

## Tabla de Contenido

|   |    |
|---|----|
| Introducción.....   | 1  |
| 1.1.- Motivación .....  | 1  |
| 1.2.- Objetivos.....  | 2  |
| 1.3.- Organización del Documento .....                          | 2  |
| 2.- Revisión Bibliográfica.....                                 | 3  |
| 2.1.- Actualización del balance hídrico nacional (2017).....    | 3  |
| 2.2.- Pronósticos de Caudales de Deshielo: Estado del Arte..... | 5  |
| 2.3.- Cambio Climático .....                                    | 7  |
| 2.3.1.- Primeros Acercamientos .....                            | 7  |
| 2.3.2.- Modelos de circulación global .....                     | 9  |
| 2.4.- Redes Neuronales Artificiales.....                        | 11 |
| 2.4.1.- Neurona.....  | 12 |
| 2.4.2.- Arquitectura de las redes neuronales artificiales ..... | 14 |
| 2.4.3.- Ventajas de las RNA.....                                | 15 |
| 2.4.4.- Aprendizaje o Entrenamiento de RNA .....                | 16 |
| 2.4.5.- Redes neuronales secuenciales .....                     | 17 |
| 2.5.- Modelo Variable Infiltration Capacity (VIC) .....         | 18 |
| 2.6.- Análisis de Componentes Principales .....                 | 22 |
| 2.7.- Métricas de Evaluación .....                              | 24 |
| 2.7.1.- Error porcentual.....                                   | 24 |
| 2.7.2.- Normalized Mean Squared Error (NMSE) .....              | 25 |
| 2.7.3.- Nash-Sutcliffe Model Efficiency (NSE).....              | 25 |
| 2.7.4.- Kling-Gupta Efficiency.....                             | 25 |
| 2.7.5.- Criterio de información de Akaike .....                 | 26 |
| 2.8.- Validación cruzada.....                                   | 26 |
| 3.- Metodología.....  | 27 |
| 4.- Zona de Estudio .....                                       | 29 |
| 5.- Resultados.....   | 35 |
| 5.1.- Análisis de las variables del modelo VIC.....             | 35 |
| 5.2.- Determinación de los Predictores.....                     | 40 |
| 5.2.1.- Datos de adicionales para el Entrenamiento .....        | 41 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| 5.3.-       | Pronóstico del periodo de deshielo 2020-2050 .....               | 44  |
| 5.3.1.-     | Bases del Pronóstico y definición de Modelos de pronóstico ..... | 44  |
| 5.3.2.-     | Pronóstico Semanal.....  | 45  |
| 5.3.3.-     | Pronóstico Mensual .....   | 52  |
| 5.3.4.-     | Pronóstico Semestral.....  | 59  |
| 5.4.-       | Desempeño de las RNA por GCM.....                                | 62  |
| 5.4.1.-     | Nivel Semanal .....  | 62  |
| 5.4.2.-     | Nivel Mensual .....  | 65  |
| 5.4.3.-     | Nivel Semestral .....  | 67  |
| 5.5.-       | Bandas de Incertidumbre .....                                    | 67  |
| 6.-         | Análisis de los resultados .....                                 | 69  |
| 7.-         | Conclusiones .....   | 71  |
| 8.-         | Bibliografía .....   | 72  |
| 9.-         | Anexos.....  | 75  |
| Anexo A.    | Análisis de las forzantes y Variables VIC.....                   | 75  |
| Anexo B.    | Ranking de los conjuntos de variables aleatorias .....           | 83  |
| Anexo C.    | Valores conocidos de variables para el pronóstico.....           | 86  |
| Anexo D.    | Resultados del pronóstico .....                                  | 87  |
| Anexo E.    | Desempeño del Pronóstico .....                                   | 90  |
| Anexo F.    | Errores del Pronóstico por temporada y modelo. ....              | 97  |
| Anexo G.    | Matrices de Correlación .....                                    | 109 |
| Anexo H.    | Anexo Digital .....  | 114 |
| Apéndice A. | Algoritmos de Entrenamiento de RNA .....                         | 115 |
| Apéndice B. | MATLAB .....   | 121 |