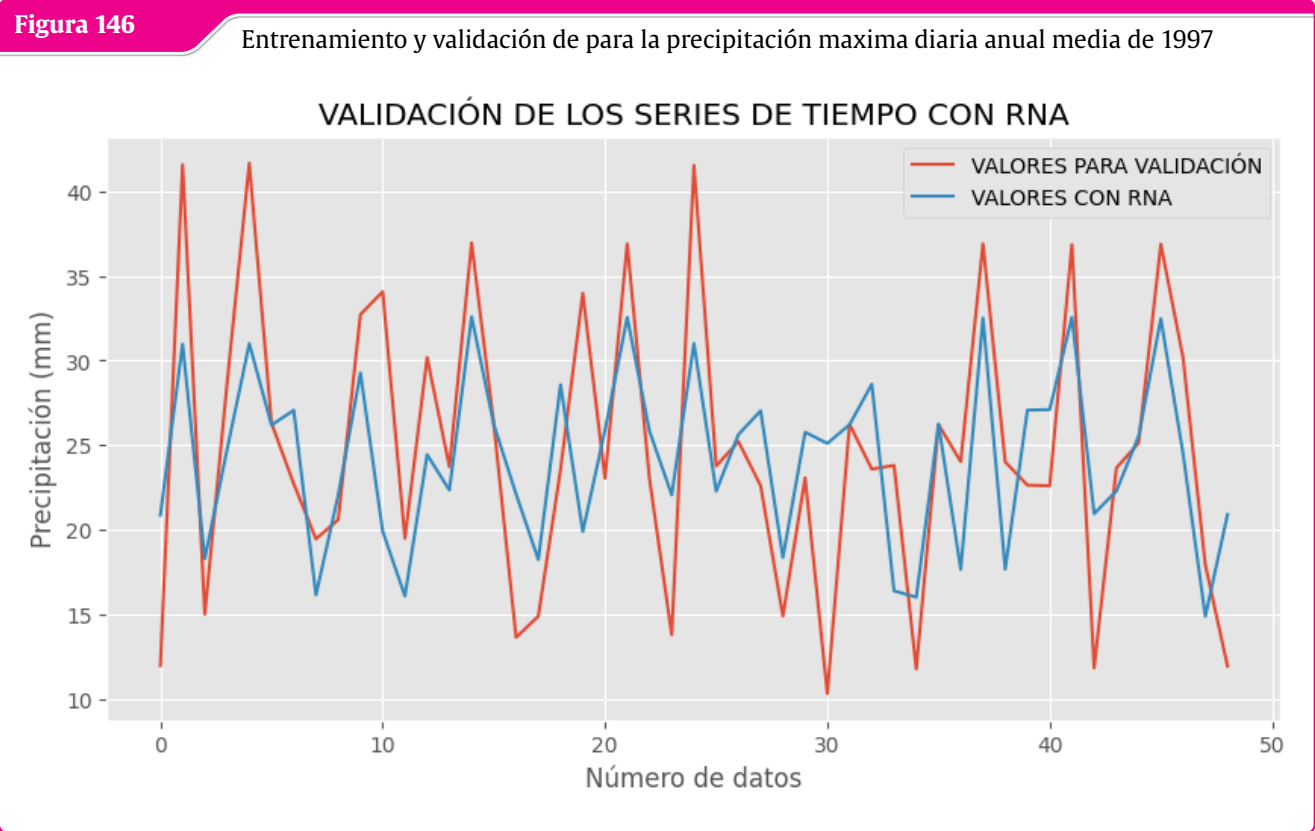
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 145

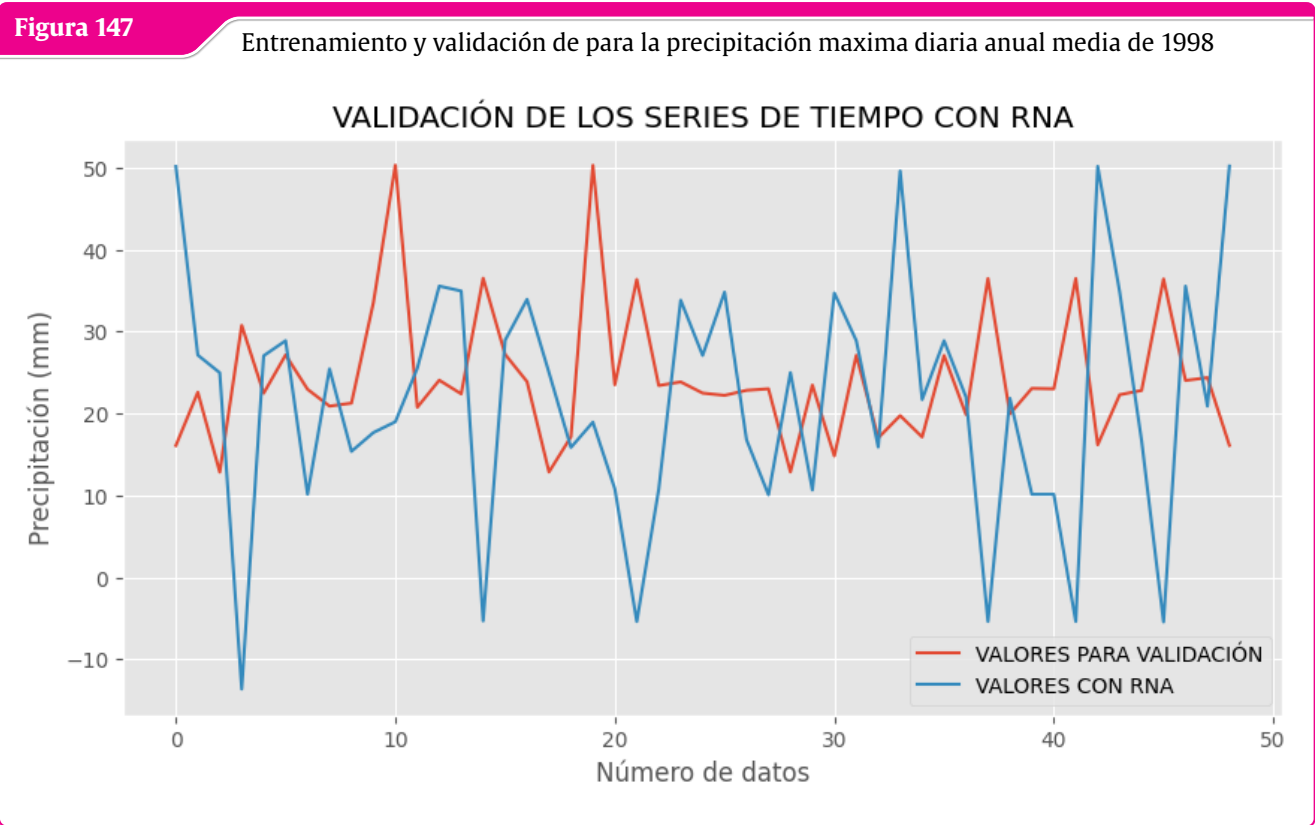
Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1996



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



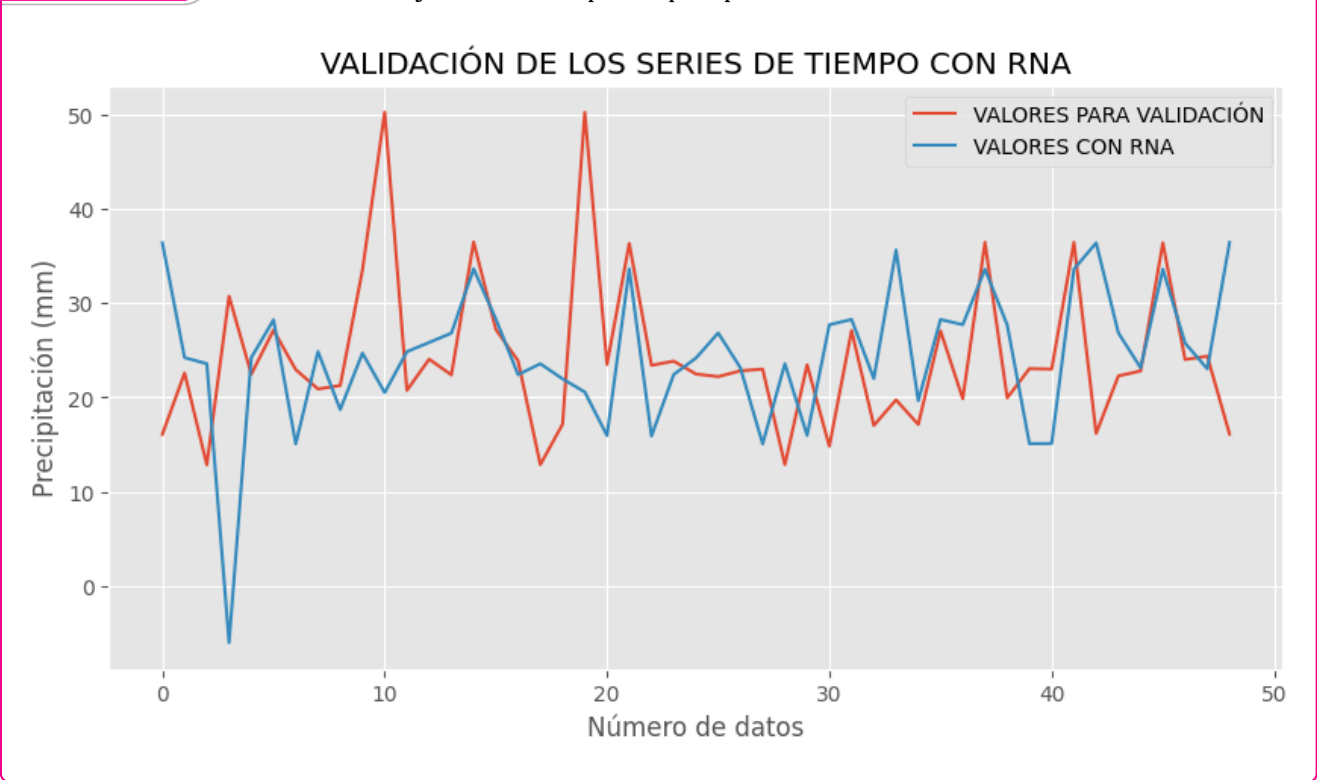
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 148

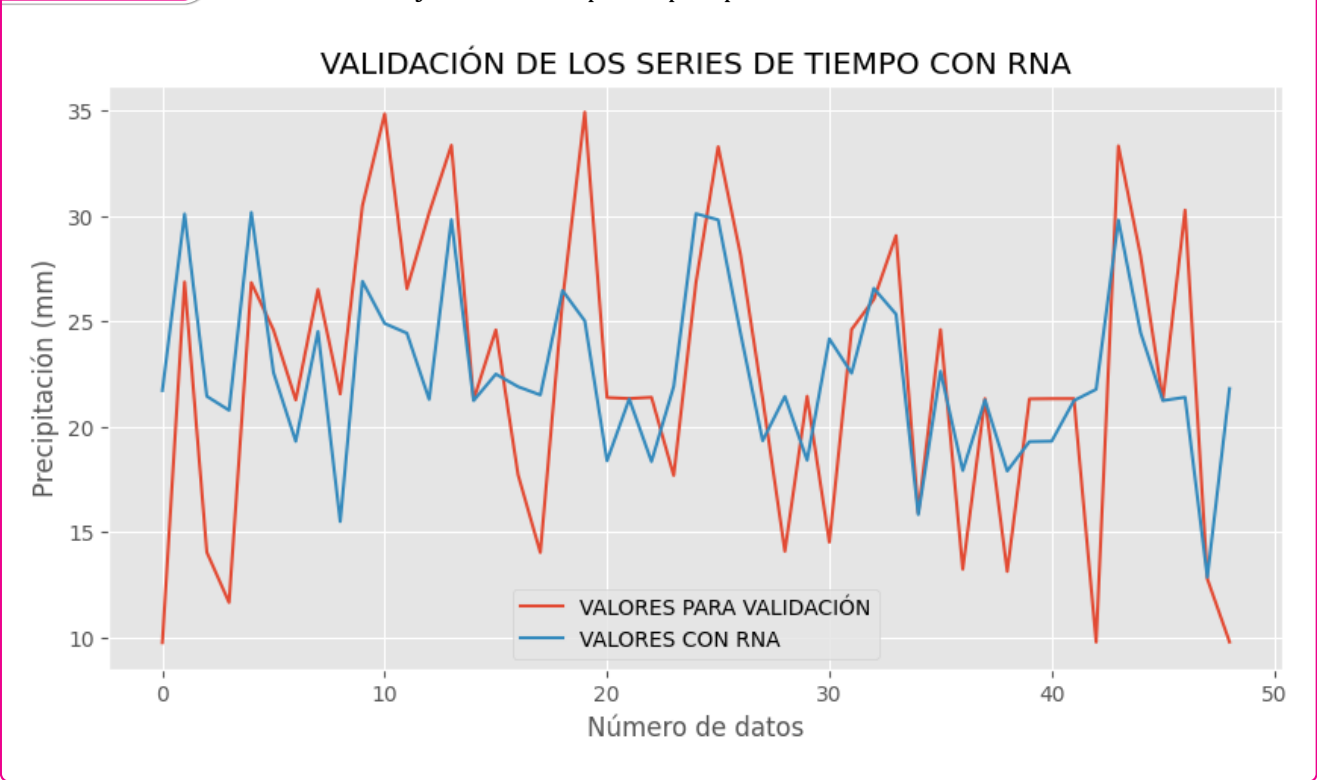
Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 1999



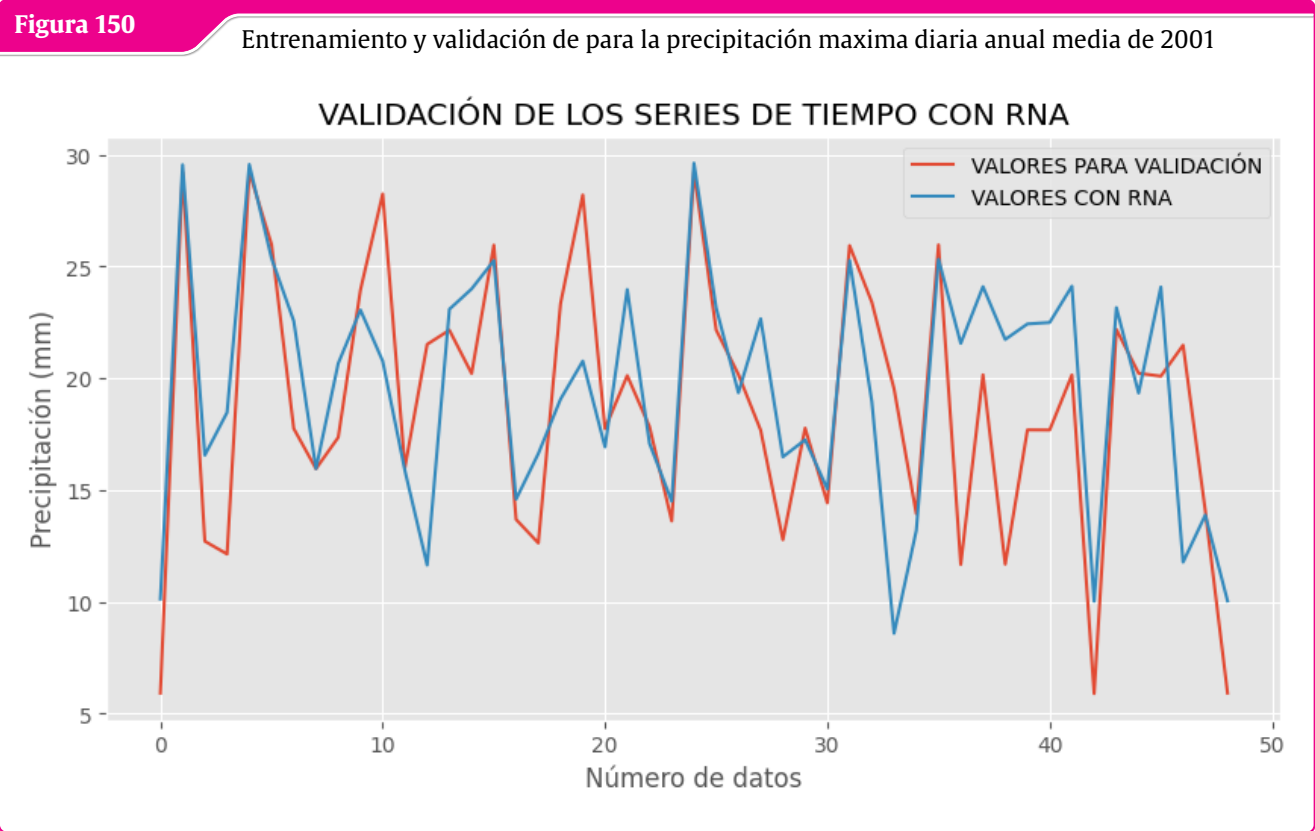
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 149

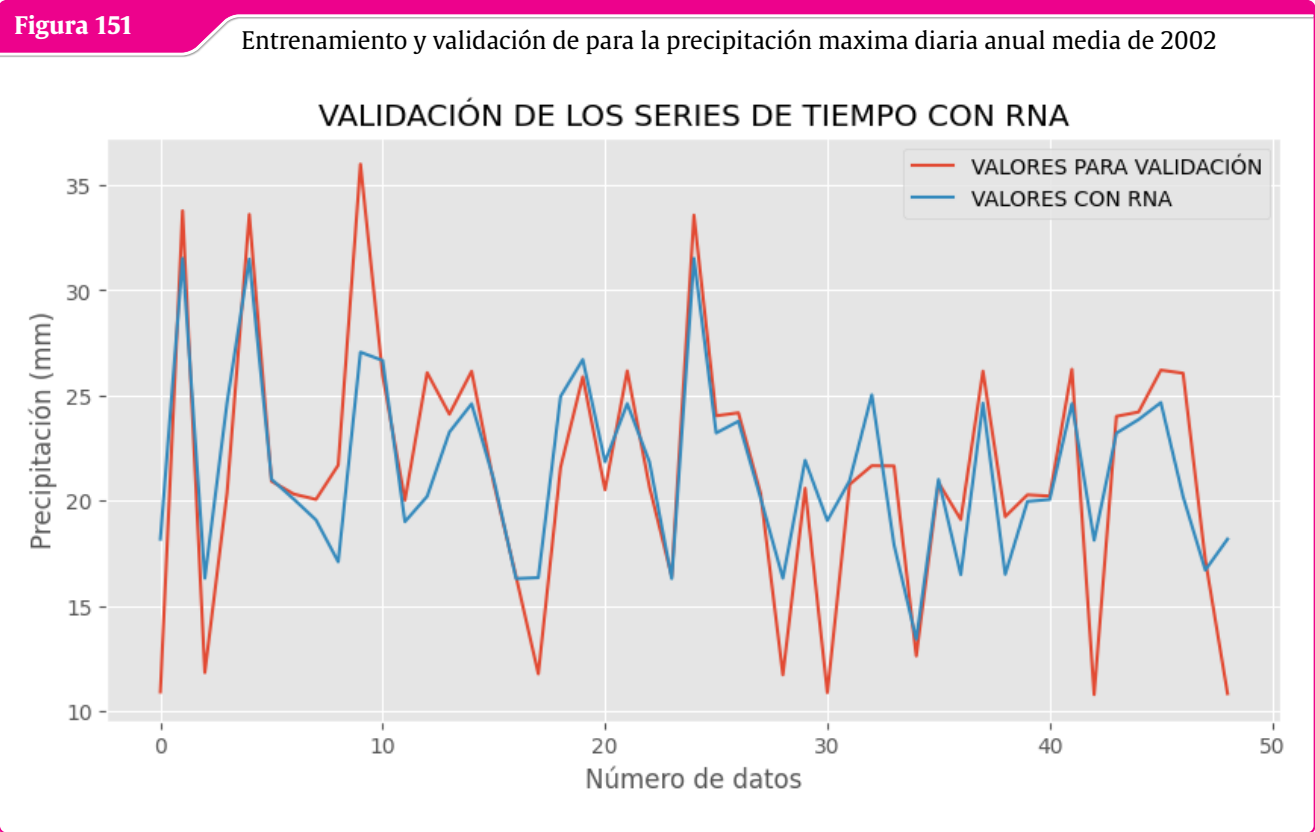
Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2000



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



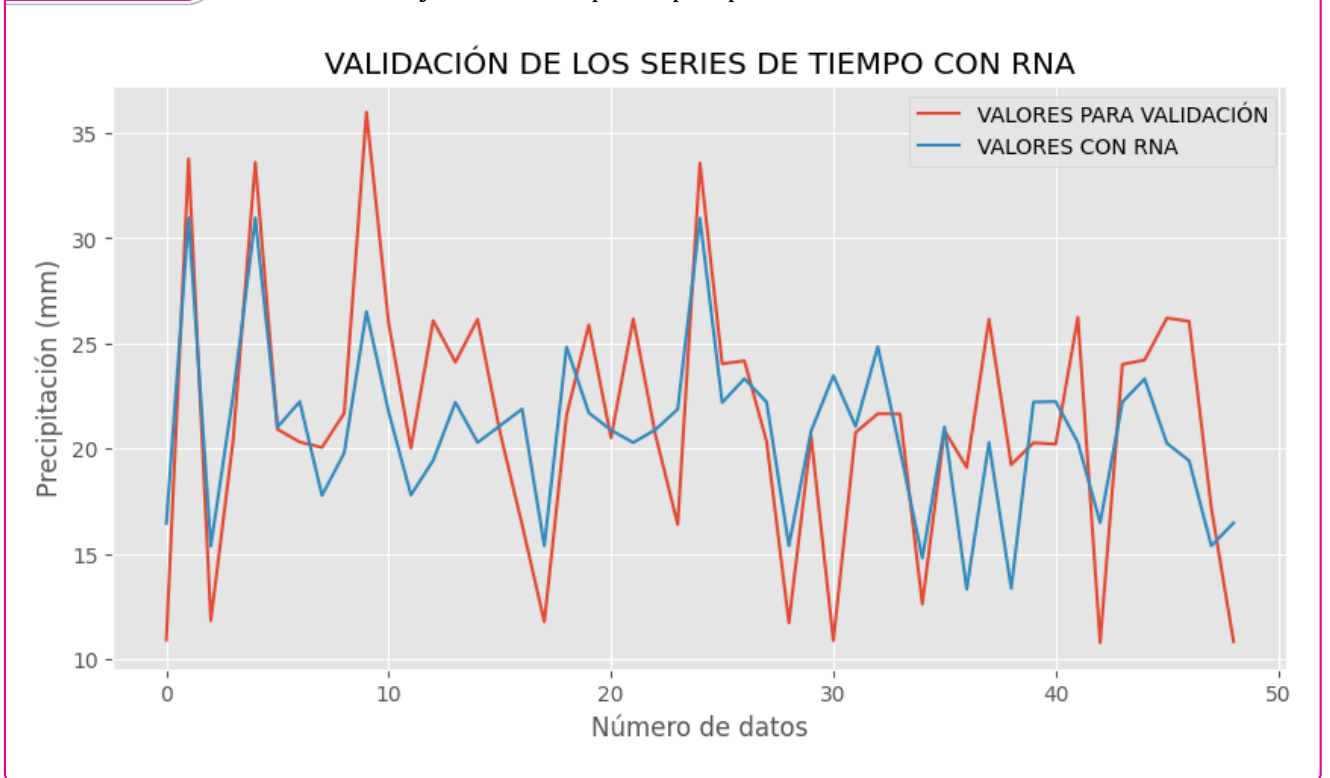
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

**Figura 152**

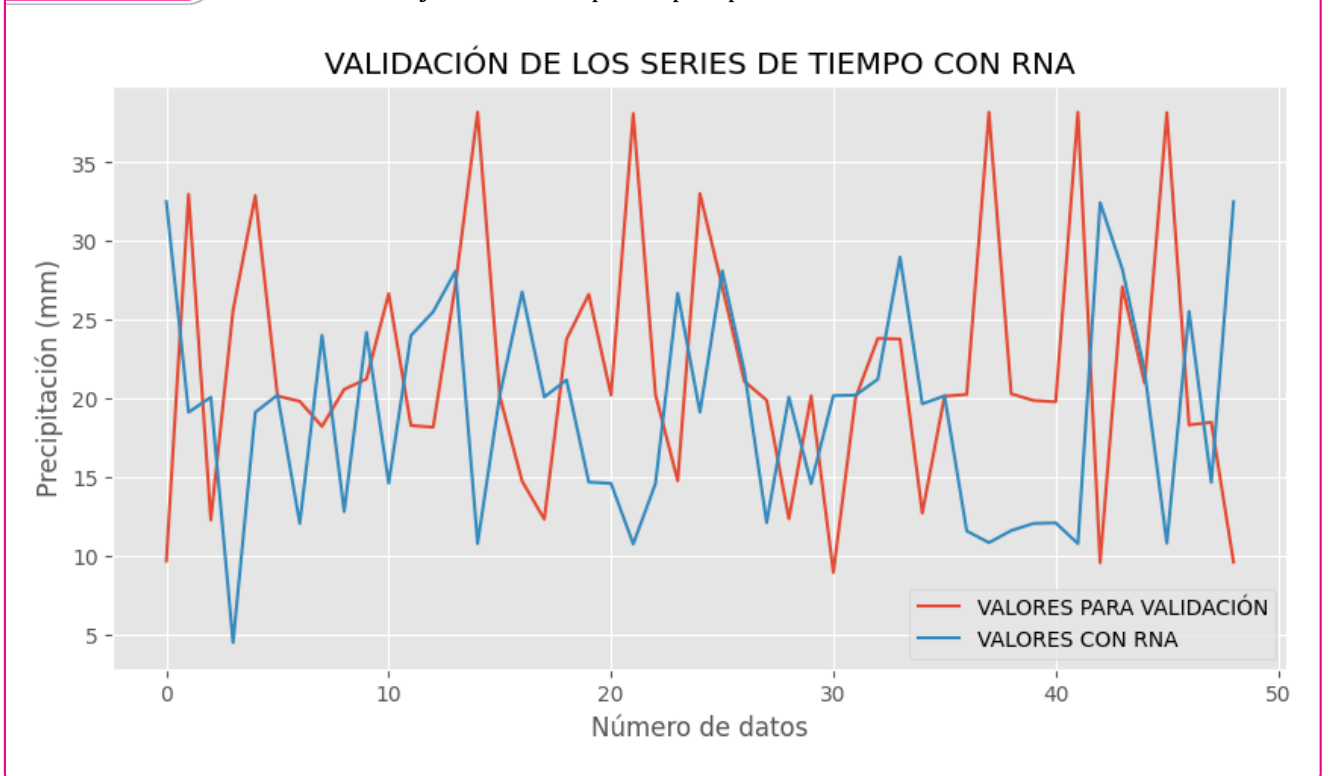
Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2003



**Fuente:** Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

**Figura 153**

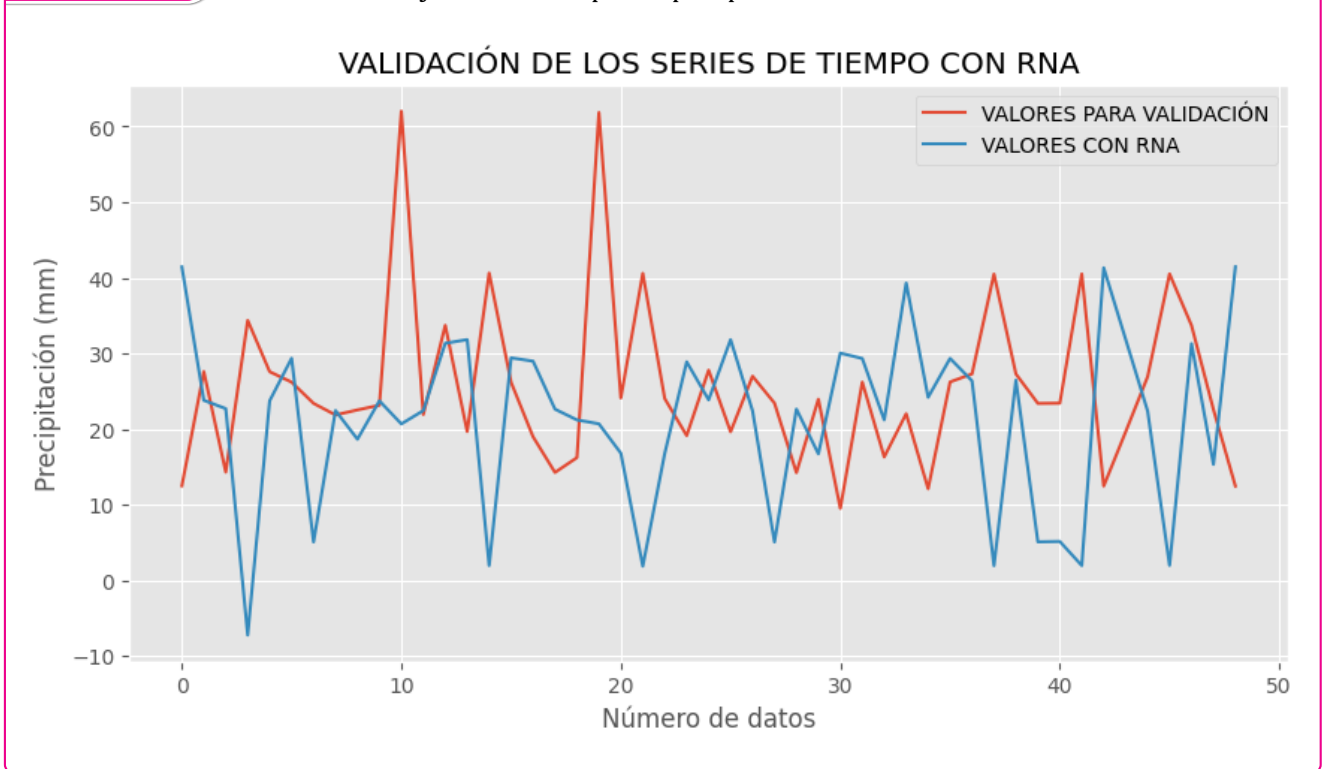
Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2004



**Fuente:** Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

**Figura 154**

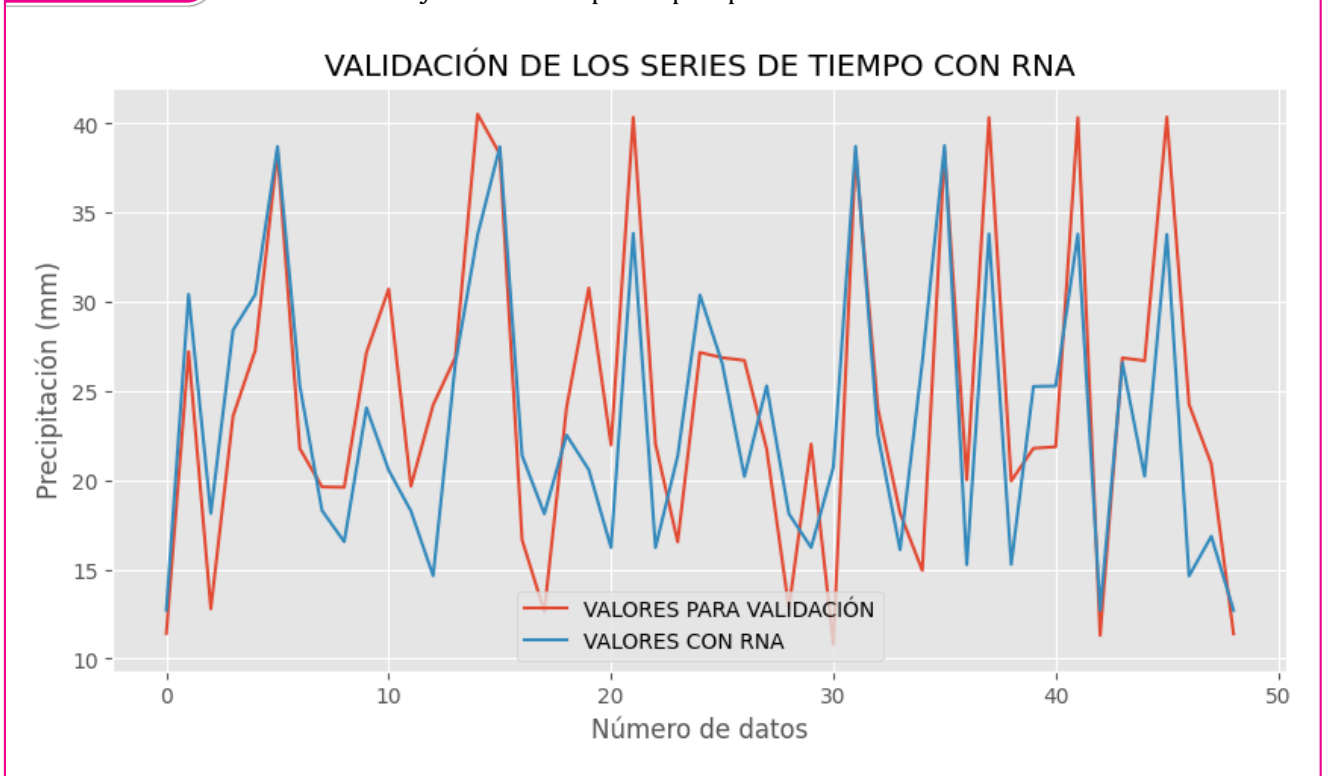
Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2005



**Fuente:** Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

**Figura 155**

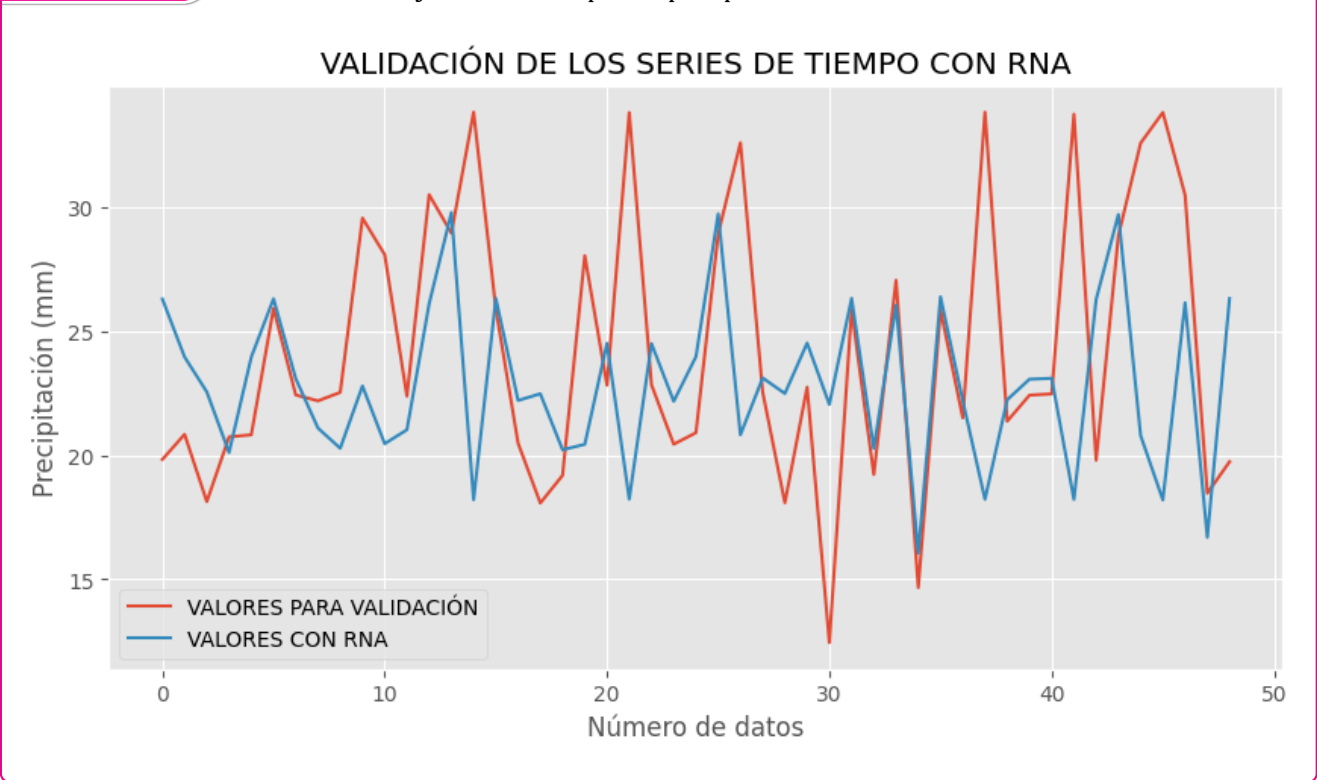
Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2006



**Fuente:** Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 156

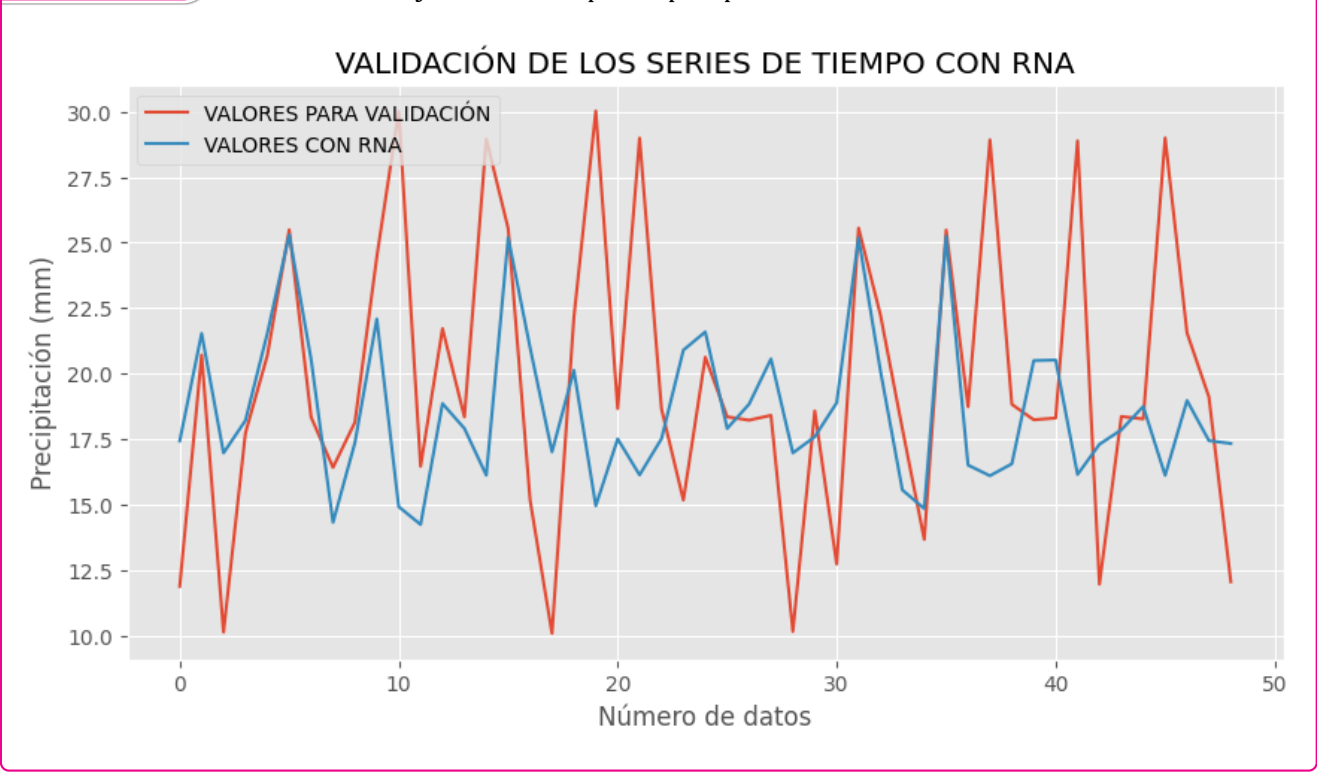
Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2007



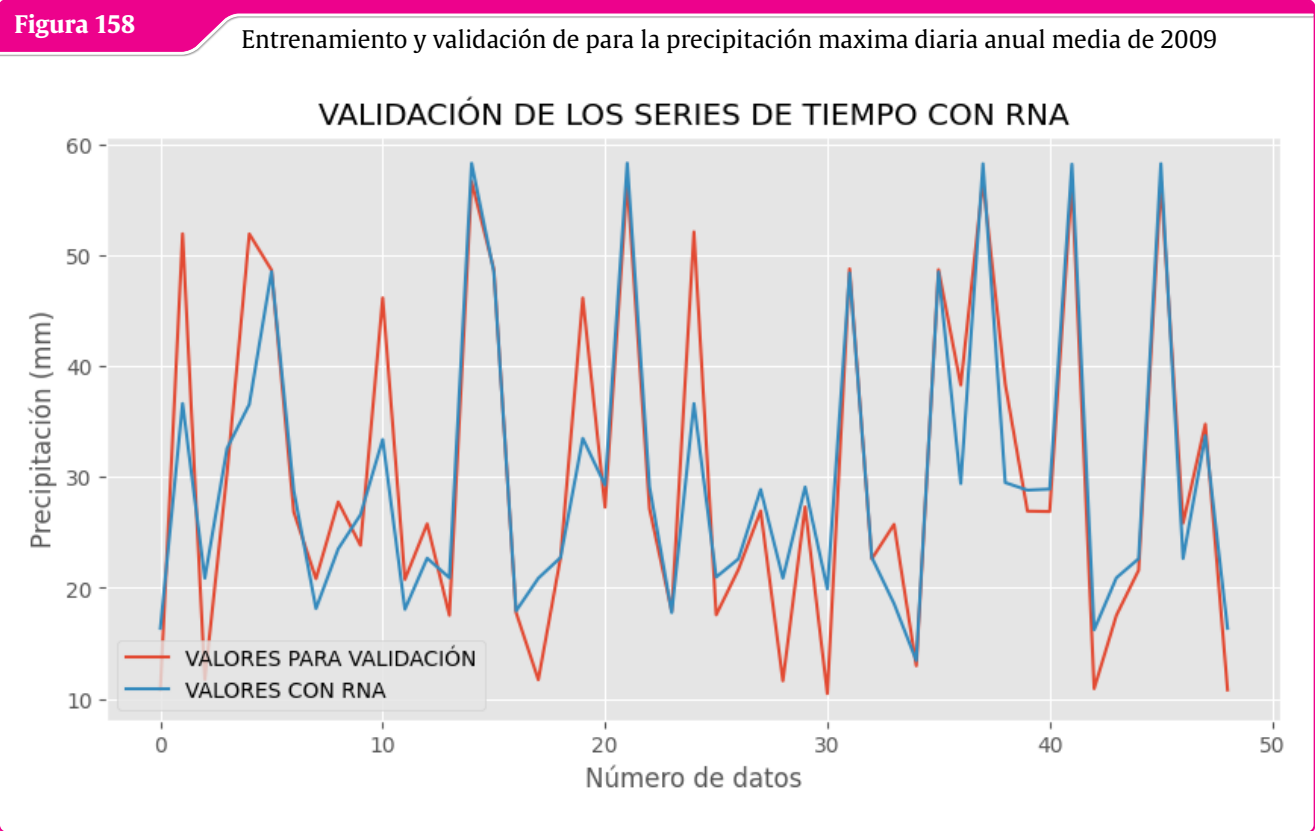
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Figura 157

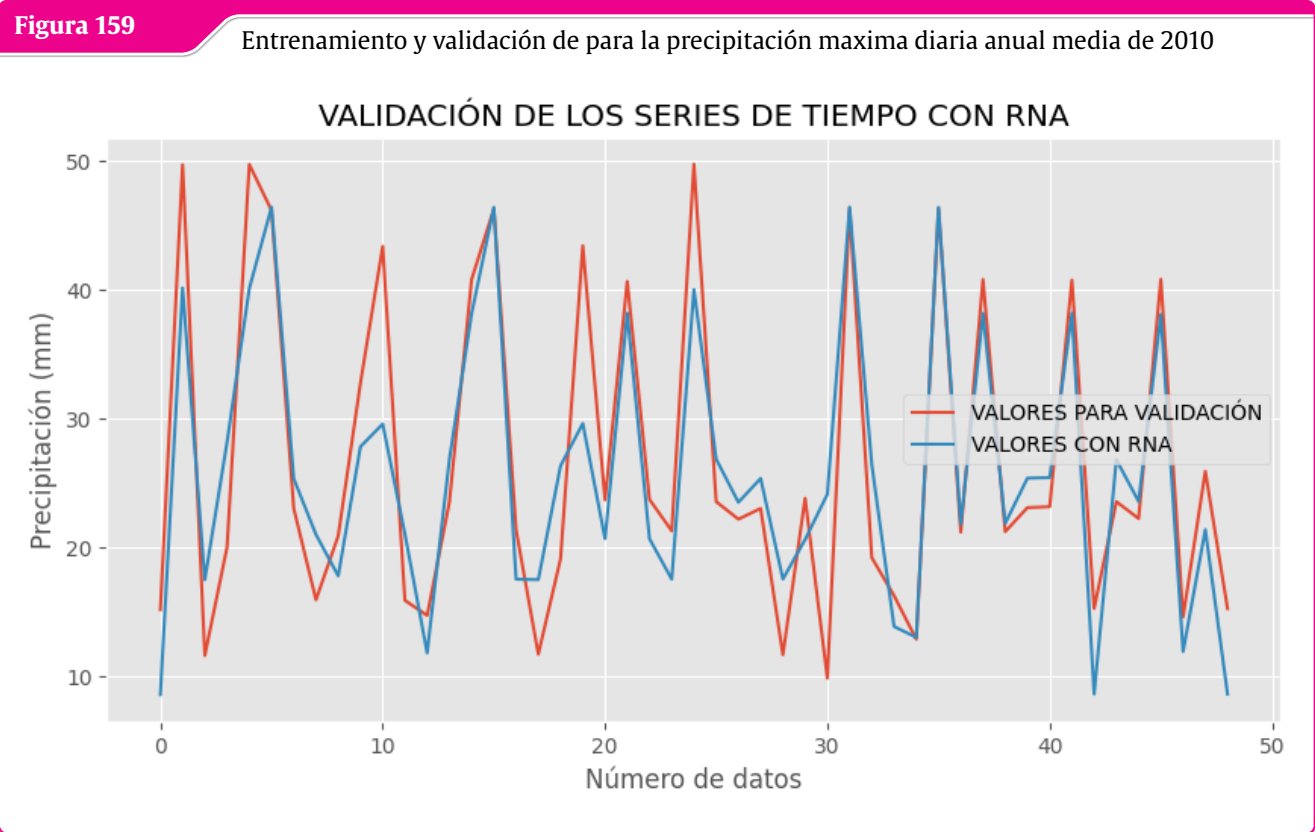
Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2008



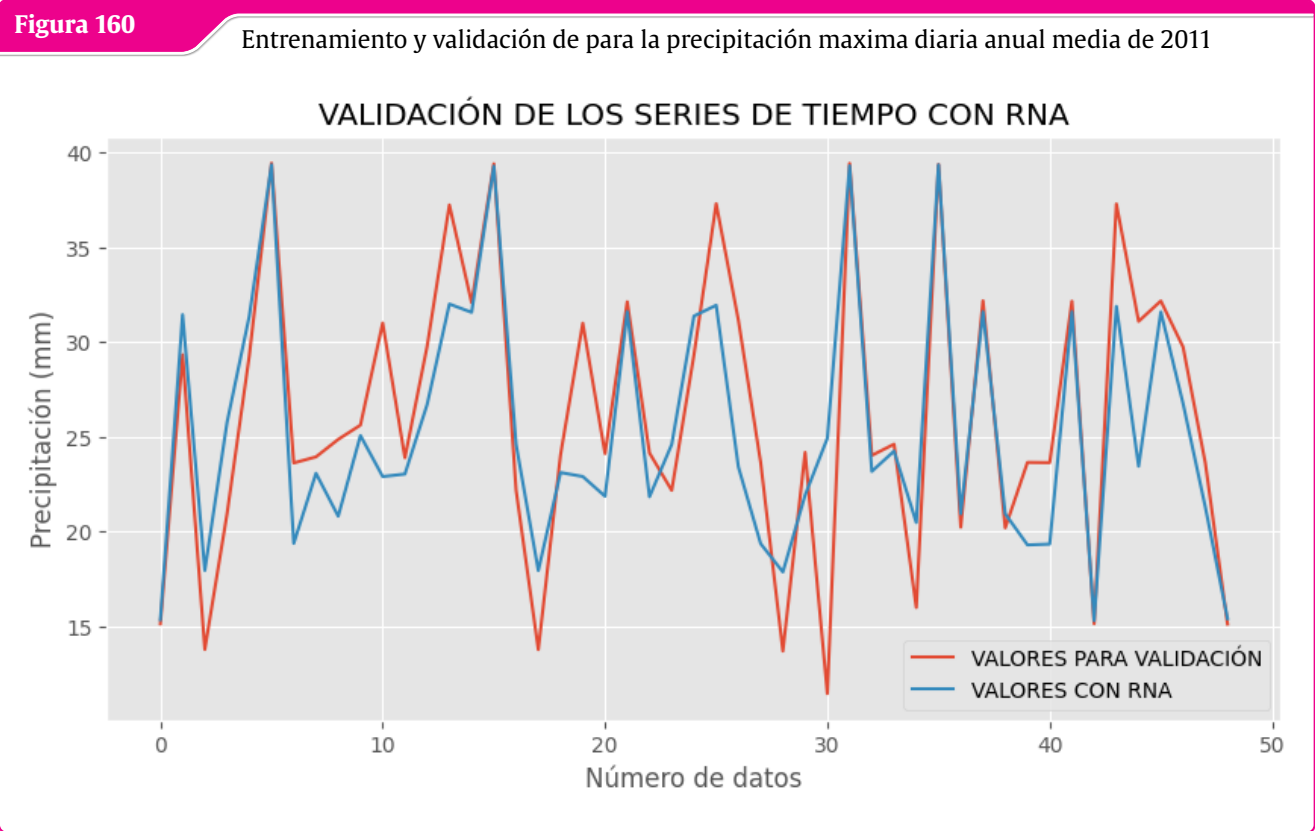
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



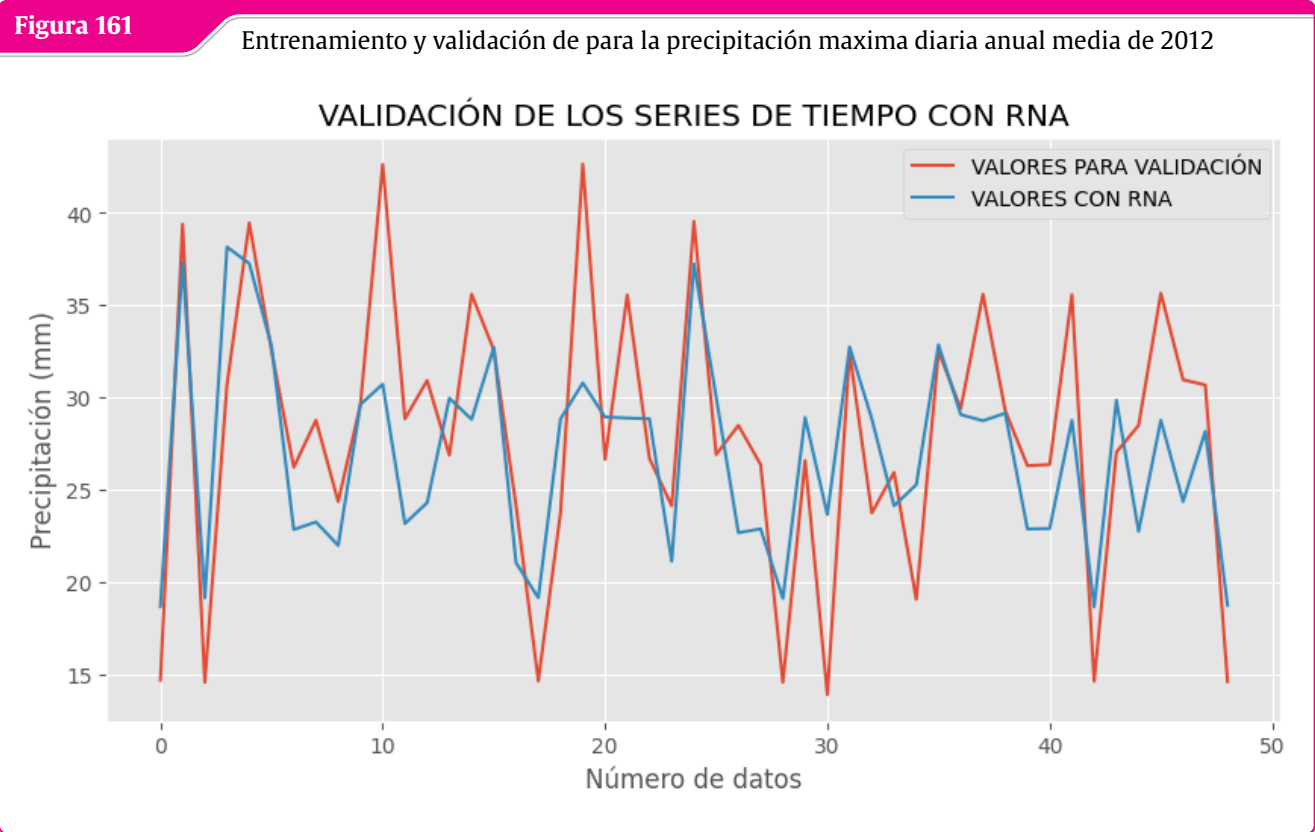
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



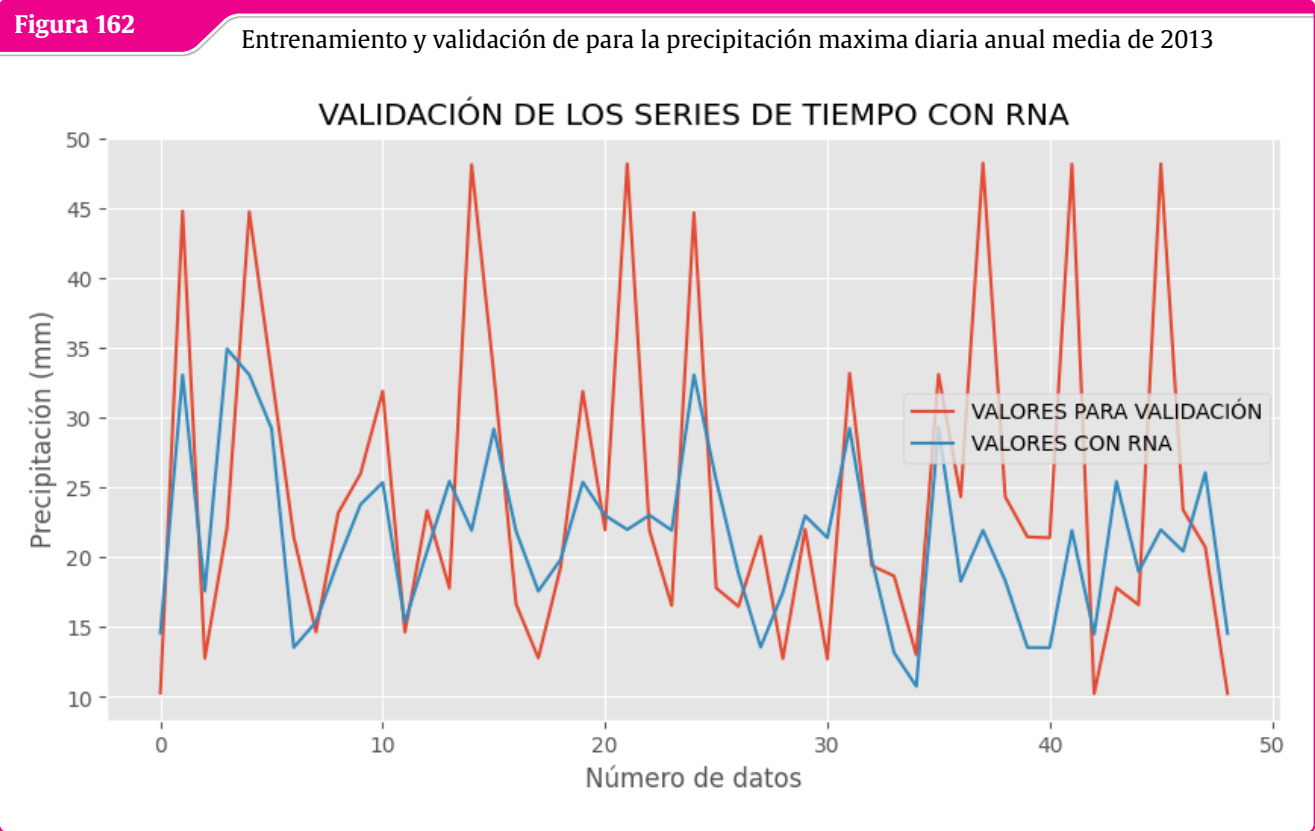
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



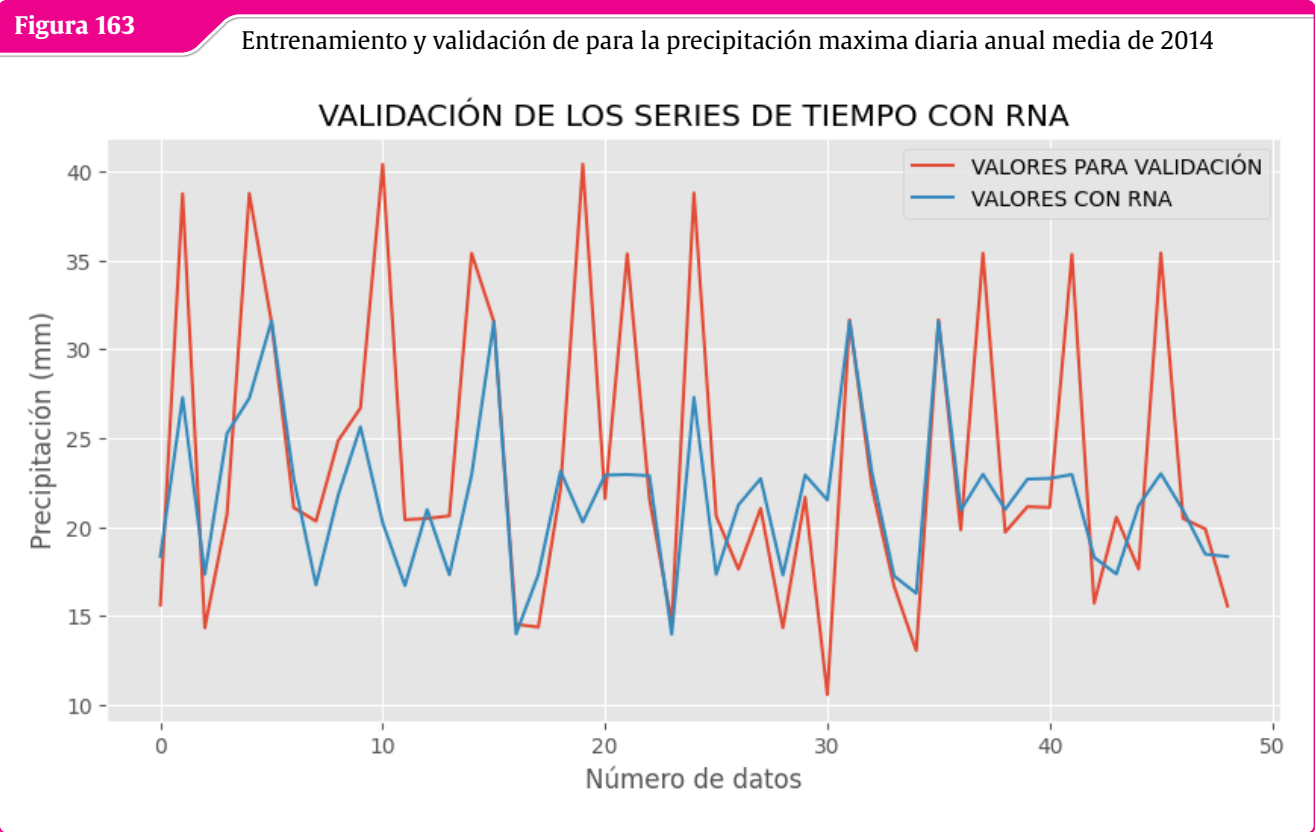
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



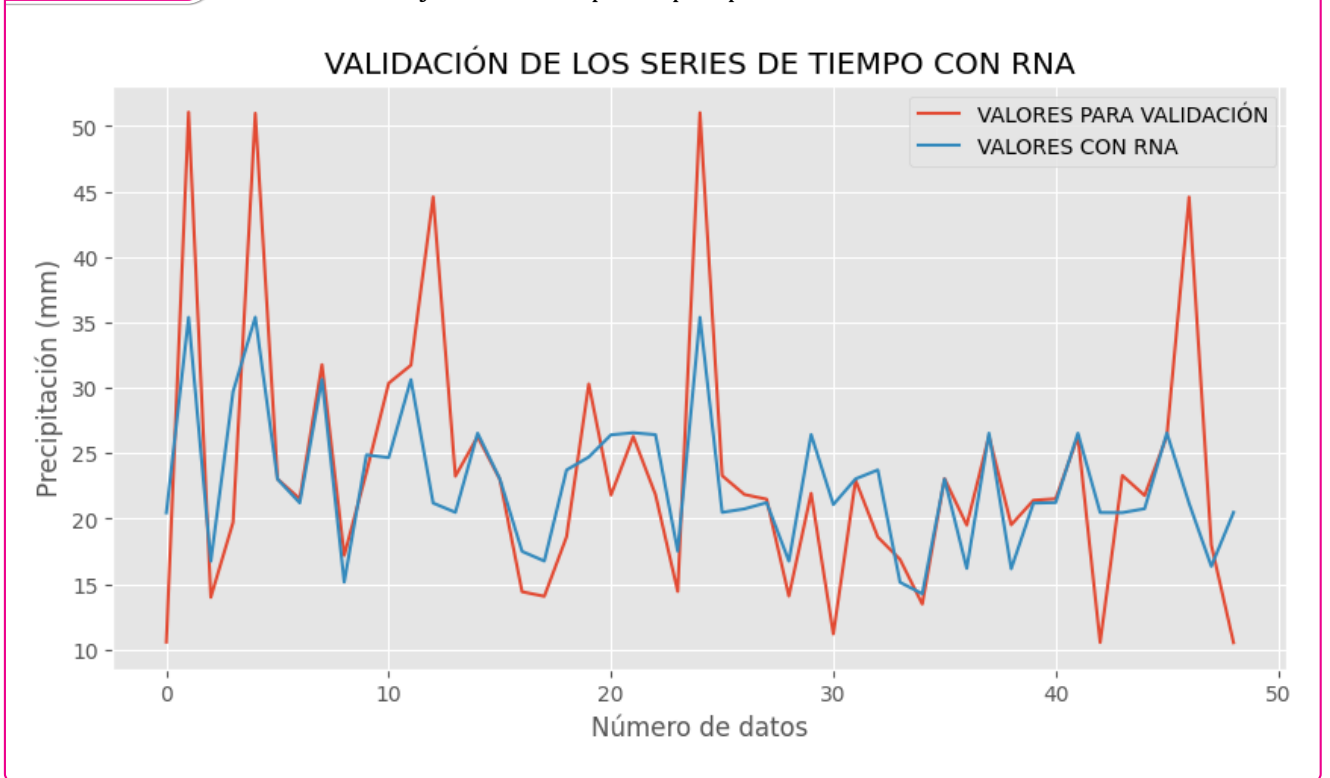
Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab



Fuente: Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

**Figura 164**

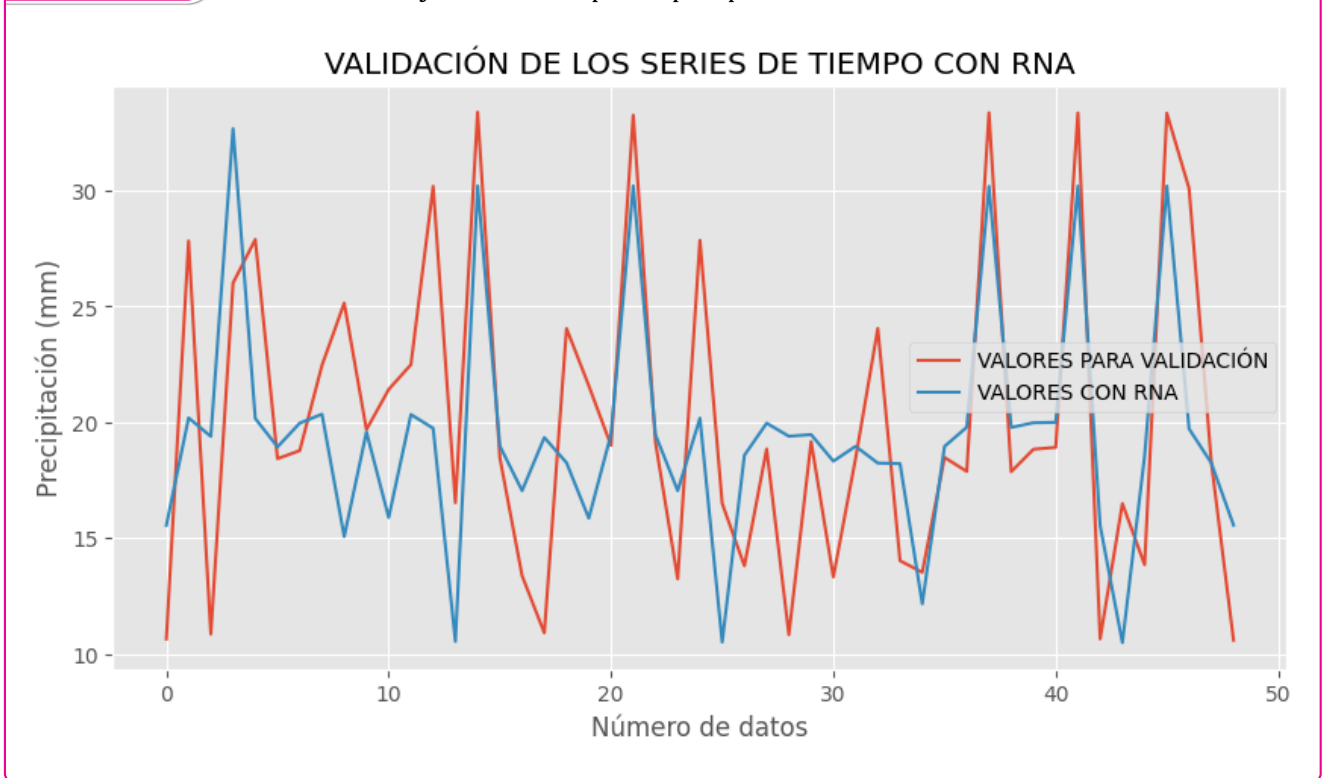
Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2015



**Fuente:** Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

**Figura 165**

Entrenamiento y validación de para la precipitación maxima diaria anual media de 2016



**Fuente:** Elaboración Propia con Anaconda Jupyter notebook de Python y Google Colab

Tabla 16: Simbología de los Características físicas y parámetros morfométricos de la cuenca

Subcuencas	Subcuenca1		Subcuenca2		Subcuenca3		Subcuenca4		Subcuenca5		Subcuenca6		Subcuenca7		Subcuenca8		Subcuenca9		Subcuenca10		Subcuenca11		Subcuenca12		Subcuenca13	
Año	Real	RNA	Real	RNA	Real	RNA	Real	RNA	Real	RNA	Real	RNA	Real	RNA	Real	RNA	Real	RNA	Real	RNA	Real	RNA	Real	RNA	Real	RNA
1981	12.8	27.0	19.1	20.4	28.1	33.1	34.7	28.6	17.4	22.4	58.3	28.6	10.0	22.2	17.8	27.0	24.5	21.7	13.0	23.1	14.2	19.1	32.0	22.2	27.1	24.8
1982	8.4	27.1	24.1	26.7	31.6	33.0	38.7	21.3	21.6	33.0	53.9	35.0	17.7	25.1	16.0	30.3	20.6	24.5	14.3	27.6	22.5	17.2	35.6	28.1	36.2	29.3
1983	5.5	34.6	22.7	21.2	33.8	32.1	23.4	2.1	19.5	28.7	31.9	27.6	11.9	18.8	20.0	26.9	11.0	18.4	11.4	21.6	17.9	21.8	23.7	27.1	24.2	18.8
1984	22.9	40.6	20.6	27.6	45.0	41.8	32.1	24.5	41.8	48.6	35.1	38.4	14.7	27.5	19.4	26.6	35.5	17.2	11.0	26.4	15.5	27.5	36.7	22.5	30.9	27.6
1985	9.2	46.9	33.6	13.6	23.3	33.9	17.5	1.6	23.9	3.8	33.0	23.4	10.5	15.0	10.9	29.8	15.6	20.8	9.3	21.9	11.6	18.0	22.0	32.2	20.3	22.4
1986	9.4	30.4	20.4	20.9	23.6	28.3	24.3	14.9	23.9	29.3	55.7	32.7	9.7	24.3	11.6	25.1	26.2	20.0	9.5	24.8	14.2	23.6	35.7	24.0	31.4	28.6
1987	6.0	23.0	25.6	23.4	37.2	31.5	19.7	6.1	25.2	40.5	37.3	33.3	11.1	24.2	15.3	23.1	9.6	13.0	9.4	23.2	13.0	17.3	25.2	19.4	23.9	23.1
1988	13.2	16.1	21.4	31.5	45.7	30.6	35.9	33.4	37.6	52.0	43.2	40.5	13.9	29.6	27.4	26.4	25.1	18.9	12.9	26.9	18.6	23.9	34.7	19.8	31.5	27.9
1989	23.4	28.0	22.8	31.4	38.9	51.1	25.5	16.3	34.2	55.4	38.9	45.6	14.4	38.3	19.5	33.8	48.3	26.8	12.2	34.5	18.0	24.0	81.7	26.5	32.9	38.6
1990	12.6	31.5	23.5	22.3	30.2	17.4	21.1	32.5	26.5	25.6	34.6	33.1	12.2	19.4	14.4	24.5	23.3	16.5	17.1	21.9	20.8	29.1	24.8	24.8	16.2	20.2
1991	14.1	33.4	19.6	25.8	30.0	47.9	17.6	15.0	30.2	38.2	27.4	46.3	12.5	17.5	19.4	35.1	22.4	-6.2	12.1	27.7	14.5	-2.1	30.0	24.9	20.7	25.6
1992	7.2	21.2	30.6	17.8	24.0	16.2	19.9	25.6	22.7	25.3	35.3	28.3	11.6	21.6	13.1	17.2	18.2	18.9	11.3	20.4	13.6	23.4	25.1	17.4	24.1	21.3
1993	12.1	32.0	23.1	22.0	31.7	34.4	22.2	18.0	18.8	27.1	37.6	29.6	16.2	20.8	20.9	27.4	22.6	17.1	10.4	23.2	12.5	16.3	31.6	24.0	25.6	24.4
1994	21.4	28.4	25.7	21.6	35.8	19.8	25.2	31.8	17.5	20.8	41.0	22.0	11.1	21.4	19.5	23.1	32.0	33.1	10.0	20.7	15.1	29.7	27.1	25.2	23.0	20.1
1995	12.8	5.7	16.3	16.7	19.7	5.2	14.0	37.0	23.5	17.1	30.1	18.6	9.0	16.8	11.9	14.4	16.2	25.7	9.2	15.8	11.4	17.5	29.9	15.8	17.0	14.5
1996	15.1	32.5	22.1	15.9	37.5	26.3	21.5	16.7	24.0	29.9	33.3	17.6	11.9	25.8	14.1	14.4	27.8	32.5	13.3	18.7	17.7	33.7	23.2	17.0	36.8	23.8
1997	11.6	5.3	20.3	24.6	32.4	28.9	21.0	13.1	51.5	60.5	32.4	32.5	12.9	32.5	15.8	13.3	20.6	21.6	11.4	22.4	15.2	21.7	24.2	8.6	23.4	23.2
1998	13.7	26.5	20.6	20.0	26.2	24.9	19.5	20.0	28.5	30.8	41.6	25.7	13.0	20.3	13.8	20.9	23.8	19.1	10.3	19.1	11.9	25.1	23.7	20.0	23.6	20.5
1999	14.4	27.3	21.2	21.5	27.1	24.7	20.9	12.9	30.8	22.8	22.5	23.7	14.7	21.3	23.8	25.5	19.6	28.1	14.8	22.2	17.2	22.2	22.3	27.8	17.1	20.6
2000	17.8	32.8	21.7	14.9	24.6	22.6	26.5	23.8	11.6	8.7	26.8	18.2	8.2	19.7	17.7	22.6	29.0	32.7	14.5	20.1	15.9	25.8	33.3	25.4	26.0	22.6
2001	16.1	14.9	17.2	14.5	26.0	13.7	16.0	9.3	12.2	37.1	29.2	21.8	7.3	22.1	13.7	7.8	19.6	18.8	14.5	15.6	14.0	24.6	22.2	9.7	23.4	18.0
2002	11.5	15.4	19.6	19.9	26.3	20.7	19.2	30.2	26.4	23.4	26.7	28.9	10.3	16.4	12.9	21.5	16.9	9.4	10.7	18.8	13.4	12.0	20.9	16.9	19.3	19.0
2003	15.4	31.7	21.7	15.3	20.9	28.7	20.1	11.9	20.3	16.6	33.7	21.5	10.2	20.1	16.4	22.2	21.7	24.0	10.8	20.6	12.6	19.7	24.1	23.0	21.6	21.8
2004	12.0	26.6	20.5	17.8	20.2	21.6	18.3	18.8	25.7	26.2	33.0	24.2	10.0	18.2	14.7	17.6	23.8	16.1	9.0	18.0	12.8	20.3	27.2	17.7	23.8	18.8
2005	9.6	29.5	22.5	20.9	26.2	14.9	21.9	28.9	34.4	19.8	27.6	26.8	11.2	19.0	19.1	22.7	22.0	24.5	9.6	21.2	12.2	25.8	19.6	25.6	16.2	21.1
2006	18.0	36.0	19.5	14.9	38.4	18.8	19.7	25.4	23.6	9.9	27.2	20.3	8.1	16.8	16.6	22.4	18.1	30.6	10.7	19.8	15.0	27.8	26.9	26.4	24.1	21.2
2007	15.5	16.0	22.5	19.9	25.9	30.5	22.3	45.2	20.8	37.3	20.9	24.8	11.5	24.0	20.4	16.0	27.2	17.1	12.4	18.9	14.6	16.0	28.9	8.3	19.1	23.3
2008	11.3	5.8	18.1	19.5	25.6	17.3	16.4	14.9	17.8	42.4	20.7	23.1	10.1	19.4	15.2	12.5	17.9	13.3	12.7	14.2	13.6	20.6	18.4	8.8	22.2	12.7
2009	18.4	38.9	27.8	24.8	48.7	38.9	20.8	24.1	30.4	29.0	52.0	34.2	16.8	20.8	17.9	32.9	25.7	17.9	10.5	26.2	12.9	18.2	17.5	29.4	22.7	26.7
2010	8.6	31.4	21.0	21.5	46.3	33.1	15.8	13.7	20.0	29.5	49.8	27.5	15.2	19.9	21.3	27.8	16.3	20.4	9.8	21.7	12.8	20.9	23.5	26.9	19.1	19.7
2011	12.3	27.9	24.8	27.2	39.4	26.6	23.9	13.4	20.9	42.1	29.3	37.4	11.6	21.5	22.1	24.8	24.6	10.0	11.5	23.3	16.1	21.4	37.2	22.6	24.0	20.3
2012	18.0	29.0	24.4	24.3	32.6	33.8	28.8	21.4	30.7	37.6	39.5	29.9	14.1	26.4	24.1	25.2	25.9	26.1	13.9	24.9	19.1	22.0	26.9	23.9	23.9	25.1

<b>2013</b>	10.6	31.2	23.2	18.1	33.1	43.6	14.7	4.7	22.1	27.3	44.7	30.7	11.8	19.5	16.5	28.7	18.6	11.4	12.7	23.3	13.0	7.7	17.8	22.9	19.3	26.0
<b>2014</b>	10.9	27.6	24.9	19.7	31.6	31.9	20.3	15.3	20.7	30.2	38.7	30.1	10.3	19.8	14.6	22.7	16.7	11.2	10.4	20.4	13.1	17.6	20.6	18.3	22.2	21.8
<b>2015</b>	13.2	38.1	17.2	16.1	23.0	25.6	31.7	25.1	19.7	0.8	51.0	22.3	10.3	16.7	14.4	28.5	16.9	26.1	11.2	22.6	13.5	18.5	23.3	29.5	18.6	25.2
<b>2016</b>	14.4	19.4	25.2	16.0	18.5	24.4	22.5	16.3	26.1	17.8	27.9	19.1	10.8	20.1	13.3	18.4	14.0	24.4	13.4	19.0	13.4	14.0	16.5	17.6	24.0	20.9

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 17: Simbología de los Características físicas y parámetros morfométricos de la cuenca

Subcuencas	Subcuenca489		Subcuenca490		Subcuenca491		Subcuenca492		Subcuenca493		Subcuenca494		Subcuenca495		Subcuenca496		Subcuenca497		Subcuenca498		Subcuenca499		Subcuenca500	
Año	Real	RNA	Real	RNA	Real	RNA	Real	RNA	Real	RNA	Real	RNA	Real	RNA	Real	RNA	Real	RNA	Real	RNA	Real	RNA	Real	RNA
<b>1981</b>	28.1	33.0	29.4	30.1	22.7	26.7	24.4	21.7	29.3	30.1	17.8	27.0	22.6	26.7	12.9	23.1	25.6	19.1	32.1	22.2	10.8	23.3	14.3	19.1
<b>1982</b>	31.6	33.0	34.3	27.3	26.7	31.4	20.6	24.5	34.3	27.3	16.0	30.3	26.6	31.4	14.2	27.5	27.3	30.2	35.7	28.1	9.2	29.9	22.4	17.2
<b>1983</b>	33.8	32.1	36.4	5.7	27.6	19.6	11.0	18.4	36.4	5.7	20.0	26.9	27.7	19.7	11.3	21.6	22.6	23.6	23.6	27.1	11.8	21.5	17.8	21.8
<b>1984</b>	45.0	41.8	51.4	43.0	33.7	29.3	35.4	17.2	51.4	43.0	19.4	26.6	33.8	29.3	11.1	26.4	30.1	29.5	36.6	22.5	13.7	25.0	15.5	27.5
<b>1985</b>	23.3	33.9	34.5	12.1	22.6	24.0	15.6	20.8	34.5	12.1	10.9	29.8	22.6	24.0	9.2	21.9	20.1	11.3	22.0	32.2	9.6	14.0	11.6	18.0
<b>1986</b>	23.6	28.2	31.0	17.3	35.4	31.5	26.2	20.0	30.9	17.2	11.6	25.1	35.4	31.5	9.5	24.8	25.0	21.3	35.7	24.0	15.9	23.6	14.3	23.6
<b>1987</b>	37.2	31.5	37.8	19.7	17.7	24.4	9.5	13.0	37.9	19.7	15.3	23.1	17.6	24.5	9.4	23.2	23.4	23.9	25.2	19.4	16.6	22.4	13.0	17.3
<b>1988</b>	45.7	30.6	44.3	54.5	26.8	29.8	25.1	18.8	44.4	54.5	27.4	26.4	26.8	29.8	13.0	27.0	30.3	34.9	34.8	19.8	17.6	31.8	18.6	23.9
<b>1989</b>	39.0	51.1	41.1	28.6	25.1	42.3	48.3	26.8	41.2	28.6	19.5	33.8	25.1	42.3	12.2	34.5	34.5	31.4	81.7	26.5	14.1	37.6	18.0	23.9
<b>1990</b>	30.2	17.4	34.3	37.4	24.8	21.1	23.2	16.5	34.2	37.5	14.4	24.5	24.8	21.1	17.2	22.0	24.3	25.1	24.8	24.8	15.7	19.2	20.8	29.1
<b>1991</b>	30.0	47.9	37.1	46.0	24.3	25.4	22.4	-6.2	37.1	46.0	19.5	35.0	24.4	25.5	12.1	27.7	23.2	23.3	30.0	24.9	13.5	2.5	14.5	2.1
<b>1992</b>	23.9	16.2	36.4	27.0	18.2	22.8	18.2	18.9	36.2	27.0	13.1	17.2	18.1	22.8	11.3	20.4	21.6	19.1	25.1	17.4	10.7	22.2	13.6	23.4
<b>1993</b>	31.7	34.4	43.2	26.1	27.7	26.0	22.7	17.1	43.2	26.1	20.9	27.4	27.8	26.0	10.4	23.2	23.7	23.3	31.7	24.0	15.1	19.8	12.6	16.3
<b>1994</b>	35.9	19.8	38.4	25.7	36.3	21.6	32.0	33.1	38.4	25.7	19.4	23.1	36.3	21.6	10.0	20.7	24.5	27.5	27.1	25.2	16.6	32.6	15.1	29.7
<b>1995</b>	19.7	5.2	25.1	33.9	18.1	15.5	16.2	25.7	25.2	33.9	11.9	14.4	18.1	15.5	9.2	15.8	18.1	23.6	29.8	15.8	12.1	26.7	11.5	17.5
<b>1996</b>	37.4	26.3	34.7	11.3	23.7	27.1	27.8	32.5	34.6	11.3	14.1	14.5	23.8	27.1	13.4	18.7	23.1	20.3	23.2	17.0	10.6	31.4	17.7	33.7
<b>1997</b>	32.4	28.9	82.6	29.6	25.1	25.3	20.6	21.6	82.5	29.6	15.8	13.4	25.1	25.3	11.5	22.3	27.3	27.9	24.2	8.6	14.7	37.4	15.2	21.7
<b>1998</b>	26.4	24.9	36.8	25.3	32.8	22.6	23.7	19.1	36.8	25.3	13.8	20.9	32.8	22.6	10.3	19.1	23.0	23.8	23.7	20.0	15.0	22.6	11.8	25.1
<b>1999</b>	27.1	24.7	36.4	9.1	33.5	22.1	19.7	28.1	36.5	9.1	23.8	25.6	33.7	22.1	14.8	22.1	23.4	27.7	22.3	27.9	12.8	28.2	17.2	22.2
<b>2000</b>	24.6	22.6	21.3	8.6	30.5	25.0	28.9	32.7	21.3	8.6	17.7	22.6	30.6	25.0	14.6	20.1	21.4	17.3	33.3	25.4	14.2	26.6	15.8	25.8
<b>2001</b>	26.0	13.7	20.0	13.1	24.0	20.2	19.5	18.8	20.2	13.1	13.7	7.8	23.9	20.2	14.5	15.6	17.8	18.7	22.1	9.7	12.8	25.0	13.9	24.5
<b>2002</b>	26.4	20.7	23.4	41.1	27.0	19.8	16.9	9.4	23.4	41.1	12.9	21.5	27.0	19.8	10.6	18.8	19.1	20.1	21.0	16.9	10.2	14.3	13.4	12.0
<b>2003</b>	20.8	28.8	26.1	5.8	36.1	23.5	21.6	24.0	26.1	5.8	16.4	22.2	36.0	23.6	10.9	20.6	20.6	16.2	24.1	23.0	11.7	21.1	12.6	19.7
<b>2004</b>	20.2	21.6	38.1	24.5	21.3	20.1	23.9	16.1	38.1	24.5	14.7	17.6	21.2	20.1	9.0	18.0	20.2	20.5	27.2	17.7	12.4	18.6	12.8	20.3
<b>2005</b>	26.2	14.9	40.7	27.0	23.2	22.5	21.9	24.6	40.4	27.0	19.1	22.7	23.2	22.5	9.6	21.2	24.1	26.4	19.6	25.6	14.3	25.2	12.2	25.8
<b>2006</b>	38.3	18.7	40.3	13.4	27.1	23.1	18.2	30.7	40.3	13.4	16.6	22.4	27.2	23.2	10.8	19.9	22.0	19.0	26.9	26.3	12.8	25.1	15.0	27.8

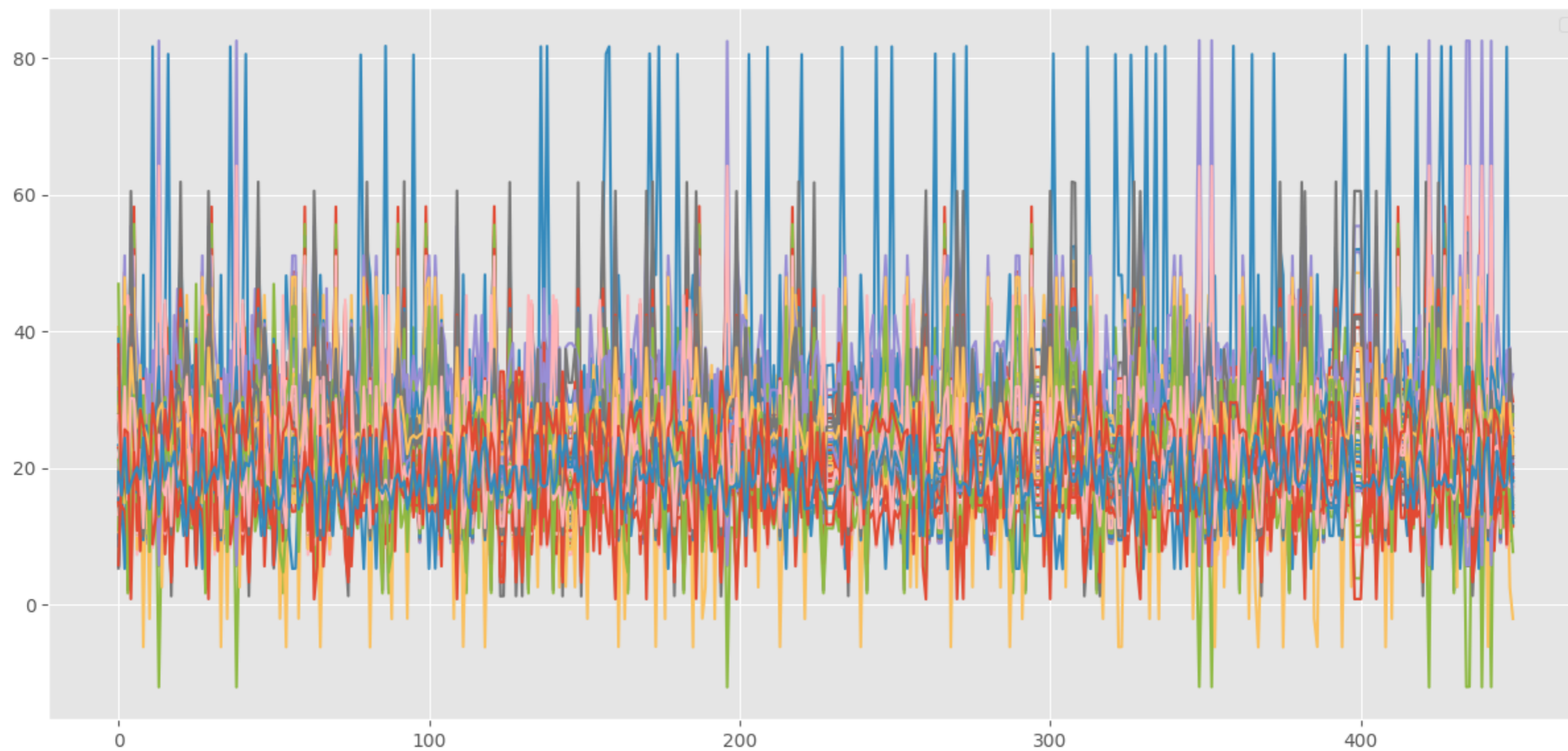
<b>2007</b>	26.0	30.5	33.8	64.3	29.6	25.3	27.1	17.1	33.9	64.2	20.4	16.0	29.7	25.3	12.4	18.9	22.8	24.0	29.0	8.3	18.1	20.9	14.7	16.1
<b>2008</b>	25.6	17.3	29.0	29.3	24.5	13.7	18.0	13.3	29.0	29.3	15.3	12.5	24.4	13.7	12.8	14.2	18.7	23.9	18.3	8.8	10.2	25.0	13.6	20.6
<b>2009</b>	48.6	38.9	56.7	34.8	23.9	28.2	25.7	17.9	56.7	34.8	17.9	32.8	23.8	28.2	10.4	26.2	27.3	27.3	17.5	29.3	11.6	19.1	12.9	18.2
<b>2010</b>	46.3	33.1	40.7	17.3	32.7	21.2	16.3	20.4	40.8	17.3	21.3	27.8	32.7	21.2	9.9	21.7	23.7	26.5	23.5	26.9	11.7	21.9	12.9	20.9
<b>2011</b>	39.3	26.6	32.1	31.3	25.6	20.5	24.6	10.0	32.2	31.3	22.2	24.8	25.7	20.6	11.5	23.3	24.2	29.1	37.2	22.6	13.7	21.4	16.1	21.5
<b>2012</b>	32.5	33.8	35.7	28.5	29.6	26.9	25.8	26.1	35.5	28.5	24.1	25.2	29.7	26.9	13.8	24.8	26.7	30.4	27.0	23.9	14.7	29.5	19.1	22.0
<b>2013</b>	33.2	43.7	48.1	12.8	26.0	28.2	18.7	11.4	48.2	12.8	16.6	28.7	26.0	28.1	12.7	23.3	21.9	16.1	17.8	22.9	12.8	14.1	12.9	7.7
<b>2014</b>	31.6	31.9	35.5	24.9	26.7	23.3	16.7	11.2	35.4	24.9	14.6	22.6	26.7	23.3	10.5	20.5	21.6	17.7	20.7	18.3	14.3	17.2	13.1	17.6
<b>2015</b>	23.0	25.6	26.3	14.2	23.6	27.1	16.9	26.2	26.3	14.2	14.4	28.5	23.6	27.2	11.2	22.6	21.9	16.8	23.2	29.4	14.2	19.1	13.4	18.5
<b>2016</b>	18.5	24.4	33.3	13.2	19.5	22.4	14.0	24.4	33.4	13.2	13.3	18.4	19.6	22.4	13.3	19.0	19.1	17.2	16.5	17.5	10.8	24.7	13.6	14.0

Fuente: Elaboración Propia

Figura 166

Generación de las series de tiempo para el entrenamiento de todas las subcuencas

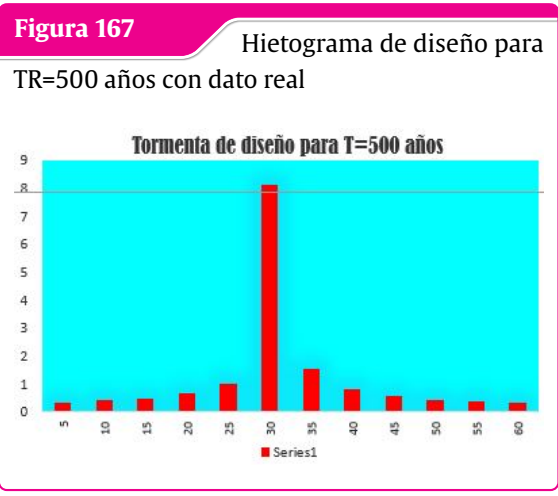
## ENTRENAMIENTO DEL MODELO DE RNA



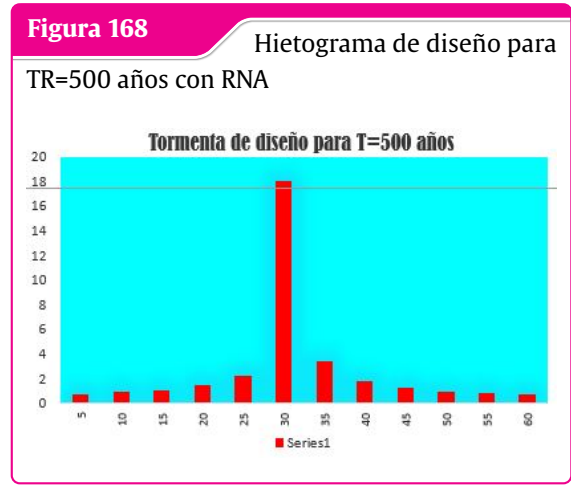
Fuente: Elaboración Propia IDF tormenta

**4.1.5 Resultados generados RNA para los hietogramas de entrenamiento**

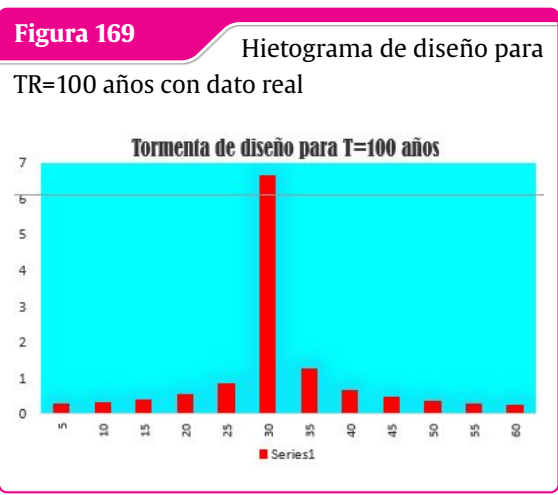
Para la Subcuenca 1



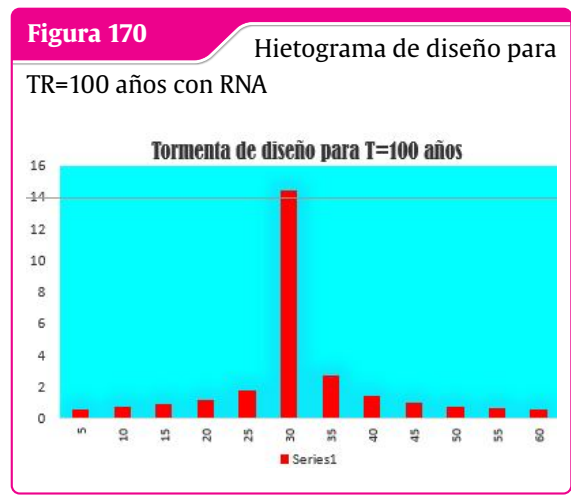
Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter



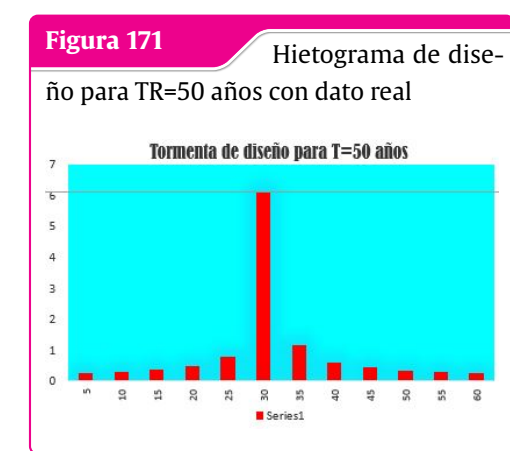
Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter



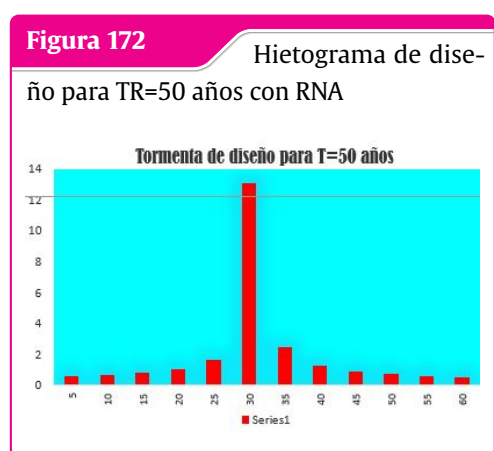
Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter



Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter



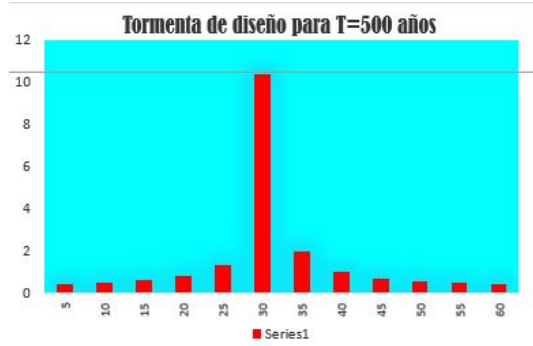
Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter



Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

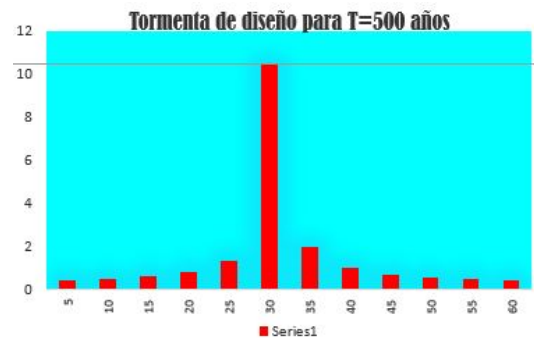
Para la Subcuenca 2

**Figura 173** Hietograma de diseño para TR=500 años con dato real



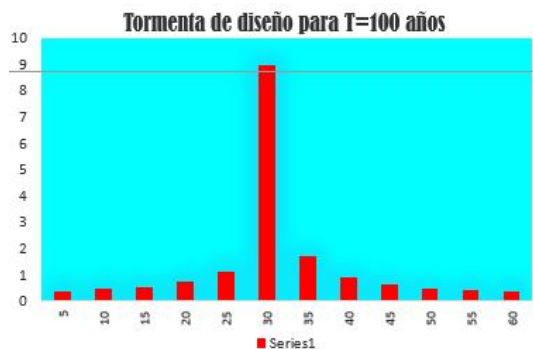
Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 174** Hietograma de diseño para TR=500 años con RNA



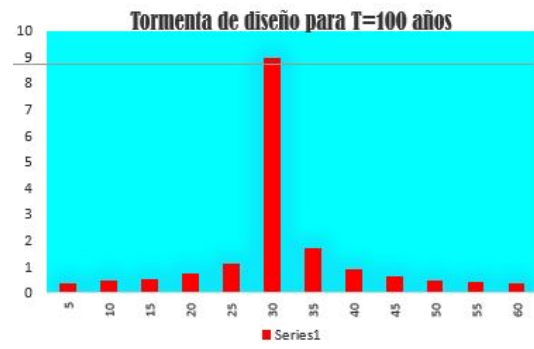
Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 175** Hietograma de diseño para TR=100 años con dato real



Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 176** Hietograma de diseño para TR=100 años con RNA



Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 177** Hietograma de diseño para TR=50 años con dato real



Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 178** Hietograma de diseño para TR=50 años con RNA



Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

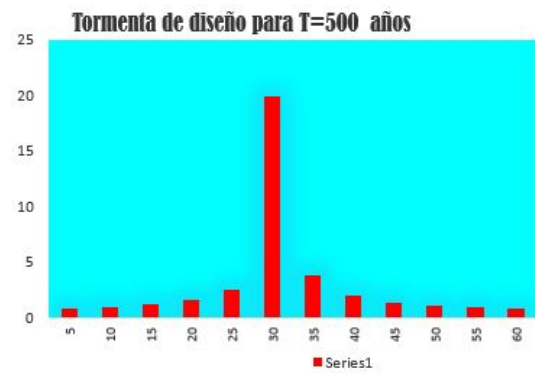
Para la Subcuenca 489

**Figura 179** Hietograma de diseño para TR=500 años con dato real



Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 180** Hietograma de diseño para TR=500 años con RNA



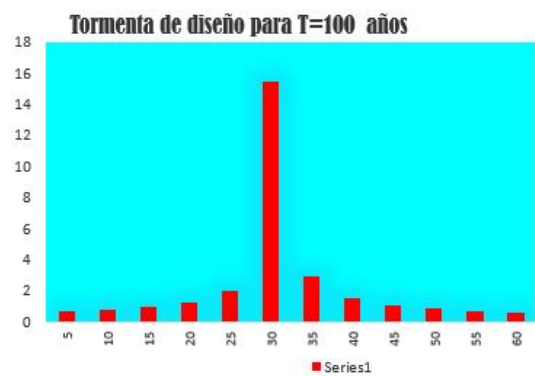
Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 181** Hietograma de diseño para TR=100 años con dato real



Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 182** Hietograma de diseño para TR=100 años con RNA



Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 183** Hietograma de diseño para TR=50 años con dato real



Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 184** Hietograma de diseño para TR=50 años con RNA



Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

Para la Subcuenca 500

**Figura 185** Hietograma de diseño para TR=500 años con dato real



Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 186** Hietograma de diseño para TR=500 años con RNA



Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 187** Hietograma de diseño para TR=500 años con dato real



Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 188** Hietograma de diseño para TR=500 años con RNA



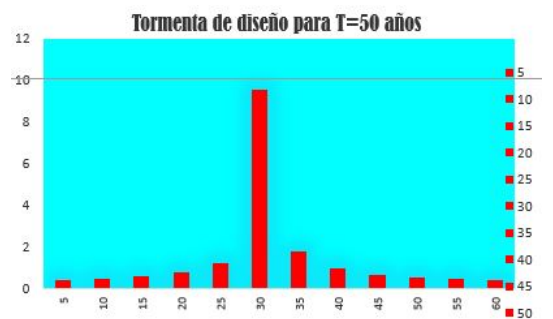
Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 189** Hietograma de diseño para TR=500 años con dato real



Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

**Figura 190** Hietograma de diseño para TR=500 años con RNA



Fuente: Elaboración propia con Python Jupyter

#### 4.1.6 Resultados generados con RNA para la validación del modelo propuesto

A continuación presentamos los resultados obtenidos en la validación de la Red Neuronal Artificial con el modelo propuesto para la obtención de resultados a partir de los datos seleccionados para la validación

#### 4.1.7 Resultados generados con RNA para la cuenca Llochacniyocc

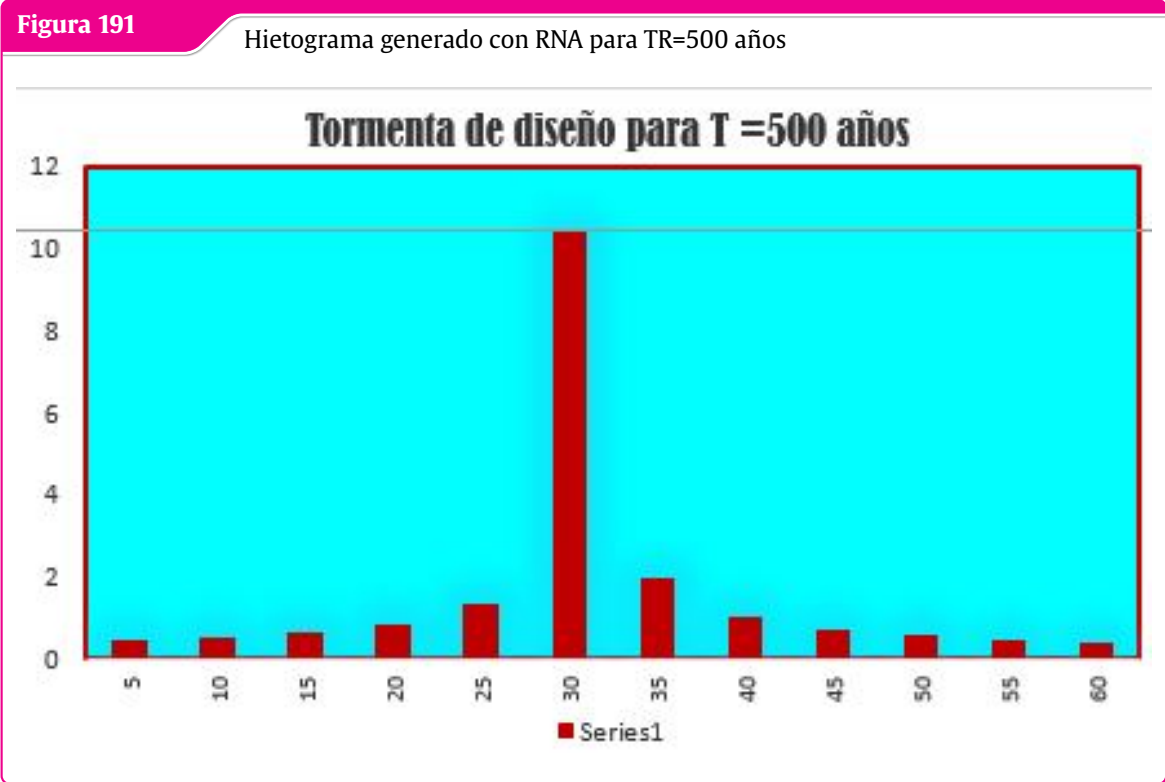
**Tabla 18:** Simbología de los Características físicas y parámetros morfométricos de la cuenca

Año	Precipitación RNA (mm)	Año	Precipitación RNA (mm)
1981	27.0	1999	22.6
1982	22.5	2000	20.4
1983	20.6	2001	17.8
1984	20.3	2002	15.8
1985	23.1	2003	22.8
1986	19.1	2004	19.5
1987	22.6	2005	18.1
1988	28.8	2006	18.9
1989	34.1	2007	19.7
1990	23.1	2008	21.9
1991	20.7	2009	26.1
1992	22.1	2010	24.9
1993	25.9	2011	21.6
1994	22.4	2012	24.5
1995	18.8	2013	22.7
1996	24.1	2014	17.8
1997	24.7	2015	19.8
1998	17.7	2016	17.4

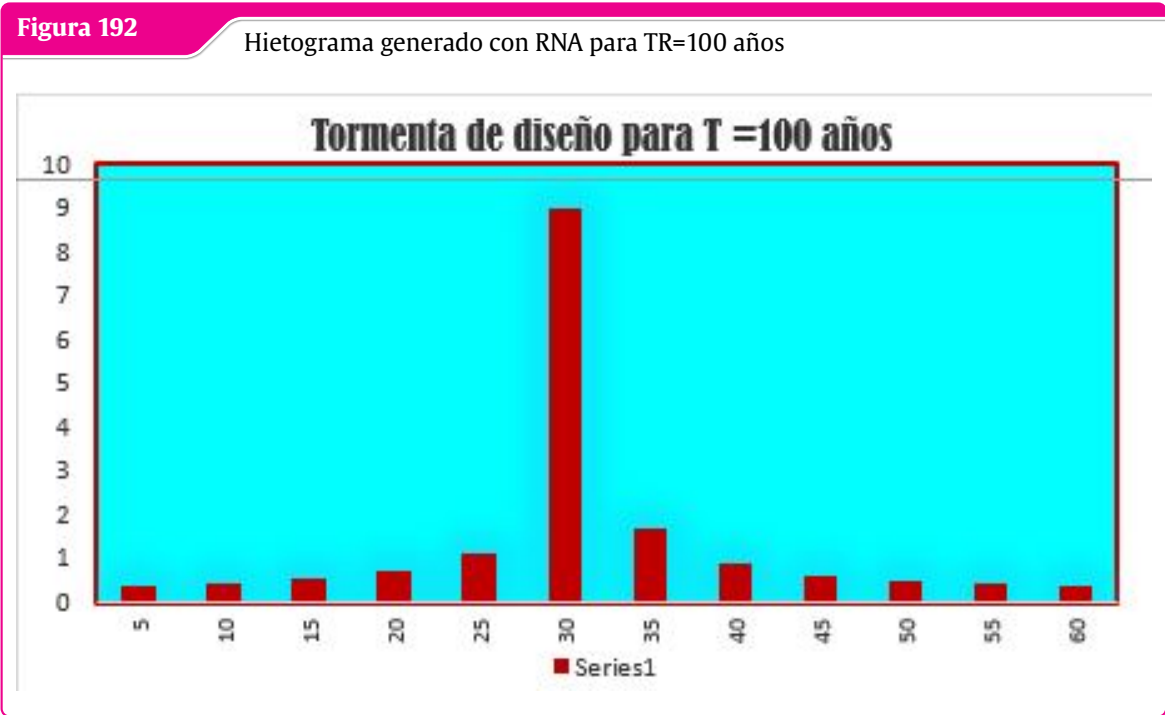
*Fuente:* Elaboración Propia

#### 4.1.8 Hietogramas de diseño de Llochacniyocc

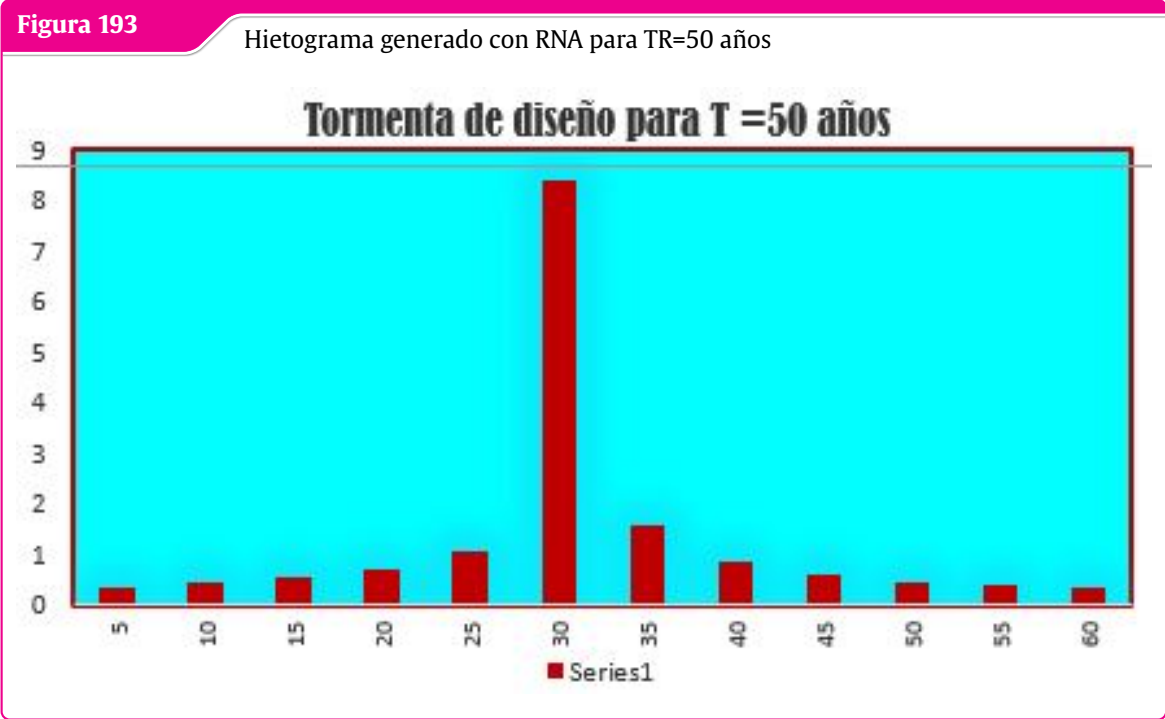
Hietogramas de diseño generados a partir de las precipitaciones sintéticas generadas con redes neuronales artificiales.



Fuente: Elaboración Propia IDF tormenta



Fuente: Elaboración Propia IDF tormenta



Fuente: Elaboración Propia IDF tormenta

*“Debo reconocer que un hombre que concluye que un argumento no tiene realidad, porque se le ha escapado a su investigación, es culpable de imperdonable arrogancia.”*

*— David Hume*

## 5 Conclusiones

### 5.1 Conclusiones para el objetivo principal

---

Se logró los objetivos de la siguiente manera:

- Para el objetivo principal se estimó el hietograma de diseño para la cuenca de LLochaccniyocc a partir de los datos de entrada de la cuenca luego del entrenamiento y la validación obtenido el modelo a partir de la arquitectura de datos donde se aprecia que el modelo tiene el mejor desempeño para el aprendizaje luego de validar la red se estima las precipitaciones para la cuenca de LLochaccniyocc como se muestra en la Tabla N°18 donde a partir de la precipitación se obtiene el hietograma de diseño.

### 5.2 Conclusiones para los objetivos específicos

---

- Para el objetivo específico 1 se estimó las precipitaciones máximas diarias anuales del año 1981 al 2016 como se aprecia en la tabla N°16 donde se encuentran las precipitaciones obtenidas con redes neuronales de todas las subcuencas.
- Para el objetivo específico 2 se entrenó las 500 subcuencas para estimar todas las precipitaciones del año 1981 al año 2016 para el cálculo de las precipitaciones máximas diarias anuales, donde a partir de estas precipitaciones se generan los hietogramas de diseño como se detalla en el desarrollo de la investigación
- Para el objetivo específico 3 se validaron con las cuencas seleccionadas para la validación llegando a la conclusión que se obtuvo un buen desempeño en el aprendizaje del modelo descrito en la presente investigación como se observan en las imágenes de cada subcuenca de validación donde también se observan el error cuadrático medio de cada subcuenca viendo el desempeño del aprendizaje de la red para que posteriormente se utilice el modelo para la obtención del hietograma de diseño de LLochaccniyocc.

## 5.3 Recomendaciones

---

Se recomienda lo siguiente:

1. Se recomienda para investigaciones posteriores utilizar los datos y aumentar más datos para el entrenamiento y la creación del modelo de Redes Neuronales Artificiales, por lo que sabemos mientras existan más datos más es el aprendizaje del modelo disminuyendo el error cuadrático medio
2. Se recomienda realizar precipitaciones sintéticas con modelos de series de Tiempo de AR(p), ARMA(p,q) y ARIMA, Y modelos de redes neuronales con algoritmos genéticos, deep learning entre otros.
3. Se recomienda realizar tesis para predecir caudales diarios, medias mensuales, máxima diaria anual, para el modelamiento hidrológico e hidráulico.

# Referencias Bibliográficas

- Basogain Olabe, X. (1998). *Redes neuronales artificiales y sus aplicaciones. Publicaciones de la Escuela de Ingenieros, Escuela Superior de Ingeniería de Bilbao, UPV, 79 pp.* (Vid. pág. 17).
- Cahuana, A. y Yugar, W. (2009). *MATERIAL DE APOYO DIDÁCTICO PARA LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA DE HIDROLOGIA CIV-233.* Universidad Mayor de San Simón de Cochabamba Bolivia. (Vid. págs. 14-17).
- Fiering, M. y Jackson, B. (1971). *Synthetic Hidrology. Monograph N 01 American Geophysical Union, Washington, DC.* (Vid. págs. 8-14, 16, 23).
- Gestal, P. (2013). *Introducción a las redes de neuronas artificiales, Universidad de La Coruña, España.* <http://sabia.tic.udc.es/mgestal/cv/RNATutorial/TutorialRNA.pdf>. (Vid. pág. 22)
- Herrera, J., Yari, Y., Luque, E. y Valdivia, Y. J. T. (2013). Red Neuronal aplicada a la generación de caudales mensuales estocásticos. *Proceedings del XII Congreso de la Sociedad Peruana de Computacion.* <https://doi.org/10.13140/2.1.4047.7762> (vid. pág. 8)
- Hiemstra, L. A. V. y Creese, R. C. (1970). SYNTHETIC GENERATION OF SEASONAL PRECIPITATION. *Journal of Hydrology 11 (1970) 30-46.* <https://sci-hub.st/https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022169470901137> (vid. pág. 8)
- Jia, Y. y Culver, T. B. (2006). Bootstrapped artificial neural networks for synthetic flow generation with a small data sample. *Journal of Hydrology.* <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.06.005> (vid. pág. 7)
- Kim, T., Shin, J. Y., Kim, H. y Heo, J. H. (2020). Ensemble-based Neural Network Modeling for Hydrologic Forecasts: Addressing Uncertainty in the Model Structure and Input Variable Selection. <https://sci-hub.st/https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2019WR026262> (vid. pág. 7)
- Martinez Acosta, L., Medrano Barboza, J. P., López Ramos, Á., Remolina López, J. F. y López Lambraño, A. A. (2020). SARIMA Approach to Generating Synthetic Monthly Rainfall in the Sinú River Watershed in Colombia. <https://sci-hub.st/https://www.mdpi.com/2073-4433/11/6/602> (vid. pág. 7)
- Montaño, J. (2002). *Redes neuronales artificiales aplicadas al análisis de datos. Tesis Doc., Palma de Mallorca, España, Universidad de las Islas Baleares.* (Vid. pág. 21).

- Morales, I. (2010). *Comparación teórico práctica entre modelos estadísticos y el perceptrón multicapa. Tesis Lic., Pontificia Universidad Católica Valparaíso, 110 p.* (Vid. págs. 22, 23).
- Salas, J. y Yevjevich. (1980). *APPLIED MODELING OF HYDROLOGIC TIME SERIES.* (Vid. pág. 24).
- Sanchez, J. (2009). Generación de series sintéticas mensuales del Río Chira mediante el uso de modelos markovianos. *Anales científicos UNALM Vol 70 N° 2, 2009.* <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6171112.pdf> (vid. pág. 8)
- Socha, D. y Ortiz, G. (2005). *Aplicación de redes neuronales MLP a la predicción de un paso en series de tiempo. Fundación Universitaria Konrad Lorenz, Bogotá, pp. 183.* (Vid. págs. 19-21).
- Villenas Quinapallo, L. d. (2020). *PREDICCIÓN DE CAUDALES EN LA CUENCA DEL RÍO CHALPI NORTE MEDIANTE LA APLICACIÓN DE REDES NEURONALES* (Tesis). ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL QUITO. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21066>. (Vid. pág. 7)
- Yevjevich, V. (1975). *Stochastic Processes in Hydrology Water Resources Publications , Fort Collins, Colorado.* (Vid. pág. 23).
- Zhang, G. y Patuwo, E. (1998). *Forecasting with artificial neural networks: The state of the art. International Journal of Forecasting 14, 35-62.* (Vid. pág. 19).

“Debo reconocer que un hombre que concluye que un argumento no tiene realidad, porque se le ha escapado a su investigación, es culpable de imperdonable arrogancia.”

– David Hume

## A Anexos

Tabla 19: Matriz de consistencia

Título: " Estimación de Hietograma de diseño mediante inteligencia artificial en la cuenca Llochaccniyocc, Ayacucho, 2025"						
Autor: Elvis Armando Huamán Huamaní						
Matriz de consistencia						
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variables	Metodología	Población y muestra	Técnicas e Instrumentos de investigación
¿En qué medida los Hietogramas de diseño pueden estimarse, mediante inteligencia artificial en Chuschi, Ayacucho 2025?	Estimar los Hietogramas de diseño mediante inteligencia artificial en Chuschi, Ayacucho 2025.	El modelo de redes neuronales perceptrón multicapa pueden estimar los Hietogramas de diseño en la cuenca Llochaccniyocc, Ayacucho, 2025.	<b>Variable independiente</b> <b>Hietograma de diseño</b>	<b>Tipo de investigación</b> Investigación Cuantitativa. <b>Nivel de investigación</b> Descriptivo. <b>Enfoque de investigación</b> Cuantitativo. <b>Diseño de la investigación</b> longitudinal.	<b>Población :</b> En la presente investigación la población según la Autoridad Nacional del Agua (ANA), es la cuenca de e Pampas con un área de 23,113 km2 . <b>Muestra :</b> Para la muestra en la investigación se eligió el muestreo no probabilístico discreto por conveniencia, eligiendo la Microcuenca delimitada de Llochaccniyocc de una área de 5.9 km2	<b>Técnicas:</b> Análisis documental . <b>Instrumentos:</b> Registro.
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicos				
1 ¿ En qué medida pueden estimarse las precipitaciones máximas diarias anuales mediante inteligencia artificial en Chuschi, Ayacucho 2025?	Estimar las precipitaciones máximas mediante inteligencia artificial en Chuschi, Ayacucho 2025.	El modelo de redes neuronales perceptrón multicapa pueden estimar las precipitaciones máximas diarias anuales en la cuenca Llochaccniyocc, Ayacucho, 2025.				
2 ¿En qué medida pueden entrenarse las precipitaciones máximas diarias anuales , mediante inteligencia artificial en Chuschi, Ayacucho 2025?	Entrenar los datos de precipitaciones máximas diarias anuales , mediante inteligencia artificial en Chuschi, Ayacucho 2025.	El entrenamiento de los datos de precipitaciones máximas diarias anuales pueden determinar el modelo de redes neuronales perceptrón multicapa en la cuenca Llochaccniyocc, Ayacucho, 2025.				
3 ¿En qué medida pueden validarse las precipitaciones máximas diarias anuales , mediante inteligencia artificial en Chuschi, Ayacucho 2025?	Validar los datos de precipitaciones máximas diarias anuales , mediante inteligencia artificial en Chuschi, Ayacucho 2025.	La validación de los datos de precipitaciones máximas diarias anuales pueden determinar el modelo de redes neuronales perceptrón multicapa en la cuenca Llochaccniyocc, Ayacucho, 2025.				

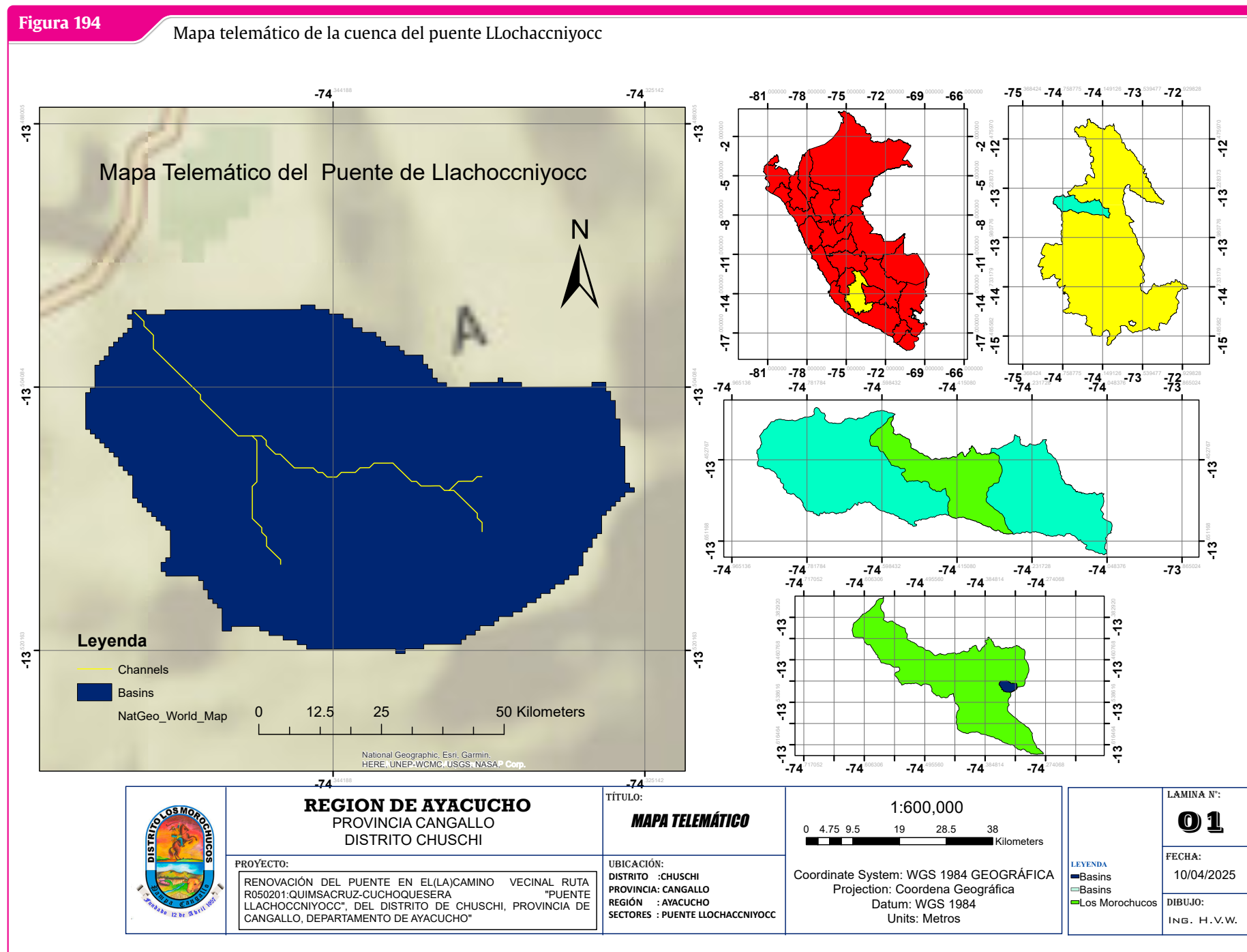
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20: Matriz de operacionalización de variables

Título : " Estimación de Hietograma de diseño mediante inteligencia artificial en la cuenca Llochacniyocc, Ayacucho, 2025"					
Autor : Elvis Armando Huamán Huamaní					
Matriz de operacionalización de variables					
Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Variables	Dimesiones	Indicadores
<b>Hietograma de diseño</b>	Un hietograma de diseño es una representación gráfica de la distribución de la intensidad de la precipitación a lo largo del tiempo durante una tormenta de diseño. Se utiliza en ingeniería hidrológica para modelar eventos extremos y diseñar infraestructuras hidráulicas, como drenajes pluviales, presas y sistemas de control de inundaciones.	La operacionalización de variables en un hietograma de diseño consiste en definir, medir y representar cuantitativamente los factores involucrados en la construcción del hietograma. Esto permite su aplicación en modelos hidrológicos y de diseño de infraestructura..	<b>Variable descriptiva</b> <b>Hietograma de diseño</b>	<b>Precipitación sintética</b>  <b>entrenamiento</b>  <b>validación</b>	Área (km <sup>2</sup> ) Perímetro (m) Altitud (m.s.n.m) Tiempo de concentración (Hrs)  Hietograma (mm) Precipitación (mm)

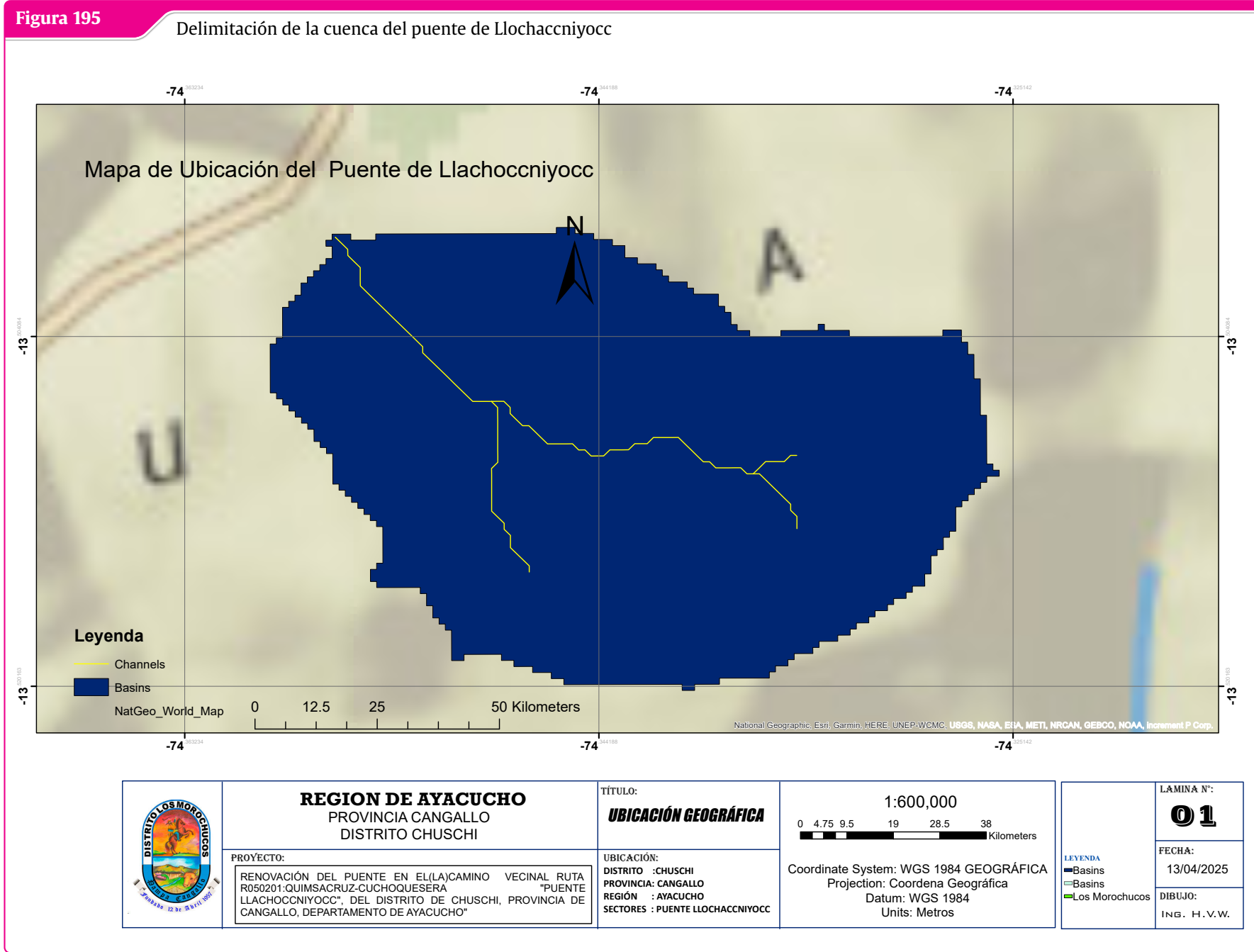
Fuente: Elaboración propia.

**A.1** Plano telemático de la cuenca Llochacniyocc



Fuente: Elaboración propia con ArcMap

**A.2** Planos de delimitación de la cuenca



Fuente: Elaboración Propia

**A.3 Muestreo para realización de calicatas en lecho del río****Figura 196**

Calicata realizada en el río para el cálculo de socavacion a través de la obtención de coeficiente de manning



**Fuente:** Elaboración Propia del levantamiento topográfico

**Figura 197**

Calicata en el lecho del río para obtención de coeficiente

de manning



**Fuente:** Elaboración Propia del levantamiento topográfico

**Figura 198**

Calicata en el lecho del río para obtención de coeficiente

de manning



**Fuente:** Elaboración Propia del levantamiento topográfico

Figura 199

Visita a campo de la cuenca Llochacniyocc



Fuente: Elaboración Propia

Figura 200

Visita a campo de la cuenca Llochacniyocc



Fuente: Elaboración Propia



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 067-2025-FIMGC

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

En la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga de la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 468-2025-FIMGC-D**, a los **diecinueve días del mes de diciembre de 2025**, siendo las **10:00 a.m.**, reunidos en el **Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil**, bajo la presidencia del **MSc. Ing. José Ernesto ESTRADA CÁRDENAS** y los miembros: **Ing. Edmundo CANCHARI GUTIÉRREZ**; **Ing. Saúl Walter RETAMOZO FERNÁNDEZ** y **Ing. Jaime Leonardo BENDEZÚ PRADO**, actuando como secretario docente el **Ing. Amílcar TACURI GAMBOA** para proceder a la sustentación de tesis para optar el **Título Profesional de Ingeniero Civil**, del bachiller:

**ELVIS ARMANDO HUAMAN HUAMANI**

Quien presentó la tesis denominada:

**“Estimación de Hietograma de diseño mediante inteligencia artificial en la cuenca Llochacenyoc, Ayacucho, 2025”**

Los señores miembros del jurado, luego de expuesta la tesis y absueltas las preguntas, deliberaron y declararon:

Aprobado con Dieciséis (16)

Siendo las **12:00 p.m.** del día **19 de diciembre de 2025**, culmina el acto de sustentación de tesis, y en conformidad con lo actuado, los miembros del jurado firman al pie del presente.

MSc. Ing. José Ernesto ESTRADA CÁRDENAS  
Presidente

  
Ing. Edmundo CANCHARI GUTIÉRREZ  
Miembro  
Ing. Saúl Walter RETAMOZO FERNÁNDEZ  
Miembro  
Ing. Jaime Leonardo BENDEZÚ PRADO  
Miembro - Asesor  
Ing. Amílcar TACURI GAMBOA  
Secretario docente de la FIMGC



## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### CONSTANCIA N° 03-2026-FIMGC/ASIH

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado con el software Turnitin, de la Escuelas Profesional de **Ingeniería Civil** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la **Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCU**, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y **Resolución Decanal N° 697-2024-FIMGC-UNSCU-D**, dejo constancia de originalidad de trabajo de investigación, que el/la Sr./Srta.

**Apellidos y Nombres** : Elvis Armando HUAMAN HUAMANI  
**Escuela Profesional** : INGENIERÍA CIVIL  
**Título de la Tesis** : " Estimación de Hietograma de diseño mediante inteligencia artificial en la cuenca Llochacccniyocc, Ayacucho, 2025"  
**Evaluación de la Originalidad** : 22 % Índice de Similitud  
**Identificador de la entrega** : 2877738224

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

En señal de conformidad y verificación se firma la presente constancia

Ayacucho, 12 de febrero del 2026



UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil

Mg. Ing. Alex Sander IRCANAUPA HUAMANI  
Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado  
Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil

# "Estimación de Hietograma de diseño mediante inteligencia artificial en la cuenca Llochaccniyocc, Ayacucho, 2025"

*por* Elvis Armando HUAMAN HUAMANI

---

**Fecha de entrega:** 12-feb-2026 02:23p. m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2877738224

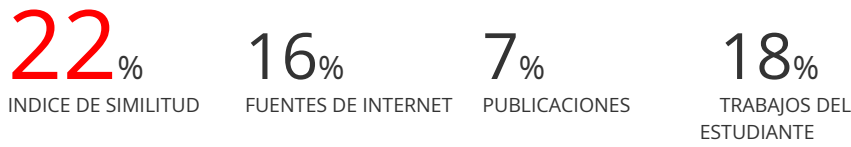
**Nombre del archivo:** Te\_Elvis\_Armando\_Huaman\_Huamani.pdf (44.28M)

**Total de palabras:** 37407

**Total de caracteres:** 164344

# "Estimación de Hietograma de diseño mediante inteligencia artificial en la cuenca Llochacniyocc, Ayacucho, 2025"

## INFORME DE ORIGINALIDAD



## FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	14%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
3	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	María Jesús Chachero. "Estudio de precipitaciones en la ciudad de Trelew, análisis estadístico y ecuación de lluvia", Cuadernos del CURIHAM, 2012 Publicación	1%
5	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad de Piura Trabajo del estudiante	<1%
7	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Nacional de Tumbes Trabajo del estudiante	<1%
9	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1%
10	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1%
11	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1%
12	vdocuments.es Fuente de Internet	<1%

13	<a href="http://clei2004.spc.org.pe">clei2004.spc.org.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://mriuc.bc.uc.edu.ve">mriuc.bc.uc.edu.ve</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://oa.upm.es">oa.upm.es</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
17	Submitted to Universidad Anahuac México Sur Trabajo del estudiante	<1 %
18	<a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	<1 %
19	<a href="http://fdocumentos.tips">fdocumentos.tips</a> Fuente de Internet	<1 %
20	<a href="http://repositorio.lamolina.edu.pe">repositorio.lamolina.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
21	Dairon Iglesias Guevara, Maribel Pino Hernández, Alicia Casariego Año, Marcos A. González Correa, Maikel Negrín Hernández. "Redes neuronales artificiales para la modulación predictiva de la permeabilidad al vapor de agua de películas de quitosana con arcilla", Nexa Revista Científica, 2023 Publicación	<1 %
22	<a href="http://repositorio.udh.edu.pe">repositorio.udh.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
23	<a href="http://www.polodelconocimiento.com">www.polodelconocimiento.com</a> Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo