



**MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LARGO PLAZO EN LA CUENCA BAJA DEL
RÍO MAGDALENA**

ERNESTO RICARDO DE LA PARRA TOVAR

JESÚS ISAAC TURIZO MARTÍNEZ

Universidad de la Costa CUC

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Programa de Ingeniería Civil

Barranquilla, Colombia

2020

**MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LARGO PLAZO EN LA CUENCA BAJA DEL
RÍO MAGDALENA**

Ernesto Ricardo De la Parra Tovar

Jesús Isaac Turizo Martínez

Trabajo de grado presentado para optar por el título de:

Ingeniero Civil

Tutor:

Ing. César Cardona Almeida

Co-Tutor:

Ing. Fausto Canales Vega

Universidad de la Costa CUC

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Programa de Ingeniería Civil

Barranquilla, Colombia

2020

Dedicatoria

Dedicamos el presente trabajo de grado a Dios y todas las personas que nos apoyaron, a nuestros familiares y amigos quienes nos dieron apoyo emocional, que nos animaron y alentaron cuando queríamos desistir, a nuestros docentes que depositaron su confianza en nosotros y que hicieron posible la culminación de este trabajo de grado.

Agradecimientos

Expresamos nuestra gratitud a Dios, quien nos dio y ungió con su bendición y discernimiento y fue el guía en todo nuestro proceso. Expresamos un agradecimiento muy especial al Ing. César Cardona Almeida, quien fue nuestro tutor del trabajo de grado y al Ing. Fausto Canales Vega, quien fue nuestro co- tutor, ambos nos compartieron de su tiempo y conocimiento para la elaboración del presente trabajo de grado.

Agradecemos profundamente a nuestros padres, quienes desde un inicio de la carrera creyeron en nosotros y estuvieron en los momentos felices, tristes y de angustia dándonos fuerzas para perseguir nuestro sueño.

Resumen

Un pronóstico de largo plazo de los niveles del río es beneficioso para las entidades encargadas de la preparación de medidas de control, prevención del riesgo de inundaciones, como también para otras entidades interesadas en estos pronósticos de niveles a largo plazo. El objetivo de este proyecto de investigación es implementar un modelo hidrológico de largo plazo, estos modelos se realizarán a través del uso de la función ARIMA en su forma “AR” o auto regresiva, también se implementará el modelo basado en una red neuronal artificial (RNA) de tipo perceptrón multicapa, al implementar estos dos modelos se busca medir su eficiencia por medio del coeficiente de eficiencia NSE, su error cuadrático RMSE, finalmente el análisis Mann-Kendall el cual permitirá identificar conjuntos de tendencias en los datos de entrada de nivel del río obtenidos por medio de la base de datos del IDEAM, cada uno de estos parámetros serán de ayuda para definir qué modelo de pronóstico presenta un mejor comportamiento en relación a su dato real, se plantearan discusiones y conclusiones a partir de estos pronósticos arrojados y los parámetros usados para medir su eficiencia y error.

Palabras clave: Pronóstico, Nivel, Arima, RNA, Modelo, Hidrológico, Datos, Tendencia

Abstract

A long term forecast of river levels is beneficial for entities in charge of preparing control measures, flood risk prevention, as well as for other entities interested in these long term level forecasts. The objective of this research project is to implement a long term hydrological model, these models will be made through the use of the ARIMA function in its "AR" or auto-regression form, also the model based on an artificial neural network (RNA) of multilayer perception type will be implemented, when implementing these two models it is sought to measure their efficiency by means of the coefficient of efficiency NSE, its quadratic error RMSE, finally, the Mann-Kendall analysis will identify sets of trends in the input data obtained from the IDEAM database, each of these parameters will help to define which forecast model has a better behavior in relation to its real data. Discussions and conclusions will be drawn from these forecasts and the parameters used to measure their efficiency and error.

Keywords: Forecast, Level, Arima, RNA, Model, Hydrological, Data, Trend

Contenido

Lista de tablas y figuras10

Introducción15

 Planteamiento del problema16

 Justificación.....17

 Objetivos18

 Objetivo general18

 Objetivo específico18

 Alcance.....18

Antecedentes19

Marco Teórico.....21

 Modelación Hidrológica.....21

 Pronóstico Hidrológico23

 Pronóstico A Largo Plazo24

 Prueba Mann- Kendall26

 Arima.....27

 Red Neuronal (Perceptron Multicapa)28

Metodología30

 Zona de estudio30

 Aspectos físicos e hidrométricos cuenca baja del río magdalena.....30

Obtención De Datos	32
Estación El Banco (25027020)	32
Estación Barbosa (25027530).....	33
Creación De Modelos.....	34
Modelo Basado En Arima.....	36
Modelo Con Red Neuronal Perceptron Multicapa.....	38
Resultados	40
Modelo arima en su forma “AR”	41
Estación Barbosa (25027530).....	41
Estación El Banco (25027020)	48
Modelo RNA- multicapa perceptron.....	55
Estación Barbosa (25027530).....	55
Estación El Banco (25027020)	62
Errores Relativos	69
Prueba Mann- Kendall	71
Análisis Y Discusión De Resultados.....	71
Conclusiones	80
Anexos	82
Tablas De Datos	82
Modelo arima en su forma “AR”.....	82

Modelo RNA- Multicapa perceptron.....95

Código En “R Studio” De Modelo Arima.....108

Referencias.....111

Lista de tablas y figuras

Tablas

Tabla 1. Datos de pronóstico 2005 Estación Barbosa- ARIMA..... 41

Tabla 2. RMSE y NSE Global Estación Barbosa- ARIMA..... 47

Tabla 3. Datos de pronóstico 2005 Estación El Banco- ARIMA. 48

Tabla 4. RMSE y NSE Global Estación El Banco- ARIMA..... 54

Tabla 5. Datos de pronóstico 2005 Estación Barbosa- RNA..... 55

Tabla 6. RMSE y NSE Global Estación Barbosa- RNA. 61

Tabla 7. Datos de pronóstico 2005 Estación El Banco- RNA. 62

Tabla 8. RMSE y NSE Global Estación El Banco- RNA..... 68

Tabla 9. RMSE y NSE Modelo ARIMA- BARBOSA..... 72

Tabla 10. RMSE y NSE Modelo ARIMA- EL BANCO 73

Tabla 11. RMSE y NSE Modelo ARIMA- BARBOSA 74

Tabla 12. RMSE y NSE Modelo ARIMA- EL BANCO 75

Tabla 13. RMSE y NSE Modelo RNA- BARBOSA 76

Tabla 14. RMSE y NSE Modelo RNA- EL BANCO..... 76

Tabla 15. RMSE y NSE Modelo RNA- BARBOSA 78

Tabla 16. RMSE y NSE Modelo RNA- EL BANCO..... 78

Tabla 17. Datos de pronóstico 2006 Estación Barbosa- ARIMA..... 82

Tabla 18. Datos de pronóstico 2007 Estación Barbosa- ARIMA..... 83

Tabla 19. Datos de pronóstico 2008 Estación Barbosa- ARIMA..... 83

Tabla 20. Datos de pronóstico 2009 Estación Barbosa- ARIMA..... 84

Tabla 21. Datos de pronóstico 2010 Estación Barbosa- ARIMA..... 84

Tabla 22. Datos de pronóstico 2011 Estación Barbosa- ARIMA..... 85

Tabla 23. Datos de pronóstico 2012 Estación Barbosa- ARIMA.....	85
Tabla 24. Datos de pronóstico 2013 Estación Barbosa- ARIMA.....	86
Tabla 25. Datos de pronóstico 2014 Estación Barbosa- ARIMA.....	86
Tabla 26. Datos de pronóstico 2015 Estación Barbosa- ARIMA.....	87
Tabla 27. Datos de pronóstico 2016 Estación Barbosa- ARIMA.....	87
Tabla 28. Datos de pronóstico 2017 Estación Barbosa- ARIMA.....	88
Tabla 29. Datos de pronóstico 2018 Estación Barbosa- ARIMA.....	88
Tabla 30. Datos de pronóstico 2006 Estación El Banco- ARIMA.	89
Tabla 31. Datos de pronóstico 2007 Estación El Banco- ARIMA.	89
Tabla 32. Datos de pronóstico 2008 Estación El Banco- ARIMA	90
Tabla 33. Datos de pronóstico 2009 Estación El Banco- ARIMA	90
Tabla 34. Datos de pronóstico 2010 Estación El Banco- ARIMA	91
Tabla 35. Datos de pronóstico 2011 Estación El Banco- ARIMA	91
Tabla 36. Datos de pronóstico 2012 Estación El Banco- ARIMA.	92
Tabla 37. Datos de pronóstico 2013 Estación El Banco- ARIMA.	92
Tabla 38. Datos de pronóstico 2014 Estación El Banco- ARIMA	93
Tabla 39. Datos de pronóstico 2015 Estación El Banco- ARIMA.	93
Tabla 40. Datos de pronóstico 2016 Estación El Banco- ARIMA.	94
Tabla 41. Datos de pronóstico 2017 Estación El Banco- ARIMA.	94
Tabla 42. Datos de pronóstico 2018 Estación El Banco- ARIMA	95
Tabla 43. Datos de pronóstico 2006 Estación Barbosa- RNA.....	95
Tabla 44. Datos de pronóstico 2007 Estación Barbosa- RNA.....	96
Tabla 45. Datos de pronóstico 2008 Estación Barbosa- RNA.....	96

Tabla 46. Datos de pronóstico 2008 Estación Barbosa- RNA.....	97
Tabla 47. Datos de pronóstico 2009 Estación Barbosa- RNA.....	97
Tabla 48. Datos de pronóstico 2011 Estación Barbosa- RNA.....	98
Tabla 49. Datos de pronóstico 2012 Estación Barbosa- RNA.....	98
Tabla 50. Datos de pronóstico 2013 Estación Barbosa- RNA.....	99
Tabla 51. Datos de pronóstico 2014 Estación Barbosa- RNA.....	99
Tabla 52. Datos de pronóstico 2015 Estación Barbosa- RNA.....	100
Tabla 53. Datos de pronóstico 2016 Estación Barbosa- RNA.....	100
Tabla 54. Datos de pronóstico 2017 Estación Barbosa- RNA.....	101
Tabla 55. Datos de pronóstico 2018 Estación Barbosa- RNA.....	101
Tabla 56. Datos de pronóstico 2006 Estación El Banco- RNA.....	102
Tabla 57. Datos de pronóstico 2007 Estación El Banco- RNA.....	102
Tabla 58. Datos de pronóstico 2008 Estación El Banco- RNA.....	103
Tabla 59. Datos de pronóstico 2009 Estación El Banco- RNA.....	103
Tabla 60. Datos de pronóstico 2010 Estación El Banco- RNA.....	104
Tabla 61. Datos de pronóstico 2011 Estación El Banco- RNA.....	104
Tabla 62. Datos de pronóstico 2012 Estación El Banco- RNA.....	105
Tabla 63. Datos de pronóstico 2013 Estación El Banco- RNA.....	105
Tabla 64. Datos de pronóstico 2014 Estación El Banco- RNA.....	106
Tabla 65. Datos de pronóstico 2015 Estación El Banco- RNA.....	106
Tabla 66. Datos de pronóstico 2016 Estación El Banco- RNA.....	107
Tabla 67. Datos de pronóstico 2017 Estación El Banco- RNA.....	107
Tabla 68. Datos de pronóstico 2018 Estación El Banco- RNA.....	108

Figuras

Figura 1. Tabla de significancia para valores de Z.27

Figura 2. Estructura RNA PM29

Figura 3. Ubicación geográfica cuenca baja del rio magdalena..31

Figura 4. La Mojana, División Administrativa.....31

Figura 5. Ubicación Geográfica Banco Magdalena.....33

Figura 6. Ubicación geográfica Barbosa.....34

Figura 7. Entorno de trabajo R studio.....36

Figura 8. Diagrama MODELO ARIMA.....38

Figura 9. Diagrama MODELO RNA (PERCEPTRON MULTICAPA)40

Figura 10. Real vs Pronóstico 2005 Estación Barbosa- ARIMA.....42

Figura 11. Real vs Pronóstico 2006- 2011 Estación Barbosa- ARIMA45

Figura 12. Real vs Pronóstico 2012- 2017 Estación Barbosa- ARIMA.46

Figura 13. Real vs Pronóstico 2008 Estación Barbosa- ARIMA.....47

Figura 14. Real vs Pronóstico 2005 Estación El Banco- ARIMA.....49

Figura 15. Real vs Pronóstico 2006- 2011 Estación El Banco- ARIMA.....52

Figura 16. Real vs Pronóstico 2012- 2017 Estación El Banco- ARIMA.....53

Figura 17. Real vs Pronóstico 2018 Estación El Banco- ARIMA.....54

Figura 18. Real vs Pronóstico 2005 Estación Barbosa- RNA.56

Figura 19. Real vs Pronóstico 2006- 2011 Estación Barbosa- RNA.59

Figura 20. Real vs Pronóstico 2012- 2017 Estación Barbosa- RNA.60

Figura 21. Real vs Pronóstico 2018 Estación Barbosa- RNA.61

Figura 22. Real vs Pronóstico 2005 Estación El Banco- RNA.....63

Figura 23. Real vs Pronóstico 2006- 2011 Estación El Banco- RNA.....	66
Figura 24. Real vs Pronóstico 2012- 2017 Estación El Banco- RNA.	67
Figura 25. Real vs Pronóstico 2018 Estación El Banco- RNA.....	68
Figura 26. Tabla global de sumatoria de errores relativos.....	70
Figura 27. Tabla de resultados, test Mann- Kendall	71

Introducción

Los modelos hidrológicos influyen determinantemente en la toma de decisiones de una manera rápida y confiable. Predecir los cambios de niveles del río tiene un aporte significativo en varias aplicaciones de la ingeniería, la programación de operaciones en navieras por ejemplo está ligada en gran parte a los niveles del río, donde, un pronóstico confiable permitirá aprovechar de modo eficiente los recursos para cumplir con las actividades programadas en el tiempo establecido. Asimismo, un pronóstico adecuado, mejora la calidad de vida de poblaciones vulnerables al prevenir desastres en zonas inundables. La zona de estudio corresponde a la cuenca baja del Río Magdalena, comprendida por 57 municipios de la región Caribe, siendo la cuenca que más densidad poblacional registra, con un valor de 166.7 habitantes por km², ésta correspondiente a los departamentos de Bolívar, Magdalena, Atlántico, Cesar y Sucre (Cormagdalena, 2016).

La gran mayoría de modelos hidrológicos son desarrollados a corto plazo, debido a que tienen una mayor precisión en la predicción de datos, y generalmente son realizados para simulación de fenómenos, los cuales teniendo como objetivo la comprobación de una hipótesis o una teoría científica describe el comportamiento de un fenómeno en un corto lapso de tiempo. El pronóstico de series de tiempo hidrológicas de mediano a largo es propicio para la gestión de los recursos hídricos, la operación de embalses, suministro de energía y producción hidroeléctrica. Como resultado, la predicción de flujo a resolución mensual ha atraído una gran atención en las últimas décadas, y un grupo de modelos de pronóstico ha sido desarrollado por académicos de todo el mundo (Niu, W., y otros, 2019).

Los modelos hidrológicos a largo plazo son usados ampliamente para la creación de pronósticos de humedad del suelo, predicción de lluvia-escorrentía, modelos de precipitación,

determinación de caudales y pronóstico de niveles del río; estos se clasifican en dos grandes áreas, modelos físico-matemáticos y estocásticos, los modelos estocásticos con la estructura del azar observada en ciertas series hidrológicas temporales, por ejemplo, flujos diarios de corriente en cuencas de tamaño medio. El desarrollo de modelos estadísticos requiere invariablemente el uso de datos; los modelos estocásticos enfatizan sobre las características estocásticas de los procesos hidrológicos (PONCE, 1989). A partir de los resultados de la búsqueda en la base de datos ESCOPUS, para modelos hidrológicos desde el 2006 se presentó un auge en la investigación acerca de los modelos hidrológicos a largo plazo debido a la necesidad de la planificación de operaciones que permitieran el aumento de la productividad de organizaciones, por otra parte, la preparación de mecanismos de control (Chengguang, y otros, 2019).

Este estudio tiene como propósito general presentar los resultados de dos modelos de pronóstico de niveles del río a largo plazo, en dos estaciones de estudio en la cuenca baja del río Magdalena, implementado un modelo ARIMA en su forma “AR” y otro modelo con el uso de una red neuronal artificial de tipo perceptron multicapa.

Planteamiento del problema

Los desastres naturales asociados al aumento o disminución de niveles del río han generado grandes pérdidas económicas, ambientales y de vidas humanas (Domínguez Calle & Lozano Báez, 2014). La programación de operaciones navieras y la implementación de sistemas de alertas tempranas, así como la gestión y operación de acueductos, sistemas de riego, controles de dragado. La preparación de medidas de control de navegación, puertos y demás instituciones interesadas de la zona para eventos hidrológicos extremos asociadas al nivel en la cuenca baja del río, como inundaciones y sequías, son útiles para aportar rapidez, eficacia y gran aporte a la

economía. La prevención de inundaciones es importante, ayudando a mitigar una posible amenaza en la variación de niveles de río.

Para tal fin se requieren datos de niveles arrojados por modelos capaces de entregar un pronóstico a largo plazo los cuales no comunes, por lo que se opta por el uso de modelos hidrológicos a largo plazo, que buscan ofrecer información sobre el comportamiento probable con antelación de un pronóstico de niveles del río con cierto margen de incertidumbre en las simulaciones arrojadas.

Justificación

El modelamiento hidrológico es de importancia al momento de asesorar la toma de decisiones y dar avisos de precaución en zonas propensas a inundaciones. Sin embargo, deben cada vez más aumentar el dialogo e interacción interna en pro de la maximización de impactos y beneficios, por ello el entendimiento de las dinámicas entre sociedad, entorno natural y recurso hídrico (Cormagdalena, 2016).

En la actualidad, con el empleo de estos modelos, es posible manejar hipótesis suficientemente realistas o previsibles que ofrezcan un cierto grado de confianza para la toma de decisiones (Estrada, V. & Pacheco, R, 2002). Conglomerados económicos ven el modelamiento hidrológico como una herramienta que puede ser usada para calcular los niveles del río basada en las necesidades de los involucrados; en donde influyen factores bastante arraigados a la economía. Dicho de otro modo, las predicciones del modelo hidrológico les permiten a distintas organizaciones tomar e implementar mejores decisiones.

El modelamiento hidrológico a corto plazo es bastante aceptable al momento de predecir los niveles del río a varios días con los datos disponibles de la cuenca del río y datos históricos,

pero no lo hace muy factible a las necesidades de navieras, organismos de control debido a su alcance limitado de predicción. La caracterización hidrológica de una cuenca está definida principalmente por sus variables hidrometeorológicas, las cuales están siendo afectadas al cambio climático y sus consecuencias (Reyes Benavides, 2012). Dado esto, el modelo hidrológico a largo plazo permite la preparación de medidas de control y la programación de operaciones teniendo en cuenta los datos de nivel arrojados por la simulación del modelo hidrológico.

Objetivos

Objetivo general

Implementar un modelo hidrológico-a largo plazo del Río Magdalena, que permita simular los niveles del río en diferentes puntos de su cuenca baja, de este modo, se propicia una mejor gestión de las instituciones, organismos de control y demás interesados en la obtención de un modelo de pronóstico de niveles a largo plazo del río Magdalena.

Objetivo específico

- Analizar resultados de los modelos de pronóstico hidrológicos a largo plazo realizados.
- Implementar un modelo probabilístico conceptual y computacional del comportamiento de los niveles del río en las estaciones de nivel seleccionadas.
- Estudiar las simulaciones de nivel a partir de los modelos de pronóstico y estudio de escenarios el modelo hidrológico construido.

Alcance

Esta investigación se basa y limita solo a la implementación y/o uso del modelo probabilístico ARIMA en su forma AR, y en la implementación de una red neuronal de tipo

perceptron multicapa bajo la herramienta de software WEKA, cuyo uso tendrá la finalidad de dar como producto un pronóstico anual de niveles del Río Magdalena en su cuenca baja, en donde la zona de estudio específica comprende las ubicaciones de las estaciones de nivel, BARBOSA y EL BANCO, ubicadas en los departamentos de Bolívar y Magdalena, respectivamente. Además, se encuentra el valor de los parámetros NSE y RMSE para cada pronóstico, de este modo, se permite realizar un análisis que deduzca su viabilidad en esta área de estudio.

En esta investigación se dispondrá técnicas de predicción que presenten como fundamento teórico principal el uso de modelos estocásticos, no creará una red neuronal artificial desde cero, es decir se usará una red cuyo código se encuentre en las librerías de la herramienta de software, no se desarrollará modelos de inteligencia artificial como lógica difusa y árboles de regresión. No se contará con el aporte de leyes físicas, parámetros y variables asociadas a los modelos hidrológicos e hidráulicos del río, al igual que, ningún otro factor asociado a cambios climáticos e hidrometeorológicos. Esto, debido a que el modelo de pronóstico estocástico por la naturaleza de los datos que usa para la simulación de cada modelo de pronóstico (AR y RNA), cuenta con estas variables en su componente teóricamente, de este modo, incluyen de manera intrínseca acopladas todas estas consideraciones, lo cual permite un manejo más óptimo y sencillo. Por último, esta investigación solo se limita a la implementación de un modelo probabilístico, con la finalidad de obtener un pronóstico, y no la elaboración de algún tipo de producto que permitan la identificación de zonas de riesgo.

Antecedentes

En Colombia se han venido presentado algunos estudios concernientes a la creación de modelos de pronósticos para algunos días, en el año 2009, se plantea en una investigación de dos diferentes sectores de la cuenca hidrográfica del río Magdalena para realizar pronósticos a corto

plazo de los niveles del río. Se adopta un enfoque de sistemas adaptativos guiados por datos, en el cual se comparará el desempeño de diferentes modelos como Redes Neuronales Artificiales (RNA), Sistemas de Inferencia Difusa (SID), en donde se concluye que el uso de sistemas adaptativos basados en conocimiento es una alternativa viable para realizar pronósticos de los niveles del río Magdalena a corto plazo de 1 a 3 días (CAMELO, 2009) *“Viabilidad para pronósticos hidrológicos de niveles diarios, semanales y decadales en Colombia, presentada por Efraín Antonio Domínguez Calle, Héctor Angarita y Hebert Rivera”* (E. Dominguez, 2010), estudia la viabilidad de los modelos de pronósticos diarios en la mayor parte de la estaciones dispuesta por el IDEAM. Esta viabilidad se determina a través de un conjunto de criterios de desempeño en donde los autores del artículo recomiendan recomienda la aplicación de combinaciones lineales adaptativamente óptimas (CLAO) como operador viable para la configuración de un sistema de pronóstico hidrológico en tiempo real de niveles diarios, semanales y decadales.

En conclusión, se muestra que los pronósticos de niveles diarios, semanales y decadales tienen una viabilidad de pronóstico satisfactoria para el 70% de los casos estudiados (E. Dominguez, 2010). Recientemente en año 2019, se planteó a partir de un modelo en series de tiempo SARIMA, una herramienta de pronóstico no mayor a 3 semanas, que permita con un grado de certeza confiable pronosticar los niveles del río Magdalena a la altura del municipio de Barrancabermeja, en donde la totalidad de los pronósticos se ubicaron en las bandas de confianza del 80%-95%, garantizando una fiabilidad adecuada para el modelo buscado en la investigación (DÍAZ, 2019).

Diversos autores han realizado investigaciones acerca de los modelos de pronósticos de regresión a largo plazo, en el año 2010 presenta un modelo de regresión no lineal y afirma que su

metodología aplicada es mucho mejor que las redes neuronales artificiales (Di , zhongbo, & Lv , 2010). En este estudio se utilizó el tipo de modelo SVM de regresión no lineal con el objetivo de predecir una serie temporal de datos a partir de una regresión no lineal. Durante el 2012 se empiezan a implementar metodologías para modelos hidrológicos a un mes de pronóstico, realizando una comparación de la predicción de a partir de modelos de media móvil integrada auto-regresiva y redes neuronales artificiales (Jordan-Elman). Para el año 2017, la plataforma de datos estadísticos “R” incluye un nuevo paquete llamado airGR, el cual permite incluir criterios de eficiencia o algoritmos de calibración para tener una mejor precisión del pronóstico de los datos. El paquete airGR fue diseñado para implementar fácilmente los modelos hidrológicos GR desarrollados en Irstea dentro de la plataforma R. El paquete incluye una serie de funciones para la preparación de datos, simulación de modelos, optimización de parámetros y vista previa de resultados (Chengguang, y otros, 2019).

La calibración y validación de los modelos hidrológicos a largo plazo se tienen en cuenta en la mayoría de artículos, se emplea un parámetro llamado RMSE (distancia media cuadrática mínima) con la que determinan la eficiencia del modelo desarrollado. Los resultados indican que ANFIS, GP y SVM pueden obtener el mejor rendimiento en términos de diferentes criterios de evaluación durante las fases de capacitación y validación (Xiao ling, Xiao hua , Li , & Chuan hai, 2014).

Marco Teórico

Modelación Hidrológica

La hidrología que se conoce como la ciencia que estudia las aguas, circulación, distribución y propiedades ya sean químicas y físicas además de su interacción con el medio ambiente. Su premisa básica es que el agua dulce es un recurso limitado y vulnerable, esencial

para la vida, el desarrollo y medio ambiente (GARCIA & GARCIA, 2014; Ven Te Chow, Maidment, & Mays, 2000). La modelación hidrológica trata de representar simplificada los fenómenos observados dentro de un sistema hidrológico, dependiendo de todas las variables que estén involucradas en el área de estudio. La modelación hidrológica es una herramienta de gran importancia para el estudio de avenidas que se ha extendido por todo el mundo, fundamentalmente en países desarrollados (Estrada, V. & Pacheco, R, 2002).

El modelo hidrológico como una representación simplificada de un sistema real complejo llamado prototipo, bajo forma física o matemática. De manera matemática, el sistema real está representado por una expresión analítica. En un modelo hidrológico, el sistema físico real que generalmente se representa con una cuenca hidrográfica y cada uno de los componentes del ciclo hidrológico. De esta manera un modelo matemático nos ayudará a tomar decisiones en materia de hidrología, por lo que es necesario tener conocimiento de entradas y salidas a partir del sistema, para verificar si el modelo es representativo del prototipo. La salida de los modelos hidrológicos varía dependiendo de las metas y objetivos del modelo. (IDEAM, 2014).

La modelación hidrología se basa en distintos tipos de herramientas conceptuales para lograr una representación aceptable de la realidad en el modelo. Siendo tradicionalmente en el campo de la hidrología usar modelos que se clasifican en deterministas y estocásticos, soportando esta división en los principios matemáticos y físicos que definen la dinámica de los procesos hidrológicos. Además de clasificar los modelos en deterministas y estocásticos se agregan otras características como las lineales, no lineales, sencillos o complejos, con parámetros agregados (concentrados) o distribuidos, entre otras (GARCIA & GARCIA, 2014). Dependiendo del tipo de conjunto de datos y resultados que se tengan y se deseen al modelar el prototipo del

modelo se determina cuál de los modelos clasificatorios ya sean determinísticos o estocásticos es el adecuado para implementarlo.

Pronóstico Hidrológico

El pronóstico hidrológico es una estimación cuantitativa de una o varias variables a futuro que componen un modelo hidrológico, conformando una serie temporal. La modelación de pronósticos hidrológico está dada por el tipo de clasificación, ya sean determinísticos o estocásticos. Un modelo determinista describe el comportamiento del ciclo hidrológico o una fracción de este en forma de expresiones analíticas que relacionan las interacciones físicas entre sus componentes (Fernández Mejuto, Vela Mayorga, & Castaño Fernández). Los tipos de modelos deterministas se definen según el grado de conocimiento que el modelador tenga de las leyes físicas que rigen el sistema estudiado (Fernández Mejuto, Vela Mayorga, & Castaño Fernández) (GARCIA & GARCIA, 2014). Cuando este conocimiento es muy pequeño o incluso nulo se establecen relaciones matemáticas que a unos determinados valores de las variables de entrada hacen corresponder a otros para las variables de salida. Las relaciones matemáticas se establecen por calibración sin que se conozca de qué forma pueden ser relacionadas las variables. Estos modelos reciben el nombre de modelos empíricos o de caja negra, La ventaja de este tipo de modelos es la facilidad de su uso, mientras que como inconvenientes principales tiene la imposibilidad de extrapolar un modelo empírico a zonas o condiciones distintas y el poco conocimiento que aporta el sistema (GARCIA & GARCIA, 2014).

Por otra parte, entran a colación los modelos estocásticos, estos se caracterizan por no tener suficientes bases físicas expresando en términos de probabilidad el resultado de los procesos de la dinámica hidrológica altamente aleatorios. Los modelos estocásticos de simulación más conocidos son: Modelos de Regresión Lineal, Modelos Auto-regresivos,

Modelos de ruido Fraccionado y Modelos ARIMA. Un modelo matemático que representa un proceso estocástico se le denomina también modelos de series de tiempo. Este modelo tiene una estructura matemática y un conjunto de parámetros. (Estrela, 1992)

Los modelos estocásticos generalmente pueden ser descritos con la siguiente ecuación,

$$Y = f(Y_{t-1}, Y_{t-2} \dots Y_{t-n}, X_t, X_{t-1}, \dots, X_{t-m}, \theta) + \varepsilon_t \quad \text{Ecuación 1}$$

En dónde:

Y_{t-i} : Vector de salida

X_{t-1} : Vector de entrada

θ : Vector de parámetros del modelo

ε_t : Vector de residuos o errores en el instante t

Pronóstico A Largo Plazo

Existen pronósticos a corto mediano y a largo plazo, se distinguen el uno de otro en cuanto a la precisión de sus predicciones, a mayor tiempo de predicción obtendremos un mayor error o incertidumbre debido a la complejidad del modelo y como mencionamos la predicción o el tiempo a predecir (OMM , 2006). De acuerdo con el reglamento técnico (OMM-Nº 49), se establece la siguiente clasificación:

- a) predicciones hidrológicas a corto plazo, que abarcan períodos de hasta dos días
- b) predicciones hidrológicas a medio plazo, que comprenden períodos de entre 2 y 10 días
- c) predicciones hidrológicas a largo plazo, que abarcan períodos superiores a 10 días.

Los pronósticos hidrológicos a largo plazo no tienen un parámetro establecido en cuanto su modelo, es por esto que permite integrar un sin número de variables y estratégicas que permitan la obtención de resultados prometedores, buscando principalmente obtener la mayor precisión en cada predicción (E. Dominguez, 2010). Evalúan tres métodos hidrológicos entre ellos ARMA, un modelo autoregresivo y de media móvil. Los modelos que se estudian por la técnica de Box-Jenkins pueden o no incluir variaciones estacionales y operan sobre series estacionarias, es decir, series en las cuales el promedio y la varianza permanecen relativamente constantes a través del tiempo. Cuando las series de tiempo no cumplen con tales características suelen emplearse transformaciones que las tornan en estacionarias (Sánchez, 2016). Continuando con la afirmación hecha en el análisis de la metodología empleada en este modelo también se resalta que; La gráfica de la variable objeto de estudio a través del tiempo, generalmente permite reconocer la presencia o ausencia de estacionariedad. A grandes rasgos, una serie de registros que muestre tendencia denota variaciones del promedio, y una que exhiba mayor o menor amplitud, cambios de la varianza; en uno u otro caso la serie no es estacionaria, es relevante observar el comportamiento de las gráficas dado que determinar si hay o no estacionalidad obliga o encamina a búsqueda de alternativas acordes a esto.

El modelo ARIMA (autoregressive integrated moving average) es el más usado para la predicción de pronósticos a largo plazo, posee facilidad para buscar patrones de predicción de series temporales (Shalamu ABUDU, 2010). El proceso de modelado ARIMA es sencillo y refleja la estocasticidad de los procesos de flujo, expresándolos de manera simple y explícitamente en ecuaciones matemáticas, lo que no es posible en modelos de redes neuronales. Por lo tanto, Los modelos ARIMA son la opción razonable para el pronóstico de flujo con un mes de anticipación en el sitio de estudio para una mejor gestión del agua y del medio ambiente.

Prueba Mann- Kendall

Para el análisis de tendencias en series hidrometeorológicas es comúnmente usado el test no paramétrico de Mann-Kendall. Varios autores (Zbigniew W. Kundzewicz & Robson, 2000) describen y discuten métodos para el análisis de tendencias en series hidrometeorológicas, destacando su aplicación en estudios para la identificación de tendencias en series hidrometeorológicas y demás series ambientales en donde pueda implementarse. El test Mann-Kendall se puede describir matemáticamente de la siguiente manera, basado en el cálculo del estadístico del parámetro S definido como:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\text{Si } (x_j - x_i) > 0 \quad \text{sgn}(x_j - x_i) = 1$$

$$\text{Si } (x_j - x_i) = 0 \quad \text{sgn}(x_j - x_i) = 0$$

$$\text{Si } (x_j - x_i) < 0 \quad \text{sgn}(x_j - x_i) = -1$$

En donde:

n : Tamaño de la muestra

$(x_j - x_i)$: Son datos secuenciales

Para tamaños de muestra grandes, el estadístico S se distribuye aproximadamente normal con media cero y varianza:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n ti(ti-1)(2ti+5)}{18} \quad \text{Ecuación 3}$$

En donde:

$\sum_{i=1}^m ti(ti - 1)(2ti + 5)$ Indica que el termino se evaluado para los t grupos de lazos existentes en la serie.

$$\begin{cases} z = pVar S - 1(S) \text{ i f } S > 0 \\ z = 0 \text{ i f } S = 0 \\ z = pSVar + 1(S) \text{ i f } S < 0 \end{cases} \quad \text{Ecuación 4}$$

Se procede al rechazo de la hipótesis de no tendencia si Z el excede un percentil especificado de la distribución normal. Para el valor de Z arrojado se tiene una tabla que ayuda a la interpretación del test.

SIGNIFICANCIA	SIMBOLOGÍA	Z
Sin tendencia	ST	0
Tendencia significativa creciente	TSC	> + 1,96
Tendencia significativa decreciente	TSD	< - 1,96
Tendencia no significativa creciente	TNSC	< + 1,96
Tendencia no significativa decreciente	TNSD	> - 1,96

Figura 1. Tabla de significancia para valores de Z . Fuente: Alves et al, 2015.

Arima

El modelo ARIMA usado para el análisis de datos por distintos autores para el pronóstico de series temporales de precipitaciones y niveles, como (Mohammad Valipour , Mohammad Ebrahim Banihabib, & Mahmood Reza Behbahani, 2012).Teóricamente el modelo ARIMA basa su nombre en sus tres componentes AR, componente auto-regresivo, I, integrado, MA, medias móviles (Hernandez, 2009). El modelo se basa su funcionamiento describiendo un valor como una función lineal. El modelo tiene la forma (P, D, Q), “P” es el componente auto-regresivo, “D” componente integrada, “Q” media móvil. En algunos casos las series de tiempo son de tipo estacionaria o no estacionaria y son tratadas de manera distinta por el modelo. Para ajustar una

serie no estacionaria es necesario eliminar la fuerte variación no estacionaria. Si la serie de tiempo observada no es estacionaria en la media, lo cual implica que la serie presenta en su comportamiento una tendencia de tipo polinomial no determinista (no estacionariedad homogénea), tomando las diferencias de las series de tal forma de obtener una serie estacionaria (Quisbert, 1997).

Para la serie de datos trabajados en la investigación de tipo no estacionarios, el modelo implementado es de tipo autoregresivo “AR”. Describe una clase particular de proceso en que las observaciones en un momento dado son predecibles a partir de las observaciones previas del proceso más un término de error (Casimiro). Siendo el caso más simple del modelo ARIMA (1, 0, 0) o AR (1) o de primer orden, cuya expresión matemática es (Hernandez, 2009):

$$AR(1) \equiv X_t = \phi_1 X_{t-1} + a_t \quad \text{Ecuación 5}$$

El proceso autoregresivo de orden p, representado por ARIMA (p, 0, 0) o simplemente por AR (p):

$$AR(p) \equiv X_t = \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + \dots + \phi_p X_{t-p} + a_t \quad \text{Ecuación 6}$$

Red Neuronal (Perceptron Multicapa)

Las redes neuronales artificiales (RNA) son un conjunto de nodos interconectados, conformado por capas de entrada (input), salida (output) y en los casos que lo ameriten capas ocultas (GARCÍA, 2006). La red perceptrón multicapa es la estructura de red neuronal más utilizada, en particular la estructura de 2 capas en la que las unidades de entrada y la capa de salida están interconectadas con una capa oculta intermedia. El modelo de cada neurona de la red incluye una función de activación no lineal que es diferenciable, conocida como función sigmoidea; esta red puede realizar un mapeo estático entre un espacio de entrada y un espacio de

salida, procesando dicha información es capaz de predecir un conjunto de datos (Sainlez, 2011).

3.2.1. La red perceptrón multicapa pueden tener cualquier número de neuronas, mientras que el tamaño del vector de entrada y el número de neuronas de la capa de salida se seleccionan de acuerdo a las entradas y salidas de la red respectivamente. Todas las neuronas de cada capa deben tener la misma función de activación, pudiendo ser esta función, diferente a la de otras capas. Las funciones de activación usadas por el perceptrón multicapa son la función sigmoidea logarítmica, sigmoidea tangente hiperbólica o lineal (GARCÍA, 2006). Gráficamente a red neuronal perceptrón multicapa puede ser representada de la siguiente forma:

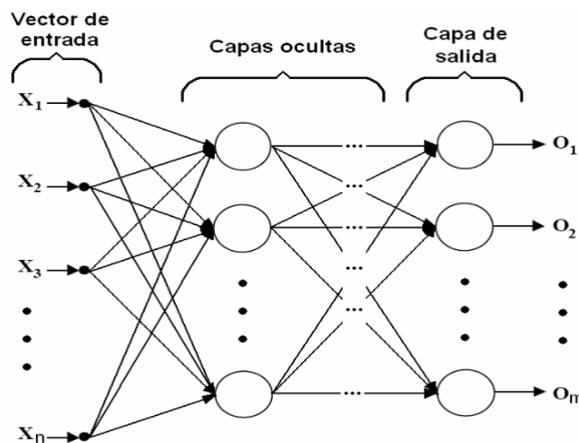


Figura 2. Estructura RNA PM, Fuente: (GARCÍA, 2006)

WEKA® es una plataforma que contiene una gran colección de algoritmos dedicados a al procesamiento y minería de datos Weka (Gallirallus australis) es un ave endémica de Nueva Zelanda que da nombre a una extensa colección de algoritmos de Máquinas de conocimiento desarrollados por la universidad de Waikato (Nueva Zelanda) implementados en Java, útiles para ser aplicados sobre datos mediante las interfaces que ofrece o para embeberlos dentro de cualquier aplicación (garzon, 2008) . Entre ellos un complemento llamado forecast, necesario para desarrollar la función encargada de administrar una librería de redes neuronales, usada en la presente investigación.

Metodología

Zona de estudio

Aspectos físicos e hidrométricos cuenca baja del río magdalena

La cuenca baja del río Magdalena una superficie de aproximadamente 73.300 km², con desembocadura en Bocas de ceniza, esta área se considera que comienza a partir del Banco Magdalena, cuenta con uno de los humedales más extensos de Colombia siendo este la Mojana, comprendida por 11 municipios de 4 departamentos, dentro de los que se encuentran Magdalena, Sucre, Bolívar y Antioquia, además en la Mojana confluyen los ríos Magdalena, Cauca y San Jorge. Esta cuenca cuenta con buenas condiciones de navegación durante todo el año, las lluvias se caracterizan por periodos de lluvias escasas y abundantes, en consecuencia, esto origina una variación de los caudales con una presencia de aguas bajas y altas. El poder cenagoso permite que exista un gran poder de regulación y amortización de los niveles y caudales del río. (Duffo, s.f.)



Figura 3. Ubicación geográfica cuenca baja del río Magdalena. Fuente: Diario la Republica.

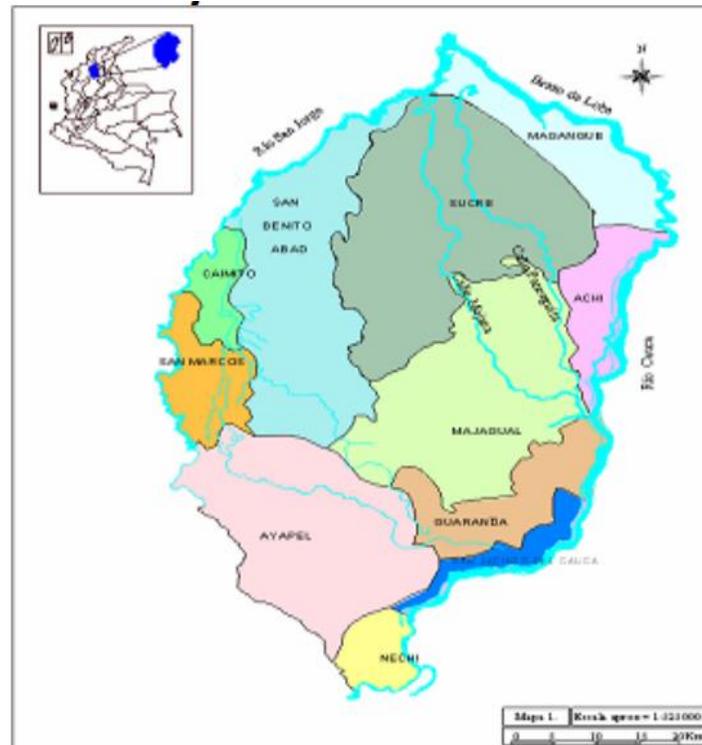


Figura 4. La Mojana, División Administrativa. Fuente: IGAC, CORPOICA/INAT.

En la parte baja del río las pendientes son menores, en consecuencia, el gradiente es casi que nulo, por lo cual hay un menor grado de excavación y de transporte, es por esto que la parte baja del río se convierte en un depositante de sedimentos. Debido a este factor mencionado anteriormente en la parte baja del río, la disminución del gradiente y paralelamente de la energía de este, trae como consecuencias en las zonas más bajas inundaciones con mayor probabilidad de ocurrencia. (Duffo, s.f.) En el año 2010 debido al fenómeno del niño la mayor parte de los pueblos ribereños estuvieron inundados, cuando esto sucede los niveles del río crecen de tal manera que arrastran todo a su paso e incluso sobrepasan la cubierta de las viviendas de algunas poblaciones.

Obtención De Datos

Se obtuvo la información de niveles del río a partir de los datos de las estaciones proporcionadas por IDEAM en su aplicativo web de fuente abierta (solo de la cuenca baja del río). Se extrajeron los datos de nivel mensual desde enero de 1973 a enero de 2018. Se trabajó con los datos de nivel mensual de la estación BARBOSA (Código de referencia 25027530) y la estación EL BANCO (Código de referencia 25027020), ubicadas en el municipio de Magangué, Bolívar y El banco, Magdalena respectivamente.

Estación El Banco (25027020)

Esta estación se encuentra ubicada en el Banco Magdalena más específicamente en la orillas del río Magdalena, su estación está clasificada en la categoría Limnigráfica, y cuenta con una tecnología Automática con Telemetría. Esta localidad se caracteriza por tener un tipo de terreno plano, tiene su máxima elevación en el cerro de cabrito, en este punto la elevación es 280 metros por encima del nivel del mar, cuenta con una temperatura promedio de 35° C, las

principales cienagas con que cuenta son la cienaga de Palomeque Chilloa y Zapatosa, estas cienagas cuentan con un tipo de vegetación hidrófita. (ALCALDIA MUNICIPAL DE EL BANCO, MAGDALENA, 2018)

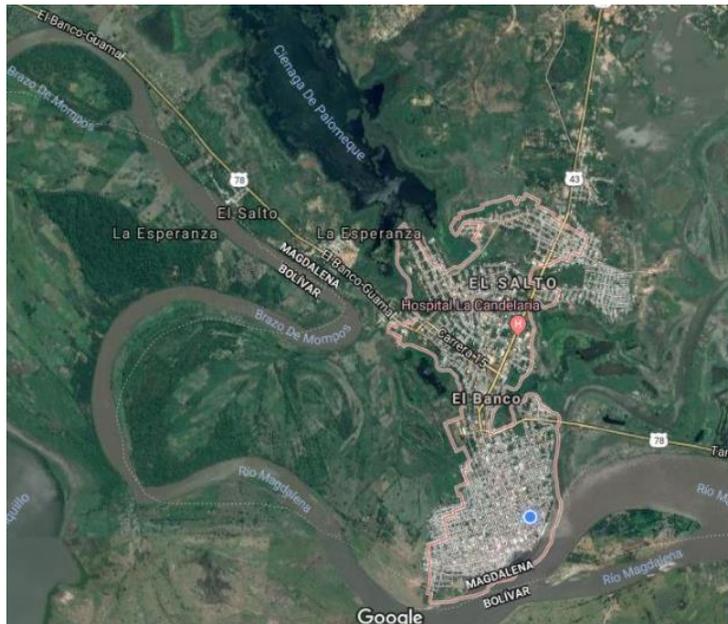


Figura 5. Ubicación Geográfica Banco Magdalena. Fuente: Google Earth.

Estación Barbosa (25027530)

Esta estación se encuentra ubicada en Barbosa Bolívar más específicamente en la orilla del río Magdalena, esta población por su otro lado cuenta con cuerpos cienagosos, entre los que se destacan la cienaga de Majaru y cienaga de Majata. Su estación está clasificada en la categoría Limnigráfica, y cuenta con una tecnología Convencional. Esta zona se caracteriza por un tipo de terreno plano, con cercanías al corregimiento de Yatí y al Municipio de Magangué Bolívar, su temperatura promedio anual de 36° C.

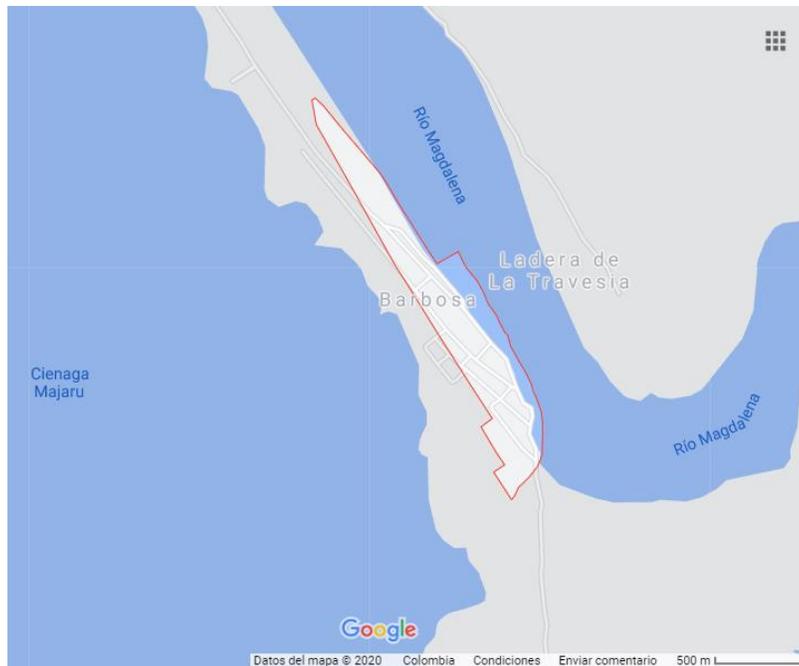


Figura 6. Ubicación geográfica Barbosa. Fuente: Google Maps.

Creación De Modelos

Los siguientes modelos de predicción son estadísticos y buscan pronosticar datos de una serie temporal de niveles en la cuenca baja del río Magdalena. Basado en la herramienta ARIMA y en una red neuronal perceptrón multicapa, los modelos predicen los 12 datos mensuales siguientes (anual). Estos fueron creados en diferentes plataformas que permiten el tratamiento de datos estadísticos, como Excel, R Project y el uso de redes neuronales bajo la plataforma WEKA®. Las métricas para la evaluación del desempeño del modelo consideradas fueron RMSE (error cuadrático medio) y medida de eficiencia NSE (coeficiente de correlación).

Los modelos trabajados a continuación emplean datos en los intervalos de 1973 a 2018, Realizando predicciones desde el año 2005 hasta 2018, la base de datos o input en cada uno de los modelos varían de acuerdo al año que se pretende pronosticar, el año fijo es 1973 y el año final es uno antes del año que se predice, por ejemplo se pretende predecir el año 2005 que es

nuestro primer caso, los datos de entrada serían desde el año 1973 hasta el año 2004, si se pretende pronosticar el año 2006 los datos de entrada serán 1973-2005, así sucesiva y progresivamente, estos pronósticos mensuales para un total de un año se comparan con los datos reales recopilados mensualmente. El cuanto al orden de los modelos independientemente de la estación de estudio fue el siguiente, el primer modelo realizado fue ARIMA, a este modelo presento varias modificaciones con respecto a su ajuste, ya que los pronósticos arrojados tenían una tendencia a presentar errores más altos en los primer trimestre de pronóstico, dentro de esas variaciones se probó la media del último semestre del año anterior, afectando la media de los tres primeros meses de pronóstico, como también de la media de los meses históricos anuales de los tres primeros meses de pronóstico, pero se optó por dejar el modelo sin ninguna variación al presentar mejores resultados que sus variaciones. Posterior a este se procedió a investigar más a fondo a cerca de las RNA (PERCEPTRON MULTICAPA), se logró realizar un modelo basado en esta herramienta, y en la búsqueda de mejores resultados o mejorar la precisión del pronóstico, a la que de igual forma se decide aplicar las mismas variaciones con el fin de mejorar los pronósticos arrojados pero se observa que el modelo sin variaciones tiene mejores resultados; también se implementó como variación al modelo ya creado el afectar el pronóstico arrojado con la media del último trimestre del año anterior con el fin de mejorar la primer mes de predicción del pronóstico, pero aun no presentaba mejores resultados que el modelo sin variaciones, se decide combinar los modelos ARIMA y RNA (PERCEPTRON MULTICAPA) a partir de los datos de predicción que arroja cada modelo, los resultados no fueron los esperados y por tal razón se determina trabajar en la comparación de los dos modelos mencionados inicialmente.

Modelo Basado En Arima

ARIMA es un modelo de pronóstico de series temporales que tiene en cuenta la relación entre los datos. Donde cada dato pronosticado está en función del dato anterior. El modelo ARIMA basa su nombre en sus tres componentes: auto-regresivo (AR), integrado (I), y medias móviles (MA) (Hernandez, 2009). El primer paso para crear el modelo es organizar los datos en dos columnas en el software Excel, desde la primera celda, la primera columna corresponde a los meses desde los años 1973-2018 y la segunda corresponde a los datos de nivel del río en su respectiva estación, es importante organizar archivos distintos de datos dependiendo del año que queramos pronosticar, de la manera en que se explica en el apartado anterior. Para los casos en donde se presentó que los datos de nivel obtenidos desde la plataforma del IDEAM, se interpolaron los datos de nivel. En R ESTUDIO se descarga e instala el paquete de funciones SARIMA, dentro de esta función se activa ARIMA, posterior a esto se exporta el archivo Excel en formato .CSV a R ESTUDIO.

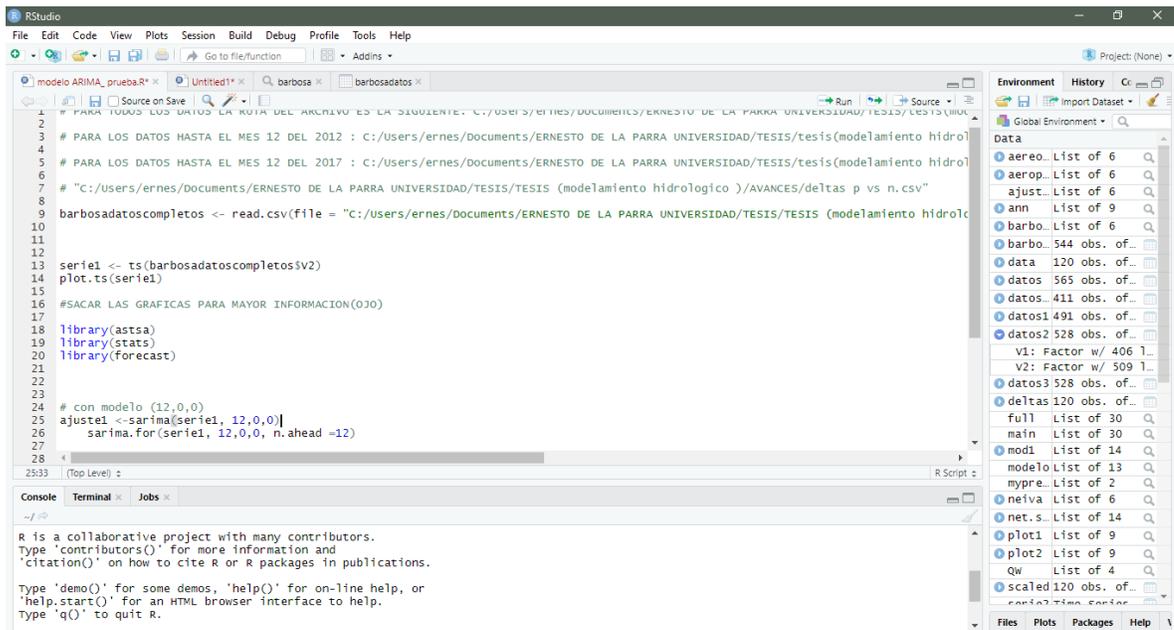


Figura 7. Entorno de trabajo R studio. **Fuente:** Elaboración propia.

Este archivo se debe llamar o insertar escribiendo su ubicación en el primer apartado del algoritmo (observar código en anexos) o su ruta desde escritorio hasta la carpeta de destino, ejemplo; D:/Desktop/ESCRITORIO/TABLAS/BARBOSA/1973-2017, el algoritmo guarda los datos como un variable y esta variable es el input para el paquete de funciones de ARIMA, seguidamente se debe configurar de la forma $P=12$ $D=0$ $Q=0$. EL $P=12$ debido a que se activa el modelo autoregresivo para que observe 12 periodos hacia atrás, y es lo más factible para predecir un pronóstico a 12 meses o anual, además tiene en cuenta el desfase del último año (doce periodos), anteriormente se había analizado la estabilidad del pronóstico arrojado por el modelo con variaciones en el parámetro P con valores del 1 a 12, pero debido a lo anterior, este demostró un mejor resultado; los parámetros D y $Q=0$, no se ajustan al tipo de conjunto de datos ni al modelo. Posteriormente, se ajusta la cabeza de predicción a 12 meses, quedando así: “n.ahead =12”, finalizado esto se ejecuta el código, y este pronostica los 12 meses para el año que se quiera predecir, estos datos son introducidos como columna de datos en una tabla de Excel, paralelamente a los datos reales de ese mismo año que se predice, se crea una gráfica NIVEL VS TIEMPO (en meses) y se observa el comportamiento de la predicción con respecto a los datos reales. A partir de la tabulación de datos se hallan los distintos errores analizados; coeficiente de NSE, RMSE, ERROR RELATIVO y ERROR ABSOLUTO.

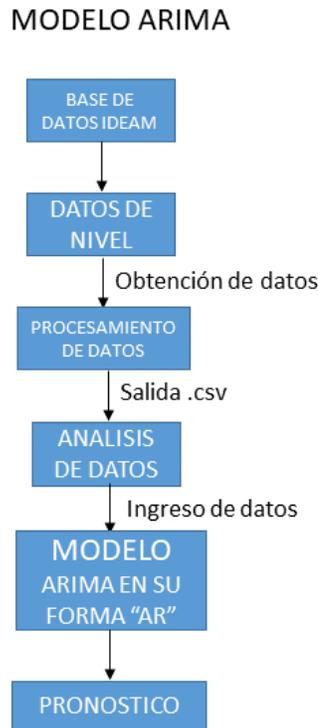


Figura 8. Diagrama MODELO ARIMA Fuente: Elaboración Propia.

Modelo Con Red Neuronal Perceptron Multicapa

En el presente modelo, basado en una red neuronal, en específico en una perceptron multicapa. Primeramente, para crear el modelo se organizan los datos en dos columnas en el software Excel, desde la primera celda, la primera columna corresponde a los meses desde los años 1973-2018 y la segunda corresponde a los datos de nivel del río en su respectiva estación, es importante organizar archivos distintos de datos dependiendo del año que queremos pronosticar, de la manera en que se explica en el apartado anterior. Para los casos en donde se presentó que los datos de nivel obtenidos desde la plataforma del IDEAM, se interpolaron los datos de nivel. En el software WEKA® se descarga e instala el paquete complemento llamado forecast, responsable de contener la función para la implementación de la red neuronal

perceptron multicapa; se cargan los datos de nivel el software WEKA® en formato .CSV, Posteriormente se ajustan parámetros internos de la plataforma, el reconocimiento de índice de tiempo artificial a mensual, seleccionar la serie de celdas a predecir y el número de periodos a pronosticar, se ajusta a 12 (anual), luego se deberá elegir dentro de la librería de redes neuronales suministrada por el complemento forecast, la red neuronal perceptron multicapa, para la configuración de los parámetros internos de la red, en específico la cantidad de capas ocultas de la misma red, se dejó a tres capas ocultas, luego de realizar pruebas y en base a otras investigaciones, se determinó que el aumento de la capas ocultas de la red no mejoraban su rendimiento, por lo que opto por dejar la configuración por defecto de la red. Concluido el ajuste de parámetros iniciales del software se encargará de arrojar el pronóstico en su ventana de visualización de datos. Estos datos de pronóstico arrojados por el modelo son introducidos como columna de datos en una tabla de Excel, paralelamente a los datos reales de ese mismo año que se predice, se crea una gráfica NIVEL VS TIEMPO (en meses) y se observa el comportamiento de la predicción con respecto a los datos reales. A partir de la tabulación de datos se hallan los distintos errores analizados; coeficiente de NSE, RMSE, ERROR RELATIVO y ERROR ABSOLUTO.

MODELO RNA (PERCEPTRON MULTICAPA)

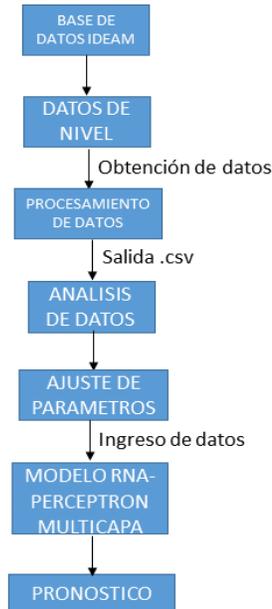


Figura 9. Diagrama MODELO RNA (PERCEPTRON MULTICAPA) Fuente: Elaboración Propia.

En ambos modelos tanto el basado en ARIMA y en RNA, se calculó el NSE (coeficiente de eficiencia Nash- Sutcliffe) y RMSE (error cuadrático medio), con ayuda de una hoja calculo programada en la herramienta Excel, en donde como se describe en cada uno de los modelos son introducidos como columna de datos en una tabla de Excel, paralelamente a los datos reales, donde posteriormente son calculados, NSE, RMSE, ERROR RELATIVO y ERROR ABSOLUTO, con fin de que se puedan usar estos resultados para un posterior análisis de los pronósticos arrojados por los modelos.

Resultados

Los resultados obtenidos luego de ejecutar el modelo basado en ARIMA en su forma AR y el ejecutado en WEKA, basado en una red neuronal perceptrón multicapa, en las estaciones de nivel BARBOSA (25027530) y EL BANCO (25027020).

Modelo arima en su forma “AR”

Estación Barbosa (25027530)

Introduciendo datos al modelo “AR” desde 1973 a 2004, para pronósticos antes de 2005 a 2009, y de 1973 a 2009 para los pronósticos de 2010 a 2018, arrojando los siguientes resultados. Las unidades del pronóstico de nivel al igual que los datos están expresadas en centímetros.

Pronostico 2005-2018

Pronostico 2005

Tabla 1.

Datos de pronóstico 2005 Estación Barbosa- ARIMA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2005 0:00	576	633.508	57.508	9.984
1/02/2005 0:00	463	479.822	16.822	3.633
1/03/2005 0:00	410	450.2379	40.2379	9.814
1/04/2005 0:00	495	539.7527	44.7527	9.041
1/05/2005 0:00	644	631.7467	12.2533	1.903
1/06/2005 0:00	724	636.2645	87.7355	12.118
1/07/2005 0:00	693	581.0594	111.9406	16.153
1/08/2005 0:00	602	531.0998	70.9002	11.777
1/09/2005 0:00	584	558.9439	25.0561	4.290
1/10/2005 0:00	677	656.2872	20.7128	3.059

1/11/2005 0:00	804	730.1185	73.8815	9.189
1/12/2005 0:00	819	703.5037	115.4963	14.102

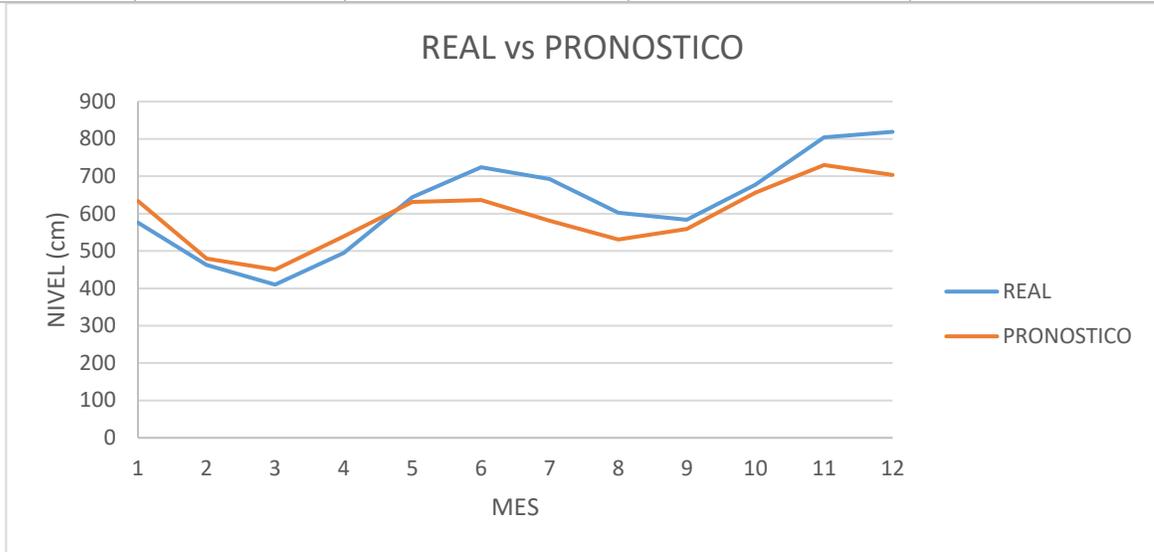


Figura 10. Real vs Pronóstico 2005 Estación Barbosa- ARIMA.

En el primer año de pronóstico para el modelo ARIMA en su forma “AR” en la estación BARBOSA, para 2005, se presenta una mejor predicción a los mediados de cada uno de los dos semestres del año predicho, presentando en el primer semestre un error relativo de aproximadamente 2% mientras que el mayor error presentado fue de alrededor del 10%, para el segundo semestre del mismo año se tiene que tanto el menor como el mayor error relativo presentado equivalen a 3% y 16%, respectivamente. Analizando la gráfica nivel vs pronóstico de manera visual se puede observar una similitud entre los niveles reales presentados en ese año y la predicción arrojada por el modelo, notando una ligera discrepancia entre los meses 5 y 8 del año de pronóstico.

Para los pronósticos de 2006 a 2018, presentados a continuación por medio de graficas (en la sección de anexos, se encuentran sus tablas correspondientes) se puede observar visualmente el comportamiento del modelo de pronóstico en cada uno de los años. Para el año

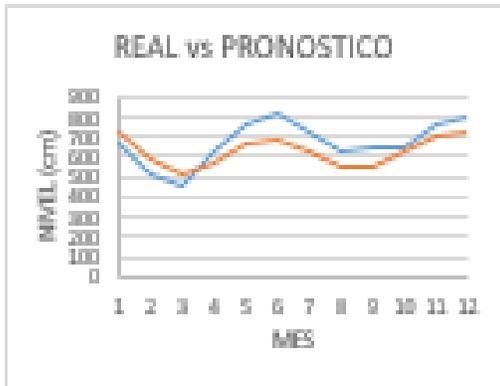
2006, se presenta un comportamiento similar al año 2005, pero entre los meses 4 y 10, el pronóstico se encuentra por debajo de los datos de niveles reales; para el 2007 la dinámica cambia un poco, durante el primer trimestre el pronóstico se sitúa por encima de los datos reales mientras que el resto del año por debajo del mismo; para el 2008, durante los primeros 6 meses de predicción el modelo de pronosticó se comporta de manera muy precisa, siendo el segundo semestre donde se observan las mayores discrepancias, situándose la predicción por debajo de los datos reales; para el 2009, el pronóstico es mucho más estable presentado sus mayores discrepancias en su último trimestre; para el 2010 durante los primeros 5 meses el pronóstico se situó por arriba de los datos reales y durante el segundo semestre se presenta el caso contrario, pero con un mayor error entre los datos reales y pronosticados; para el 2011 la mayor discrepancia entre los datos de pronóstico y los reales se presentó entre los meses 4 y 7.

Para el año 2012, se presentó mayores diferencias entre los datos pronosticados y reales en los meses 2 a 4 y 6 a 9; para el 2013 entre los meses 1 a 4 se presentaron las mayores diferencias entre los datos de nivel reales vs pronóstico; para el 2014 durante los primeros y últimos 4 meses se presentaron las mayores diferencias entre los datos reales y pronosticados; para el 2015 los datos de nivel pronosticados estuvieron por encima de los reales, presentado que durante el primer y segundo semestre en los meses 3 a 4 y 6 a 9 fue donde estas diferencias se incrementaron; para el 2016 durante el primer semestre los datos de pronóstico están por encima de los datos reales, para el segundo semestre se presenta el caso contrario; para el 2017 entre los meses 1 y 3 se encuentran las mayores diferencias, del mes 4 a 12 el modelo de pronóstico se comporta de manera estable; para el 2018 entre los meses 1 y 5 los datos de pronóstico se encontraron por encima de los datos reales del presente año, al inicio del segundo semestre el

comportamiento de los datos de pronóstico se estabilizo y gano cierta similitud a los datos de niveles reales presentados.

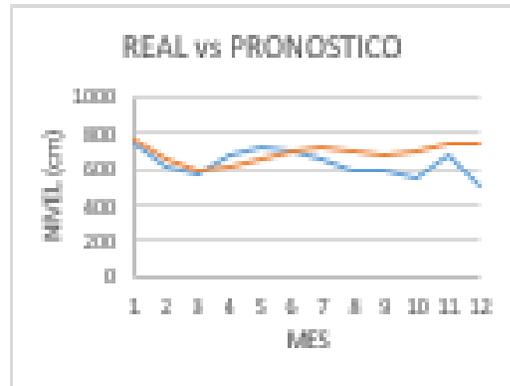
Mosaico De Graficas Para Pronostico Estación Barbosa – Arima

PRONOSTICO 2006



Grafica 2. Real vs.Pronóstico 2006.

PRONOSTICO 2009



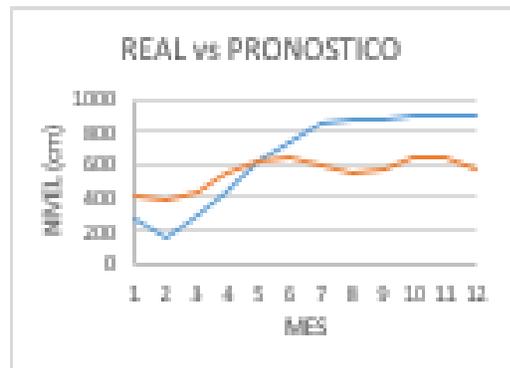
Grafica 5. Real vs.Pronóstico 2009.

PRONOSTICO 2007



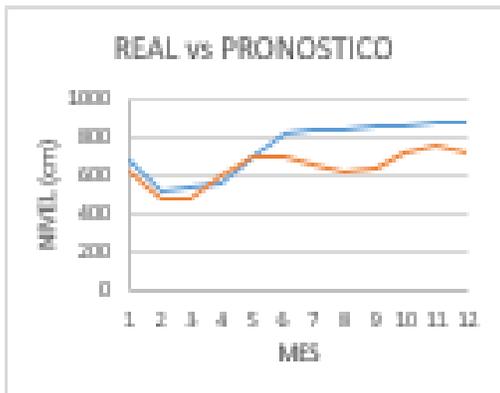
Grafica 3. Real vs.Pronóstico 2007

PRONOSTICO 2010



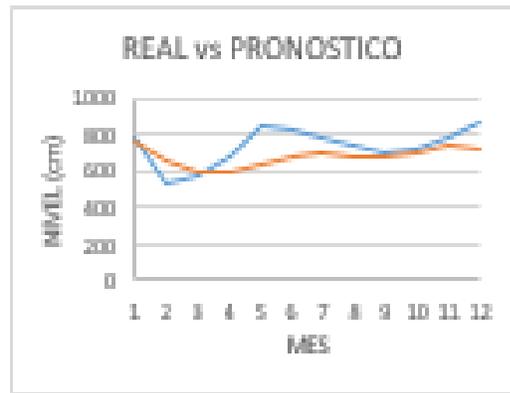
Grafica 6. Real vs.Pronóstico 2010.

PRONOSTICO 2008



Grafica 4. Real vs.Pronóstico 2008.

PRONOSTICO 2011



Grafica 7. Real vs.Pronóstico 2011.

— REAL
— PRONOSTICO

Figura 11. Real vs Pronóstico 2006- 2011 Estación Barbosa.

PRONOSTICO 2012

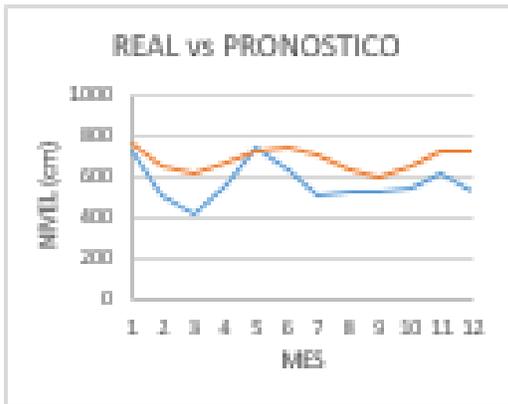


Gráfico 10. Real vs Pronóstico 2012.

PRONOSTICO 2015

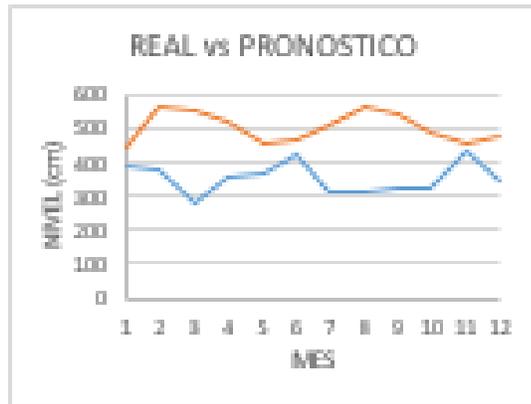


Gráfico 11. Real vs Pronóstico 2015.

PRONOSTICO 2013

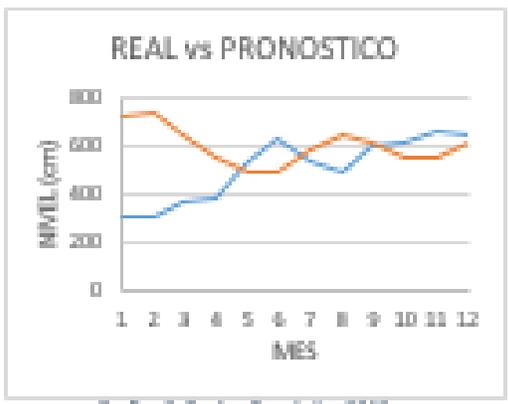


Gráfico 9. Real vs Pronóstico 2013.

PRONOSTICO 2016

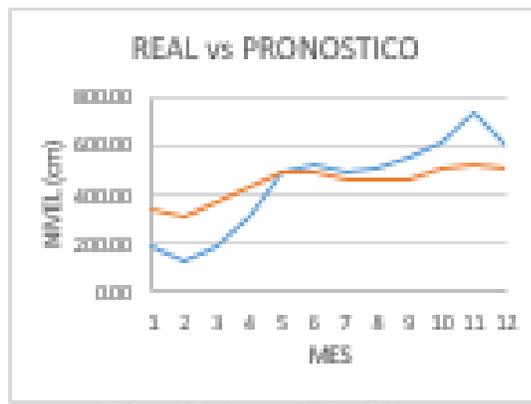


Gráfico 12. Real vs Pronóstico 2016.

PRONOSTICO 2014

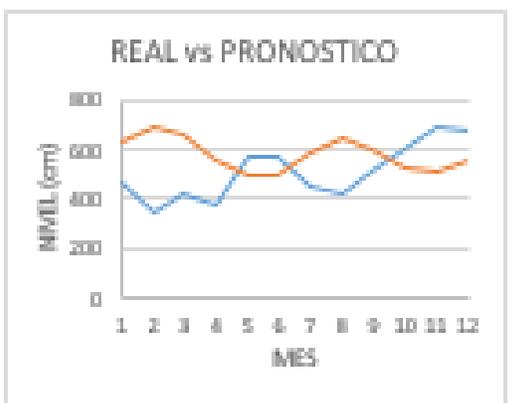


Gráfico 10. Real vs Pronóstico 2014.

PRONOSTICO 2017

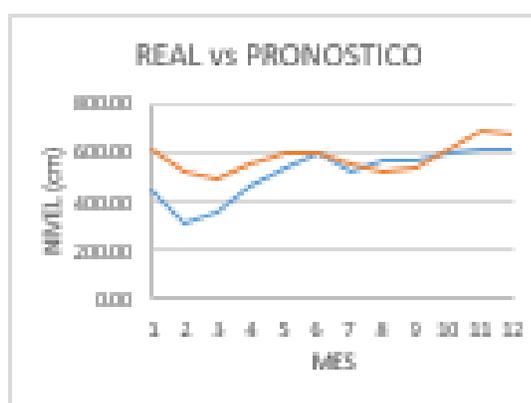


Gráfico 13. Real vs Pronóstico 2017.

— REAL
— PRONOSTICO

Figura 12. Real vs Pronóstico 2012- 2017 Estación Barbosa- ARIMA.



Grafico 14. Real vs Pronóstico 2018.

Figura 13. Real vs Pronóstico 2008 Estación Barbosa- ARIMA.

RMSE y NSE

A continuación, se presentan tablas con el error cuadrático medio (RMSE) y coeficiente de eficiencia de Nash (NSE) para cada pronóstico. Estas mediciones de error serán analizadas en detalle en el título 5.4 para todos los modelos y estaciones de estudio.

Tabla 2.

RMSE y NSE Global Estación Barbosa- ARIMA.

PRONOSTICOS 2005-2018.

AÑO	NSE	RMSE
2005	0.71	66.126
2006	0.435	80.916
2007	0.264	150.146
2008	-0.004	134.058
2009	-1.041	98.872
2010	-0.04	225.596
2011	-0.284	96.641

2012	-0.466	128.642
2013	0.619	208.173
2014	0.492	179.425
2015	-1.778	168.629
2016	0.405	123.601
2017	-0.836	97.531
2018	0.34	98.092

Estación El Banco (25027020)

Introduciendo datos al modelo “AR” desde 1973 a 2004, para pronósticos antes de 2005 a 2009, y de 1973 a 2009 para los pronósticos de 2010 a 2018, arrojando los siguientes resultados.

Las unidades del pronóstico de nivel al igual que los datos están expresadas en centímetros.

Pronostico 2005-2018

PRONOSTICO 2005

Tabla 3.

Datos de pronóstico 2005 Estación El Banco- ARIMA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2005 0:00	591	624.5989	33.5989	5.685
1/02/2005 0:00	570	504.0444	65.9556	11.571
1/03/2005 0:00	534	496.1049	37.8951	7.096
1/04/2005 0:00	591	601.9776	10.9776	1.857
1/05/2005 0:00	732	694.0034	37.9966	5.191

1/06/2005 0:00	767	674.9563	92.0437	12.000
1/07/2005 0:00	660	581.2022	78.7978	11.939
1/08/2005 0:00	576	528.419	47.581	8.261
1/09/2005 0:00	552	570.1223	18.1223	3.283
1/10/2005 0:00	694	695.2889	1.2889	0.186
1/11/2005 0:00	873	776.8179	96.1821	11.017
1/12/2005 0:00	830	740.7894	89.2106	10.748

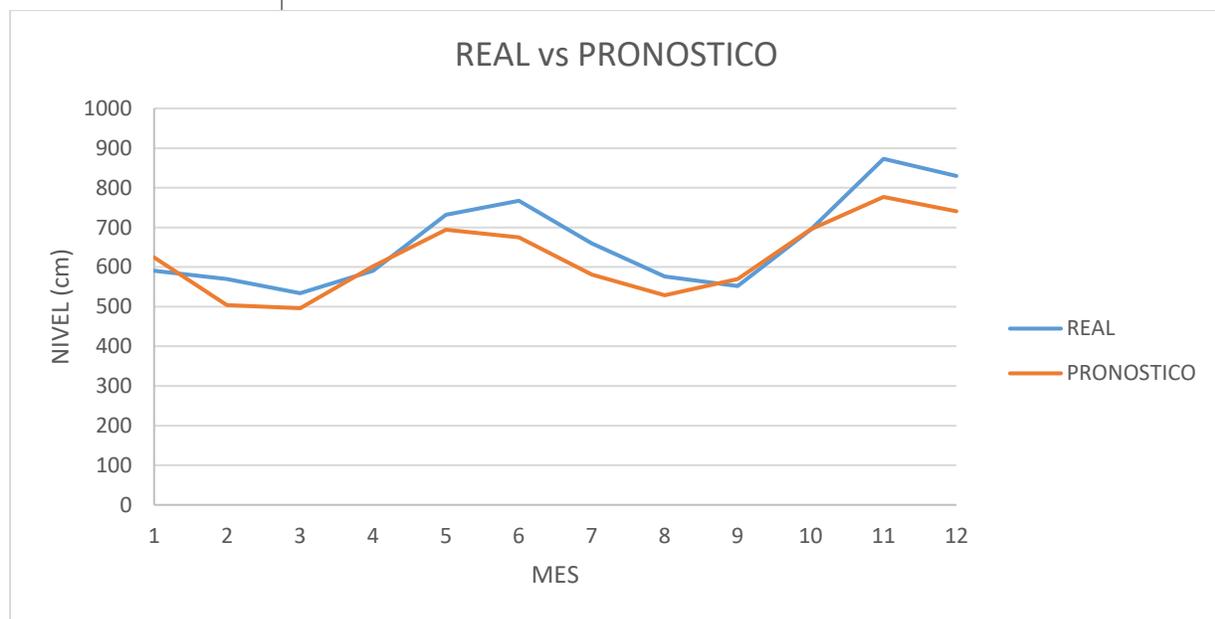


Figura 14. Real vs Pronóstico 2005 Estación El Banco- ARIMA.

En el primer año de pronóstico para el modelo ARIMA en su forma “AR” en la estación EL BANCO, para 2005, se presenta una mejor predicción a los mediados de cada uno de los dos semestres del año predicho, presentando en el primer semestre un error relativo de aproximadamente 1.8% mientras que el mayor error presentado fue de alrededor del 12%, para el segundo semestre del mismo año se tiene que tanto el menor como el mayor error relativo presentado equivalen a 0.2% y 11.9%, respectivamente. Analizando la gráfica nivel vs

pronóstico de manera visual se puede observar una similitud entre los niveles reales presentados en ese año y la predicción arrojada por el modelo, notando una ligera discrepancia entre los meses 5 a 8 y 11 a 12 del año de pronóstico.

Para los pronósticos de 2006 a 2018, presentados a continuación por medio de graficas (en la sección de anexos, se encuentran sus tablas correspondientes) se puede observar visualmente el comportamiento del modelo de pronóstico en cada uno de los años. Para el año 2006, se presenta un comportamiento similar al año 2005, pero entre los meses 3 y 7, el pronóstico se encuentra por debajo de los datos de niveles reales; para el 2007 la dinámica cambia un poco, durante el primer trimestre el pronóstico se sitúa por encima de los datos reales mientras que el resto del año por debajo del mismo, presentado la mayor diferencia entre los meses 2 y 3; para el 2008, durante los primeros 6 meses de predicción el modelo de pronosticó se comporta de manera muy precisa, siendo el segundo semestre donde se observar las mayores discrepancias, situándose la predicción por debajo de los datos reales, presentado la mayor diferencia entre los meses 7 y 9; para el 2009, el pronóstico es mucho más estable presentado sus mayores discrepancias en su segundo trimestre y los últimos 2 meses; para el 2010 durante los primeros 5 meses el pronóstico se situó por arriba de los datos reales y durante el segundo semestre se presente el caso contrario, pero con un mayor error entre los datos reales y pronosticados; para el 2011 la mayor discrepancia entre los datos de pronostico y los reales se presentó entre los meses 4 y 7, siendo el mes 5 del pronóstico el dato ms alejado.

Para el año 2012, se presentó mayores diferencias entre los datos pronosticados y reales en los meses 6 a 8 y siempre los datos de pronostico estuvieron situados por encima de los datos de niveles reales; para el 2013 entre los meses 4 y 5 se presentaron las mayores diferencias entre los datos de nivel reales vs pronostico; para el 2014 el modelo se comportó de manera

estable, siendo los meses 8 y 9 los que presentamos mayores diferencia con respecto a los datos reales vs los pronosticados; para el 2015 los datos de nivel pronosticados estuvieron por encima de los reales, presentado que durante el último trimestre fue donde estas diferencia se incrementaron; para el 2016 durante el primer semestre los datos de pronostico están por encima de los datos reales, para el segundo semestre se presenta el caso contrario; para el 2017 entre los meses 1 a 9 se encuentran las mayores diferencias y este se sitúa por debajo de los datos reales presentados en ese año; para el 2018 entre los meses 4 y 9 los datos de pronostico se encontraron por debajo de los datos reales del presente año, presentando un comportamiento similar al año 2017.

Mosaico De Graficas Para Pronostico Estación El Banco – Arima

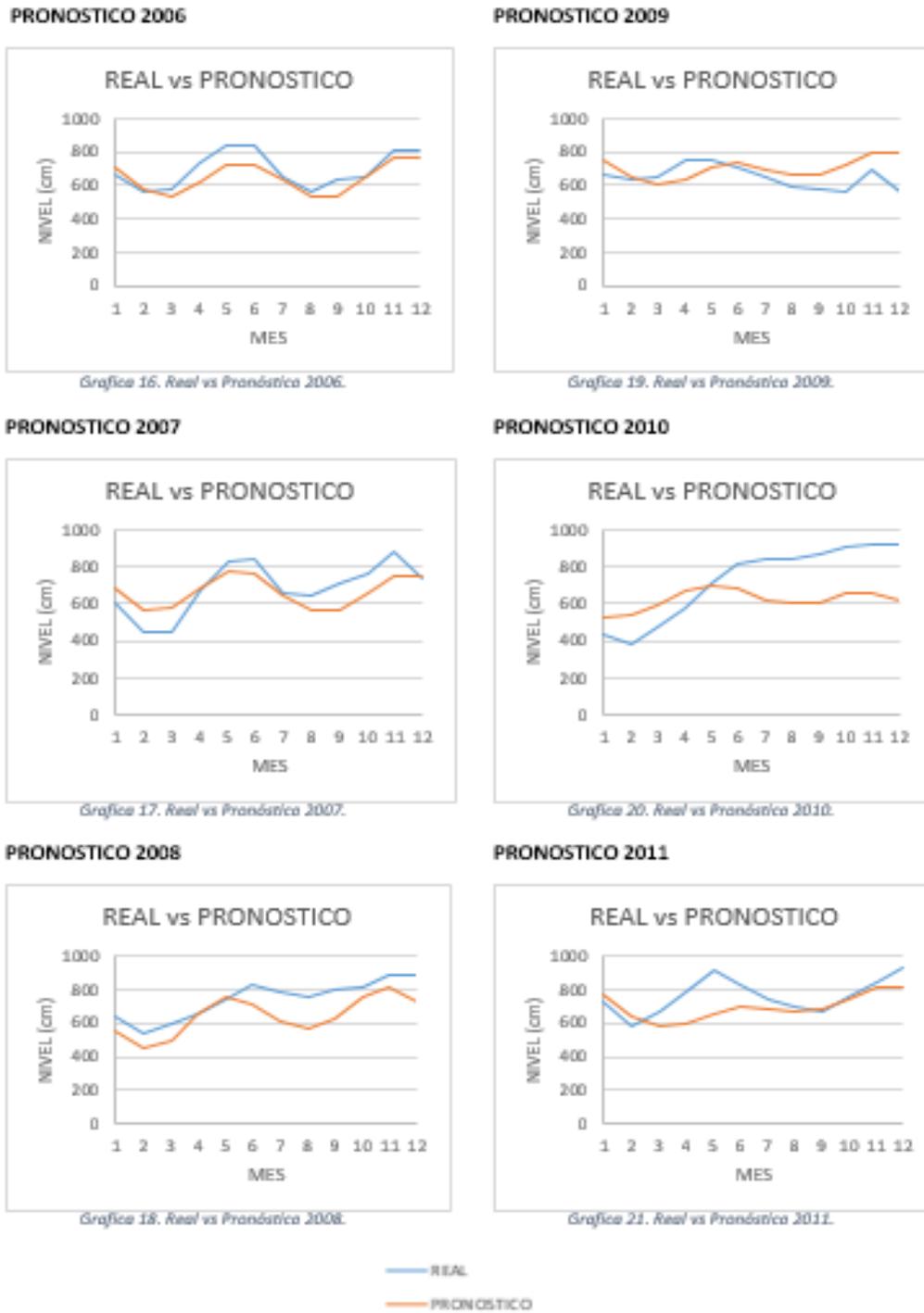
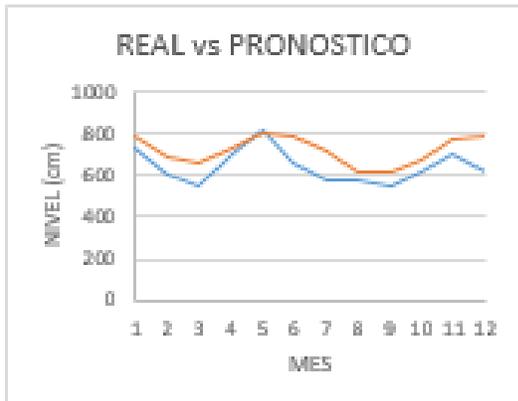


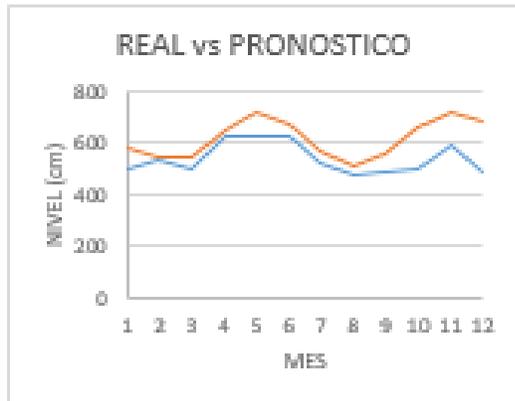
Figura 15. Real vs Pronóstico 2006- 2011 Estación El Banco- ARIMA.

PRONOSTICO 2012



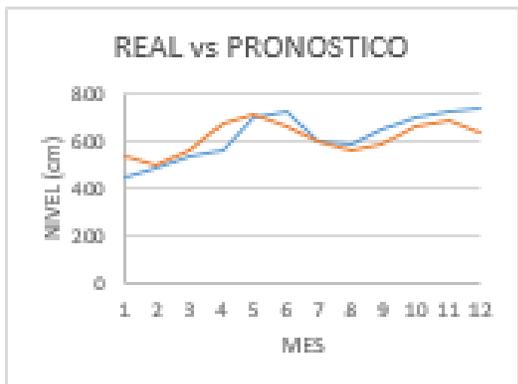
Grafica 23. Real vs Pronóstico 2012.

PRONOSTICO 2015



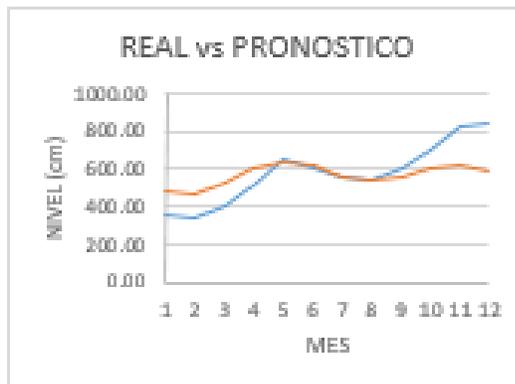
Grafica 25. Real vs Pronóstico 2015.

PRONOSTICO 2013



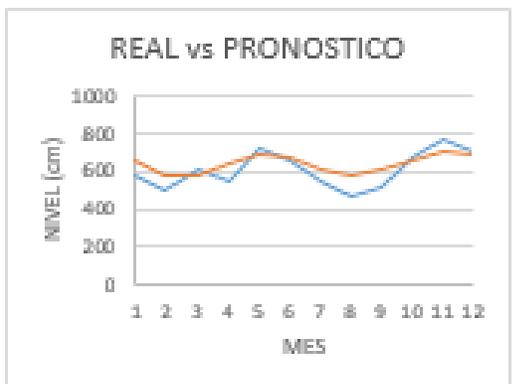
Grafica 24. Real vs Pronóstico 2013.

PRONOSTICO 2016



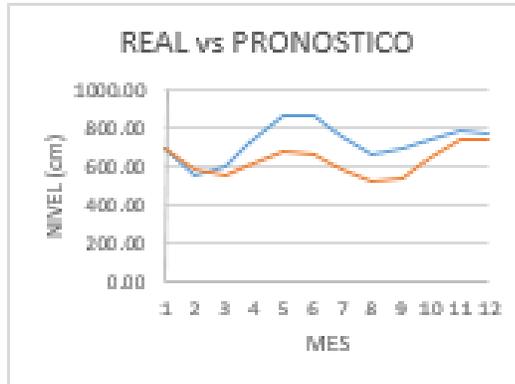
Grafica 26. Real vs Pronóstico 2016.

PRONOSTICO 2014



Grafica 24. Real vs Pronóstico 2014.

PRONOSTICO 2017



Grafica 27. Real vs Pronóstico 2017.

— REAL
— PRONOSTICO

Figura 16. Real vs Pronóstico 2012- 2017 Estación El Banco- ARIMA.



Figura 17. Real vs Pronóstico 2018 Estación El Banco- ARIMA.

RMSE y NSE

A continuación, se presentan tablas con el erro cuadrático medio (RMSE) y coeficiente de eficiencia de Nash (NSE) para cada pronóstico.

Tabla 4.

RMSE y NSE Global Estación El Banco- ARIMA.

PRONOSTICOS 2005 - 2018

AÑO	NSE	RMSE
2005	0.702	59.835
2006	0.562	68.139
2007	0.512	94.275
2008	-0.232	118.364
2009	-1.587	100.235
2010	-0.04	199.587

2011	-0.284	110.826
2012	-0.466	94.348
2013	0.619	57.846
2014	0.492	64.281
2015	-1.778	93.876
2016	0.405	119.622
2017	-0.836	120.028
2018	0.34	94.026

Modelo RNA- multicapa perceptron

Estación Barbosa (25027530)

Introduciendo datos a la red neuronal, gestionada por WEKA®, desde 1973 a 2004, para pronósticos antes de 2005 a 2009, y de 1973 a 2009 para los pronósticos de 2010 a 2018, arrojando los siguientes resultados. Las unidades del pronóstico de nivel al igual que los datos están expresadas en centímetros.

Pronostico 2005-2018

PRONOSTICO 2005

Tabla 5.

Datos de pronóstico 2005 Estación Barbosa- RNA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2005 0:00	576	568.0207	7.9793	1.385

1/02/2005 0:00	463	209.8965	253.1035	54.666
1/03/2005 0:00	410	392.0074	17.9926	4.388
1/04/2005 0:00	495	470.2751	24.7249	4.995
1/05/2005 0:00	644	948.5363	304.5363	47.288
1/06/2005 0:00	724	868.0437	144.0437	19.896
1/07/2005 0:00	693	737.0935	44.0935	6.363
1/08/2005 0:00	602	665.9929	63.9929	10.630
1/09/2005 0:00	584	600.9717	16.9717	2.906
1/10/2005 0:00	677	863.8386	186.8386	27.598
1/11/2005 0:00	804	942.3677	138.3677	17.210
1/12/2005 0:00	819	1710.3442	891.3442	108.833

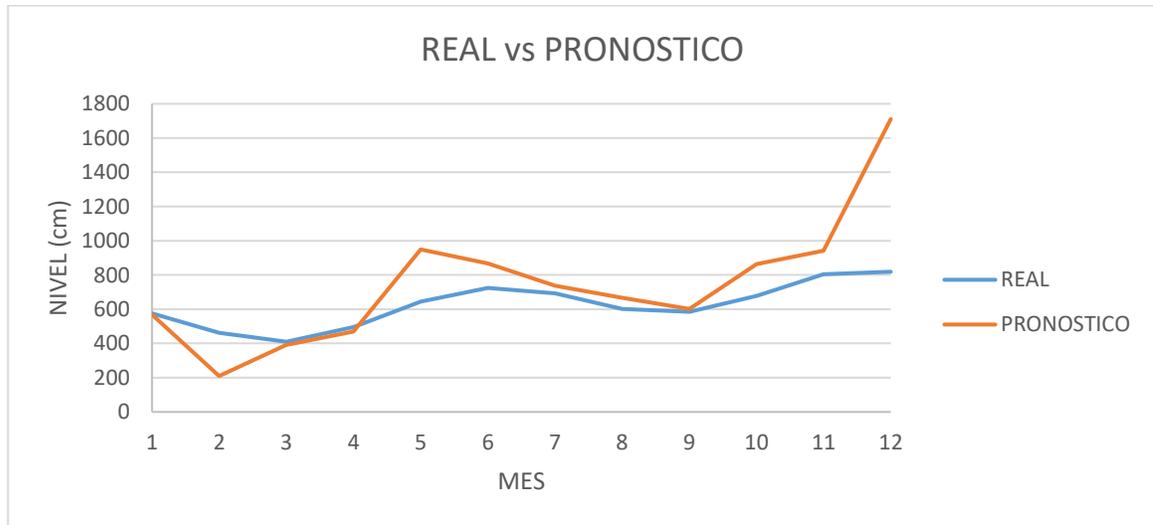


Figura 18. Real vs Pronóstico 2005 Estación Barbosa- RNA.

En el primer año de pronóstico para el modelo RNA de tipo perceptron multicapa en la estación BARBOSA, para 2005 la predicción en el mes 2 y entre el 5 a 6, se presenta un pico con las mayores diferencias entre los datos reales y pronosticados, a último trimestre del año predicho se presenta la las mayores diferencias dentro del segundo semestre, en el primer semestre un error relativo de aproximadamente 1.3% mientras que el mayor error presentado fue de alrededor del 55%, para el segundo semestre del mismo año se tiene que tanto el menor como el mayor error relativo presentado equivalen a 3% y 108%, respectivamente. Analizando la gráfica nivel vs pronóstico de manera visual se puede observar una similitud entre los niveles reales presentados en ese año y la predicción arrojada por el modelo, notando una ligera discrepancia entre los meses 4 a 7 y 11 a 12 del año de pronóstico.

Para los pronósticos de 2006 a 2018, presentados a continuación por medio de graficas (en la sección de anexos, se encuentran sus tablas correspondientes) se puede observar visualmente el comportamiento del modelo de pronóstico en cada uno de los años. Para el año 2006, se presenta que el pronóstico se encuentra por debajo de los datos reales entre los meses 4 y 7; para el 2007 la dinámica cambia un poco, durante el primer trimestre el pronóstico se sitúa por encima de los datos reales mientras que el resto del año por debajo del mismo, presentado la mayor diferencia entre los meses 2 y 6; para el 2008, el pronóstico se comporta de manera errática mostrando valores por debajo de cero; para el 2009, el pronóstico es mucho más estable durante el primer semestre presentado sus mayores discrepancias entre los meses 7 a 9; para el 2010 durante los primeros cuatro meses el pronóstico se situó por arriba de los datos reales y durante el segundo semestre se presente el caso contrario, pero con un mayor error entre los datos reales y pronosticados; para el 2011 la mayor discrepancia entre los datos de pronóstico y los reales se presentó entre los tres primeros meses, logrando estabilizarse en el resto de meses.

Para el año 2012, se presentó mayores diferencias entre los datos pronosticados y reales en los meses 7 a 9 y siempre los datos de pronóstico estuvieron situados por encima de los datos de niveles reales durante los ocho primeros meses; para el 2013 entre los meses 1 y 8 se presentaron las mayores diferencias entre los datos de nivel reales vs pronóstico; para el 2014 el modelo se comportó de manera completamente errática; para los años de 2015 a 2018 el modelo de pronóstico se comporta de manera errática, presentado grandes diferencias en la mayoría de los meses predichos y en algunos casos presentado valores por debajo de cero.

Mosaico De Graficas Para Pronostico Estación Barbosa – RNA

PRONOSTICO 2006

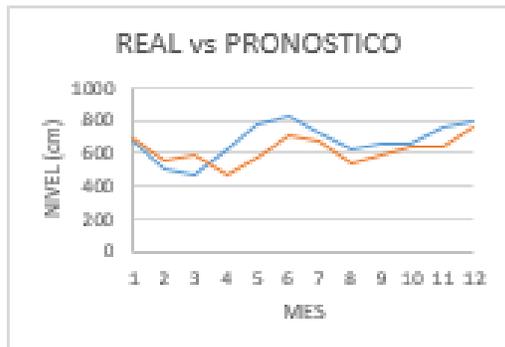


Grafico 30. Real vs Pronóstico 2006.

PRONOSTICO 2009

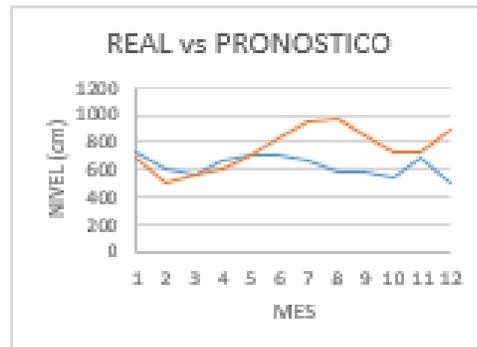


Grafico 33. Real vs Pronóstico 2009.

PRONOSTICO 2007

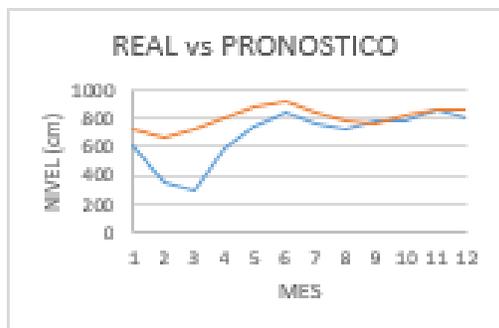


Grafico 31. Real vs Pronóstico 2007.

PRONOSTICO 2010

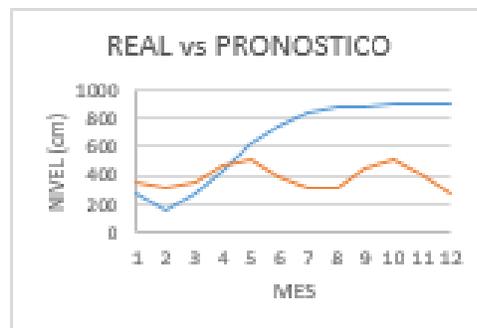


Grafico 34. Real vs Pronóstico 2010.

PRONOSTICO 2008

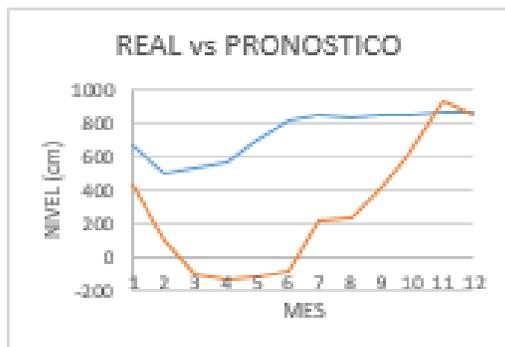


Grafico 32. Real vs Pronóstico 2008.

PRONOSTICO 2011

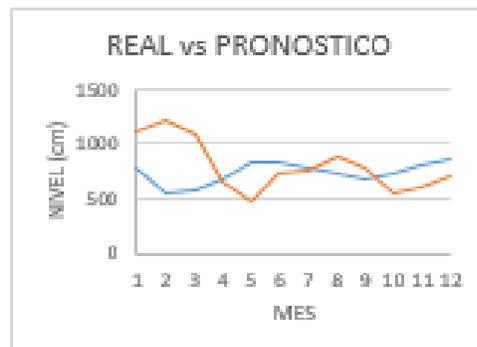
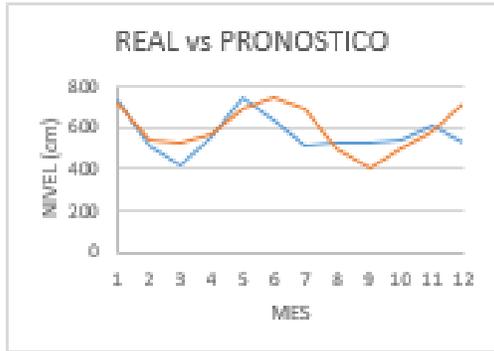


Grafico 35. Real vs Pronóstico 2011.

— REAL
— PRONOSTICO

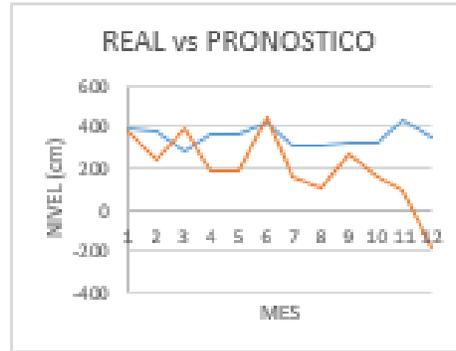
Figura 19. Real vs Pronóstico 2006- 2011 Estación Barbosa- RNA.

PRONOSTICO 2012



Grafica 36. Real vs Pronóstico 2012.

PRONOSTICO 2015



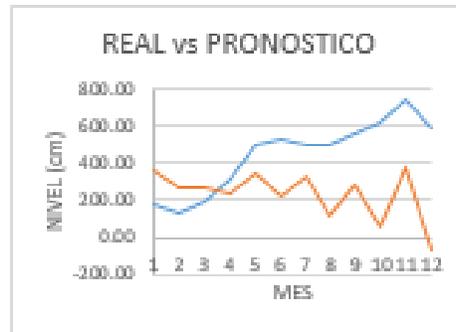
Grafica 39. Real vs Pronóstico 2015.

PRONOSTICO 2013



Grafica 37. Real vs Pronóstico 2013.

PRONOSTICO 2016



Grafica 40. Real vs Pronóstico 2016.

PRONOSTICO 2014



Grafica 38. Real vs Pronóstico 2014.

PRONOSTICO 2017



Grafica 41. Real vs Pronóstico 2017.

— REAL
— PRONOSTICO

Figura 20. Real vs Pronóstico 2012- 2017 Estación Barbosa- RNA.

PRONOSTICO 2018

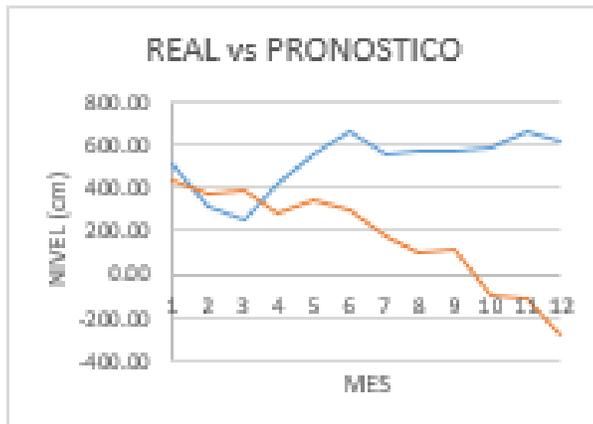


Gráfico 42. Real vs Pronóstico 2018.

Figura 21. Real vs Pronóstico 2018 Estación Barbosa- RNA.

RMSE y NSE

A continuación, se presentan tablas con el error cuadrático medio (RMSE) y coeficiente de eficiencia de Nash (NSE) para cada pronóstico.

Tabla 6.

RMSE y NSE Global Estación Barbosa- RNA.

PRONOSTICOS 2005-2018.

AÑO	NSE	RMSE
2005	-4.705	293.46
2006	0.077	103.396
2007	-0.019	176.643
2008	-15.379	541.499
2009	-7.908	206.55
2010	-0.938	380.081

2011	-8.556	303.521
2012	-0.117	95.54322
2013	-1.064	184.74
2014	-11.23	386.565
2015	-23.352	220.744
2016	-2.198	331.456
2017	-17.71	420.62
2018	-13.769	470.93

Estación El Banco (25027020)

Introduciendo datos a la red neuronal, gestionada por WEKA®, desde 1973 a 2004, para pronósticos antes de 2005 a 2009, y de 1973 a 2009 para los pronósticos de 2010 a 2018, arrojando los siguientes resultados. Las unidades del pronóstico de nivel al igual que los datos están expresadas en centímetros.

Pronostico 2005-2018

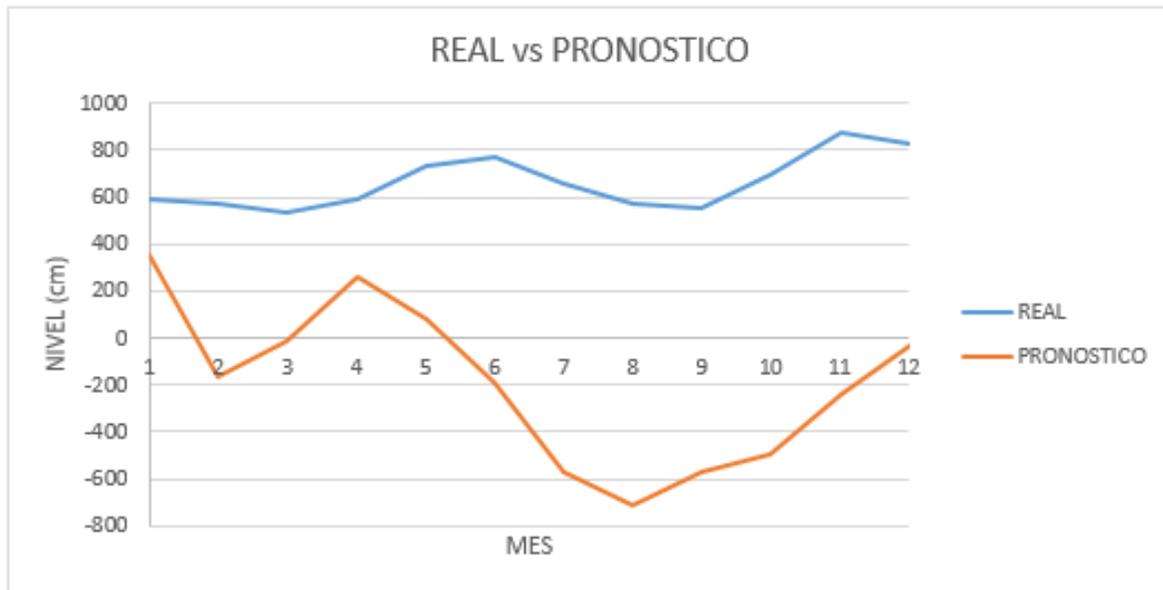
PRONOSTICO 2005

Tabla 7.

Datos de pronóstico 2005 Estación El Banco- RNA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2005 0:00	591	358.8709	232.1291	39.277
1/02/2005 0:00	570	-161.6648	731.6648	128.362

1/03/2005 0:00	534	-17.9522	551.9522	103.362
1/04/2005 0:00	591	257.262	333.738	56.470
1/05/2005 0:00	732	81.1764	650.8236	88.910
1/06/2005 0:00	767	-194.1105	961.1105	125.308
1/07/2005 0:00	660	-571.3078	1231.3078	186.562
1/08/2005 0:00	576	-713.6554	1289.6554	223.899
1/09/2005 0:00	552	-566.4873	1118.4873	202.625
1/10/2005 0:00	694	-497.7162	1191.7162	171.717
1/11/2005 0:00	873	-241.9887	1114.9887	127.719
1/12/2005 0:00	830	-29.3069	859.3069	103.531



Grafica 43. Real vs Pronóstico 2005

Figura 22. Real vs Pronóstico 2005 Estación El Banco- RNA.

En el primer año de pronóstico para el modelo RNA de tipo perceptron multicapa en la estación EL BANCO, para 2005 la predicción es completamente errática, arrojando valores por

debajo de cero en el mes dos y entre los meses de 6 a 12, los errores relativos presentados en durante el primer semestre van desde el 39% al 125% y aumentando de manera considerable en el segundo semestre, observando errores desde 103% a 223%, en los meses 6 a 11, se presentan los mayores errores del pronóstico.

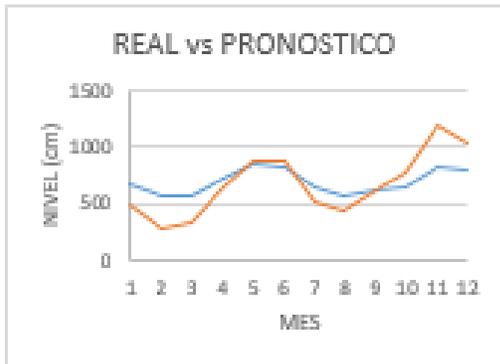
Para los pronósticos de 2006 a 2018, presentados a continuación por medio de graficas (en la sección de anexos, se encuentran sus tablas correspondientes) se puede observar visualmente el comportamiento del modelo de pronóstico en cada uno de los años. Para el año 2006, se presenta que el pronóstico se encuentra por debajo de los datos reales entre los meses 2 a 3 y 11 a 12; para el 2007 la dinámica cambia un poco, durante el primer trimestre el pronóstico se sitúa por encima de los datos reales mientras que el resto del año se mantiene estable; para el 2008, el pronóstico se comporta de manera errática mostrando valores por debajo de cero desde el mes 5 a 12; para el 2009, el pronóstico se sitúa muy por encima de los datos reales, haciendo un poco errada la predicción; para el 2010 durante los primeros cuatro meses el pronóstico se situó por arriba de los datos reales y durante el segundo semestre se presente el caso contrario, pero con un mayor error entre los datos reales y pronosticados; para el 2011 la mayor discrepancia entre los datos de pronóstico y los reales se presentó entre los tres primeros meses y los últimos dos, logrando estabilizarse entre el segundo y tercer trimestre.

Para el año 2012, se presentó mayores diferencias entre los datos pronosticados y reales en todos los meses y siempre los datos de pronóstico estuvieron situados muy por encima de los datos de niveles reales, haciendo un poco errada la predicción; para el año 2013 y 2014 entre los meses 1 y 12 se presentaron las mayores diferencias entre los datos de nivel reales vs pronóstico, comportándose de manera casi parecida, presentado los valores de pronóstico muy por encima de los valores reales, mostrándose muy impreciso; para el 2015 el modelo se comportó de manera

estable durante los primeros cuatro meses, durante los meses del 5 al 8, se presentaron pequeñas diferencias entre los datos reales y los datos pronosticados, en los meses finales se presentaron las mayores diferencias; para el 2016 el modelo de pronóstico se comportó de manera contraria a la tendencia de los datos de novel reales; para el 2017 el modelo de pronóstico se comportó de manera estable y ajustada a los datos reales presentados; para el 2018 el modelo de pronóstico se comportó de manera errática durante el primer y último trimestre, logrado estabilizarse entre los meses 4 y 9.

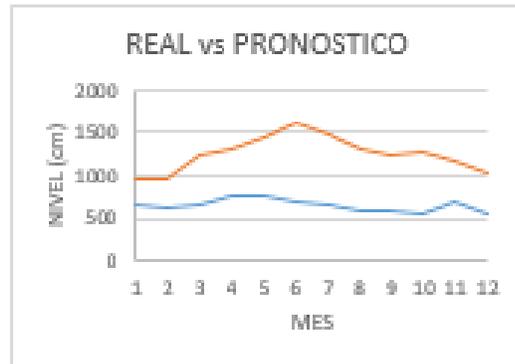
Mosaico De Graficas Para Pronostico Estación El Banco – RNA

PRONOSTICO 2006



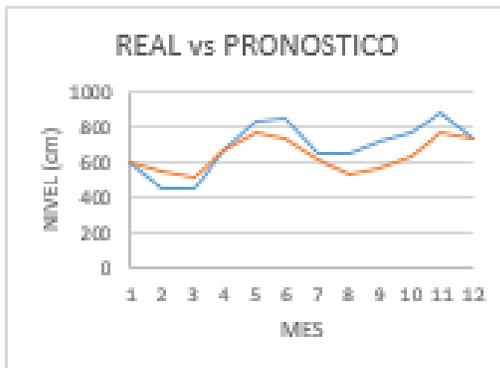
Grafica 44. Real vs Pronóstico 2006.

PRONOSTICO 2009



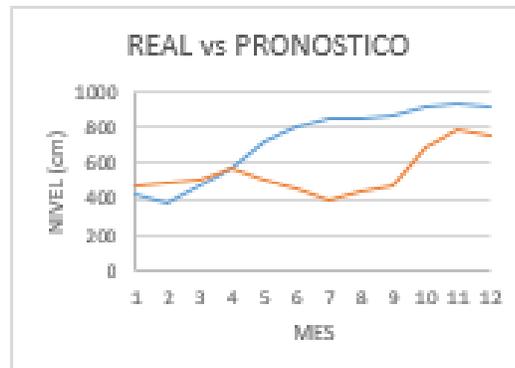
Grafica 46. Real vs Pronóstico 2009.

PRONOSTICO 2007



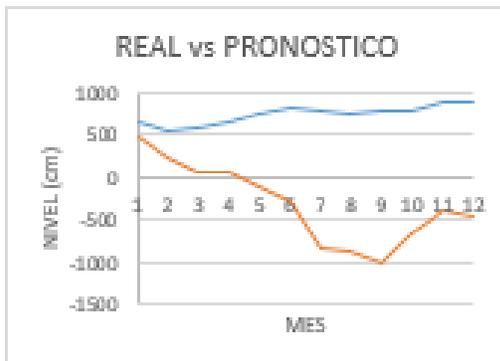
Grafica 45. Real vs Pronóstico 2007.

PRONOSTICO 2010



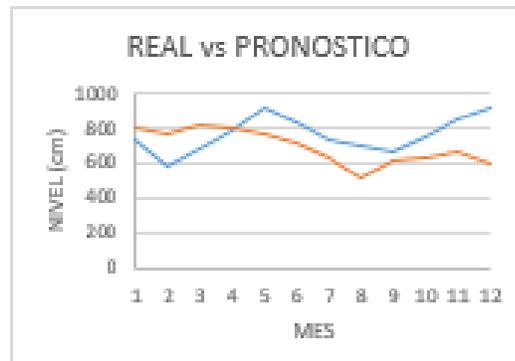
Grafica 47. Real vs Pronóstico 2010.

PRONOSTICO 2008



Grafica 4. Real vs Pronóstico 2008.

PRONOSTICO 2011

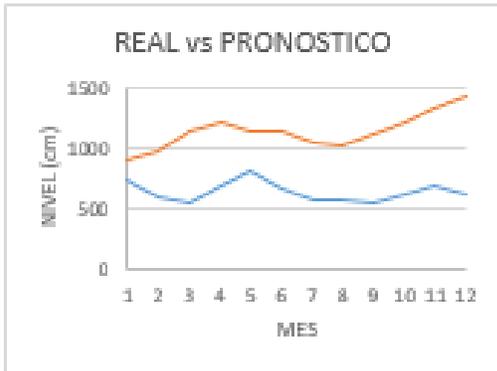


Grafica 48. Real vs Pronóstico 2011.

— REAL
— PRONOSTICO

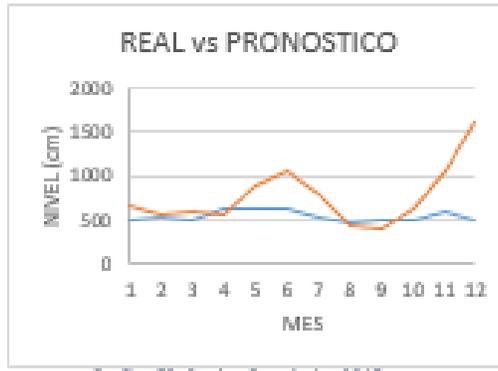
Figura 23. Real vs Pronóstico 2006- 2011.

PRONOSTICO 2012



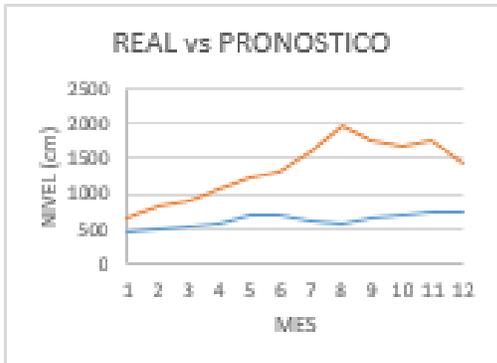
Gráfica 49. Real vs Pronóstico 2012.

PRONOSTICO 2015



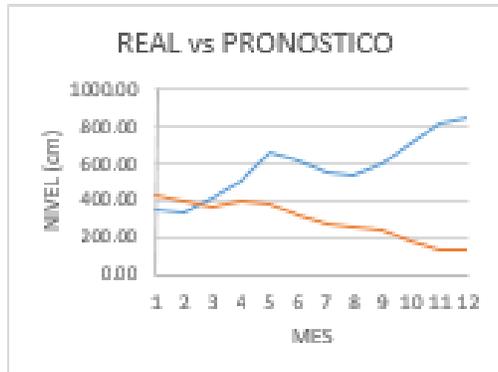
Gráfica 52. Real vs Pronóstico 2015.

PRONOSTICO 2013



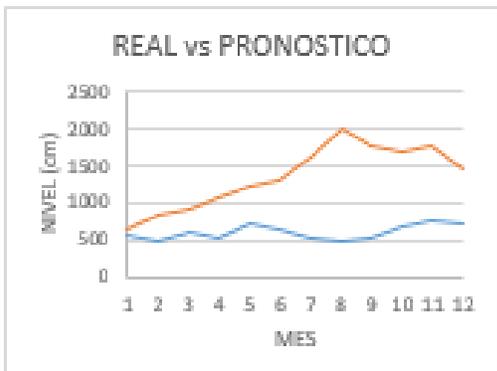
Gráfica 50. Real vs Pronóstico 2013.

PRONOSTICO 2016



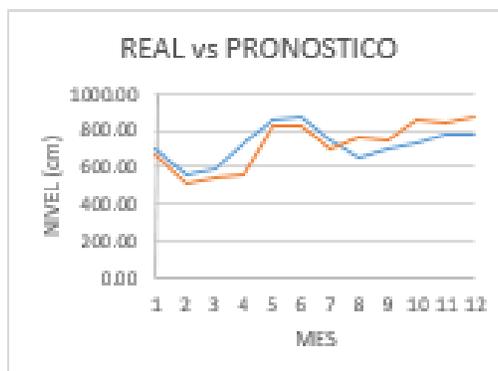
Gráfica 53. Real vs Pronóstico 2016.

PRONOSTICO 2014



Gráfica 51. Real vs Pronóstico 2014.

PRONOSTICO 2017



Gráfica 54. Real vs Pronóstico 2017.

— REAL
— PRONOSTICO

Figura 24. Real vs Pronóstico 2012- 2017 Estación El Banco- RNA.

PRONOSTICO 2018

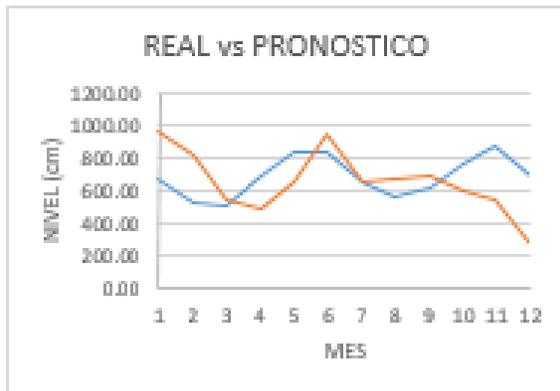


Gráfico 55. Real vs Pronóstico 2018.

Figura 25.

Real vs Pronóstico 2018 Estación El Banco- RNA.

RMSE y NSE

A continuación, se presentan tablas con el erro cuadrático medio (RMSE) y coeficiente de eficiencia de Nash (NSE) para cada pronóstico. Dividido en los periodos de 2005-2009 y 2010-2010. Para la estación EL BANCO.

Tabla 8.

RMSE y NSE Global Estación El Banco- RNA.

PRONOSTICOS 2005-2018.

AÑO	NSE	RMSE
2005	-69.694	921.262
2006	-2.139	182.359
2007	0.546	91.015
2008	-122.063	1183.085

2009	-100.38	127.474
2010	-0.744	258.526
2011	-1.616	158.178
2012	-44.072	523.164
2013	-73.378	808.492
2014	-87.191	847.368
2015	-46.497	388.145
2016	-4.939	377.96
2017	0.078	85.064
2018	-2.503	217.705

Errores Relativos

A continuación se presenta una tabla global con las sumatorias de los errores relativos anuales por cada tipo de modelo de pronóstico en cada una de las estaciones, BARBOSA y EL BANCO.

	ARIMA		AÑO	RNA	
	AÑO	SUMATORIA - ERROR RELATIVO		SUMATORIA - ERROR RELATIVO	
ESTACIÓN BARBOSA	2005	105.06	2005	306.16	
	2006	134.35	2006	162.17	
	2007	295.07	2007	345.43	
	2008	170.07	2008	807.92	
	2009	162.33	2009	323.51	
	2010	477.59	2010	564.43	
	2011	121.35	2011	419.82	
	2012	264.78	2012	167.60	
	2013	502.04	2013	460.29	
	2014	427.51	2014	679.70	
	2015	544.91	2015	595.31	
	2016	462.72	2016	769.14	
	2017	218.64	2017	813.91	
2018	218.00	2018	817.82		
	AÑO	SUMATORIA - ERROR RELATIVO	AÑO	SUMATORIA - ERROR RELATIVO	
ESTACIÓN EL BANCO	2005	88.84	2005	1557.74	
	2006	93.47	2006	268.44	
	2007	154.78	2007	136.96	
	2008	165.61	2008	1634.58	
	2009	158.81	2009	1120.88	
	2010	294.81	2010	326.45	
	2011	128.84	2011	219.37	
	2012	163.48	2012	964.58	
	2013	90.97	2013	1372.12	
	2014	117.42	2014	1521.21	
	2015	173.69	2015	577.81	
	2016	202.98	2016	562.16	
	2017	159.67	2017	122.50	
2018	135.01	2018	317.51		

Figura 26. Tabla global de sumatoria de errores relativos. Fuente: Elaboración Propia.

Para establecer la convención del tablero de errores, se tiene en cuenta el menor y mayor error por modelo y por estación, ARIMA y RNA, BARBOSA y EL BANCO respectivamente. Se observa que el mayor error se presenta en los modelos de pronóstico basados en la red neuronal de tipo perceptron multicapa, en ambas estaciones, siendo la estación EL BANCO la que mayor sumatoria de error relativa tiene luego es seguida por la estación BARBOSA. En el modelo de pronóstico basado en ARIMA en su forma “AR”, tiene los menores errores relativos de manera general en ambas estaciones, pero la estación con mayor error relativo en este caso obedece a BARBOSA, seguida por la estación EL BANCO, con menores sumatorias de errores relativos.

Prueba Mann- Kendall

Realizando la prueba Mann- Kendall a los datos de nivel desde 1980 a 2018, a los datos de forma anual, usando el promedio, máximo y mínimo valor de los datos. Se obtuvieron los siguientes resultados, organizados en la siguiente tabla.

TENDENCIAS DE NIVELES ANUALES				
	ESTACIONES			
	BARBOSA		EL BANCO	
	DE 1980-2000	DE 2001- 2018	DE 1980-2000	DE 2001- 2018
MIN	-0.06	-0.379	0.574	0.606
PROM	0.996	-0.909	-0.151	0.114
MAX	0.906	-1.288	-0.06	-1.439

BARBOSA	
	INSIGNIFICANTE TENDENCIA DECRECIENTE
	TENDENCIA CRECIENTE CON UN 90-80% DE SIGNIFICANCIA
	TENDENCIA DECRECIENTE CON UN 90-80% DE SIGNIFICANCIA

EL BANCO	
	TENDENCIA CRECIENTE CON UN 80-70% DE SIGNIFICANCIA
	INSIGNIFICANTE TENDENCIA DECRECIENTE
	TENDENCIA DECRECIENTE CON UN 90-80% DE SIGNIFICANCIA
	INSIGNIFICANTE TENDENCIA CRECIENTE

Figura 27. Tabla de resultados, test Mann- Kendall Fuente: Elaboración Propia.

Analisis Y Discusión De Resultados

Se trabajó durante el desarrollo de esta investigación dos tipos de modelos de pronóstico anual para la predicción de niveles del rio en la cuenca baja del rio magdalena en dos estaciones Ubicadas en los departamento de Bolívar y Magdalena, estaciones de nombre BARBOSA y EL BANCO, respectivamente. Para los modelos de pronósticos se basó en dos fundamentos teóricos,

modelo ARIMA en su forma AR y una red neuronal de tipo PERCEPTRON MULTICAPA , gestionada por el software WEKA®.

Para el modelo ARIMA en su forma AR, en las estaciones de EL BANCO y BARBOSA se presentó mejores resultados de pronósticos en las predicciones realizadas desde 2005 a 2009. Basados en los parámetros NSE (coeficiente de eficiencia Nash- Sutcliffe) y RMSE (error cuadrático medio), ubicados en las **Tablas 9 y 10**. Desde el año 2005 hasta el año 2009 en los datos de pronóstico de la estación BARBOSA se nota como el coeficiente de eficiencia NSE del pronóstico va en disminución, siendo el año 2005 el mejor pronosticado, con un coeficiente de eficiencia cerca del 70%, mientras que parámetro RMSE es notable un aumento entre pronósticos. En la estación EL BANCO se tiene el mismo comportamiento de la estación BARBOSA, pero un con un menor valor del parámetro RMSE, lo que indica un mejor resultado de pronóstico. Observando el promedio del error cuadrático medio de ambas estaciones se tiene que la estación EL BANCO arroja mejores resultados de pronósticos.

Tabla 9.

RMSE y NSE Modelo ARIMA- BARBOSA

**BARBOSA - MODELO ARIMA,
PRONOSTICOS 2005-2009.**

AÑO	NSE	RMSE
2005	0.71	66.126
2006	0.435	80.916
2007	0.264	150.146
2008	-0.004	134.058
2009	-1.041	98.872

PROMEDIO	106.023
-----------------	----------------

Tabla 10.

RMSE y NSE Modelo ARIMA- EL BANCO.

**EL BANCO – MODELO ARIMA,
PRONOSTICOS 2005- 2009.**

AÑO	NSE	RMSE
2005	0.702	59.835
2006	0.562	68.139
2007	0.512	94.275
2008	-0.232	118.364
2009	-1.587	100.235
	PROMEDIO	88.1696

En los pronósticos desde el año 2010 a 2018, tanto en las estación BARBOSA y estación EL BANCO, desde el pronóstico de 2010 a 2012 el porcentaje de eficiencia (NSE) disminuye y el error cuadrático medio en el pronóstico del año 2010 es considerablemente alto en ambas estaciones, como se puede observar en las **Tablas 11 y 12**. De desde el año 2012 hasta el año 2018 en los datos de pronóstico de la estación BARBOSA se nota como el coeficiente de eficiencia NSE del pronóstico se comporta de manera errática, con una notable tendencia a la disminución de su eficiencia, siendo el año 2013 el mejor pronosticado, con una eficiencia cerca del 60%, mientras que el menor error cuadrático medio (RMSE) se encuentra entre los

pronósticos de los años 2013 a 2015. En la estación EL BANCO se tiene el mismo comportamiento de la estación BARBOSA, pero un con un menor valor del parámetro RMSE, lo que indica un mejor resultado de pronóstico. Observando el promedio del error cuadrático medio de ambas estaciones se tiene que la estación EL BANCO arroja mejores resultados de pronósticos.

Tabla 11.

RMSE y NSE Modelo ARIMA- BARBOSA

**BARBOSA - MODELO ARIMA,
PRONOSTICOS 2010-2018.**

AÑO	NSE	RMSE
2010	-0.04	225.596
2011	-0.284	96.641
2012	-0.466	128.642
2013	0.619	208.173
2014	0.492	179.425
2015	-1.778	168.629
2016	0.405	123.601
2017	-0.836	97.531
2018	0.34	98.092
PROMEDIO		147.370

Tabla 12.

RMSE y NSE Modelo ARIMA- EL BANCO

EL BANCO - MODELO ARIMA, PRONOSTICOS

2010- 2018

AÑO	NSE	RMSE
2010	-0.04	199.587
2011	-0.284	110.826
2012	-0.466	94.348
2013	0.619	57.846
2014	0.492	64.281
2015	-1.778	93.876
2016	0.405	119.622
2017	-0.836	120.028
2018	0.34	94.026
	PROMEDIO	106.048889

Para el modelo con RNA en la estación BARBOSA se presentó mejores resultados de pronósticos en las predicciones realizadas desde 2005 a 2009. Basados en los parámetros NSE (coeficiente de eficiencia Nash- Sutcliffe) y RMSE (error cuadrático medio), ubicados en las **Tablas 13 y 14**. Desde el año 2005 hasta el año 2009 en los datos de pronóstico de la estación BARBOSA se nota como el coeficiente de eficiencia NSE del pronóstico tiene un comportamiento aleatorio, siendo el año 2006 el mejor pronosticado, basados en el parámetro RMSE. En la estación EL BANCO se tiene un comportamiento contrario, siendo el periodo de

pronóstico de 2005 a 2009 el más impreciso, con menor eficiencia y mayor error, lo que indica un mejor resultado de pronóstico en este lapso de tiempo en la estación BARBOSA.

Tabla 13.

RMSE y NSE Modelo RNA- BARBOSA

BARBOSA – MODELO RNA

PRONOSTICOS 2005-2009.

AÑO	NSE	RMSE
2005	-4.705	293.46
2006	0.077	103.396
2007	-0.019	176.643
2008	-15.379	541.499
2009	-7.908	206.55
	PROMEDIO	264.31

Tabla 14.

RMSE y NSE Modelo RNA- EL BANCO

EL BANCO - MODELO RNA

PRONOSTICOS 2005-2009.

AÑO	NSE	RMSE
2005	-69.694	921.262

2006	-2.139	182.359
2007	0.546	91.015
2008	-122.063	1183.085
2009	-100.38	127.474
	PROMEDIO	501.039

En los pronósticos desde el año 2010 a 2018, tanto en las estación BARBOSA y estación EL BANCO, desde el pronóstico de 2010 a 2015 el porcentaje de eficiencia (NSE) disminuye y el error cuadrático medio en los pronósticos de ese lapso de tiempo es considerablemente alto en ambas estaciones, como se puede observar en las **Tablas 15 y 16**. De desde el año 2011 hasta el año 2018 en los datos de pronóstico de la estación BARBOSA se nota como el coeficiente de eficiencia NSE del pronóstico se comporta de manera errática, con una notable tendencia a la disminución de su eficiencia, siendo el año 2012 el mejor pronosticado, al encontrarse un menor error cuadrático medio (RMSE). En la estación EL BANCO se tiene el mismo comportamiento de la estación BARBOSA, pero un con un mayor valor del parámetro RMSE, lo que indica un mejor resultado de pronóstico en la estación BARBOSA. Observando el promedio del error cuadrático medio de ambas estaciones se tiene que la estación BARBOSA arroja mejores resultados de pronósticos en el lapso de tiempo 2010 a 2018, pero a nivel global la estación EL BANCO, es decir de 2005 a 2018, en el lapso de tiempo de 2010 a 2018, presenta un mejor pronóstico.

Tabla 15.

RMSE y NSE Modelo RNA- BARBOSA

BARBOSA – MODELO RNA

PRONOSTICOS 2010-2018.

AÑO	NSE	RMSE
2010	-0.938	380.081
2011	-8.556	303.521
2012	-0.117	95.54322
2013	-1.064	184.74
2014	-11.23	386.565
2015	-23.352	220.744
2016	-2.198	331.456
2017	-17.71	420.62
2018	-13.769	470.93
	PROMEDIO	310.47

Tabla 16.

RMSE y NSE Modelo RNA- EL BANCO.

EL BANCO - MODELO RNA

PRONOSTICOS 2010-2018.

AÑO	NSE	RMSE
------------	------------	-------------

2010	-0.744	258.526
2011	-1.616	158.178
2012	-44.072	523.164
2013	-73.378	808.492
2014	-87.191	847.368
2015	-46.497	388.145
2016	-4.939	377.96
2017	0.078	85.064
2018	-2.503	217.705
	PROMEDIO	407.17

En la estación BARBOSA y EL BANCO, a nivel general el modelo de pronósticos basado en ARIMA, tiene mejores resultados que el modelo basado en RNA, pero en la estación EL BANCO se obtuvieron mejores resultados de pronóstico con el modelo ARIMA.

Debido a que, en ambos modelos de pronóstico, ARIMA y RNA, se presentó un mayor error y menor eficiencia en los pronósticos de 2010 – 2018, se realizó el test de Mann- Kendall, para el análisis de tendencias anuales en los datos de nivel en ambas estaciones (BARBOSA y EL BANCO) de 1980 a 2000 y de 2001 a 2018. Para corroborar que en los datos de nivel desde 2010 pudieron haber sido afectados por fenómenos meteorológicos adversos, como por ejemplo el fenómeno de la niña presentado en el año 2010 en el área de estudio. Provocando un alto impacto en los procesos lluvia – escorrentía de los ríos en la zona caribe de Colombia (E. Dominguez, 2010)

Para los datos de la estación BARBOSA, de 1980 a 2000, el promedio de nivel anual, tiene una tendencia creciente de alrededor de 80 a 90% de significancia, mientras que el resto de datos de nivel anual correspondientes, 2001 a 2018, presentan una tendencia decreciente de alrededor de 80 a 90% de significancia. Para los datos de la estación EL BANCO, de 1980 a 2000, el promedio de nivel anual, tiene una tendencia insignificamente decreciente, lo que indica una poca correlación entre los datos, mientras que el resto de datos de nivel anual correspondientes, 2001 a 2018, presentan una tendencia insignificamente creciente.

Los resultados presentados en el test Mann – Kendall, indican una mejor correlación entre el primer conjunto de datos y podría explicar el por qué se obtuvieron mejores resultados de pronóstico de 2005 a 2009 en ambos modelos en la estación BARBOSA, al igual que demostrar una posible variabilidad de los datos producto del fenómeno de la niña. Mientras que en la estación EL BANCO no fue posible observar una tendencia importante en el conjunto de datos.

Conclusiones

- A partir de los resultados de los modelos de pronóstico realizados en las estaciones, BARBOSA y EL BANCO, los datos de las mencionadas estaciones, el modelo con mejores resultados de pronóstico en ambas estaciones es el modelo ARIMA en su forma AR en comparación del modelo basado en la red neuronal. En ambas estaciones con ambos modelos, los pronósticos presentaron errores considerables en el lapso de 2010 a 2018.
- Durante la elaboración y análisis del modelo podemos observar que el modelo disminuye su error cuadrático medio a medida que incrementa el número de datos o input en R estudio. En esta herramienta sucede de esta forma, R configurado con la función ARIMA en su forma AR, busca ajustarse de acuerdo a la tendencia de los últimos años, sin embargo, en un

análisis gráfico realizado se observó que algunos de los datos mensuales son atípicos o no siguen una tendencia por lo cual algunos meses presentan errores significativos.

- El modelo basado en Redes neuronales no realiza este ajuste como tampoco busca ajustarse, dado que como necesita entrenamiento y los datos ingresados son estocásticos o no se siguen una tendencia la red en las primeras simulaciones muestra errores considerables, pero luego los errores cuadráticos medios son significativamente altos, esto por lo mencionado anteriormente. Además, a todo esto, se suma que en el año 2010 ocurrió el fenómeno de la niña y en este lapso del tiempo es donde se encuentran los datos más atípicos o más dispersos durante todos los periodos de estudio. Esto dificulta el rendimiento de la red.

- El modelo más eficiente presentado es modelo ARIMA dado que muestra los errores cuadráticos medios más bajos y mejores valores de eficiencia (NSE). Como también menores errores relativos mes a mes.

- Teniendo en cuenta que los datos de nivel de las estaciones son estocásticos, cada modelo utilizado trata de encontrar tendencias en cada uno de los conjuntos de datos de las estaciones para lograr una predicción anual, consecuente a esto, ARIMA muestra una mejor predicción debido a que reconoce mejor las tendencias de los conjuntos. El modelo de Redes neuronales perceptrón multicapa no reconoce de igual forma estas tendencias, por tanto, se infiere que con una mejor tendencia en el conjunto de datos se puede obtener un mejor pronóstico, es decir que una mayor cantidad de datos no implica tener una mejor tendencia de datos, sin embargo, puede existir una mayor posibilidad de encontrar una mejor tendencia en ese conjunto de datos.

Anexos

Se encuentran a continuación la información anexa pertinente a los modelos empleados y demás información relevante.

Tablas De Datos

En los siguientes capítulos se encontraran consignados las tablas de datos de pronóstico de las estaciones BARBOSA y EL BANCO. Desde 2006- 2018. Para los modelos “AR” y “RNA”.

Modelo arima en su forma “AR”

Estación Barbosa (25027530)

PRONOSTICO 2006

Tabla 17.

Datos de pronóstico 2006 Estación Barbosa- ARIMA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2006 0:00	674	717.8091	43.8091	6.500
1/02/2006 0:00	505	581.1534	76.1534	15.080
1/03/2006 0:00	462	519.8327	57.8327	12.518
1/04/2006 0:00	620	569.9002	50.0998	8.081
1/05/2006 0:00	769	658.7438	110.2562	14.338
1/06/2006 0:00	823	691.2367	131.7633	16.010
1/07/2006 0:00	731	633.6343	97.3657	13.320
1/08/2006 0:00	618	556.5217	61.4783	9.948
1/09/2006 0:00	654	547.3564	106.6436	16.306
1/10/2006 0:00	651	622.4284	28.5716	4.389
1/11/2006 0:00	766	706.1	59.9	7.820
1/12/2006 0:00	799	718.7426	80.2574	10.045

PRONOSTICO 2007

Tabla 18.

Datos de pronóstico 2007 Estación Barbosa- ARIMA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2007 0:00	609	692.8714	83.8714	13.772
1/02/2007 0:00	355	573.1909	218.1909	61.462
1/03/2007 0:00	298	544.7901	246.7901	82.815
1/04/2007 0:00	593	621.3167	28.3167	4.775
1/05/2007 0:00	753	705.2514	47.7486	6.341
1/06/2007 0:00	834	719.2072	114.7928	13.764
1/07/2007 0:00	762	652.8611	109.1389	14.323
1/08/2007 0:00	724	585.6737	138.3263	19.106
1/09/2007 0:00	782	560.1687	221.8313	28.367
1/10/2007 0:00	785	624.4752	160.5248	20.449
1/11/2007 0:00	855	700.7112	154.2888	18.045
1/12/2007 0:00	796	701.6954	94.3046	11.847

PRONOSTICO 2008

Tabla 19.

Datos de pronóstico 2008 Estación Barbosa- ARIMA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2008 0:00	664	616.0554	47.9446	7.221
1/02/2008 0:00	507	463.8217	43.1783	8.516
1/03/2008 0:00	540	479.3523	60.6477	11.231
1/04/2008 0:00	563	591.8256	28.8256	5.120
1/05/2008 0:00	696	690.9285	5.0715	0.729
1/06/2008 0:00	810	703.0263	106.9737	13.207
1/07/2008 0:00	843	649.8462	193.1538	22.913
1/08/2008 0:00	839	614.0511	224.9489	26.812
1/09/2008 0:00	848	626.1052	221.8948	26.167

1/10/2008 0:00	846	708.0208	137.9792	16.310
1/11/2008 0:00	872	756.8777	115.1223	13.202
1/12/2008 0:00	866	704.5061	161.4939	18.648

PRONOSTICO 2009

Tabla 20.

Datos de pronóstico 2009 Estación Barbosa- ARIMA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2009 0:00	733	762.9158	29.9158	4.081
1/02/2009 0:00	604	663.9569	59.9569	9.927
1/03/2009 0:00	564	592.9227	28.9227	5.128
1/04/2009 0:00	668	603.9744	64.0256	9.585
1/05/2009 0:00	709	659.2537	49.7463	7.016
1/06/2009 0:00	698	701.489	3.489	0.500
1/07/2009 0:00	656	707.9255	51.9255	7.915
1/08/2009 0:00	592	690.1163	98.1163	16.574
1/09/2009 0:00	583	682.238	99.238	17.022
1/10/2009 0:00	540	706.6149	166.6149	30.855
1/11/2009 0:00	680	741.7167	61.7167	9.076
1/12/2009 0:00	509	736.2805	227.2805	44.652

PRONOSTICO 2010

Tabla 21.

Datos de pronóstico 2010 Estación Barbosa- ARIMA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2010 0:00	273	415.7466	142.7466	52.288
1/02/2010 0:00	163	382.0653	219.0653	134.396
1/03/2010 0:00	286	442.3526	156.3526	54.669
1/04/2010 0:00	435	554.1492	119.1492	27.391
1/05/2010 0:00	624	615.7985	8.2015	1.314
1/06/2010 0:00	746	641.2978	104.7022	14.035
1/07/2010 0:00	843	588.107	254.893	30.236
1/08/2010 0:00	882	561.8675	320.1325	36.296
1/09/2010 0:00	882	568.6021	313.3979	35.533
1/10/2010 0:00	894	643.9346	250.0654	27.972
1/11/2010 0:00	892	640.6393	251.3607	28.179
1/12/2010 0:00	902	583.7273	318.2727	35.285

PRONOSTICO 2011

Tabla 22.

Datos de pronóstico 2011 Estación Barbosa- ARIMA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2011 0:00	777	771.3814	5.6186	0.723
1/02/2011 0:00	540	656.9748	116.9748	21.662
1/03/2011 0:00	573	589.9424	16.9424	2.957
1/04/2011 0:00	681	596.3127	84.6873	12.436
1/05/2011 0:00	838	642.7185	195.2815	23.303
1/06/2011 0:00	836	686.8303	149.1697	17.843
1/07/2011 0:00	787	705.9658	81.0342	10.297
1/08/2011 0:00	736	689.8929	46.1071	6.265
1/09/2011 0:00	691	686.2281	4.7719	0.691
1/10/2011 0:00	727	705.9077	21.0923	2.901
1/11/2011 0:00	795	743.0503	51.9497	6.535
1/12/2011 0:00	868	731.4154	136.5846	15.736

PRONOSTICO 2012

Tabla 23.

Datos de pronóstico 2012 Estación Barbosa- ARIMA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2012 0:00	729	762.1196	33.1196	4.543
1/02/2012 0:00	509	655.7641	146.7641	28.834
1/03/2012 0:00	418	616.6537	198.6537	47.525
1/04/2012 0:00	552	665.8092	113.8092	20.618
1/05/2012 0:00	739	724.3096	14.6904	1.988
1/06/2012 0:00	638	734.9395	96.9395	15.194
1/07/2012 0:00	508	696.8795	188.8795	37.181
1/08/2012 0:00	528	625.3926	97.3926	18.446
1/09/2012 0:00	524	601.2487	77.2487	14.742
1/10/2012 0:00	534	642.1406	108.1406	20.251
1/11/2012 0:00	609	716.509	107.509	17.653
1/12/2012 0:00	526	724.8475	198.8475	37.804

PRONOSTICO 2013

Tabla 24.

Datos de pronóstico 2013 Estación Barbosa- ARIMA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2013 0:00	304	712.0944	408.0944	134.242
1/02/2013 0:00	303	728.1585	425.1585	140.316
1/03/2013 0:00	366	640.4685	274.4685	74.991
1/04/2013 0:00	384	549.0567	165.0567	42.984
1/05/2013 0:00	531	488.1941	42.8059	8.061
1/06/2013 0:00	634	489.4384	144.5616	22.802
1/07/2013 0:00	528	574.0058	46.0058	8.713
1/08/2013 0:00	482	644.1579	162.1579	33.643
1/09/2013 0:00	598	613.6221	15.6221	2.612
1/10/2013 0:00	616	548.5746	67.4254	10.946
1/11/2013 0:00	661	547.046	113.954	17.240
1/12/2013 0:00	645	609.5763	35.4237	5.492

PRONOSTICO 2014

Tabla 25.

Datos de pronóstico 2014 Estación Barbosa- ARIMA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2014 0:00	465	632.1042	167.1042	35.936
1/02/2014 0:00	341	697.7103	356.7103	104.607
1/03/2014 0:00	425	663.8839	238.8839	56.208
1/04/2014 0:00	383	556.0074	173.0074	45.172
1/05/2014 0:00	564	497.4124	66.5876	11.806
1/06/2014 0:00	578	495.0383	82.9617	14.353
1/07/2014 0:00	444	582.9883	138.9883	31.304

1/08/2014 0:00	416	638.7075	222.7075	53.535
1/09/2014 0:00	512	596.5262	84.5262	16.509
1/10/2014 0:00	604	525.7139	78.2861	12.961
1/11/2014 0:00	695	505.4462	189.5538	27.274
1/12/2014 0:00	680	558.6745	121.3255	17.842

PRONOSTICO 2015

Tabla 26.

Datos de pronóstico 2015 Estación Barbosa- ARIMA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2015 0:00	391	444.7707	53.7707	13.752
1/02/2015 0:00	375	566.7499	191.7499	51.133
1/03/2015 0:00	280	550.6002	270.6002	96.643
1/04/2015 0:00	359	515.114	156.114	43.486
1/05/2015 0:00	369	452.268	83.268	22.566
1/06/2015 0:00	424	466.1926	42.1926	9.951
1/07/2015 0:00	311	506.6601	195.6601	62.913
1/08/2015 0:00	308	563.3777	255.3777	82.915
1/09/2015 0:00	327	539.1769	212.1769	64.886
1/10/2015 0:00	319	488.5598	169.5598	53.154
1/11/2015 0:00	429	452.9866	23.9866	5.591
1/12/2015 0:00	348	479.9668	131.9668	37.921

PRONOSTICO 2016

Tabla 27.

Datos de pronóstico 2016 Estación Barbosa- ARIMA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2016 0:00	183.01	336.31	153.30	83.764
1/02/2016 0:00	129.44	314.36	184.92	142.861
1/03/2016 0:00	193.07	373.11	180.04	93.255
1/04/2016 0:00	305.58	430.70	125.12	40.946
1/05/2016 0:00	496.69	496.64	0.05	0.009
1/06/2016 0:00	529.70	492.63	37.07	6.998
1/07/2016 0:00	496.75	455.61	41.13	8.280
1/08/2016 0:00	499.93	454.92	45.01	9.003
1/09/2016 0:00	549.81	455.38	94.43	17.175
1/10/2016 0:00	619.88	514.28	105.60	17.035
1/11/2016 0:00	732.69	520.16	212.53	29.007
1/12/2016 0:00	591.01	505.97	85.05	14.390

PRONOSTICO 2017

Tabla 28.

Datos de pronóstico 2017 Estación Barbosa- ARIMA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2017 0:00	449.34	615.71	166.37	37.025
1/02/2017 0:00	307.67	519.52	211.85	68.857
1/03/2017 0:00	359.27	489.22	129.95	36.171
1/04/2017 0:00	457.73	547.23	89.50	19.553
1/05/2017 0:00	544.62	603.18	58.56	10.752
1/06/2017 0:00	592.54	604.37	11.83	1.997
1/07/2017 0:00	528.41	557.10	28.69	5.430
1/08/2017 0:00	573.76	522.98	50.78	8.851
1/09/2017 0:00	569.49	540.38	29.10	5.110
1/10/2017 0:00	593.42	617.10	23.68	3.990
1/11/2017 0:00	611.15	682.92	71.77	11.743
1/12/2017 0:00	613.73	669.97	56.24	9.163

PRONOSTICO 2018

Tabla 29

.Datos de pronóstico 2018 Estación Barbosa- ARIMA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2018 0:00	509.80	536.45	26.65	5.227
1/02/2018 0:00	315.44	489.76	174.33	55.266
1/03/2018 0:00	258.54	504.26	245.72	95.041
1/04/2018 0:00	417.23	539.46	122.23	29.295
1/05/2018 0:00	549.97	587.43	37.46	6.811
1/06/2018 0:00	655.41	582.08	73.32	11.187
1/07/2018 0:00	560.09	574.25	14.16	2.529
1/08/2018 0:00	566.69	558.44	8.24	1.455
1/09/2018 0:00	573.29	571.99	1.30	0.227
1/10/2018 0:00	579.89	600.95	21.06	3.632
1/11/2018 0:00	663.20	624.97	38.23	5.765
1/12/2018 0:00	616.93	607.29	9.64	1.562

Estación El Banco (25027020)

PRONOSTICO 2006

Tabla 30.

Datos de pronóstico 2006 Estación El Banco- ARIMA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2006 0:00	668	706.6187	38.6187	5.781
1/02/2006 0:00	564	578.1858	14.1858	2.515
1/03/2006 0:00	574	533.9068	40.0932	6.985
1/04/2006 0:00	729	617.757	111.243	15.260
1/05/2006 0:00	841	725.1505	115.8495	13.775
1/06/2006 0:00	833	728.0176	104.9824	12.603
1/07/2006 0:00	656	634.7968	21.2032	3.232
1/08/2006 0:00	565	534.1811	30.8189	5.455
1/09/2006 0:00	629	534.3527	94.6473	15.047
1/10/2006 0:00	653	654.8035	1.8035	0.276
1/11/2006 0:00	815	760.423	54.577	6.697
1/12/2006 0:00	814	766.4704	47.5296	5.839

PRONOSTICO 2007

Tabla 31.

Datos de pronóstico 2007 Estación El Banco- ARIMA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2007 0:00	600	677.9463	77.9463	12.991
1/02/2007 0:00	445	568.0898	123.0898	27.661
1/03/2007 0:00	444	577.8792	133.8792	30.153
1/04/2007 0:00	667	679.8567	12.8567	1.928
1/05/2007 0:00	824	773.1243	50.8757	6.174
1/06/2007 0:00	844	756.2961	87.7039	10.391
1/07/2007 0:00	656	644.4774	11.5226	1.756
1/08/2007 0:00	648	567.4122	80.5878	12.436
1/09/2007 0:00	710	560.7541	149.2459	21.021
1/10/2007 0:00	766	660.2048	105.7952	13.811
1/11/2007 0:00	884	754.4127	129.5873	14.659
1/12/2007 0:00	729	742.1223	13.1223	1.800

PRONOSTICO 2008

Tabla 32.

Datos de pronóstico 2008 Estación El Banco- ARIMA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2008 0:00	637	549.5242	87.4758	13.732
1/02/2008 0:00	537	445.2942	91.7058	17.077
1/03/2008 0:00	598	499.9183	98.0817	16.402
1/04/2008 0:00	657	645.6896	11.3104	1.722
1/05/2008 0:00	745	753.2516	8.2516	1.108
1/06/2008 0:00	830	712.1976	117.8024	14.193
1/07/2008 0:00	782	608.2591	173.7409	22.218
1/08/2008 0:00	758	572.215	185.785	24.510
1/09/2008 0:00	799	622.2247	176.7753	22.125
1/10/2008 0:00	805	755.7954	49.2046	6.112
1/11/2008 0:00	883	805.2468	77.7532	8.806
1/12/2008 0:00	879	724.252	154.748	17.605

PRONOSTICO 2009

Tabla 33.

Datos de pronóstico 2009 Estación El Banco- ARIMA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2009 0:00	664	751.6485	87.6485	13.200
1/02/2009 0:00	630	647.8739	17.8739	2.837
1/03/2009 0:00	648	610.8843	37.1157	5.728
1/04/2009 0:00	750	641.3546	108.6454	14.486
1/05/2009 0:00	747	708.2654	38.7346	5.185
1/06/2009 0:00	702	730.7683	28.7683	4.098
1/07/2009 0:00	656	694.7768	38.7768	5.911
1/08/2009 0:00	594	664.8138	70.8138	11.922
1/09/2009 0:00	583	667.5275	84.5275	14.499
1/10/2009 0:00	565	725.9024	160.9024	28.478
1/11/2009 0:00	696	790.7531	94.7531	13.614
1/12/2009 0:00	567	787.2805	220.2805	38.850

PRONOSTICO 2010

Tabla 34.

Datos de pronóstico 2010 Estación El Banco- ARIMA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2010 0:00	429	520.8667	91.8667	21.414
1/02/2010 0:00	381	533.9767	152.9767	40.151
1/03/2010 0:00	471	587.9428	116.9428	24.829
1/04/2010 0:00	580	664.6358	84.6358	14.592
1/05/2010 0:00	714	696.5997	17.4003	2.437
1/06/2010 0:00	808	684.0164	123.9836	15.345
1/07/2010 0:00	846	621.5153	224.4847	26.535
1/08/2010 0:00	844	599.4791	244.5209	28.972
1/09/2010 0:00	870	598.2984	271.7016	31.230
1/10/2010 0:00	908	658.6161	249.3839	27.465
1/11/2010 0:00	925	660.2012	264.7988	28.627
1/12/2010 0:00	920	614.4684	305.5316	33.210

PRONOSTICO 2011

Tabla 35.

Datos de pronóstico 2011 Estación El Banco- ARIMA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2011 0:00	724	769.821	45.821	6.329
1/02/2011 0:00	583	636.6726	53.6726	9.206
1/03/2011 0:00	673	579.6999	93.3001	13.863
1/04/2011 0:00	787	600.5991	186.4009	23.685
1/05/2011 0:00	910	659.5505	250.4495	27.522
1/06/2011 0:00	831	696.1145	134.8855	16.232
1/07/2011 0:00	734	686.9408	47.0592	6.411
1/08/2011 0:00	698	666.035	31.965	4.580
1/09/2011 0:00	661	686.2119	25.2119	3.814
1/10/2011 0:00	748	742.07	5.93	0.793
1/11/2011 0:00	841	807.4124	33.5876	3.994
1/12/2011 0:00	919	804.9637	114.0363	12.409

PRONOSTICO 2012

Tabla 36.

Datos de pronóstico 2012 Estación El Banco- ARIMA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2012 0:00	724	792.3455	68.3455	9.440
1/02/2012 0:00	599	681.5918	82.5918	13.788
1/03/2012 0:00	543	663.3695	120.3695	22.167
1/04/2012 0:00	695	731.7179	36.7179	5.283
1/05/2012 0:00	814	796.5449	17.4551	2.144
1/06/2012 0:00	665	783.5858	118.5858	17.832
1/07/2012 0:00	580	716.3397	136.3397	23.507
1/08/2012 0:00	579	623.7789	44.7789	7.734
1/09/2012 0:00	544	613.2099	69.2099	12.722
1/10/2012 0:00	623	679.3853	56.3853	9.051
1/11/2012 0:00	696	774.4903	78.4903	11.277
1/12/2012 0:00	611	785.3565	174.3565	28.536

PRONOSTICO 2013

Tabla 37.

Datos de pronóstico 2013 Estación El Banco- ARIMA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2013 0:00	450	541.0427	91.0427	20.232
1/02/2013 0:00	493	506.1898	13.1898	2.675
1/03/2013 0:00	543	558.5228	15.5228	2.859
1/04/2013 0:00	563	675.245	112.245	19.937
1/05/2013 0:00	705	712.2306	7.2306	1.026
1/06/2013 0:00	721	666.8813	54.1187	7.506
1/07/2013 0:00	606	605.3902	0.6098	0.101
1/08/2013 0:00	587	561.9585	25.0415	4.266
1/09/2013 0:00	650	589.238	60.762	9.348
1/10/2013 0:00	699	667.1569	31.8431	4.556
1/11/2013 0:00	730	688.2326	41.7674	5.722
1/12/2013 0:00	736	642.2312	93.7688	12.740

PRONOSTICO 2014

Tabla 38.

Datos de pronóstico 2014 Estación El Banco- ARIMA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2014 0:00	582	650.9131	68.9131	11.841
1/02/2014 0:00	501	586.9691	85.9691	17.160
1/03/2014 0:00	605	578.9956	26.0044	4.298
1/04/2014 0:00	544	635.7052	91.7052	16.858
1/05/2014 0:00	715	687.8863	27.1137	3.792
1/06/2014 0:00	660	667.6275	7.6275	1.156
1/07/2014 0:00	544	614.7536	70.7536	13.006
1/08/2014 0:00	477	585.6686	108.6686	22.782
1/09/2014 0:00	524	605.9133	81.9133	15.632
1/10/2014 0:00	667	658.4955	8.5045	1.275
1/11/2014 0:00	769	706.9647	62.0353	8.067
1/12/2014 0:00	706	695.0383	10.9617	1.553

PRONOSTICO 2015

Tabla 39.

Datos de pronóstico 2015 Estación El Banco- ARIMA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2015 0:00	506	581.0223	75.0223	14.827
1/02/2015 0:00	540	544.1703	4.1703	0.772
1/03/2015 0:00	501	547.9596	46.9596	9.373
1/04/2015 0:00	627	650.551	23.551	3.756
1/05/2015 0:00	623	715.5957	92.5957	14.863
1/06/2015 0:00	624	669.2108	45.2108	7.245
1/07/2015 0:00	523	567.963	44.963	8.597
1/08/2015 0:00	475	509.9968	34.9968	7.368
1/09/2015 0:00	487	554.4613	67.4613	13.852
1/10/2015 0:00	496	658.2639	162.2639	32.714
1/11/2015 0:00	590	721.2872	131.2872	22.252
1/12/2015 0:00	494	682.0601	188.0601	38.069

PRONOSTICO 2016

Tabla 40.

Datos de pronóstico 2016 Estación El Banco- ARIMA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2016 0:00	356.81	477.90	121.09	33.938
1/02/2016 0:00	340.89	470.44	129.55	38.002
1/03/2016 0:00	407.03	530.42	123.38	30.312
1/04/2016 0:00	510.37	600.72	90.34	17.701
1/05/2016 0:00	650.81	644.18	6.63	1.019
1/06/2016 0:00	610.31	626.90	16.58	2.717
1/07/2016 0:00	553.41	565.06	11.65	2.105
1/08/2016 0:00	540.29	550.23	9.94	1.839
1/09/2016 0:00	600.46	554.06	46.40	7.728
1/10/2016 0:00	697.04	611.22	85.82	12.312
1/11/2016 0:00	819.24	615.44	203.81	24.877
1/12/2016 0:00	839.67	584.18	255.49	30.428

PRONOSTICO 2017

Tabla 41.

Datos de pronóstico 2017 Estación El Banco- ARIMA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2017 0:00	697.91	691.98	5.93	0.849
1/02/2017 0:00	560.92	578.33	17.42	3.105
1/03/2017 0:00	597.98	552.23	45.76	7.652
1/04/2017 0:00	735.45	620.37	115.08	15.648
1/05/2017 0:00	860.46	675.09	185.37	21.543
1/06/2017 0:00	865.53	658.72	206.81	23.894
1/07/2017 0:00	749.67	582.06	167.60	22.357
1/08/2017 0:00	653.76	522.46	131.30	20.083
1/09/2017 0:00	696.80	545.52	151.27	21.710
1/10/2017 0:00	736.28	642.64	93.64	12.718
1/11/2017 0:00	780.17	739.72	40.45	5.184
1/12/2017 0:00	775.33	737.16	38.16	4.922

PRONOSTICO 2018

Tabla 42.

Datos de pronóstico 2018 Estación El Banco- ARIMA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2018 0:00	697.91	691.98	5.93	0.849
1/02/2018 0:00	560.92	578.33	17.42	3.105
1/03/2018 0:00	597.98	552.23	45.76	7.652
1/04/2018 0:00	735.45	620.37	115.08	15.648
1/05/2018 0:00	860.46	675.09	185.37	21.543
1/06/2018 0:00	865.53	658.72	206.81	23.894
1/07/2018 0:00	749.67	582.06	167.60	22.357
1/08/2018 0:00	653.76	522.46	131.30	20.083
1/09/2018 0:00	696.80	545.52	151.27	21.710
1/10/2018 0:00	736.28	642.64	93.64	12.718
1/11/2018 0:00	780.17	739.72	40.45	5.184
1/12/2018 0:00	775.33	737.16	38.16	4.922

Modelo RNA- Multicapa perceptron

Estación Barbosa (25027530)

PRONOSTICO 2006

Tabla 43.

Datos de pronóstico 2006 Estación Barbosa- RNA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2006 0:00	674	695.7448	21.7448	3.226
1/02/2006 0:00	505	562.7315	57.7315	11.432
1/03/2006 0:00	462	594.478	132.478	28.675
1/04/2006 0:00	620	469.828	150.172	24.221
1/05/2006 0:00	769	575.3664	193.6336	25.180
1/06/2006 0:00	823	700.2455	122.7545	14.915
1/07/2006 0:00	731	676.4958	54.5042	7.456
1/08/2006 0:00	618	537.0579	80.9421	13.097
1/09/2006 0:00	654	595.5327	58.4673	8.940
1/10/2006 0:00	651	633.9771	17.0229	2.615
1/11/2006 0:00	766	637.2047	128.7953	16.814
1/12/2006 0:00	799	754.2672	44.7328	5.599

PRONOSTICO 2007

Tabla 44.

Datos de pronóstico 2007 Estación Barbosa- RNA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2007 0:00	609	721.6192	112.6192	18.492
1/02/2007 0:00	355	658.6179	303.6179	85.526
1/03/2007 0:00	298	722.266	424.266	142.371
1/04/2007 0:00	593	812.0034	219.0034	36.931
1/05/2007 0:00	753	887.7722	134.7722	17.898
1/06/2007 0:00	834	923.8986	89.8986	10.779
1/07/2007 0:00	762	845.4342	83.4342	10.949
1/08/2007 0:00	724	781.1201	57.1201	7.890
1/09/2007 0:00	782	768.1075	13.8925	1.777
1/10/2007 0:00	785	822.4542	37.4542	4.771
1/11/2007 0:00	855	860.1367	5.1367	0.601
1/12/2007 0:00	796	855.2521	59.2521	7.444

PRONOSTICO 2008

Tabla 45.

Datos de pronóstico 2008 Estación Barbosa- RNA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2008 0:00	664	441.5552	222.4448	33.501
1/02/2008 0:00	507	110.2399	396.7601	78.256
1/03/2008 0:00	540	-99.7222	639.7222	118.467
1/04/2008 0:00	563	-124.3519	687.3519	122.087
1/05/2008 0:00	696	-114.4403	810.4403	116.443
1/06/2008 0:00	810	-80.5726	890.5726	109.947
1/07/2008 0:00	843	227.5023	615.4977	73.013
1/08/2008 0:00	839	232.231	606.769	72.321
1/09/2008 0:00	848	417.5972	430.4028	50.755
1/10/2008 0:00	846	634.403	211.597	25.011
1/11/2008 0:00	872	924.8365	52.8365	6.059
1/12/2008 0:00	866	848.1728	17.8272	2.059

PRONOSTICO 2009

Tabla 46.

Datos de pronóstico 2008.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2009 0:00	733	694.5234	38.4766	5.249
1/02/2009 0:00	604	507.3538	96.6462	16.001
1/03/2009 0:00	564	554.4581	9.5419	1.692
1/04/2009 0:00	668	597.8125	70.1875	10.507
1/05/2009 0:00	709	707.3774	1.6226	0.229
1/06/2009 0:00	698	837.4599	139.4599	19.980
1/07/2009 0:00	656	954.065	298.065	45.437
1/08/2009 0:00	592	964.618	372.618	62.942
1/09/2009 0:00	583	845.2737	262.2737	44.987
1/10/2009 0:00	540	727.4088	187.4088	34.705
1/11/2009 0:00	680	732.0213	52.0213	7.650
1/12/2009 0:00	509	886.3345	377.3345	74.133

PRONOSTICO 2010

Tabla 47.

Datos de pronóstico 2009 Estación Barbosa- RNA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2010 0:00	273	357.2267	84.2267	30.852
1/02/2010 0:00	163	313.4667	150.4667	92.311
1/03/2010 0:00	286	358.2623	72.2623	25.267
1/04/2010 0:00	435	476.0538	41.0538	9.438
1/05/2010 0:00	624	516.4949	107.5051	17.228
1/06/2010 0:00	746	401.5176	344.4824	46.177
1/07/2010 0:00	843	324.9961	518.0039	61.448
1/08/2010 0:00	882	310.5862	571.4138	64.786
1/09/2010 0:00	882	451.2948	430.7052	48.833
1/10/2010 0:00	894	503.0273	390.9727	43.733
1/11/2010 0:00	892	406.0311	485.9689	54.481
1/12/2010 0:00	902	271.6836	630.3164	69.880

PRONOSTICO 2011

Tabla 48.

Datos de pronóstico 2011 Estación Barbosa- RNA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2011 0:00	777	1101.2726	324.2726	41.734
1/02/2011 0:00	540	1226.6563	686.6563	127.159
1/03/2011 0:00	573	1081.2903	508.2903	88.707
1/04/2011 0:00	681	663.7509	17.2491	2.533
1/05/2011 0:00	838	470.917	367.083	43.805
1/06/2011 0:00	836	741.3968	94.6032	11.316
1/07/2011 0:00	787	763.6729	23.3271	2.964
1/08/2011 0:00	736	889.816	153.816	20.899
1/09/2011 0:00	691	791.4567	100.4567	14.538
1/10/2011 0:00	727	562.5038	164.4962	22.627
1/11/2011 0:00	795	607.7854	187.2146	23.549
1/12/2011 0:00	868	694.5244	173.4756	19.986

PRONOSTICO 2012

Tabla 49.

Datos de pronóstico 2012 Estación Barbosa- RNA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2012 0:00	729	712.544	16.456	2.257
1/02/2012 0:00	509	543.5276	34.5276	6.783
1/03/2012 0:00	418	525.7958	107.7958	25.788
1/04/2012 0:00	552	565.3285	13.3285	2.415
1/05/2012 0:00	739	694.5814	44.4186	6.011
1/06/2012 0:00	638	744.0857	106.0857	16.628
1/07/2012 0:00	508	682.5202	174.5202	34.354
1/08/2012 0:00	528	504.7047	23.2953	4.412
1/09/2012 0:00	524	396.7775	127.2225	24.279
1/10/2012 0:00	534	503.6649	30.3351	5.681
1/11/2012 0:00	609	586.3909	22.6091	3.712
1/12/2012 0:00	526	711.5733	185.5733	35.280

PRONOSTICO 2013

Tabla 50.

Datos de pronóstico 2013 Estación Barbosa- RNA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2013 0:00	304	712.544	408.544	134.389
1/02/2013 0:00	303	543.5276	240.5276	79.382
1/03/2013 0:00	366	525.7958	159.7958	43.660
1/04/2013 0:00	384	565.3285	181.3285	47.221
1/05/2013 0:00	531	694.5814	163.5814	30.806
1/06/2013 0:00	634	744.0857	110.0857	17.364
1/07/2013 0:00	528	682.5202	154.5202	29.265
1/08/2013 0:00	482	504.7047	22.7047	4.711
1/09/2013 0:00	598	396.7775	201.2225	33.649
1/10/2013 0:00	616	503.6649	112.3351	18.236
1/11/2013 0:00	661	586.3909	74.6091	11.287
1/12/2013 0:00	645	711.5733	66.5733	10.321

PRONOSTICO 2014

Tabla 51.

Datos de pronóstico 2014 Estación Barbosa- RNA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2014 0:00	465	557.5127	92.5127	19.895
1/02/2014 0:00	341	52.0384	288.9616	84.739
1/03/2014 0:00	425	444.5431	19.5431	4.598
1/04/2014 0:00	383	-45.0393	428.0393	111.760
1/05/2014 0:00	564	666.7818	102.7818	18.224
1/06/2014 0:00	578	399.8848	178.1152	30.816
1/07/2014 0:00	444	406.6316	37.3684	8.416
1/08/2014 0:00	416	-188.49	604.49	145.310
1/09/2014 0:00	512	295.4965	216.5035	42.286
1/10/2014 0:00	604	637.2552	33.2552	5.506
1/11/2014 0:00	695	-149.7962	844.7962	121.553
1/12/2014 0:00	680	91.1132	588.8868	86.601

PRONOSTICO 2015

Tabla 52.

Datos de pronóstico 2015 Estación Barbosa- RNA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2015 0:00	391	383.4542	7.5458	1.930
1/02/2015 0:00	375	242.2332	132.7668	35.404
1/03/2015 0:00	280	391.7804	111.7804	39.922
1/04/2015 0:00	359	183.8811	175.1189	48.780
1/05/2015 0:00	369	181.8564	187.1436	50.716
1/06/2015 0:00	424	444.2206	20.2206	4.769
1/07/2015 0:00	311	154.4462	156.5538	50.339
1/08/2015 0:00	308	106.1939	201.8061	65.521
1/09/2015 0:00	327	276.0611	50.9389	15.578
1/10/2015 0:00	319	155.0588	163.9412	51.392
1/11/2015 0:00	429	85.8191	343.1809	79.996
1/12/2015 0:00	348	-177.3392	525.3392	150.960

PRONOSTICO 2016

Tabla 53.

Datos de pronóstico 2016 Estación Barbosa- RNA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2016 0:00	183.01	362.66	179.64	98.159
1/02/2016 0:00	129.44	265.68	136.24	105.253
1/03/2016 0:00	193.07	271.42	78.36	40.586
1/04/2016 0:00	305.58	235.35	70.23	22.983
1/05/2016 0:00	496.69	339.60	157.09	31.627
1/06/2016 0:00	529.70	217.68	312.02	58.905
1/07/2016 0:00	496.75	328.16	168.58	33.938
1/08/2016 0:00	499.93	119.67	380.26	76.063
1/09/2016 0:00	549.81	280.13	269.68	49.049
1/10/2016 0:00	619.88	57.97	561.91	90.648
1/11/2016 0:00	732.69	369.58	363.11	49.559
1/12/2016 0:00	591.01	-73.13	664.14	112.373

PRONOSTICO 2017

Tabla 54.

Datos de pronóstico 2017 Estación Barbosa- RNA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
		O		
1/01/2017 0:00	449.34	330.60	118.74	26.426
1/02/2017 0:00	307.67	235.72	71.95	23.384
1/03/2017 0:00	359.27	-17.43	376.70	104.852
1/04/2017 0:00	457.73	186.94	270.78	59.158
1/05/2017 0:00	544.62	253.52	291.10	53.450
1/06/2017 0:00	592.54	54.12	538.42	90.867
1/07/2017 0:00	528.41	46.40	482.01	91.218
1/08/2017 0:00	573.76	252.20	321.57	56.045
1/09/2017 0:00	569.49	301.64	267.85	47.033
1/10/2017 0:00	593.42	795.39	201.97	34.034
1/11/2017 0:00	611.15	1091.04	479.89	78.522
1/12/2017 0:00	613.73	1527.72	913.99	148.922

PRONOSTICO 2018

Tabla 55.

Datos de pronóstico 2018 Estación Barbosa- RNA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
		O		
1/01/2018 0:00	509.80	435.30	74.50	14.614
1/02/2018 0:00	315.44	378.81	63.38	20.092
1/03/2018 0:00	258.54	382.07	123.53	47.780
1/04/2018 0:00	417.23	289.79	127.44	30.545
1/05/2018 0:00	549.97	337.11	212.86	38.704
1/06/2018 0:00	655.41	297.79	357.62	54.564
1/07/2018 0:00	560.09	170.84	389.24	69.497
1/08/2018 0:00	566.69	96.01	470.68	83.058
1/09/2018 0:00	573.29	115.47	457.82	79.858
1/10/2018 0:00	579.89	-99.01	678.90	117.073
1/11/2018 0:00	663.20	-105.94	769.14	115.974

Estación El Banco (25027020)

PRONOSTICO 2006

Tabla 56.

Datos de pronóstico 2006 Estación El Banco- RNA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2006 0:00	668	503.4161	164.5839	24.638
1/02/2006 0:00	564	279.0497	284.9503	50.523
1/03/2006 0:00	574	336.9153	237.0847	41.304
1/04/2006 0:00	729	638.1492	90.8508	12.462
1/05/2006 0:00	841	876.0079	35.0079	4.163
1/06/2006 0:00	833	882.9165	49.9165	5.992
1/07/2006 0:00	656	526.7391	129.2609	19.704
1/08/2006 0:00	565	447.4589	117.5411	20.804
1/09/2006 0:00	629	624.129	4.871	0.774
1/10/2006 0:00	653	765.1889	112.1889	17.181
1/11/2006 0:00	815	1183.4135	368.4135	45.204
1/12/2006 0:00	814	1023.1202	209.1202	25.690

PRONOSTICO 2007

Tabla 57.

Datos de pronóstico 2007 Estación El Banco- RNA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2007 0:00	600	607.8417	7.8417	1.307
1/02/2007 0:00	445	546.415	101.415	22.790
1/03/2007 0:00	444	513.9673	69.9673	15.758
1/04/2007 0:00	667	666.2671	0.7329	0.110
1/05/2007 0:00	824	765.7609	58.2391	7.068
1/06/2007 0:00	844	730.4714	113.5286	13.451
1/07/2007 0:00	656	613.4383	42.5617	6.488
1/08/2007 0:00	648	529.7109	118.2891	18.254
1/09/2007 0:00	710	568.5178	141.4822	19.927
1/10/2007 0:00	766	636.7408	129.2592	16.875
1/11/2007 0:00	884	760.2728	123.7272	13.996
1/12/2007 0:00	729	735.79	6.79	0.931

PRONOSTICO 2008

Tabla 58.

Datos de pronóstico 2008 Estación El Banco- RNA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2008 0:00	637	470.5039	166.4961	26.138
1/02/2008 0:00	537	247.8145	289.1855	53.852
1/03/2008 0:00	598	58.3978	539.6022	90.234
1/04/2008 0:00	657	62.8805	594.1195	90.429
1/05/2008 0:00	745	-95.4694	840.4694	112.815
1/06/2008 0:00	830	-293.9201	1123.9201	135.412
1/07/2008 0:00	782	-842.1698	1624.1698	207.694
1/08/2008 0:00	758	-866.5994	1624.5994	214.327
1/09/2008 0:00	799	-994.2447	1793.2447	224.436
1/10/2008 0:00	805	-665.3994	1470.3994	182.658
1/11/2008 0:00	883	-384.6315	1267.6315	143.560
1/12/2008 0:00	879	-466.0893	1345.0893	153.025

PRONOSTICO 2009

Tabla 59.

Datos de pronóstico 2009 Estación El Banco- RNA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2009 0:00	664	977.2805	313.2805	47.181
1/02/2009 0:00	630	952.4749	322.4749	51.186
1/03/2009 0:00	648	1240.5237	592.5237	91.439
1/04/2009 0:00	750	1307.4188	557.4188	74.323
1/05/2009 0:00	747	1441.5073	694.5073	92.973
1/06/2009 0:00	702	1601.0819	899.0819	128.074
1/07/2009 0:00	656	1483.8895	827.8895	126.203
1/08/2009 0:00	594	1295.7448	701.7448	118.139
1/09/2009 0:00	583	1248.5982	665.5982	114.168
1/10/2009 0:00	565	1268.6172	703.6172	124.534
1/11/2009 0:00	696	1167.359	471.359	67.724
1/12/2009 0:00	567	1048.6078	481.6078	84.940

PRONOSTICO 2010

Tabla 60.

Datos de pronóstico 2010 Estación El Banco- RNA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2010 0:00	429	472.2199	43.2199	10.075
1/02/2010 0:00	381	487.0503	106.0503	27.835
1/03/2010 0:00	471	515.2216	44.2216	9.389
1/04/2010 0:00	580	568.2751	11.7249	2.022
1/05/2010 0:00	714	501.5113	212.4887	29.760
1/06/2010 0:00	808	466.0807	341.9193	42.317
1/07/2010 0:00	846	397.5062	448.4938	53.013
1/08/2010 0:00	844	436.4432	407.5568	48.289
1/09/2010 0:00	870	470.7487	399.2513	45.891
1/10/2010 0:00	908	681.8535	226.1465	24.906
1/11/2010 0:00	925	793.0885	131.9115	14.261
1/12/2010 0:00	920	748.0446	171.9554	18.691

PRONOSTICO 2011

Tabla 61.

Datos de pronóstico 2011 Estación El Banco- RNA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2011 0:00	724	797.1119	73.1119	10.098
1/02/2011 0:00	583	761.9044	178.9044	30.687
1/03/2011 0:00	673	817.4725	144.4725	21.467
1/04/2011 0:00	787	804.2157	17.2157	2.188
1/05/2011 0:00	910	758.2096	151.7904	16.680
1/06/2011 0:00	831	706.4962	124.5038	14.982
1/07/2011 0:00	734	623.434	110.566	15.063
1/08/2011 0:00	698	516.782	181.218	25.962
1/09/2011 0:00	661	605.6358	55.3642	8.376
1/10/2011 0:00	748	624.3985	123.6015	16.524
1/11/2011 0:00	841	656.2243	184.7757	21.971
1/12/2011 0:00	919	593.9884	325.0116	35.366

PRONOSTICO 2012

Tabla 62.

Datos de pronóstico 2012 Estación El Banco- RNA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2012 0:00	724	903.3543	179.3543	24.773
1/02/2012 0:00	599	967.8522	368.8522	61.578
1/03/2012 0:00	543	1129.9405	586.9405	108.092
1/04/2012 0:00	695	1208.8172	513.8172	73.931
1/05/2012 0:00	814	1141.1984	327.1984	40.196
1/06/2012 0:00	665	1141.7681	476.7681	71.694
1/07/2012 0:00	580	1051.6856	471.6856	81.325
1/08/2012 0:00	579	1027.0036	448.0036	77.375
1/09/2012 0:00	544	1115.8319	571.8319	105.116
1/10/2012 0:00	623	1221.1245	598.1245	96.007
1/11/2012 0:00	696	1335.9842	639.9842	91.952
1/12/2012 0:00	611	1420.8121	809.8121	132.539

PRONOSTICO 2013

Tabla 63.

Datos de pronóstico 2013 Estación El Banco- RNA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2013 0:00	450	657.0723	207.0723	46.016
1/02/2013 0:00	493	821.7705	328.7705	66.688
1/03/2013 0:00	543	896.6606	353.6606	65.131
1/04/2013 0:00	563	1067.0308	504.0308	89.526
1/05/2013 0:00	705	1220.7303	515.7303	73.153
1/06/2013 0:00	721	1303.3892	582.3892	80.775
1/07/2013 0:00	606	1597.6024	991.6024	163.631
1/08/2013 0:00	587	1980.1805	1393.1805	237.339
1/09/2013 0:00	650	1772.3726	1122.3726	172.673
1/10/2013 0:00	699	1676.0858	977.0858	139.783
1/11/2013 0:00	730	1770.3309	1040.3309	142.511
1/12/2013 0:00	736	1434.388	698.388	94.890

PRONOSTICO 2014

Tabla 64.

Datos de pronóstico 2014 Estación El Banco- RNA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2014 0:00	582	657.0723	75.0723	12.899
1/02/2014 0:00	501	821.7705	320.7705	64.026
1/03/2014 0:00	605	896.6606	291.6606	48.208
1/04/2014 0:00	544	1067.0308	523.0308	96.145
1/05/2014 0:00	715	1220.7303	505.7303	70.732
1/06/2014 0:00	660	1303.3892	643.3892	97.483
1/07/2014 0:00	544	1597.6024	1053.6024	193.677
1/08/2014 0:00	477	1980.1805	1503.1805	315.132
1/09/2014 0:00	524	1772.3726	1248.3726	238.239
1/10/2014 0:00	667	1676.0858	1009.0858	151.287
1/11/2014 0:00	769	1770.3309	1001.3309	130.212
1/12/2014 0:00	706	1434.3889	728.3889	103.171

PRONOSTICO 2015

Tabla 65.

Datos de pronóstico 2015 Estación El Banco- RNA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2015 0:00	506	660.253	154.253	30.485
1/02/2015 0:00	540	553.5988	13.5988	2.518
1/03/2015 0:00	501	601.6321	100.6321	20.086
1/04/2015 0:00	627	569.1895	57.8105	9.220
1/05/2015 0:00	623	897.8789	274.8789	44.122
1/06/2015 0:00	624	1046.5707	422.5707	67.720
1/07/2015 0:00	523	804.7361	281.7361	53.869
1/08/2015 0:00	475	438.5259	36.4741	7.679
1/09/2015 0:00	487	395.1209	91.8791	18.866
1/10/2015 0:00	496	610.3601	114.3601	23.056
1/11/2015 0:00	590	1052.9235	462.9235	78.462
1/12/2015 0:00	494	1589.3487	1095.3487	221.731

PRONOSTICO 2016

Tabla 66.

Datos de pronóstico 2016 Estación El Banco- RNA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2016 0:00	356.81	422.02	65.21	18.277
1/02/2016 0:00	340.89	395.02	54.12	15.876
1/03/2016 0:00	407.03	371.29	35.74	8.781
1/04/2016 0:00	510.37	397.28	113.09	22.158
1/05/2016 0:00	650.81	375.34	275.47	42.327
1/06/2016 0:00	610.31	321.53	288.78	47.317
1/07/2016 0:00	553.41	266.89	286.51	51.772
1/08/2016 0:00	540.29	249.11	291.18	53.894
1/09/2016 0:00	600.46	245.46	355.00	59.122
1/10/2016 0:00	697.04	175.14	521.90	74.874
1/11/2016 0:00	819.24	133.70	685.54	83.680
1/12/2016 0:00	839.67	133.64	706.03	84.084

PRONOSTICO 2017

Tabla 67.

Datos de pronóstico 2017 Estación El Banco- RNA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2017 0:00	697.91	671.79	26.12	3.743
1/02/2017 0:00	560.92	508.23	52.68	9.392
1/03/2017 0:00	597.98	547.21	50.78	8.491
1/04/2017 0:00	735.45	555.60	179.85	24.454
1/05/2017 0:00	860.46	828.18	32.28	3.751
1/06/2017 0:00	865.53	830.03	35.50	4.102
1/07/2017 0:00	749.67	697.81	51.86	6.918
1/08/2017 0:00	653.76	767.74	113.98	17.435
1/09/2017 0:00	696.80	747.17	50.38	7.230
1/10/2017 0:00	736.28	850.78	114.49	15.550
1/11/2017 0:00	780.17	841.60	61.43	7.874
1/12/2017 0:00	775.33	880.43	105.10	13.556

PRONOSTICO 2018

Tabla 68.

Datos de pronóstico 2018 Estación El Banco- RNA.

FECHA	DATO REAL	PRONOSTICO	ERROR ABSOLUTO	ERROR RELATIVO (%)
1/01/2018 0:00	679.57	963.25	283.68	41.744
1/02/2018 0:00	528.15	816.39	288.24	54.576
1/03/2018 0:00	502.74	539.57	36.83	7.326
1/04/2018 0:00	693.13	494.27	198.86	28.691
1/05/2018 0:00	827.67	651.78	175.89	21.251
1/06/2018 0:00	835.44	946.40	110.95	13.281
1/07/2018 0:00	647.33	652.68	5.36	0.828
1/08/2018 0:00	563.39	670.72	107.34	19.052
1/09/2018 0:00	610.08	696.77	86.69	14.210
1/10/2018 0:00	759.02	605.68	153.34	20.203
1/11/2018 0:00	865.41	551.94	313.47	36.222
1/12/2018 0:00	695.66	277.36	418.30	60.130

Código En “R Studio” De Modelo Arima

Código en “R studio” para ejecución en el software R. con anotaciones.

Primeramente, se carga el archivo de datos de la estación en formato .csv. Delimitado por comas.

PARA LOS DATOS HASTA EL MES 12 DEL 2012:

C:/Users/ernes/Documents/ERNESTO DE LA PARRA UNIVERSIDAD/TESIS/tesis

(modelamiento hidrológico)/AVANCES/prueba R/barbosadatoshasta12.2012.csv

Se da la instrucción de leer los datos cargados al programa y posteriormente visualizar la gráfica generada a partir de los datos ingresados.

```
barbosadatoscompletos <- read.csv(file = "C:/Users/ernes/Documents/ERNESTO DE LA
PARRA UNIVERSIDAD/TESIS/tesis(modelamiento hidrológico)/AVANCES/prueba
R/barbosadatoshasta12.2012.csv". header = FALSE. sep = ".". dec = ".")

serie1 <- ts(barbosadatoscompletos$V2)

plot.ts(serie1)
```

Cargar las librerías necesarias para el análisis de la serie temporal ingresada.

```
library(astsa)
```

```
library(stats)
```

```
library(forecast)
```

La letra “P” de la forma del modelo ARIMA. Representa la componente auto regresiva del modelo y la componente “n.ahead =12” determina el número de predicciones.

```
# con modelo (12.0.0) de la forma (p.d.q). en donde p es componente autoregresivo
```

```
# con modelo (12.0.0)
```

```
ajuste1 <-sarima(serie1. 12.0.0)
```

```
sarima.for(serie1. 12.0.0. n.ahead =12)
```

Prueba de ruido blanco para comprobación de correlación de los datos ingresados.

```
# prueba de ruido blanco
```

```
Box.test(residuals(ajuste1$fit). type = "Ljung-Box")
```

Una vez ingresadas y ejecutadas las líneas de código el software arrojará los datos de pronóstico.

Referencias

ALCALDIA MUNICIPAL DE EL BANCO, MAGDALENA. (20 de 03 de 2018). *ALCALDIA*

MUNICIPAL DE EL BANCO, MAGDALENA. Obtenido de GEOGRAFÍA:

<http://www.elbanco-magdalena.gov.co/>

CAMELO, F. A. (2009). *Predicción de niveles del río Magdalena usando sistemas adaptativos*

basados en conocimiento. BOGOTÁ: UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS- FACULTAD DE INGENIERÍA.

Casimiro, P. G. (s.f.). *Análisis de Series Temporales: Modelos ARIMA*. *Sarriko-on*, 169.

Chengguang, L., Ruida, Z., Zhaoli , W., Xiaoqing , W., Xiaohong , C., Peng Wang, W., &

Yanqing , L. (2019). *Monitoring hydrological drought using long-term satellite-based precipitation data*. ELSEVIER.

Cormagdalena. (5 de Mayo de 2016). Obtenido de

<http://dc02eja.cormagdalena.gov.co/index.php?idcategoria=145>

Di , L., zhongbo, Y., & Lv , h. (2010). *Data assimilation using support vector machines and*

ensemble kalman filter for multi-layer soil moisture prediction. Water Science and Engineering.

DÍAZ, A. F. (2019). *MODELO SARIMA PARA EL PRONÓSTICO DEL NIVEL DEL RÍO*

MAGDALENA A LA ALTURA DEL MUNICIPIO DE BARRANCABERMEJA. Bogotá:

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES - FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS BÁSICAS .

Domínguez Calle, E., & Lozano Báez, S. (2014). Estado del arte de los sistemas de alerta temprana en Colombia. *Revista Colombiana de ciencias*, 12.

Duffo, E. B. (s.f.). *Banrepcultural*. Obtenido de www.banrepcultural.org

E. Dominguez, H. A. (2010). Viabilidad para pronósticos hidrológicos de niveles diarios, semanales y decadales en Colombia. *Ingeniería e investigación*, 30, 178-187.

Estrada, V. , & Pacheco, R. (2002). *Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba*.

Estrela, T. (1992). *Modelos matematicos para la evaluacion de recursos hidricos*. Madrid: Centro de estudios y experimentacion de obras publicas.

Fernández Mejuto, M., Vela Mayorga, A., & Castaño Fernández, S. (s.f.). La utilización de modelos en hidrología. *Revista de la Facultad de Educación de Albacete*, 13.

GARCÍA, J. F. (2006). *UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERÍA FUNDAMENTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE RED NEURONAL PERCEPTRÓN MULTICAPA MEDIANTE SOFTWARE*. Guatemala: UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA .

GARCIA, T. Y., & GARCIA, Y. B. (2014). *MODELACIÓN DE PRONÓSTICOS HIDROLÓGICOS PARA NIVELES DE AGUA EN TIEMPO REAL PARA EL RÍO SAN JORGE, CON FINES DE GESTIÓN DEL RIESGO POR INUNDACIONES EN EL MUNICIPIO DE AYAPEL CÓRDOBA*. BOGOTÁ: UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS.

garzon, P. a. (2008). *Aplicación de técnicas de inducción de árboles de decisión a problemas de clasificación mediante el uso de weka (waikato environment for knowledge analysis)*.

Bogota: FUNDACIÓN UNIVERSITARIA KONRAD LORENZ.

Hernandez, S. D. (2009). *MODELO ARIMA(p,d,q)*. Madrid: Facultad Ciencias Económicas y Empresariales.

IDEAM. (2014). Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/modelacion-hidrologica>

Mohammad Valipour , Mohammad Ebrahim Banihabib, & Mahmood Reza Behbahani, S.

(2012). Comparison of the ARMA, ARIMA, and the autoregressive artificial neural. *Journal of Hydrology*, 9.

Niu, W., Feng, Z., Zeng, M., Feng, B., Min, Y., Cheng, C., & Zhou, J. (2019). Forecasting reservoir monthly runoff via ensemble empirical mode decomposition and extreme learning machine optimized by an improved gravitational search algorithm. *Applied Soft Computing*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105589>

OMM . (2006). REGLAMENTO TÉCNICO (OMM-N° 49). En *HIDROLOGÍA* (Vol. III, pág. CAPITULO D.1.3). GINEBRA,SUIZA.

PONCE, V. M. (1989). *Engineering Hydrology*. Prentice Hall.

Quisbert, N. C. (1997). MODELOS ARIMA. *Revista Ciencia y Cultura*, 8.

Reyes Benavides, C. A. (agosto de 2012). Proyección a largo plazo de variables hidrológicas diarias a largo plazo en la cuenca del río Tinguiririca en Bajo Los Briones, bajo escenarios A1B y A2 de cambio climático. *repositorio academico, UNIVERSIDAD DE*

CHILE, 73. Recuperado el 20 de 04 de 2019, de
<http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/112018>

Sainlez, G. H. (2011). 21st European Symposium on Computer Aided Process Engineering.

Sánchez, A. N. (2016). *INTEGRACIÓN DEL CONCEPTO DE VARIABILIDAD
 HIDROCLIMÁTICA EN*. Bogotá.

Shalamu ABUDU, C.-I. C. (2010). Comparison of performance of statistical models in forecasting monthly streamflow of Kizil River, China. *Water Science and Engineering*,, 269-281.

Ven Te Chow, Maidment, D., & Mays, L. (2000). *HIDROLOGIA APLICADA*. Santa Fe de Bogota: Mac Graw Hill.

Xiao ling, W., Xiao hua , X., Li , L., & Chuan hai, W. (2014). *Water level updating model for flow calculation of river networks*. Water Science and Engineering.

Zbigniew W. Kundzewicz, & Robson, A. (2000). *Detecting trend and other changes in hydrological data*. Geneva: The WCP implemented by WMO in conjunction with other international organizations consists of four major components: The World Climate Data and Monitoring Programme (WCDMP) The World Climate Applications and Services Programme.