

REPÚBLICA DEL PARAGUAY



# UNIVERSIDAD CATÓLICA "NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN"

\*Autorizada a Funcionar por Decreto Nº 9.350. Personaería Jurídica por Decreto Nº 11.079. Ley Nº 663 que Faculta a otorgar Títulos y Diplomas, Erigida Canónicamente por Decreto Nº 1.826, del 2-8-65 de la Sagrada Congregación de Seminarios y Estudios Universitarios\*

*Campus Universitario de Asunción*

Por cuanto *Olya Maria Betarría Orihuela Liqueleme*  
ha sido aprobado en todas las asignaturas de la carrera de  
*Ingeniería Ambiental en el año 2018 en la*  
*Facultad de Ciencias y Tecnología*  
se le otorga el presente título que lo acredita como

*Ingeniera Ambiental*

Asunción, 15 de febrero de 2019.



*Rector*  
Rector



*Gran Canciller*  
GRAN CANCELLER

*Egresado*  
Egresado

B Nº 23380

3380



B N° 23380

**UNIVERSIDAD CATÓLICA "NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCIÓN"**  
**SECRETARÍA GENERAL**  
**DEPARTAMENTO DE ARCHIVO CENTRAL**

La legalización del presente título corresponde a Olga María Betania Orihuela Riquelme, inscripto en el Registro N° 5339 del Folio N° 50 del Libro de Diplomas de Grados N° 7 de la Universidad Católica "Nuestra Señora de la Asunción".

Las firmas que anteceden son auténticas y corresponden a:  
 Gran Canciller: María Edmundo Volenzuela M.  
 Rector: Mag. José G. von Lieben M.  
 Secretario General: Abg. Gabriel Benítez C.

Asunción, 11 de Septiembre de 2019  
 Abg. Gabriel Benítez C.  
 Secretario General




Viceministerio de Educación Superior y Ciencias

El presente título de INGENIERÍA  
 Corresponde a **ORIHUELA RIQUELME OLGA MARIA BETANIA**  
 Cedula de Identidad N° 4991696  
 Resolución VES N° 20562 de Fecha 06/03/2019






**MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIAS**  
 Dirección de Registro de Grados y Postgrados - DRT  
 Viceministerio de Educación Superior y Ciencias

Andrea Estigarrribia J.J.  
 DRT - VESC.

**MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIAS**  
**SECRETARÍA GENERAL**  
**DIRECCIÓN DE CERTIFICACIÓN ACADÉMICA**  
**DEPARTAMENTO DE LEGALIZACIONES**  
**CERTIFICO QUE:** La firma y sello que dice:

Andrea Estigarrribia J.J.  
 DRT - VESC.

Guarda similitud con la registrada en esta oficina  
 NOTA: Esta legalización no juzga el contenido del presente documento

Asunción: 24 SEP 2019

Abg. Pedro L. A. Palacios O.  
 Lic. Pedro L. A. Palacios O.  
 Jefe  
 Departamento de Legalizaciones  
 Dirección de Certificación Académica






**Universidad Católica “Nuestra Señora de la Asunción”**  
Facultad de Ciencias y Tecnología  
Ingeniería Ambiental

Tesis de Grado

**“Evaluación de modelos estocásticos para la previsión  
de niveles hidrométricos del río Paraguay en  
Asunción”**

Alumna: Olga María Betania Orihuela Riquelme.

Asesor:  
Prof. Lic. Julián Báez, M.Sc

2018  
Asunción, Paraguay



**“Evaluación de modelos estocásticos para la previsión de niveles hidrométricos del río Paraguay en Asunción”**

## **Dedicatoria.**

A mi hermana, mis padres y mi abuela.

## **Agradecimientos.**

A mi familia por apoyarme en todo momento.

A mi tutor, el profesor Lic. Julián Báez, MSc., por orientarme en el desarrollo de todo el trabajo y por brindarme su tiempo.

A mis lectores, el profesor Dr.Félix Carvallo y el profesor Ing. Roger Monte Domecq, por tomarse el tiempo de realizar correcciones que aportaron al trabajo.

Al profesor Ing.Luis Ávila, por ayudarme con la recolección de datos de niveles hidrométricos del río Paraguay.

Al profesor Alberto Ramírez, al Ing.José Díaz, a mis compañeros del CTA y a todos los que me apoyaron aportando su tiempo y conocimientos para llevar a cabo este proyecto.

**Gracias.**

# Índice.

1. CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	- 1 -
1.1. Introducción.....	- 2 -
1.2. Planteamiento del tema a investigar. ....	- 6 -
1.3. Objetivos.....	- 8 -
1.4. Alcance. ....	- 9 -
2. CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	- 10 -
2.2. Series temporales.....	- 12 -
2.3. Clasificación de modelos.....	- 13 -
2.4. Elementos de una serie temporal. ....	- 14 -
2.5. Estacionariedad.....	- 17 -
2.5.1. Tratamientos de no estacionariedad. ....	- 20 -
2.6. Hidrología estocástica.....	- 21 -
2.7. Previsiones en Paraguay. ....	- 24 -
2.8 Modelos. ....	- 25 -
2.8.1. Modelos de correlación y regresión.....	- 25 -
2.9. Intervalos de confianza.....	- 32 -
3. CAPÍTULO III. BASE DE DATOS DEL RIO PARAGUAY.....	- 35 -
4. CAPITULO IV.: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA SERIE TEMPORAL DE NIVELES DE ASUNCIÓN.....	- 51 -
5. CAPITULO V.: MODELOS ESTOCÁSTICOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS. .	- 71 -
5.1. Caso A. ....	- 73 -
5.2. Caso B. ....	- 101 -
5.3. Caso C. ....	- 121 -
5.4. Caso D. ....	- 149 -

6.	CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	- 176 -
7.	ANEXOS.....	- 180 -
7.1.	Apartado 1.....	- 181 -
7.2.	Apartado 2.....	- 183 -
7.3.	Apartado 3.....	- 184 -
7.4.	Apartado 4. Cambio en el comportamiento del río, y otros hidrogramas....	- 186 -
7.5.	Apartado 5. Serie histórica de niveles del río Paraguay en Asunción. ....	- 194 -
7.6.	Apartado 6. Previsiones de la DMH-DINAC.....	- 210 -
8.	BIBLIOGRAFIA.....	- 211 -

## Índice de figuras.

<b>Figura. 1.</b> Zonas del río Paraguay.....	- 3 -
<b>Figura. 2.</b> Estaciones hidrométricas del alcance geográfico.....	- 9 -
Figura. 3. Parámetros de población y estadísticos de muestra. ....	- 12 -
<b>Figura. 4.</b> Componente cíclico de una serie temporal. ....	- 15 -
<b>Figura. 5.</b> Componente tendencial de una serie temporal. ....	- 15 -
<b>Figura. 6.</b> Ejemplo de tendencia y estacionalidad .....	- 16 -
<b>Figura. 7.</b> Ejemplo de funciones de autocorrelación .....	- 19 -
<b>Figura. 8.</b> Media, varianza y autocovarianza de series estacionarias y no estacionarias. -	19 -
<b>Figura. 9.</b> Ejemplo de serie con media y varianza no constantes .....	- 20 -
<b>Figura. 10.</b> Ejemplo de serie hidrológica temporal. ....	- 22 -
<b>Figura. 11.</b> Mínimos cuadrados .....	- 27 -
<b>Figura. 12.</b> ACF y PACF para determinar órdenes del modelo ARIMA.....	- 32 -
<b>Figura. 13.</b> Ejemplo de resultado de previsión en R.....	- 34 -
<b>Figura. 14.</b> Red de estaciones hidrométricas en el Paraguay. ....	- 36 -
<b>Figura. 15.</b> Estaciones hidrométricas correspondientes al alcance geográfico. ....	- 37 -
<b>Figura. 16.</b> El Niño y la Niña Año-Intensidades basado en el ONI .....	- 74 -
<b>Figura. 17.</b> Periodos identificados como “El niño” o “La Niña” fuertes, según el ONI. . -	75-

## Índice de gráficos.

<b>Gráfico 1.</b> Ejemplo de posible error de tipeo. Pilar 5/05/2018. ....	- 49 -
<b>Gráfico 2.</b> Ejemplo de error encontrado en la serie de Asunción. ....	- 50 -
<b>Gráfico 3.</b> Serie histórica (1904 a agosto-2018) de niveles hidrométricos del río Paraguay en Asunción. ....	- 52 -
<b>Gráfico 4.</b> Distribución de frecuencias de niveles del río Paraguay en Asunción. ....	- 53 -
<b>Gráfico 5.</b> Descomposición de la serie histórica de niveles de Asunción. ....	- 55 -
<b>Gráfico 6.</b> Descomposición de la serie de niveles de Asunción, periodo 2010-18. ...	- 55 -
<b>Gráfico 7.</b> Medias de niveles del río Paraguay en Asunción. ....	- 62 -
<b>Gráfico 8.</b> Medias anuales de niveles del río Paraguay en Asunción vs años. ....	- 63 -
<b>Gráfico 9.</b> Análisis de varianza de la serie histórica (1904 a agosto-2018) de niveles en Asunción. ....	- 64 -
<b>Gráfico 10.</b> Anomalía detectada en enero de 1971. ....	- 64 -
<b>Gráfico 11.</b> Periodo dic 1970 a enero 1971. ....	- 65 -
<b>Gráfico 12.</b> Media de diferencia de niveles $x_t - x_{t-1}$ . Serie histórica. ....	- 67 -
<b>Gráfico 13.</b> Suma de diferencia de niveles $x_t - x_{t-1}$ . Serie histórica. ....	- 68 -
<b>Gráfico 14.</b> Suma de diferencias diarias de niveles del río Paraguay en Asunción. Periodo 1904-2018. ....	- 69 -
<b>Gráfico 15.</b> ACF (izquierda) y PACF (derecha) de la serie de niveles en Asunción. Autocorrelograma. ....	- 70 -
<b>Gráfico 16.</b> Serie de Asunción 1 vez diferenciada. ACF(izq) y PACF (derecha) ....	- 70 -
<b>Gráfico 17.</b> Prueba de regresión, Asunción-Concepción 1912. ....	- 72 -
<b>Gráfico 18.</b> Curvas de promedio histórico de años Niña y Niño y de Asunción 2018 vs fecha. ....	- 76 -
<b>Gráfico 19.</b> Pronostico Asunción con promedio histórico de Niña y Niño, julio a diciembre 2018. ....	- 81 -
<b>Gráfico 20.</b> Previsión de agosto 2018 con la serie 1979-98. ....	- 85 -
<b>Gráfico 21.</b> Curvas de nivel año 2011 y promedios históricos Niña y Niño. ....	- 86 -
<b>Gráfico 22.</b> Niveles de Asunción, año 2015 y los promedios históricos Niña/o. ....	- 91 -
<b>Gráfico 23.</b> Previsión mayo 2015 con Niña/o. ....	- 92 -
<b>Gráfico 24.</b> Previsión noviembre 2015, con Niña/o. ....	- 93 -
<b>Gráfico 25.</b> Año 2015 y los promedios históricos Niña y Niño. ....	- 94 -
<b>Gráfico 26.</b> Zoom del gráfico 25. ....	- 95 -

<b>Gráfico 27.</b> Previsión julio 2017 con el caso A. ....	- 96 -
<b>Gráfico 28.</b> Previsión de diciembre 2017 con Niña/o.....	- 98 -
<b>Gráfico 29.</b> Media de precipitación por mes, año.....	- 100 -
<b>Gráfico 30.</b> Niveles en Asunción y Concepción. Periodo 1979-98. Año de la serie de acuerdo al tiempo de desfase de Asunción de mejor correlación. ....	- 105 -
<b>Gráfico 31.</b> Niveles en Asunción y Concepción. Periodo 1979-84. Año de la serie de acuerdo al tiempo de desfase de Asunción de mejor correlación. ....	- 106 -
<b>Gráfico 32.</b> Niveles en Asunción y Concepción. Periodo 1984-99. Año de la serie de acuerdo al tiempo de desfase de Asunción de mejor correlación. ....	- 106 -
<b>Gráfico 33.</b> Gráfico de Concepción 1998, con Asunción 1998 con diferentes tiempos de desfase. ....	- 107 -
<b>Gráfico 34.</b> Asunción agosto a diciembre 1998, diferentes t.....	- 107 -
<b>Gráfico 35.</b> Previsión de 02/07/1998 al 2/08/1998, t=7. ....	- 109 -
<b>Gráfico 36.</b> Previsión del 02/10/1998 al 2/11/1998, t=9. ....	- 111 -
<b>Gráfico 37.</b> Correlaciones desfasando la serie completa de Asunción. Periodo 1979-98.-	112 -
<b>Gráfico 38.</b> Periodo de previsión del 2/07 al 2/08/2018. t=5. ....	- 115 -
<b>Gráfico 39.</b> Previsión diciembre 2011. ....	- 117 -
<b>Gráfico 40.</b> Previsión julio 2017.....	- 120 -
<b>Gráfico 41.</b> Año 2018 con 1933,1966 y 1971. ....	- 121 -
<b>Gráfico 42.</b> Previsión del 9-08 al 9-10. ....	- 123 -
<b>Gráfico 43.</b> Años: 2018 con 1915, 1944, 2016.....	- 123 -
<b>Gráfico 44.</b> Años 2018 con 1915, 1944, 2016. Mayo a julio ....	- 124 -
<b>Gráfico 45.</b> Año 2018 con 1933 y 1944. ....	- 128 -
<b>Gráfico 46.</b> Previsión con 1933 en amarillo y con 1944 en rojo. ....	- 129 -
<b>Gráfico 47.</b> Replicando la serie. 2018 con 1933 y 1944.....	- 130 -
<b>Gráfico 48.</b> Ecuación cuadrática 2018 con 1944. ....	- 131 -
<b>Gráfico 49.</b> Ecuación lineal 2018 con 1944.....	- 131 -
<b>Gráfico 50.</b> Curvas de los años 1933 y 1944 con 2018. ....	- 132-
<b>Gráfico 51.</b> Curva de los años 1933 y 1944 con 2018, zoom.....	- 132-
<b>Gráfico 52.</b> Años de mejor correlación numérica con 2002.....	- 133-
<b>Gráfico 53.</b> Previsión de agosto y setiembre 2002 con correlación trimestral. ....	- 136 -
<b>Gráfico 54.</b> Años de mejor correlación numérica con 2003.....	- 137 -
<b>Gráfico 55.</b> Previsión de agosto y setiembre 2003. ....	- 140 -

<b>Gráfico 57.</b> Año 2004 con 1907, 1920, 1945, 1989, y 1995. ....	- 141 -
<b>Gráfico 58.</b> Previsión agosto 2004 con correlación trimestral. ....	- 142 -
<b>Gráfico 59.</b> Año 2011 con años: 1906, 1933, 1981, 1985 y 2008. ....	- 144 -
<b>Gráfico 60.</b> Previsión diciembre 2011 correlacionando con 2008. ....	- 145 -
<b>Gráfico 61.</b> Año 2015 con los años: 1904, 1922, 1980, 1995 y 2009. ....	- 146 -
<b>Gráfico 62.</b> Previsión noviembre 2015. ....	- 147 -
<b>Gráfico 63.</b> Previsión noviembre 2015 con 2008. ....	- 147 -
<b>Gráfico 64.</b> ACF y PACF de la serie de Niveles hidrométricos del rio Paraguay en Asunción, diferenciada 1 vez. ....	- 149 -
<b>Gráfico 65.</b> Previsión agosto-setiembre 2018 con ARIMA. ....	- 151 -
<b>Gráfico 66.</b> Previsión diciembre 2011 con ARIMA. Periodo para parámetros: 01-01-1904 a 30-11-2011. ....	- 153 -
<b>Gráfico 67.</b> Previsión julio 2017. ....	- 157 -
<b>Gráfico 68.</b> Curvas del año 2018 con los años 2006 y 2012. ....	- 159 -
<b>Gráfico 69.</b> Año 2018 con los años 1904, 1922, 193, 1932, 1996 y 2006. ....	- 162 -
<b>Gráfico 70.</b> Previsión octubre 2018 con 1904, 2004, 2006, 2012 y 2015. ....	- 164 -
<b>Gráfico 71.</b> Año 2018 con 1923, 1943, 1953, 1982 y 1984. ....	- 166 -
<b>Gráfico 72.</b> Previsión del 11-10 al 7-11 2018. ....	- 169 -
<b>Gráfico 73.</b> Años varios con 2018. ....	- 171 -
<b>Gráfico 74.</b> Comportamiento de los años 1914, 1984, 1986 y 2018. ....	- 172 -
<b>Gráfico 75.</b> Años con crecida en octubre-noviembre. ....	- 173 -
<b>Gráfico 76.</b> Años con crecida en diciembre. ....	- 174 -
<b>Gráfico 77.</b> Años 1904, 1908, 1923, 1931, 1996 y 2018. ....	- 174 -
<b>Gráfico 78.</b> Previsión noviembre 2018. ....	- 175 -

## Índice de tablas.

<b>Tabla 1.</b> Fecha de inicio y fin de los datos recopilados. ....	- 38 -
<b>Tabla 2.</b> Fechas con faltantes de datos de niveles del río Paraguay. ....	- 39 -
<b>Tabla 3.</b> Concepción, diferencias filtradas, 2000 a 2017.....	- 41 -
<b>Tabla 4.</b> Bahía Negra, diferencias filtradas. ....	- 42 -
<b>Tabla 5.</b> Bahía Negra, diferencias filtradas parte 2. ....	- 43 -
<b>Tabla 6.</b> Pilar, diferencias filtradas, parte 1. ....	- 44 -
<b>Tabla 7.</b> Pilar, diferencias filtradas, parte 2. ....	- 45 -
<b>Tabla 8.</b> Pilar, diferencias filtradas parte 3. ....	- 46 -
<b>Tabla 9.</b> Pilar, diferencias filtradas parte 4. ....	- 47 -
<b>Tabla 10.</b> Pilar, diferencias filtradas parte 5. ....	- 48 -
<b>Tabla 11.</b> Pilar, diferencias filtradas. Parte 6. ....	- 49 -
<b>Tabla 12.</b> Diferencias en Asunción.....	- 50 -
<b>Tabla 13.</b> Distribución de frecuencias de niveles del río Paraguay en Asunción.....	- 53 -
<b>Tabla 14.</b> Media y desviación típica para diferentes épocas, de niveles en Asunción. -	54 -
-	-
<b>Tabla 15.</b> Análisis de la media de la serie de niveles de Asunción. ....	- 57 -
<b>Tabla 16.</b> Clasificación en aguas altas y bajas del periodo 1974-91. ....	- 57 -
<b>Tabla 17.</b> Medias mensuales de niveles en Asunción. Periodo: 1904 a 1950. ....	- 59 -
<b>Tabla 18.</b> Medias mensuales de niveles en Asunción. Periodo: 1951 a 1999. ....	- 60 -
<b>Tabla 19.</b> Medias mensuales de niveles en Asunción. Periodo: 2000 al 30 de octubre 2018. ....	- 61 -
<b>Tabla 20.</b> Análisis de desviación estándar y covarianza para diferentes periodos. ....	- 66 -
<b>Tabla 21.</b> Años El Niño y La Niña e intensidades, basados en el ÍNDICE OCEÁNICO EL NIÑO (Oceanic Niño Index (ONI)).....	- 73 -
<b>Tabla 22.</b> Primera previsión, agosto 2018 con Niña/o. ....	- 79 -
<b>Tabla 23.</b> NOAA 1950-marzo2018. Niño, Niña, Neutro. ....	- 82 -
<b>Tabla 24.</b> Años seleccionados como niños .....	- 84 -
<b>Tabla 25.</b> Previsión de agosto 2018 con la serie 1979-98. ....	- 85 -
<b>Tabla 26.</b> Previsión mayo 2011 con el Caso A.....	- 87 -
<b>Tabla 27.</b> Previsión agosto 2011 con Niña/o. ....	- 89 -

<b>Tabla 28.</b> Previsión de diciembre 2011. Con Niña/o.....	- 90 -
<b>Tabla 29.</b> Previsión mayo 2015. ....	- 92 -
<b>Tabla 30.</b> Previsión noviembre 2015, con Niña/o. ....	- 93 -
<b>Tabla 31.</b> Previsión julio 2017 con Niña/o. ....	- 96 -
<b>Tabla 32.</b> Previsiones para noviembre 2017 con R. ....	- 97 -
<b>Tabla 33.</b> Previsión de diciembre con R. ....	- 98 -
<b>Tabla 34.</b> Resumen de resultados de las previsiones con Niña/o. ....	- 99 -
<b>Tabla 35.</b> Media de precipitación en Asunción, por mes y por año. ....	- 100 -
<b>Tabla 36.</b> Correlación de niveles hidrométricos de una estación con otra. ....	- 101 -
<b>Tabla 37.</b> Correlación de niveles hidrométricos, estaciones de Asunción-Concepción- Bahía Negra-Pilar. ....	- 102 -
<b>Tabla 38.</b> Correlación Asunción-Concepción. 1979-88. ....	- 103 -
<b>Tabla 39.</b> Correlación entre Asunción y Concepción. 1989 al 98. ....	- 103 -
<b>Tabla 40.</b> Previsión de 02/07/1998 al 2/08/1998, t=7.....	- 108 -
<b>Tabla 41.</b> Previsión de 02/07/1998 al 2/08/1998, t=7.....	- 109 -
<b>Tabla 42.</b> Previsión del 02/10/1998 al 2/11/1998, t=9.. ....	- 110 -
<b>Tabla 43.</b> Previsión del 02/10/1998 al 2/11/1998, t=9. ....	- 111 -
<b>Tabla 44.</b> Desfasaje de la serie completa periodo 1979-98. ....	- 112 -
<b>Tabla 45.</b> Correlación Concepción-Asunción periodo 2010-2018.....	- 113 -
<b>Tabla 46.</b> Periodo de previsión del 2/07 al 2/08/2018. t=5.....	- 114 -
<b>Tabla 47.</b> Periodo de previsión del 2/07 al 2/08/2018. t=5.....	- 115 -
<b>Tabla 48.</b> Previsión diciembre 2011. ....	- 117 -
<b>Tabla 49.</b> Previsión noviembre 2015. ....	- 118 -
<b>Tabla 50.</b> Previsión julio 2017.....	- 119 -
<b>Tabla 51.</b> Previsión julio 2017.....	- 120 -
<b>Tabla 52.</b> Previsión del 9-08 al 9-09 de 2018.....	- 122 -
<b>Tabla 53.</b> Reproducción de junio 2018.....	- 125 -
<b>Tabla 54.</b> Reproducción de julio 2018.....	- 126 -
<b>Tabla 55.</b> Previsión del 15-08 al 15-09 2018 con 1944.....	- 127 -
<b>Tabla 56.</b> Previsión de agosto 2002 con R. ....	- 134 -
<b>Tabla 57.</b> Previsión setiembre 2002 con R. ....	- 135 -
<b>Tabla 58.</b> Previsión agosto 2003. Con correlación trimestral.....	- 138 -
<b>Tabla 59.</b> Previsión setiembre 2003. Con correlación trimestral.....	- 139 -
<b>Tabla 60.</b> Previsión agosto 2004 con correlación trimestral.....	- 142-

<b>Tabla 61.</b> Previsión agosto 2004 con 1907. Lineal y polinómica de orden 2.....	- 143 -
<b>Tabla 62.</b> Previsión diciembre 2011.....	- 145 -
<b>Tabla 63.</b> Previsión noviembre 2015 con 2008 .....	- 148 -
<b>Tabla 64.</b> Previsión agosto 2018. ARIMA.....	- 150 -
<b>Tabla 65.</b> Previsión setiembre 2018. ARIMA.....	- 151 -
<b>Tabla 66.</b> Previsión 2011 con ARIMA.....	- 152 -
<b>Tabla 67.</b> Previsión diciembre 2011 con ARIMA.....	- 153 -
<b>Tabla 68.</b> Previsión dic-2011 con ARIMA. Periodo para parámetros: 2011, enero a noviembre.....	- 154 -
<b>Tabla 69.</b> Previsión noviembre 2015 con ARIMA.....	- 154 -
<b>Tabla 70.</b> Previsión julio 2017.....	- 156 -
<b>Tabla 71.</b> Resumen de resultados. Caso D. ....	- 157 -
<b>Tabla 72.</b> Resultados de correlación de set-oct 2018, con set-oct del periodo de 2000- 17.....	- 158 -
<b>Tabla 73.</b> Previsión con R para octubre 2018 con 2006.....	- 160 -
<b>Tabla 74.</b> Previsión seleccionada para octubre 2018 con 2006.....	- 160 -
<b>Tabla 75.</b> Continuación de la Previsión octubre 2018 con R .....	- 161 -
<b>Tabla 76.</b> Previsión octubre 2018 con 1904, 2004, 2006, 2012 y 2015.....	- 163 -
<b>Tabla 77.</b> Resultados de la previsión octubre-nov 2018.....	- 165 -
<b>Tabla 78.</b> Previsión octubre-noviembre 2018 con 1943.....	- 167 -
<b>Tabla 79.</b> Previsión nov-dic 2018 con 1984.....	- 168 -
<b>Tabla 80.</b> Resultados previsiones con varios años para oct. y nov. 2018.....	- 170 -
<b>Tabla 81.</b> Previsión con 1984 ajustado y 1986.....	- 172 -
<b>Tabla 82.</b> Previsión desde el 15 de noviembre de. 2018.....	- 175 -

## **Siglas.**

<b>ANNP:</b>	Administración Nacional de Navegación y Puertos.
<b>ARMA:</b>	Autorregresivo de media móvil.
<b>ARIMA:</b>	Autorregresivo integrado de media móvil.
<b>CONACYT:</b>	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
<b>CTA:</b>	Centro de Tecnología Apropriada (de la Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción).
<b>DINAC:</b>	Dirección Nacional de Aeronáutica Civil.
<b>ENSO:</b>	El Niño-Oscilación del Sur.
<b>FAC:</b>	Función de autocorrelación.
<b>FACP:</b>	Función de autocorrelación parcial.
<b>FIUNA:</b>	Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción.
<b>HEC-DSSVue:</b>	Vista del HEC Data Storage System: vista del sistema de almacenamiento de datos HEC.
<b>HEC:</b>	Centro de Ingeniería Hidrológica (por las siglas en inglés).
<b>MSPyBS:</b>	Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social.
<b>NOAA:</b>	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica.
<b>ONI:</b>	Oceanic Niño Index.
<b>SEN:</b>	Secretaría de Emergencia Nacional

## **Resumen.**

En el Paraguay, para las previsiones de niveles hidrométricos del río Paraguay se ha estado utilizando métodos más bien empíricos, hasta la década de los ochenta cuando se empezó a utilizar correlación lineal. El objetivo de este trabajo ha sido contribuir a la mejora de los resultados de esas previsiones.

Se presentan modelos estocásticos de regresión lineal y ARIMA para la previsión de niveles hidrométricos del río Paraguay en Asunción. Se han correlacionado puntos de la misma estación y puntos de una estación con otra estación aguas arriba. Las entradas de estos modelos han sido tomadas de la serie temporal histórica de niveles hidrométricos del río Paraguay en Asunción y Concepción y las series de promedios históricos de niveles hidrométricos del río Paraguay en Asunción agrupados (según el ONI) en años influenciados por los fenómenos: La Niña y El Niño

Para considerar como buena la previsión se ha tomado como parámetro indicador una diferencia menor o igual a 20 cm, entre los niveles reales registrados y las previsiones.

Los resultados han sido alentadores puesto que los modelos presentados, utilizando como variable de entrada un solo elemento: los niveles hidrométricos, han dado previsiones con diferencias menores a los 20 cm respecto a lo registrado, con horizontes de previsión dependientes del modelo, la entrada y el periodo (época) de previsión. Se ha encontrado que el último trimestre del año limita el horizonte y la calidad de previsión de estos modelos de niveles.

Este trabajo es parte del proyecto "Desarrollo e implementación de un sistema de pronósticos de niveles y caudales del río Paraguay" (14-INV-280), ejecutado por el Centro de Tecnología Apropriada de la Universidad Católica "Nuestra Señora de la Asunción", en convenio con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

**Palabras clave:** niveles hidrométricos, estocástico, correlación, previsión, regresión lineal, ARIMA, fenómenos La Niña y El Niño, serie temporal, río Paraguay.

## **Abstract.**

In Paraguay, for the forecast of hydrometric levels of the Paraguay river, empirical methods have been used, until the eighties when linear correlation began to be used. The purpose of this research has been contributing to the improvement of the results of those forecasts.

In this research, stochastic models of linear regression and ARIMA are presented for the forecast of hydrometric levels of the Paraguay river in Asunción. Points of the same station and points from one station with another one upstream have been correlated. The inputs of these models have been taken from the historical time series of hydrometric levels of the Paraguay river in Asunción and Concepción, and the series of historical averages of hydrometric levels of the Paraguay river in Asunción grouped (according to the ONI) in years influenced by the phenomena: La Niña and El Niño.

To consider the forecast as good it has been taken as an indicator parameter a difference minor than or equal to 20 cm, between the actual registered levels and the forecasts.

The results have been encouraging given that the presented models, using as input variable a single element: the hydrometric levels, have given forecasts with differences minors than 20 cm regarding the actual registered levels, with forecast horizons dependent on the model, the input and the month of forecast. It has been found that the last trimester of the year limits the horizon and the quality of forecast of these models of levels.

This research is part of the project "Development and implementation of a system of forecasts of levels and flows of the Paraguay river" (14-INV-280), executed by the Center of Appropriate Technology of the Catholic University "Nuestra Señora de la Asunción", in agreement with the National Council of Science and Technology (CONACYT in spanish).

**Key Words:** hydrometric levels, stochastic, correlation, forecast, linear regression, ARIMA, La Niña and El Niño phenomena, time series, Paraguay river.

## **1. CAPÍTULO I: GENERALIDADES.**

## 1.1. Introducción.

El río Paraguay es uno de los principales ríos de América del Sur, el principal afluente del río Paraná y uno de los más importantes de la Cuenca del Plata. Nace en Mato Grosso, Brasil; discurre brevemente por Bolivia, cruza Paraguay y, en su tramo final, sirve de límite entre este último país y la Argentina, hasta desaguar en el río Paraná. La superficie de su cuenca es de 1 170 000 km<sup>2</sup>.

*"El río Paraguay es un río de llanura, por lo que las variaciones de sus caudales son lentas a lo largo de todo el tramo de su recorrido". (Tucci., Inundaciones Urbanas. Capítulo 7, Paraguay ).*

Se trata de un río meandroso, que recorre una longitud de 2.625 km, con caudal medio anual del orden de 3.000 a 4.000 m<sup>3</sup>/s. (Monte Domecq, 2013)

*"En todo su recorrido el río baña costas exclusivamente brasileras en una extensión aproximada de 1.000 km; 50 km frontera común entre Brasil y Bolivia; 340 de frontera común entre Brasil y Paraguay; 540 km bañando exclusivamente costa paraguaya y 375 km frontera entre Argentina y Paraguay". (Ávila, marzo 2017. 1er informe técnico de avances del proyecto: "Pronóstico de niveles y caudales del río Paraguay hasta 60, 90 días", pág. 69).*

De acuerdo a Bucher et al. (1993), *"el río Paraguay está conformado por tramos de características distintivas"*. El denominado "Medio Río Paraguay", comprendido entre la confluencia con el río Apa e Ytá Pyta Punta (ubicada 47 km al Sur de Asunción), constituye un tramo de río relativamente profundo con zonas de hasta 8,0 m, con presencia de numerosos bancos de arena y afloramientos rocosos y un ancho valle que, durante las crecientes, se expande unos 10,0 km. En este tramo, caracterizado por una pendiente de 6,0 cm/km, los principales tributarios son los ríos Aquidaban, Ypané y Jejuí, que proveen cerca del 20 % de la descarga de agua total del río Paraguay y que juegan un papel importante en la regulación del nivel del agua. (Monte Domecq, 2015, Análisis de series de caudales del río Paraguay ante eventos extremos - Serie 1975 – 2015)

*"La cuenca del río Paraguay (42 % de la cuenca del Plata) está constituida principalmente por una gran planicie, estando su nacimiento a unos 300 m sobre el nivel del mar. De acuerdo*

a varios autores<sup>1</sup>, el río se divide en cuatro zonas: zona 1: región del Pantanal (principalmente en Brasil), zona 2: región entre el Pantanal y el río Apa–margen izquierda, zona 3: región entre el Apa y el río Pilcomayo–margen derecha, y zona 4: región entre el río Pilcomayo y el río Paraná” (Monte Domecq, Perito, Chamorro, Ávila, Báez, Capítulo 7, Paraguay inundaciones .pp.331)

La zona 3 forma la cuenca media del Río Paraguay. Tiene un recorrido de más de 500 km, desde la confluencia con el río Apa hasta la confluencia del río Pilcomayo, frente a la ciudad de Asuncion. (Monte Domecq, 2013)



Figura. 1. Zonas del río Paraguay.

Fuente: Monte Domecq, 2015, Análisis de series de caudales del río Paraguay ante eventos extremos - Serie 1975 – 2015.

Los picos de crecida pasan por Asunción típicamente entre los meses de mayo a julio. Las cuencas media y baja, a diferencia del Pantanal, aportan al río las aguas producto de las precipitaciones, en forma mucho más rápida, alterando su régimen fluvial regular. (Monte Domecq, Perito, Chamorro, Ávila, Báez, Capítulo 7, inundaciones.p.337)

Este río no tiene represas en su curso y se considera un río de régimen natural. La red navegable todo el año tiene una longitud de 2.210 km, por lo tanto es casi enteramente navegable. Es la segunda vía fluvial del continente por longitud tras el río Amazonas. Esto

Ref.1: Inundaciones Urbanas en América Latina, Capitulo Paraguay.- Editado por la Universidad Federal de Río Grande del Sur, Programa Asociado Mundial de Inundaciones GWP/OMM

Ref. 2: Adaptado de Estudios para la Concesión del Mejoramiento de las Condiciones de Navegación en el Río Paraguay, Tramo Pilcomayo – Formosa Consorcio CSI Ingenieros SA – Serman & Asociados SA para el Banco Mundial)

hace que sea una importante vía de transporte marítimo y un corredor comercial, sirviendo a ciudades tan importantes como Asunción y Concepción, en Paraguay, y Formosa, en Argentina. La hidrovía Paraguay-Paraná, conformada por los ríos Paraguay y Paraná Inferior, con una longitud de 3.442 km, constituye el sistema fluvial troncal de la Cuenca del Plata. Es una vía navegable natural que se ha estado utilizando históricamente por los cinco países de la Cuenca del Plata: Paraguay, Brasil, Bolivia, Uruguay y Argentina. En el territorio paraguayo el río tiene una extensión total de 1250 km. En su ribera se asientan centros urbanos importantes como Concepción, Pilar, Asunción, Villeta y otros. (Monte Domecq, 2013)<sup>2</sup>

A lo largo del río se encuentran asentados numerosos núcleos urbanos, de los cuales la ciudad de Asunción es la más grande y compleja concentración de población urbana. Asunción tiene 117 km<sup>2</sup> y aproximadamente 20 Km. de costas sobre el río Paraguay. También se encuentran en su área de influencia: Concepción, Gran Asunción, Alberdi, Pilar.

En un ciclo anual normal, el comportamiento del río Paraguay incluye bajantes en el verano y crecidas en invierno. Crece de enero a mayo, alcanzando su pico en junio y decrece hasta diciembre. Pero se ha observado que esto ha ido cambiando, presentándose por ejemplo, subidas en el último trimestre del año.

*"Un pico de crecida normalmente se traslada desde el Pantanal hasta Asunción en 30, 40 días". (Monte Domecq)*

En Paraguay se dan dos tipos de inundaciones, pluviales y ribereñas. Las pluviales se deben a las precipitaciones intensas en las ciudades y al aumento desordenado de la urbanización; y las inundaciones ribereñas se deben a las crecidas estacionales y extraordinarias de los ríos Paraguay y Paraná.

Se detecta en el comportamiento histórico estudiado del río Paraguay, ciclos periódicos de estiajes y de crecidas, "aguas bajas" y "aguas altas".

En Asunción, el nivel medio histórico (1904 a setiembre 2018) del río Paraguay es de **3,167 m**, el mínimo registrado fue de **-40 cm**, en setiembre de 1969; y el máximo registrado fue **9 m**, en mayo de 1983, un año afectado por el fenómeno "El Niño". Sin embargo, existen evidencias de crecidas superiores, registradas en el libro: "Testimonios de la Asunción" (Gill, 1987), en 1833 y 1878, ambas de 9,93 m.

Ordenados cronológicamente de forma descendiente, en la serie histórica, de enero-1904 a agosto-2018, los niveles del río Paraguay en Asunción, por encima de los **8,5 m** se dieron en: mayo-1983, junio-1983, junio-1905, julio-1905, y junio-1992. Y del periodo *2000-set.2018*, los niveles por encima de los **7 m** se dieron en: diciembre 2015, enero 2016, julio 2014 y junio 2014.

El trabajo de investigación consta de 5 capítulos detallados en el índice.

El capítulo 1 comienza introduciendo el concepto de series temporales y modelos estocásticos y se presenta el sustento teórico del análisis estocástico de la serie temporal, una introducción a las previsiones en Paraguay y a la estadística de los modelos estocásticos propuestos.

El capítulo 2 corresponde a los datos. Se definen las estaciones utilizadas, las distintas fuentes de datos y se explica en qué consistió y cuáles fueron los resultados del control de calidad de datos. Se presentan las variaciones encontradas entre las distintas fuentes de datos y se indican fechas con niveles faltantes que no se completaron por ser mayores al mes.

El capítulo 3 presenta el análisis estadístico de la serie temporal de niveles en Asunción. Para la serie temporal histórica (1904-set.2018) de niveles del río Paraguay en Asunción se presenta la distribución de frecuencia, la descomposición de la serie en sus componentes, análisis de media, varianza, desviación estándar y por último aspectos referentes al tratamiento de la serie referente a condiciones de estacionariedad.

El capítulo 4 presenta los modelos estocásticos de correlación y regresión: regresión lineal y ARIMA, utilizados para la previsión de niveles del río Paraguay en Asunción. Se presentan varios casos: El caso A considera como entradas del modelo las series de promedios históricos de niveles en Asunción agrupados en años Niña y Niño. El caso B correlaciona los niveles de la estación de Asunción con una estación aguas arriba: Concepción. Para el caso C se buscó años y/o trimestres de mejor correlación con el periodo de previsión. En estos tres primeros casos se utilizó regresión lineal, y en el caso D se presentan los modelos ARIMA. Al final se hace una previsión para octubre y noviembre de 2018 buscando, así como caso C, similitud entre curvas, con el coeficiente de correlación y buscando años que presenten un crecimiento en el último trimestre del año y tengan una variación de nivel mes a mes similar a la de este año 2018.

Se utilizó regresión lineal y modelos ARIMA con diferentes entradas. Las previsiones se hicieron para el corriente año, y se validaron los métodos con previsiones para otros años.

Para los análisis se usó R y Excel; y para los gráficos, los anteriores y el visor del sistema de almacenamiento de datos HEC (HEC-DSSVue). El software R se eligió por ser libre y por contar con paquetes estadísticos. R es un entorno y lenguaje de programación con un enfoque al análisis estadístico.

El capítulo 5 es el último y corresponde a las conclusiones y recomendaciones.

Este trabajo es parte del proyecto de investigación: “Desarrollo e implementación de un sistema de pronósticos de niveles y caudales del río Paraguay” (14-INV-280), ejecutado por el CTA, en convenio con el CONACYT, que abarca la modelación hidrológica e hidráulica del río Paraguay y su cuenca.

## **1.2. Planteamiento del tema a investigar.**

En la actualidad son escasos los métodos de previsión de niveles hidrométricos del río Paraguay. Todos los métodos disponibles son empíricos, a excepción de la regresión lineal.

Desde la década de los años ochenta, se ha estado utilizando métodos de correlación lineal para estimar el comportamiento futuro del nivel del río Paraguay basado en un punto de control aguas arriba. *“Estos métodos solo permiten tener una idea de traslación lineal de la onda de crecida, por lo que si se generan lluvias importantes en las cuencas intermedias, las mismas no son contempladas en la ecuación de regresión lineal, y por lo tanto, los resultados son alterados sustancialmente”*. (Báez, Julián. Marzo 2017. 1er informe técnico de avances del proyecto: "Pronóstico de niveles y caudales del río Paraguay hasta 60, 90 días". p.18).

Actualmente, para la previsión de niveles en Asunción, en la dirección de Pronósticos Hidrológicos de la DMH-DINAC, correlacionan puntos de esta misma estación atendiendo la influencia de los fenómenos “La Niña” y “El Niño”.(Pastén, 2018)

Utilizar métodos no empíricos de previsión de niveles hidrométricos del río Paraguay es importante para poder tomar decisiones a tiempo, en los casos de inundaciones, que implicarían posteriormente el desplazamiento de familias, y las respectivas pérdidas económicas que éstas sufren en el proceso. Así mismo, saber qué épocas presentarán bajos niveles del río podría ser de utilidad al sector de navegación fluvial, considerando que, *“Paraguay mueve grandes volúmenes de carga al año, opera la tercera mayor flota fluvial*

*de barcazas y su economía depende de la hidrovía por donde se importan y exportan alrededor del 90% de los productos comercializados en el país”, según Paraguay fluvial (nov.2018)*

Con este proyecto se verían beneficiados: La comunidad académica, porque se presentarían modelos estocásticos de previsión, y podrían crearse capacidades a partir él; la Secretaria de Emergencia Nacional (SEN), así como las municipalidades ribereñas del río Paraguay, pudiendo mejorar la gestión del riesgo y la emergencia en poblaciones ribereñas; las empresas navieras, debido a que podría resultarles muy útil como prevención, saber qué épocas presentarían niveles del río que podrían afectar su trabajo; la Administración Nacional de Navegación y Puertos (ANNP), la dirección de Pronósticos Hidrológicos de la DMH-DINAC, y también indirectamente el Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social (MSPyBS), considerando que cuando hay inundaciones podría verse afectada la población con casos de dengue, diarrea, y problemas con Cateura (en caso de verse también afectada por la inundación).

Con el objetivo de contribuir a la mejora de los resultados de los actuales métodos de previsión, en este trabajo se analizaron modelos estocásticos de correlación y regresión (regresión lineal y ARIMA) para la previsión de niveles hidrométricos del río Paraguay en Asunción.

### **1.3. Objetivos.**

#### **1.3.1. Objetivo General.**

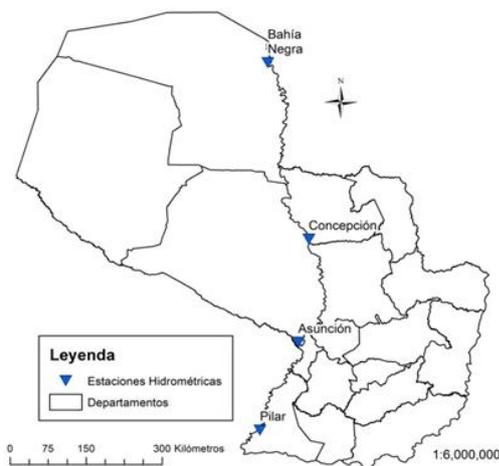
Evaluar modelos estocásticos para la previsión de niveles hidrométricos del río Paraguay en Asunción.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos.**

- Recopilar datos históricos de niveles hidrométricos del río Paraguay y realizar a los mismos el análisis de calidad para organizar una base de datos.
- Analizar el proceso estocástico y las propiedades estadísticas de la serie temporal de niveles históricos del río Paraguay en Asunción.
- Seleccionar los diferentes métodos estocásticos a utilizar, teniendo en cuenta los datos disponibles.
- Validar los métodos de previsión de niveles hidrométricos del río Paraguay utilizados.

#### 1.4. Alcance.

Se consideró un alcance geográfico, tomándose en cuenta las riberas del río correspondientes a las ciudades de Asunción, Concepción, Bahía Negra y Pilar para la recopilación de datos de niveles y precipitación, y para el control de calidad de datos de niveles. Las previsiones se realizaron para Asunción. Se tomaron esas 4 estaciones por la extensión de su registro histórico de datos. Son las 4 estaciones que aparecen en los pronósticos de la DMH-DINAC.



**Figura. 2.** Estaciones hidrométricas del alcance geográfico.

Fuente: Lic. MSc. Julián Báez. 1er informe técnico de avances del proyecto: "Pronóstico de niveles y caudales del río Paraguay hasta 60, 90 días". Asunción. Apartado: Gestión de obtención de datos hidroclimáticos. pp.68.

## **2. CAPITULO II: MARCO TEORICO**

## 2.1. Conceptos estadísticos.

Con la estadística se pretende reducir un conjunto grande de números a uno pequeño, extrayendo la información esencial de un conjunto de datos.

Población: conjunto de todos los individuos que portan información sobre el fenómeno que se estudia.

Muestra: subconjunto de la población, que contiene las características relevantes en las mismas proporciones que están incluidas en la población.

Parámetro: medida que se calcula a partir de una población, para describir sus características.

Estadístico: medida que se calcula a partir de una muestra, para describir sus características.

Variable estadística: característica que puede ser observada o medida en cada elemento de la población.

Media aritmética: cociente entre la sumatoria de todas las variables  $x_i$  entre el número de variables.

Varianza: medida de dispersión que representa la variabilidad de una serie de datos respecto a su media.

Desviación típica: o desviación estándar, denotada con el símbolo  $\sigma$ , es la raíz positiva de la varianza.

La siguiente tabla, extraída del libro de Ven Te Chow, resume las ecuaciones para algunos parámetros de población y sus estadísticas de muestra.

**Parámetros de población y estadísticas de muestra**

Parámetro de la población	Estadística de la muestra
<b>1. Punto medio</b>	
Media aritmética $\mu = E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x) dx$	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$
Mediana $x$ tal que $F(x) = 0.5$	Valor de la información en el 50o. percentil
Media geométrica antilog $[E(\log x)]$	$\left( \prod_{i=1}^n x_i \right)^{1/n}$
<b>2. Variabilidad</b>	
Varianza $\sigma^2 = E[(x - \mu)^2]$	$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$
Desviación estándar $\sigma = \{E[(x - \mu)^2]\}^{1/2}$	$s = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2}$
Coefficiente de variación $CV = \frac{\sigma}{\mu}$	$CV = \frac{s}{\bar{x}}$
<b>3. Simetría</b>	
Coefficiente de asimetría (oblicuidad) $\gamma = \frac{E[(x - \mu)^3]}{\sigma^3}$	$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)s^3}$

**Figura. 3.** Parámetros de población y estadísticos de muestra.

Fuente: Hidrología aplicada, Ven Te Chow, pág.371.

**2.2. Series temporales.**

Una serie temporal es una secuencia ordenada de observaciones, cada una de las cuales está asociada a un momento de tiempo. Se tiene un conjunto ordenado de datos, y en general, las observaciones son dependientes entre sí.

El conjunto de técnicas de estudio de series de observaciones dependientes ordenadas en el tiempo se denomina análisis de series temporales.

Cuando las observaciones sucesivas son dependientes, los valores futuros pueden ser predichos a partir de las observaciones pasadas. Si una serie temporal se puede predecir exactamente, entonces es una serie determinista. En cambio, en las series estocásticas, el futuro sólo se puede determinar parcialmente por sus valores pasados, no hay predicciones exactas y los valores futuros tienen una distribución de probabilidad que está condicionada a los valores pasados.

### 2.3. Clasificación de modelos.

Para reproducir el comportamiento de la variable de interés, se utilizan modelos como instrumento de análisis. Los modelos matemáticos representan la naturaleza de un sistema a través de ecuaciones matemáticas, pueden ser determinísticos y probabilísticos.

Un modelo determinista es un modelo matemático donde las mismas entradas o condiciones iniciales producirán invariablemente las mismas salidas, no contemplándose la existencia de azar, o incertidumbre. Como ejemplo, si formulamos la cantidad de productos a comprar en función al costo de la orden de compra, a la demanda anual y al costo de mantenimiento de inventario; si los costos no varían, una misma demanda siempre indicará una misma cantidad de productos a adquirir.

Según Reddy (2016), *“una variable asociada con un fenómeno aleatorio es una variable aleatoria, cuyo comportamiento queda completamente descrito por su función de distribución de probabilidad”*.

Un proceso estocástico se refiere a variables aleatorias sujetas a leyes de probabilidad.

*“Una variable aleatoria  $X$  es una variable descrita por una distribución de probabilidad, que determina la posibilidad de que una observación  $x$  de la variable caiga en un rango especificado de  $X$ . Como ejemplo, si  $X$  es la precipitación anual en un lugar específico, entonces la distribución de probabilidad de  $X$  determina la posibilidad de que la precipitación anual observada en un año dado caiga en un rango definido”*. (Ven Te Chow, 1994, pp.361).

En un proceso estocástico, una variable aleatoria  $X$  dada **no siempre** produce el mismo valor  $Y$  de salida.

Según Reddy (2016), *“La magnitud de escorrentía de un cauce hídrico podría depender de la escorrentía en meses pasados, y la probabilidad de que en cierto mes exceda un valor no es la misma para un mes diferente. Hay una cierta dependencia entre las ocurrencias de la variable en diferentes tiempos y la distribución de probabilidad no es invariante en el tiempo”*.

Que la variable se vea afectada por la probabilidad implica un grado de incertidumbre a la hora de su previsión.

Los modelos de series temporales univariantes analizan una serie temporal en función a su mismo pasado, y las multivariantes analizan varias series a la vez.

Un análisis de la serie temporal puede incluir describir las características de la serie en términos de sus componentes de interés tales como tendencia, comportamiento estacional, estacionariedad, estadísticos (media, varianza) y representaciones gráficas de los datos.

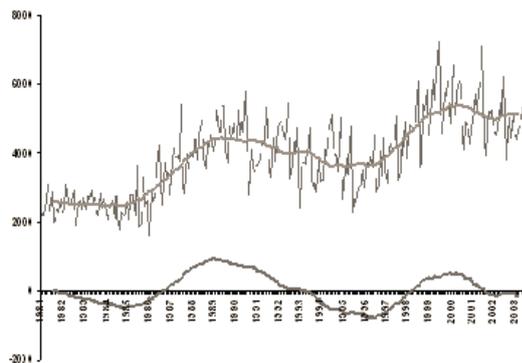
Este análisis también incluye predecir valores futuros de una serie de datos.

#### **2.4. Elementos de una serie temporal.**

Los elementos de una serie temporal son tendencia, la estacionalidad y un factor aleatorio. Los componentes que capturan patrones históricos en una serie son: el estacional, el de tendencia y el cíclico. No todas las series tendrán los tres o alguno de estos componentes, pero si están presentes, descomponer la serie puede ayudar a entender su comportamiento para armar un modelo de previsión (forecasting).

##### Componente cíclico.

El componente cíclico indica patrones de crecimiento o decrecimiento que no son estacionales, son de carácter periódico, con periodos de duración diferente, desconocidos y superiores a un año. Se puede ver un ejemplo en la figura 4.

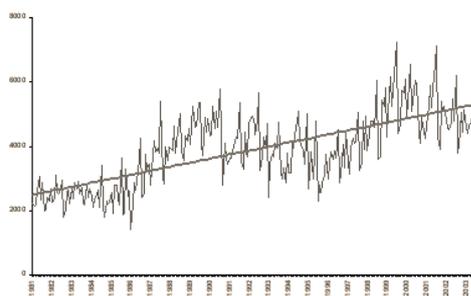


**Figura. 4.** Componente cíclico de una serie temporal.

Fuente: Universidad de Valladolid. (2018). Recuperado de Componentes de una serie temporal:  
<http://www5.uva.es/estadmed/datos/series/series1.htm>.

### Tendencia.

La tendencia indica una pendiente general, se nota que los valores aumentan o disminuyen con el tiempo. Se podrá evaluar mediante una regresión lineal simple, a través del modelo:  $X = mx + b$ , donde “m” es la pendiente de la recta y “b” es la llamada “ordenada en el origen”. Se trata de ver si, en su conjunto, entre los datos de la variable X estudiada y los valores temporales se podría ajustar una recta de regresión significativa. La tendencia en un tramo o periodo evidentemente no siempre será lineal, por lo tanto, en ocasiones, hará falta adaptar una función no lineal para detectar una tendencia, por ejemplo, exponencial o logarítmica. En la figura 4 se ve una serie temporal con componente tendencial.



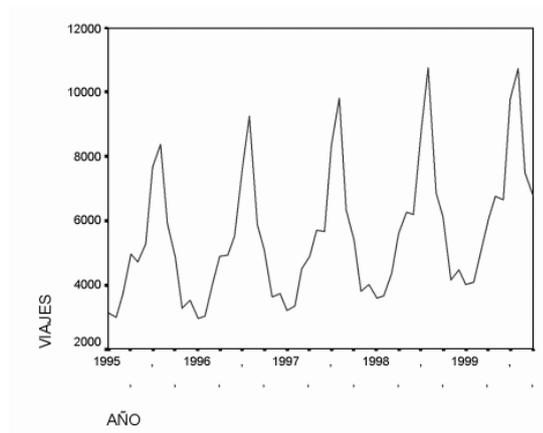
**Figura. 5.** Componente tendencial de una serie temporal.

Fuente: Universidad de Valladolid. (2018). Recuperado de Componentes de una serie temporal:  
<http://www5.uva.es/estadmed/datos/series/series1.htm>

### Componente estacional.

La componente estacional representa fluctuaciones de la serie en periodos de tiempo inferiores a un año que se repiten con periodicidad conocida. El periodo en el cual se repite el patrón estacional depende del origen de los datos, pudiendo ser anual, trimestral, mensual, semanal o diario. Estos patrones tienden a repetirse cada año. Son crecimientos o decrecimientos en los valores de la serie que se producen por el hecho de encontrarnos en una determinada época, en general una estación del año. Para identificar la existencia de esta componente es necesario que el período de observación esté dividido en subperíodos. (Universitat de Barcelona, 2018). Obtenido de: [http://www.ub.edu/aplica\\_infor/spss/cap8-2.htm](http://www.ub.edu/aplica_infor/spss/cap8-2.htm)

Aguas más altas en ciertos meses del año y más bajas en otros son un ejemplo de estacionalidad.



**Figura. 6.** Ejemplo de tendencia y estacionalidad

Fuente: Barcelona, U. d. (2018). Obtenido de [http://www.ub.edu/aplica\\_infor/spss/cap8-4.htm](http://www.ub.edu/aplica_infor/spss/cap8-4.htm)

### Factor aleatorio o error.

La parte de la serie que no puede ser atribuida a uno de estos tres componentes puede referirse como residual o error. Esta componente irregular es también llamada "*ruido*", recoge alteraciones de la serie, pequeñas en su incidencia, y sin una pauta periódica ni tendencial reconocible.

El proceso de extraer estos componentes se llama descomposición.

## 2.5. Estacionariedad.

Según Reddy (2016), “un proceso estocástico es estrictamente estacionario si para cualquier  $n$  y cualquier punto de tiempo  $t_i$ , la distribución de probabilidad conjunta de  $X(t_1)$ ,  $X(t_2)$ , ...,  $X(t_n)$  es idéntica a la distribución de probabilidad conjunta de  $X(t_{1+\tau})$ ,  $X(t_{2+\tau})$ , ...,  $X(t_{n+\tau})$ .  $\tau$  es el tiempo de retraso” (Reddy, 2016, pág. 137)

En procesos estocásticos no estacionarios, las propiedades estadísticas difieren de un segmento a otro, siendo de ese modo, dependientes del tiempo. Un proceso estocástico se dice ser estacionario débil si es estacionario solo en media y covarianza. La estacionariedad débil también se conoce como estacionario en covarianza. (Reddy, 2016, pág. 137)

Según Reddy (2016), “Si la media de  $X(t)$  y  $X(t + \tau)$ , indicadas en las ecuaciones 1 y 2, convergen con probabilidad 1 a la media de la población  $\mu$ , a medida que  $m$  tiende a infinito, es decir, que  $P[\bar{x}(t) = \mu] = 1$  a medida que  $m \rightarrow \infty$  independientemente de la posición de  $t$ , se dice que el proceso es estacionario en media, o estacionario de primer orden.

Si la covarianza dada por la ecuación 3 es independiente de la posición de  $t$ , pero dependiente del tiempo de retraso  $\tau$ , y si para un  $\tau$  dado, se aproxima a una constante definida por  $cov[x(t), x(t+\tau)] = \rho_t \sigma_x^2$  a medida que  $m \rightarrow \infty$ , donde  $\sigma_x^2$  es la varianza de la población y  $\rho_t$  es el coeficiente de correlación de la población entre  $X(t)$  y  $X(t+\tau)$ , entonces el proceso se dice ser estacionario en covarianza.  $\rho_t$  se llama coeficiente de autocorrelación de tiempo de desfase  $\tau$ , por ser el coeficiente de correlación entre la misma variable aleatoria situada en dos diferentes posiciones de tiempo, separadas por  $\tau$ . Si el proceso es estacionario en media y covarianza entonces se dice ser estacionario de segundo orden”.

$$\bar{x}(t) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i(t) \quad [\text{Ec.1}] \text{ Ecuación 1}$$

$$\bar{x}(t + \tau) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i(t + \tau) \quad [\text{Ec.2}]$$

Ecuación 2

$$cov[x(t), x(t + \tau)] = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m [ \{ x_i(t) - \bar{x}(t) \} \{ x_i(t + \tau) - \bar{x}(t + \tau) \} ] \quad [\text{Ec.3}] \text{ Ecuación 3}$$

Las ecuaciones 1,2 y 3 fueron obtenidas del libro "Stochastic hydrology" de Reddy, año 2016. Pág.139.

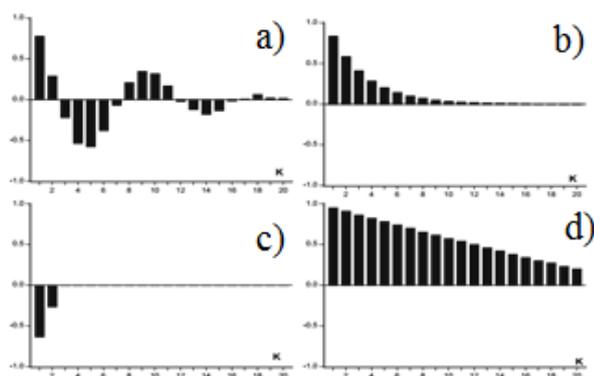
La estacionariedad se evalúa mediante el correlograma. Se calculan correlaciones entre la misma muestra pero con diferentes desfases temporales. El correlograma es el gráfico de los coeficientes de autocorrelación de orden  $k$  contra el retardo  $k$ . Por ejemplo, si en datos mensuales se detecta una importante correlación entre los valores de cada mes con los del año siguiente hablaremos de una estacionariedad anual o de cada 12 meses. (La estadística: una orquesta hecha instrumento, 2018)

Para que un proceso estocástico sea estable para hacer previsiones, necesita ser estacionario. Una serie estacionaria es mucho más fácil de predecir. Si la serie se comportaba de una manera en el pasado (con una determinada media y varianza), se podría suponer que se seguirá comportando de la misma forma en el futuro, o que tiene una gran probabilidad de continuar comportándose de la misma forma.

Un supuesto en muchas técnicas de series de tiempo es que los datos son estacionarios, donde su **media, variancia y autocorrelación** no cambian en el tiempo y tampoco se presentan patrones de **estacionalidad**; sin embargo, en la práctica sí se presentan estos patrones de tendencia y de estacionalidad, y es necesario contar con modelos que las consideren.

Según Clarke, *"Se podría suponer estacionariedad en el sentido que los valores de la serie fluctúen aleatoriamente en torno a un valor medio que permanece constante en el tiempo, y que la dispersión en torno a esta media también permanece constante. Esta suposición es dudosa cuando la región está sujeta a cambios climáticos"* (Clima y Recursos Hídricos de Brasil, Tucci y Braga, nov.2003, pag.244-5)

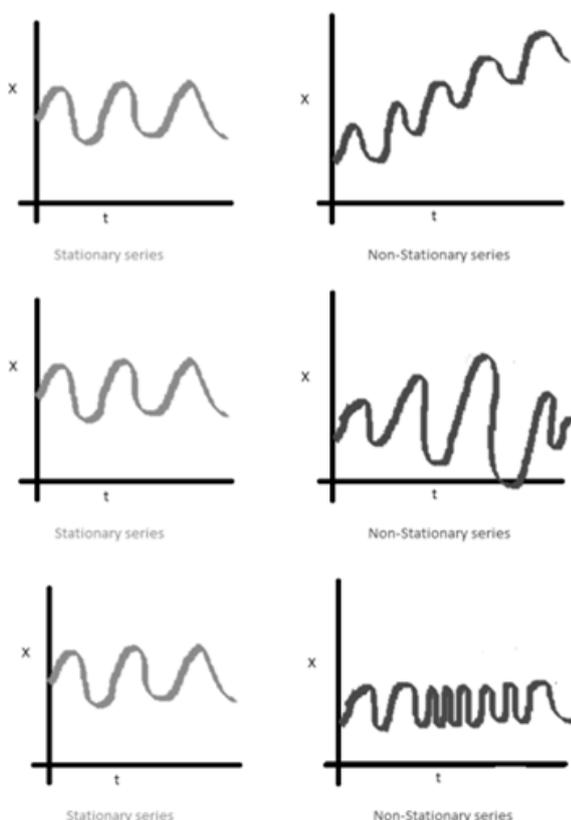
En un proceso estocástico no estacionario, las propiedades estadísticas difieren de un segmento a otro, y por lo tanto son dependientes del tiempo. El concepto de estacionariedad que se asume en un sentido débil, o de segundo orden, es el cual se obtiene cuando la **media y variancia** son constantes e independientes del tiempo, y cuando la **autocovarianza** y, por tanto, los coeficientes de autocorrelación sólo dependen del desfase, pero no del momento de tiempo. Además, cuando el proceso es estacionario en sentido débil se distribuye como una normal, y por lo tanto se demuestra que también es estacionario en sentido estricto.



**Figura. 7.** Ejemplo de funciones de autocorrelación

Fuente: Casimiro, M. P. (abril de 2009). Universidad del País Vasco. Obtenido de Análisis de series temporales, modelos ARIMA: <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/>

En la figura 7, los correlogramas a), b) y c) decrecen rápidamente hacia cero conforme aumenta  $k$ . Son entonces correlogramas de series estacionarias. En cambio, los coeficientes de autocorrelación del correlograma d) decrecen lentamente, de forma lineal, entonces no se trata de una serie estacionaria.

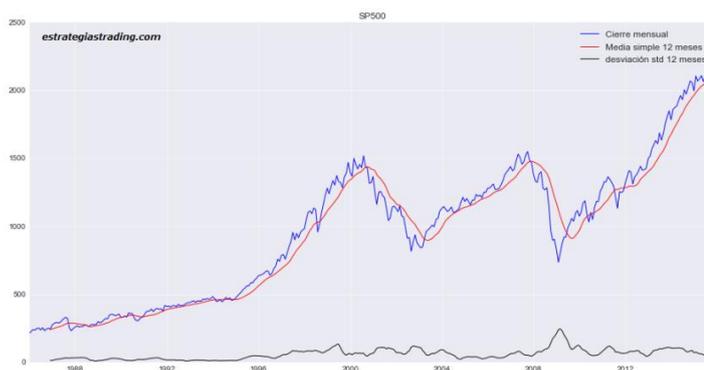


**Figura. 8.** Media, varianza y autocovarianza de series estacionarias y no estacionarias.

Fuente: Obtenido de [www.analyticsvidhya.com/](http://www.analyticsvidhya.com/)

En la figura 8, a la izquierda se presentan series estacionarias, y a la derecha, series no estacionarias: la de arriba tiene tendencia y su media se incrementa con el paso del tiempo; en la figura del medio, la varianza de la serie se incrementa y en la figura de abajo, la autocovarianza no es constante.

En la figura 9 se tiene una serie con media y varianza variables.



**Figura. 9.** Ejemplo de serie con media y varianza no constantes

Fuente: Obtenido de <https://estrategiastrading.com/series-estacionarias/>

El principal problema de tratar las series no estacionarias como estacionarias está en la estimación del riesgo. Se podría subestimar el riesgo. El margen de error de las previsiones es mayor.

Una serie es no estacionaria si la media y/o la varianza cambian a lo largo del tiempo. Las series no estacionarias pueden mostrar cambios de **varianza**, **tendencia** (la media crece o baja a lo largo del tiempo) y pueden presentar efectos **estacionales** (el comportamiento de la serie es parecido en ciertos tiempos periódicos en el tiempo).

### 2.5.1. Tratamientos de no estacionariedad.

Las no estacionariedades pueden ser provocadas por la presencia de tendencia determinista o estocástica y por la presencia de una componente estacional determinista o estocástica. (Universidad de Santiago de Compostela, Departamento de Estadística e Investigación Operativa, 2018)

Una dependencia estacional se refiere a dependencia entre observaciones ocurridas en instantes separados por múltiplos del periodo estacional.

La familia de transformaciones de Box-Cox arregla problemas de normalidad y heterocedasticidad (no homogeneidad de varianzas).

Una serie estacionaria en varianza sostiene que existe una única varianza para la serie temporal. Las transformaciones de Box-Cox son estabilizadoras de varianza. En algunas ocasiones se usa una transformación logarítmica.

La eliminación de la tendencia se consigue con diferenciación sucesiva. La diferenciación consiste simplemente en calcular la diferencia entre cada dato y el anterior, mientras que para obtener una dispersión similar se recurre a la transformación logarítmica.

La clase de modelos denominados Autorregresivos-Integrados- Promedio-Móvil (ARIMA) son una forma poderosa de describir series que puedan convertirse en estacionarias, aplicando diferenciación. (Chavasse.y.Seoane, 1997, pág. 58)

## **2.6. Hidrología estocástica.**

Según Ven Te Chow (1994), *“Los procesos hidrológicos evolucionan en el espacio y en el tiempo en una forma que es parcialmente predecible, o determinística; y parcialmente aleatoria. Un proceso de este tipo se conoce como proceso estocástico”*.

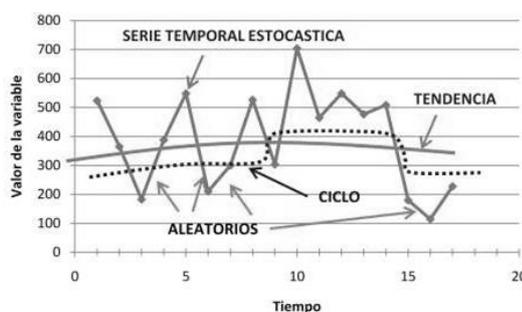
Según Clarke, *“La hidrología estocástica se refiere a procedimientos para cálculo de cantidades de interés hidrológico, mediante el análisis de registros hidrológicos que se consideran como observaciones de variables aleatorias, es decir, variables sujetas a leyes de probabilidad. Este concepto puede ser extendido a relaciones entre dos o más variables aleatorias y también puede incluir una dimensión espacial, en que la secuencia de tiempo de observaciones es registrada en dos o más puntos espacialmente separados”*.

Según Reddy (2016), *“un fenómeno que cambie con el tiempo se llama proceso. Cuando hay dependencia entre las ocurrencias de la variable en diferentes momentos y la distribución de probabilidad no es invariante en el tiempo, esos procesos pueden ser clasificados como estocásticos”*

Los niveles del río Paraguay son fenómenos que varían con el tiempo, entonces son un proceso, y como tienen dependencia entre las ocurrencias de la variable en diferentes momentos, son procesos estocásticos. El decir que hay dependencia entre las ocurrencias de la variable en diferentes momentos, podríamos ejemplificarlo de la siguiente manera: el nivel del río en un día  $x$  fue de 5 m, y el nivel del río en el día  $x+1$  depende del nivel del río en el día  $x$ , no podría ser por ejemplo 3 m porque indicaría una variación de 2 m en un día.

Según Gutiérrez (2010), “*Todos los fenómenos relacionados a la generación y distribución de la lluvia en nuestro planeta, y todas sus consecuencias directas, como ser: el escurrimiento superficial por las cuencas, la infiltración a las porciones más profundas del suelo y el caudal de los ríos, son procesos aleatorios, es decir, tienen un cierto nivel de incertidumbre o una probabilidad de que sean igualados o excedidos en un número de años, y por lo tanto están gobernados por leyes de la probabilidad. A los procesos gobernados por probabilidades se les llama estocásticos*”.

Como se procesan datos referentes a variables aleatorias sujetas a leyes de probabilidad, el pronóstico de estas magnitudes tiene un cierto grado de incertidumbre, tanto en la ocurrencia como en la magnitud.



**Figura. 10.** Ejemplo de serie hidrológica temporal.

Fuente: García Gutiérrez (2010), Modelación hidrológica estocástica: desarrollo de un modelo de generación sintética de series temporales.

Según Gutiérrez (2010), “*El componente determinístico describe una “tendencia general” y está basado en las propiedades estadísticas de la serie histórica conocida. El componente estocástico es el que define la incertidumbre o la probabilidad de ocurrencia de un evento*”.

Algunos modelos estocásticos aplicados a la hidrología son: modelos de correlación y regresión, modelo de monte Carlo para la generación de series sintéticas y modelo de Markov.

Los tipos de aplicaciones principales de métodos estocásticos utilizados en hidrología son: **Predicción** (Hacer declaraciones de la frecuencia con que eventos extremos ocurrirán en el futuro) y **Pronóstico** (Estimar los valores futuros de una variable hidrológica, dados los valores observados hasta el momento presente.). (Clarke, Dic.2002, pág. 98)

Ejemplos de métodos estocásticos de predicción. (Clarke, Dic.2002, pág. 98)

- Predicciones de qué tan frecuente una inundación anual de magnitud específica ocurrirá en el futuro. Se tiene una secuencia observada de inundaciones anuales y el método consiste en seleccionar y ajustar una apropiada distribución de probabilidad. También es posible usar procedimientos no paramétricos (estimación de kernel) para ajustar la distribución de probabilidad. El problema es comúnmente presentado en el sentido opuesto: dada la probabilidad de ocurrencia (periodo de retorno) de la inundación anual, calcular su magnitud.
- Predicciones de qué tan frecuente precipitaciones con una intensidad y duración dadas ocurrirán en el futuro.
- Modelos estocásticos de lluvia para intervalos de tiempo menores que un día.

Ejemplos de modelos estocásticos de pronóstico. (Clarke, Dic.2002, pág. 99)

- Estimación de medias de futuros flujos mensuales, dada la secuencia de flujos medios mensuales observados hasta el presente. Los modelos usados para pronóstico de flujos mensuales pueden ser: regresiones lineales múltiples, o modelos de serie de tiempo ARMA del tipo Box-Jenkins.
- Estimaciones de medias de futuros flujos mensuales, dadas tanto la secuencia de flujos mensuales medios y las precipitaciones medias anuales del área de drenaje. Modelos de función de transferencia de Box-Jenkins pueden ser ajustados y usados para pronóstico de flujos mensuales futuros.

(La metodología Box-Jenkins se refiere a una serie de procedimientos para identificar, ajustar y verificar los modelos ARIMA, con los datos de serie de tiempo).

Ejemplos en los cuales mencionan modelos estocásticos y su relación con la reducción de los errores:

Chavasse y Seoane (1997) probaron primeramente un modelo determinístico para pronóstico, y luego aplicaron un modelo ARIMA a la serie de errores de este primer modelo. Compararon la nueva serie temporal de los errores estimados con la asociación determinístico-estocástica y los errores del modelo determinístico complejo. Analizaron las funciones de autocorrelación (fac) y de autocorrelación parcial (facp) de la nueva serie de errores, y notaron una disminución general de los valores de la fac y pacf, indicando una

mejor representación matemática. Mencionan la importancia de introducir un modelo estocástico para mejorar las previsiones.

Cadavid y Carvajal (2013), propusieron un acoplamiento entre la parte determinística de un modelo autorregresivo de orden 2 y el modelo estocástico bilineal como componente aleatorio, obteniendo un modelo autorregresivo bilineal (MAB), que recoge la condición de linealidad de la parte autorregresiva y la no linealidad de la parte bilineal. Esta componente no lineal genera que la componente aleatoria sea capaz de representar de forma parcial los eventos extremos de la serie y así los máximos y mínimos se acercan más a los valores reales, haciendo que la magnitud de errores se reduzca considerablemente.

La modelación hidrológica se define como la descripción matemática de la respuesta de una cuenca ante la ocurrencia de una serie de eventos de precipitación (Viessman, Lewis, & Knapp, 1989).

Con respecto a esta definición, es oportuno aclarar que los "eventos" pueden tratarse de uno aislado o de un conjunto de estos a lo largo del tiempo. Para el primero de los casos, se trata de un modelo de evento, mientras que, para el segundo, se trata de un modelo continuo. Un modelo de evento simula una sola tormenta, por lo tanto, la duración varía de unas cuantas horas a unos días. Por otra parte, un modelo continuo simula un periodo largo, prediciendo la respuesta de una cuenca durante y entre eventos de precipitación (Ford & Hamilton, 1996). (Fuente: 1er informe técnico de avances del proyecto: "Pronóstico de niveles y caudales del río Paraguay hasta 60, 90 días". Modelos hidrológicos e hidrodinámicos.pp.22)

## **2.7. Previsiones en Paraguay.**

Báez, en el 1er informe técnico de avances del proyecto: "Pronóstico de niveles y caudales del río Paraguay hasta 60, 90 días" (2017), expone que *"En Paraguay, desde la década de los años ochenta, se utilizaban métodos de correlación lineal para estimar el comportamiento futuro del nivel del río Paraguay basado en un punto de control aguas arriba. Estos métodos solo permiten tener una idea de traslación lineal de la onda de crecida, por lo que si se generan lluvias importantes en las cuencas intermedias, las mismas no son contempladas en la ecuación de regresión lineal, y por lo tanto, los resultados son alterados sustancialmente"*

Actualmente, según Pastén, Gerente Int. Pronósticos Hidrológicos de la DMH-DINAC, *"para los pronóstico de niveles hidrométricos del río Paraguay en Asunción, se*

*correlacionan puntos de la misma estación atendiendo la influencia de los fenómenos La Niña y El Niño"*

#### Pronósticos Río Paraguay del Centro Meteorológico Nacional (DMH-DINAC)

La Dirección de Meteorología cuenta con un área de hidrología operativa donde se reciben y sistematizan datos hidrométricos del río Paraguay. Con esta información, esta dirección produce pronósticos en base a la información disponible del río Paraguay y a datos generados por modelos hidroclimáticos. Se disponibiliza en la web: <http://meteorologia.gov.py>

### **2.8 Modelos.**

#### **2.8.1. Modelos de correlación y regresión.**

##### **Regresión lineal.**

Se tienen métodos lineales y no lineales.

Teniendo como variable dependiente a  $Y$  y como variable independiente o regresora a  $X$ , el modelo es lineal si al incrementarse/ disminuir  $X$ ,  $Y$  se incrementa /disminuye proporcionalmente.

El modelo es no lineal si  $Y$  aumenta/disminuye a una razón mayor de lo que aumenta/disminuye  $X$ , o si aumenta a un ritmo cada vez menor conforme  $X$  va aumentando.

A continuación se presenta una ecuación de regresión lineal determinista.

$$Y = \alpha + \beta X \quad [\text{Ec.01}]$$

Si la relación es exacta, entonces se trata de una relación determinista entre dos variables científicas. Sin embargo, en muchos fenómenos, la relación no es determinista, es decir, una  $X$  dada no siempre produce el mismo valor de  $Y$ . Como ejemplo, si tenemos un modelo que relaciona el nivel del río del día actual con el del día anterior: en cierto día el nivel de río puede estar en 3,7 m y al día siguiente bajar a 3,50 m; y hace 1 mes también estuvo en 3,70 m pero al día siguiente subió a 4 m, por verse influenciado por otras variables aleatorias en diferentes tiempos. Este ejemplo indica que con una misma entrada de 3,7 m se produjeron diferentes salidas, no siendo determinista este modelo.

El concepto de análisis de regresión tiene que ver con encontrar la mejor relación entre la variable  $Y$  y la variable  $X$ , y emplear métodos que permitan pronosticar los valores de respuesta ante valores dados de la variable regresora  $X$ .

El análisis del caso con un solo regresor recibe el nombre de regresión simple. Pero, en muchas aplicaciones, habrá más de un regresor (es decir, más de una variable independiente que ayude a explicar a  $Y$ ), y se tiene entonces una regresión múltiple.

El modelo estadístico para una regresión lineal simple, que relaciona la forma en que la variable aleatoria  $Y$  cambia con  $X$  y el componente aleatorio es:

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon \quad [\text{Ec.02}]$$

en la cual  $\alpha$ : parámetro desconocido de la intersección con el eje vertical, y  $\beta$ : parámetro desconocido que indica la pendiente, y  $\varepsilon$  es una variable aleatoria que se supone está distribuida con  $E(\varepsilon)=0$  y  $\text{Var}(\varepsilon)=\sigma^2$ . Es frecuente que a la cantidad  $\sigma^2$  se le denomine varianza del error o varianza residual.

Del modelo anterior se hacen evidentes varias cuestiones: la cantidad  $Y$  es una variable aleatoria, ya que  $\varepsilon$  es aleatoria. La cantidad  $\varepsilon$ , con frecuencia recibe el nombre de error aleatorio o alteración aleatoria, y su presencia impide que el modelo sea tan sólo una ecuación determinista.

#### La recta de regresión ajustada.

Los coeficientes de regresión son los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ . Suponiendo que los estimados de  $\alpha$  y  $\beta$  se denotan con  $b$  y  $m$ , respectivamente. Entonces, la recta de regresión ajustada o estimada, está dada por:

$$\hat{y} = mx + b \quad [\text{Ec.03}]$$

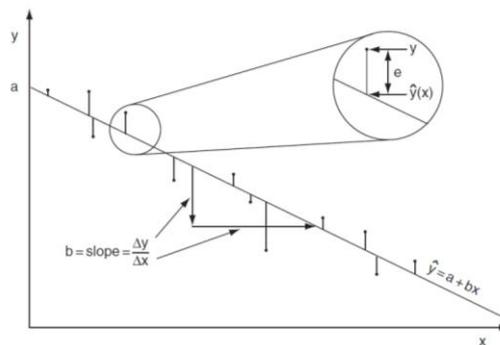
donde  $\hat{y}$  es el valor pronosticado o ajustado. La recta ajustada es una estimación de la verdadera recta de regresión.

Para la regresión lineal, la gráfica es una línea recta. El procedimiento de regresión elige la línea que menor error produce para previsiones de  $Y$ , dadas observaciones de  $X$ . El criterio usual para el error es el promedio de los errores cuadrados.

Los mínimos cuadrados y el modelo ajustado.

En la figura 11, las distancias verticales entre los puntos de datos y la línea hallada se llaman errores residuales, y se definen con la siguiente ecuación:

$$e_i = y_i - \hat{y}(x_i) \quad [\text{Ec.04}]$$



**Figura. 11.** Mínimos cuadrados

Fuente: Wilks. D (2006).

Un residuo es un error en el ajuste del modelo  $\hat{y} = mx + b$ . Dado un conjunto de datos de regresión  $[(x_i, y_i); i = 1, 2, \dots, n]$  y un modelo ajustado

$$\hat{y}_i = a + bx_i \quad [\text{Ec.05}]$$

El i-ésimo residuo  $e_i$  está dado por:

$$e_i = y_i - \hat{y}_i \quad [\text{Ec.06}]$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

La ecuación 6 aclara la diferencia entre los residuos  $e_i$ , y los errores del modelo conceptual,  $\epsilon_i$ . Los  $\epsilon_i$  no son observados, y los  $e_i$  sí.

$$y_i = a + b x_i + e_i \quad [\text{Ec.07}]$$

Se deben encontrar los valores de a y b, estimadores de  $\alpha$  y  $\beta$ , de manera que la suma de los cuadrados de los residuos sea mínima.

El procedimiento de minimización para estimar los parámetros se llama método de los mínimos cuadrados. Como resultado, este procedimiento genera una recta que minimiza la suma de los cuadrados de las desviaciones verticales de los puntos y la recta.

El coeficiente de determinación  $R^2$  es una medida de la calidad del ajuste. Está dado por la ecuación 8, siendo SSE la suma cuadrática de los errores, y SST, la suma total de los cuadrados corregidos. (Wilks, 2006, pág. 186)

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad [\text{Ec.08}]$$

#### Análisis de correlación.

El coeficiente de determinación es el cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson.

El análisis de correlación intenta medir la intensidad de las relaciones entre dos variables por medio de un solo número denominado coeficiente de correlación.

#### **Modelos ARMA y ARIMA.**

Según Reddy (2016), “*Dos series estocásticas estacionarias linealmente dependientes son las de media móvil (MA) y las autorregresivas (AR), y entre las series no estacionarias están las (series autorregresivas integradas de media móvil (ARIMA))*”.

#### Modelos Autoregresivos de medias móviles (ARMA).

Los modelos Autorregresivos, denotados por sus siglas en inglés (Auto Regressive) AR(p), generan el presente o futuro en función de lo que ha ocurrido en el pasado. El retardo es indicado por p. Un modelo AR (1) implica que el flujo en el periodo “i” es regresado a través del flujo en el periodo “i-1”. En un proceso de media móvil, denotado por sus siglas en inglés (Moving Average) MA(q), la q indica el orden. (García Gutiérrez, 2010)

Los modelos autorregresivos suponen una dependencia lineal entre las variables que intervienen en un proceso, el comportamiento de una variable depende de la ocurrencia de sucesos en el pasado. El argumento de estos procesos, denominado p, corresponde al número de periodos precedentes máximo que tiene influencia en el valor presente de la variable. Cadavid (2009)

### Autorregresión de primer orden.

Las variables atmosféricas son ejemplos de datos continuos. La estructura de correlación de esas series de tiempo puede ser representada usando una clase de modelo de serie de tiempo conocida como modelo de Box-Jenkins. El modelo más simple de Box-Jenkins es el modelo autorregresivo de primer orden, AR (1). Es el análogo de la cadena de Markov de primer orden para datos continuos.

Una forma de ver el modelo AR (1) es una regresión lineal simple, donde la variable dependiente  $x_{t+1}$ , es el valor de la serie de tiempo en el instante  $t+1$ , y la variable independiente es el valor actual de la serie de tiempo,  $x_t$ . El modelo AR(1) puede ser escrito como:

$$x_{t+1} - \mu = \phi (x_t - \mu) + \varepsilon_{t+1} \quad [\text{Ec.09}]$$

Donde:  $\mu$ = media de la serie de tiempo,  $\phi$ = parámetro autorregresivo y  $\varepsilon_{t+1}$  = cantidad aleatoria que corresponde al residual en una regresión ordinaria.

La autorregresión de primer orden, es a veces llamada proceso de Markov, o esquema de Markov porque comparte con la cadena de Markov de primer orden la propiedad que la historia completa de la serie de tiempo anterior a  $x_t$  no provee información adicional respecto a  $x_{t+1}$ , una vez que  $x_t$  es conocida. La influencia de la historia de la serie de tiempo en sus valores futuros está contenida en el valor actual  $x_t$ , independientemente del camino particular por el que la serie de tiempo llegó a  $x_t$ .

Para el modelo AR(1) ,  $r_1$  es igual a  $\phi$ , siendo  $r_1$  el coeficiente de autocorrelación de orden 1 y  $\phi$  es el parámetro autorregresivo.

$$\hat{\phi} = r_1 \quad [\text{Ec.10}]$$

El coeficiente de autocorrelación de orden  $k$  está dado por la siguiente ecuación:

$$r_k = \frac{\sum (x_t - \bar{x}_t)(x_t - \bar{x}_{t+k})}{\sqrt{[\sum (x_t - \bar{x}_t)^2][\sum (x_t - \bar{x}_{t+k})^2]}} \quad [\text{Ec.11}]$$

La ecuación 11 del Coeficiente de autocorrelacion de orden k se obtuvo del libro “Stochastic Hydrology” de Reddy, (2016), p.151.

Donde todas las sumas corren desde que  $t=1$  hasta  $t= (n-k)$

Para que el modelo resultante sea estacionario, se requiere que  $-1 < \phi < 1$ .

Valores negativos de  $\phi$  son posibles, pero corresponden a series de tiempo anti correlacionadas, con una tendencia de alternar valores por encima y debajo de la media.

Autorregresiones de mayor orden.

El modelo general autorregresivo de orden K, o el modelo AR (K) es:

$$x_{t+1} - \mu = \sum_{k=1}^K \phi_k (x_{t-k+1} - \mu) + \varepsilon_{t+1} \quad [\text{Ec.12}]$$

Wilks (2006) indica que una forma fácil de estimar los K parámetros autorregresivos  $\phi_k$  es utilizando el set de ecuaciones que los relaciona con la función de autocorrelación, conocidas como ecuaciones de Yule-Walker.

Se ven a continuación:

$$\left. \begin{aligned} r_1 &= \hat{\phi}_1 + \hat{\phi}_2 r_1 + \hat{\phi}_3 r_2 + \dots + \hat{\phi}_K r_{K-1} \\ r_2 &= \hat{\phi}_1 r_1 + \hat{\phi}_2 + \hat{\phi}_3 r_1 + \dots + \hat{\phi}_K r_{K-2} \\ r_3 &= \hat{\phi}_1 r_2 + \hat{\phi}_2 r_1 + \hat{\phi}_3 + \dots + \hat{\phi}_K r_{K-3} \\ &\vdots \\ r_K &= \hat{\phi}_1 r_{K-1} + \hat{\phi}_2 r_{K-2} + \hat{\phi}_3 r_{K-3} + \dots + \hat{\phi}_K \end{aligned} \right\} \quad [\text{Ec.13}]$$

Las restricciones para los parámetros autorregresivos necesarios para que la ecuación sea estacionaria están dados en Box y Jenkins (1994).

El modelo autorregresivo de orden 2.

Un modelo común e importante entre los modelos autorregresivos de mayor orden, es el de orden 2. El AR (2). La ecuación que define a los procesos AR(2) es:

$$x_{t+1} - \mu = \phi_1 (x_t - \mu) + \phi_2 (x_{t-1} - \mu) + \varepsilon_{t+1} \quad [\text{Ec.14}]$$

Con  $K=2$ , y de las ecuaciones de Yule-Walker (ecuación 13), se tienen:

$$\begin{aligned} r_1 &= \hat{\phi}_1 + \hat{\phi}_2 r_1 \\ r_2 &= \hat{\phi}_1 r_1 + \hat{\phi}_2 \end{aligned} \quad [\text{Ec.15}]$$

Los dos parámetros autorregresivos pueden ser estimados como:

$$\hat{\phi}_1 = \frac{r_1(1-r_2)}{1-r_1^2} \quad \hat{\phi}_2 = \frac{r_2-r_1^2}{1-r_1^2} \quad [\text{Ec.16}]$$

Despejando  $\phi_2$  de la Ecuación 15 (abajo) y reemplazando en la 15 (arriba) se obtiene la ecuación 16.a (izquierda) para  $\phi_1$ .

Wilks, (2006), pag.359, indica que “*para que un proceso AR (2) sea estacionario, sus dos parámetros tienen que satisfacer las siguientes condiciones*”:

$$\begin{aligned} \phi_1 + \phi_2 &< 1 \\ \phi_2 - \phi_1 &< 1 \\ -1 &< \phi_2 < 1 \end{aligned}$$

En cierto punto, expandir la complejidad del modelo, no mejorará apreciablemente su representación de los datos.

#### Modelos autorregresivos de media móvil. (ARMA)

El modelo general ARMA (K, M) tiene K términos autorregresivos, k parámetros autorregresivos  $\phi_k$  y M parámetros de media móvil  $\theta_m$ .

$$x_{t+1} - \mu = \sum_{k=1}^K \phi_k (x_{t-k+1} - \mu) + \varepsilon_{t+1} - \sum_{m=1}^M \theta_m \varepsilon_{t-m+1} \quad [\text{Ec.17}]$$

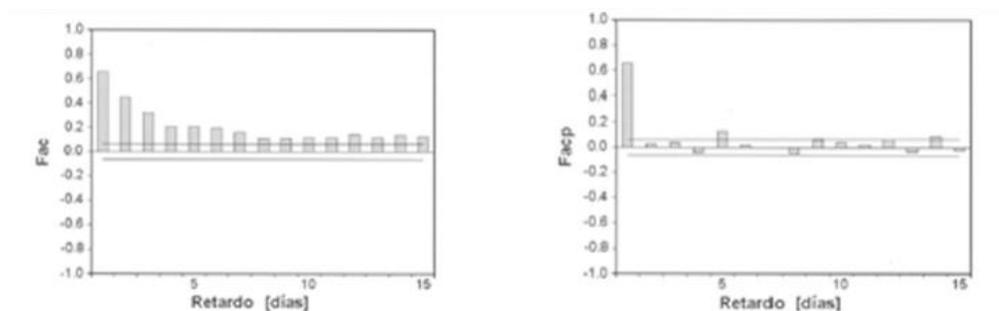
El proceso AR (K) en la ecuación 14 es un caso especial del modelo ARMA (K,M) en la ecuación 17, con todos los  $\theta_m=0$ . Así también, un proceso puramente de media móvil de orden M o un proceso MA (M), sería un caso especial de la ecuación 17, con todos los  $\phi_k=0$ .

#### Modelos Autoregresivos Integrados de medias móviles (ARIMA).

En la determinación de los órdenes p,d,q, y en control de calidad del ajuste de un modelo ARIMA, se utilizan las funciones de autocorrelación y autocorrelación parcial. (Chavasse.y.Seoane, 1997, pág. 58)

Los modelos ARIMA son modelos paramétricos que tratan de obtener la representación de la serie en términos de la interrelación temporal de sus elementos. El instrumento fundamental a la hora de analizar las propiedades de una serie temporal en términos de la interrelación temporal de sus observaciones es el *coeficiente de autocorrelación*, que mide la correlación, el grado de asociación lineal entre observaciones separadas  $k$  periodos. Este coeficiente no tiene unidades por definición, y toma valores  $-1 \leq \rho \leq 1$ . Si  $\rho = 0$  no existe relación lineal, si  $\rho=1$  la relación lineal es perfecta y positiva, y si  $\rho= - 1$  la relación lineal es perfecta y negativa. (Casimiro, 2009).

#### Ejemplo de determinación de órdenes del modelo ARIMA



**Figura. 12.** ACF y PACF para determinar órdenes del modelo ARIMA

Fuente: Chavasse, Diana y Seoane, p.59.

En la figura 12 podemos observar: A la derecha, función de autocorrelación de la serie de errores; a la izquierda, función de autocorrelación parcial de la serie de errores.

El análisis muestra autocorrelaciones con un decaimiento exponencial que indica que no es necesario diferenciar la serie original. Esta forma de decaimiento, y la presencia de un único valor de la función de autocorrelación parcial significativamente distinto de cero indica un modelo autorregresivo de orden 1, AR(1). (Chavasse.y.Seoane, 1997, pág. 59).

### **2.9. Intervalos de confianza.**

Para las predicciones en regresión y otros modelos lineales:

El “**Intervalo de predicción**” proporciona un rango de valores probables para una respuesta individual, y el “**Intervalo de confianza de la predicción**” proporciona un rango de valores probables para la respuesta media.

Ejemplo, para un modelo de regresión de número de visitas a un zoológico por día. El número de visitas varía considerablemente dependiendo de factores tales como el día de la semana, el mes del año, las condiciones del mercado y los factores económicos. Si el modelo se ajusta a los datos concluimos que es aceptable utilizar el modelo para predecir el número de visitantes por día para programar el número adecuado de agentes de servicio al cliente

Para la predicción de cada día, se especifican los valores para todos los predictores y se establece el nivel de confianza en 95%. El resultado es un intervalo de predicción de 95% de [200, 300]. Entonces, se puede estar 95% seguro de que este rango incluye el valor de la nueva observación. Además, el intervalo de confianza de 95% para la predicción es [230, 270], lo que me indica que se puede estar 95% seguro de que este rango incluirá la respuesta media para todos los días que sean idénticos a estos valores predictores.

El intervalo de predicción siempre es más amplio que el intervalo de confianza debido a la incertidumbre adicional que implica la predicción de una respuesta individual en comparación con la respuesta media. (Recuperado de: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/using-fitted-models/supporting-topics/prediction/confidence-intervals-for-prediction/>)

### Consideración:

Cuando se hacen previsiones con R, el resultado se produce en forma de una tabla con los siguientes contenidos:

Point:	corresponde a una fecha
Forecast:	el valor asociado a la previsión
Lo 80:	límite inferior para el nivel de confianza en 80%
Hi 80:	límite superior para el nivel de confianza en 80%
Lo 95:	límite inferior para el nivel de confianza en 95%
Hi 95:	límite superior para el nivel de confianza en 95%

```
> forecasting
 Point Forecast   Lo 80   Hi 80   Lo 95   Hi 95
 1      518.9997 489.6184 548.3810 473.9838 564.0155
 2      520.6653 491.2806 550.0500 475.6442 565.6864
 3      521.9145 492.5270 551.3020 476.8891 566.9399
 4      522.3309 492.9424 551.7194 477.3041 567.3578
 5      522.3309 492.9424 551.7194 477.3041 567.3578
```

**Figura. 13.** Ejemplo de resultado de previsión en R.

Fuente: R.

Para las previsiones, R establece el nivel confianza en 80% y 95%.

Para el caso en que R establece el nivel de confianza en 80%, el resultado es un intervalo de previsión: [Lo80, Hi80], y se puede estar 80% seguro que ese rango incluye el valor de la previsión (indicado en R como Forecast).

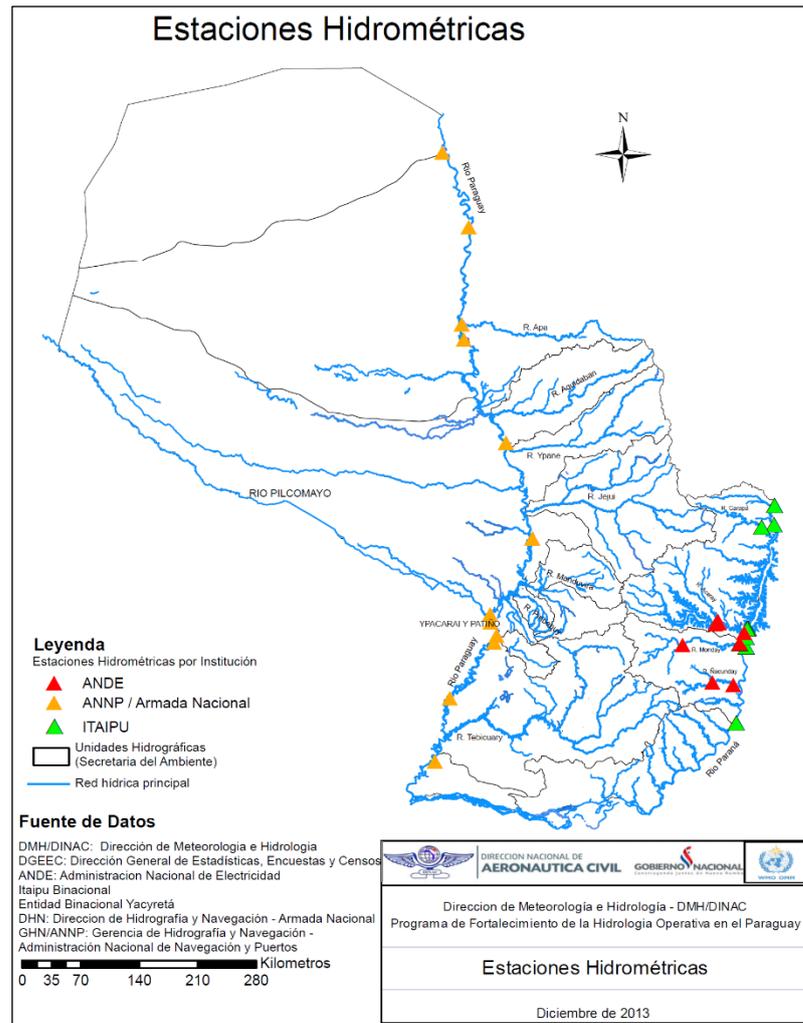
La misma explicación se da para el caso del nivel de confianza en 95%.

Para los casos analizados, los valores se fueron eligiendo entre "forecast", "Lo80", "Lo95", "Hi80" y "Hi95" de acuerdo a la tendencia observada y a la proximidad a los valores previos a la previsión.

### **3. CAPÍTULO III. BASE DE DATOS DEL RIO PARAGUAY.**

El primer objetivo específico del trabajo consistió en recopilar datos históricos de niveles hidrométricos del río Paraguay y realizar a éstos el análisis de calidad para organizar una base de datos.

Primeramente se identificó la red de estaciones hidrométricas disponibles en territorio paraguayo, las cuales se presentan a continuación.



**Figura. 14.** Red de estaciones hidrométricas en el Paraguay.

Fuente: 1er informe técnico de avances del proyecto: "Pronóstico de niveles y caudales del río Paraguay hasta 60, 90 días". Asunción. Apartado: sistematización de datos. pp.44.

Se consideró un alcance geográfico en el tramo central del río Paraguay, tomándose en cuenta las estaciones hidrométricas correspondientes a las ciudades de Asunción, Concepción, Bahía Negra y Pilar para la recopilar los datos de niveles y realizar a éstos el control de calidad. De las mismas ciudades se recopiló también datos precipitación. Para

Asunción la estación pluviométrica que se utilizó es la del Aeropuerto Silvio Pettirossi. Las previsiones se realizaron para Asunción. En la figura 15 se indican las estaciones hidrométricas de las ciudades del alcance geográfico considerado.



**Figura. 15.** Estaciones hidrométricas correspondientes al alcance geográfico.

Fuente: Lic. MSc. Julián Báez. 1er informe técnico de avances del proyecto: "Pronóstico de niveles y caudales del río Paraguay hasta 60, 90 días". Asunción. Apartado: Gestión de obtención de datos hidroclimáticos. pp.68

Las fuentes de datos de los niveles hidrométricos fueron la Administración Nacional de Navegación y Puertos (ANNP), la Armada de la República del Paraguay (ARP), la Dirección de Meteorología e Hidrología (DMH) de la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC) y la plataforma virtual "ysry". La DMH obtiene los datos de niveles de las estaciones (medidos con reglas hidrométricas) a cargo de la Administración Nacional de Navegación y Puertos (ANNP).

Los datos de precipitación recopilados corresponden a la red de estaciones meteorológicas de la Dirección de Meteorología e Hidrología (DMH) de la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC).

**Tabla 1.** Fecha de inicio y fin de los datos recopilados.

<u>Niveles del río Paraguay</u>				
<b>Fecha/Estación hidrométrica</b>	<i>Asunción</i>	<i>Concepción</i>	<i>Bahía Negra</i>	<i>Pilar</i>
Inicio del registro de los datos	01/01/1904	01/01/1911	01/01/1932	01/01/1932
Fin del registro de los datos	09/10/2018	09/10/2018	30/08/2018	30/08/2018
Cantidad de datos	41921	39364	31654	31654

<u>Precipitación</u>				
<b>Fecha/Estación</b>	<i>Asunción</i>	<i>Concepción</i>	<i>Bahía Negra</i>	<i>Pilar</i>
Inicio de los datos	01/10/1959	11/06/1959	01/01/1956	01/01/1958
Fin de los datos	31/12/2017	31/12/2017	25/04/2017	31/12/2017.

Fuente: elaboración propia.

Se tienen datos diarios por año de las estaciones que figuran en la tabla 1. Estos datos se encuentran disponibles en formato Excel, en el CTA (Centro de Tecnología Apropriadada de la Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción).

El control de calidad se realizó para los datos de niveles de las estaciones del alcance, desde enero del año 2000 hasta agosto 2018. El periodo anterior, hasta 1999, ya se había validado, en el marco de un proyecto de la FIUNA, denominado: “Zonificación de áreas inundables del río Paraguay”, aunque también se detectó un caso llamativo en este periodo, expuesto con más detalles en el capítulo siguiente.

Este control de calidad consistió en revisar la integridad de los datos, es decir, primeramente si había días, meses o años de datos faltantes. Luego, se realizó un control de cambios en los niveles de un día al siguiente, tanto para ascensos como descensos de nivel; es decir, se realizó la diferencia de niveles entre el día actual y el anterior, y si esa diferencia absoluta superaba los 20 cm se controlaba gráficamente, para lo cual se realizaron gráficos de niveles y precipitación (en simultáneo) vs fecha para ver si se trataba de un error, o si se era consecuencia de una precipitación puntual. En el apartado 2 del anexo, denominado “Datos” se encuentra un ejemplo de estos gráficos. Se realizó uno para cada año, desde el 2000 al 2017, para las estaciones de Asunción y Concepción.

Respecto a las fechas con datos faltantes, indicadas en la tabla 2, si correspondían, desde 1 día a 1 semana de datos faltante, fueron completados utilizando el promedio del día posterior y anterior. Meses o años completos faltantes no se completaron.

**Tabla 2.** Fechas con faltantes de datos de niveles del río Paraguay.

<b>Fechas de niveles faltantes</b>			
<b>Concepción</b>		<b>Pilar</b>	
enero	1912	del 6/09 al 27/09	1962
febrero	1912		
noviembre	1912	octubre	1999
		noviembre	1999
octubre	1914		
noviembre	1914	del 12/03 al 7/05	2000
diciembre	1914	del 1/08 al 19/09	2000
		del 6/10 al 23/10	2000
completo	1916	del 27/11 al 31/12	2000
completo	1999		
		del 1/01 al 2/03	2001
diciembre	2002	del 22/11 al 4/12	2010
enero	2003	diciembre	2011
		enero	2012
		febrero	2012

Fuente: elaboración propia.

#### Control de niveles, desde 2000 a agosto 2018.

Se compararon datos de distintas fuentes. En las tablas 3 a 12 se presentan las diferencias entre fuentes de datos que se encontraron a la hora del análisis de calidad. Al pasarse entre entidades, los datos se alteraron, y diferentes entidades presentaban diferentes datos.

Las fechas filtradas son las que presentaban una diferencia, en valor absoluto, mayor a los 5 cm. Los resaltados son los seleccionados para la base de datos, y por lo tanto, para las previsiones. La fuente de datos 1 corresponde a la plataforma “ysry” y la fuente de datos 2 es la ANNP.

#### Resultados:

Para Concepción se encontró 44 fechas con diferencias mayores a 5 cm entre fuentes de datos, de las cuales 19 son mayores o iguales a 10cm, en valor absoluto.

Para Bahía Negra, se encontró 56 diferencias mayores a 5 cm entre fuentes de datos, de las cuales 30 son mayores o iguales a 10 cm, en valor absoluto.

Para Pilar, se encontró 149 fechas con diferencias mayores a 5 cm entre fuentes de datos, de las cuales 109 son mayores o iguales a 10 cm, en valor absoluto.

Y para Asunción se encontró 57 diferencias mayores a 10 cm.

**Tabla 3.** Concepción, diferencias filtradas, 2000 a 2017.

Concepcion, diferencias filtradas 2000 a 2017.				
fecha	fuelle de de datos 1	fuelle de datos 2	difer.entre fuelle de datos 1 y 2	meteorologia.gov
09/01/2000	170	179	9	
16/03/2003	308	327	19	
17/03/2003	321	330	9	300
16/04/2004	307	301	-6	
08/05/2004	337	331	-6	
16/11/2004	361	367	6	
17/11/2004	409	421	12	
29/10/2005	226	236	10	
17/12/2005	357	347	-10	
12/07/2006	381	371	-10	
28/01/2007	368	350	-18	
10/03/2007	487	494	7	
11/03/2007	480	487	7	
05/01/2008	263	255	-8	
13/02/2010	298	398	100	
06/11/2010	140	146	6	
05/03/2011	432	439	7	
07/11/2011	297	287	-10	
12/11/2011	256	250	-6	
14/01/2012	172	155	-17	
20/01/2012	176	168	-8	
29/02/2012	205	212	7	
22/04/2012	420	440	20	
27/04/2012	452	457	5	
21/07/2012	355	365	10	
01/12/2012	194	201	7	
31/12/2012	154	146	-8	
14/01/2013	178	168	-10	
30/05/2013	377	367	-10	
17/11/2013	218	213	-5	
02/01/2014	234	240	6	
03/01/2014	280	294	14	
04/03/2014	203	208	5	
07/04/2014	310	318	8	
11/04/2014	369	400	31	
12/04/2014	388	409	21	
29/04/2014	354	360	6	
05/11/2014	500	492	-8	
28/02/2015	350	358	8	
21/04/2015	389	383	-6	
17/06/2015	447	440	-7	
07/01/2017	221	231	10	
17/01/2017	208	218	10	
01/12/2017	237	247	10	

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 4.** Bahía Negra, diferencias filtradas.

<b>Bahía Negra, diferencias filtradas, 2000 a 2017.</b>				
<b>fecha</b>	<b>fuelle de datos 1</b>	<b>fuelle de datos 2</b>	<b>difer.entre fuele de datos 1 y 2</b>	<b>meteorologia.g ov</b>
24/09/2001	77	90	13	77
21/12/2001	149	156	7	149
06/02/2002	294	284	-10	294
16/06/2003	445	455	10	445
30/10/2003	Sin datos	250		Sin datos
31/10/2003	Sin datos	246		Sin datos
04/10/2004	192	200	8	192
05/06/2005	276	265	-11	276
10/09/2005	124	110	-14	124
09/12/2006	253	264	11	253
10/12/2006	261	270	9	261
11/12/2006	270	279	9	270
12/12/2006	279	286	7	279
15/09/2007	281	265	-16	281
19/09/2007	233	225	-8	233
22/09/2007	210	246	36	210
28/09/2007	168	152	-16	168
06/10/2007	123	116	-7	123
28/06/2008	472	478	6	472
29/06/2008	472	478	6	472
13/12/2008	53	59	6	53
28/01/2011	86	92	6	86
01/03/2011	269	260	-9	269
05/03/2011	305	315	10	305
19/11/2011	115	126	11	115
28/03/2012	164	170	6	164
13/10/2012	120	103	-17	120
14/10/2012	110	102	-8	110
16/12/2012	63	73	10	63
17/12/2012	63	73	10	63
18/12/2012	63	73	10	63
19/12/2012	63	73	10	63
20/12/2012	63	73	10	63
21/12/2012	63	73	10	63
22/12/2012	63	73	10	63
23/12/2012	63	73	10	63

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 5.** Bahía Negra, diferencias filtradas parte 2.

<b>Bahía Negra, diferencias filtradas, 2000 a 2017.</b>				
fecha	fuente de datos 1	fuente de datos 2	difer.entre fuente de datos 1 y 2	meteorologia.g ov
24/12/2012	63	73	10	63
07/04/2013	187	197	10	187
16/12/2013	65	75	10	65
05/05/2014	325	315	-10	325
06/05/2014	342	325	-17	342
08/05/2014	362	356	-6	362
09/05/2014	367	361	-6	367
13/05/2014	376	386	10	376
25/05/2014	Sin datos	455		Sin datos
26/05/2014	Sin datos	456		Sin datos
12/11/2014	423	417	-6	423
19/11/2014	371	379	8	371
23/11/2014	378	372	-6	378
17/12/2014	290	284	-6	Sin datos
18/12/2014	290	276	-14	290
19/12/2014	280	270	-10	Sin datos
04/09/2015	412	418	6	412
15/11/2015	Sin datos	242		Sin datos
16/11/2015	Sin datos	234		Sin datos
11/01/2016	145	158	13	145
04/02/2016	310	317	7	Sin datos
06/02/2016	322	328	6	317
23/02/2016	385	392	7	385
13/12/2016	170	160	-10	170
19/12/2016	160	169	9	160
22/05/2017	331	337	6	331

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 6.** Pilar, diferencias filtradas, parte 1.

Pilar, diferencias filtradas 2000 a 2017.				
fecha	fuelle de de fuente de datos 1 datos 2		difer.entre fuente de datos 1 y 2	meteorologia.gov
31/07/2000	405	<i>sin datos</i>		405
06/10/2000	406	<i>sin datos</i>		406
07/10/2000	408	<i>sin datos</i>		408
08/10/2000	411	<i>sin datos</i>		411
09/10/2000	413	<i>sin datos</i>		413
10/10/2000	416	<i>sin datos</i>		416
11/10/2000	418	<i>sin datos</i>		418
12/10/2000	420	<i>sin datos</i>		420
13/10/2000	423	<i>sin datos</i>		423
14/10/2000	425	<i>sin datos</i>		425
15/10/2000	428	<i>sin datos</i>		428
16/10/2000	430	<i>sin datos</i>		430
17/10/2000	433	<i>sin datos</i>		433
18/10/2000	435	<i>sin datos</i>		435
19/10/2000	437	<i>sin datos</i>		437
20/10/2000	440	<i>sin datos</i>		440
21/10/2000	442	<i>sin datos</i>		442
22/10/2000	445	<i>sin datos</i>		445
23/10/2000	447	<i>sin datos</i>		447
26/11/2000	416	406	<b>-10</b>	406
01/03/2001	532	<i>sin datos</i>		532
02/03/2001	541	<i>sin datos</i>		541
19/05/2001	396	<i>sin datos</i>		396
20/05/2001	391	<i>sin datos</i>		391
21/05/2001	386	<i>sin datos</i>		386
12/07/2001	303	<i>sin datos</i>		303
15/07/2001	297	<i>sin datos</i>		297
16/07/2001	295	<i>sin datos</i>		295
20/07/2001	277	<i>sin datos</i>		277
14/10/2001	295	285	<b>-10</b>	295
27/12/2001	235	225	<b>-10</b>	235
05/02/2002	395	347	<b>-48</b>	447
06/02/2002	424	450	<b>26</b>	450
14/03/2002	499	493	<b>-6</b>	499
15/03/2002	493	486	<b>-7</b>	493
16/03/2002	486	476	<b>-10</b>	486
17/03/2002	476	466	<b>-10</b>	476
19/03/2002	464	455	<b>-9</b>	464
22/03/2002	456	447	<b>-9</b>	456
29/03/2002	446	455	<b>9</b>	446
11/07/2002	488	448	<b>-40</b>	488
01/08/2002	437	443	<b>6</b>	437
01/09/2002	392	398	<b>6</b>	392
16/11/2002	299	289	<b>-10</b>	299
27/05/2003	290	<i>sin datos</i>		290
19/11/2003	273	<i>sin datos</i>		273
14/09/2005	162	<i>sin datos</i>		162

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 7.** Pilar, diferencias filtradas, parte 2.

Pilar, diferencias filtradas 2000 a 2017.				
fecha	fuelle de de datos 1	fuelle de de datos 2	difer.entre fuelle de datos 1 y 2	meteorologia.gov
15/09/2005	162	<i>sin datos</i>		162
19/11/2006	527	517	-10	527
29/12/2006	444	<i>sin datos</i>		444
30/12/2006	447	<i>sin datos</i>		447
31/12/2006	454	<i>sin datos</i>		454
06/01/2007	466	475	9	466
13/01/2007	460	<i>sin datos</i>		460
18/10/2007	170	176	6	170
03/11/2007	223	<i>sin datos</i>		223
29/12/2007	351	<i>sin datos</i>		351
30/12/2007	343	333	-10	343
01/03/2008	471	<i>sin datos</i>		471
05/04/2008	504	<i>sin datos</i>		504
07/08/2008	393	383	-10	393
30/10/2008	395	385	-10	395
08/12/2008	278	<i>sin datos</i>		278
09/12/2008	256	<i>sin datos</i>		256
05/06/2009	351	341	-10	351
31/08/2009	380	389	9	380
14/02/2010	560	600	40	560
15/02/2010	570	590	20	550
28/03/2010	559	549	-10	559
29/03/2010	560	550	-10	560
30/03/2010	560	550	-10	560
31/03/2010	560	550	-10	560
07/10/2010	309	329	20	309
16/10/2010	368	378	10	368
22/11/2010	263	<i>sin datos</i>		263
23/11/2010	267	<i>sin datos</i>		267
24/11/2010	271	<i>sin datos</i>		271
25/11/2010	275	<i>sin datos</i>		275
26/11/2010	279	<i>sin datos</i>		279
27/11/2010	283	<i>sin datos</i>		283
28/11/2010	287	<i>sin datos</i>		287
29/11/2010	291	<i>sin datos</i>		291
30/11/2010	295	<i>sin datos</i>		295
01/12/2010	298	<i>sin datos</i>		298
02/12/2010	301	<i>sin datos</i>		301
03/12/2010	304	<i>sin datos</i>		304
04/12/2010	307	<i>sin datos</i>		307
26/12/2010	398	<i>sin datos</i>		398
02/01/2011	389	<i>sin datos</i>		389
27/01/2011	364	<i>sin datos</i>		364
27/02/2011	560	<i>sin datos</i>		535
28/02/2011	565	<i>sin datos</i>		565
10/05/2011	539	549	10	539
19/05/2011	526	536	10	526
20/05/2011	524	534	10	524

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 8.** Pilar, diferencias filtradas parte 3.

Pilar, diferencias filtradas 2000 a 2017.				
fecha	fuelle de de datos 1	fuelle de de datos 2	difer.entre fuelle de datos 1 y 2	meteorologia.gov
10/06/2011	474	465	-9	474
11/06/2011	475	465	-10	475
12/06/2011	475	465	-10	475
13/06/2011	476	462	-14	476
14/06/2011	473	460	-13	473
15/06/2011	469	459	-10	469
16/06/2011	469	458	-11	469
17/06/2011	474	462	-12	474
18/06/2011	473	465	-8	473
19/06/2011	477	467	-10	477
20/06/2011	479	468	-11	479
21/06/2011	482	469	-13	482
22/06/2011	481	470	-11	481
23/06/2011	482	469	-13	482
24/06/2011	482	468	-14	482
25/06/2011	485	470	-15	485
26/06/2011	487	472	-15	487
27/06/2011	488	475	-13	488
28/06/2011	489	478	-11	489
29/06/2011	490	477	-13	490
30/06/2011	491	478	-13	491
01/07/2011	491	478	-13	491
02/07/2011	492	478	-14	492
03/07/2011	495	479	-16	495
04/07/2011	495	480	-15	495
05/07/2011	499	486	-13	499
06/07/2011	500	487	-13	500
07/07/2011	500	488	-12	500
08/07/2011	501	489	-12	501
09/07/2011	501	493	-8	501
10/07/2011	504	497	-7	504
14/07/2011	512	506	-6	512
18/07/2011	530	506	-24	530
19/07/2011	<i>sin datos</i>	507		<i>sin datos</i>
20/07/2011	<i>sin datos</i>	505		<i>sin datos</i>
21/07/2011	<i>sin datos</i>	505		<i>sin datos</i>
22/07/2011	<i>sin datos</i>	508		<i>sin datos</i>
23/07/2011	<i>sin datos</i>	515		<i>sin datos</i>
24/07/2011	<i>sin datos</i>	524		<i>sin datos</i>
25/07/2011	<i>sin datos</i>	535		<i>sin datos</i>
26/07/2011	<i>sin datos</i>	540		<i>sin datos</i>
27/07/2011	<i>sin datos</i>	545		<i>sin datos</i>
28/07/2011	<i>sin datos</i>	548		<i>sin datos</i>
29/07/2011	<i>sin datos</i>	548		<i>sin datos</i>
30/07/2011	<i>sin datos</i>	548		<i>sin datos</i>
31/07/2011	<i>sin datos</i>	549		<i>sin datos</i>
01/08/2011	<i>sin datos</i>	550		<i>sin datos</i>
02/08/2011	<i>sin datos</i>	550		<i>sin datos</i>
03/08/2011	<i>sin datos</i>	551		<i>sin datos</i>
04/08/2011	<i>sin datos</i>	556		<i>sin datos</i>
05/08/2011	<i>sin datos</i>	565		<i>sin datos</i>
06/08/2011	<i>sin datos</i>	576		<i>sin datos</i>

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 9.** Pilar, diferencias filtradas parte 4.

Pilar, diferencias filtradas 2000 a 2017.				
fecha	fuer. de datos 1	fuer. de datos 2	difer. entre fuer. de datos 1 y 2	meteorologia.gov
07/08/2011	<i>sin datos</i>	585		<i>sin datos</i>
08/08/2011	<i>sin datos</i>	592		<i>sin datos</i>
09/08/2011	<i>sin datos</i>	599		<i>sin datos</i>
10/08/2011	<i>sin datos</i>	608		<i>sin datos</i>
11/08/2011	<i>sin datos</i>	610		<i>sin datos</i>
12/08/2011	<i>sin datos</i>	612		<i>sin datos</i>
13/08/2011	<i>sin datos</i>	613		<i>sin datos</i>
14/08/2011	<i>sin datos</i>	610		<i>sin datos</i>
15/08/2011	<i>sin datos</i>	610		<i>sin datos</i>
16/08/2011	<i>sin datos</i>	610		<i>sin datos</i>
17/08/2011	<i>sin datos</i>	604		<i>sin datos</i>
18/08/2011	<i>sin datos</i>	600		<i>sin datos</i>
19/08/2011	<i>sin datos</i>	602		<i>sin datos</i>
20/08/2011	<i>sin datos</i>	598		<i>sin datos</i>
21/08/2011	<i>sin datos</i>	595		<i>sin datos</i>
22/08/2011	<i>sin datos</i>	595		<i>sin datos</i>
23/08/2011	<i>sin datos</i>	597		<i>sin datos</i>
24/08/2011	<i>sin datos</i>	600		<i>sin datos</i>
25/08/2011	<i>sin datos</i>	600		<i>sin datos</i>
26/08/2011	<i>sin datos</i>	603		<i>sin datos</i>
27/08/2011	<i>sin datos</i>	605		<i>sin datos</i>
28/08/2011	<i>sin datos</i>	606		<i>sin datos</i>
29/08/2011	<i>sin datos</i>	606		<i>sin datos</i>
30/08/2011	<i>sin datos</i>	601		<i>sin datos</i>
31/08/2011	<i>sin datos</i>	601		<i>sin datos</i>
01/09/2011	610	596	<b>-14</b>	<i>sin datos</i>
02/09/2011	580	591	<b>11</b>	<i>sin datos</i>
03/09/2011	580	586	<b>6</b>	<i>sin datos</i>
08/09/2011	567	559	<b>-8</b>	<i>sin datos</i>
09/09/2011	568	556	<b>-12</b>	<i>sin datos</i>
10/09/2011	568	554	<b>-14</b>	<i>sin datos</i>
11/09/2011	567	552	<b>-15</b>	<i>sin datos</i>
12/09/2011	564	550	<b>-14</b>	<i>sin datos</i>
13/09/2011	562	548	<b>-14</b>	<i>sin datos</i>
14/09/2011	556	548	<b>-8</b>	<i>sin datos</i>
15/09/2011	556	550	<b>-6</b>	<i>sin datos</i>
16/09/2011	557	547	<b>-10</b>	<i>sin datos</i>
17/09/2011	556	544	<b>-12</b>	<i>sin datos</i>
18/09/2011	555	542	<b>-13</b>	<i>sin datos</i>
19/09/2011	552	540	<b>-12</b>	<i>sin datos</i>
20/09/2011	554	536	<b>-18</b>	<i>sin datos</i>
22/09/2011	541	530	<b>-11</b>	<i>sin datos</i>
23/09/2011	540	528	<b>-12</b>	<i>sin datos</i>
24/09/2011	539	525	<b>-14</b>	<i>sin datos</i>
25/09/2011	528	522	<b>-6</b>	<i>sin datos</i>
27/09/2011	520	514	<b>-6</b>	<i>sin datos</i>
02/10/2011	511	505	<b>-6</b>	<i>sin datos</i>
11/10/2011	520	511	<b>-9</b>	<i>sin datos</i>
12/10/2011	518	510	<b>-8</b>	<i>sin datos</i>
23/10/2011	565	551	<b>-14</b>	<i>sin datos</i>

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 10.** Pilar, diferencias filtradas parte 5.

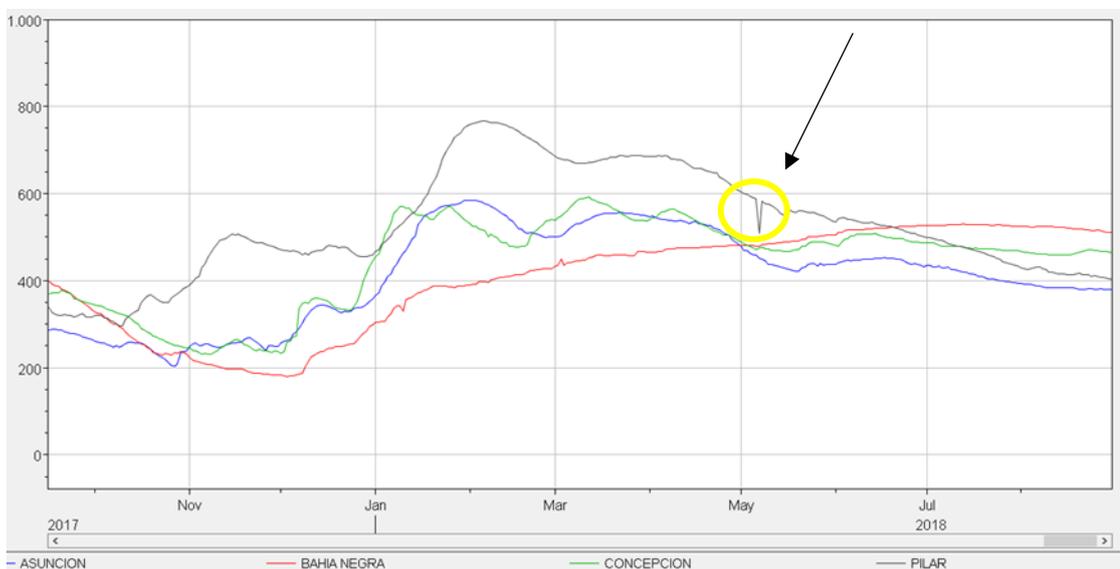
<b>Pilar, diferencias filtradas 2000 a 2017.</b>				
<b>fecha</b>	<b>fuer. de datos 1</b>	<b>fuer. de datos 2</b>	<b>difer.entre fuer. de datos 1 y 2</b>	<b>meteorologia.gov</b>
24/10/2011	568	552	<b>-16</b>	<i>sin datos</i>
25/10/2011	568	554	<b>-14</b>	<i>sin datos</i>
26/10/2011	565	552	<b>-13</b>	<i>sin datos</i>
28/10/2011	549	542	<b>-7</b>	<i>sin datos</i>
29/10/2011	549	537	<b>-12</b>	<i>sin datos</i>
30/10/2011	539	531	<b>-8</b>	<i>sin datos</i>
03/11/2011	530	523	<b>-7</b>	<i>sin datos</i>
04/11/2011	530	522	<b>-8</b>	<i>sin datos</i>
05/11/2011	530	519	<b>-11</b>	<i>sin datos</i>
06/11/2011	525	515	<b>-10</b>	<i>sin datos</i>
07/11/2011	521	510	<b>-11</b>	<i>sin datos</i>
08/11/2011	510	503	<b>-7</b>	<i>sin datos</i>
10/11/2011	490	498	<b>8</b>	<i>sin datos</i>
12/11/2011	472	466	<b>-6</b>	<i>sin datos</i>
13/11/2011	465	455	<b>-10</b>	<i>sin datos</i>
14/11/2011	460	449	<b>-11</b>	<i>sin datos</i>
15/11/2011	458	440	<b>-18</b>	<i>sin datos</i>
16/11/2011	455	435	<b>-20</b>	<i>sin datos</i>
17/11/2011	450	430	<b>-20</b>	<i>sin datos</i>
18/11/2011	446	425	<b>-21</b>	<i>sin datos</i>
19/11/2011	436	422	<b>-14</b>	<i>sin datos</i>
20/11/2011	430	420	<b>-10</b>	<i>sin datos</i>
21/11/2011	430	419	<b>-11</b>	<i>sin datos</i>
22/11/2011	437	426	<b>-11</b>	<i>sin datos</i>
23/11/2011	440	434	<b>-6</b>	<i>sin datos</i>
24/11/2011	448	438	<b>-10</b>	<i>sin datos</i>
25/11/2011	450	439	<b>-11</b>	<i>sin datos</i>
26/11/2011	450	438	<b>-12</b>	<i>sin datos</i>
27/11/2011	449	435	<b>-14</b>	<i>sin datos</i>
28/11/2011	444	433	<b>-11</b>	<i>sin datos</i>
29/11/2011	440	430	<b>-10</b>	<i>sin datos</i>
30/11/2011	440	425	<b>-15</b>	<i>sin datos</i>
01/12/2011	430	418	<b>-12</b>	<i>sin datos</i>
02/12/2011	420	410	<b>-10</b>	<i>sin datos</i>
03/12/2011	415	400	<b>-15</b>	<i>sin datos</i>
04/12/2011	415	<i>sin datos</i>		<i>sin datos</i>
05/12/2011	405	<i>sin datos</i>		<i>sin datos</i>
06/12/2011	395	375	<b>-20</b>	<i>sin datos</i>

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 11.** Pilar, diferencias filtradas. Parte 6.

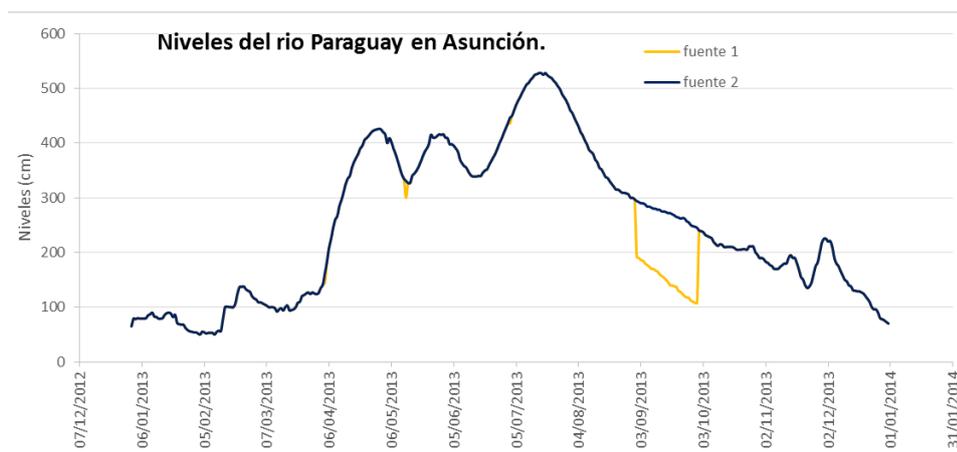
Pilar, diferencias filtradas 2000 a 2017.				
fecha	fuelle de de fuente de	datos 1 datos 2	difer.entre	meteorologia.gov
			fuelle de	
			datos 1 y 2	
31/03/2012	360	370	10	sin datos
01/04/2012	368	378	10	sin datos
14/05/2012	560	566	6	sin datos
31/07/2012	490	510	20	sin datos
18/08/2012	sin datos	408		sin datos
19/08/2012	sin datos	401		sin datos
20/08/2012	sin datos	391		sin datos
21/08/2012	sin datos	381		sin datos
22/08/2012	sin datos	375		sin datos
23/08/2012	346	370	24	sin datos
16/11/2012	310	302	-8	sin datos
24/12/2012	296	290	-6	sin datos
31/12/2012	258	252	-6	sin datos
05/04/2013	336	346	10	sin datos
24/12/2013	308	290	-18	sin datos
20/01/2014	420	520	100	sin datos
19/01/2015	457	467	10	457
12/09/2015	472	479	7	472
08/12/2016	397	380	-17	380
30/12/2016	584	594	10	594
05/01/2017	488	470	-18	470
15/02/2017	341	348	7	341
30/04/2017	610	600	-10	sin datos

**Fuente:** elaboración propia.



**Gráfico 1.** Ejemplo de posible error de tipeo. Pilar 5/05/2018.

Fuente: elaboración propia con DSS.



**Gráfico 2.** Ejemplo de error encontrado en la serie de Asunción.

Fuente: elaboración propia.

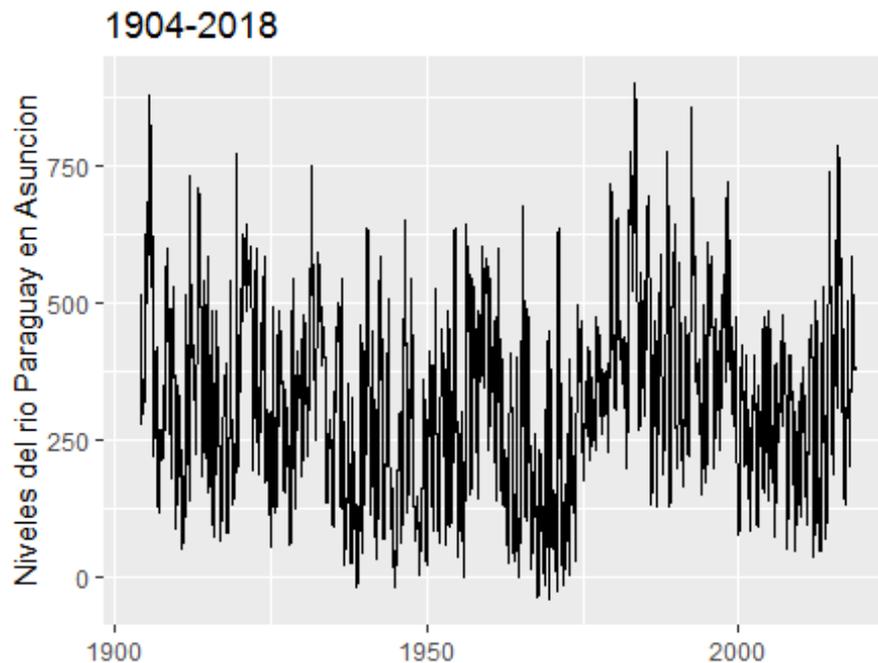
**Tabla 12.** Diferencias en Asunción.

Estación: ASUNCIÓN				Estación: ASUNCIÓN			
Día	fuentes 1	fuentes 2	diferencia	Día	fuentes 1	fuentes 2	diferencia
24/10/2005	115	132	-17	24/09/2013	120	262	-142
10/11/2007	110	92	18	25/09/2013	118	257	-139
14/11/2011	234	253	-19	26/09/2013	117	255	-138
23/12/2011	82	66	16	27/09/2013	112	250	-138
30/11/2012	140	116	24	28/09/2013	110	248	-138
04/04/2013	145	162	-17	29/09/2013	108	247	-139
13/05/2013	300	331	-31	30/09/2013	108	245	-137
01/09/2013	192	294	-102	24/07/2016	400	383	17
02/09/2013	190	292	-102	12/11/2016	208	228	-20
03/09/2013	186	290	-104	09/12/2016	163	184	-21
04/09/2013	185	290	-105	10/12/2016	184	230	-46
05/09/2013	180	288	-108	11/12/2016	230	265	-35
06/09/2013	177	284	-107	12/12/2016	265	294	-29
07/09/2013	174	284	-110	13/12/2016	294	333	-39
08/09/2013	170	282	-112	14/12/2016	333	360	-27
09/09/2013	170	280	-110	15/12/2016	360	378	-18
10/09/2013	167	280	-113	16/12/2016	378	396	-18
11/09/2013	165	278	-113	26/12/2016	448	430	18
12/09/2013	160	278	-118	27/12/2016	430	410	20
13/09/2013	157	275	-118	29/12/2016	399	378	21
14/09/2013	154	275	-121	30/12/2016	378	348	30
15/09/2013	150	274	-124	04/01/2017	240	260	-20
16/09/2013	146	272	-126	20/04/2017	212	228	-16
17/09/2013	140	272	-132	04/05/2017	320	340	-20
18/09/2013	140	270	-130	14/05/2017	400	415	-15
19/09/2013	138	268	-130	04/07/2017	461	446	15
20/09/2013	137	265	-128	28/10/2017	209	235	-26
21/09/2013	130	264	-134				
22/09/2013	128	262	-134				
23/09/2013	124	263	-139				

Fuente: elaboración propia.

## **4. CAPITULO IV.: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA SERIE TEMPORAL DE NIVELES DE ASUNCIÓN.**

La serie a ser analizada es la de niveles hidrométricos del río Paraguay en Asunción. Esta serie univariante fue entrada de los modelos presentados, excepto el caso en que se correlacionó los niveles de Asunción con los de una estación aguas arriba, Concepción.



**Gráfico 3.** Serie histórica (1904 a agosto-2018) de niveles hidrométricos del río Paraguay en Asunción.

Fuente: elaboración propia.

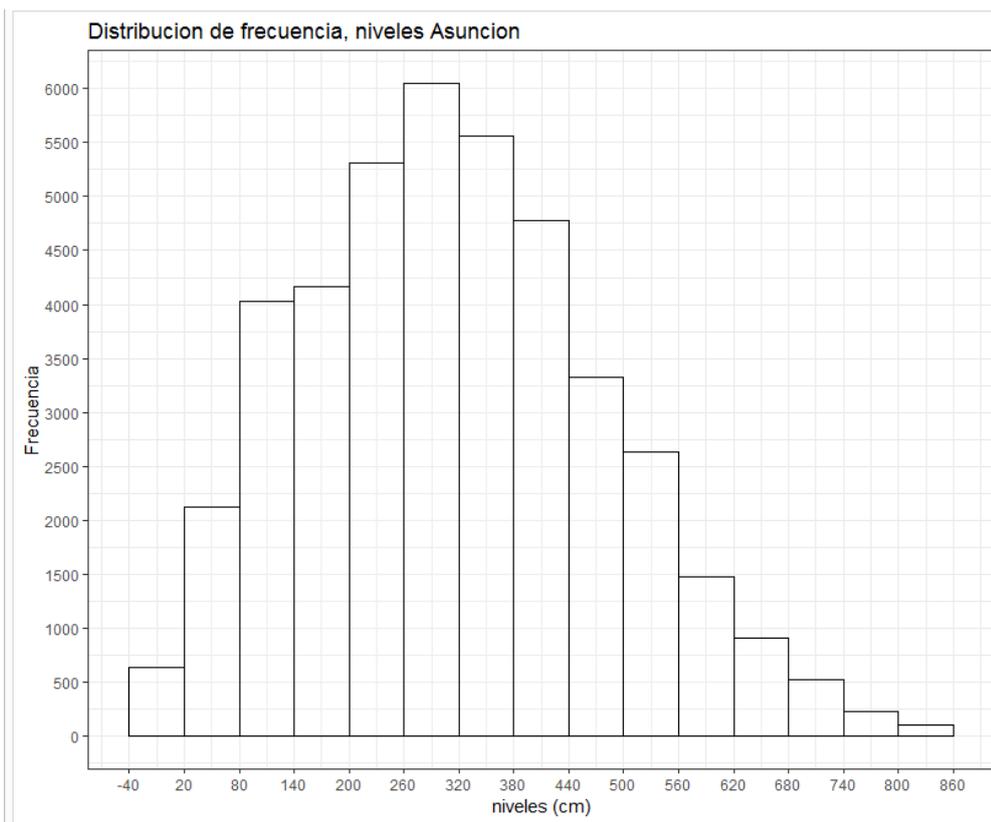
En el apartado 5 del anexo se encuentra el gráfico de la serie histórica ampliado.

A continuación se presenta la distribución de frecuencia de niveles del río Paraguay en Asunción. Se observa que gráficamente se aproxima a una normal.

**Tabla 13.** Distribución de frecuencias de niveles del río Paraguay en Asunción.

n° intervalos de clase	niveles	Freq
1	(-40,9,22.7]	663
2	(22.7,85.5]	2336
3	(85.5,148]	4362
4	(148,211]	4429
5	(211,274]	5670
6	(274,336]	6400
7	(336,399]	5441
8	(399,462]	4681
9	(462,525]	3005
10	(525,587]	2479
11	(587,650]	1228
12	(650,713]	643
13	(713,776]	382
14	(776,838]	97
15	(838,902]	115

Fuente: elaboración propia.



**Gráfico 4.** Distribución de frecuencias de niveles del río Paraguay en Asunción.

Fuente: elaboración propia.

Para la descomposición de la serie temporal se necesitó primero identificar el tipo de modelo, aditivo o multiplicativo.

Si la desviación estándar se incrementa a medida que se incrementa la media, entonces se tiene un modelo multiplicativo, caso contrario se tiene uno aditivo.

Se observó la media y la desviación estándar en diferentes momentos de la serie. A continuación ejemplos.

**Tabla 14.** Media y desviación típica para diferentes épocas, de niveles en Asunción.

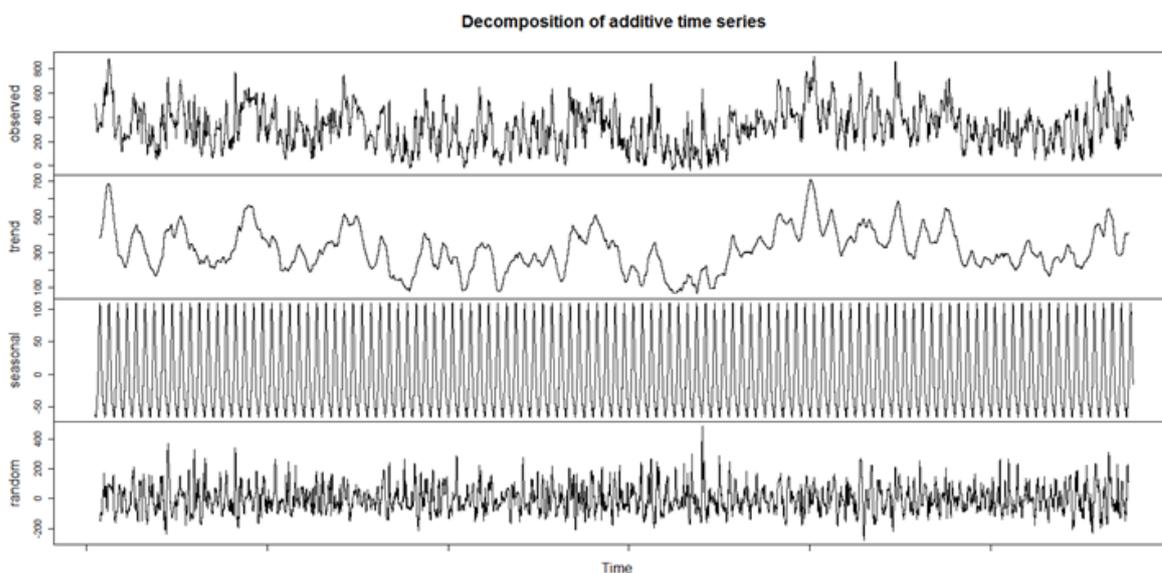
fecha	media	desv. estándar	fecha	media	desv. estándar
01/10/2009	155.03	17.63	01/10/2017	241.55	16.85
01/11/2009	169.23	21.34	01/11/2017	253.87	6.64
01/12/2009	180.06	45.25	01/12/2017	324.39	28.47
01/01/2010	286.58	44.16	01/01/2018	512.94	69.57
01/02/2010	299.07	34.25	01/02/2018	536.54	31.92
01/03/2010	364.06	10.75	01/03/2018	541.52	16.96

Fuente: elaboración propia.

Se puede ver en la tabla 11 que no se cumple que la desviación típica se incremente siempre que la media se incremente. Por lo tanto se tomó un modelo aditivo para la descomposición.

### **Descomposición de la serie de Asunción, periodo 1904-2018.**

Primero se tiene la serie sin descomponer, luego la tendencia, la estacionalidad y el componente aleatorio.

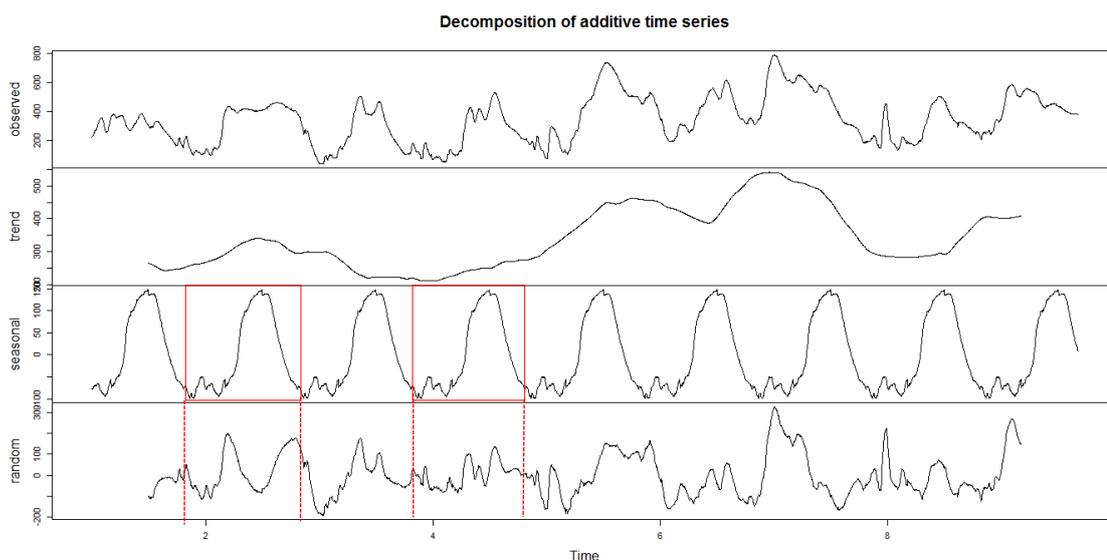


**Gráfico 5.** Descomposición de la serie histórica de niveles de Asunción. (1904-2018).

Fuente: elaboración propia.

Se descompuso un periodo más corto para apreciar mejor el componte estacional.

### **Descomposición de la serie de Asunción, periodo 2010-2018.**



**Gráfico 6.** Descomposición de la serie de niveles de Asunción, periodo 2010-2018.

Fuente: elaboración propia.

La serie no tiene una tendencia únicamente creciente o decreciente.

Se observa en el gráfico 6 que los patrones se repiten anualmente.

El movimiento de la serie se completa dentro de la duración de un año y se repite a si mismo año tras año, con una estacionalidad de 6 meses: generalmente se tiene una forma campana para la serie de niveles, 6 meses tiende a subir hasta alcanzar su pico en junio, julio y luego tiende a bajar. Pero esto ha ido cambiando a los largo de estos últimos años. En el apartado 4 del anexo se presentan hidrogramas que lo confirman.

Respecto a la componente cíclica, se identificaron periodos de "aguas bajas", como el periodo desde el año 1962 al año 1973, que se repitió similarmente desde 2000 a 2014, y periodos de "aguas altas", ejemplo de año 1979 al año 1998 que podría estar repitiéndose desde el 2015.

**Análisis de media de la serie.**

**Tabla 15.** Análisis de la media de la serie de niveles de Asunción.

	desde	hasta	media
serie histórica	01-ene 1904	31-ago 2018	315.86
dividiendo en 2 la serie	01-ene 1904	31-dic 1957	263.92
	01-ene 1958	31-ago 2018	237.18
periodos de 25 años	01-ene 1904	31-dic 1929	340.8
	01-ene 1929	31-dic 1954	272.26
	01-ene 1954	31-dic 1979	267.82
	01-ene 1979	31-dic 2004	396.92
	01-ene		
periodos de 10 años	01-ene 1904	31-dic 1914	375.86
	01-ene 1914	31-dic 1924	337.41
	01-ene 1924	31-dic 1934	314.96
	01-ene 1934	31-dic 1944	232.27
	01-ene 1944	31-dic 1954	235.49
	01-ene 1954	31-dic 1964	297.88
	01-ene 1964	31-dic 1974	182.69
	01-ene 1974	31-dic 1984	419.91
	01-ene 1984	31-dic 1994	398.91
	01-ene 1994	31-dic 2004	331.82
	01-ene 2004	31-dic 2014	280.09
	01-ene 1990	31-dic 2001	369.16
	01-ene 2001	31-dic 2011	266.55
	01-ene 2010	31-dic 2018	344.43
periodos varios.	01-ene 1938	31-dic 1955	237.18
	01-ene 1962	31-dic 1973	164.82
	01-ene 1979	31-dic 1998	435.55
	01-ene 1999	31-dic 2013	263.92
	01-ene 2014	31-ago 2018	409.42

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 16.** Clasificación en aguas altas y bajas del periodo 1974-91.

1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
medias	bajas	bajas	bajas	bajas	altas	altas	medias	altas
1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
altas	medias	altas	bajas	equilibrado	equilibrado	altas	equilibrado	bajas

Fuente: elaboración propia en base al anuario hidrográfico, Gerencia de Navegación e Hidrografía, ANNP.

La media del periodo de enero del año 1904 a octubre del año 2018 es 315,86 cm.

Analizando las medias se identificó un periodo de aguas bajas desde el año 1962 hasta el año 1973, con una media de 164,8 cm; y un periodo de aguas altas del año 1979 al año 1998, con una media de 435,5 cm.

Para Ladario (puerto del río Paraguay en Brasil), Clarke (2003) identifica el periodo de 1960-70 con una fuerte tendencia negativa, lo que podemos relacionarlo con el periodo recién identificado de 1962-1973 como aguas bajas para el río Paraguay en Asunción; e identifica que de 1970 al 80 Ladario presenta una fuerte tendencia positiva, lo que podemos relacionarlo con el periodo identificado de 1979-98 como aguas altas para Asunción.

*"El periodo de 1960-70 se destaca como un periodo anormalmente seco en todo el Pantanal"* (Daniel Allasia, tesis de doctorado "Validación de la previsión hidroclimática en Alto Paraguay", Universidad Federal de Rio Grande del Sur, 2007.)

A continuación se presentan las medias mensuales de niveles del río Paraguay en Asunción. Resaltados en celeste se tienen valores inferiores a 2 m y en rosado, valores superiores a 7 m.

**Tabla 17.** Medias mensuales de niveles en Asunción. Periodo: 1904 a 1950.

años	ene ro	febre ro	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre	diciembre
1904	448.39	367.97	289.52	300.67	315.61	351.7	351.1	350.55	340.9	419.39	493.23	574.35
1905	571.77	596.71	659.35	601.93	780.16	873.7	852.61	792.39	703.53	630.87	576.6	579.55
1906	383	250	239.42	273.27	310.58	363.97	405.19	408.61	361.63	251.87	141.3	146.1
1907	212.71	209.82	243	222.13	224.84	232.9	250	239.94	233.2	253.19	308.27	318.16
1908	441.32	495.1	571.58	510.27	440	523.6	464.65	361.9	282.8	388.61	475.27	462.97
1909	392.97	241.21	387.94	485.33	487.71	425.5	313.03	203.19	121.8	126.26	236	260.81
1910	198.58	178.57	277.13	234.2	299.97	243.2	181.84	109.1	94	78.52	142.73	126.19
1911	94.9	131.21	337.84	383.9	406.77	442.4	348.68	302.94	226.53	228.9	326.97	651.94
1912	687.13	527.62	485.87	415.27	432.03	416.4	384.42	364.1	334.73	360.68	280.8	344.19
1913	351.03	442.71	486.65	585.3	692.45	653.2	596.52	545.13	501.93	444.81	401.17	227
1914	254.61	252.21	343.71	515.13	507.61	345.93	316.58	278.77	216.3	199.81	411.97	508.61
1915	233.55	244.25	244.29	352.03	354.94	429.73	205.84	119.19	88.47	109.19	173.63	265.87
1916	254.29	414.79	291.48	260.1	303.94	397.5	362.19	275.65	208.07	124.06	81.43	82.71
1917	112.94	145.86	243.97	284.13	345.45	310	310.13	308.45	300.33	358	200.83	98.65
1918	97.81	140.86	185.29	247.5	361.39	514.97	444.68	288.19	192.03	159.39	164	187.13
1919	183.84	174.64	233.97	213.5	487.58	752.5	578.81	338.35	250.93	221.61	305.4	426.52
1920	453.77	493.41	496.94	478.3	494.81	538.13	614.1	592.35	554.8	539.48	592.37	616.55
1921	503.74	552.21	533.61	559.83	553.74	558.63	568.74	542.42	515.47	577.1	477.93	248.74
1922	208.42	335.5	385.48	320.5	448.1	529.73	543.48	545.16	427.77	276.32	287.07	246.65
1923	224.39	315.82	279.45	307.13	380.87	415.03	447.97	396.1	386.53	450.52	574.47	469.19
1924	275.26	187.34	194.68	256.67	275.97	296.3	273.87	218.65	178.43	125.19	97.5	70.35
1925	184.52	220.04	146.06	254.5	461.55	304.73	195.77	155.84	135.23	155.84	194.6	170.06
1926	229.06	411.04	286.94	294.57	412.87	430.5	370.77	363.58	360.77	346.61	314.07	268.06
1927	183.65	227.93	165.58	206.23	319.03	292.57	289.61	254.35	225.2	142.29	92.4	84.97
1928	143.61	84.03	142.68	285.13	443.13	519.8	353.74	226.87	216.03	300	221.93	139.1
1929	288.45	346.93	367.29	350.43	342.06	338.33	339.39	337.16	373.27	417.77	365.6	254.42
1930	358.84	444.25	361.26	288.73	348.39	438.93	365.71	331.61	304.27	275.23	256.37	298.71
1931	423.65	339.32	389.81	468.03	676.52	733.5	635	535.61	484.13	513.61	543.33	405.97
1932	312.94	266.86	321.68	408	482.35	565.07	582.16	562.03	521.1	541.23	498.9	442.87
1933	441.84	479.79	477.74	437.53	443.9	441.73	421.35	393.39	352.1	287.65	178.23	167.29
1934	223.06	229.18	218.87	243.2	273.77	250.8	251.39	239.13	205	155.55	113.67	125.45
1935	184.55	258.25	313.55	308.1	312.26	391.33	440.48	464.55	449.57	461.87	490.07	448.55
1936	360	177.14	134.42	144.77	197.29	414.23	303.84	184.19	99	42.87	65.87	72.06
1937	100.65	111.39	151.03	205.57	276.71	291.9	190.71	144.32	92.97	48.71	36.17	65.55
1938	52.06	252.61	123.19	173.07	138.1	159.97	120.03	63.03	4.47	-6.97	-0.77	68.29
1939	76.06	75.43	163.87	365.43	372.29	418.77	242.13	128.1	77.2	120.65	262.07	391.19
1940	275.39	240.17	372.68	385.5	503.97	619.53	513.29	520.55	431.03	331	268.33	183.71
1941	136.19	255.75	304.94	421.57	365.55	285.8	216.06	154.9	90.57	78.1	135.57	281.97
1942	166.55	126.11	200.48	340.83	512.77	567.63	496.61	400.19	368.17	416.65	342.2	184.45
1943	80.48	100.71	159.42	172.53	205.13	330.67	362.23	307.65	281.07	284.42	427.97	447.03
1944	188.58	104.03	149.19	184.77	155.48	149.9	120.65	64.77	2.8	-8.03	23.87	32.87
1945	36.16	130	143.77	180.07	216.48	249.43	284.74	294.13	298.13	277.29	169.27	84.77
1946	129.39	162.54	247.87	422.9	528.68	592.33	520.55	471.23	295.37	268.16	227.57	185.32
1947	215.97	252.18	230.06	285.77	427.94	524.1	510.03	422.84	402.67	386.58	262.1	120.68
1948	75.26	111.41	101.77	122.63	125.26	114	106.23	69.68	23.67	14.58	66.27	54
1949	76.9	94.39	140.32	201.67	298.26	331.87	337.74	308.19	247.5	93.71	37.83	111.26
1950	264.13	223.96	246.13	370.37	340.26	394.87	388.55	331.13	308.7	256.65	126.33	154.52

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 18.** Medias mensuales de niveles en Asunción. Periodo: 1951 a 1999.

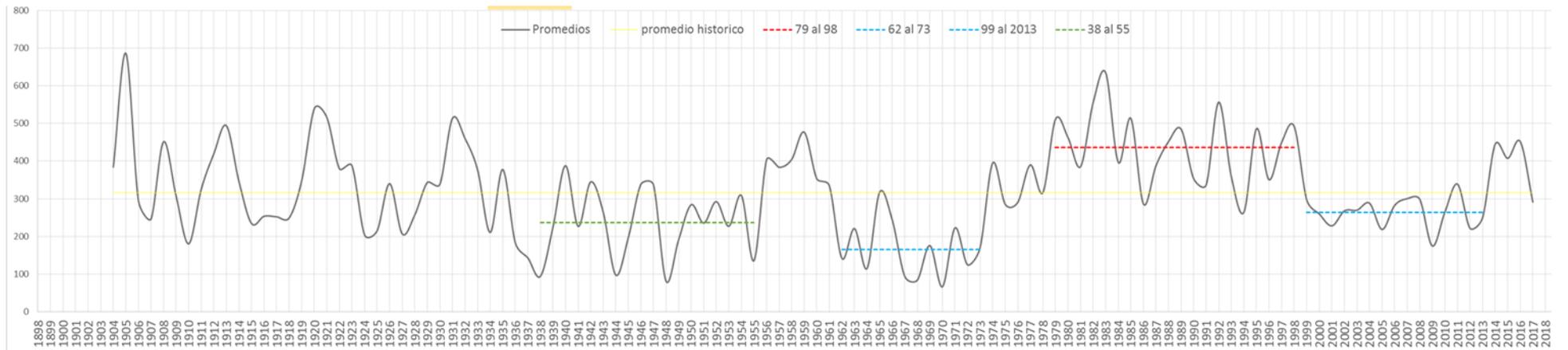
años	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre	diciembre
1951	120.48	229.14	419.97	486.77	330.13	287.97	253.84	222.77	181.93	117.84	78.83	98.48
1952	96	222.28	346.74	384.27	375.06	437.63	361.1	303.35	264.27	231	330.2	160.03
1953	80.32	122.79	112.13	212.57	399.87	466.93	338.94	196.48	116.23	136.65	305.03	233.32
1954	223	253.14	274.84	272.17	454.87	607.07	504.87	359.68	284.8	258.42	155	52.13
1955	52.03	84.86	113	227.57	211.42	248.3	279.58	174.06	134.8	49.03	41	12.48
1956	84.39	216.66	170.65	419.37	621.71	568.43	483.23	539.26	476.37	455.68	523.9	268.77
1957	160.74	344	516.68	361.6	459.19	514	432.81	391.1	424.17	397.65	258.23	336.58
1958	290.94	182.93	282.13	406.63	463.48	406.63	364.84	381.06	391.27	573.45	553.37	537.97
1959	523.16	451.46	375.26	437.8	523.29	530.6	534.74	557.35	522.6	454.06	332.67	470.61
1960	388.06	318.28	328.45	331.37	378.87	404.4	365.65	342.81	337.33	335.71	429.43	276.94
1961	191.81	152.46	281.9	445.2	576.39	553.7	459.81	322.71	263.33	205.9	232.93	313.13
1962	200.45	157.14	191.32	145.4	200.84	194.4	151.39	117.16	78.1	150.16	79.23	38.81
1963	95.87	186.32	235.52	337.97	351.55	384.63	349.23	272.68	208.2	98.42	66.4	63.52
1964	39.03	69.66	129.48	293.1	355.94	184.8	64.68	17.71	19.93	44.39	57.17	106.94
1965	238.16	289.43	403.61	296.7	516.16	642.47	463.84	250.58	156.83	155.16	202.27	188.45
1966	438.52	373.5	429.68	455.97	371.9	271	206.97	121.35	61.5	48.29	101.8	66.97
1967	122.35	152.36	241.23	224.13	148.94	115.6	110.61	61.42	-1.3	-29.9	-16.1	4.74
1968	54.97	215.97	140.9	97.77	133.03	123.43	91.68	67.71	26.33	36.97	6.77	19.42
1969	227.55	103.75	64.68	166.47	280.35	408.2	187.61	35.03	-23.5	127.74	265.43	264.87
1970	83.58	62.39	79.61	124.7	88.74	105	124.58	71.61	26.27	40.61	-8.2	-0.48
1971	397.77	427.14	312.81	425.6	372.71	229.97	144.42	126.48	36.8	74.71	63.07	74.97
1972	23.35	60.34	85.35	125.77	157.71	222.07	137.84	85.39	103.6	35.65	106.83	349.58
1973	276.81	187.5	174.55	148.4	209.87	211.17	182.81	133.32	84.07	64.74	122.53	248.03
1974	402.29	475.96	415.52	384.03	383.13	432.6	414.39	438.35	455	384.55	301.7	255.68
1975	234.29	192.68	182.74	259.47	338.84	289.2	333	302.06	310.97	299.03	294.23	379.32
1976	281.55	293.14	233.77	272.63	277.32	351.73	306.35	304.81	306.27	308.87	301.1	250.77
1977	389.39	439.36	365.55	362.8	383.74	409.2	450	432.16	412.23	375.29	316.4	343.68
1978	267.97	270.79	291.81	303.77	319.77	348.87	370.58	366	345.67	312.29	323.7	274.23
1979	288.39	332.25	377.19	424.17	584.13	710.1	700	666.68	642.9	547.29	417.2	426.45
1980	335.48	348.03	309.06	320.6	412.16	607.7	649.9	631.26	565.07	487.39	418.4	451.1
1981	416.87	413.5	416.32	378.03	413.81	427.23	435.77	418.55	391.07	331	242.27	337.55
1982	344.61	232.68	371.77	491.37	476.39	629.2	758.71	756	683.1	640.68	572.1	676.55
1983	688.16	633.79	662.03	713.83	815.97	860.33	735.13	658.74	550.5	482.61	403.47	404.42
1984	321.97	314.28	292.39	432.4	540.42	486.7	431.81	393.35	362.7	325.42	380.63	467.97
1985	522.77	442.61	453.1	562.3	640.74	682.47	634.94	634.68	566.6	466.52	344.17	200.26
1986	158.9	238.75	292.68	316.23	388.32	439.5	357.26	314.55	272.57	229.55	153.7	270.42
1987	331.84	372.79	403.94	408.8	538.29	569.27	475.16	417.29	345.37	259.03	281.33	246.94
1988	276.52	259.83	279.81	364.87	529.87	707.23	769.35	718.58	610.87	466.45	269.57	152.87
1989	244.48	392.04	464.48	489.07	512.68	522.07	579.97	584.81	626.17	612.68	490.2	293.71
1990	229.42	236.93	223.87	293.83	443.42	549.97	504.23	431.52	424.37	352.06	329.23	215.42
1991	179.03	198.64	244.68	296.47	377.16	437.33	461.9	432.9	399	411.32	273.37	322.06
1992	335.52	251.97	363.48	501.43	749.16	819.67	672.55	577.77	567.47	655.81	628.93	532.16
1993	464.68	437.11	375.19	347.3	372.03	375.47	376.68	363.03	331.27	317.45	318.53	227.06
1994	172.87	192.39	225.35	234.6	266.52	463.3	418.45	305.61	241.97	198	223.17	225.9
1995	374.1	595.71	515.26	462.7	517.97	553.07	578.71	569.65	514.63	472.48	411.27	272.58
1996	245	326.97	284.16	408.53	434	412.97	373.84	340.06	321.93	384.42	415.8	259.03
1997	259.26	369.14	370.29	326.57	400.71	501.83	535.1	525.13	475.77	478.16	508.8	630.94
1998	547.97	433.79	538.58	606.67	706.48	573.83	434.97	443	522.1	439.71	340.03	313.19
1999	327.81	344.39	299.45	371.5	400.52	418.47	452.97	340.03	251.1	143.03	99.97	111.87

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 19.** Medias mensuales de niveles en Asunción. Periodo: 2000 al 30 de octubre 2018.

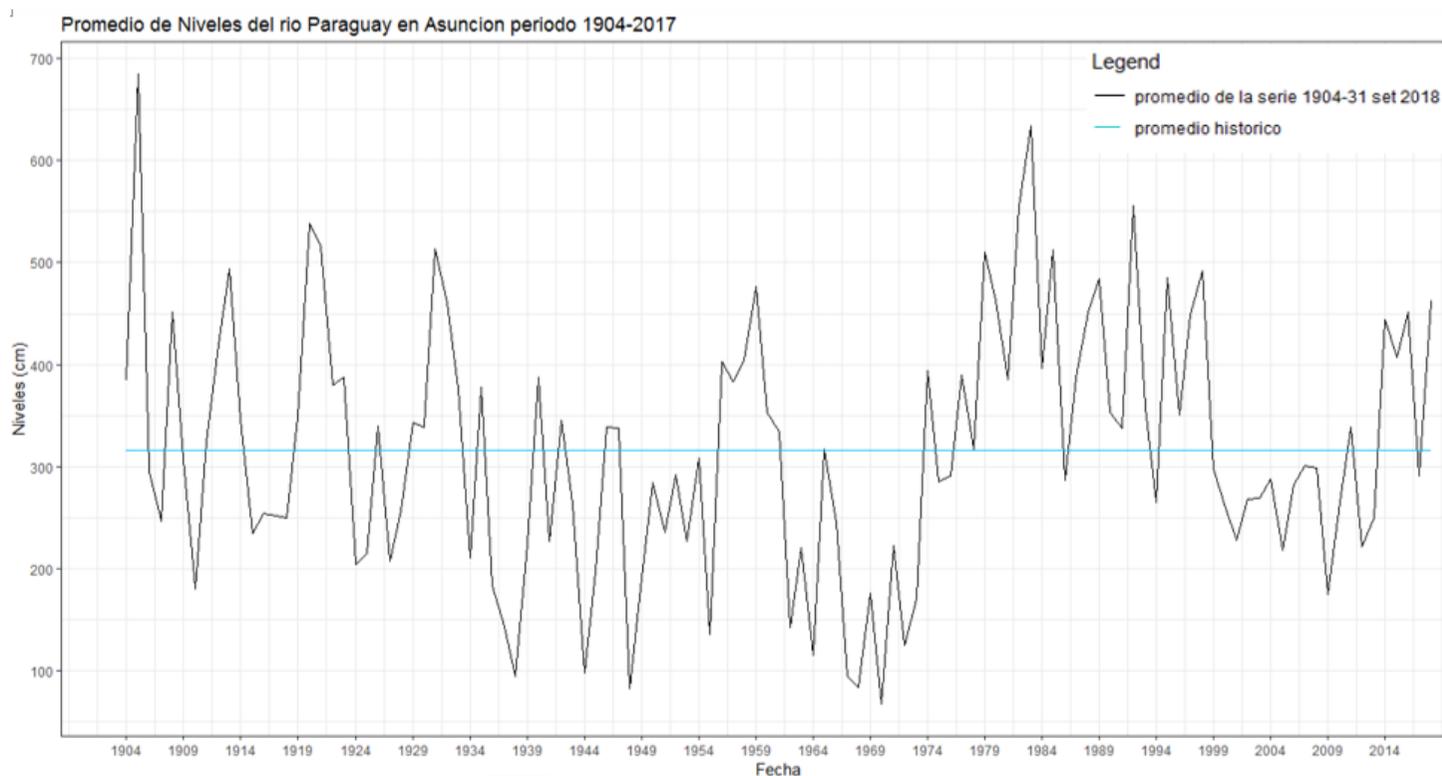
años	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	setiembre	octubre	noviembre	diciembre
2000	106.97	102.14	150.29	211.43	345.61	391.37	394.77	344.19	331.6	244.32	239.7	244.06
2001	223	261.04	360	293.27	301.61	250.27	227.97	179.87	129.93	129.55	165.27	215.84
2002	200.06	246.79	298.48	269.13	347.48	399.37	363.55	337.26	275.77	151.52	116.9	205.35
2003	140.52	213.71	317.94	255.1	246.13	272.27	292.97	299.1	306.03	296.61	215.97	372.97
2004	334.32	166.34	171.23	219.2	299.16	340.27	428.1	341.9	241.43	158	323.67	420.45
2005	268.35	249.21	204.87	207.4	224.74	251.9	232.26	158.48	100.83	127.35	271.67	328.19
2006	164.29	160.68	201.39	298.23	266.65	287.23	303.06	311.9	320.7	358.97	396.33	313.29
2007	303.58	400.04	450.9	389.13	414.84	396.87	338.97	311.39	237.33	105.81	105.4	155.35
2008	278.03	339.69	387.45	358.43	351.55	330.13	323.77	332.1	306.7	248.74	239.77	91.42
2009	87.84	137.54	131.84	113.3	135.87	235.07	296.35	258.9	191.6	155.03	169.23	180.06
2010	286.58	299.07	364.06	331.97	303.48	354	307.26	286.84	203.4	186.65	142.1	112.45
2011	124.68	197.36	415.42	402.13	413.74	402.83	423.9	456.55	434.57	394.23	271.97	120.68
2012	58.32	88.1	160.06	312.43	460.19	384.53	421.97	255.23	148.43	123.68	108.73	126.29
2013	76	86.71	107.94	314.77	381.42	373	496.9	356.94	271.47	213.1	175.37	134.68
2014	236.35	160.46	160.35	340.8	476.35	629.73	724.19	632.29	521.83	492.61	488.07	448.71
2015	252.97	218.36	295.97	304.93	444.29	538.4	540.45	523.55	355.53	331.42	372.97	687.45
2016	732.39	614.24	630.87	599.43	552.13	543.97	419.55	320.13	286.83	198.71	202.43	318.94
2017	186.13	189.29	174.19	223.67	410.68	489.33	391.58	321.26	289.13	241.55	253.87	323
2018	512.93	536.53	541.51	524.65	439.83	445.98	413.41	383.35	381.43	482.6		

Fuente: elaboración propia.



**Gráfico 7.** Medias de niveles del río Paraguay en Asunción

Fuente: elaboración propia con Excel.

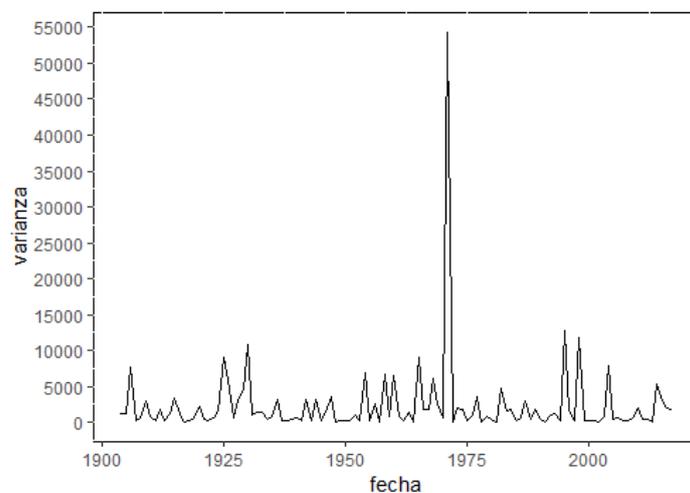


**Gráfico 8.** Medias anuales de niveles del río Paraguay en Asunción vs años.

Fuente: elaboración propia con R.

La línea azul es la media aritmética. Como se ve la media no es la misma todos los años, y tiene muchas fluctuaciones a lo largo de la serie 1904-2018. La media no es estable en el tiempo, pero sin embargo, hay periodos que fueron reconocidos como de aguas altas o bajas que tiene respectivamente medias aproximadamente iguales, como se ve resaltado en la tabla anterior.

### Análisis de varianza.



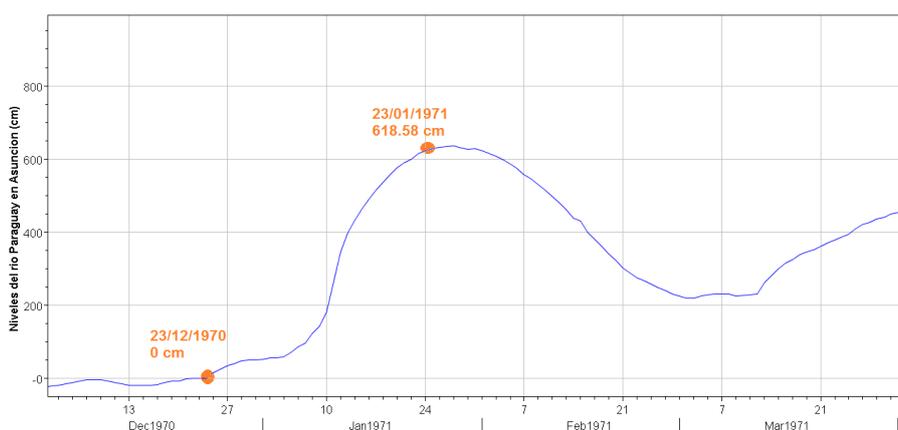
**Gráfico 9.** Análisis de varianza de la serie histórica (1904 a agosto-2018) de niveles en Asunción.

Fuente: elaboración propia.

Se nota que la amplitud varía con el tiempo en el gráfico de varianza.

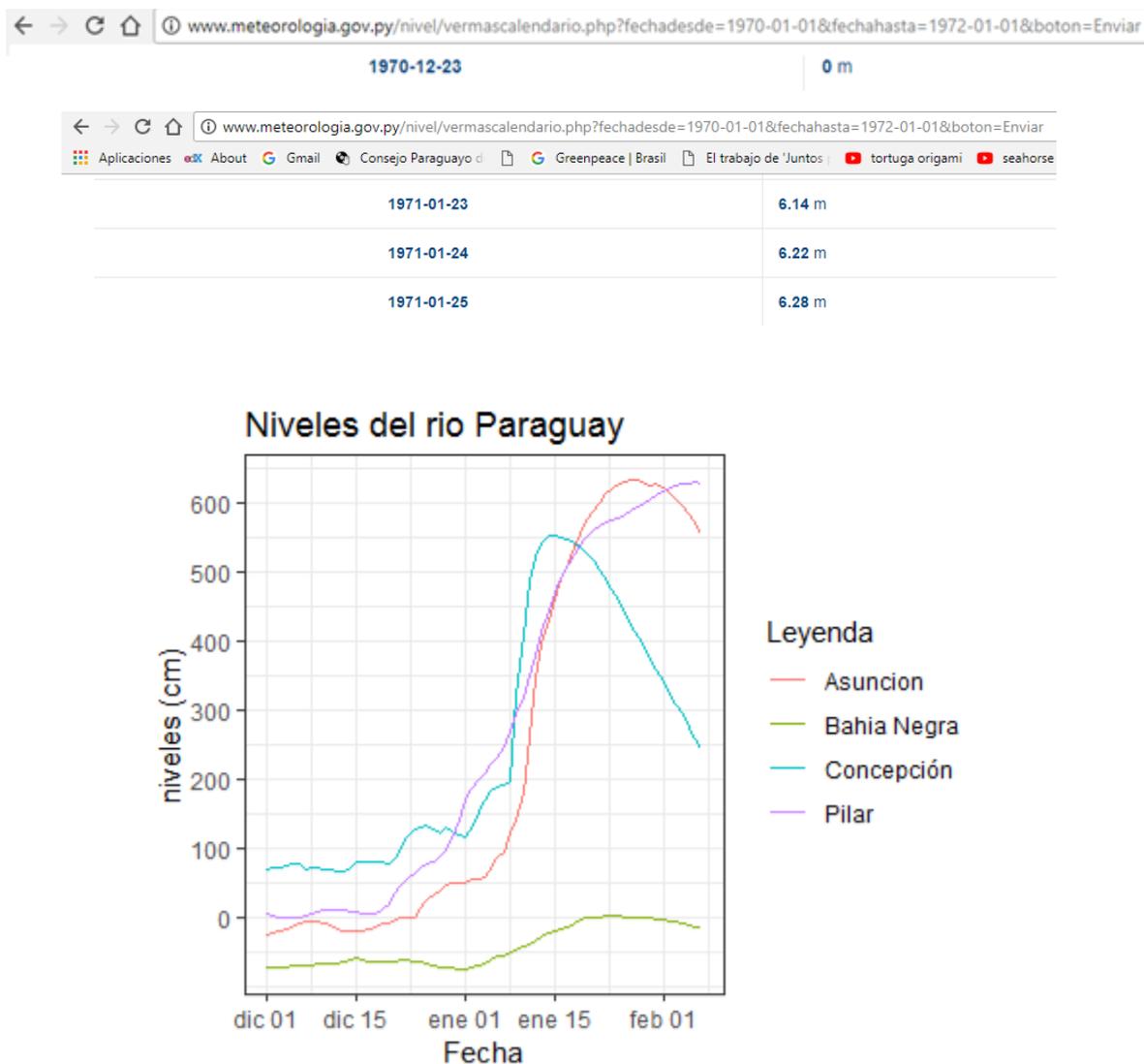
Ni la media ni la varianza son constantes en toda la serie histórica: 1904 a agosto-2018.

Con este gráfico de varianza se detectó una anomalía hacia el año 1971, y analizando ese año se ve que hay un comportamiento muy llamativo, un aumento de más de 6 m en un mes.



**Gráfico 10.** Anomalía detectada en enero de 1971.

Fuente: elaboración propia.



**Gráfico 11.** Periodo dic 1970 a enero 1971.

Fuente: elaboración propia con R.

El nivel del río Paraguay en Asunción se registra como 0 cm el 24/12/1970, y como 622 cm el 24/01/1971, habiendo así una diferencia de 6, 22 m en 1 mes.

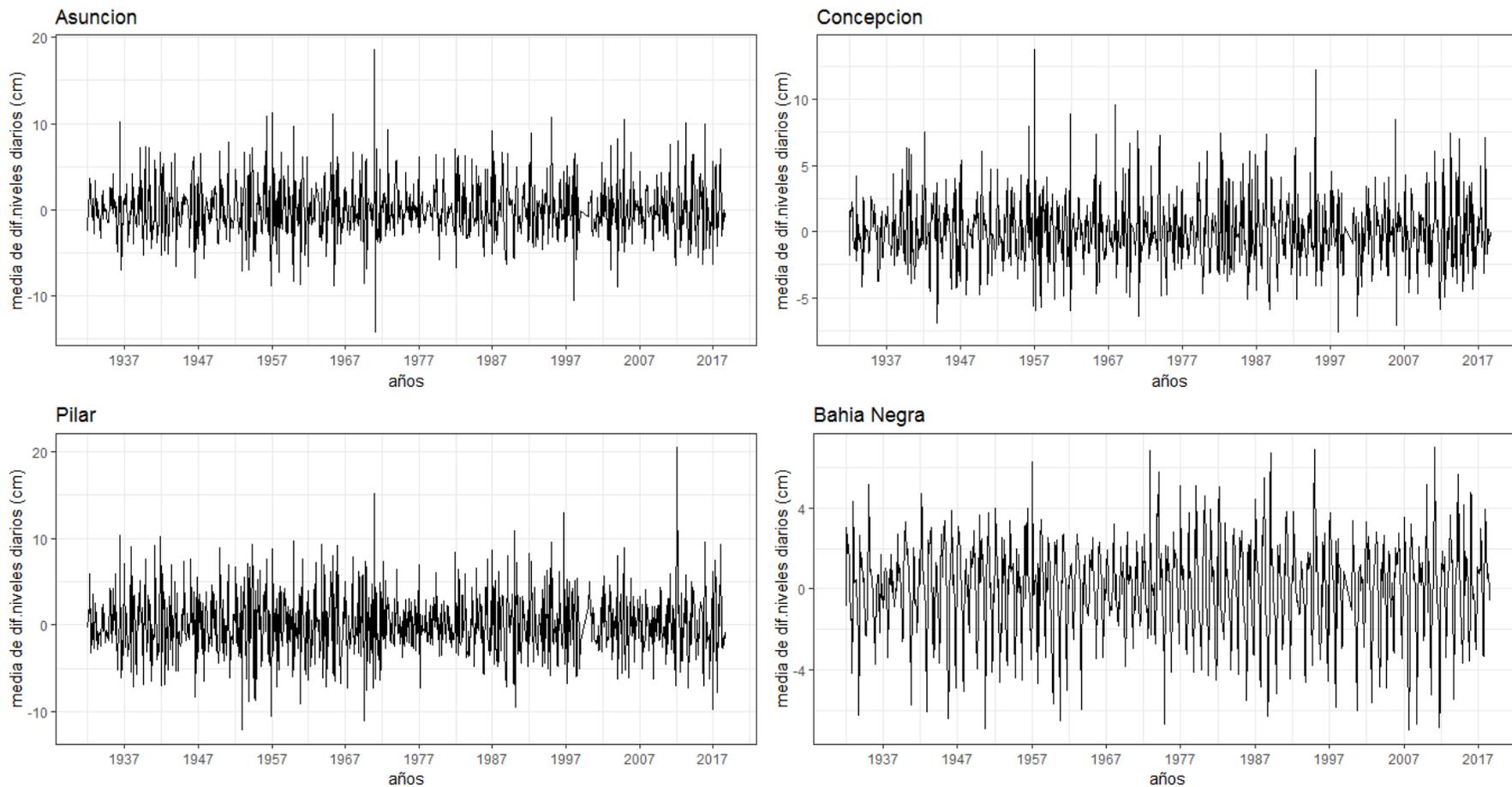
El nivel del río Paraguay registrado en Concepción el 12/12/1970: 68 cm, y el 14/01/1971, 554 cm, indicando así una diferencia de 4,86 m en 32 días.

En Pilar, el nivel registrado del río Paraguay el 6/12/1970 es de 1 cm, y el 6/02/1971, 631 cm, habiendo así una diferencia de 6, 30 m en 62 días. Asunción y Pilar presentaron así una diferencia de más de 6 m en 1 y 2 meses respectivamente. Concepción presentó una diferencia de 4,86 m en aproximadamente un mes. Son conductas llamativas.

**Tabla 20.** Análisis de desviación estándar y covarianza para diferentes periodos.

<b>periodo</b>	<b>cantidad de años</b>	<b>desviacion estandar</b>	<b>desviacion estandar</b>	<b>covarianza Concepcion-Asuncion</b>
1936-1955	19	139.28	167.07	15783.27
1956-1959	3	107.49	128.46	11776.61
1962-1973	11	91.45	133.70	11186.61
1979-98	19	150.40	153.05	21323.02
1999-2013	14	97.61	105.53	9488.46
2014-2018	4	127.38	159.17	18698.37
1980-1990	10	157.77	159.38	23777.08
1991-2001	10	134.59	147.54	18176.13
2002-2012	10	98.00	104.34	9180.70
2013-2018	5	132.49	166.98	1904.00
1911-2018 (eliminando fechas faltantes)		$\bar{\chi}$ Concepcion	$\bar{\chi}$ Asuncion	covarianza de la serie completa. 1911-2018 22697.45

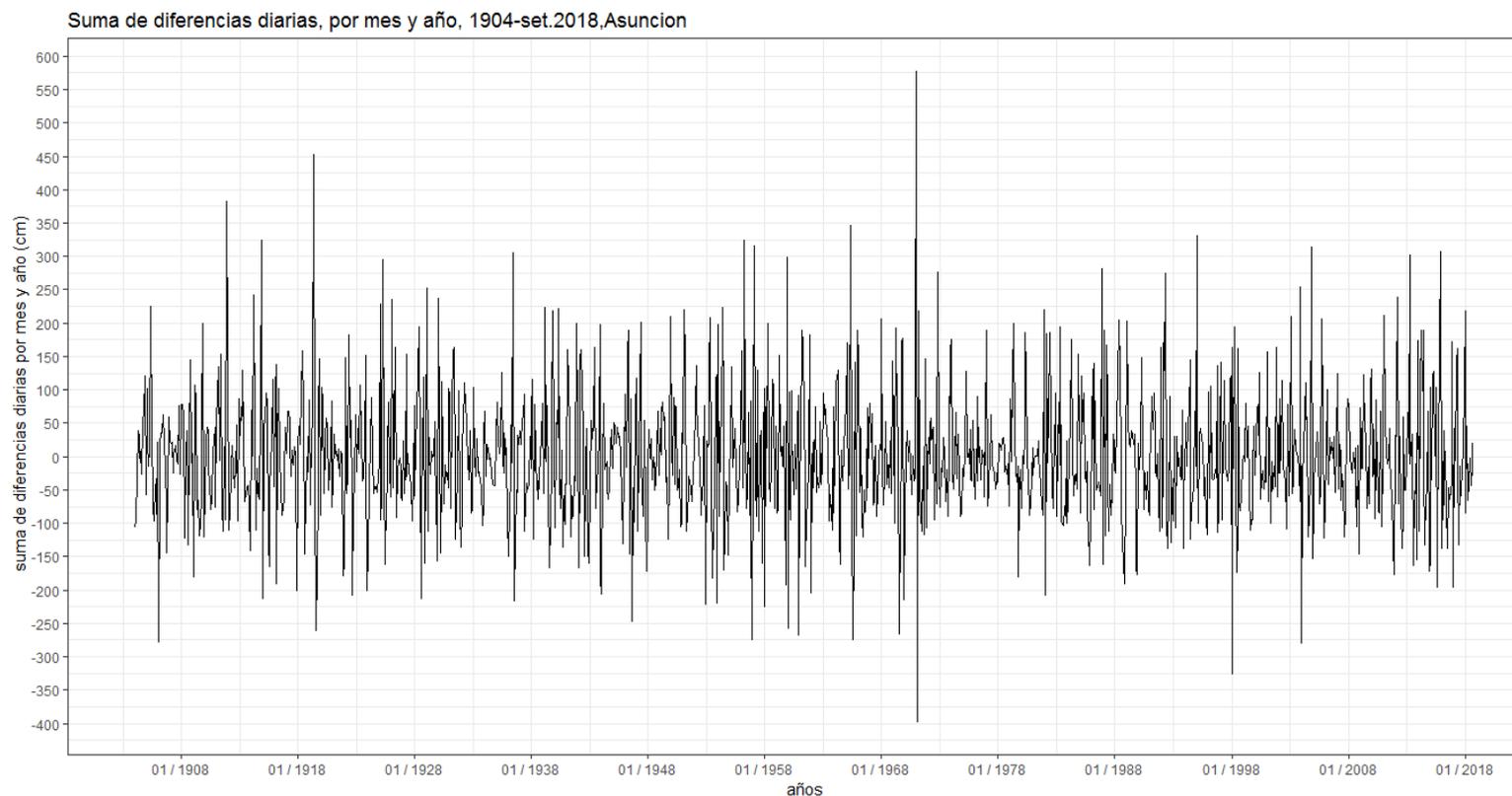
Fuente: elaboración propia.



**Gráfico 12.** Media de diferencia de niveles  $x_t - x_{t-1}$ . Serie histórica: 1904 a agosto-2018.

Fuente: elaboración propia con R.



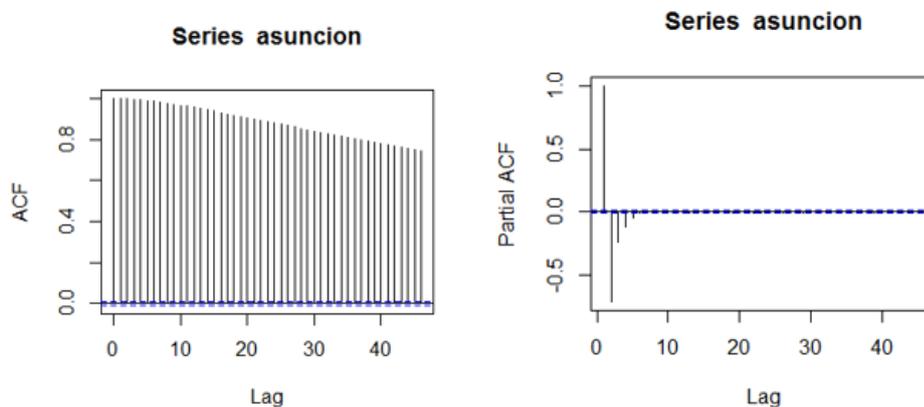


**Gráfico 14.** Suma de diferencias diarias de niveles del río Paraguay en Asunción. Periodo 1904-2018.

Fuente: elaboración propia con R.

De un total de 1377 meses, desde enero 1904 a setiembre 2018, **1307** meses presentan una sumatoria mensual de las variaciones diarias  $< 2$  m, **56 meses**  $2 \text{ m} \leq \leq 3 \text{ m}$ , **12 meses**  $\geq 3 \text{ m}$ , **1 mes**  $\geq 4.5 \text{ m}$  y **1 mes**  $\geq 5.5 \text{ m}$  (enero 1971).

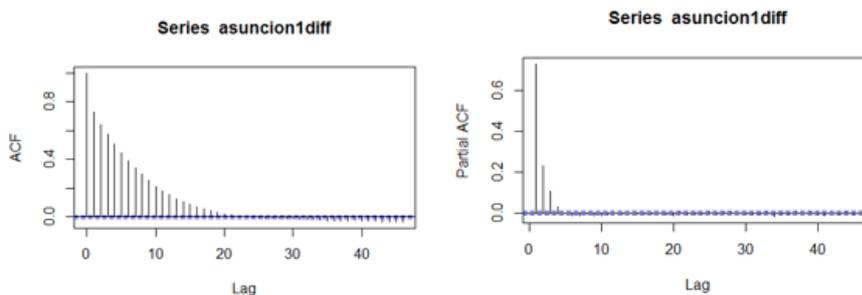
**Autocorrelación simple y parcial de la serie de tiempo de niveles hidrométricos de Asunción.**



**Gráfico 15.** ACF (izquierda) y PACF (derecha) de la serie de niveles en Asunción. Autocorrelograma.

Fuente: elaboración propia.

En la ACF las correlaciones grandes no desaparecen, lo que indica que la diferenciación pudiera requerirse para proveer una media constante. La serie de niveles hidrométricos del río Paraguay en Asunción no es estacionaria, entonces se procedió a diferenciar la serie una vez, para ver si con ello se eliminaba la no estacionariedad debido a la media.



**Gráfico 16.** Serie de Asunción 1 vez diferenciada. ACF(izquierda) y PACF (derecha)

Fuente: elaboración propia.

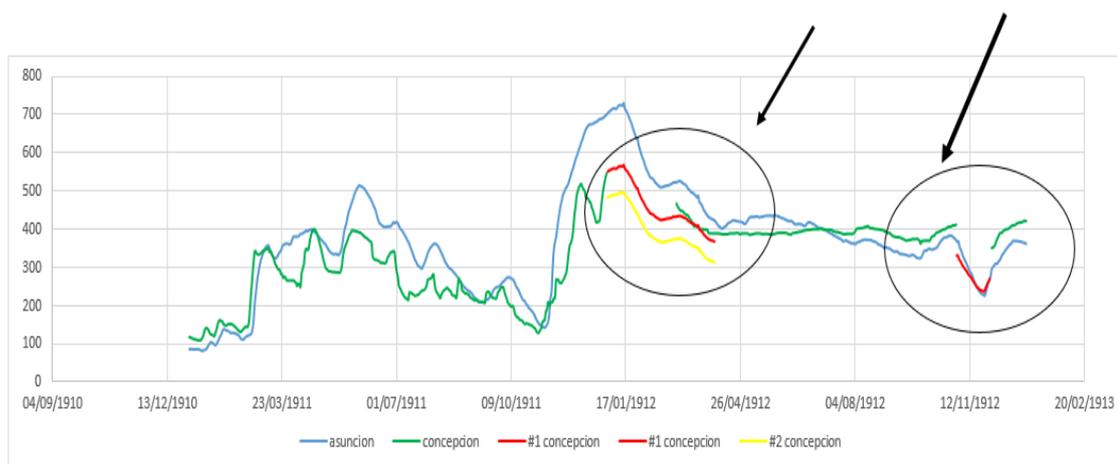
Los coeficientes de autocorrelación del correlograma de la serie 1 vez diferenciada decrecen exponencialmente, por lo tanto se consideró la serie como estacionaria.

## **5. CAPITULO V.: MODELOS ESTOCÁSTICOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

Ejemplo de regresión lineal para completar datos.

Prueba #1 se consideró la serie 1911 a 1912, para un pronóstico de enero, febrero y noviembre de 1912, para Concepción.

Prueba #2 se consideró la serie de setiembre a diciembre de 1911, para pronóstico de enero y febrero de 1912, para Concepción.



**Gráfico 17.** Prueba de regresión, Asunción-Concepción 1912.

Fuente: elaboración propia.

En el gráfico 18 se observa que la prueba #1 parece ajustarse bien al periodo de enero a febrero de 1912, ya que sigue la forma de la curva de Asunción, y conecta los puntos de marzo que sí se tienen como dato. Las flechas indican los periodos de previsión.

Es en noviembre que los valores previstos (en rojo) se encuentran muy por debajo de la curva de niveles registrados de Concepción (en verde), pero sí se ajustan a la forma de la curva de niveles registrados de Asunción para este periodo (azul).

Los resultados de la prueba #2 son similares a los de la prueba #1 para noviembre.

### 5.1. Caso A.

Una primera consideración que se tuvo para armar la serie para la previsión de niveles consistió fue identificar si el año que se quiere predecir está clasificado como Niña o Niño.

Una vez hecho esto, se procedió a armar la serie histórica con todos los años pertenecientes a la categoría identificada. De esta serie, se toman valores hasta la fecha en que se tienen datos del año a predecir. Eso se toma como variable independiente “x” para la regresión lineal, y los datos hasta la fecha del año para el que se quieren prever los niveles, se considera como la variable “y”.

Para este caso se consideran solo puntos de una misma estación. Ejemplo: Asunción considera solo los históricos de Asunción.

Para armar la serie histórica de años Niñas o Niños se tuvo en cuenta la tabla 21, que expone una clasificación de años Niña y Niño de acuerdo a las intensidades (débil, moderado, fuerte y muy fuerte), en base al ONI (Oceanic Niño Index).

**Tabla 21.** Años El Niño y La Niña e intensidades, basados en el ÍNDICE OCEÁNICO EL NIÑO (Oceanic Niño Index (ONI))

El Niño				La Niña		
Weak - 10	Moderate - 7	Strong - 5	Very Strong - 3	Weak - 10	Moderate - 4	Strong - 7
1952-53	1951-52	1957-58	1982-83	1954-55	1955-56	1973-74
1953-54	1963-64	1965-66	1997-98	1964-65	1970-71	1975-76
1958-59	1968-69	1972-73	2015-16	1971-72	1995-96	1988-89
1969-70	1986-87	1987-88		1974-75	2011-12	1998-99
1976-77	1994-95	1991-92		1983-84		1999-00
1977-78	2002-03			1984-85		2007-08
1979-80	2009-10			2000-01		2010-11
2004-05				2005-06		
2006-07				2008-09		
2014-15				2016-17		
				2017-18		

Fuente: Servicios meteorológicos Golden gate Weather services. Obtenido de: <https://ggweather.com/enso/oni.htm>

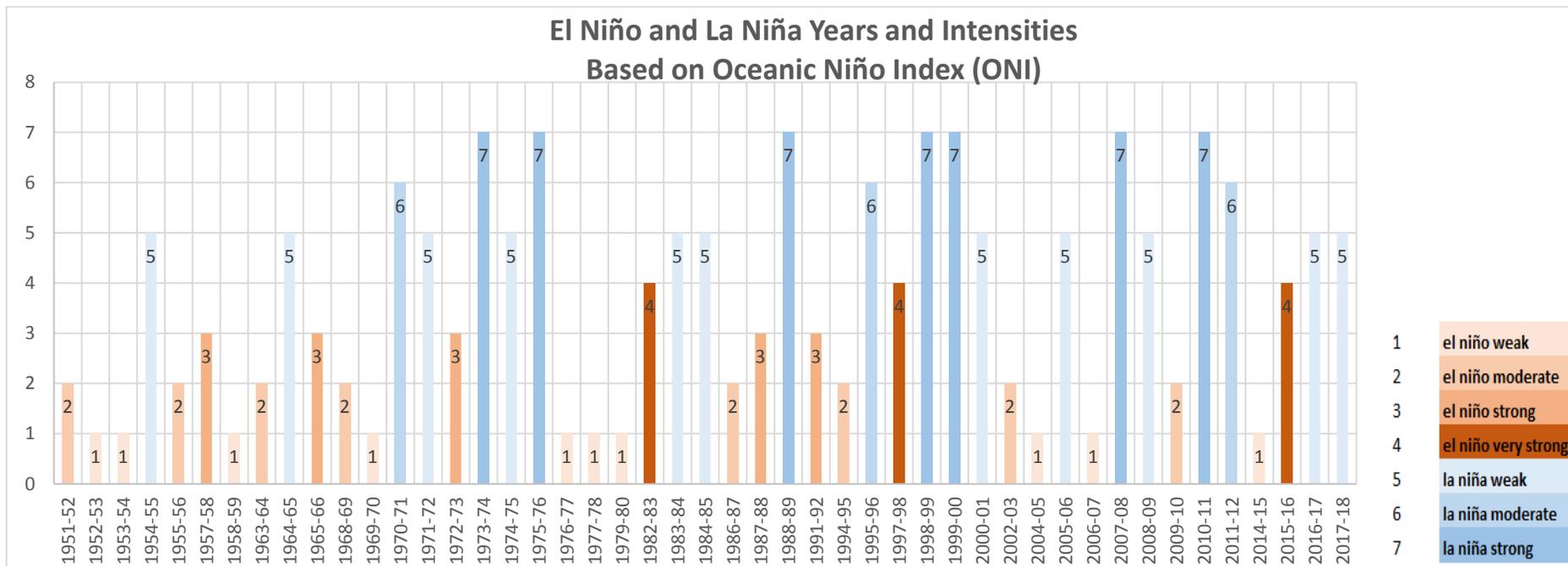
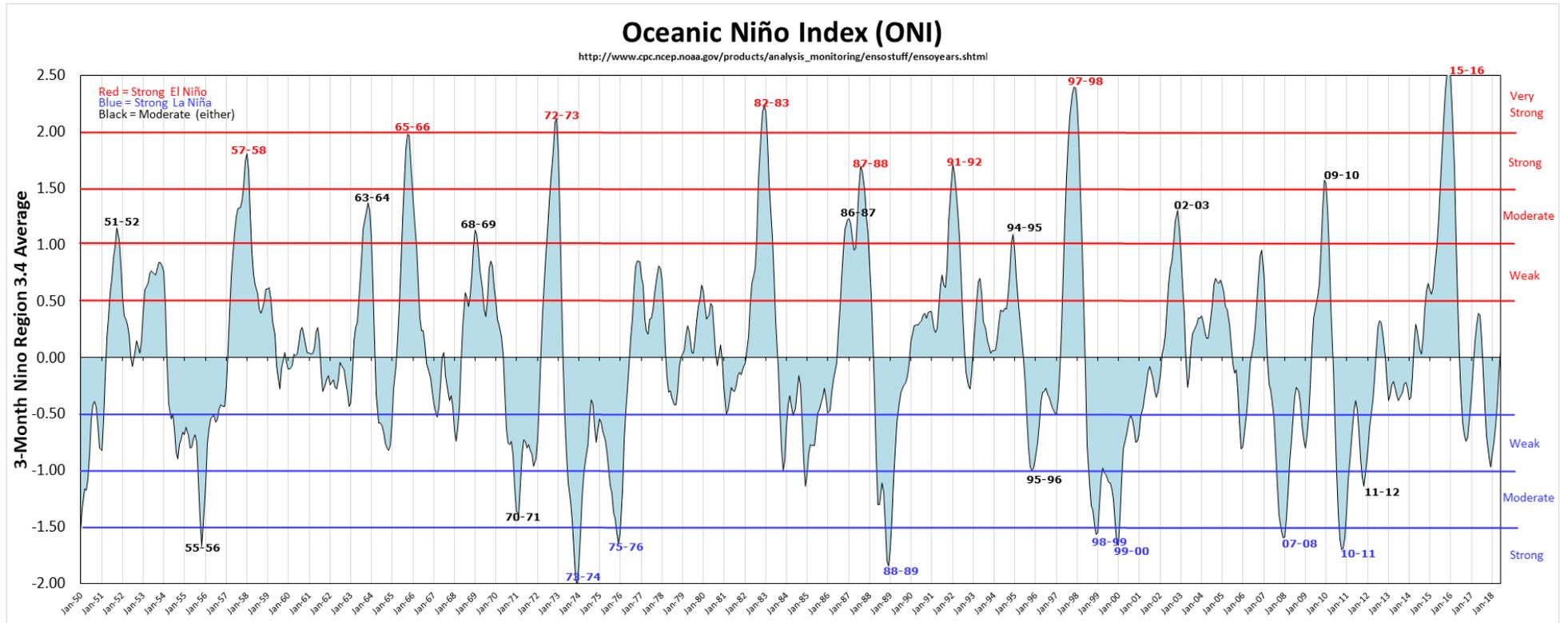


Figura. 16. El Niño y la Niña Año-Intensidades basado en el ONI.

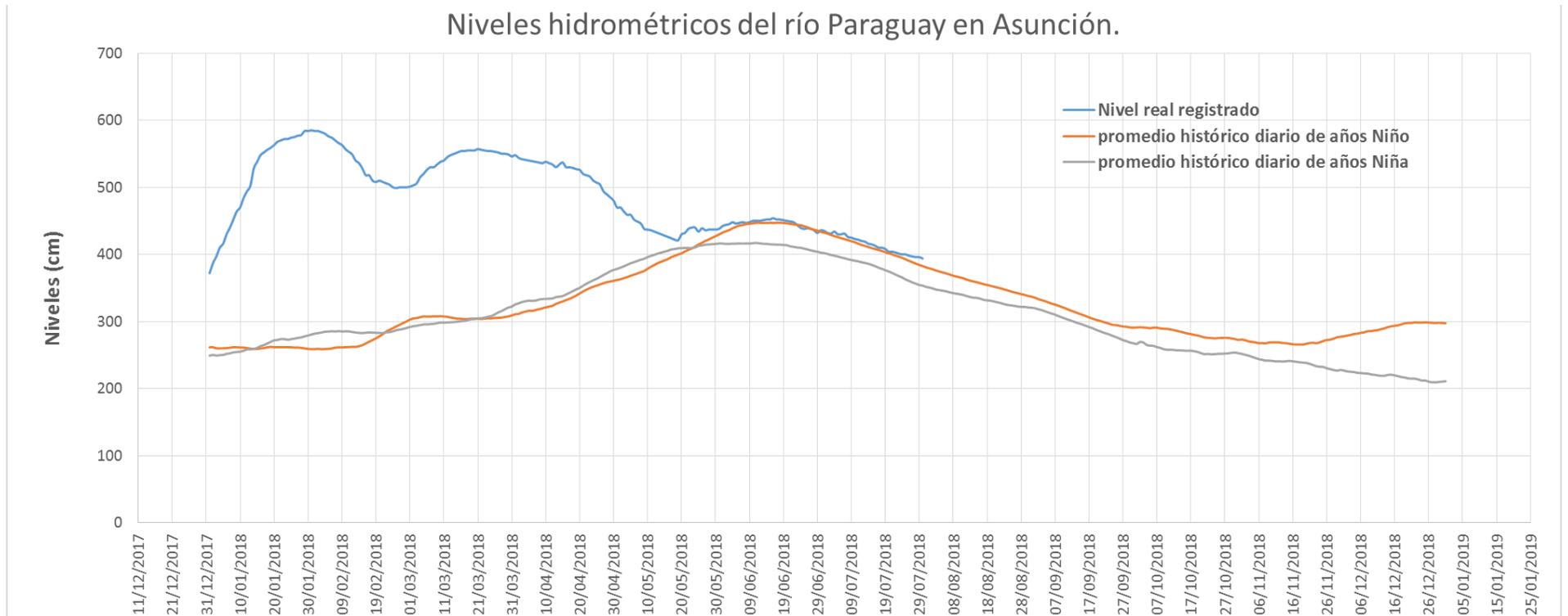
Fuente: elaboración propia basado en la tabla 21.



**Figura. 17.** Periodos identificados como “El niño” o “La Niña” fuertes, según el ONI.

Fuente: Servicios meteorológicos Golden gate Weather services. Obtenido de: <https://ggweather.com/enso/oni.htm>

En la figura 18 se presenta el promedio histórico diario de años Niñas y Niños de la serie de Asunción y los datos de niveles medidos en 2018, hasta la fecha (julio). Cada uno niveles vs fecha.



**Gráfico 18.** Curvas de promedio histórico de años Niña y Niño y de Asunción 2018 vs fecha.

Fuente: elaboración propia

Gráficamente no se ve mucha correlación entre las curvas, sino a partir de mediados de mayo (13/05) aproximadamente. Se trabajó en 2 etapas.

Etapa 1.

Se organizan los datos de la siguiente manera:

Niveles de Asunción				
		Nivel real registrado	Promedio histórico	
			Años niño	Años niña.
desde	13/05/2018	432.0	387.0	401.3
hasta	13/07/2018	419.0	412.6	387.3

(No se tuvo en cuenta los días 29 de febrero para los promedios históricos).

Se probó la previsión para el año 2018 para la estación de Asunción.

Como 2018 se encuentra clasificado según el ONI como La Niña débil (hasta la fecha), entonces se toman los años pertenecientes a la Niña (débil, moderada y fuerte) para armar una serie con los promedios históricos diarios.

**Se realizaron 4 previsiones, teniendo en cuenta los siguientes periodos para determinar los coeficientes de la ecuación de regresión lineal:**

- 1era previsión: del 13 de mayo al 13 de julio
- 2da previsión: del 13 de mayo al 30 de julio (+17 días que la primera previsión )
- 3era previsión: del 13 de mayo al 6 de agosto (+7 días que la segunda previsión)
- 4ta previsión: del 13 de mayo al 13 de agosto. (+ 7 días que la tercera previsión)

		<i>previsiones #1</i>	<i>#2</i>	<i>#3</i>	<i>#4</i>
$y=mx+b$	<b>b</b>	65.209	81.270	96.447	103.802
	<b>m</b>	0.913	0.874	0.836	0.818

Variable x: promedio histórico diario de la serie de años Niña

Variable y: datos reales registrados de niveles en Asunción.

Para los resultados a continuación se usaron las funciones de análisis de datos de la aplicación de hojas de cálculo Excel.

De la 1era previsión a la 4ta, se agregó 1 mes de datos y se ve como disminuyó el error de las previsiones. Resaltados en rosado, se presentan las previsiones de menor error, respecto a los niveles reales registrados.

**Tabla 22.** Primera previsión, agosto 2018 con Niña/o.

2018	Niveles reales medidos en Asunción	años Niña		años Niña		años Niña		años Niña	
		previsión #1	real-prev.	previsión #2	real-prev.	previsión #3	real-prev.	previsión #4	real-prev.
14 de julio	416	417.81	-1.81						
15 de julio	415	416.34	-1.34						
16 de julio	413	414.60	-1.60						
17 de julio	410	412.52	-2.52						
18 de julio	410	411.00	-1.00						
19 de julio	408	408.98	-0.98						
20 de julio	404	407.32	-3.32						
21 de julio	404	405.27	-1.27						
22 de julio	403	403.22	-0.22						
23 de julio	401	401.04	-0.04						
24 de julio	400	399.10	0.90						
25 de julio	400	396.47	3.53						
26 de julio	398	394.45	3.55						
27 de julio	397	392.40	4.60						
28 de julio	396	390.74	5.26	392.67	3.33	396.06	-0.06	396.90	-0.90
29 de julio	396	388.94	7.06	390.94	5.06	394.54	1.46	395.41	0.59
30 de julio	394	388.06	5.94	390.10	3.90	392.89	1.11	393.80	0.20
31 de julio	393	386.40	6.60	388.51	4.49	392.08	0.92	393.01	-0.01
1 de agosto	392	385.45	6.55	387.61	4.39	390.56	1.44	391.52	0.48
2 de agosto	392	384.15	7.85	386.36	5.64	389.70	2.30	390.68	1.32
3 de agosto	391	382.63	8.37	384.91	6.09	388.50	2.50	389.51	1.49
4 de agosto	389	381.91	7.09	384.22	4.78	387.11	1.89	388.15	0.85
5 de agosto	388	381.16	6.84	383.50	4.50	386.45	1.55	387.50	0.50
6 de agosto	387	380.25	6.75	382.63	4.37	385.77	1.23	386.83	0.17
7 de agosto	386	378.89	7.11	381.33	4.67	384.93	1.07	386.01	-0.01
8 de agosto	384	377.84	6.16	380.33	3.67	383.69	0.31	384.80	-0.80
9 de agosto	383	377.15	5.85	379.67	3.33	382.73	0.27	383.86	-0.86
10 de agosto	384	376.24	7.76	378.79	5.21	382.09	1.91	383.24	0.76
11 de agosto	384	375.32	8.68	377.92	6.08	381.26	2.74	382.42	1.58
12 de agosto	384	373.80	10.20	376.46	7.54	380.42	3.58	381.60	2.40
13 de agosto	384	372.50	11.50	375.22	8.78	379.02	4.98	380.24	3.76
14 de agosto	384	371.64	12.36	374.40	9.60	377.83	6.17	379.07	4.93
15 de agosto	384	371.39	12.61	374.16	9.84	377.05	6.95	378.30	5.70
16 de agosto	384	370.34	13.66	373.15	10.85	376.82	7.18	378.08	5.92
17 de agosto	384	368.65	15.35	371.54	12.46	375.86	8.14	377.14	6.86
18 de agosto	382	368.02	13.98	370.93	11.07	374.31	7.69	375.62	6.38
19 de agosto	380	367.46	12.54	370.40	9.60	373.73	6.27	375.05	4.95
20 de agosto	379	366.58	12.42	369.55	9.45	373.22	5.78	374.56	4.44
21 de agosto	379	365.36	13.64	368.39	10.61	372.41	6.59	373.77	5.23
22 de agosto	382	364.42	17.58	367.49	14.51	371.29	10.71	372.67	9.33
23 de agosto	381	362.87	18.13	366.00	15.00	370.43	10.57	371.83	9.17
24 de agosto	380	361.90	18.10	365.08	14.92	369.01	10.99	370.44	9.56
25 de agosto	380	361.15	18.85	364.36	15.64	368.13	11.87	369.57	10.43
26 de agosto	381	360.54	20.46	363.78	17.22	367.44	13.56	368.91	12.09
27 de agosto	380	359.66	20.34	362.93	17.07	366.88	13.12	368.36	11.64
28 de agosto	380	359.10	20.90	362.40	17.60	366.07	13.93	367.57	12.43
29 de agosto	380	359.13	20.87	362.43	17.57	365.57	14.43	367.07	12.93
30 de agosto	379	358.41	20.59	361.74	17.26	365.59	13.41	367.10	11.90
31 de agosto	377	358.08	18.92	361.42	15.58	364.93	12.07	366.45	10.55

Fuente: elaboración propia.

A excepción de 3 fechas, del 28 de julio al 31 de agosto, comparando los resultados de las 4 previsiones, los errores van disminuyendo de la primera a la segunda, de la segunda a la tercera, y de la tercera a la cuarta previsión.

- Etapa 2.

Ahora los niveles reales registrados del río Paraguay en Asunción son hasta el 13/08.

La 4ta previsión mencionada tuvo las siguientes consideraciones:

Periodo para la regresión y los coeficientes: 13-05 al 13-08

Variable de entrada (x): promedios históricos diarios en Asunción, de años niña

Variable de salida (y): niveles reales del río Paraguay en Asunción,

Un comunicado de la OMM anunció posibilidad de un episodio del Niño para el cuarto trimestre del año: *“Según la mayoría de los modelos de predicción dinámica y estadística, las condiciones neutras van a persistir hasta el tercer trimestre de 2018. Asimismo, son muchos los modelos que indican que este período se va a caracterizar por un calentamiento progresivo del Pacífico tropical, y que quizás se acabe produciendo un episodio débil de El Niño en el cuarto trimestre del año. No obstante, las predicciones sobre el fenómeno ENOS con tanta antelación tienen un grado sustancial de incertidumbre.”*

Considerando esto, se utilizaron los coeficientes de la 4ta previsión para una previsión hasta el 15/10 considerando que el río seguirá el comportamiento promedio histórico de años niña.

Entonces los datos se tienen ahora hasta el 15/10/2018.

Ahora, tomando como reales los valores previstos hasta el 15 de octubre, se realizó una nueva regresión teniendo en cuenta el periodo de 13/05 al 15/10, y las siguientes variables:

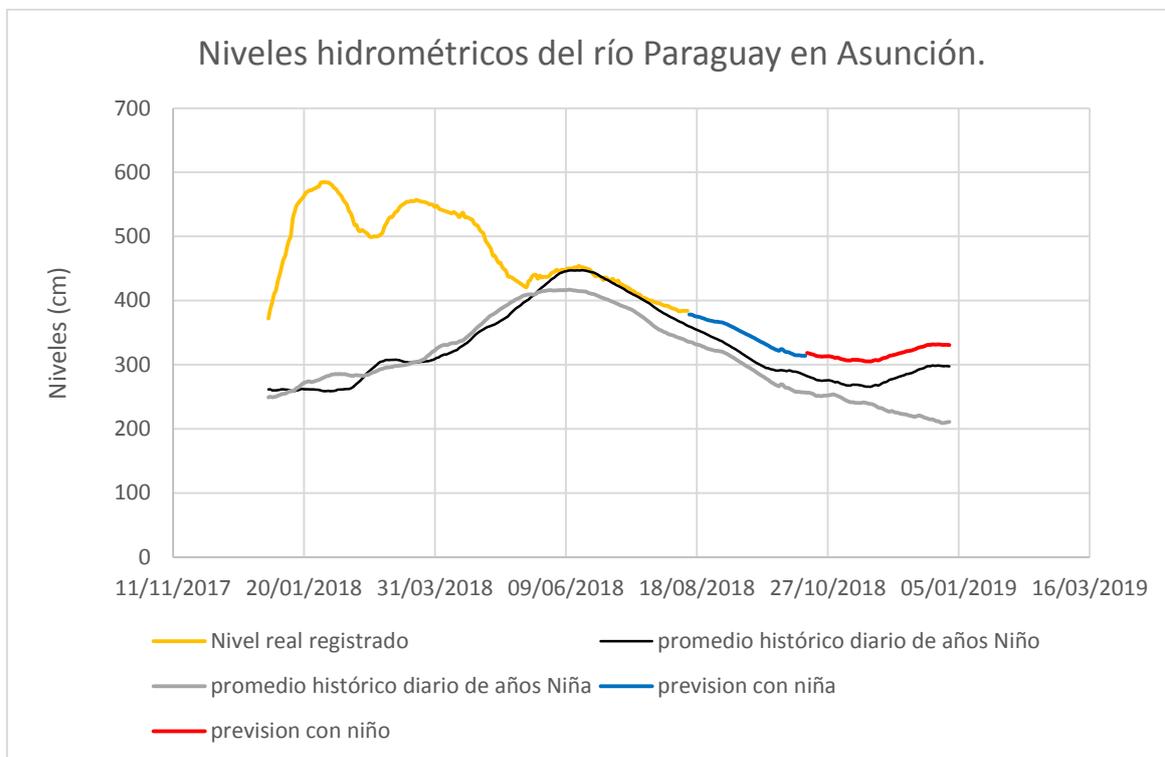
Variable de entrada (x): promedios históricos diarios en Asunción, de años Niño.

Variable de salida (y): niveles reales del río Paraguay en Asunción.

Y con esto se obtuvo valores hasta el 31/12/2018. A continuación se muestra el resultado obtenido. Esto considerando que el río seguirá la tendencia histórica (de años niñas hasta el 15 de octubre y de años niños hasta diciembre)

del 14/08/2018 al 15/10/2018 con previsión Niña

del 16/10/2018 al 31/12/2018 con previsión Niño



**Gráfico 19.** Pronostico Asunción con promedio histórico de Niña y Niño, julio a diciembre 2018.

Fuente: elaboración propia con Excel.

Luego se probó con una clasificación que tiene en cuenta años: Niña, Niño y Neutro. (NOAA. (s.f.). National Weather Service. Obtenido de Climate Prediction Center: [http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php))

Los colores se usaron para identificar años niña (azul), niño (rojo) y neutro (negro).

Tabla 23. NOAA 1950-marzo2018. Niño, Niña, Neutro.

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1950	-1.5	-1.3	-1.2	-1.2	-1.1	-0.9	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.6	-0.8
1951	-0.8	-0.5	-0.2	0.2	0.4	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.0	0.8
1952	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.0	-0.1	0.0	0.2	0.1	0.0	0.1
1953	0.4	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
1954	0.8	0.5	0.0	-0.4	-0.5	-0.5	-0.6	-0.8	-0.9	-0.8	-0.7	-0.7
1955	-0.7	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-1.1	-1.4	-1.7	-1.5
1956	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4
1957	-0.2	0.1	0.4	0.7	0.9	1.1	1.3	1.3	1.3	1.4	1.5	1.7
1958	1.8	1.7	1.3	0.9	0.7	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6
1959	0.6	0.6	0.5	0.3	0.2	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1	0.0	0.0	0.0
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1960	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1
1961	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.1	-0.1	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2
1962	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4
1963	-0.4	-0.2	0.2	0.3	0.3	0.5	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.3
1964	1.1	0.6	0.1	-0.3	-0.6	-0.6	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
1965	-0.6	-0.3	-0.1	0.2	0.5	0.8	1.2	1.5	1.9	2.0	2.0	1.7
1966	1.4	1.2	1.0	0.7	0.4	0.2	0.2	0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3
1967	-0.4	-0.5	-0.5	-0.4	-0.2	0.0	0.0	-0.2	-0.3	-0.4	-0.3	-0.4
1968	-0.6	-0.7	-0.6	-0.4	0.0	0.3	0.6	0.5	0.4	0.5	0.7	1.0
1969	1.1	1.1	0.9	0.8	0.6	0.4	0.4	0.5	0.8	0.9	0.8	0.6
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1970	0.5	0.3	0.3	0.2	0.0	-0.3	-0.6	-0.8	-0.8	-0.7	-0.9	-1.1
1971	-1.4	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.9	-1.0	-0.9
1972	-0.7	-0.4	0.1	0.4	0.7	0.9	1.1	1.4	1.6	1.8	2.1	2.1
1973	1.8	1.2	0.5	-0.1	-0.5	-0.9	-1.1	-1.3	-1.5	-1.7	-1.9	-2.0
1974	-1.8	-1.6	-1.2	-1.0	-0.9	-0.8	-0.5	-0.4	-0.4	-0.6	-0.8	-0.6
1975	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.8	-1.0	-1.1	-1.2	-1.4	-1.4	-1.6	-1.7
1976	-1.6	-1.2	-0.7	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	0.8
1977	0.7	0.6	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8	0.8
1978	0.7	0.4	0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	0.0
1979	0.0	0.1	0.2	0.3	0.2	0.0	0.0	0.2	0.3	0.5	0.5	0.6
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1980	0.6	0.5	0.3	0.4	0.5	0.5	0.3	0.0	-0.1	0.0	0.1	0.0
1981	-0.3	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1
1982	0.0	0.1	0.2	0.5	0.7	0.7	0.8	1.1	1.6	2.0	2.2	2.2
1983	2.2	1.9	1.5	1.3	1.1	0.7	0.3	-0.1	-0.5	-0.8	-1.0	-0.9
1984	-0.6	-0.4	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.6	-0.9	-1.1
1985	-1.0	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4
1986	-0.5	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.2	0.4	0.7	0.9	1.1	1.2
1987	1.2	1.2	1.1	0.9	1.0	1.2	1.5	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1
1988	0.8	0.5	0.1	-0.3	-0.9	-1.3	-1.3	-1.1	-1.2	-1.5	-1.8	-1.8
1989	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1990	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8	1.2	1.5
1992	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	0.7	0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1
1993	0.1	0.3	0.5	0.7	0.7	0.6	0.3	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.7	1.0	1.1
1995	1.0	0.7	0.5	0.3	0.1	0.0	-0.2	-0.5	-0.8	-1.0	-1.0	-1.0
1996	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.1	0.3	0.8	1.2	1.6	1.9	2.1	2.3	2.4	2.4
1998	2.2	1.9	1.4	1.0	0.5	-0.1	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6
1999	-1.5	-1.3	-1.1	-1.0	-1.0	-1.0	-1.1	-1.1	-1.2	-1.3	-1.5	-1.7
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2000	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
2001	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
2002	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0.0	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8
2006	-0.8	-0.7	-0.5	-0.3	0.0	0.0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.9
2007	0.7	0.3	0.0	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.8	-1.1	-1.4	-1.5	-1.6
2008	-1.6	-1.4	-1.2	-0.9	-0.8	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.8	-0.7	-0.5	-0.2	0.1	0.4	0.5	0.5	0.7	1.0	1.3	1.6
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2010	1.5	1.3	0.9	0.4	-0.1	-0.6	-1.0	-1.4	-1.6	-1.7	-1.7	-1.6
2011	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.7	-0.9	-1.1	-1.1	-1.0
2012	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.0	-0.2
2013	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.4	-0.2	0.1	0.3	0.2	0.1	0.0	0.2	0.4	0.6	0.7
2015	0.6	0.6	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.5	2.6
2016	2.5	2.2	1.7	1.0	0.5	0.0	-0.3	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.2	-0.1	-0.4	-0.7	-0.9	-1.0
2018	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0.1						

Fuente: NOAA. National Weather Service. Obtenido de Climate Prediction Center.  
 Obtenido de:  
[http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)

Un funcionario de la NOAA sugirió usar el índice CPC (de la tabla de arriba) y tomar el mes central, ya que en la tabla indica trimestral.

*“Because index values bounce around from month to month, I recommend a smoothed index, such as the CPC overlapping 3-month seasons, and using the center month” (david.unger@noaa.gov).*

Como en la clasificación de aguas altas y bajas que se realizó manualmente (ver apartado 5 del anexo), se identificó un periodo de aguas altas: 1979 al 98. Entonces, como desde el 2014 se ve un comportamiento similar, se probó usar el periodo de 1979-98 para hacer previsiones para 2018.

De la tabla 23, se seleccionó, para cada mes, los años seleccionados como niños, debido a que según la OMM hay posibilidades de un Niño para el tercer cuatrimestre del año.

Los resultados se indican a continuación.

**Tabla 24.** Años seleccionados como niños

enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto
1980	1980	1983	1982	1982	1982	1982	1982
1983	1983	1987	1983	1983	1983	1987	1987
1987	1987	1992	1987	1987	1987	1991	1991
1988	1988	1995	1992	1991	1991	1997	1997
1992	1992	1998	1998	1992	1992		
1995	1995			1997	1997		
1998	1998			1998			

septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1982	1979	1979	1979
1986	1982	1982	1982
1987	1986	1986	1986
1991	1987	1987	1987
1994	1990	1991	1991
1997	1994	1994	1994
	1997	1997	1997

Fuente: NOAA

Periodos considerados para la regresión: 1-05 al 30-08

- **Relacionando 2018 con los años niños de la serie 1979-98.**

Para cada mes se armó una serie promediando los años que le correspondían según la tabla de arriba. Ejemplo: para julio, se promedió los meses de julio de los siguientes años: 1982, 1987, 1991 y 1997.

- **Relacionando 2018 con la serie completa de 1979-98. (20 años)**

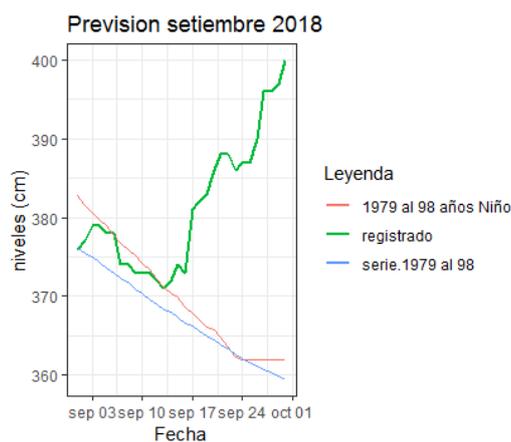
De estos 20 años se obtuvo un promedio para cada mes, es decir, para el enero a relacionar con 2018, se promediaron los eneros comprendidos desde 1979 a 1998. (20 eneros)

Los resultados de la tabla siguiente se obtuvieron con R.

**Tabla 25.** Previsión de agosto 2018 con la serie 1979-98.

fecha	niv.Registrado	forecast.1979al98.Niño	dif	forecast.serie.1979al98	dif.
2018-09-01	376	382.76	-6.76	376.17	-0.17
2018-09-02	377	381.48	-4.48	375.47	1.53
2018-09-03	379	380.62	-1.62	374.98	4.02
2018-09-04	379	379.77	-0.77	374.33	4.67
2018-09-05	378	378.92	-0.92	373.60	4.40
2018-09-06	378	377.64	0.36	372.94	5.06
2018-09-07	374	376.78	-2.78	372.26	1.74
2018-09-08	374	375.93	-1.93	371.74	2.26
2018-09-09	373	375.08	-2.08	370.90	2.10
2018-09-10	373	374.23	-1.23	370.33	2.67
2018-09-11	373	373.38	-0.38	369.54	3.46
2018-09-12	372	372.10	-0.10	368.98	3.02
2018-09-13	371	371.25	-0.25	368.33	2.67
2018-09-14	372	370.40	1.60	367.96	4.04
2018-09-15	374	369.97	4.03	367.29	6.71
2018-09-16	373	368.70	4.30	366.64	6.36
2018-09-17	381	367.85	13.15	366.17	14.83
2018-09-18	382	367.00	15.00	365.65	16.35
2018-09-19	383	366.15	16.85	365.00	18.00
2018-09-20	386	365.73	20.27	364.43	21.57
2018-09-21	388	364.88	23.12	363.83	24.17
2018-09-22	388	363.61	24.39	363.33	24.67
2018-09-23	386	362.34	23.66	362.64	23.36
2018-09-24	387	361.92	25.08	362.03	24.97
2018-09-25	387	361.92	25.08	361.64	25.36
2018-09-26	390	361.92	28.08	361.11	28.89
2018-09-27	396	361.92	34.08	360.66	35.34

Fuente: elaboración propia



**Gráfico 20.** Previsión de agosto 2018 con la serie 1979-98

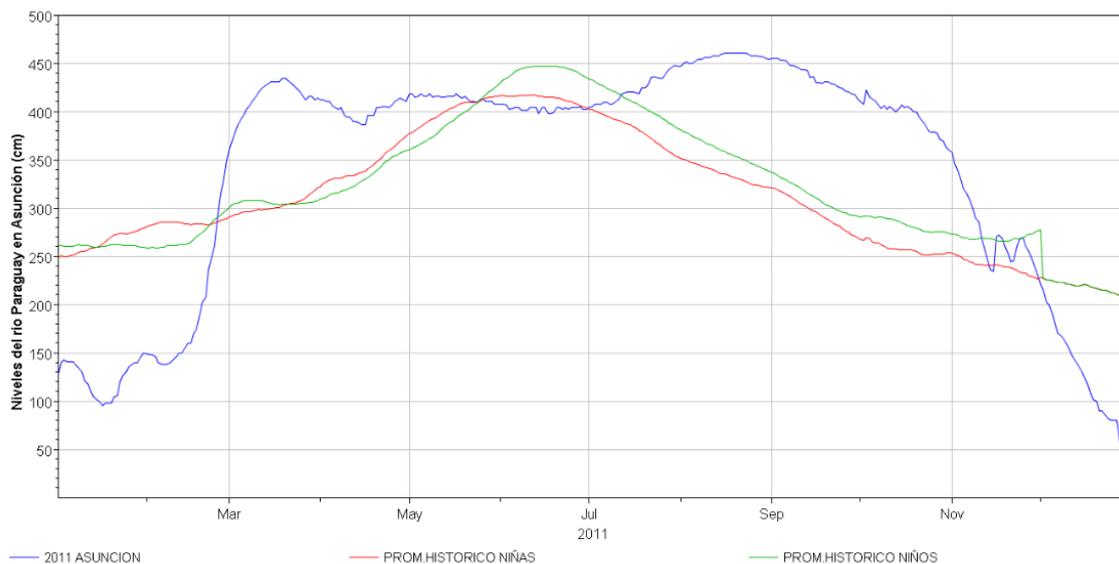
Fuente: elaboración propia

Se tuvo previsiones con diferencias menores a 20 cm para 19 días.

## Parte II. Comprobar si el método funciona para años anteriores al 2018.

Años de prueba: 2011, 2015 y 2017.

### # Año 2011.



**Gráfico 21.** Curvas de nivel año 2011 y promedios históricos Niña y Niño.

Fuente: elaboración propia.

No se ve correlación gráfica a menos que el año describa una campana o al menos parte de ella. Junio es el mes que indica alguna correlación. Para comprobar numéricamente, se tomó 3 periodos, y se armó para cada uno una ecuación lineal.

- lm1 "2011-02-01" a "2011-04-30" para la previsión de mayo 2011.
- lm2 "2011-05-01" a "2011-07-31" para la previsión de agosto 2011.
- lm3 "2011-09-01" a "2011-11-30" para la previsión de diciembre 2011.

**Consideración:** Las tablas de forecasting que se presentan a continuación fueron dadas por el software libre “R”. En el capítulo 2 de Marco teórico se describe con detalle el contenido de la tabla de previsión de R. Este software se eligió por ser libre y por contar con paquetes estadísticos.

R es un entorno y lenguaje de programación con un enfoque al análisis estadístico. Se utilizó para las regresiones lineales y las previsiones.

Con las letras lm. Se indicarán los modelos de regresión lineal.

**lm1** considera desde "2011-02-01" a "2011-04-30", para la obtención de los coeficientes de la ecuación de regresión lineal para la previsión de mayo 2011.

**lm 1:** modelo de regresión lineal 1.

```
> lm1

call:
lm(formula = asun.niveles1 ~ phNiñal)

Coefficients:
(Intercept)      phNiñal
      -413.78         2.43
```

**Tabla 26.** Previsión mayo 2011 con el Caso A.

	registrado	Lo.80	diferencia	> forecast1	Point	Forecast	Lo 80	Hi 80	Lo 95	Hi 95
01/05/2011	418	390.17	27.83	1	505.8382	390.1679	621.5086	327.7896	683.8869	
02/05/2011	415	394.33	20.67	2	510.2127	394.3313	626.0942	331.8391	688.5863	
03/05/2011	416	398.95	17.05	3	515.0733	398.9512	631.1953	336.3293	693.8172	
04/05/2011	418	404.26	13.74	4	520.6629	404.2563	637.0695	341.4810	699.8448	
05/05/2011	416	409.78	6.22	5	526.4955	409.7833	643.2078	346.8431	706.1480	
06/05/2011	416	413.46	2.54	6	530.3840	413.4629	647.3050	350.4102	710.3578	
07/05/2011	418	417.83	0.17	7	535.0015	417.8274	652.1756	354.6381	715.3649	
08/05/2011	415	421.73	-6.73	8	539.1330	421.7277	656.5382	358.4138	719.8521	
09/05/2011	416	425.17	-9.17	9	542.7784	425.1655	660.3912	361.7396	723.8171	
10/05/2011	416	430.66	-14.66	10	548.6110	430.6589	666.5632	367.0501	730.1720	
11/05/2011	415	435.00	-20.00	11	553.2285	435.0016	671.4554	371.2447	735.2124	
12/05/2011	415	438.43	-23.43	12	556.8739	438.4263	675.3216	374.5503	739.1976	
13/05/2011	416	442.76	-26.76	13	561.4915	442.7595	680.2235	378.7301	744.2528	
14/05/2011	416	445.95	-29.95	14	564.8938	445.9489	683.8388	381.8047	747.9830	
15/05/2011	416	448.91	-32.91	15	568.0532	448.9079	687.1985	384.6557	751.4507	
16/05/2011	418	452.32	-34.32	16	571.6986	452.3191	691.0781	387.9406	755.4567	
17/05/2011	416	456.86	-40.86	17	576.5592	456.8623	696.2560	392.3126	760.8057	
18/05/2011	414	458.22	-44.22	18	578.0173	458.2241	697.8105	393.6225	762.4122	
19/05/2011	416	460.49	-44.49	19	580.4476	460.4927	700.4025	395.8038	765.0913	
20/05/2011	412	461.17	-49.17	20	581.1767	461.1730	701.1804	396.4578	765.8955	
21/05/2011	410	461.85	-51.85	21	581.9058	461.8531	701.9584	397.1116	766.6999	
				22	581.6627	461.6264	701.6990	396.8937	766.4318	
				23	580.9336	460.9462	700.9211	396.2398	765.6275	
				24	583.6069	463.4397	703.7742	398.6363	768.5776	
				25	589.4396	468.8740	710.0052	403.8558	775.0234	
				26	590.8978	470.2313	711.5643	405.1587	776.6369	
				27	593.8141	472.9443	714.6838	407.7621	779.8660	
				28	594.0571	473.1703	714.9439	407.9790	780.1353	
				29	595.2722	474.3001	716.2444	409.0627	781.4818	
				30	596.4874	475.4296	717.5452	410.1459	782.8288	
				31	597.7025	476.5586	718.8464	411.2286	784.1764	

Fuente: elaboración propia (izq), R (derecha)

Se puede ver que las previsiones podrían considerarse como buenas, dentro de los  $\pm 20$  cm aproximadamente para los 11 primeros días, exceptuando el primero.

El 30/04/2011 el valor real registrado fue de 418 cm, por eso se tomaron los valores correspondientes a **Lo80**.

Para interpretar Lo y Hi, ver apartado 2.9. Intervalos de confianza del capítulo 2.

**lm2** Considera desde "2011-05-01" a "2011-07-31", para la obtención de los parámetros de la ecuación de regresión lineal para la previsión de agosto 2011.

```
> lm2
call:
lm(formula = asun.niveles3 ~ phNiña3)

Coefficients:
(Intercept)      phNiña3
    651.5935      -0.5982
```

**Tabla 27.** Previsión agosto 2011 con Niña/o.

	valor real					> forecast2						
	registrado	Forecast	dif.	Hi80	dif.	Point	Forecast	Lo 80	Hi 80	Lo 95	Hi 95	
	1	450	441.88	8.12	448.46	1.54	1	441.8808	435.2973	448.4644	431.7492	452.0125
	2	451	442.72	8.28	449.32	1.68	2	442.7182	436.1200	449.3165	432.5640	452.8725
	3	450	443.74	6.26	450.35	-0.35	3	443.7351	437.1185	450.3517	433.5525	453.9177
	4	450	444.21	5.79	450.84	-0.84	4	444.2136	437.5882	450.8391	434.0174	454.4098
	5	452	444.69	7.31	451.33	0.67	5	444.6922	438.0577	451.3266	434.4822	454.9021
	6	454	445.29	8.71	451.94	2.06	6	445.2903	438.6445	451.9361	435.0628	455.5178
	7	454	446.19	7.81	452.85	1.15	7	446.1875	439.5243	452.8508	435.9332	456.4419
	8	456	446.85	9.15	453.52	2.48	8	446.8455	440.1691	453.5219	436.5710	457.1200
	9	456	447.32	8.68	454.01	1.99	9	447.3240	440.6380	454.0100	437.0347	457.6134
	10	456	447.92	8.08	454.62	1.38	10	447.9222	441.2239	454.6204	437.6140	458.2304
	11	458	448.52	9.48	455.23	2.77	11	448.5203	441.8097	455.2310	438.1930	458.8477
	12	458	449.54	8.46	456.27	1.73	12	449.5372	442.8050	456.2694	439.1767	459.8977
	13	458	450.37	7.63	457.13	0.88	13	450.3746	443.6242	457.1250	439.9861	460.7631
	14	459	450.91	8.09	457.68	1.32	14	450.9130	444.1507	457.6752	440.5062	461.3197
ago-11	15	460	451.09	8.91	457.86	2.14	15	451.0924	444.3261	457.8587	440.6795	461.5053
	16	460	451.75	8.25	458.53	1.47	16	451.7504	444.9693	458.5314	441.3148	462.1860
	17	460	452.89	7.11	459.69	0.31	17	452.8869	446.0798	459.6939	442.4112	463.3625
	18	460	453.31	6.69	460.12	-0.12	18	453.3056	446.4887	460.1224	442.8149	463.7963
	19	460	453.66	6.34	460.49	-0.49	19	453.6645	446.8392	460.4897	443.1608	464.1681
	20	460	454.26	5.74	461.10	-1.10	20	454.2626	447.4231	461.1021	443.7371	464.7881
	21	460	455.04	4.96	461.90	-1.90	21	455.0402	448.1820	461.8984	444.4859	465.5946
	22	460	455.64	4.36	462.51	-2.51	22	455.6384	448.7656	462.5112	445.0615	466.2152
	23	459	456.66	2.34	463.55	-4.55	23	456.6552	449.7572	463.5533	446.0396	467.2709
	24	458	457.31	0.69	464.23	-6.23	24	457.3132	450.3986	464.2278	446.6720	467.9544
	25	458	457.79	0.21	464.72	-6.72	25	457.7917	450.8649	464.7186	447.1317	468.4517
	26	458	458.21	-0.21	465.15	-7.15	26	458.2104	451.2728	465.1480	447.5339	468.8870
	27	457	458.75	-1.75	465.70	-8.70	27	458.7488	451.7972	465.7003	448.0507	469.4468
	28	457	459.11	-2.11	466.07	-9.07	28	459.1077	452.1467	466.0686	448.3952	469.8202
	29	455	459.11	-4.11	466.07	-11.07	29	459.1077	452.1467	466.0686	448.3952	469.8202
	30	454	459.59	-5.59	466.56	-12.56	30	459.5862	452.6126	466.5598	448.8543	470.3181
	31	455	459.83	-4.83	466.81	-11.81	31	459.8254	452.8455	466.8054	449.0838	470.5671

Fuente: elaboración propia (izq), R (derecha).

Para agosto, las diferencias entre lo real registrado y las previsiones fueron todas por debajo de los 13 cm. Para las previsiones, R establece el nivel confianza en 80% y 95%. Fijándonos en el último valor del mes anterior al de previsión, 31/07/2011: 447 cm, se tomaron los valores dados por **Hi80**, que corresponde al límite superior para el nivel de confianza en 80%.

**lm3** considera desde "2011-09-01" a "2011-11-30", para la obtención de los coeficientes de la ecuación de regresión lineal para la previsión de diciembre 2011.

```
lm3
Call:
lm(formula = asun.niveles3 ~ phNiña3)

Coefficients:
(Intercept)      phNiña3
      -266.65         2.41
```

**Tabla 28.** Previsión de diciembre 2011. Con Niña/o.

valor real registrado	lm3		> forecast.dic.					
	Lo95	diferencia	Point	Forecast	Lo 80	Hi 80	Lo 95	Hi 95
01/12/2011	216	202.8	1	280.1138	229.8945	330.3331	202.8239	357.4037
02/12/2011	202	199.6	2	276.9812	226.7198	327.2425	199.6265	354.3358
03/12/2011	200	198.6	3	276.0173	225.7427	326.2919	198.6423	353.3923
04/12/2011	190	197.4	4	274.8125	224.5211	325.1038	197.4117	352.2132
05/12/2011	180	194.5	5	271.9208	221.5885	322.2532	194.4569	349.3847
06/12/2011	170	193.7	6	271.1979	220.8551	321.5407	193.7179	348.6779
07/12/2011	167	192	7	269.5111	219.1437	319.8786	191.9932	347.0290
08/12/2011	164	191.8	8	269.2701	218.8991	319.6411	191.7467	346.7935
09/12/2011	158	188.8	9	266.3785	215.9642	316.7928	188.7884	343.9686
10/12/2011	152	187.3	10	264.9327	214.4962	315.3691	187.3085	342.5568
11/12/2011	146	185.3	11	263.0049	212.5385	313.4713	185.3347	340.6751
12/12/2011	141	183.4	12	261.0771	210.5803	311.5740	183.3600	338.7943
13/12/2011	136	183.6	13	261.3181	210.8251	311.8112	183.6069	339.0293
14/12/2011	130	186.6	14	264.2098	213.7621	314.6574	186.5684	341.8511
15/12/2011	124	187.6	15	265.1736	214.7409	315.6064	187.5552	342.7921
16/12/2011	118	185.3	16	263.0049	212.5385	313.4713	185.3347	340.6751
17/12/2011	108	182.4	17	260.1133	209.6009	310.6256	182.3724	337.8542
18/12/2011	101	178.7	18	256.4987	205.9273	307.0701	178.6669	334.3305
19/12/2011	100	177.2	19	255.0529	204.4573	305.6484	177.1839	332.9219
20/12/2011	90	174	20	251.9203	201.2713	302.5692	173.9691	329.8714
			21	250.9564	200.2908	301.6220	172.9795	328.9332
			22	250.9564	200.2908	301.6220	172.9795	328.9332
			23	248.0647	197.3482	298.7812	170.0096	326.1199
			24	243.9682	193.1776	294.7588	165.7991	322.1374
			25	244.4502	193.6684	295.2319	166.2946	322.6058
			26	240.1127	189.2502	290.9752	161.8329	318.3926
			27	237.7030	186.7945	288.6115	159.3524	316.0536
			28	237.4620	186.5489	288.3752	159.1043	315.8198
			29	239.1488	188.2680	290.0296	160.8408	317.4568
			30	240.3537	189.4957	291.2116	162.0809	318.6265

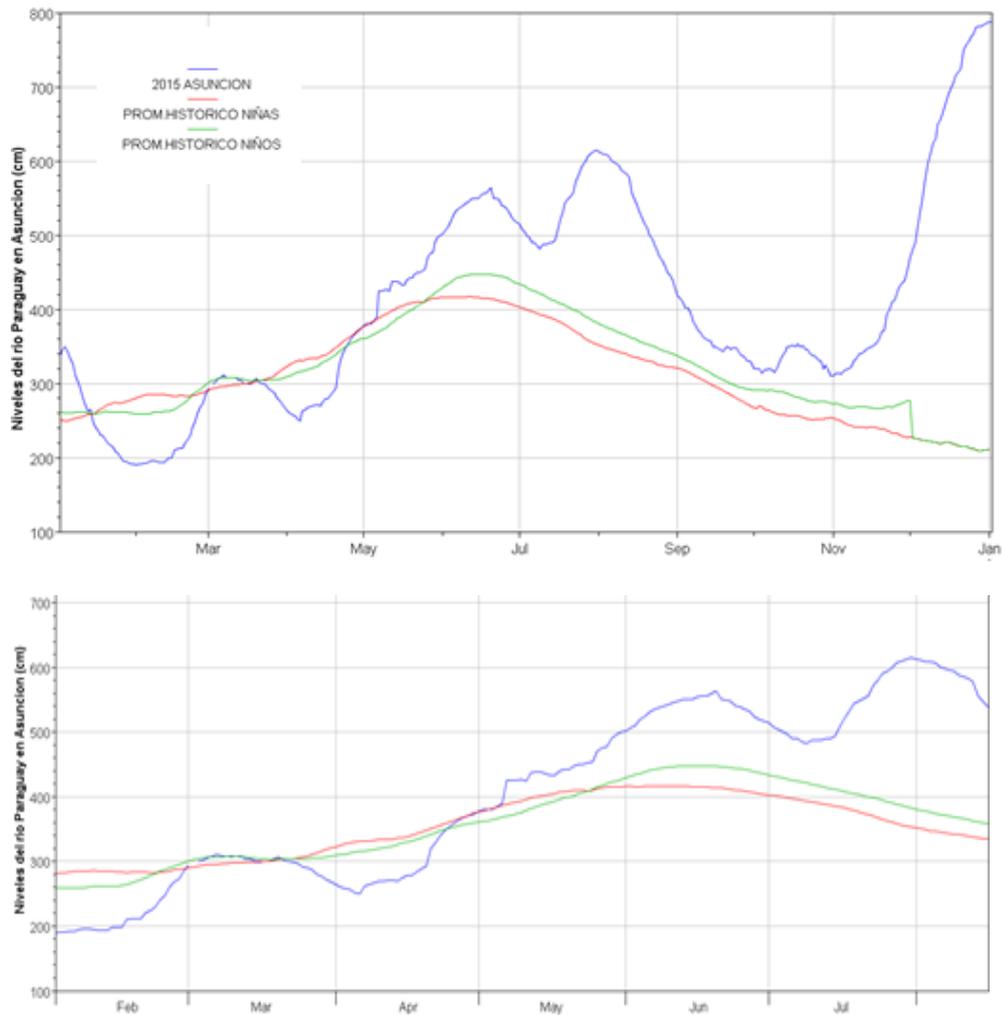
Fuente: elaboración propia (izq), R (derecha)

Fijándonos en el último valor del mes anterior al de previsión, el 30/11/2011: 221cm se tomaron los valores dados por **Lo95**.

Para diciembre, los valores previstos son buenos (dentro de los  $\pm 20$  cm de diferencia entre el real registrado y la previsión) los primeros 5 días. Luego el error va aumentando acercándose a 1m.

# Año 2015.

Gráficamente se observa correlación en marzo, mayo, junio y parte de setiembre.



**Gráfico 22.** Niveles de Asunción, año 2015 y los promedios históricos Niña y Niño.

Fuente: elaboración propia.

Se tomaron los meses de febrero, marzo y abril para hacer la previsión de mayo.

**Tabla 29.** Previsión mayo 2015.

	valor real	forecasting R	dif	Hi80 R	dif
01/05/2015	380	367.18	12.82	396.48	-16.48
02/05/2015	380	368.96	11.04	398.28	-18.28
03/05/2015	385	371.7	13.3	401.07	-16.07
04/05/2015	390	374.45	15.55	403.86	-13.86
05/05/2015	425	377.52	47.48	406.98	18.02
06/05/2015	425	380.27	44.73	409.78	15.22
07/05/2015	426	383.02	42.98	412.57	13.43
08/05/2015	427	386.09	40.91	415.7	11.3
09/05/2015	424	389	35	418.66	5.34
10/05/2015	437	394.49	42.51	424.25	12.75
11/05/2015	438	399.18	38.82	429.03	8.97
12/05/2015	438	403.54	34.46	433.48	4.52
13/05/2015	436	407.9	28.1	437.94	-1.94
14/05/2015	433	411.46	21.54	441.57	-8.57
15/05/2015	433	414.37	18.63	444.54	-11.54
16/05/2015	440	417.76	22.24	448.01	-8.01
17/05/2015	442	422.45	19.55	452.8	-10.8
18/05/2015	442	425.68	16.32	456.11	-14.11
19/05/2015	447	428.59	18.41	459.09	-12.09
20/05/2015	450	431.34	18.66	461.9	-11.9
21/05/2015	450	436.02	13.98	466.7	-16.7
22/05/2015	452	439.9	12.1	470.68	-18.68
23/05/2015	454	443.3	10.7	474.16	-20.16
24/05/2015	470	447.82	22.18	478.8	-8.8
25/05/2015	476	452.99	23.01	484.11	-8.11
26/05/2015	477	456.87	20.13	488.1	-11.1
27/05/2015	490	461.56	28.44	492.91	-2.91
28/05/2015	497	464.95	32.05	496.4	0.6
29/05/2015	500	468.83	31.17	500.39	-0.39
30/05/2015	502	472.87	29.13	504.55	-2.55
31/05/2015	507	476.75	30.25	508.55	-1.55

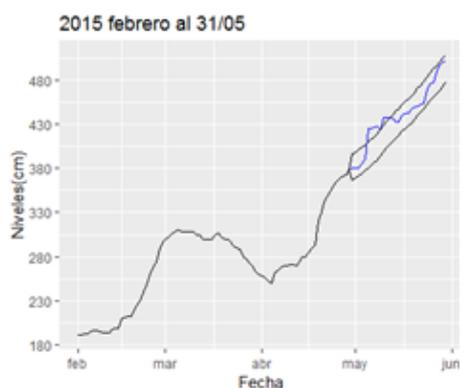
  

> forecastMayo2015					
Point	Forecast	Lo 80	Hi 80	Lo 95	Hi 95
1	367.1800	337.8830	396.4770	322.0838	412.2762
2	368.9577	339.6337	398.2817	323.8200	414.0954
3	371.7050	342.3384	401.0716	326.5017	416.9083
4	374.4523	345.0420	403.8626	329.1817	419.7229
5	377.5228	348.0622	406.9833	332.1749	422.8707
6	380.2701	350.7634	409.7768	334.8511	425.6891
7	383.0174	353.4634	412.5714	337.5257	428.5091
8	386.0879	356.4798	415.6960	340.5128	431.6630
9	388.9968	359.3361	418.6575	343.3408	434.6528
10	394.4914	364.7280	424.2549	348.6773	440.3056
11	399.1780	369.3235	429.0325	353.2237	445.1324
12	403.5414	373.5992	433.4835	357.4521	449.6306
13	407.9047	377.8722	437.9373	361.6764	454.1331
14	411.4601	381.3519	441.5682	365.1153	457.8049
15	414.3690	384.1976	444.5403	367.9269	460.8111
16	417.7627	387.5161	448.0093	371.2049	464.3206
17	422.4493	392.0962	452.8024	375.7275	469.1711
18	425.6814	395.2531	456.1097	378.8439	472.5190
19	428.5903	398.0931	459.0875	381.6467	475.5339
20	431.3376	400.7743	461.9009	384.2922	478.3830
21	436.0242	405.3457	466.7027	388.8016	483.2468
22	439.9028	409.1268	470.6787	392.5301	487.2754
23	443.2965	412.4336	474.1594	395.7900	490.8030
24	447.8215	416.8403	478.8026	400.1329	495.5100
25	452.9928	421.8734	484.1123	405.0914	500.8943
26	456.8714	425.6459	488.0969	408.8067	504.9360
27	461.5580	430.2019	492.9141	413.2923	509.8237
28	464.9517	433.4993	496.4041	416.5378	513.3656
29	468.8302	437.2661	500.3944	420.2442	517.4162
30	472.8704	441.1878	504.5530	424.1022	521.6386
31	476.7489	444.9509	508.5470	427.8029	525.6950

Fuente: elaboración propia (izq), R (derecha)

```
> lm
Call:
lm(formula = asun.niveles ~ phniño)

Coefficients:
(Intercept)      phniño
    -217.511         1.616
```



**Gráfico 23.** Previsión mayo 2015 con Niña/o.

Fuente: elaboración propia con R.

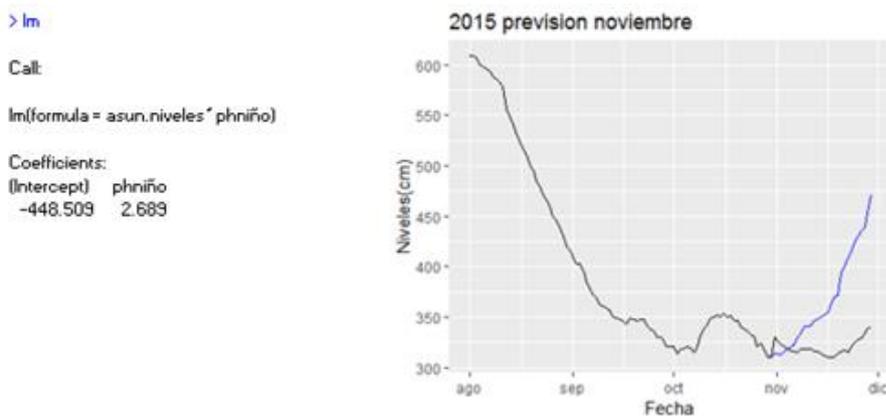
En el gráfico 23 se ven 3 líneas, la azul corresponde a los niveles reales registrados, la línea superior a Hi80 y la inferior a la previsión de R (Forecast R). Se tiene prácticamente un mes de diferencias menores a los 20 cm.

Se tomó desde 1/08/2015 al 31/10/2015 para hacer la previsión de noviembre.

**Tabla 30.** Previsión noviembre 2015, con Niña/o.

	real	Hi 80	diferencia	> forecast
01/11/2015	314	330.0304	-16.03	Point Forecast Lo 80 Hi 80 Lo 95 Hi 95
02/11/2015	312	326.8261	-14.83	1 286.2419 242.4533 330.0304 218.8540 353.6298
03/11/2015	316	322.5547	-6.555	2 283.0146 239.2030 326.8261 215.5913 350.4378
04/11/2015	318	320.4193	-2.419	3 278.7115 234.8683 322.5547 211.2396 346.1834
05/11/2015	320	318.2842	1.7158	4 276.5600 232.7006 320.4193 209.0631 344.0568
06/11/2015	322	315.349	6.651	5 274.4084 230.5326 318.2842 206.8862 341.9306
07/11/2015	330	315.349	14.651	6 271.4500 227.5511 315.3490 203.8923 339.0078
08/11/2015	334	314.5485	19.452	7 271.4500 227.5511 315.3490 203.8923 339.0078
09/11/2015	340	318.0174	21.983	8 270.6432 226.7379 314.5485 203.0757 338.2108
10/11/2015	340	318.5511	21.449	9 274.1395 230.2616 318.0174 206.6141 341.6649
11/11/2015	342	318.0174	23.983	10 274.6774 230.8036 318.5511 207.1584 342.1964
12/11/2015	346	318.0174	27.983	11 274.1395 230.2616 318.0174 206.6141 341.6649
13/11/2015	348	316.1494	31.851	12 274.1395 230.2616 318.0174 206.6141 341.6649
14/11/2015	350	315.349	34.651	13 272.2569 228.3643 316.1494 204.7089 339.8048
15/11/2015	352	312.9477	39.052	14 271.4500 227.5511 315.3490 203.8923 339.0078
16/11/2015	355	310.8136	44.186	15 269.0296 225.1114 312.9477 201.4422 336.6169
17/11/2015	361	310.0134	50.987	16 266.8780 222.9424 310.8136 199.2639 334.4922
18/11/2015	370	310.2801	59.72	17 266.0712 222.1290 310.0134 198.4469 333.6955
19/11/2015	371	309.7466	61.253	18 266.3401 222.4002 310.2801 198.7192 333.9610
20/11/2015	394	312.9477	81.052	19 265.8023 221.8579 309.7466 198.1746 333.4299
21/11/2015	400	315.8826	84.117	20 269.0296 225.1114 312.9477 201.4422 336.6169
22/11/2015	410	316.95	93.05	21 271.9879 228.0933 315.8826 204.4367 339.5391
23/11/2015	413	315.0821	97.918	22 273.0637 229.1774 316.9500 205.5255 340.6019
24/11/2015	424	319.0849	104.92	23 271.1811 227.2801 315.0821 203.6201 338.7421
25/11/2015	430	323.8894	106.11	24 275.2152 231.3456 319.0849 207.7026 342.7279
26/11/2015	435	327.8942	107.11	25 280.0562 236.2230 323.8894 212.5997 347.5127
27/11/2015	439	329.2293	109.77	26 284.0903 240.2865 327.8942 216.6790 351.5017
28/11/2015	453	333.2354	119.76	27 285.4351 241.6408 329.2293 218.0384 352.8317
29/11/2015	470	338.5782	131.42	28 289.4692 245.7030 333.2354 222.1158 356.8226
30/11/2015	480	340.7159	139.28	29 294.8480 251.1178 338.5782 227.5500 362.1461
				30 296.9996 253.2833 340.7159 229.7229 364.2762

Fuente: elaboración propia (izq), R (derecha)

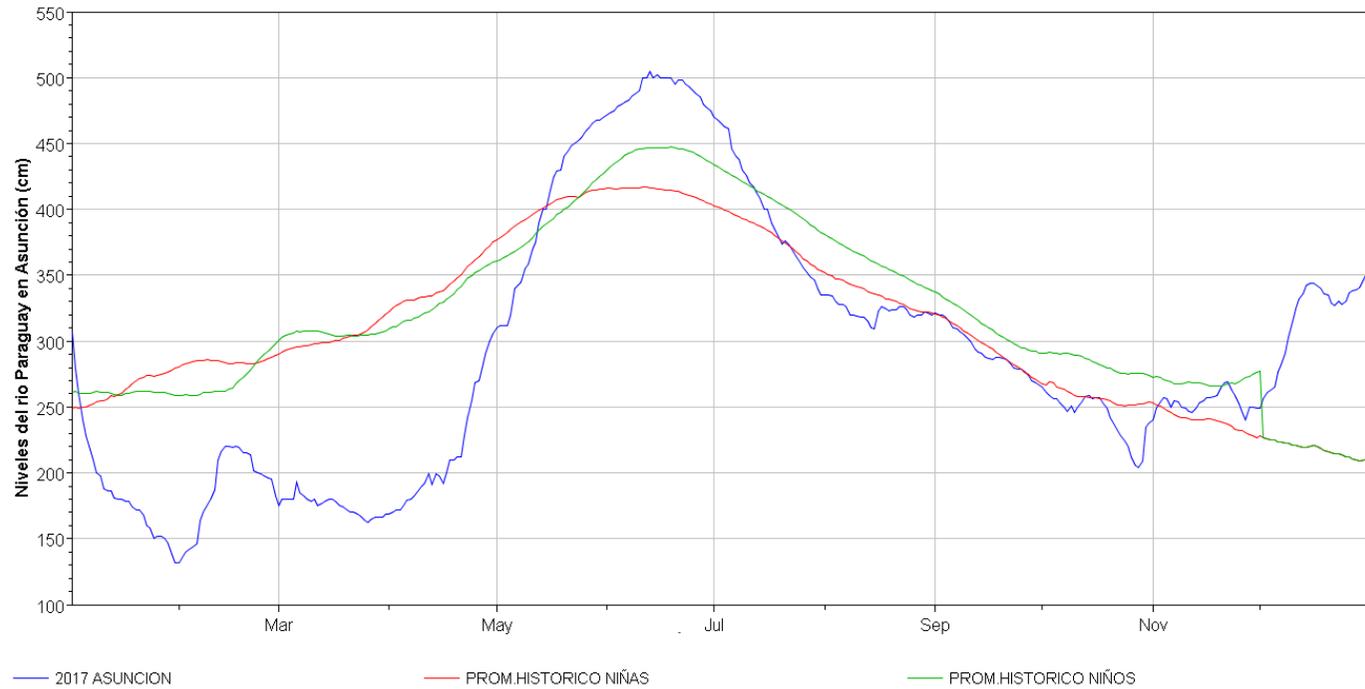


**Gráfico 24.** Previsión noviembre 2015, con Niña/o.

Fuente: elaboración propia.

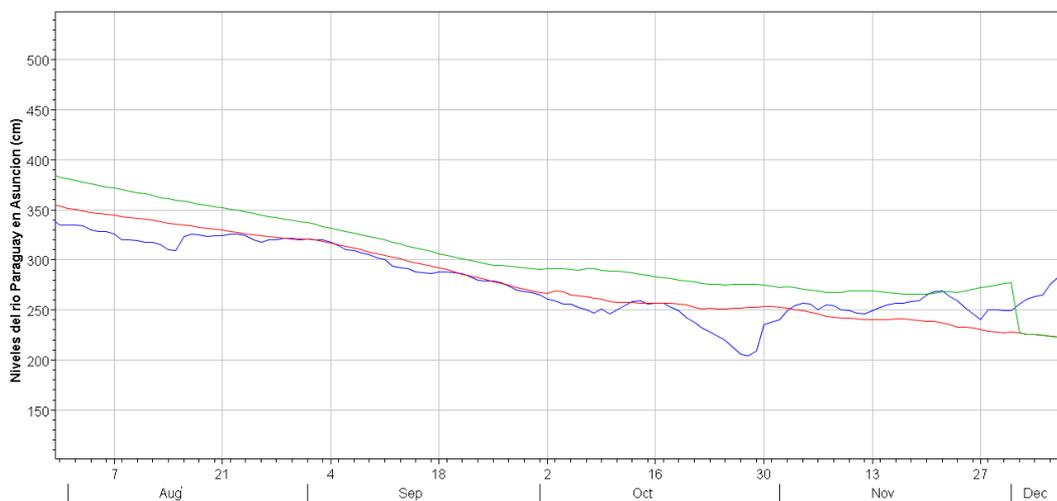
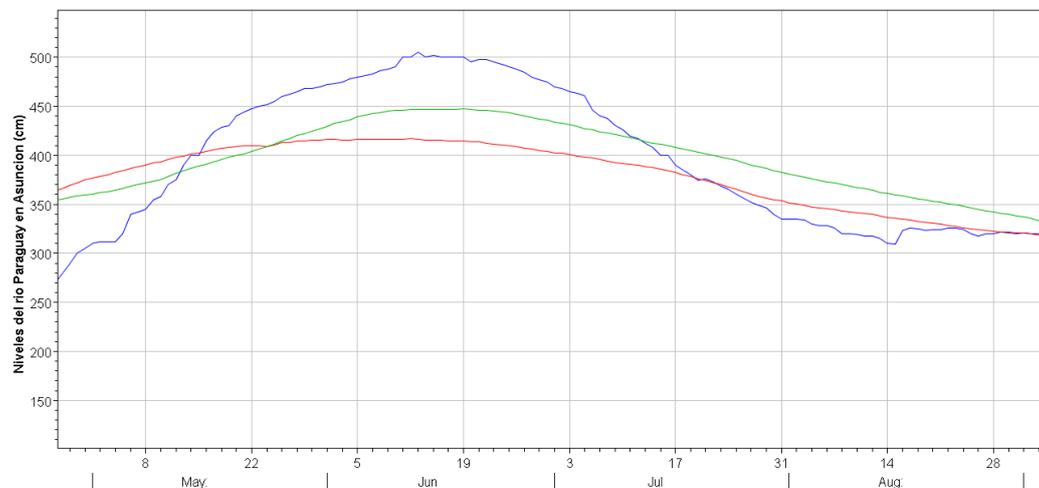
La previsión se encuentra en azul. La previsión se encuentra dentro de los  $\pm 20$  cm hasta los 8 primeros días

# Año 2017.



**Gráfico 25.** Año 2015 y los promedios históricos Niña y Niño.

Fuente: elaboración propia con R.



**Gráfico 26.** Zoom del gráfico 25.

Fuente: elaboración propia con R.

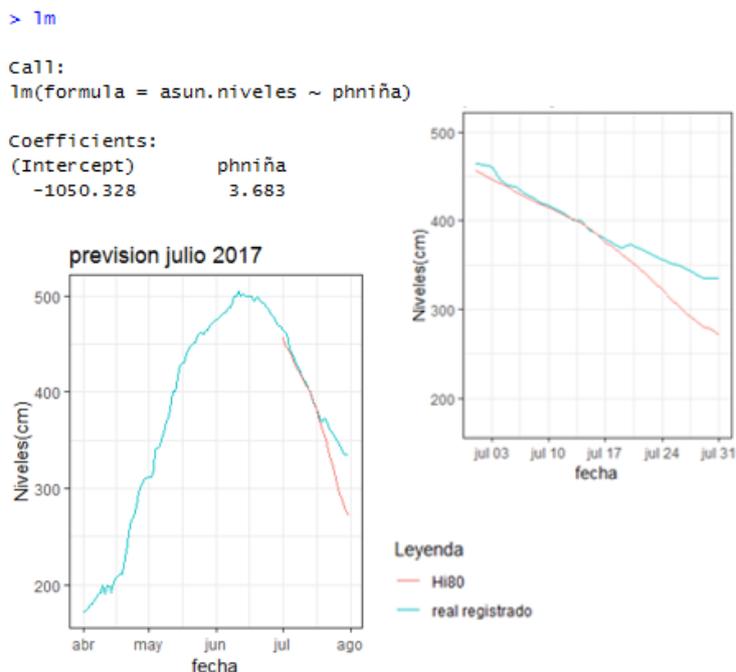
**Se tomó abril, mayo y junio para hacer la previsión para julio.**

Se tienen 20 días de previsión con diferencias menores a 20cm.

**Tabla 31.** Previsión julio 2017 con Niña/o.

	real	Hi80	diferencia	> forecast
01/07/2017	465	456.36	8.64	Point Forecast Lo 80 HÍ 80 Lo 95 HÍ 95
02/07/2017	463	451.20	11.80	1 430.3089 404.2550 456.3628 390.2136 470.4043
03/07/2017	461	446.41	14.59	2 425.1525 399.1042 451.2007 385.0658 465.2391
04/07/2017	446	442.35	3.65	3 420.3643 394.3209 446.4078 380.2851 460.4436
05/07/2017	440	437.93	2.07	4 416.3129 390.2730 442.3527 376.2392 456.3865
06/07/2017	438	432.40	5.60	5 411.8930 385.8568 437.9292 371.8249 451.9611
07/07/2017	430	427.98	2.02	6 406.3683 380.3360 432.4005 366.3062 446.4303
08/07/2017	426	422.45	3.55	7 401.9485 375.9189 427.9780 361.8906 442.0064
09/07/2017	420	418.40	1.60	8 396.4237 370.3969 422.4505 356.3701 436.4773
10/07/2017	417	414.34	2.66	9 392.3722 366.3471 418.3973 352.3211 432.4233
11/07/2017	412	411.03	0.97	10 388.3207 362.2969 414.3445 348.2716 428.3698
12/07/2017	408	405.87	2.13	11 385.0059 358.9828 411.0289 344.9580 425.0537
13/07/2017	400	402.19	-2.19	12 379.8494 353.8272 405.8716 339.8028 419.8960
14/07/2017	400	397.40	2.60	13 376.1662 350.1442 402.1882 336.1200 416.2125
15/07/2017	390	391.51	-1.51	14 371.3781 345.3560 397.4002 331.3317 411.4245
16/07/2017	385	384.51	0.49	15 365.4850 339.4621 391.5079 325.4374 405.5327
17/07/2017	380	376.04	3.96	16 358.4870 332.4622 384.5118 318.4364 398.5375
18/07/2017	374	370.15	3.85	17 350.0157 323.9872 376.0441 309.9595 390.0719
19/07/2017	369	362.06	6.94	18 344.1226 318.0907 370.1545 304.0611 384.1841
20/07/2017	373	355.07	17.93	19 336.0196 309.9818 362.0574 295.9491 376.0901
21/07/2017	369	346.97	22.03	20 329.0216 302.9776 355.0659 288.9415 369.1016
22/07/2017	365	338.88	26.12	21 320.9186 294.8662 346.9710 280.8255 361.0116
23/07/2017	360	330.05	29.95	22 312.8156 286.7534 338.8778 272.7074 352.9237
24/07/2017	356	321.96	34.04	23 303.9760 277.9015 330.0504 263.8490 344.1030
25/07/2017	352	311.67	40.33	24 295.8730 269.7858 321.9601 255.7265 336.0195
26/07/2017	349	303.58	45.42	25 285.5601 259.4549 311.6653 245.3858 325.7344
27/07/2017	346	295.12	50.88	26 277.4571 251.3362 303.5780 237.2586 317.6556
28/07/2017	340	288.51	51.49	27 268.9858 242.8469 295.1246 228.7597 309.2119
29/07/2017	335	281.16	53.84	28 262.3561 236.2022 288.5100 222.1068 302.6053
				29 254.9897 228.8180 281.1614 214.7131 295.2663
				30 251.6749 225.4948 277.8549 211.3854 291.9643
				31 244.6768 218.4784 270.8753 204.3591 284.9946

Fuente: elaboración propia (izq), R (derecha).



**Gráfico 27.** Previsión julio 2017 con el caso A.

Fuente: elaboración propia con R.

Previsión de diciembre 2017.

En el Gráfico 25 se puede ver que desde noviembre la curva de 2017 tiende más a subir, mientras que las curvas de los promedios históricos tienden a descender.

**Tabla 32.** Previsiones para noviembre 2017 con R.

registrado prom.niña			> forecast					
			Point	Forecast	Lo 80	Hi 80	Lo 95	Hi 95
01/11/2017	254	251.8	1	236.0093	222.5992	249.4195	215.3054	256.7133
02/11/2017	257	250.3	2	234.1650	220.7388	247.5912	213.4363	254.8937
03/11/2017	250	249.2	3	232.8124	219.3739	246.2510	212.0646	253.5602
04/11/2017	250	247.3	4	230.4762	217.0151	243.9374	209.6935	251.2589
05/11/2017	255	245.6	5	228.3859	214.9033	241.8686	207.5700	249.2019
06/11/2017	254	243.9	6	226.2957	212.7902	239.8011	205.4446	247.1467
07/11/2017	250	242.9	7	225.0661	211.5467	238.5855	204.1935	245.9387
08/11/2017	249	241.6	8	223.4676	209.9294	237.0058	202.5660	244.3692
09/11/2017	247	241.6	9	223.4676	209.9294	237.0058	202.5660	244.3692
10/11/2017	246	241.2	10	222.9758	209.4317	236.5199	202.0651	243.8865
11/11/2017	249	240.5	11	222.1151	208.5605	235.6697	201.1881	243.0421
12/11/2017	253	240.5	12	222.1151	208.5605	235.6697	201.1881	243.0421
13/11/2017	255	240.4	13	221.9921	208.4360	235.5483	201.0628	242.9215
14/11/2017	257	240.5	14	222.1151	208.5605	235.6697	201.1881	243.0421
15/11/2017	257	241.3	15	223.0988	209.5561	236.6414	202.1903	244.0072
16/11/2017	258	240.7	16	222.3610	208.8094	235.9126	201.4387	243.2833
17/11/2017	259	240.0	17	221.5003	207.9380	235.0626	200.5615	242.4391
18/11/2017	265	239.2	18	220.5166	206.9419	234.0913	199.5586	241.4746
19/11/2017	268	238.8	19	220.0248	206.4438	233.6058	199.0570	240.9926
20/11/2017	269	238.2	20	219.2871	205.6964	232.8777	198.3045	240.2696
21/11/2017	263	236.8	21	217.5656	203.9520	231.1793	196.5475	238.5837
22/11/2017	259	235.2	22	215.5983	201.9574	229.2392	194.5381	236.6585
			23	213.1392	199.4627	226.8156	192.0240	234.2543
			24	212.2785	198.5891	225.9678	191.1435	233.4134
			25	212.0325	198.3395	225.7256	190.8919	233.1732
			26	209.5734	195.8424	223.3043	188.3741	230.7726
			27	208.0979	194.3434	221.8524	186.8623	229.3334
			28	206.4994	192.7188	220.2801	185.2235	227.7754
			29	205.1469	191.3436	218.9502	183.8360	226.4578

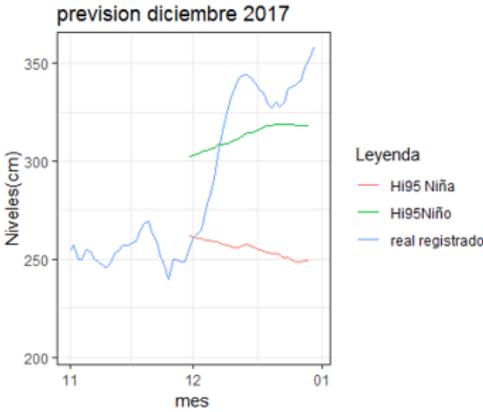
Fuente: elaboración propia (izq), R (derecha).

Todos las previsiones tienden a descender para noviembre, y los valores reales de noviembre 2017 crecen, entonces para diciembre se tomó los valores del pronóstico de Hi95, considerando que son los más altos y tratando de disminuir el error.

**Tabla 33.** Previsión de diciembre con R.

	real	Hi95 Niña	diferencia	Hi95 Niño	diferencia
01/12/2017	261	262.28	-1.28	302.22	-41.22
02/12/2017	263	261.28	1.72	303.02	-40.02
03/12/2017	265	260.97	4.03	303.74	-38.74
04/12/2017	276	260.59	15.41	304.93	-28.93
05/12/2017	282	259.66	22.34	305.41	-23.41
06/12/2017	291	259.43	31.57	306.29	-15.29
07/12/2017	303	258.9	44.1	306.85	-3.85
08/12/2017	315	258.82	56.18	308.29	6.71
09/12/2017	325	257.9	67.1	308.37	16.63
10/12/2017	332	257.44	74.56	309.09	22.91
11/12/2017	338	256.82	81.18	309.57	28.43
12/12/2017	342	256.21	85.79	310.78	31.22
13/12/2017	344	256.29	87.71	311.74	32.26
14/12/2017	344	257.21	86.79	313.26	30.74
15/12/2017	342	257.51	84.49	314.23	27.77
16/12/2017	340	256.82	83.18	314.79	25.21
17/12/2017	336	255.9	80.1	315.36	20.64
18/12/2017	335	254.76	80.24	316.48	18.52
19/12/2017	329	254.3	74.7	317.77	11.23
20/12/2017	327	253.3	73.7	318.09	8.91
21/12/2017	330	253	77	318.09	11.91
22/12/2017	328	253	75	318.98	9.02
23/12/2017	330	252.08	77.92	318.58	11.42
24/12/2017	337	250.78	86.22	318.58	18.42
25/12/2017	338	250.94	87.06	318.98	19.02
26/12/2017	339	249.56	89.44	318.66	20.34
27/12/2017	341	248.8	92.2	318.34	22.66
28/12/2017	347	248.73	98.27	318.01	28.99
29/12/2017	352	249.26	102.74	318.34	33.66
30/12/2017	358	249.64	108.36	318.18	39.82

Fuente: elaboración propia con los resultados de R.



**Gráfico 28.** Previsión de diciembre 2017 con Niña/o.

Fuente: elaboración propia con R.

Se probó relacionar con Niño y Niña. Podría decirse que con Niño se capta una mejor tendencia que con Niña.

Pero se pone difícil a la hora de elegir cuál tomar como previsión. Se eligió Niño ya que al menos captura mejor la tendencia, aunque los errores lleguen a 40 cm. Las previsiones con diferencias menores a 20 cm son solamente para 4 días con Niña.

Para este mes de noviembre este método de regresión lineal con entrada Niña/o no presentó buenos resultados.

El índice que se utilizó, el ONI clasifica a los años en Niña y Niño de acuerdo a las intensidades (débil, moderado, fuerte y muy fuerte).

Las previsiones expuestas en este trabajo consideraron ese índice para saber si la regresión se tenía que hacer con un promedio histórico de Niñas o Niños. Mismo también para armar estos promedios históricos.

### **Resultados.**

**Tabla 34.** Resumen de resultados de las previsiones con Niña/o.

ordenado por mes de prevision						
Año	Clasif.ONI	desde	hasta	prevision	rango error	días
2011	Niña	01/febrero.	30/abril.	mayo	entre ± 20 cm	11
2015	Niño	1/febrero.	30/abril.	mayo	< 21 cm	31 (mes completo)
2017	Niña	1/abril.	30/junio.	julio	< 20 cm	20 días
2011	Niña	01/mayo.	31/julio.	agosto	< 13 cm	30 (mes completo)
2018	Niña	13/mayo.	13/julio.	del 14/07 al 13/08	< 20 cm	31 días
2015	Niño	1/agosto.	31/octubre.	noviembre	< 20 cm	8 días
2011	Niña	01/setiembre.	30/noviembre.	diciembre	< 20 cm	5
2017	Niña	1/setiembre	30/noviembre.	diciembre	< 20 cm	4 días (con Niña)

Fuente: elaboración propia.

El último trimestre del año presenta más diferencia entre lo previsto y lo real registrado.

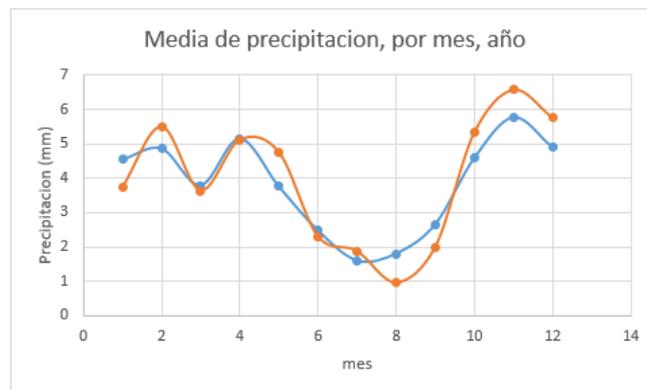
Podría deberse a que es este periodo el que más se ve influenciado por la precipitación.

A continuación se presenta una tabla que respalda esto. Más detalles en el apartado 3 del anexo.

**Tabla 35.** Media de precipitación en Asunción, por mes y por año.

ordenando de mayor a menor.			
	1960-2017		2000-2017
noviembre	5.77	noviembre	<b>6.57</b>
abril	5.15	diciembre	<b>5.76</b>
diciembre	4.9	febrero	<b>5.5</b>
febrero	4.86	octubre	<b>5.32</b>
octubre	4.58	abril	<b>5.11</b>
enero	4.54	mayo	4.76
marzo	3.79	enero	3.73
mayo	3.76	marzo	3.64
septiembre	2.65	junio	2.3
junio	2.48	septiembre	1.98
agosto	1.8	julio	1.87
julio	1.6	agosto	0.95

Fuente: elaboración propia.



**Gráfico 29.** Media de precipitación por mes, año.

Fuente: elaboración propia.

## 5.2. Caso B.

Previsión de niveles del río Paraguay en Asunción mediante la correlación con Concepción, una estación que se encuentra aguas arriba de Asunción.

### Correlaciones.

Para hacer las correlaciones entre dos estaciones se comenzó con la fecha en que ambas tienen datos, y se eliminaron aquellas fechas en las que a una de ellas o ambas les faltan datos. Para correlacionar las 4 estaciones, se comenzó con la fecha en que las cuatro estaciones tienen datos, y se eliminaron fechas en las que a una o más de ellas les faltan datos.

**Tabla 36.** Correlación de niveles hidrométricos de una estación con otra.

#### Correlación Asunción Concepción.

*Fecha de inicio:* 01/01/1911

```
> cor(asuncionConcepcionNiveles)
      niv.ASUN.  niv.CONCEP.
niv.ASUN.  1.0000000  0.9254797
niv.CONCEP. 0.9254797  1.0000000
```

#### Correlación Asunción-Bahía Negra.

*Fecha de inicio:* 01/01/1932

```
> cor(asuncionBahiaNegraNiveles)
      niv.ASUN.  niv.BN
niv.ASUN.  1.000000  0.798534
niv.BN     0.798534  1.000000
```

#### Correlación Asunción- Pilar.

*Fecha de inicio:* 01/01/1932

```
> cor(asuncionPilarNiveles)
      niv.ASUN.  niv.PILAR
niv.ASUN.  1.0000000  0.8899452
niv.PILAR  0.8899452  1.0000000
```

#### Correlación Concepción-Pilar.

*Fecha de inicio:* 01/01/1932

```
> cor(ConcepcionPilarNiveles)
      niv.CONCEP.  niv.PILAR
niv.CONCEP.  1.0000000  0.7774244
niv.PILAR    0.7774244  1.0000000
```

#### Correlación Bahía Negra-Pilar.

*Fecha de inicio:* 01/01/1932

```
> cor(BahiaNegraPilarNiveles)
      niv.BN  niv.PILAR
niv.BN  1.0000000  0.6465456
niv.PILAR 0.6465456  1.0000000
```

Fuente: elaboración propia

**Tabla 37.** Correlación de niveles hidrométricos, estaciones de Asunción-Concepción-Bahía Negra-Pilar.

Fecha de inicio: 01/01/1932

> cor(ASun\_Concep\_Bn\_Pilar\_Niveles)

	niv.ASUN.	Niv.CONCEP.	Niv.BN	Niv.PILAR
niv.ASUN.	1.0000000	0.9343063	0.8015391	0.8887367
Niv.CONCEP.	0.9343063	1.0000000	0.8888627	0.7772792
Niv.BN	0.8015391	0.8888627	1.0000000	0.6514219
Niv.PILAR	0.8887367	0.7772792	0.6514219	1.0000000

Fuente: elaboración propia

\*Estas correlaciones son diferentes a las hechas estación vs estación porque el periodo que se tomó es diferente. Al tener varias estaciones hay más posibilidades de eliminar más fechas porque si a una estación le faltan datos en una fecha, esa fecha se elimina para las otras 3 estaciones también. Entonces se manejaron cantidades de datos diferentes para este último cuadro de correlación que se muestra.

**Resumen:** Se tomaron 3 estaciones para ver la correlación con Asunción: Bahía Negra, Concepción y Pilar. Como Concepción es la que mejor correlación da con Asunción entonces las siguientes pruebas para previsión de niveles en Asunción se hicieron con Concepción.

Para ver el tiempo de traslado de la onda de Concepción hasta Asunción se realizaron dos pruebas para el siguiente periodo: 1979-1998, considerado de aguas altas ya que los niveles se encuentran en el rango de 2 a 7 metros, alcanzando picos de 8 y hasta casi 9 metros, incluida en este periodo la inundación de 1983.

Para el *caso#1*, se tomaron los siguientes tiempos de desfase: 1, 3, 5, 7, 9, 12, 15, 17 y 20 días. Cada uno de los 20 años de este periodo se probó desfasar con cada uno de estos tiempos de desfases. Ejemplo: para el año 1979 Asunción se desfasó 1, 3, 5, 7, 9, 12, 15, 17 y 20 días.

Lo mismo se realizó para los 20 años comprendidos en este periodo.

Para cada *t* de desfase se obtuvo un coeficiente de correlación.

Ejemplo de los resultados obtenidos para t=20:

1979		1980		1981		1982		
t=20		t=20		t=20		t=20		
	NC	NA		NC	NA		NC	NA
NC	1		NC	1		NC	1	
NA	0.95477	1	NA	0.93429	1	NA	0.43563	1

Tabla 38. Correlación Asunción-Concepción. 1979-88.

tiempo desfase Asunción	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
t=1	0.9115	0.9457	0.7595	0.9420	0.9550	0.8857	0.9684	0.8435	0.8938	0.9822
t=3	0.9234	0.9548	0.7428	0.9504	0.9665	0.8841	0.9752	0.8421	0.9063	0.9879
t=5	0.9335	0.9610	0.7207	0.9562	0.9738	0.8716	0.9808	0.8260	0.9076	0.9918
t=7	0.9417	0.9646	0.6931	0.9592	0.9763	0.8498	0.9846	0.7953	0.8981	0.9941
t=9	0.9479	0.9656	0.6605	0.9597	0.9739	0.8208	0.9864	0.7513	0.8799	0.9949
t=12	0.9541	0.9629	0.6058	0.9564	0.9626	0.7683	0.9850	0.6674	0.8433	0.9937
t=15	0.9572	0.9555	0.5446	0.9504	0.9436	0.7112	0.9789	0.5812	0.8019	0.9894
t=17	0.9575	0.9483	0.5005	0.9453	0.9277	0.6726	0.9725	0.5289	0.7714	0.9848
t=20	0.9548	0.9343	0.4356	0.9353	0.9019	0.6138	0.9599	0.4532	0.7216	0.9752

Fuente: elaboración propia.

Tabla 39. Correlación entre Asunción y Concepción. 1989 al 98.

tiempo desfase Asunción	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
t=1	0.9626	0.9494	0.9665	0.9513	0.8213	0.9007	0.8944	0.4634	0.8984	0.8638
t=3	0.9692	0.9527	0.9670	0.9636	0.8254	0.9111	0.9153	0.4751	0.8966	0.8844
t=5	0.9729	0.9527	0.9638	0.9728	0.8273	0.9152	0.9297	0.4802	0.8912	0.8991
t=7	0.9737	0.9489	0.9570	0.9788	0.8276	0.9132	0.9364	0.4785	0.8818	0.9071
t=9	0.9718	0.9419	0.9473	0.9815	0.8263	0.9059	0.9347	0.4721	0.8687	0.9074
t=12	0.9635	0.9283	0.9287	0.9792	0.8209	0.8868	0.9162	0.4523	0.8419	0.8941
t=15	0.9486	0.9121	0.9075	0.9698	0.8133	0.8587	0.8797	0.4188	0.8078	0.8658
t=17	0.9347	0.8997	0.8928	0.9597	0.8078	0.8359	0.8470	0.3891	0.7812	0.8405
t=20	0.9081	0.8781	0.8696	0.9394	0.7997	0.7966	0.7879	0.3371	0.7410	0.7959

Fuente: elaboración propia

Con esto se puede ver que los tiempos que dan mejor correlación entre las estaciones agua arriba (Concepción) y aguas abajo (Asunción) varían año a año.

Los  $t=1$  no tienen algo en común analizando la precipitación.

De Egea y Cazó (1998), en su estudio de crecidas del río Paraguay encontraron una ecuación con el tiempo de traslado óptimo para cada año y concluyeron que si el río alcanza un nivel tal que ha desbordado su cauce, inunda grandes superficies aledañas, produciéndose una atenuación de la onda de crecida y consecuentemente un retardo en su traslado. Es decir, cuanto mayor es el nivel hidrométrico del río, menor es el tiempo de traslado de la onda, y cuando los niveles de las aguas son menores, el traslado de la onda es más rápido al no existir las cuencas y esteros que acentúan el efecto de retención.

Pero los años que dieron  $t=1$  no son los de aguas más altas para el periodo analizado de 1979-98.

Cantidad de veces que cada  $t$  dio la mejor correlación en el periodo 1979-98:

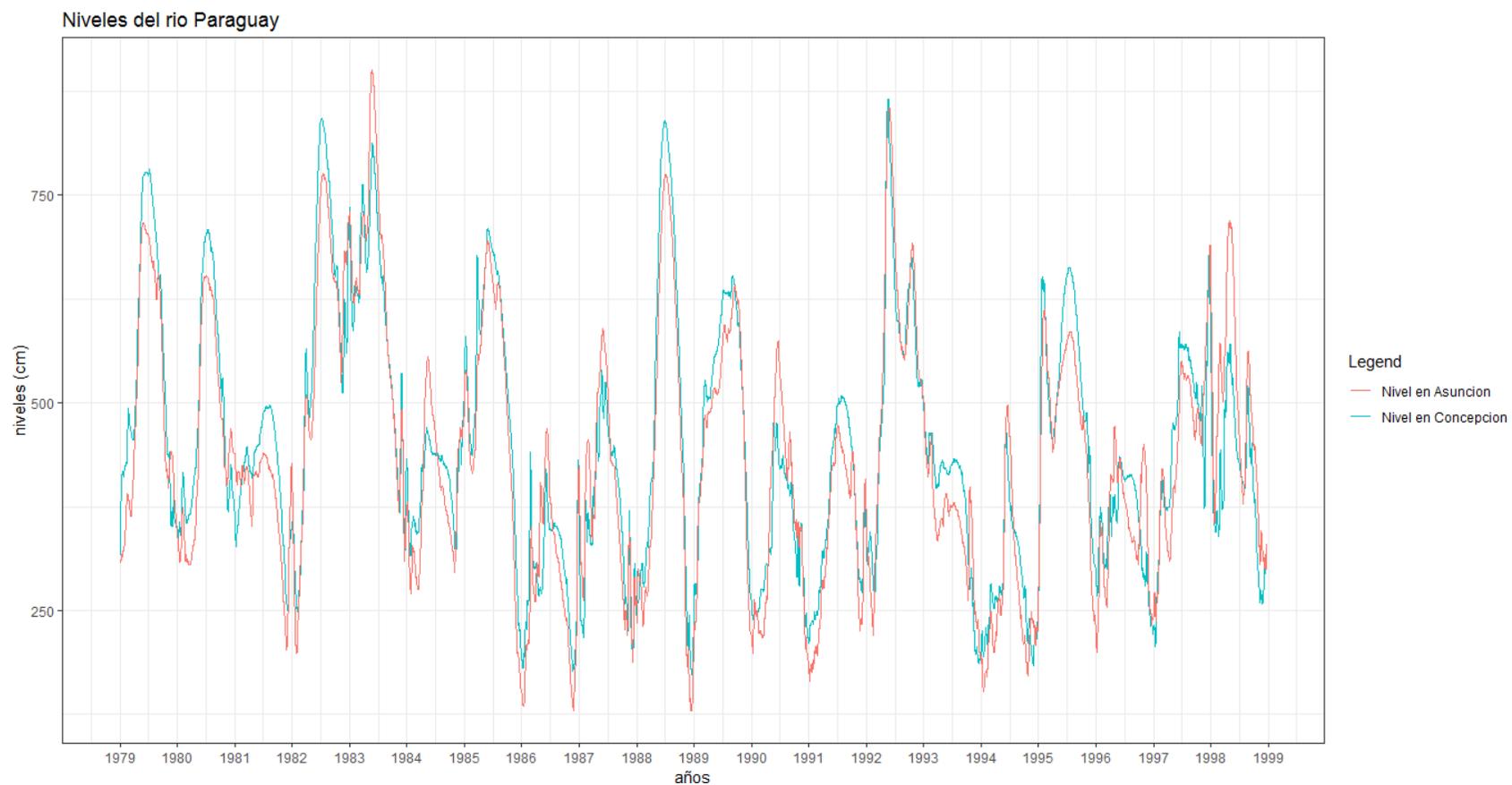
$t=1$	4	$t=7$	5	$t=15$	0
$t=3$	2	$t=9$	5	$t=17$	1
$t=5$	3	$t=12$	0	$t=20$	0

Son  $t=7$  y  $t=9$  los que más se repiten con mejores correlaciones (5 años cada uno, de 20 en total).

Los niveles graficados que se muestran a continuación, corresponden a la serie que se armó en base al siguiente criterio:

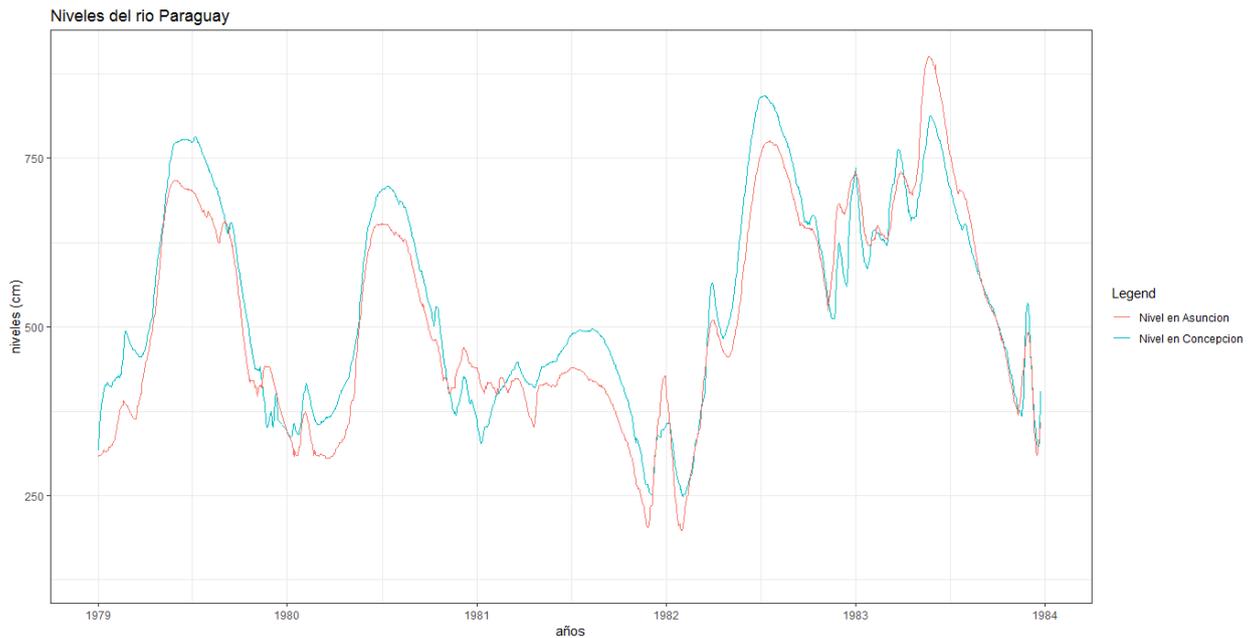
Cada año de la serie se seleccionó de acuerdo al *tiempo de desfase de Asunción* que mejor correlación daba entre Asunción y Concepción. Ejemplo: para 1979 dio mejor correlación  $t=17$ , entonces se tomó esa serie de 1979 con Asunción desfasada 17 días. Se tiene del 1/01/1979 al 14/12/1979 para Concepción (extensión de la serie), y como Asunción está desfasada 17 días, el 1-01 de Concepción se relaciona con el 18-01 de Asunción.

***El desfase que mejor correlación indicó era el considerado para la selección de cada año.***



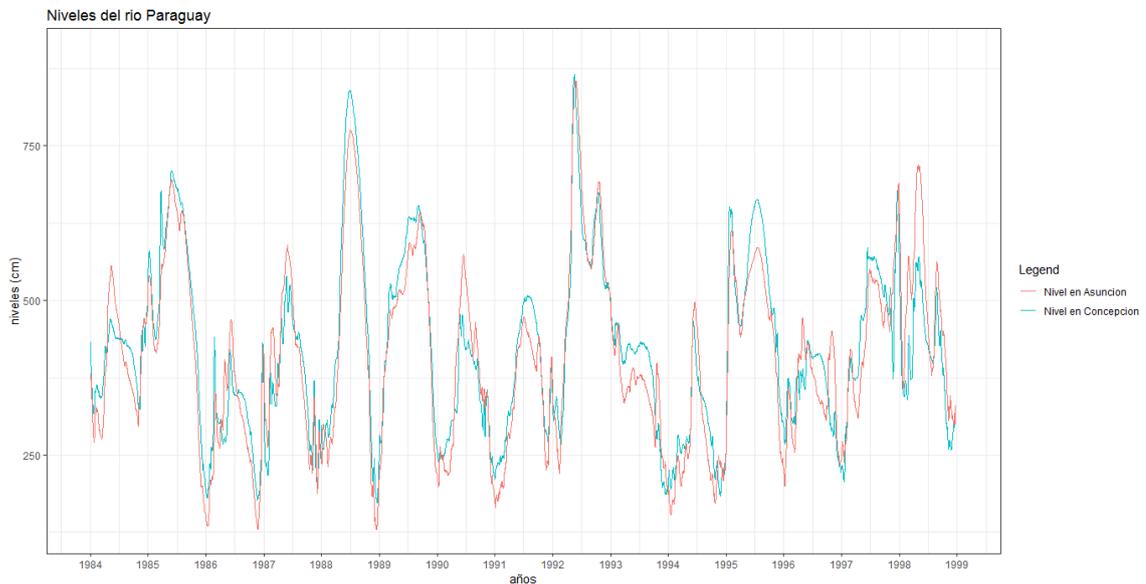
**Gráfico 30.** Niveles en Asunción y Concepción. Periodo 1979-98. Año de la serie seleccionado de acuerdo al tiempo de desfase de Asunción de mejor correlación.

Elaboración propia con R.



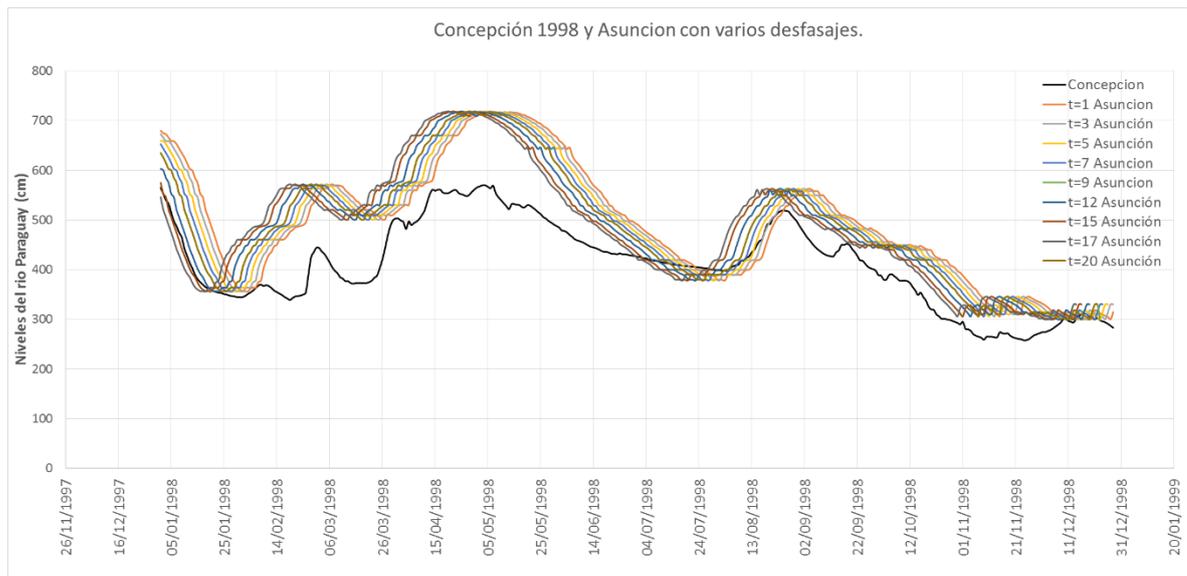
**Gráfico 31.** Niveles en Asunción y Concepción. Periodo 1979-84. Año de la serie seleccionado de acuerdo al tiempo de desfase de Asunción de mejor correlación.

Fuente: elaboración propia con R.



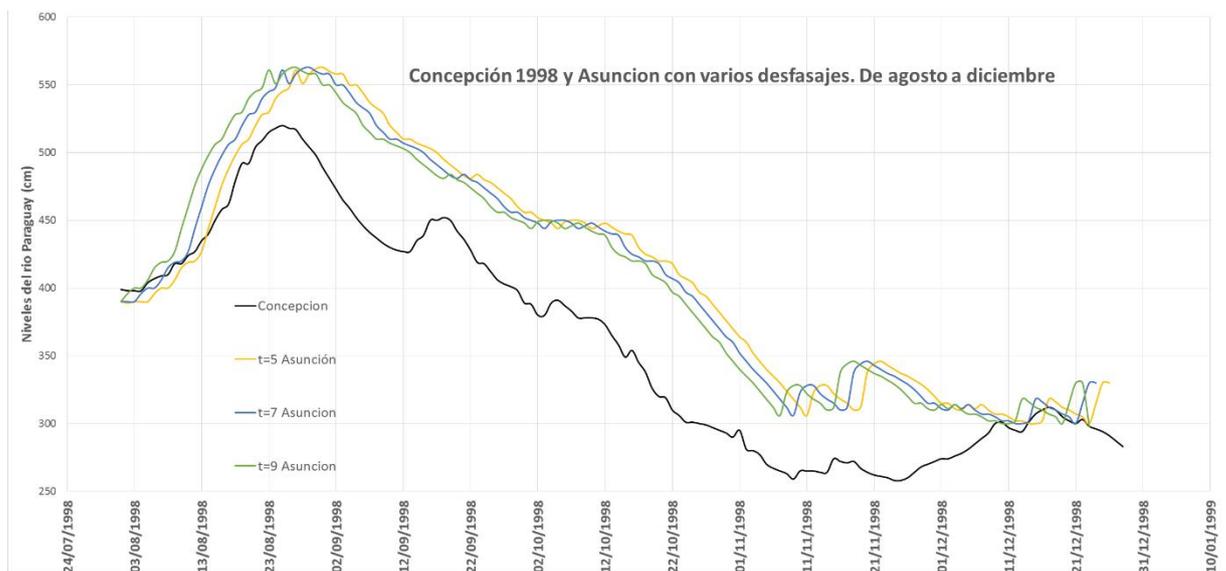
**Gráfico 32.** Niveles en Asunción y Concepción. Periodo 1984-99. Año de la serie seleccionado de acuerdo al tiempo de desfase de Asunción de mejor correlación.

Fuente: elaboración propia con R.



**Gráfico 33.** Gráfico de Concepción 1998, con Asunción 1998 con diferentes tiempos de desfase.

Fuente: elaboración propia.



**Gráfico 34.** Asunción agosto a diciembre 1998, diferentes t.

Fuente: elaboración propia.

Según los resultados de las correlaciones, los 3 tiempos de desfase que dan mejor correlación entre Concepción y Asunción para 1998 son: t=9 (0.9074), t=7 (0.9071) y t=5 (0.8991).

**Prueba de Previsión con la serie que se armó seleccionando cada año de acuerdo al tiempo de desfase de Asunción que mejor correlación daba entre Asunción y Concepción.**

Periodo considerado para la regresión:

01-01-1998 al 01/07/1998 (Fecha de Concepción)

t de desfase de Asunción respecto a Concepción: para el año 1998, t=7

(Para 1998, t=5 dio una correlación de 0.895; t=7 dio una correlación de 0.90 y t=9 dio una correlación de 0.89, eso de enero al 1 de julio. Por eso se tomó t=7)

Periodo de previsión: 02/07/1998 al 2/08/1998 (Fecha de Concepción)

Los resultados se muestran a continuación. Se observa que los primeros 14 días presentan una diferencia menor a 20 cm entre el nivel real y la previsión.

**Tabla 40.** Previsión de 02/07/1998 al 2/08/1998, t=7.

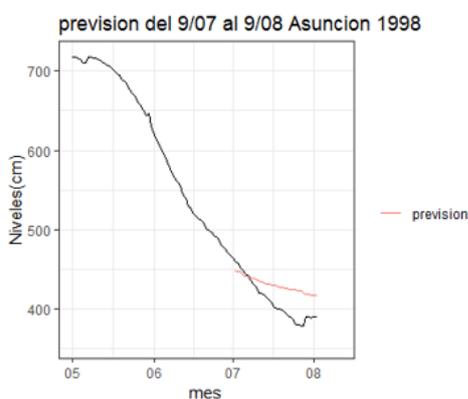
	Point	Forecast	Lo 80	Hi 80	Lo 95	Hi 95
1	537.4577	479.8620	595.0534	449.0473	625.8681	
2	535.0717	477.4729	592.6705	446.6566	623.4868	
3	535.0717	477.4729	592.6705	446.6566	623.4868	
4	531.4926	473.8888	589.0964	443.0698	619.9154	
5	530.2996	472.6940	587.9052	441.8741	618.7251	
6	529.1066	471.4991	586.7140	440.6782	617.5350	
7	529.1066	471.4991	586.7140	440.6782	617.5350	
8	526.7205	469.1092	584.3318	438.2862	615.1548	
9	525.5275	467.9142	583.1408	437.0901	613.9649	
10	524.3345	466.7191	581.9499	435.8939	612.7751	
11	523.1415	465.5240	580.7590	434.6977	611.5853	
12	521.9485	464.3288	579.5682	433.5013	610.3956	
13	520.7554	463.1335	578.3774	432.3048	609.2061	
14	519.5624	461.9382	577.1867	431.1083	608.0166	
15	518.3694	460.7428	575.9960	429.9117	606.8272	
16	518.3694	460.7428	575.9960	429.9117	606.8272	
17	517.1764	459.5474	574.8054	428.7149	605.6378	
18	515.9834	458.3519	573.6148	427.5181	604.4486	
19	515.9834	458.3519	573.6148	427.5181	604.4486	
20	514.7903	457.1564	572.4243	426.3212	603.2595	
21	514.7903	457.1564	572.4243	426.3212	603.2595	
22	513.5973	455.9608	571.2339	425.1243	602.0704	
23	513.5973	455.9608	571.2339	425.1243	602.0704	
24	512.4043	454.7651	570.0435	423.9272	600.8814	
25	511.2113	453.5694	568.8532	422.7300	599.6925	
26	511.2113	453.5694	568.8532	422.7300	599.6925	
27	508.8252	451.1778	566.4727	420.3355	597.3150	
28	507.6322	449.9819	565.2825	419.1381	596.1264	
29	507.6322	449.9819	565.2825	419.1381	596.1264	
30	506.4392	448.7860	564.0924	417.9406	594.9379	
31	506.4392	448.7860	564.0924	417.9406	594.9379	
32	505.2462	447.5900	562.9024	416.7430	593.7494	

Fuente: R

**Tabla 41.** Previsión de 02/07/1998 al 2/08/1998,  $t=7$ .

niveles reales registrados				Forecast		
fecha de Concepcion	NC	NA	fecha de Asuncion	Lo95 R	diferencia	
02/07/1998	425	425	09/07/1998	449.05	10.95	
03/07/1998	423	423	10/07/1998	446.66	11.34	
04/07/1998	423	423	11/07/1998	446.66	5.34	
05/07/1998	420	420	12/07/1998	443.07	4.93	
06/07/1998	419	419	13/07/1998	441.87	3.13	
07/07/1998	418	418	14/07/1998	440.68	0.32	
08/07/1998	418	418	15/07/1998	440.68	-4.68	
09/07/1998	416	416	16/07/1998	438.29	-7.29	
10/07/1998	415	415	17/07/1998	437.09	-10.09	
11/07/1998	414	414	18/07/1998	435.89	-15.89	
12/07/1998	413	413	19/07/1998	434.7	-14.7	
13/07/1998	412	412	20/07/1998	433.5	-15.5	
14/07/1998	411	411	21/07/1998	432.3	-17.3	
15/07/1998	410	410	22/07/1998	431.11	-19.11	
16/07/1998	409	409	23/07/1998	429.91	-21.91	
17/07/1998	409	409	24/07/1998	429.91	-27.91	
18/07/1998	408	408	25/07/1998	428.71	-28.71	
19/07/1998	407	407	26/07/1998	427.52	-27.52	
20/07/1998	407	407	27/07/1998	427.52	-28.52	
21/07/1998	406	406	28/07/1998	426.32	-31.32	
22/07/1998	406	406	29/07/1998	426.32	-34.32	
23/07/1998	405	405	30/07/1998	425.12	-35.12	
24/07/1998	405	405	31/07/1998	425.12	-39.12	
25/07/1998	404	404	01/08/1998	423.93	-43.93	
26/07/1998	403	403	02/08/1998	422.73	-42.73	
27/07/1998	403	403	03/08/1998	422.73	-43.73	
28/07/1998	401	401	04/08/1998	420.34	-41.34	
29/07/1998	400	400	05/08/1998	419.14	-29.14	
30/07/1998	400	400	06/08/1998	419.14	-29.14	
31/07/1998	399	399	07/08/1998	417.94	-28.94	
01/08/1998	399	399	08/08/1998	417.94	-27.94	
02/08/1998	398	398	09/08/1998	416.74	-26.74	

Fuente: elaboración propia.



**Gráfico 35.** Previsión de 02/07/1998 al 2/08/1998,  $t=7$ .

Fuente: elaboración propia con R.

Se tienen 15 días con diferencias menores a 20 cm.

Periodo considerado para la regresión:

01-01-1979 al 01/10/1998 (Fecha de Concepción)

t de desfasaje de Asunción respecto a Concepción: para el año 1998, t=9

Periodo de previsión: 02/10/1998 al 2/11/1998 (Fecha de Concepción)

Los resultados se muestran a continuación. Se observa que los primeros 12 días presentan una diferencia menor a 20 cm entre el nivel real y la previsión.

**Tabla 42.** Previsión del 02/10/1998 al 2/11/1998, t=9..

fecha de Concepcion	niveles reales registrados		fecha de Asuncion	Forecast R	diferencia	
	NC	NA				
02/10/1998	380		448	09/10/1998	444.45	3.55
03/10/1998	380		444	10/10/1998	444.45	-0.45
04/10/1998	389		449	11/10/1998	456.04	-7.04
05/10/1998	391		450	12/10/1998	458.61	-8.61
06/10/1998	387		450	13/10/1998	453.46	-3.46
07/10/1998	383		448	14/10/1998	448.31	-0.31
08/10/1998	378		444	15/10/1998	441.87	2.13
09/10/1998	378		446	16/10/1998	441.87	4.13
10/10/1998	378		448	17/10/1998	441.87	6.13
11/10/1998	377		445	18/10/1998	440.58	4.42
12/10/1998	373		442	19/10/1998	435.43	6.57
13/10/1998	365		440	20/10/1998	425.13	14.87
14/10/1998	358		439	21/10/1998	416.11	22.89
15/10/1998	349		430	22/10/1998	404.52	25.48
16/10/1998	354		425	23/10/1998	410.96	14.04
17/10/1998	345		423	24/10/1998	399.37	23.63
18/10/1998	338		420	25/10/1998	390.35	29.65
19/10/1998	326		420	26/10/1998	374.89	45.11
20/10/1998	320		418	27/10/1998	367.17	50.83
21/10/1998	319		410	28/10/1998	365.88	44.12
22/10/1998	310		407	29/10/1998	354.29	52.71
23/10/1998	306		404	30/10/1998	349.13	54.87
24/10/1998	301		397	31/10/1998	342.69	54.31
25/10/1998	301		394	01/11/1998	342.69	51.31
26/10/1998	300		388	02/11/1998	341.41	46.59
27/10/1998	299		382	03/11/1998	340.12	41.88
28/10/1998	297		376	04/11/1998	337.54	38.46
29/10/1998	295		370	05/11/1998	334.97	35.03
30/10/1998	293		364	06/11/1998	332.39	31.61
31/10/1998	290		360	07/11/1998	328.53	31.47
01/11/1998	295		352	08/11/1998	334.97	17.03
02/11/1998	281		346	09/11/1998	316.93	29.07

Fuente: elaboración propia con R.

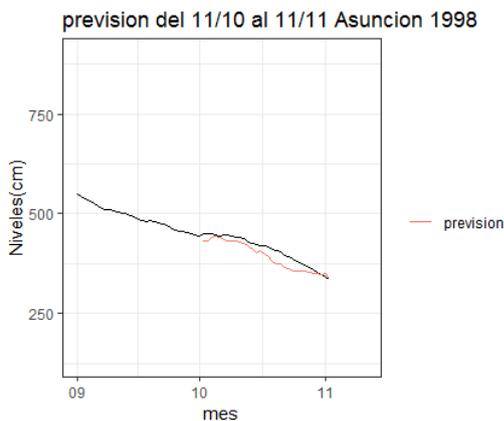
Se tienen 13 días con diferencias menores a 20 cm.

**Tabla 43.** Previsión del 02/10/1998 al 2/11/1998, t=9.

```
> forecast
```

Point	Forecast	Lo 80	Hi 80	Lo 95	Hi 95
1	444.4469	374.6849	514.2089	337.5386	551.3553
2	444.4469	374.6849	514.2089	337.5386	551.3553
3	456.0389	386.3096	525.7683	349.1806	562.8972
4	458.6149	388.8922	528.3377	351.7668	565.4631
5	453.4629	383.7268	523.1991	346.5942	560.3317
6	448.3109	378.5604	518.0615	341.4201	555.2018
7	441.8709	372.1010	511.6409	334.9504	548.7914
8	441.8709	372.1010	511.6409	334.9504	548.7914
9	441.8709	372.1010	511.6409	334.9504	548.7914
10	440.5829	370.8089	510.3569	333.6562	547.5096
11	435.4309	365.6401	505.2217	328.4785	542.3834
12	425.1269	355.2996	494.9542	318.1186	532.1353
13	416.1109	346.2486	485.9732	309.0488	523.1730
14	404.5189	334.6072	474.4306	297.3811	511.6567
15	410.9589	341.0752	480.8426	303.8641	518.0537
16	399.3669	329.4317	469.3021	292.1931	506.5407
17	390.3509	320.3722	460.3295	283.1105	497.5912
18	374.8948	304.8350	444.9547	267.5300	482.2597
19	367.1668	297.0631	437.2705	259.7349	474.5988
20	365.8788	295.7676	435.9900	258.4354	473.3223
21	354.2868	284.1054	424.4683	246.7357	461.8379
22	349.1348	278.9206	419.3490	241.5335	456.7361
23	342.6948	272.4383	412.9513	235.0287	450.3609
24	342.6948	272.4383	412.9513	235.0287	450.3609
25	341.4068	271.1417	411.6719	233.7275	449.0861
26	340.1188	269.8450	410.3926	232.4261	447.8115
27	337.5428	267.2514	407.8342	229.8232	445.2624
28	334.9668	264.6576	405.2759	227.2200	442.7136
29	332.3908	262.0636	402.7180	224.6163	440.1652
30	328.5268	258.1721	398.8814	220.7102	436.3433
31	334.9668	264.6576	405.2759	227.2200	442.7136
32	316.9348	246.4945	387.3750	208.9870	424.8825

Fuente: R



**Gráfico 36.** Previsión del 02/10/1998 al 2/11/1998, t=9.

Fuente: R

Para el caso #2 se desfasó la serie completa de Asunción, respecto a la de Concepción.

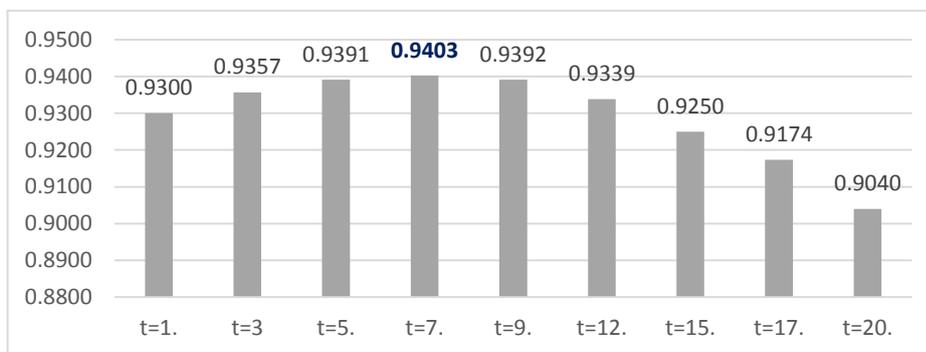
**Periodo 1979-98.**

A continuación se muestran los diferentes resultados de las correlaciones para los diferentes tiempos de desfasaje.

**Tabla 44.** Desfasaje de la serie completa periodo 1979-98.

tiempo de desfasaje	coeficiente de correlación
t=7.	<b>0.9403</b>
t=9.	0.9392
t=5.	0.9391
t=3	0.9357
t=12.	0.9339
t=1.	0.9300
t=15.	0.9250
t=17.	0.9174
t=20.	0.9040

Fuente: elaboración propia.



**Gráfico 37.** Correlaciones desfasando la serie completa de Asunción. Periodo 1979-98.

Fuente: elaboración propia.

Se ve que desfasando la serie completa de Asunción, la correlación mayor da en t=7 días.

Entonces, desfasando **anualmente** las series, son t=7 y t=9 los que dan mejores correlaciones para mayor cantidad de años. Y desfasando **la serie completa de Asunción**, 1979 a 1998, es t=7 la que da mejor correlación.

**Periodo 2010 a 2018.**

**Tabla 45.** Correlación Concepción-Asunción periodo 2010-2018

Tiempo de desfase de Asunción	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
t=1	0.944	0.967	0.951	0.951	0.956	0.919	0.918	0.902	0.746
t=3	0.958	0.974	0.965	0.965	0.962	0.931	0.929	0.897	0.799
t=5	0.962	0.977	0.973	0.970	0.962	0.936	0.935	0.884	0.839
t=7	0.958	0.976	0.973	0.967	0.959	0.935	0.936	0.865	0.863
t=9	0.946	0.972	0.969	0.957	0.953	0.927	0.933	0.843	0.871
t=12	0.918	0.959	0.956	0.932	0.939	0.905	0.922	0.805	0.846
t=15	0.883	0.939	0.937	0.899	0.921	0.871	0.907	0.765	0.797
t=17	0.860	0.922	0.922	0.873	0.907	0.840	0.897	0.736	0.757
t=20	0.828	0.892	0.895	0.830	0.882	0.785	0.884	0.690	0.688

Fuente: elaboración propia.

Respecto a t=1 en el 2017, tampoco se ha encontrado una correlación con la cantidad de precipitación en ese año, del 2000 al 2017, fue 2015 el año de mayor cantidad de precipitación y 2013 el de menor.

Se puede ver que en este periodo 2010 a 2018 los resultados de las correlaciones son menos dispersos que para el periodo 1979-98, considerando que las mejores correlaciones oscilan entre 5 y 7 días de desfase para Asunción respecto a Concepción, excepto en 2017. (El resultado de 2018 todavía no entra en análisis)

Se tomó desde el 1/05/2018 al 1/07/2018 (fechas para los niveles de Concepción), 2 meses para la regresión, para una previsión de 31 días: del 7/07/2018 al 7/08/2018 (fecha para los niveles de Asunción, ya que se consideró un desfase de 5 días de los niveles del río Paraguay en Asunción respecto a Concepción). Las diferencias entre lo real registrado y lo previsto están por debajo de los 20cm para los 31 días. Los resultados se muestran a continuación.

Asunción desfasada 5 días respecto a Concepción, porque es el tiempo de desfase que mejor correlación dio para el periodo 2000 a 2017.

Tiempo para la regresión: del 1/05 al 1/07/2018 (fecha de Concepción)

Tiempo para la previsión: del 2/07 al 2/08/2018 (fecha de Concepción)

**Tabla 46.** Periodo de previsión del 2/07 al 2/08/2018.  $t=5$

fecha de Concepcion	niveles reales registrados		fecha de Asuncion	Forecast Lo80 R	diferencia
	NC	NA			
02/07/2018	487	431	07/07/2018	420.94	10.06
03/07/2018	485	426	08/07/2018	418.54	7.46
04/07/2018	481	425	09/07/2018	413.72	11.28
05/07/2018	480	423	10/07/2018	412.52	10.48
06/07/2018	480	422	11/07/2018	412.52	9.48
07/07/2018	480	420	12/07/2018	412.52	7.48
08/07/2018	480	419	13/07/2018	412.52	6.48
09/07/2018	480	416	14/07/2018	412.52	3.48
10/07/2018	480	415	15/07/2018	412.52	2.48
11/07/2018	480	413	16/07/2018	412.52	0.48
12/07/2018	478	410	17/07/2018	410.11	-0.11
13/07/2018	476	410	18/07/2018	407.70	2.30
14/07/2018	476	408	19/07/2018	407.70	0.30
15/07/2018	474	404	20/07/2018	405.29	-1.29
16/07/2018	475	404	21/07/2018	406.49	-2.49
17/07/2018	474	403	22/07/2018	405.29	-2.29
18/07/2018	474	401	23/07/2018	405.29	-4.29
19/07/2018	473	400	24/07/2018	404.08	-4.08
20/07/2018	474	400	25/07/2018	405.29	-5.29
21/07/2018	474	398	26/07/2018	405.29	-7.29
22/07/2018	473	397	27/07/2018	404.08	-7.08
23/07/2018	472	396	28/07/2018	402.87	-6.87
24/07/2018	472	396	29/07/2018	402.87	-6.87
25/07/2018	470	394	30/07/2018	400.46	-6.46
26/07/2018	470	393	31/07/2018	400.46	-7.46
27/07/2018	470	392	01/08/2018	400.46	-8.46
28/07/2018	470	392	02/08/2018	400.46	-8.46
29/07/2018	470	391	03/08/2018	400.46	-9.46
30/07/2018	469	389	04/08/2018	399.26	-10.26
31/07/2018	467	388	05/08/2018	396.84	-8.84
01/08/2018	466	387	06/08/2018	395.64	-8.64
02/08/2018	465	386	07/08/2018	394.43	-8.43

Fuente: elaboración propia.

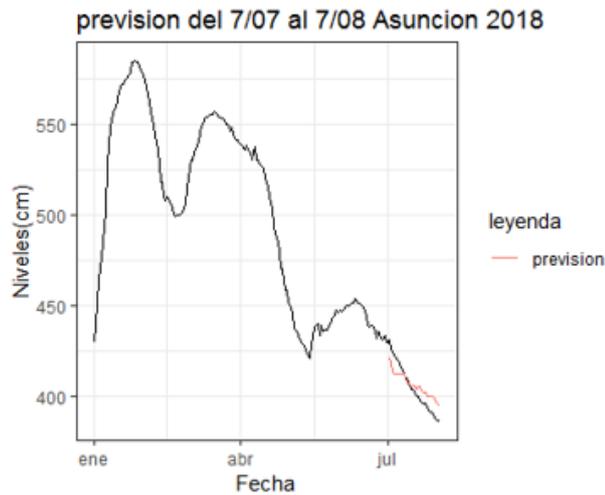
Se tienen todo el mes de previsión con diferencias menores a 20 cm.

**Tabla 47.** Periodo de previsión del 2/07 al 2/08/2018.  $t=5$

```
> forecast
```

Point	Forecast	Lo 80	Hí 80	Lo 95	Hí 95
1	460.4696	420.9419	499.9974	399.8313	521.1079
2	458.0752	418.5353	497.6151	397.4182	518.7322
3	453.2863	413.7199	492.8527	392.5887	513.9839
4	452.0891	412.5156	491.6626	391.3806	512.7975
5	452.0891	412.5156	491.6626	391.3806	512.7975
6	452.0891	412.5156	491.6626	391.3806	512.7975
7	452.0891	412.5156	491.6626	391.3806	512.7975
8	452.0891	412.5156	491.6626	391.3806	512.7975
9	452.0891	412.5156	491.6626	391.3806	512.7975
10	452.0891	412.5156	491.6626	391.3806	512.7975
11	449.6946	410.1065	489.2828	388.9637	510.4256
12	447.3002	407.6967	486.9037	386.5457	508.0547
13	447.3002	407.6967	486.9037	386.5457	508.0547
14	444.9057	405.2862	484.5253	384.1266	505.6849
15	446.1030	406.4915	485.7144	385.3362	506.8697
16	444.9057	405.2862	484.5253	384.1266	505.6849
17	444.9057	405.2862	484.5253	384.1266	505.6849
18	443.7085	404.0806	483.3364	382.9166	504.5004
19	444.9057	405.2862	484.5253	384.1266	505.6849
20	444.9057	405.2862	484.5253	384.1266	505.6849
21	443.7085	404.0806	483.3364	382.9166	504.5004
22	442.5113	402.8750	482.1476	381.7064	503.3162
23	442.5113	402.8750	482.1476	381.7064	503.3162
24	440.1169	400.4630	479.7707	379.2852	500.9485
25	440.1169	400.4630	479.7707	379.2852	500.9485
26	440.1169	400.4630	479.7707	379.2852	500.9485
27	440.1169	400.4630	479.7707	379.2852	500.9485
28	440.1169	400.4630	479.7707	379.2852	500.9485
29	438.9196	399.2568	478.5824	378.0741	499.7651
30	436.5252	396.8439	476.2065	375.6513	497.3991
31	435.3280	395.6371	475.0188	374.4395	496.2165
32	434.1307	394.4302	473.8313	373.2274	495.0341

Fuente: R



**Gráfico 38.** Periodo de previsión del 2/07 al 2/08/2018.  $t=5$ .

Fuente: elaboración propia con R.

Se desfasó la serie del periodo: 1/01/1917 a 31/08/2018, Concepción-Asunción.

Y estos fueron los resultados de las correlaciones.

<b>tiempo de desfasaje</b>	<b>Correlación</b>
<b>t=5</b>	0.9372
<b>t=3</b>	0.9361
<b>t=7</b>	0.9358
<b>t=1</b>	0.9325
<b>t=9</b>	0.9323
<b>t=0</b>	0.9298
<b>t= 12</b>	0.9240
<b>t= 15</b>	0.9131

A continuación se presentan pruebas para años diferentes a 2018, para validar el modelo.

Periodos de prueba:

Del 1/09 al 30/11 para diciembre 2011

Del 1/08 al 31/10 para noviembre 2015

Del 1/04 al 30/06 para julio 2017

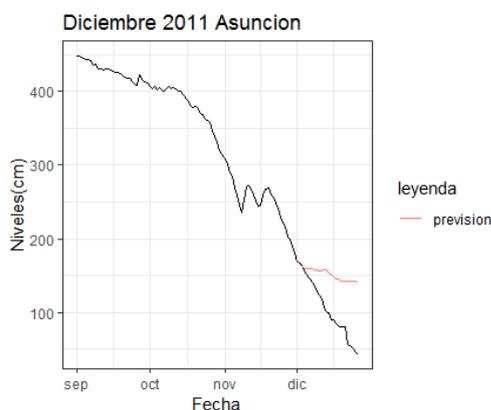
Para el primer periodo se tuvo 7 días con diferencias menores a 20 cm, para el segundo periodo los resultados no fueron buenos y para el tercer periodo, se tuvo 13 días con diferencias menores a 20 cm.

**Diciembre 2011.**

**Tabla 48.** Previsión diciembre 2011.

fecha de Concepcion	niveles reales registrados		fecha de Asuncion	regresion lineal		parametros regresion polinmica R	
	NC	NA		Forecast Lo95	diferencia	0.00001149	0.716
01/12/2011	168	170	06/12/2011	170.31	-0.31	193.488	-23.488
02/12/2011	163	167	07/12/2011	166.67	0.33	189.908	-22.908
03/12/2011	158	164	08/12/2011	163.02	0.98	186.328	-22.328
04/12/2011	154	158	09/12/2011	160.1	-2.1	183.464	-25.464
05/12/2011	153	152	10/12/2011	159.37	-7.37	182.748	-30.748
06/12/2011	153	146	11/12/2011	159.37	-13.37	182.748	-36.748
07/12/2011	153	141	12/12/2011	159.37	-18.37	182.748	-41.748
08/12/2011	150	136	13/12/2011	157.19	-21.19	180.6	-44.6
09/12/2011	151	130	14/12/2011	157.92	-27.92	181.316	-51.316
10/12/2011	150	124	15/12/2011	157.19	-33.19	180.6	-56.6
11/12/2011	149	118	16/12/2011	156.46	-38.46	179.884	-61.884
12/12/2011	152	108	17/12/2011	158.65	-50.65	182.032	-74.032
13/12/2011	152	101	18/12/2011	158.65	-57.65	182.032	-81.032
14/12/2011	146	100	19/12/2011	154.27	-54.27	177.736	-77.736
15/12/2011	143	90	20/12/2011	152.08	-62.08	175.588	-85.588
16/12/2011	139	90	21/12/2011	149.16	-59.16	172.724	-82.724
17/12/2011	135	85	22/12/2011	146.25	-61.25	169.86	-84.86
18/12/2011	134	82	23/12/2011	145.52	-63.52	169.144	-87.144
19/12/2011	130	80	24/12/2011	142.6	-62.6	166.28	-86.28
20/12/2011	130	80	25/12/2011	142.6	-62.6	166.28	-86.28
21/12/2011	129	80	26/12/2011	141.87	-61.87	165.564	-85.564
22/12/2011	129	57	27/12/2011	141.87	-84.87	165.564	-108.564
23/12/2011	130	54	28/12/2011	142.6	-88.6	166.28	-112.28
24/12/2011	129	50	29/12/2011	141.87	-91.87	165.564	-115.564
25/12/2011	129	46	30/12/2011	141.87	-95.87	165.564	-119.564
26/12/2011	126	44	31/12/2011	139.68	-95.68	163.416	-119.416

Fuente: elaboración propia.



**Gráfico 39.** Previsión diciembre 2011.

Fuente: elaboración propia con R.

## Noviembre 2015

**Tabla 49.** Previsión noviembre 2015.

fecha	real registrado (cm)		fecha	Lo95 R	diferencia	Lo80 R	diferencia
	NC	NA					
2015-11-01	378	314	2015-11-06	223.27	90.73	266.42	47.58
2015-11-02	383	312	2015-11-07	236.89	75.11	279.97	32.03
2015-11-03	386	316	2015-11-08	245.04	70.96	288.09	27.91
2015-11-04	391	318	2015-11-09	258.58	59.42	301.6	16.4
2015-11-05	404	320	2015-11-10	293.58	26.42	336.58	-16.58
2015-11-06	403	322	2015-11-11	290.89	31.11	333.89	-11.89
2015-11-07	400	330	2015-11-12	282.84	47.16	325.83	4.17
2015-11-08	400	334	2015-11-13	282.84	51.16	325.83	8.17
2015-11-09	408	340	2015-11-14	304.28	35.72	347.3	-7.3
2015-11-10	413	340	2015-11-15	317.63	22.37	360.68	-20.68
2015-11-11	417	342	2015-11-16	328.27	13.73	371.36	-29.36
2015-11-12	417	346	2015-11-17	328.27	17.73	371.36	-25.36
2015-11-13	417	348	2015-11-18	328.27	19.73	371.36	-23.36
2015-11-14	416	350	2015-11-19	325.61	24.39	368.69	-18.69
2015-11-15	411	352	2015-11-20	312.29	39.71	355.33	-3.33
2015-11-16	403	355	2015-11-21	290.89	64.11	333.89	21.11
2015-11-17	398	361	2015-11-22	277.46	83.54	320.46	40.54
2015-11-18	395	370	2015-11-23	269.38	100.62	312.38	57.62
2015-11-19	411	371	2015-11-24	312.29	58.71	355.33	15.67
2015-11-20	413	394	2015-11-25	317.63	76.37	360.68	33.32
2015-11-21	413	400	2015-11-26	317.63	82.37	360.68	39.32
2015-11-22	414	410	2015-11-27	320.29	89.71	363.35	46.65
2015-11-23	423	413	2015-11-28	344.18	68.82	387.35	25.65
2015-11-24	433	424	2015-11-29	370.55	53.45	413.9	10.1
2015-11-25	441	430	2015-11-30	391.52	38.48	435.06	-5.06
2015-11-26	449	435	2015-12-01	412.38	22.62	456.15	-21.15
2015-11-27	460	439	2015-12-02	440.88	-1.88	485.02	-46.02
2015-11-28	465	453	2015-12-03	453.77	-0.77	498.11	-45.11
2015-11-29	470	470	2015-12-04	466.61	3.39	511.16	-41.16
2015-11-30	474	480	2015-12-05	476.86	3.14	521.59	-41.59

Fuente: elaboración propia

**Periodo de regresión: del 1/04 al 30/06 para previsión de julio 2017.**

**Tabla 50.** Previsión julio 2017.

fecha Concepcion	NC	NA	fecha Asuncion	Lo80 R	diferencia
01/07/2017	406	438	06/07/2017	424.42	13.58
02/07/2017	403	430	07/07/2017	420.46	9.54
03/07/2017	400	426	08/07/2017	416.5	9.5
04/07/2017	398	420	09/07/2017	413.86	6.14
05/07/2017	398	417	10/07/2017	413.86	3.14
06/07/2017	398	412	11/07/2017	413.86	-1.86
07/07/2017	386	408	12/07/2017	398.01	9.99
08/07/2017	381	400	13/07/2017	391.41	8.59
09/07/2017	381	400	14/07/2017	391.41	8.59
10/07/2017	380	390	15/07/2017	390.09	-0.09
11/07/2017	380	385	16/07/2017	390.09	-5.09
12/07/2017	379	380	17/07/2017	388.77	-8.77
13/07/2017	378	374	18/07/2017	387.44	-13.44
14/07/2017	380	369	19/07/2017	390.09	-21.09
15/07/2017	380	373	20/07/2017	390.09	-17.09
16/07/2017	382	369	21/07/2017	392.73	-23.73
17/07/2017	384	365	22/07/2017	395.37	-30.37
18/07/2017	384	360	23/07/2017	395.37	-35.37
19/07/2017	386	356	24/07/2017	398.01	-42.01
20/07/2017	386	352	25/07/2017	398.01	-46.01
21/07/2017	387	349	26/07/2017	399.33	-50.33
22/07/2017	386	346	27/07/2017	398.01	-52.01
23/07/2017	385	340	28/07/2017	396.69	-56.69
24/07/2017	385	335	29/07/2017	396.69	-61.69
25/07/2017	387	335	30/07/2017	399.33	-64.33
26/07/2017	386	335	31/07/2017	398.01	-63.01
27/07/2017	385	334	01/08/2017	396.69	-62.69
28/07/2017	387	330	02/08/2017	399.33	-69.33
29/07/2017	385	328	03/08/2017	396.69	-68.69
30/07/2017	385	328	04/08/2017	396.69	-68.69
31/07/2017	385	326	05/08/2017	396.69	-70.69

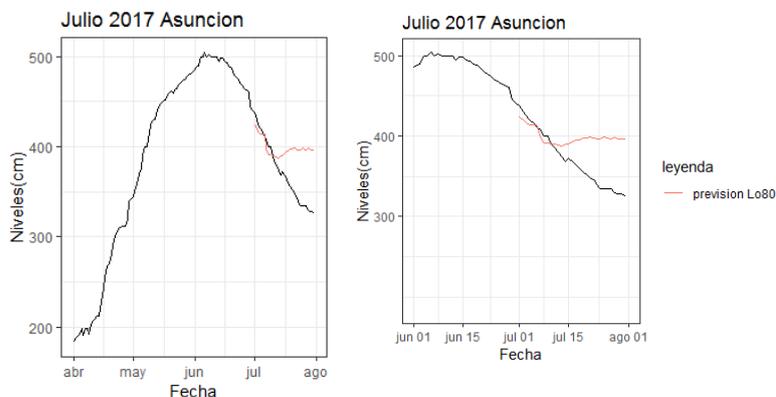
Fuente: elaboración propia.

**Tabla 51.** Previsión julio 2017.

```
> forecast
 Point Forecast Lo 80 Hi 80 Lo 95 Hi 95
 1 458.2618 424.4213 492.1023 406.1833 510.3402
 2 454.2935 420.4616 488.1255 402.2282 506.3589
 3 450.3253 416.5014 484.1493 398.2724 502.3783
 4 447.6798 413.8609 481.4987 395.6347 499.7250
 5 447.6798 413.8609 481.4987 395.6347 499.7250
 6 447.6798 413.8609 481.4987 395.6347 499.7250
 7 431.8069 398.0137 465.6002 379.8012 483.8126
 8 425.1932 391.4082 458.9782 373.2002 477.1862
 9 425.1932 391.4082 458.9782 373.2002 477.1862
10 423.8705 390.0869 457.6540 371.8797 475.8612
11 423.8705 390.0869 457.6540 371.8797 475.8612
12 422.5477 388.7656 456.3298 370.5592 474.5363
13 421.2250 387.4442 455.0057 369.2385 473.2114
14 423.8705 390.0869 457.6540 371.8797 475.8612
15 423.8705 390.0869 457.6540 371.8797 475.8612
16 426.5159 392.7294 460.3025 374.5206 478.5113
17 429.1614 395.3717 462.9512 377.1610 481.1618
18 429.1614 395.3717 462.9512 377.1610 481.1618
19 431.8069 398.0137 465.6002 379.8012 483.8126
20 431.8069 398.0137 465.6002 379.8012 483.8126
21 433.1297 399.3346 466.9247 381.1211 485.1382
22 431.8069 398.0137 465.6002 379.8012 483.8126
23 430.4842 396.6927 464.2757 378.4812 482.4872
24 430.4842 396.6927 464.2757 378.4812 482.4872
25 433.1297 399.3346 466.9247 381.1211 485.1382
26 431.8069 398.0137 465.6002 379.8012 483.8126
27 430.4842 396.6927 464.2757 378.4812 482.4872
28 433.1297 399.3346 466.9247 381.1211 485.1382
29 430.4842 396.6927 464.2757 378.4812 482.4872
30 430.4842 396.6927 464.2757 378.4812 482.4872
31 430.4842 396.6927 464.2757 378.4812 482.4872
```

Fuente: R

Se tienen 13 días de previsión con diferencias menores a 20 cm.



**Gráfico 40.** Previsión julio 2017.

Fuente: elaboración propia con R.

De los 3 casos analizados: del 1/09 al 30/11 para diciembre 2011, del 1/08 al 31/10 para noviembre 2015 y del 1/04 al 30/06 para julio 2017, tuvieron más error los dos primeros, pudiéndose deberse al efecto de la precipitación en esas épocas del año, ya que este método solo tiene en cuenta niveles.

### 5.3. Caso C.

Buscando años/trimestres de mejor correlación con el periodo de previsión.

Teniendo los datos de Asunción, desde 1904 hasta 2018 en el formato que se muestra a continuación, se realizaron correlaciones anuales y trimestrales.

		año	año	→
m e s	dia			
	dia			
	dia			
	dia			

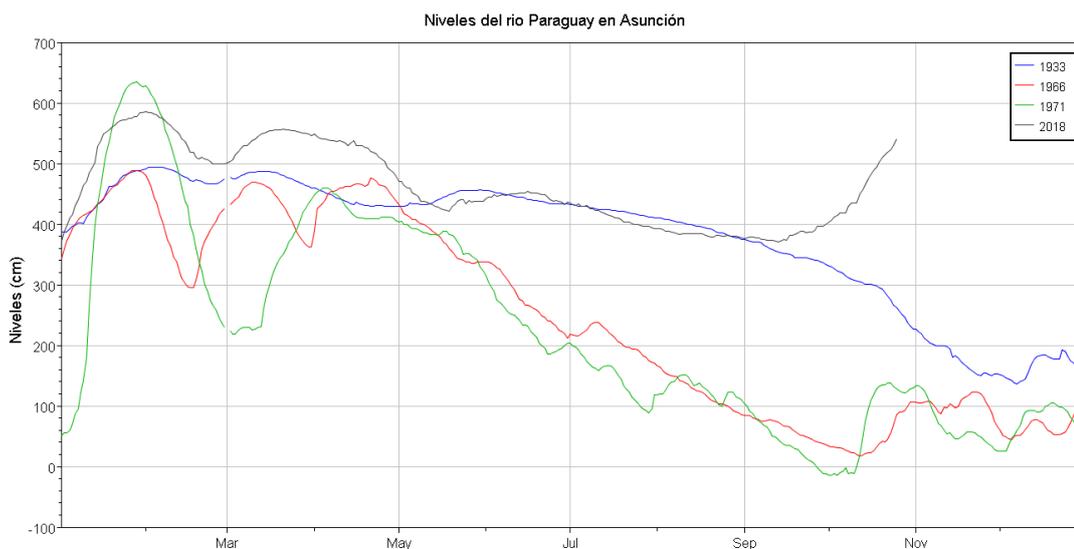
Los resultados obtenidos se muestran de la siguiente manera:

	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5
año 1	1				
año 2	0.672	1			
año 3	0.811	0.568	1		
año 4	0.624	0.343	0.839	1	
año 5	0.370	0.568	0.121	-0.046	1

En los espacios con relleno gris se muestran las correlaciones. (Estos números son ilustrativos)

Para el 2018, los años de mejor correlación positiva dieron los siguientes coeficientes de correlación: 1971 con 2018= 0.973, 1933 con 2018= 0.782 y 1966 con 2018= 0.776

Se verificó gráficamente para ver si los números respondían a la realidad.



**Gráfico 41.** Año 2018 con 1933,1966 y 1971.

Fuente: elaboración propia con DSS.

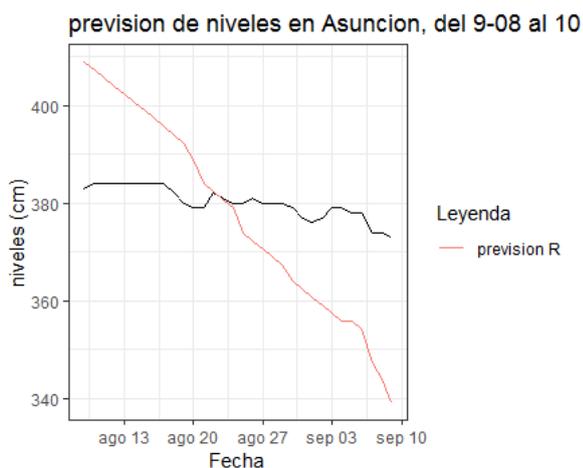
Se ve que 1933 es el de mejor correlación gráfica con 2018. Los colores de las curvas son los siguiente: azul: 1933, rojo: 1966, verde: 1971 y negro: 2018.

Tomando del 1 de enero al 8 de agosto (fecha en que se hizo la prueba), se realizó una regresión lineal. Los resultados fueron los siguientes:

**Tabla 52.** Previsión del 9-08 al 9-09 de 2018.

fecha	real Registrado		diferencia
	Asuncion	previsiónR	
09/08/2018	383	408.95	-25.95
10/08/2018	384	407.29	-23.29
11/08/2018	384	405.63	-21.63
12/08/2018	384	403.97	-19.97
13/08/2018	384	402.3	-18.3
14/08/2018	384	400.64	-16.64
15/08/2018	384	398.98	-14.98
16/08/2018	384	397.32	-13.32
17/08/2018	384	395.66	-11.66
18/08/2018	382	393.99	-11.99
19/08/2018	380	392.33	-12.33
20/08/2018	379	389.01	-10.01
21/08/2018	379	384.02	-5.01
22/08/2018	382	382.36	-0.36
23/08/2018	381	380.7	0.30
24/08/2018	380	379.03	0.97
25/08/2018	380	374.05	5.94
26/08/2018	381	372.39	8.61
27/08/2018	380	370.72	9.27
28/08/2018	380	369.06	10.94
29/08/2018	380	367.4	12.6
30/08/2018	379	364.08	14.92
31/08/2018	377	362.41	14.59
01/09/2018	376	360.75	15.25
02/09/2018	377	359.09	17.91
03/09/2018	379	357.43	21.57
04/09/2018	379	355.76	23.24
05/09/2018	378	355.76	22.24
06/09/2018	378	354.1	23.9
07/09/2018	374	347.45	26.55
08/09/2018	374	344.13	29.87
09/09/2018	373	339.14	33.86

Fuente: elaboración propia.



**Gráfico 42.** Previsión del 9-08 al 9-10.

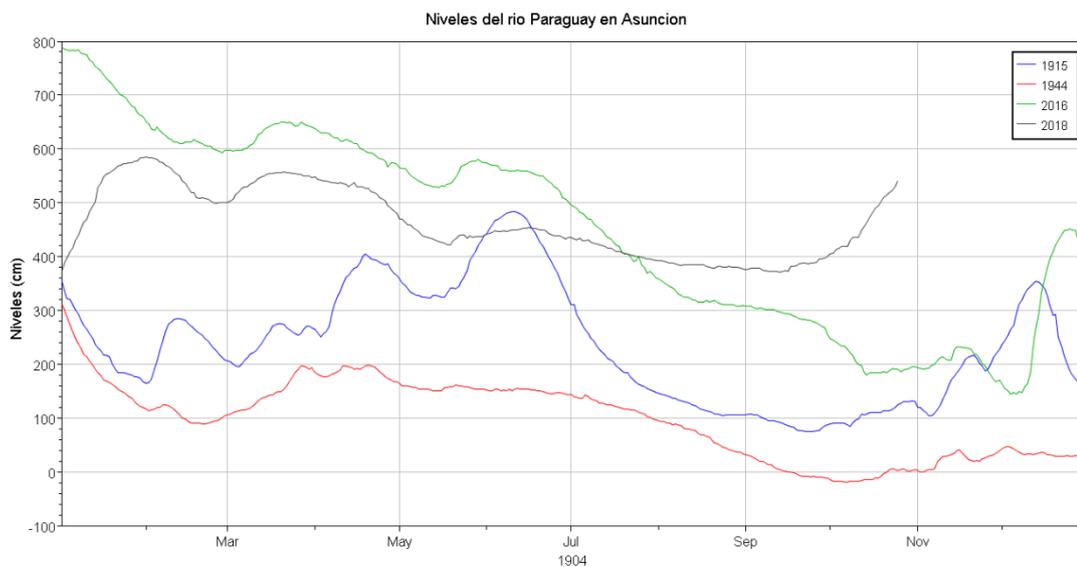
Fuente: elaboración propia

22 días consecutivos se tuvo diferencias menores a los 20cm.

Buscando disminuir el error, se probó correlacionar periodos menores a un año, como ser 3 meses, ejemplo los meses de *mayo, junio y julio*.

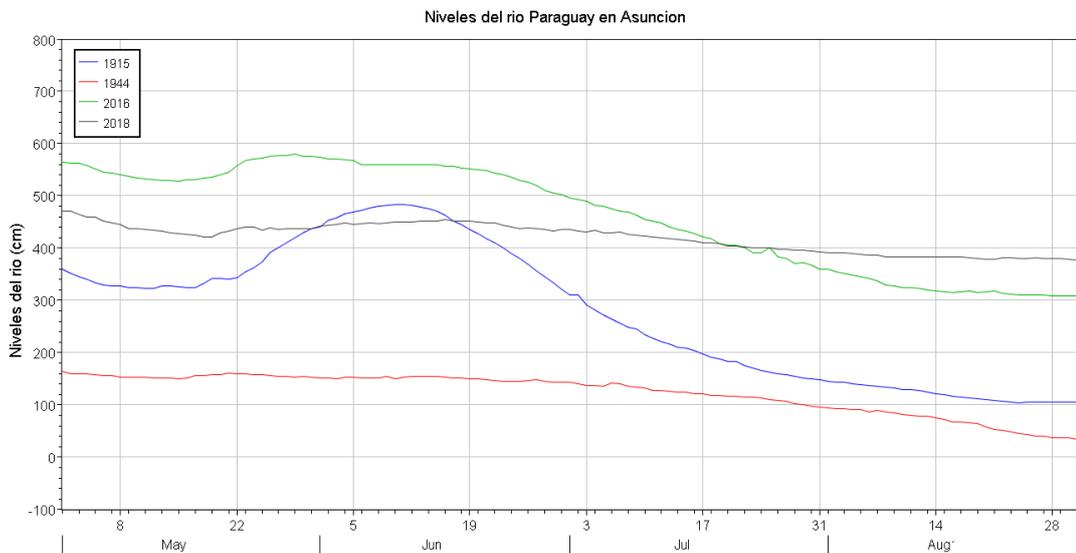
Estos fueron los años de mayor correlación positiva y sus respectivos coeficientes de correlación: 2018 con 2016= 0.8842, 2018 con 1944= 0.8683 y 2018 con 1915= 0.8376.

Se verificó gráficamente para ver si los números respondían a la realidad.



**Gráfico 43.** Años: 2018 con 1915, 1944, 2016.

. Fuente: elaboración propia con DSS.



**Gráfico 44.** Años 2018 con 1915, 1944, 2016. Mayo a julio

Fuente: elaboración propia con DSS.

Según la gráfica 1944 es el año de mejor correlación para el periodo mayo a julio.

Se realizaron 2 regresiones: una, del 1-05 al 31-07 de 1944 con el mismo periodo para 2018; y otra agregando 8 días más de datos, hasta el 8 de agosto. A continuación los resultados.





**Periodo de regresion: 1-05 al 14-08.**

**Tabla 55.** Previsión del 15-08 al 15-09 2018 con 1944.

fecha	realRegistrado	previsionRcon1933	dif.1933	previsionRcon1944	dif.1944
2018-08-15	384	387.32	-3.32	387.98	-3.98
2018-08-16	384	386.20	-2.20	387.98	-3.98
2018-08-17	384	385.08	-1.08	386.32	-2.32
2018-08-18	382	383.97	-1.97	384.65	-2.65
2018-08-19	380	382.85	-2.85	379.65	0.35
2018-08-20	379	380.61	-1.61	375.50	3.50
2018-08-21	379	377.26	1.74	374.67	4.33
2018-08-22	382	376.14	5.86	372.18	9.82
2018-08-23	381	375.02	5.98	369.69	11.31
2018-08-24	380	373.90	6.10	368.03	11.97
2018-08-25	380	370.55	9.45	365.55	14.45
2018-08-26	381	369.43	11.57	364.72	16.28
2018-08-27	380	368.31	11.69	363.06	16.94
2018-08-28	380	367.19	12.81	362.24	17.76
2018-08-29	380	366.08	13.92	362.24	17.76
2018-08-30	379	363.84	15.16	359.76	19.24
2018-08-31	377	362.72	14.28	357.28	19.72
2018-09-01	376	361.60	14.40	356.45	19.55
2018-09-02	377	360.48	16.52	354.80	22.20
2018-09-03	379	359.37	19.63	352.32	26.68
2018-09-04	379	358.25	20.75	350.68	28.32
2018-09-05	378	358.25	19.75	348.20	29.80
2018-09-06	378	357.13	20.87	347.38	30.62
2018-09-07	374	352.66	21.34	344.91	29.09
2018-09-08	374	350.42	23.58	343.27	30.73
2018-09-09	373	347.07	25.93	343.27	29.73
2018-09-10	373	344.83	28.17	338.33	34.67

Fuente: R

Con 1933 se obtienen diferencias menores a 20 cm hasta los primeros 22 días, con 1944 hasta los primeros 18 días.

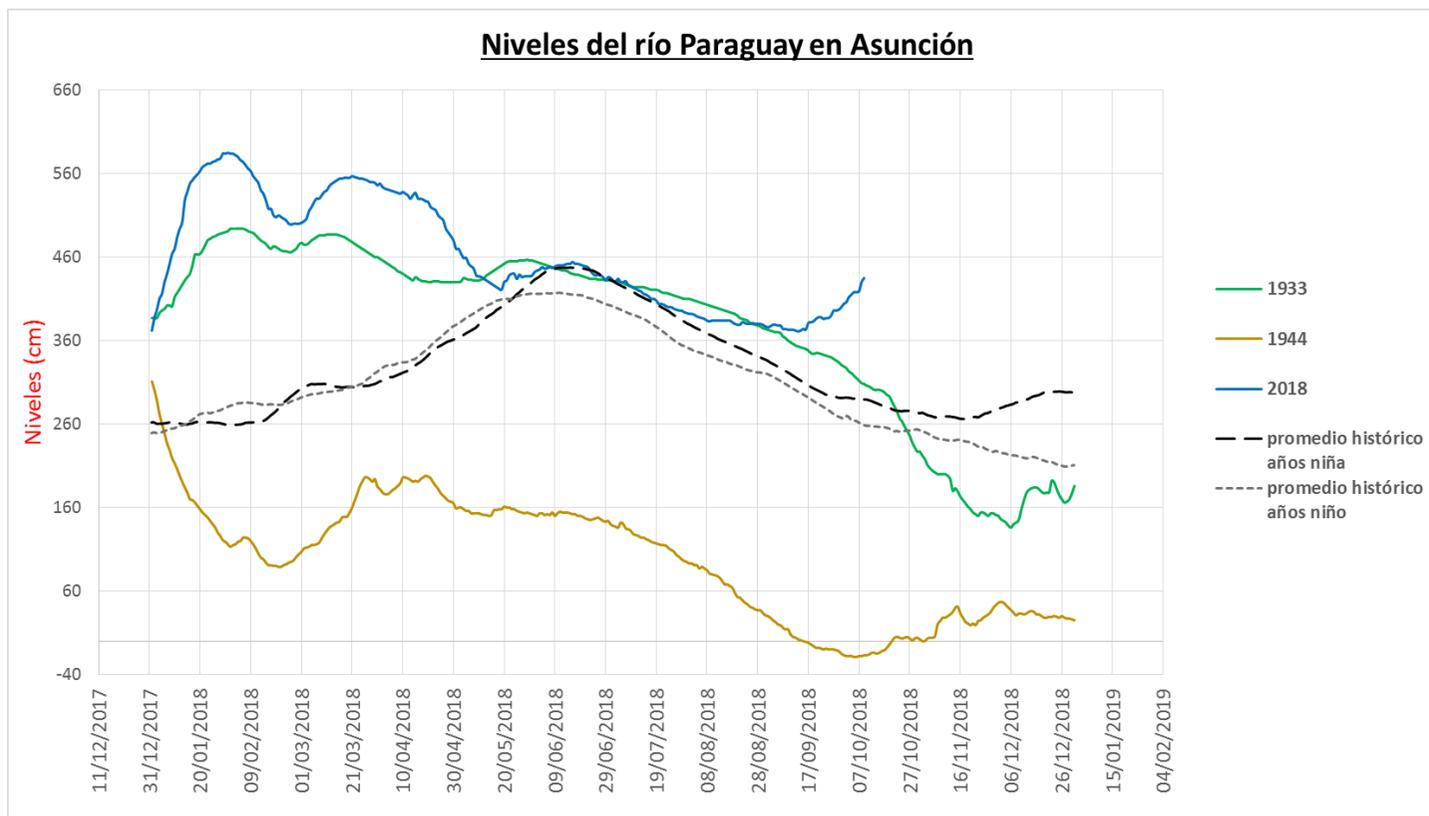
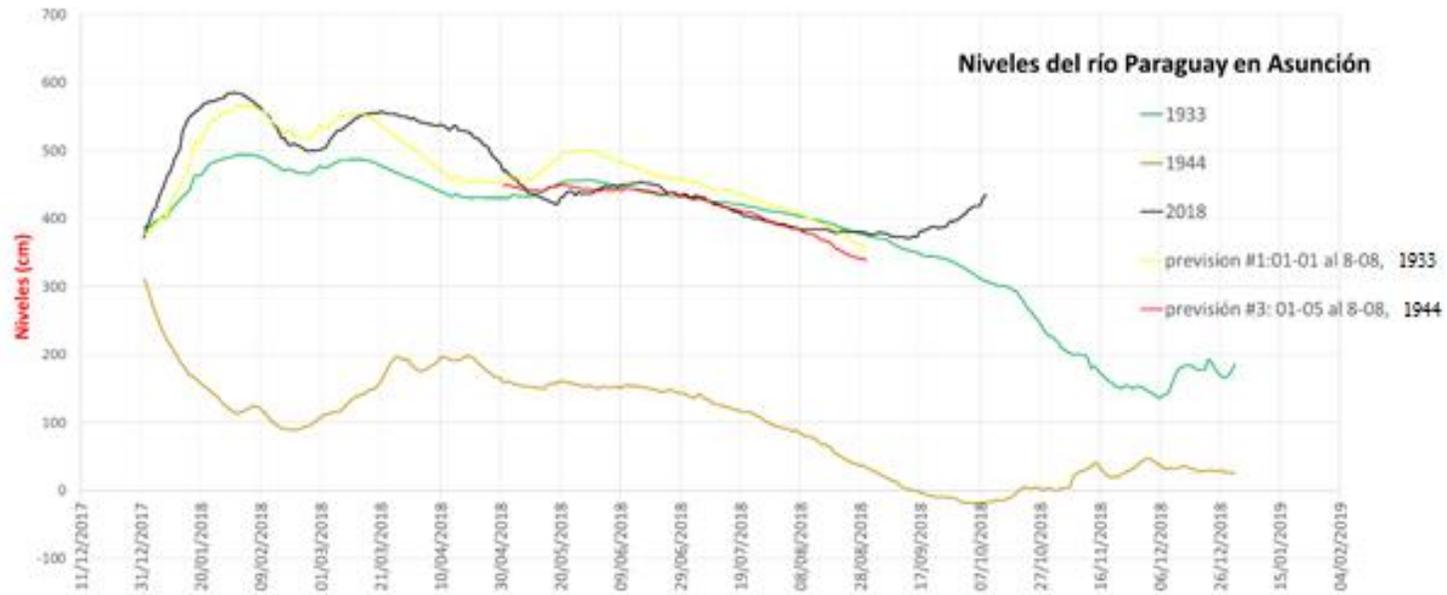


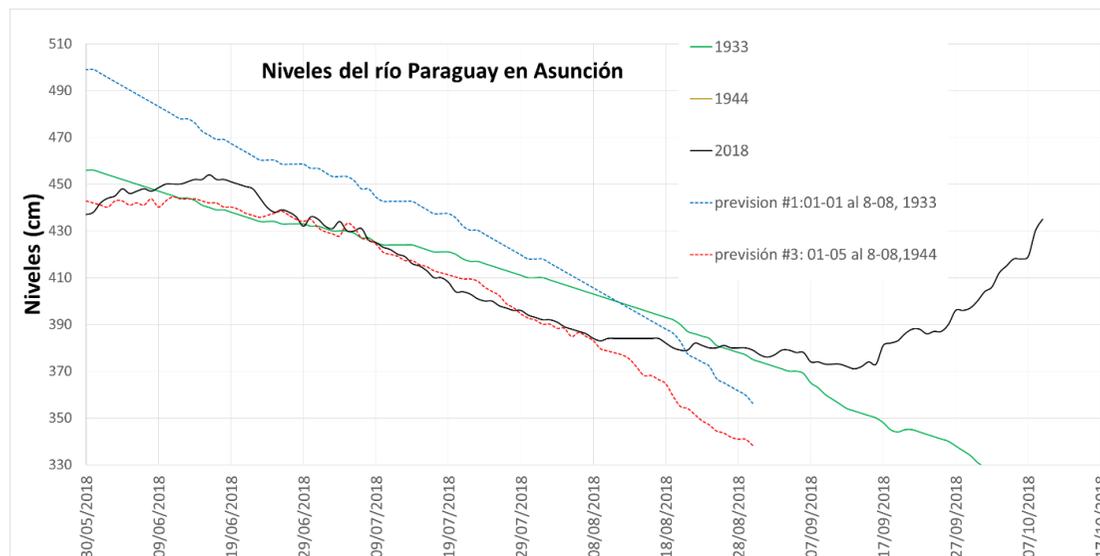
Gráfico 45. Año 2018 con 1933 y 1944.

Fuente: elaboración propia con Excel.



**Gráfico 46.** Previsión con 1933 en amarillo y con 1944 en rojo.

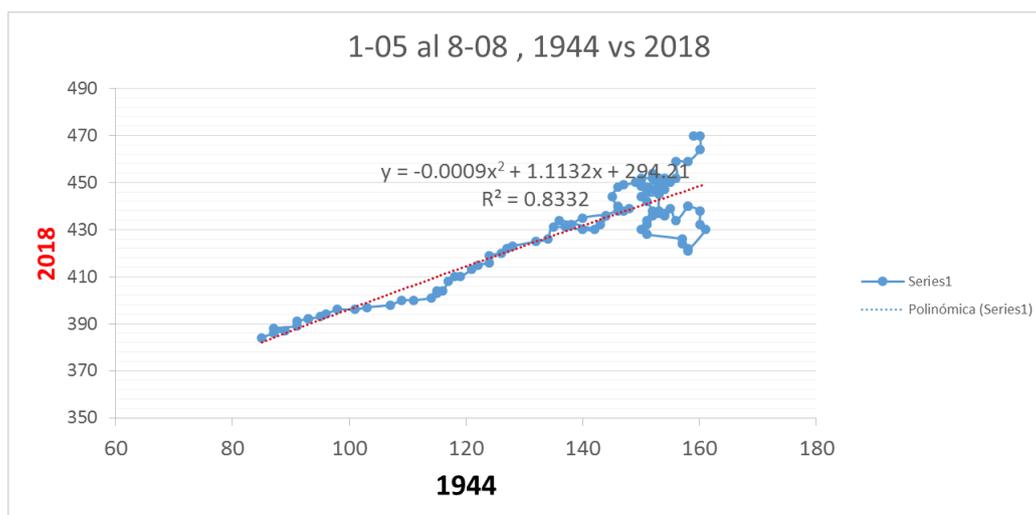
Fuente: elaboración propia con Excel.



**Gráfico 47.** Replicando la serie. 2018 con 1933 y 1944.

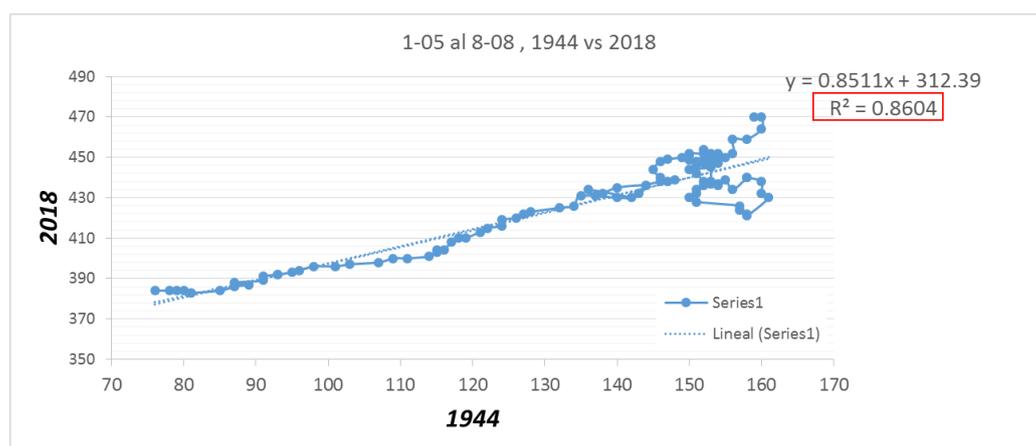
Fuente: elaboración propia con Excel.

En el gráfico 47 se puede ver que la curva real se empieza a alejar de la pronosticada aproximadamente el 18 de agosto, considerando que empieza a subir y las curvas regresoras tienden a descender (hasta finales de setiembre en el caso de 1944, y hasta comienzos de diciembre para 1933).



**Gráfico 48.** Ecuación cuadrática 2018 con 1944.

Fuente: elaboración propia con Excel.

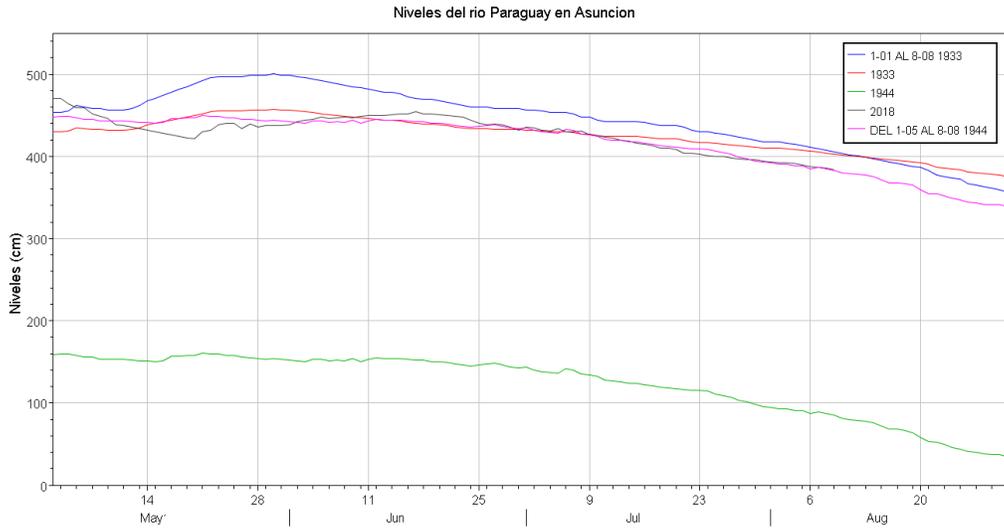


**Gráfico 49.** Ecuación lineal 2018 con 1944.

Fuente: elaboración propia con Excel.

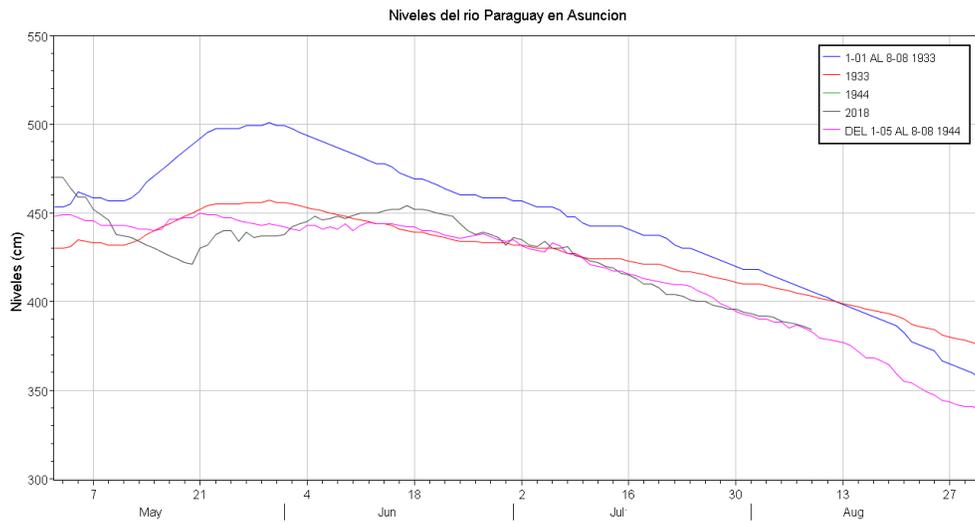
Para el periodo comprendido desde el 1 de mayo al 8 de agosto, 1944 vs 2018 se tiene:

- Coeficiente de determinación  $R^2 = 0.8604$
- Coeficiente de Correlación de Pearson  $R = 0.9274$
- La ecuación lineal dada por el gráfico de dispersión (1944 vs 2018 en el periodo 1-05 a 8-08) da mejores resultados que la polinómica de 2do grado.



**Gráfico 50.** Curvas de los años 1933 y 1944 con 2018.

Fuente: elaboración propia con DSS.



**Gráfico 51.** Curva de los años 1933 y 1944 con 2018, zoom.

Fuente: elaboración propia con DSS.

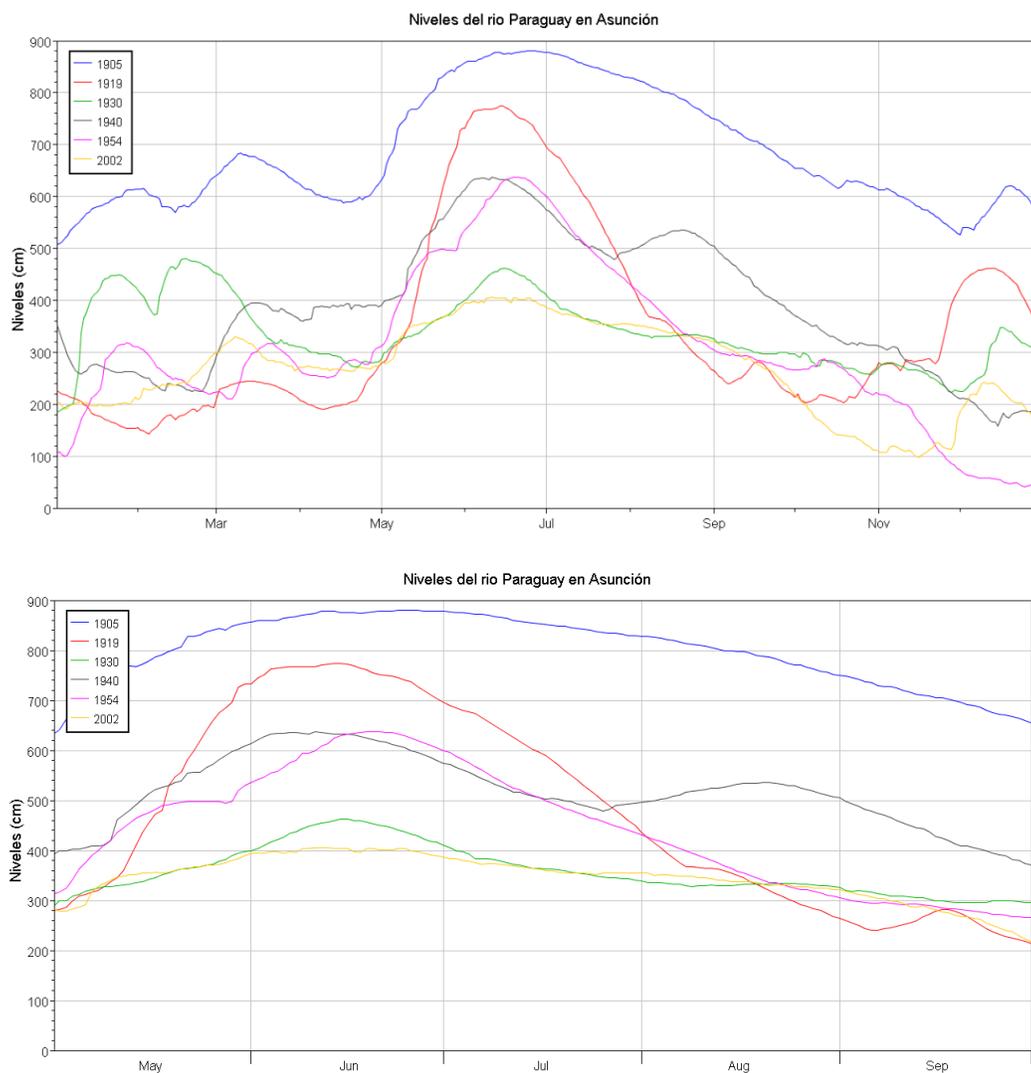
## Parte II. Comprobar si el método funciona para años anteriores.

Años de prueba: 2002, 2003, 2004, 2015.

### # Año 2002

Años que dieron mejor correlación y sus respectivos coeficientes de correlación son:

1940= 0.9410, 1954=0.9370, 1919=0.9329, 1930=0.9130, 1905=0.9080



**Gráfico 52.** Años de mejor correlación numérica con 2002.

Fuente: elaboración propia con DSS.

La grafica supone mejor correlación con 1930. Correlacionando mayo, junio, julio, para la previsión de agosto, los resultados son los siguientes:

**Tabla 56.** Previsión de agosto 2002 con R.

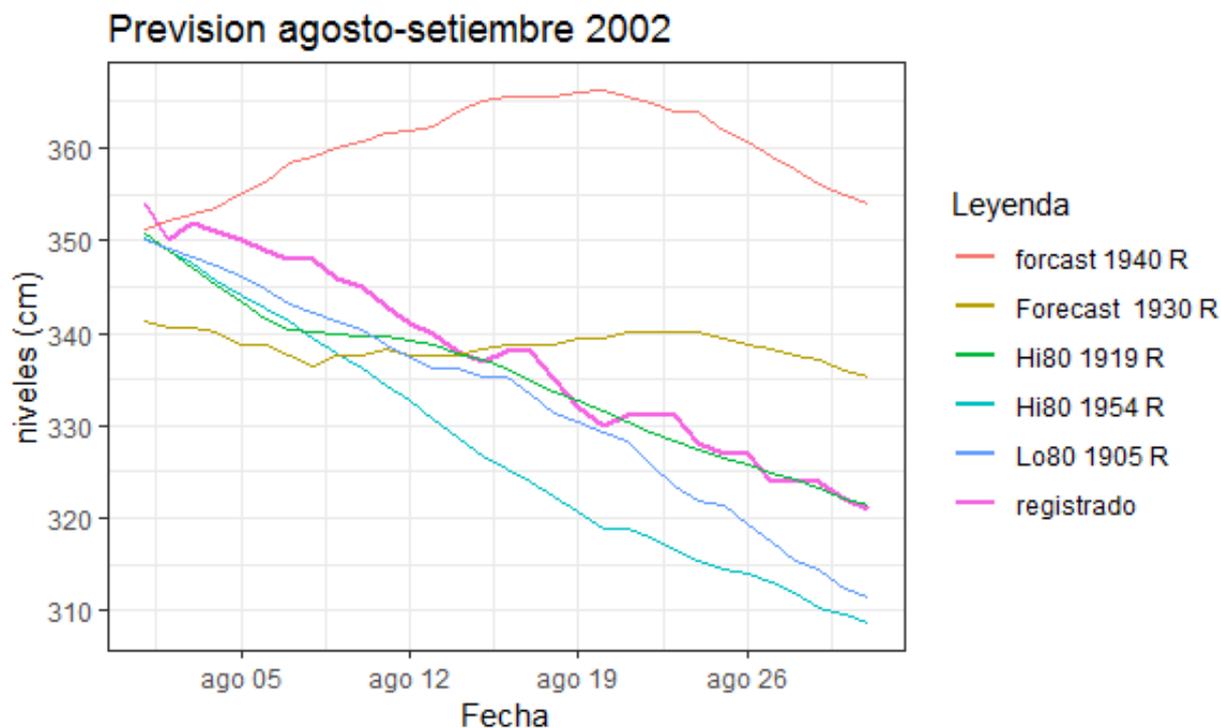
fecha	niv.Registrado	forecast.1954	dif1954	forecast.1919	dif1919	forecast.1930	dif1930	forecast.1905	dif1905	forecast.1940	dif1940
1 2002-08-01	354	350.23	3.77	350.71	3.29	341.25	12.75	350.16	3.84	351.25	2.75
2 2002-08-02	350	348.85	1.15	348.88	1.12	340.65	9.35	349.17	0.83	352.04	-2.04
3 2002-08-03	352	347.47	4.53	347.05	4.95	340.65	11.35	348.19	3.81	352.83	-0.83
4 2002-08-04	351	345.74	5.26	345.23	5.77	340.05	10.95	347.20	3.80	353.63	-2.63
5 2002-08-05	350	344.02	5.98	343.40	6.60	338.85	11.15	346.21	3.79	355.22	-5.22
6 2002-08-06	349	342.64	6.36	341.57	7.43	338.85	10.15	344.73	4.27	356.41	-7.41
7 2002-08-07	348	341.26	6.74	340.29	7.71	337.66	10.34	343.24	4.76	358.39	-10.39
8 2002-08-08	348	339.53	8.47	340.11	7.89	336.46	11.54	342.25	5.75	359.18	-11.18
9 2002-08-09	346	337.81	8.19	339.93	6.07	337.66	8.34	341.26	4.74	359.98	-13.98
10 2002-08-10	345	336.09	8.91	339.75	5.25	337.66	7.34	340.27	4.73	360.77	-15.77
11 2002-08-11	343	334.36	8.64	339.56	3.44	338.26	4.74	338.78	4.22	361.56	-18.56
12 2002-08-12	341	332.64	8.36	339.20	1.80	337.66	3.34	337.30	3.70	361.96	-20.96
13 2002-08-13	340	330.57	9.43	338.83	1.17	337.66	2.34	336.31	3.69	362.36	-22.36
14 2002-08-14	338	328.85	9.15	337.92	0.08	337.66	0.34	336.31	1.69	363.95	-25.95
15 2002-08-15	337	326.79	10.21	337.01	-0.01	338.26	-1.26	335.32	1.68	365.14	-28.14
16 2002-08-16	338	325.41	12.59	336.10	1.90	338.85	-0.85	335.32	2.68	365.53	-27.53
17 2002-08-17	338	324.04	13.96	334.82	3.18	338.85	-0.85	333.33	4.67	365.53	-27.53
18 2002-08-18	335	322.32	12.68	333.73	1.27	338.85	-3.85	331.35	3.65	365.53	-30.53
19 2002-08-19	332	320.60	11.40	332.63	-0.63	339.45	-7.45	330.35	1.65	365.93	-33.93
20 2002-08-20	330	318.88	11.12	331.54	-1.54	339.45	-9.45	329.36	0.64	366.33	-36.33
21 2002-08-21	331	318.88	12.12	330.44	0.56	340.05	-9.05	328.37	2.63	365.53	-34.53
22 2002-08-22	331	317.85	13.15	329.35	1.65	340.05	-9.05	325.88	5.12	364.74	-33.74
23 2002-08-23	331	316.48	14.52	328.26	2.74	340.05	-9.05	323.40	7.60	363.95	-32.95
24 2002-08-24	328	315.45	12.55	327.35	0.65	340.05	-12.05	321.91	6.09	363.95	-35.95
25 2002-08-25	327	314.42	12.58	326.44	0.56	339.45	-12.45	321.41	5.59	361.96	-34.96
26 2002-08-26	327	314.07	12.93	325.71	1.29	338.85	-11.85	319.42	7.58	360.77	-33.77
27 2002-08-27	324	313.04	10.96	324.98	-0.98	338.26	-14.26	317.43	6.57	359.18	-35.18
28 2002-08-28	324	312.02	11.98	324.25	-0.25	337.66	-13.66	315.44	8.56	357.60	-33.60
29 2002-08-29	324	310.30	13.70	323.16	0.84	337.06	-13.06	314.44	9.56	356.01	-32.01
30 2002-08-30	322	309.61	12.39	322.07	-0.07	335.86	-13.86	312.45	9.55	354.82	-32.82
31 2002-08-31	321	308.59	12.41	321.34	-0.34	335.27	-14.27	311.45	9.55	354.03	-33.03

Fuente: elaboración propia con R.

**Tabla 57.** Previsión setiembre 2002 con R.

fecha	niv.Registrado	forecast.1954	dif1954	forecast.1919	dif1919	forecast.1930	dif1930	forecast.1905	dif1905	forecast.1940	dif1940
32 2002-09-01	318	307.56	10.44	320.61	-2.61	331.68	-13.68	310.45	7.55	351.25	-33.25
33 2002-09-02	315	306.87	8.13	319.52	-4.52	330.48	-15.48	309.45	5.55	349.26	-34.26
34 2002-09-03	312	305.84	6.16	318.79	-6.79	331.68	-19.68	307.46	4.54	347.28	-35.28
35 2002-09-04	310	305.50	4.50	317.70	-7.70	330.48	-20.48	305.46	4.54	344.90	-34.90
36 2002-09-05	307	305.16	1.84	316.98	-9.98	329.28	-22.28	304.46	2.54	343.71	-36.71
37 2002-09-06	304	304.81	-0.81	316.98	-12.98	328.09	-24.09	301.47	2.53	341.72	-37.72
38 2002-09-07	304	305.50	-1.50	317.52	-13.52	326.89	-22.89	300.47	3.53	340.14	-36.14
39 2002-09-08	300	304.81	-4.81	318.07	-18.07	325.09	-25.09	300.47	-0.47	338.55	-38.55
40 2002-09-09	297	304.47	-7.47	318.61	-21.61	324.50	-27.50	298.47	-1.47	336.17	-39.17
41 2002-09-10	294	304.13	-10.13	318.98	-24.98	325.09	-31.09	296.47	-2.47	333.79	-39.79
42 2002-09-11	288	304.47	-16.47	319.70	-31.70	323.90	-35.90	294.46	-6.46	332.20	-44.20
43 2002-09-12	286	304.47	-18.47	320.61	-34.61	323.30	-37.30	292.46	-6.46	330.61	-44.61
44 2002-09-13	290	304.13	-14.13	321.89	-31.89	322.70	-32.70	291.46	-1.46	329.82	-39.82
45 2002-09-14	285	303.44	-18.44	322.98	-37.98	321.50	-36.50	290.46	-5.46	327.04	-42.04
46 2002-09-15	281	302.76	-21.76	324.07	-43.07	319.71	-38.71	289.46	-8.46	323.47	-42.47
47 2002-09-16	277	301.73	-24.73	324.62	-47.62	319.71	-42.71	289.46	-12.46	321.88	-44.88
48 2002-09-17	275	301.39	-26.39	324.62	-49.62	318.51	-43.51	287.45	-12.45	320.30	-45.30
49 2002-09-18	270	301.05	-31.05	323.89	-53.89	317.32	-47.32	286.45	-16.45	317.92	-47.92
50 2002-09-19	268	300.70	-32.70	323.16	-55.16	317.32	-49.32	284.44	-16.44	315.93	-47.93
51 2002-09-20	267	300.02	-33.02	322.07	-55.07	317.32	-50.32	282.44	-15.44	315.54	-48.54
52 2002-09-21	264	299.68	-35.68	320.61	-56.61	317.32	-53.32	280.93	-16.93	314.34	-50.34
53 2002-09-22	262	298.99	-36.99	319.16	-57.16	317.32	-55.32	279.42	-17.42	313.15	-51.15
54 2002-09-23	255	298.31	-43.31	317.70	-62.70	317.32	-62.32	276.41	-21.41	311.96	-56.96
55 2002-09-24	250	297.62	-47.62	316.61	-66.61	319.71	-69.71	274.40	-24.40	309.98	-59.98
56 2002-09-25	246	297.62	-51.62	315.52	-69.52	319.71	-73.71	272.39	-26.39	309.19	-63.19
57 2002-09-26	240	296.94	-56.94	314.80	-74.80	319.71	-79.71	271.38	-31.38	308.00	-68.00
58 2002-09-27	238	295.91	-57.91	314.25	-76.25	319.71	-81.71	270.38	-32.38	305.22	-67.22
59 2002-09-28	230	295.57	-65.57	313.71	-83.71	317.92	-87.92	268.37	-38.37	304.42	-74.42
60 2002-09-29	223	295.23	-72.23	312.98	-89.98	317.32	-94.32	265.85	-42.85	302.04	-79.04
61 2002-09-30	217	295.23	-78.23	312.25	-95.25	317.32	-100.32	263.33	-46.33	300.46	-83.46

Fuente: elaboración propia con R.



**Gráfico 53.** Previsión de agosto y setiembre 2002 con correlación trimestral.

Fuente: elaboración propia con R

La mejor previsión para agosto y setiembre del 2002 fue con 1905, el 5to año de mejor correlación numérica para mayo, junio y julio 2002.

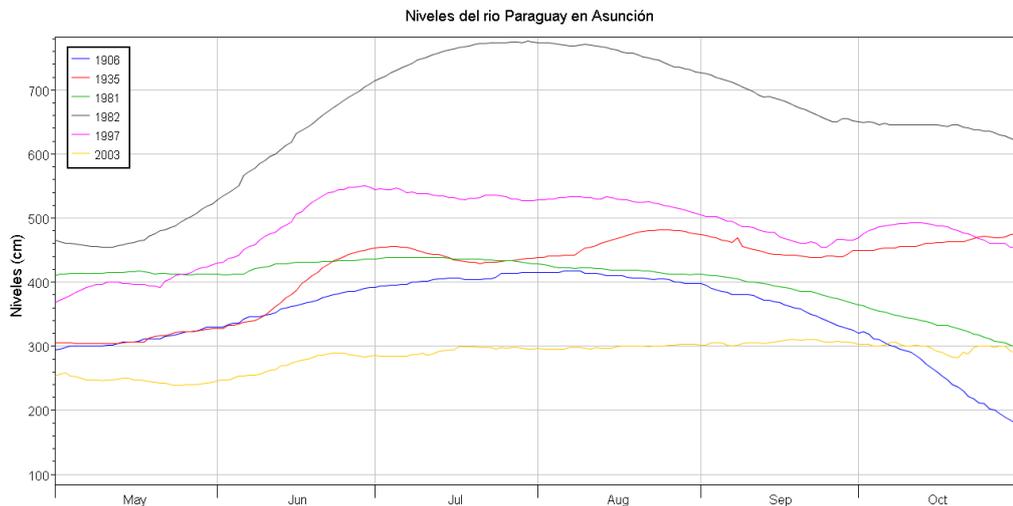
Para el primer mes de previsión, agosto, y mediados de setiembre, todas las diferencias de Lo80 1905 están por debajo de los 10 cm.

Se tienen 53 días de previsión con errores menores a 20 cm para Lo80 1905 con R.

# Año 2003.

Años que dieron mejor correlación y sus respectivos coeficientes de correlación son:

1982= 0.9580, 1906= 0.9477, 1935=0.9422, 1981=0.9336, 1997= 0.9287.



**Gráfico 54.** Años de mejor correlación numérica con 2003

Fuente: elaboración propia con DSS.

Observando mayo, junio, julio, se ve buena correlación gráfica para 1906 y 1981.

**# Correlacion mayo, junio, julio para prevision de agosto 2003 con 1981 y 1906.**

Últimos días de julio presentan niveles de 296 y 297 m.

**Tabla 58.** Previsión agosto 2003. Con correlación trimestral.

fecha	niv.Registrado	prev.1906.Lo80	dif	prev.1935	dif.1	prev.1981Hi95	dif2	prev.1982	dif.3	prev.1997.Lo95	dif.4
1 2003-08-01	296	294.51	1.49	290.10	5.90	288.66	7.34	296.27	-0.27	269.95	26.05
2 2003-08-02	295	294.02	0.98	290.78	4.22	286.73	8.27	296.10	-1.10	270.58	24.42
3 2003-08-03	296	293.04	2.96	290.78	5.22	282.87	13.13	295.93	0.07	270.58	25.42
4 2003-08-04	296	292.55	3.45	290.78	5.22	280.94	15.06	295.76	0.24	271.21	24.79
5 2003-08-05	296	292.05	3.95	291.12	4.88	279.02	16.98	295.59	0.41	271.21	24.79
6 2003-08-06	298	292.05	5.95	291.12	6.88	279.02	18.98	295.42	2.58	271.53	26.47
7 2003-08-07	298	291.56	6.44	291.12	6.88	277.09	20.91	295.42	2.58	271.53	26.47
8 2003-08-08	298	292.55	5.45	293.16	4.84	280.94	17.06	295.59	2.41	271.53	26.47
9 2003-08-09	297	292.55	4.45	294.87	2.13	280.94	16.06	295.76	1.24	271.21	25.79
10 2003-08-10	296	292.05	3.95	295.55	0.45	279.02	16.98	295.59	0.41	271.21	24.79
11 2003-08-11	298	291.56	6.44	296.23	1.77	277.09	20.91	295.42	2.58	270.58	27.42
12 2003-08-12	297	291.56	5.44	297.25	-0.25	277.09	19.91	295.25	1.75	270.58	26.42
13 2003-08-13	297	291.07	5.93	298.27	-1.27	275.17	21.83	294.91	2.09	271.53	25.47
14 2003-08-14	297	290.58	6.42	299.29	-2.29	273.25	23.75	294.58	2.42	271.21	25.79
15 2003-08-15	299	290.58	8.42	299.97	-0.97	273.25	25.75	294.24	4.76	270.58	28.42
16 2003-08-16	300	290.58	9.42	300.65	-0.65	273.25	26.75	293.73	6.27	270.26	29.74
17 2003-08-17	300	290.58	9.42	301.68	-1.68	273.25	26.75	293.56	6.44	269.95	30.05
18 2003-08-18	300	290.58	9.42	302.36	-2.36	273.25	26.75	293.39	6.61	269.31	30.69
19 2003-08-19	300	290.58	9.42	303.38	-3.38	273.25	26.75	293.05	6.95	269.00	31.00
20 2003-08-20	300	290.09	9.91	303.72	-3.72	271.33	28.67	292.55	7.45	269.00	31.00
21 2003-08-21	299	289.60	9.40	304.06	-5.06	269.41	29.59	292.21	6.79	269.31	29.69
22 2003-08-22	300	289.11	10.89	304.06	-4.06	267.50	32.50	291.87	8.13	268.68	31.32
23 2003-08-23	300	288.62	11.38	304.40	-4.40	265.58	34.42	291.53	8.47	268.05	31.95
24 2003-08-24	301	288.13	12.87	304.40	-3.40	263.67	37.33	291.02	9.98	267.42	33.58
25 2003-08-25	302	287.64	14.36	304.40	-2.40	261.76	40.24	290.35	11.65	267.10	34.90
26 2003-08-26	302	287.15	14.85	304.06	-2.06	259.85	42.15	289.84	12.16	266.15	35.85
27 2003-08-27	303	287.64	15.36	304.06	-1.06	261.76	41.24	289.67	13.33	265.84	37.16

Fuente: elaboración propia con R

La suma de las diferencias da:

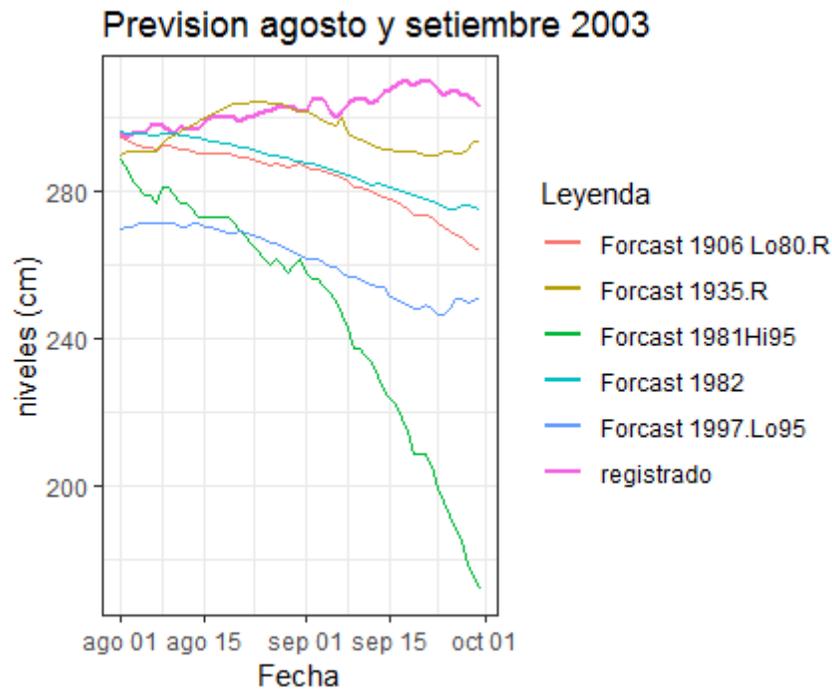
1906= 1146.46, 1935= 379.34, 1981=936.58, 1982= 2511,44 y 1997=2511,44.

Indicando mejores resultados para 1935. Observando los primeros 3 días se pudo descartar 1997, y observando los valores reales de la primera semana se notó una tendencia ascendente, entonces se procedió a descartar 1906 y 1981 porque descienden. Quedaron 1935 y 1982. A partir de la segunda semana decidí quedarme con 1935.

**Tabla 59.** Previsión setiembre 2003. Con correlación trimestral.

fecha	niv.Registrado	rev.1935	dif	prev.1982	dif.1
27 2003-08-27	303	304.06	-1.06	289.67	13.33
28 2003-08-28	303	303.72	-0.72	289.33	13.67
29 2003-08-29	303	303.04	-0.04	289.16	13.84
30 2003-08-30	303	302.36	0.64	288.48	14.52
31 2003-08-31	302	302.02	-0.02	288.31	13.69
32 2003-09-01	302	301.68	0.32	287.98	14.02
33 2003-09-02	305	301.00	4.00	287.64	17.36
34 2003-09-03	305	300.31	4.69	287.13	17.87
35 2003-09-04	305	299.29	5.71	286.62	18.38
36 2003-09-05	302	298.61	3.39	286.28	15.72
37 2003-09-06	300	297.93	2.07	285.78	14.22
38 2003-09-07	302	300.31	1.69	285.10	16.90
39 2003-09-08	304	295.89	8.11	284.59	19.41
40 2003-09-09	305	294.87	10.13	283.91	21.09
41 2003-09-10	305	294.19	10.81	283.24	21.76
42 2003-09-11	305	293.50	11.50	282.39	22.61
43 2003-09-12	304	292.82	11.18	281.88	22.12
44 2003-09-13	305	291.80	13.20	282.05	22.95
45 2003-09-14	307	291.46	15.54	281.55	25.45
46 2003-09-15	308	291.46	16.54	281.21	26.79
47 2003-09-16	309	291.12	17.88	280.70	28.30
48 2003-09-17	310	291.12	18.88	280.19	29.81
49 2003-09-18	310	291.12	18.88	279.51	30.49
50 2003-09-19	309	290.78	18.22	278.84	30.16
51 2003-09-20	310	290.44	19.56	278.50	31.50
52 2003-09-21	310	290.10	19.90	277.82	32.18
53 2003-09-22	310	289.76	20.24	277.31	32.69
54 2003-09-23	308	289.76	18.24	276.64	31.36
55 2003-09-24	306	290.78	15.22	275.96	30.04
56 2003-09-25	307	290.78	16.22	275.28	31.72
57 2003-09-26	308	290.44	17.56	275.28	32.72
58 2003-09-27	306	290.44	15.56	276.13	29.87
59 2003-09-28	306	291.46	14.54	276.13	29.87
60 2003-09-29	305	293.84	11.16	275.62	29.38
61 2003-09-30	303	293.84	9.16	275.28	27.72

Fuente: elaboración propia con R.



**Gráfico 55.** Previsión de agosto y setiembre 2003.

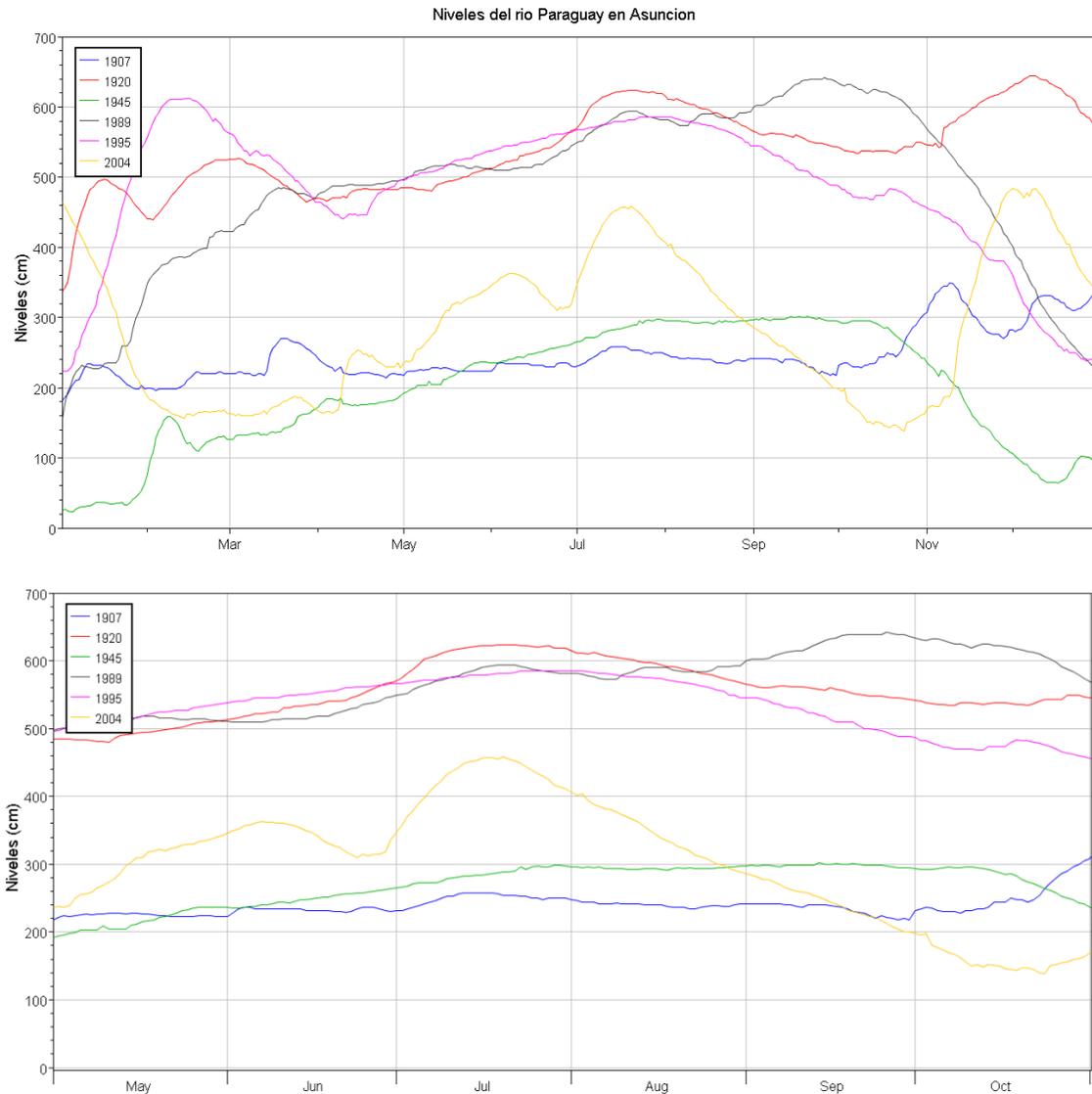
Fuente: elaboración propia con R.

Con 1935 se tienen dos meses de previsión con diferencias menores a 21cm.

1935 era el 3ero entre las 5 mejores correlaciones, y no se percibía en el gráfico 5456 bien correlacionado como el año 1906 o el año 1981, y sin embargo produjo resultados con diferencias menores a los 21 cm para los 2 meses siguientes. (se probó hasta 2 meses).

### # Año 2004.

Los años que indicaron mejor correlación y sus respectivos coeficientes de correlación son:  
1920= 0.9064, 1907=0.9056, 1945= 0.8975, 1995=0.8813 y 1989= 0.8684.



**Gráfico 57.** Año 2004 (amarillo) con 1907 (azul), 1920 (rojo), 1945 (verde), 1989 (negro) y 1995 (rosado).

Fuente: elaboración propia con DSS.

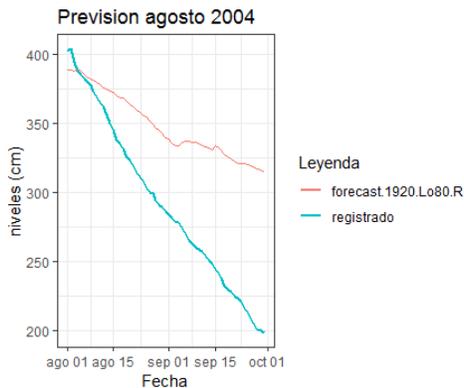
No se identificó una correspondencia entre las gráficas y los coeficientes de correlación.

**Tabla 60.** Previsión agosto 2004 con correlación trimestral.

	fecha	niv.Registrado	forecast.1920.Lo80.R	dif1920
1	2004-08-01	402	388.50	13.50
2	2004-08-02	404	388.50	15.50
3	2004-08-03	394	387.43	6.57
4	2004-08-04	388	389.56	-1.56
5	2004-08-05	385	387.43	-2.43
6	2004-08-06	382	385.30	-3.30
7	2004-08-07	380	383.17	-3.17
8	2004-08-08	377	382.10	-5.10
9	2004-08-09	373	381.04	-8.04
10	2004-08-10	369	379.97	-10.97
11	2004-08-11	365	377.84	-12.84
12	2004-08-12	362	375.70	-13.70
13	2004-08-13	356	374.64	-18.64
14	2004-08-14	350	373.57	-23.57
15	2004-08-15	345	372.50	-27.50
16	2004-08-16	338	370.37	-32.37
17	2004-08-17	335	368.23	-33.23
18	2004-08-18	331	368.23	-37.23
19	2004-08-19	326	366.10	-40.10
20	2004-08-20	323	363.96	-40.96
21	2004-08-21	319	361.82	-42.82
22	2004-08-22	314	359.69	-45.69

Fuente: elaboración propia con R.

Correlacionando mayo, junio, julio, para la previsión de agosto se tienen diferencias menores a 20cm hasta los primeros 13 días con Forecast 1920 Lo80 de R.



**Gráfico 58.** Previsión agosto 2004 con correlación trimestral.

Fuente: elaboración propia con R.

En el gráfico se ve que la curva de previsión sigue la tendencia de los niveles reales registrados.

La tabla siguiente presentan resultados de correlaciones con Excel.

La intención de adjuntarlas es mostrar que el año 1907, estando 2do entre las 5 mejores correlaciones, no se veía tan correlacionado en la gráfica como el año 1920, y sin embargo produjo resultados con diferencias menores a los 20 cm para los primeros 11 días con una polinómica de 2do grado.

**Tabla 61.** Previsión agosto 2004 con 1907. Lineal y polinómica de orden 2.

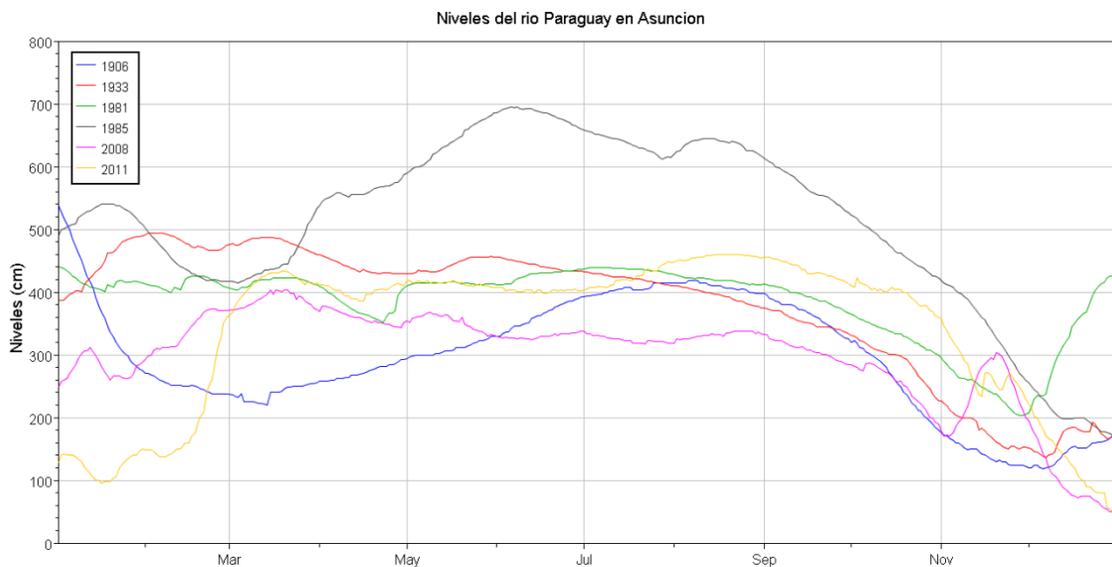
	niveles Asuncion		1907 con 2004				
	1907	2004	regresion lineal		polinomica orden 2		
			prevision	real-prev.	prevision	real-prev.	
	1	246.0	402.0	404.39	-2.39	402.1618	-0.2
	2	244.0	404.0	394.77	9.23	392.4308	11.6
	3	244.0	394.0	394.77	-0.77	392.4308	1.6
	4	244.0	388.0	394.77	-6.77	392.4308	-4.4
	5	242.0	385.0	385.14	-0.14	382.7502	2.2
	6	242.0	382.0	385.14	-3.14	382.7502	-0.8
	7	242.0	380.0	385.14	-5.14	382.7502	-2.8
	8	243.0	377.0	389.96	-12.96	387.5842	-10.6
	9	242.0	373.0	385.14	-12.14	382.7502	-9.8
	10	241.0	369.0	380.33	-11.33	377.9288	-8.9
	11	241.0	365.0	380.33	-15.33	377.9288	-12.9
	12	242.0	362.0	385.14	-23.14	382.7502	-20.8
	13	240.0	356.0	375.52	-19.52	373.12	-17.1
	14	240.0	350.0	375.52	-25.52	373.12	-23.1
	15	240.0	345.0	375.52	-30.52	373.12	-28.1
	16	240.0	338.0	375.52	-37.52	373.12	-35.1
	17	238.0	335.0	365.90	-30.90	363.5402	-28.5
	18	236.0	331.0	356.27	-25.27	354.0108	-23.0
	19	236.0	326.0	356.27	-30.27	354.0108	-28.0
	20	236.0	323.0	356.27	-33.27	354.0108	-31.0
	21	234.0	319.0	346.65	-27.65	344.5318	-25.5
	22	234.0	314.0	346.65	-32.65	344.5318	-30.5
	23	236.0	311.0	356.27	-45.27	354.0108	-43.0
	24	238.0	308.0	365.90	-57.90	363.5402	-55.5
	25	239.0	303.0	370.71	-67.71	368.3238	-65.3
	26	239.0	300.0	370.71	-70.71	368.3238	-68.3
	27	238.0	299.0	365.90	-66.90	363.5402	-64.5
	28	238.0	294.0	365.90	-71.90	363.5402	-69.5
	29	240.0	291.0	375.52	-84.52	373.12	-82.1
	30	241.0	289.0	380.33	-91.33	377.9288	-88.9
	31	242.0	286.0	385.14	-99.14	382.7502	-96.8

Fuente: elaboración propia con Excel.

Si bien los resultados de la polinómica de orden 2 son mejores que la lineal, la diferencia es de aproximadamente 2 cm en cada previsión entre la lineal y la polinómica, pero los números siguen siendo, en valor absoluto mayores a 20 cm después del día 11. Podría decirse que funciona para los 10 primeros días.

### # Año 2011.

Correlacionando setiembre, octubre y noviembre de 2011 con el histórico, estos fueron los años de mejor correlación y sus respectivos coeficientes de correlación: 1981=0.984, 1985=0.979, 1906=0.979, 2008= 0.978 y 1933=0.976.



**Gráfico 59.** Año 2011 (amarillo) con años: 1906 (azul), 1933 (rojo), 1981 (verde), 1985 (negro) y 2008 (rosado).

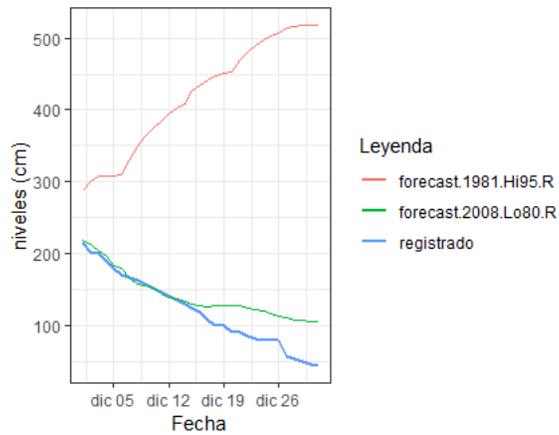
Fuente: elaboración propia con DSS.

Se correlacionaron los meses de setiembre, octubre y noviembre para la previsión de diciembre 2011. Con Forecast 2008.Lo80.R se tienen 17 días de previsión con menos de 20 cm de diferencia. 2008 captó la tendencia descendente de diciembre 2011, 1981 produjo una previsión con tendencia ascendente.

**Tabla 62.** Previsión diciembre 2011.

	fecha	niv.Registrado	forecast.2008.Lo80.R	dif2008	forecast.1981.Hi95.R	dif1981
1	2011-12-01	216	219.51	-3.51	287.82	-71.82
2	2011-12-02	202	213.01	-11.01	300.87	-98.87
3	2011-12-03	200	204.86	-4.86	307.40	-107.40
4	2011-12-04	190	195.83	-5.83	307.40	-117.40
5	2011-12-05	180	183.44	-3.44	307.40	-127.40
6	2011-12-06	170	179.29	-9.29	309.58	-139.58
7	2011-12-07	167	166.78	0.22	330.28	-163.28
8	2011-12-08	164	158.39	5.61	348.84	-184.84
9	2011-12-09	158	155.86	2.14	363.04	-205.04
10	2011-12-10	152	152.49	-0.49	375.07	-223.07
11	2011-12-11	146	144.89	1.11	384.92	-238.92
12	2011-12-12	141	139.80	1.20	394.78	-253.78
13	2011-12-13	136	136.40	-0.40	402.46	-266.46
14	2011-12-14	130	132.99	-2.99	409.04	-279.04
15	2011-12-15	124	129.58	-5.58	426.60	-302.60
16	2011-12-16	118	128.73	-10.73	434.30	-316.30
17	2011-12-17	108	126.16	-18.16	440.89	-332.89
18	2011-12-18	101	128.73	-27.73	446.39	-345.39
19	2011-12-19	100	128.73	-28.73	450.80	-350.80
20	2011-12-20	90	127.87	-37.87	453.00	-363.00
21	2011-12-21	90	127.87	-37.87	469.52	-379.52
22	2011-12-22	85	124.45	-39.45	481.65	-396.65

Fuente: elaboración propia con R

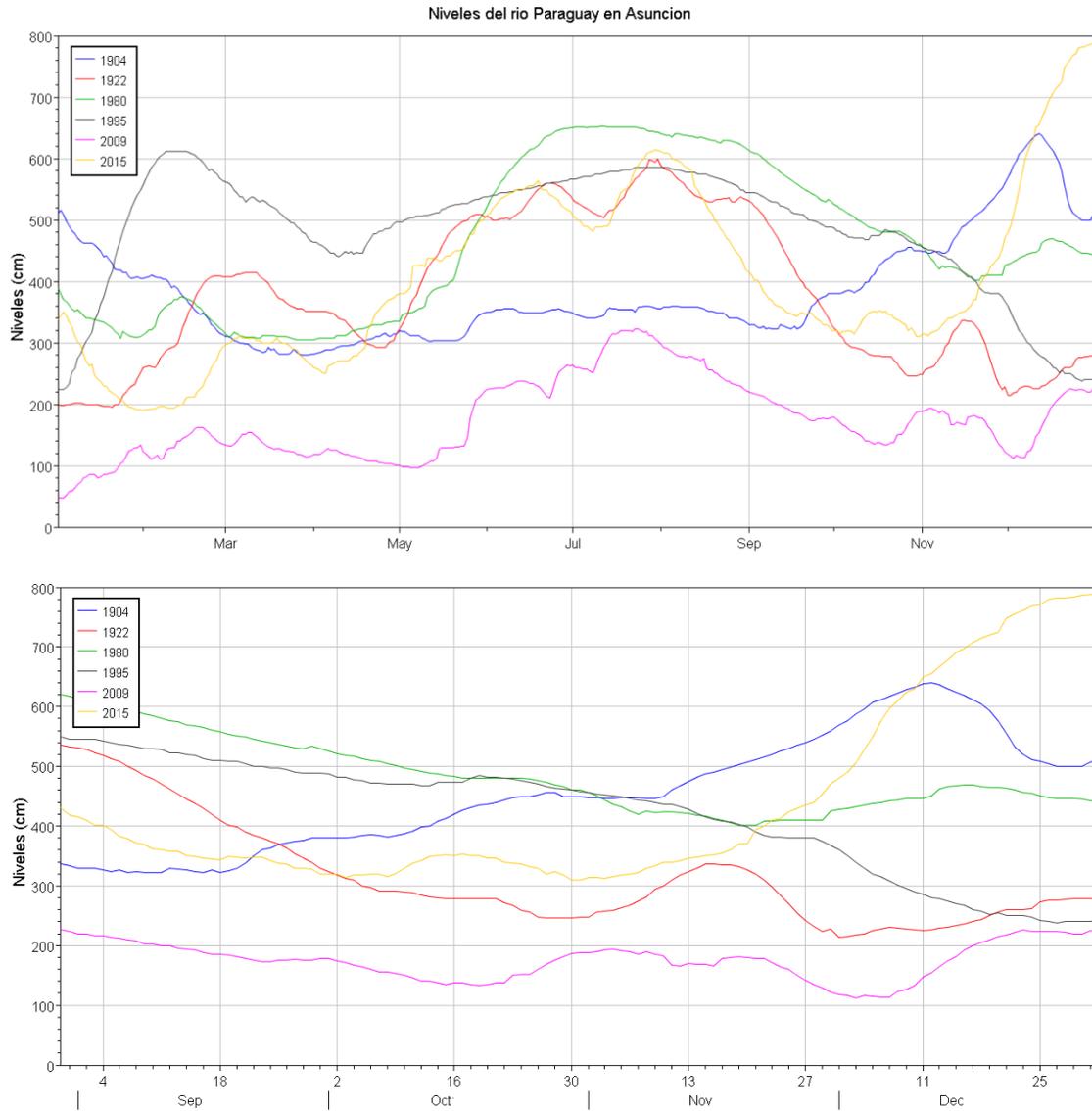


**Gráfico 60.** Previsión diciembre 2011 correlacionando con 2008.

Fuente: elaboración propia con R.

### # Año 2015.

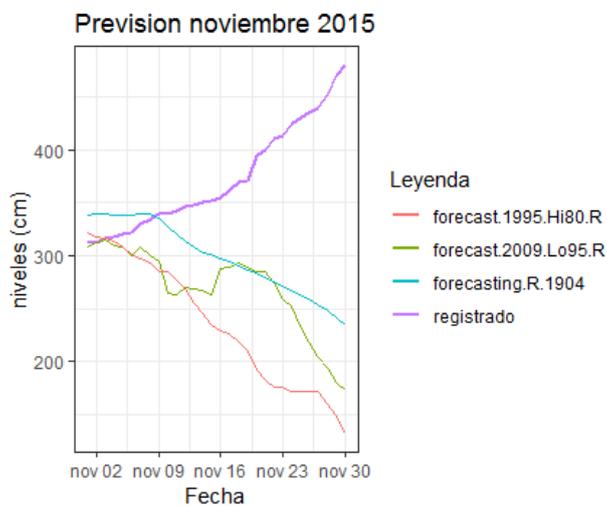
Los años que indicaron mejor correlación y sus respectivos coeficientes de correlación son:  
1922=0.8964, 1904=0.8543, 2009=0.832, 1980=0.8144 y 1995=0.811.



**Gráfico 61.** Año 2015 (amarillo) con los años: 1904 (azul), 1922 (rojo), 1980 (verde), 1995 (negro) y 2009 (rosado).

Fuente: elaboración propia con DSS

Se correlacionaron agosto, setiembre y octubre para la previsión de noviembre 2015.



**Gráfico 62.** Previsión noviembre 2015.

Fuente: elaboración propia con R.

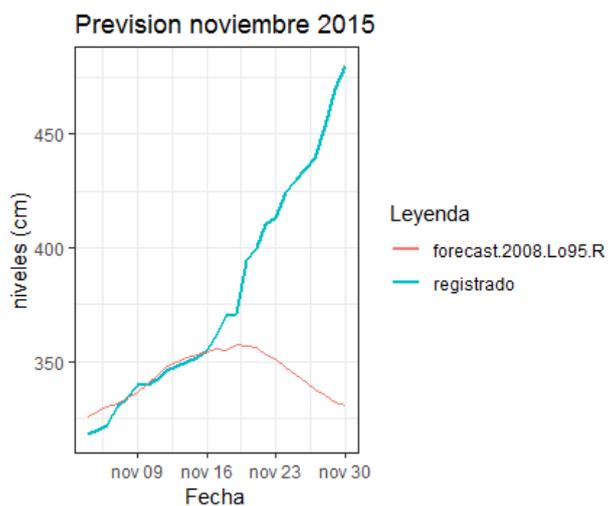
Estos resultados no son buenos, no captaron la tendencia.

A comienzos de noviembre podemos detectar que 2008 tiene una tendencia ascendente desde el 2 hasta el 20, entonces se hizo una previsión para noviembre correlacionado con octubre 2008.

**Tabla 63.** Previsión noviembre 2015 con 2008

	fecha	niv.Registrado	forecast.2008.Lo95.R	dif2008
1	2015-11-04	318	325.81	-7.81
2	2015-11-05	320	328.37	-8.37
3	2015-11-06	322	329.90	-7.90
4	2015-11-07	330	331.43	-1.43
5	2015-11-08	334	333.96	0.04
6	2015-11-09	340	336.73	3.27
7	2015-11-10	340	340.23	-0.23
8	2015-11-11	342	343.95	-1.95
9	2015-11-12	346	347.64	-1.64
10	2015-11-13	348	350.08	-2.08
11	2015-11-14	350	351.79	-1.79
12	2015-11-15	352	353.00	-1.00
13	2015-11-16	355	354.21	0.79
14	2015-11-17	361	355.42	5.58
15	2015-11-18	370	354.69	15.31
16	2015-11-19	371	357.35	13.65
17	2015-11-20	394	356.87	37.13
18	2015-11-21	400	355.90	44.10
19	2015-11-22	410	353.24	56.76
20	2015-11-23	413	350.81	62.19
21	2015-11-24	424	347.15	76.85
22	2015-11-25	430	344.44	85.56

Fuente: elaboración propia con R



**Gráfico 63.** Previsión noviembre 2015 con 2008.

Fuente: elaboración propia con R

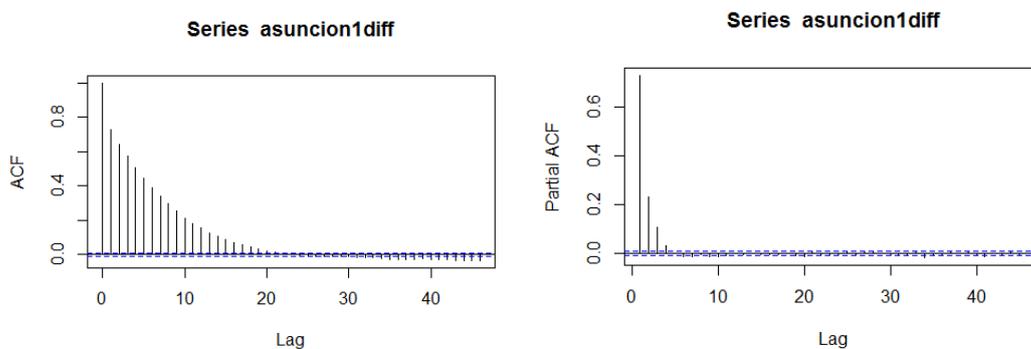
Se tienen 16 días de previsión con una diferencia menor a los 20 cm.

#### 5.4. Caso D.

Para aplicar el método ARIMA primero se hizo un análisis de estacionariedad para luego determinar los órdenes  $p$  y  $q$  del modelo.

En el capítulo III de descomposición de la serie de tiempo se indicó mediante la función de correlación (ACF) y función de autocorrelación parcial (PACF) que la serie histórica (1-01-1904 a agosto-2018) de niveles de Asunción no era estacionaria.

Se diferenció una vez, y observando los gráficos de la ACF y PACF de esta nueva serie se tomó como estacionaria.



**Gráfico 64.** ACF y PACF de la serie de Niveles hidrométricos del río Paraguay en Asunción, diferenciada 1 vez.

Fuente: elaboración propia con el software R.

Los coeficientes de autocorrelación del correlograma decrecen exponencialmente.

Observando la función de autocorrelación parcial (pacf) se identificó 1 lag significativo, y se tomó por lo tanto como un modelo autorregresivo de orden 1,  $AR(1)$ .

Observando la función de autocorrelación (fac) se identificaron 2 lags significativos, por lo que se decidió por un modelo de medias móviles de orden 2,  $MA(2)$ .

Usando R, un software libre para estadística, se obtuvieron los parámetros para el modelo  $ARIMA(1,1,2)$ , para luego hacer las previsiones.

Con el periodo de 01-01-1904 a agosto 2018 se hizo la previsión de setiembre 2018.

La sugerencia del software, con la función **auto.arima** es un modelo  $ARIMA(4,1,3)$  con los siguiente coeficientes:

Coefficients:

ar1 ar2 ar3 ar4 ma1 ma2 ma3  
 0.989 0.5 -0.5996 0.0585 -0.4583 -0.5747 0.3045

**Tabla 64.** Previsión agosto 2018. ARIMA.

▲	fecha	niv.registrado	forecastR.ARIMA.4.1.3	diferencia	forecastR.ARIMA.1.1.1	diferencia.1
1	2018-08-01	392	392.12	-0.12	392.06	-0.06
2	2018-08-02	392	391.33	0.67	391.22	0.78
3	2018-08-03	391	390.64	0.36	390.48	0.52
4	2018-08-04	389	390.03	-1.03	389.83	-0.83
5	2018-08-05	388	389.51	-1.51	389.25	-1.25
6	2018-08-06	387	389.05	-2.05	388.74	-1.74
7	2018-08-07	386	388.66	-2.66	388.28	-2.28
8	2018-08-08	384	388.33	-4.33	387.88	-3.88
9	2018-08-09	383	388.05	-5.05	387.53	-4.53
10	2018-08-10	384	387.82	-3.82	387.21	-3.21
11	2018-08-11	384	387.62	-3.62	386.93	-2.93
12	2018-08-12	384	387.45	-3.45	386.69	-2.69
13	2018-08-13	384	387.32	-3.32	386.47	-2.47
14	2018-08-14	384	387.20	-3.20	386.28	-2.28
15	2018-08-15	384	387.11	-3.11	386.11	-2.11
16	2018-08-16	384	387.03	-3.03	385.96	-1.96
17	2018-08-17	384	386.97	-2.97	385.82	-1.82
18	2018-08-18	382	386.92	-4.92	385.70	-3.70
19	2018-08-19	380	386.88	-6.88	385.60	-5.60
20	2018-08-20	379	386.85	-7.85	385.51	-6.51
21	2018-08-21	379	386.82	-7.82	385.42	-6.42
22	2018-08-22	382	386.80	-4.80	385.35	-3.35
23	2018-08-23	381	386.79	-5.79	385.29	-4.29
24	2018-08-24	380	386.78	-6.78	385.23	-5.23
25	2018-08-25	380	386.77	-6.77	385.18	-5.18
26	2018-08-26	381	386.76	-5.76	385.14	-4.14
27	2018-08-27	380	386.75	-6.75	385.10	-5.10
28	2018-08-28	380	386.75	-6.75	385.06	-5.06
29	2018-08-29	380	386.75	-6.75	385.03	-5.03
30	2018-08-30	379	386.74	-7.74	385.00	-6.00
31	2018-08-31	377	386.74	-9.74	384.98	-7.98

Fuente: elaboración propia con R.

**Tabla 65.** Previsión setiembre 2018. ARIMA.

	fecha	niv.registrado	forecastR.ARIMA.4.1.3	diferencia	forecastR.ARIMA.1.1.1	diferencia.1
32	2018-09-01	376	386.74	-10.74	384.96	-8.96
33	2018-09-02	377	386.74	-9.74	384.94	-7.94
34	2018-09-03	379	386.74	-7.74	384.92	-5.92
35	2018-09-04	379	386.74	-7.74	384.91	-5.91
36	2018-09-05	378	386.74	-8.74	384.89	-6.89
37	2018-09-06	378	386.74	-8.74	384.88	-6.88
38	2018-09-07	374	386.74	-12.74	384.87	-10.87
39	2018-09-08	374	386.74	-12.74	384.86	-10.86
40	2018-09-09	373	386.74	-13.74	384.86	-11.86
41	2018-09-10	373	386.74	-13.74	384.85	-11.85
42	2018-09-11	373	386.74	-13.74	384.84	-11.84
43	2018-09-12	372	386.74	-14.74	384.84	-12.84
44	2018-09-13	371	386.74	-15.74	384.83	-13.83
45	2018-09-14	372	386.74	-14.74	384.83	-12.83
46	2018-09-15	374	386.74	-12.74	384.82	-10.82
47	2018-09-16	373	386.74	-13.74	384.82	-11.82
48	2018-09-17	381	386.74	-5.74	384.82	-3.82
49	2018-09-18	382	386.75	-4.75	384.81	-2.81
50	2018-09-19	383	386.75	-3.75	384.81	-1.81
51	2018-09-20	386	386.75	-0.75	384.81	1.19
52	2018-09-21	388	386.75	1.25	384.81	3.19
53	2018-09-22	388	386.75	1.25	384.81	3.19
54	2018-09-23	386	386.75	-0.75	384.81	1.19
55	2018-09-24	387	386.75	0.25	384.80	2.20
56	2018-09-25	387	386.75	0.25	384.80	2.20
57	2018-09-26	390	386.75	3.25	384.80	5.20
58	2018-09-27	396	386.75	9.25	384.80	11.20
59	2018-09-28	396	386.75	9.25	384.80	11.20
60	2018-09-29	397	386.75	10.25	384.80	12.20
61	2018-09-30	400	386.75	13.25	384.80	15.20

Fuente: elaboración propia con R.



**Gráfico 65.** Previsión agosto-setiembre 2018 con ARIMA.

Fuente: elaboración propia con R.

Si bien los valores de la previsión no detectaron la tendencia, se tienen resultados para 2 meses con diferencias menores a 20 cm.

### # Prueba A. Previsión diciembre 2011.

Periodo para parámetros: 01-01-1904 a 30-11-2011.

El modelo sugerido por R es ARIMA(4,1,0), y el elegido analizando las gráficas de ACF y PACF del periodo: 01-01-1904 a 30-11-2011m es ARIMA (1,1,1)

Se tienen 7previsiones por debajo de 21 cm, para ARIMA(1,1,1)

**Tabla 66.** Previsión 2011 con ARIMA.

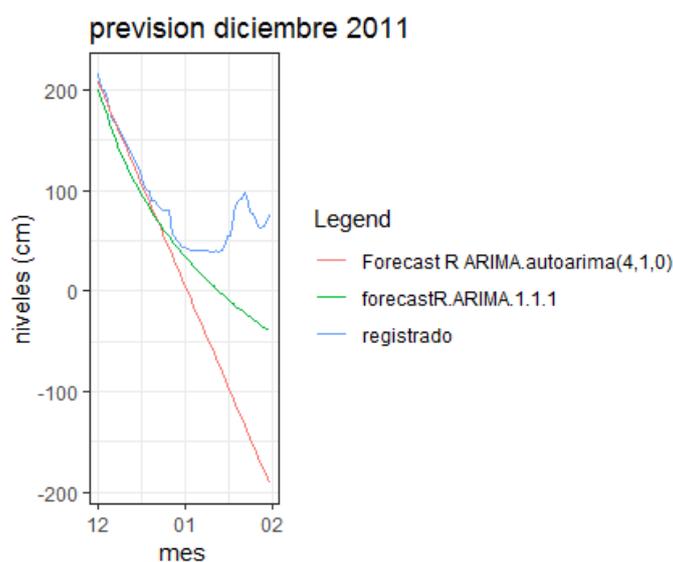
fecha	niv.registrado	forecastR.auto.ARIMA.4.1.3	diferencia	forecastR.ARIMA.1.1.1	diferencia.1
1 2011-12-01	216	206.98	9.02	198.57	17.43
2 2011-12-02	202	201.12	0.88	188.69	13.31
3 2011-12-03	200	195.95	4.05	179.32	20.68
4 2011-12-04	190	191.41	-1.41	170.43	19.57
5 2011-12-05	180	187.39	-7.39	162.03	17.97
6 2011-12-06	170	183.86	-13.86	154.09	15.91
7 2011-12-07	167	180.74	-13.74	146.58	20.42
8 2011-12-08	164	177.98	-13.98	139.48	24.52
9 2011-12-09	158	175.56	-17.56	132.76	25.24
10 2011-12-10	152	173.42	-21.42	126.39	25.61
11 2011-12-11	146	171.53	-25.53	120.34	25.66
12 2011-12-12	141	169.87	-28.87	114.60	26.40
13 2011-12-13	136	168.40	-32.40	109.14	26.86
14 2011-12-14	130	167.10	-37.10	103.94	26.06
15 2011-12-15	124	165.96	-41.96	98.97	25.03
16 2011-12-16	118	164.96	-46.96	94.23	23.77
17 2011-12-17	108	164.07	-56.07	89.69	18.31
18 2011-12-18	101	163.29	-62.29	85.34	15.66
19 2011-12-19	100	162.60	-62.60	81.16	18.84
20 2011-12-20	90	161.99	-71.99	77.14	12.86
21 2011-12-21	90	161.45	-71.45	73.27	16.73
22 2011-12-22	85	160.98	-75.98	69.53	15.47
23 2011-12-23	82	160.56	-78.56	65.93	16.07
24 2011-12-24	80	160.19	-80.19	62.44	17.56
25 2011-12-25	80	159.87	-79.87	59.06	20.94
26 2011-12-26	80	159.58	-79.58	55.78	24.22
27 2011-12-27	57	159.33	-102.33	52.60	4.40

Fuente: elaboración propia con R.

**Tabla 67.** Previsión diciembre 2011 con ARIMA.

	fecha	niv.registrado	forecastR.auto.ARIMA.4.1.3	diferencia	forecastR.ARIMA.1.1.1	diferencia.1
28	2011-12-28	54	159.10	-105.10	49.51	4.49
29	2011-12-29	50	158.91	-108.91	46.49	3.51
30	2011-12-30	46	158.73	-112.73	43.56	2.44
31	2011-12-31	44	158.58	-114.58	40.70	3.30
32	2012-01-01	43	158.45	-115.45	37.91	5.09
33	2012-01-02	42	158.33	-116.33	35.18	6.82
34	2012-01-03	40	158.22	-118.22	32.51	7.49
35	2012-01-04	40	158.13	-118.13	29.90	10.10
36	2012-01-05	40	158.05	-118.05	27.34	12.66
37	2012-01-06	40	157.98	-117.98	24.83	15.17
38	2012-01-07	40	157.91	-117.91	22.37	17.63
39	2012-01-08	40	157.86	-117.86	19.95	20.05
40	2012-01-09	40	157.81	-117.81	17.58	22.42
41	2012-01-10	38	157.77	-119.77	15.24	22.76
42	2012-01-11	38	157.73	-119.73	12.95	25.05
43	2012-01-12	40	157.69	-117.69	10.69	29.31
44	2012-01-13	38	157.66	-119.66	8.47	29.53
45	2012-01-14	40	157.64	-117.64	6.28	33.72
46	2012-01-15	47	157.61	-110.61	4.12	42.88
47	2012-01-16	54	157.59	-103.59	2.00	52.00
48	2012-01-17	54	157.58	-103.58	-0.10	54.10
49	2012-01-18	75	157.56	-82.56	-2.17	77.17

Fuente: elaboración propia con R.



**Gráfico 66.** Previsión diciembre 2011 con ARIMA. Periodo para parámetros: 01-01-1904 a 30-11-2011.

Fuente: elaboración propia con R.

Periodo para parámetros: 01-01-2011 a 30-11-2011.

El modelo sugerido por R es ARIMA (4,1,3), y el obtenido mediante las gráficas de ACF y PACF del periodo mencionado.

**Tabla 68.** Previsión dic-2011 con ARIMA. Periodo para parámetros: 2011, enero a noviembre.

▲	fecha ↕	niv.registrado ↕	forecastR.auto.ARIMA.4.1.3 ↕	diferencia ↕	forecast.ARIMA1.1.1 ↕	dif ↕
1	2011-12-01	216	207.34	8.66	199.66	16.34
2	2011-12-02	202	200.79	1.21	190.73	11.27
3	2011-12-03	200	194.25	5.75	182.21	17.79
4	2011-12-04	190	187.71	2.29	174.06	15.94
5	2011-12-05	180	181.18	-1.18	166.23	13.77
6	2011-12-06	170	174.64	-4.64	158.70	11.30
7	2011-12-07	167	168.11	-1.11	151.46	15.54
8	2011-12-08	164	161.57	2.43	144.50	19.50
9	2011-12-09	158	155.04	2.96	137.81	20.19
10	2011-12-10	152	148.50	3.50	131.36	20.64
11	2011-12-11	146	141.97	4.03	125.16	20.84
12	2011-12-12	141	135.44	5.56	119.18	21.82
13	2011-12-13	136	128.90	7.10	113.42	22.58
14	2011-12-14	130	122.37	7.63	107.87	22.13
15	2011-12-15	124	115.83	8.17	102.51	21.49
16	2011-12-16	118	109.30	8.70	97.34	20.66
17	2011-12-17	108	102.76	5.24	92.35	15.65
18	2011-12-18	101	96.23	4.77	87.52	13.48
19	2011-12-19	100	89.69	10.31	82.86	17.14
20	2011-12-20	90	83.16	6.84	78.34	11.66
21	2011-12-21	90	76.62	13.38	73.96	16.04
22	2011-12-22	85	70.09	14.91	69.72	15.28
23	2011-12-23	82	63.56	18.44	65.61	16.39
24	2011-12-24	80	57.02	22.98	61.62	18.38
25	2011-12-25	80	50.49	29.51	57.74	22.26
26	2011-12-26	80	43.95	36.05	53.97	26.03
27	2011-12-27	57	37.42	19.58	50.31	6.69

Fuente: elaboración propia con R.

Se obtuvieron 23 diferencias menores a 20 cm con el modelo ARIMA sugerido por R. Mejoró al anterior.

# Prueba B. Previsión noviembre 2015.

Periodo para parámetros: 01-01-1904 a 31-10-2015.

El modelo sugerido por R es ARIMA(4,1,4), y el obtenido mediante las gráficas de ACF y PACF del periodo: 01-01-1904 a 31-10-2015., es ARIMA (1,1,1).

**p1:** ARIMA (4,1,4) sugerido por R. Periodo para parámetros: 01-01-1904 a 31-10-2015.

**p2:** ARIMA (2,2,2) sugerido por R Periodo para parámetros: 01-01-2015 a 31-10-2015.

**p3:** ARIMA (1,1,1) Periodo para parámetros: 01-01-1904 a 31-10-2015.

**Tabla 69.** Previsión noviembre 2015 con ARIMA.

	fecha	p1	dif	p2	dif.1	p3	dif.2
1	2015-11-01	316.38	-2.38	312.54	1.46	316.78	-2.78
2	2015-11-02	317.48	-5.48	311.39	0.61	317.94	-5.94
3	2015-11-03	318.58	-2.58	310.60	5.40	318.95	-2.95
4	2015-11-04	319.49	-1.49	309.74	8.26	319.85	-1.85
5	2015-11-05	320.20	-0.20	308.87	11.13	320.64	-0.64
6	2015-11-06	320.85	1.15	308.00	14.00	321.34	0.66
7	2015-11-07	321.46	8.54	307.13	22.87	321.96	8.04
8	2015-11-08	322.00	12.00	306.26	27.74	322.51	11.49
9	2015-11-09	322.46	17.54	305.40	34.60	322.99	17.01
10	2015-11-10	322.86	17.14	304.53	35.47	323.42	16.58
11	2015-11-11	323.22	18.78	303.66	38.34	323.79	18.21
12	2015-11-12	323.54	22.46	302.79	43.21	324.12	21.88
13	2015-11-13	323.82	24.18	301.93	46.07	324.42	23.58
14	2015-11-14	324.06	25.94	301.06	48.94	324.68	25.32
15	2015-11-15	324.28	27.72	300.19	51.81	324.90	27.10
16	2015-11-16	324.47	30.53	299.33	55.67	325.11	29.89
17	2015-11-17	324.64	36.36	298.46	62.54	325.28	35.72
18	2015-11-18	324.79	45.21	297.59	72.41	325.44	44.56
19	2015-11-19	324.92	46.08	296.72	74.28	325.58	45.42
20	2015-11-20	325.04	68.96	295.86	98.14	325.70	68.30
21	2015-11-21	325.14	74.86	294.99	105.01	325.81	74.19
22	2015-11-22	325.23	84.77	294.12	115.88	325.90	84.10

Fuente: elaboración propia con R.

Con el modelo ARIMA (1,1,1) se obtienen previsiones con diferencias menores a 20 cm para los primeros 11 días.

# Prueba C. Previsión julio 2017.

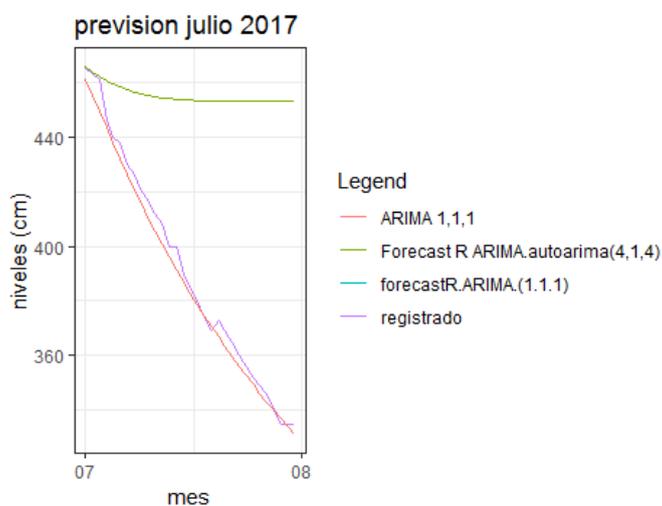
Periodo para parámetros: 01-01-1904 a 30-06-2017.

El modelo sugerido por R es ARIMA(4,1,4), y el obtenido mediante las gráficas de ACF y PACF del periodo: 01-01-1904 a 31-10-2015., es ARIMA (1,1,1).

Tabla 70. Previsión julio 2017.

fecha	niv.registrado	forecastR.auto.ARIMA.4.1.4	diferencia	forecastR.ARIMA.1.1.1	diferencia.1
1 2017-07-01	465	465.81	-0.81	461.05	3.95
2 2017-07-02	463	463.80	-0.80	455.17	7.83
3 2017-07-03	461	462.05	-1.05	449.28	11.72
4 2017-07-04	446	460.54	-14.54	443.41	2.59
5 2017-07-05	440	459.23	-19.23	437.60	2.40
6 2017-07-06	438	458.11	-20.11	431.91	6.09
7 2017-07-07	430	457.16	-27.16	426.33	3.67
8 2017-07-08	426	456.35	-30.35	420.90	5.10
9 2017-07-09	420	455.67	-35.67	415.62	4.38
10 2017-07-10	417	455.10	-38.10	410.48	6.52
11 2017-07-11	412	454.64	-42.64	405.50	6.50
12 2017-07-12	408	454.26	-46.26	400.67	7.33
13 2017-07-13	400	453.95	-53.95	395.99	4.01
14 2017-07-14	400	453.70	-53.70	391.45	8.55
15 2017-07-15	390	453.51	-63.51	387.05	2.95
16 2017-07-16	385	453.36	-68.36	382.78	2.22
17 2017-07-17	380	453.24	-73.24	378.64	1.36
18 2017-07-18	374	453.16	-79.16	374.62	-0.62
19 2017-07-19	369	453.10	-84.10	370.71	-1.71
20 2017-07-20	373	453.06	-80.06	366.92	6.08
21 2017-07-21	369	453.04	-84.04	363.23	5.77
22 2017-07-22	365	453.03	-88.03	359.64	5.36
23 2017-07-23	360	453.03	-93.03	356.15	3.85
24 2017-07-24	356	453.04	-97.04	352.75	3.25
25 2017-07-25	352	453.05	-101.05	349.43	2.57
26 2017-07-26	349	453.06	-104.06	346.19	2.81
27 2017-07-27	346	453.08	-107.08	343.03	2.97
28 2017-07-28	340	453.10	-113.10	339.94	0.06
29 2017-07-29	335	453.12	-118.12	336.92	-1.92
30 2017-07-30	335	453.15	-118.15	333.97	1.03
31 2017-07-31	335	453.17	-118.17	331.08	3.92

Fuente: elaboración propia con R.



**Gráfico 67.** Previsión julio 2017.

Fuente: elaboración propia con R.

Para la previsión con ARIMA (1,1,1) se tomó Lo80 por ser año Niña. El orden  $p=1, q=1$  de ARIMA(1,1,1) se obtuvo con el correlograma de la serie 1 vez diferenciada. Los resultados son excelentes, todo el mes, diferencias menores a 12 cm.

**Resumen de resultados del modelo. Caso D.**

**Tabla 71.** Resumen de resultados. Caso D.

Previsión	Días con diferencias menores o iguales a 20 cm.	periodo de regresion	modelo ARIMA sugerido por
ago-18	mes completo		mediante el correlograma R
sep-18	mes completo	01-01-1904 a agosto 2018	mediante el correlograma R
dic-11	9	01-01-1904 a 30-11-2011.	R
	7 seguidos (<21 cm)		mediante el correlograma
	23	01-01-2011 a 30-11-2011.	R
nov-15	8 seguidos		mediante el correlograma
	11	01-01-1904 a 31-10-2015	R
	6	01-01-2015 a 31-10-2015	R
jul-17	11	01-01-1904 a 31-10-2015	mediante el correlograma
	5	01-01-1904 a 30-06-2017.	R
	mes completo		mediante el correlograma

Fuente: elaboración propia.

### 5.5. Previsión octubre y noviembre 2018.

El objetivo fue la previsión desde el 15 de octubre 2018 al 30 de noviembre 2018.

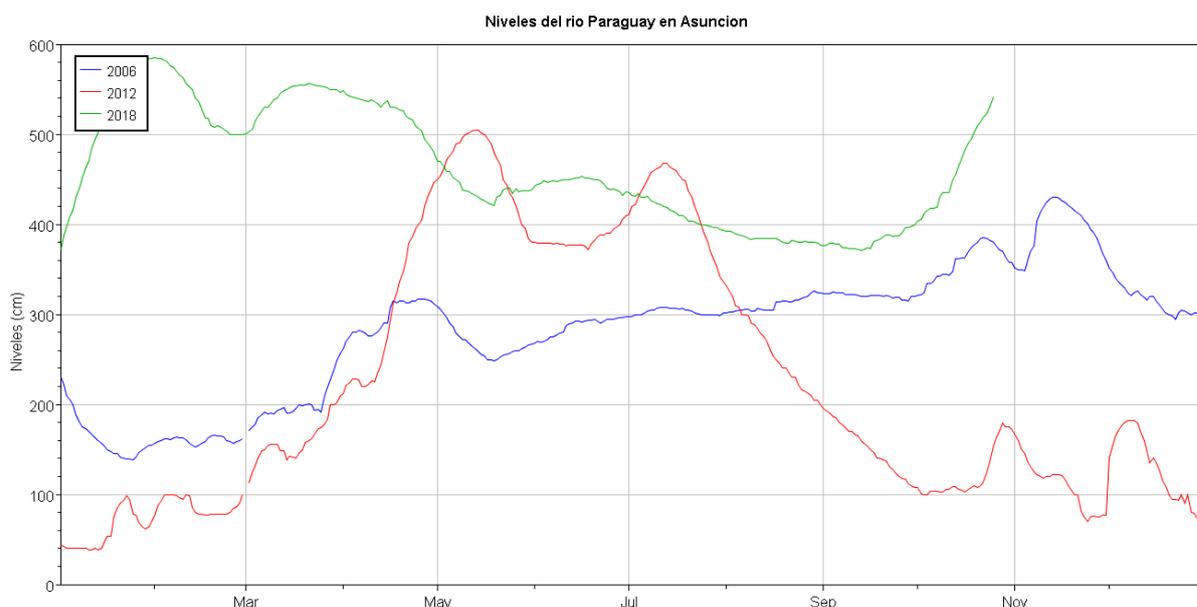
Se buscó mediante correlaciones numéricas, en el periodo 2000-17, qué años presentaban mayor correlación con el periodo del 1/09/2018 al 14/10/2018. Los coeficientes de correlación se indican a continuación.

**Tabla 72.** Resultados de correlación de set-oct 2018, con set-oct del periodo de 2000-17.

	<b>2018</b>		<b>2018</b>
2018	1.0000	2011	-0.8095
2006	0.9281	2008	-0.8586
2001	0.2568	2009	-0.8915
2005	-0.3310	2004	-0.8935
2010	-0.3673	2007	-0.9067
2015	-0.3769	2013	-0.9240
2014	-0.5362	2002	-0.9327
2003	-0.6838	2000	-0.9607
2012	-0.7088	2016	-0.9693
2017	-0.7677		

Fuente: elaboración propia con R.

Entre estos resultados, los de mejor correlación gráfica fueron 2006 y 2012 con tendencia ascendente para octubre (hasta el 24).



**Gráfico 68.** Curvas del año 2018 con los años 2006 y 2012.

Fuente: elaboración propia con R.

Los datos se tenían hasta el 24 de octubre, pero se consideró que se tenían datos registrados hasta el 15 de octubre, luego se hizo una previsión del 16 al 24 de octubre (relacionando 2006 con 2018 considerando que 2006 es el de mejor correlación grafica para este periodo) y con los ajustes correspondientes, se extendió la previsión.

Del 10 al 15 de octubre de 2018, los valores registrados fueron los siguientes:

10/10/2018	435
11/10/2018	450
12/10/2018	455
13/10/2018	464
14/10/2018	474
15/10/2018	482

Se ve una tendencia ascendente, con un promedio de 9 cm de diferencia entre día y día. Considerando que el 15, el valor fue de 482, se elige qué pronóstico (forecast) tomar de los datos por R.

Se realizó una regresión lineal y éstos fueron los resultados obtenidos:

**Tabla 73.** Previsión con R para octubre 2018 con 2006.

```
> forecast2006
  Point Forecast   Lo 80   Hi 80   Lo 95   Hi 95
1    477.3545 465.8198 488.8892 459.1392 495.5699
2    483.8628 472.0813 495.6444 465.2577 502.4679
3    488.7440 476.7624 500.7257 469.8228 507.6653
4    493.6253 481.4312 505.8193 474.3687 512.8819
5    500.1336 487.6385 512.6287 480.4016 519.8656
6    501.7606 489.1872 514.3341 481.9050 521.6163
7    500.1336 487.6385 512.6287 480.4016 519.8656
8    496.8794 484.5373 509.2215 477.3891 516.3698
```

Fuente: elaboración propia con R.

Encuadrados en amarillo están las previsiones que se usaron, del 2006, y que se indican en la tabla 74.

**Tabla 74.** Previsión seleccionada para octubre 2018 con 2006.

	fecha	reales	prev.2006	dif
1	2018-10-16	490	488.8892	1.110770
2	2018-10-17	494	495.6444	-1.644352
3	2018-10-18	502	500.7257	1.274256
4	2018-10-19	510	505.8193	4.180663
5	2018-10-20	514	512.6287	1.371309
6	2018-10-21	519	514.3341	4.665927
7	2018-10-22	523	512.6287	10.371309
8	2018-10-23	530	509.2215	20.778467

Fuente: elaboración propia con R.

En la tabla 74 se indican las diferencias entre las previsiones y los niveles reales registrados. Para 7 días, funcionó la previsión con 2006, con errores menores a los 20cm.

Ahora nos situamos en el 21 de octubre. Nuestro periodo de regresión ahora se extiende hasta esa fecha, con un nivel registrado de 5,19 m. Se realizó la previsión desde el 22 al 30 de octubre.

Considerando que seguirá la tendencia del 14 al 19 de octubre de 2018, de aumentar es en promedio 8 cm al día, entonces se tiene que  $519 \text{ cm} + 8 \text{ cm} = 527 \text{ cm}$ . Se buscó entre las previsiones de la tabla 75, de las previsiones de R, atendiendo la cercanía a 5, 19 m, y considerando que seguiría subiendo aproximadamente 8 cm por día.

**Tabla 75.** Continuación de la Previsión octubre 2018 con R

```

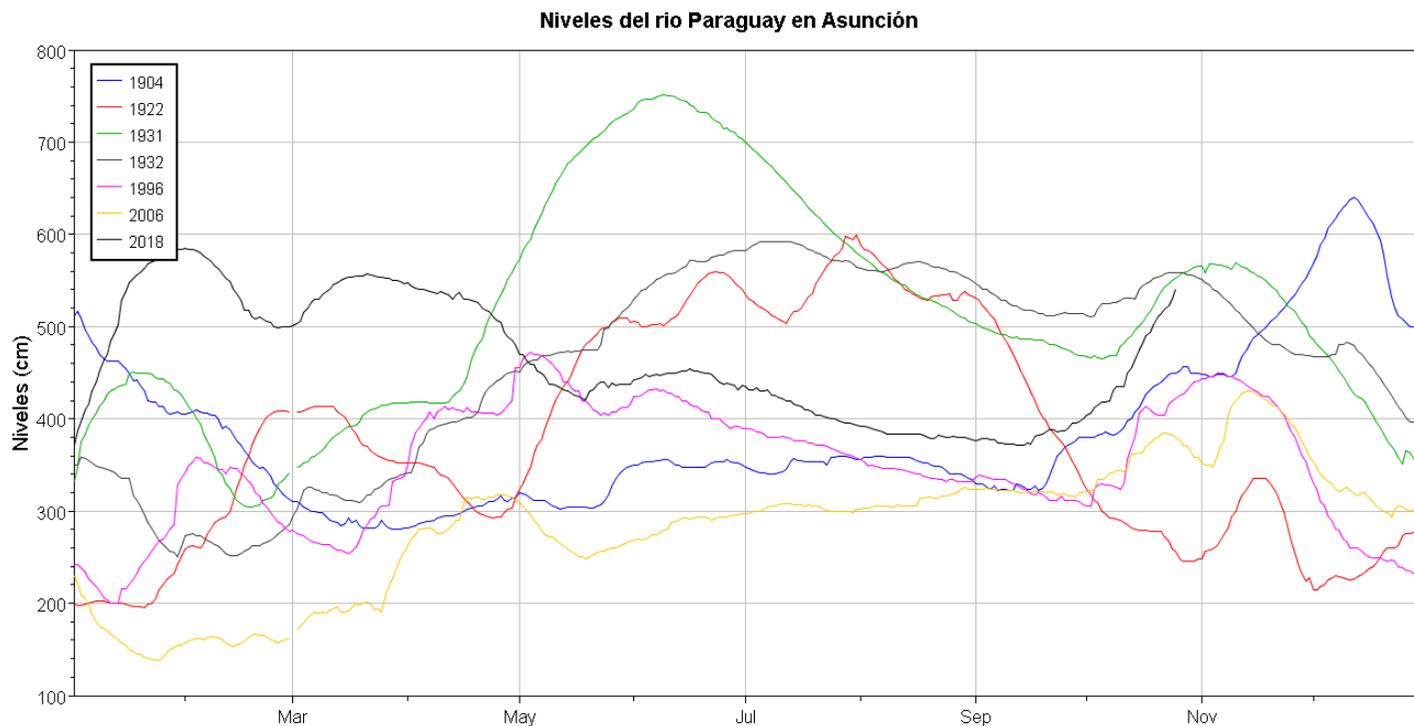
> forecast2006.1
  Point Forecast   Lo 80   Hi 80   Lo 95   Hi 95
1     511.7527 500.5564 522.9491 494.1991 529.3064
2     509.9395 498.7759 521.1031 492.4371 527.4419
3     506.3131 495.2127 517.4136 488.9098 523.7165
4     502.6867 491.6464 513.7271 485.3776 519.9958
5     495.4339 484.5045 506.3633 478.2987 512.5691
6     488.1811 477.3498 499.0124 471.1998 505.1624
7     484.5547 473.7676 495.3418 467.6426 501.4667
8     473.6755 463.0009 484.3500 456.9399 490.4110
9     462.7962 452.2035 473.3890 446.1889 479.4036
10    462.7962 452.2035 473.3890 446.1889 479.4036
> forecast2012.1
  Point Forecast   Lo 80   Hi 80   Lo 95   Hi 95
1     447.0146 388.0711 505.9582 354.6026 539.4267
2     456.8200 381.1478 532.4922 338.1806 575.4594
3     466.6254 367.2816 565.9691 310.8736 622.3771
4     482.6705 338.7008 626.6403 256.9539 708.3871
5     490.6931 323.1966 658.1897 228.0910 753.2952
6     496.0415 312.6197 679.4633 208.4718 783.6113
7     504.9555 294.6989 715.2121 175.3139 834.5971
8     501.3899 301.9041 700.8757 188.6348 814.1450
9     501.3899 301.9041 700.8757 188.6348 814.1450
10    498.7157 307.2771 690.1543 198.5771 798.8543
    
```

Fuente: elaboración propia con R.

Los resultados no son buenos, porque con 2006 descienden y con 2012 aumentan varían más de 30cm por día.

Entonces, solo sirvió para esa 1 semana siguiente. Ahora necesitamos previsiones desde el 21 de octubre de 2018.

Se buscó en el registro histórico, años cuyas curvas presenten un ascenso desde el 20 de octubre aproximadamente. A continuación se indican los años de mejor correlación y su correspondiente coeficiente de correlación, resultado de correlacionar el periodo del 26 de setiembre al 21 de octubre de 2018: 1904:=0.985, con 2006=0.984, con 1932=0.979, con 1992= 0.967, 1931=0.964 y con 1996=0.959. A continuación la representación gráfica:



**Gráfico 69.** Año 2018 (negro) con los años 1904 (azul), 1922 (rojo), 1931 (verde), 1932 (gris), 1996 (rosado) y 2006 (amarillo).

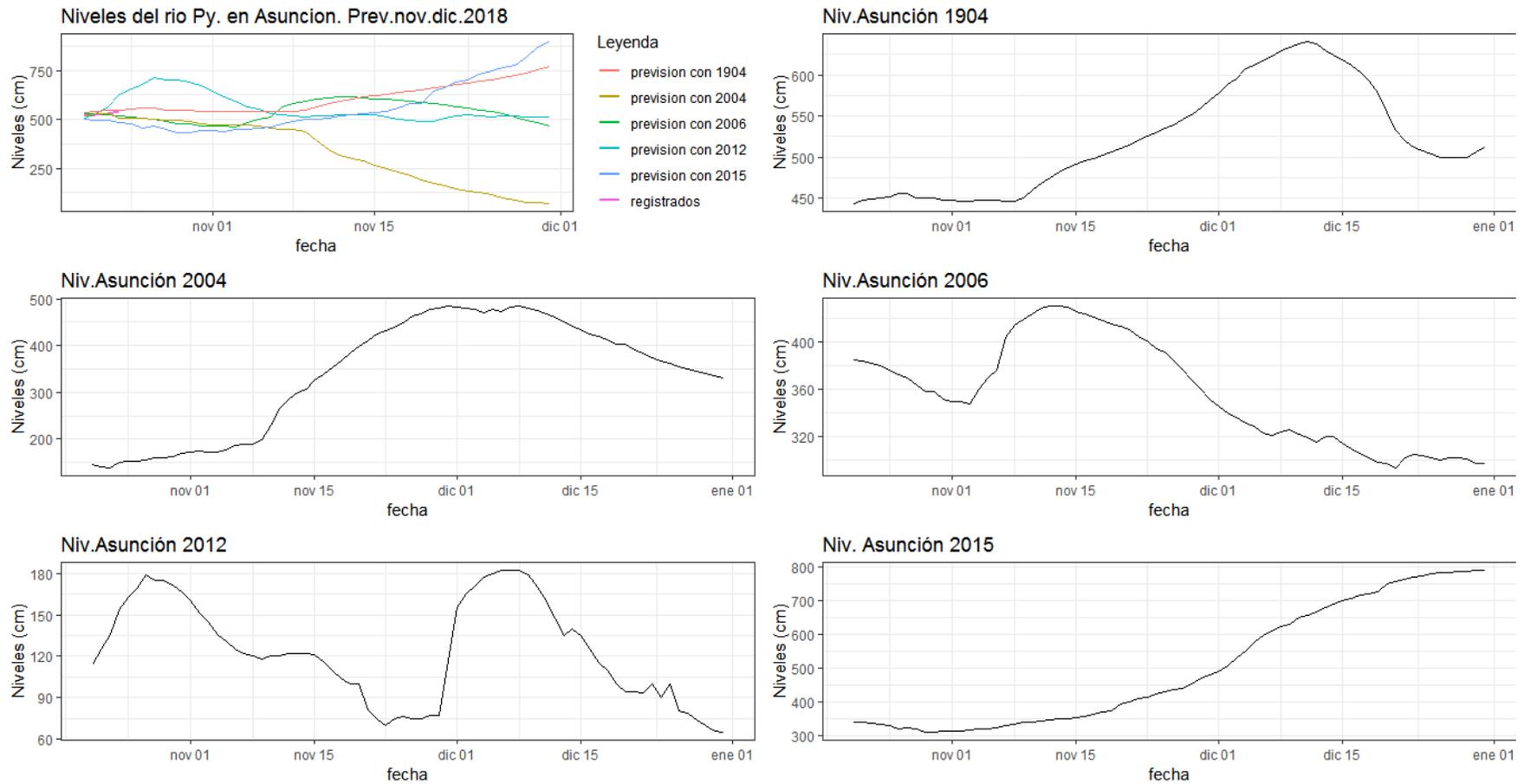
Fuente: elaboración propia con R.

Periodo de regresión: del 26 de septiembre al 21 de octubre.

**Tabla 76.** Previsión octubre 2018 con 1904, 2004, 2006, 2012 y 2015.

	fecha	registrados	prev.2006	prev.2012	prev.1904	prev.2004	prev.2015
1	2018-10-21	519	529.3064	505.96	535.34	519.34	503.00
2	2018-10-22	523	527.4419	532.49	542.72	527.55	498.13
3	2018-10-23	530	523.7165	565.97	544.56	529.20	493.29
4	2018-10-24	541	519.9958	626.64	546.41	509.59	483.72
5	2018-10-25	NA	512.5691	658.19	550.10	507.98	478.99
6	2018-10-26	NA	505.1624	679.46	557.50	504.76	455.89
7	2018-10-27	NA	501.4667	715.21	557.50	501.55	465.02
8	2018-10-28	NA	490.4110	700.88	546.41	496.76	451.38
9	2018-10-29	NA	479.4036	700.88	546.41	493.59	433.66
10	2018-10-30	NA	479.4036	690.15	546.41	490.43	433.66
11	2018-10-31	NA	468.4455	672.35	542.72	479.46	442.45
12	2018-11-01	NA	464.8039	647.62	542.72	474.81	442.45
13	2018-11-02	NA	464.8039	616.25	539.03	473.26	438.04
14	2018-11-03	NA	461.1678	595.75	539.03	474.81	446.90
15	2018-11-04	NA	483.0673	565.97	542.72	474.81	451.38
16	2018-11-05	NA	501.4667	550.21	542.72	467.12	455.89
17	2018-11-06	NA	512.5691	532.49	542.72	454.98	460.44
18	2018-11-07	NA	564.9399	524.32	539.03	451.98	478.99
19	2018-11-08	NA	583.8377	519.21	539.03	451.98	488.49
20	2018-11-09	NA	593.3191	514.41	546.41	435.68	503.00
21	2018-11-10	NA	602.8203	519.21	564.90	391.54	503.00
22	2018-11-11	NA	610.4348	519.21	579.74	342.88	507.91
23	2018-11-12	NA	614.2463	524.32	592.75	316.70	517.84
24	2018-11-13	NA	614.2463	524.32	605.78	299.92	522.86
25	2018-11-14	NA	612.3402	524.32	616.97	290.95	527.91
26	2018-11-15	NA	606.6261	521.73	622.57	266.80	533.00
27	2018-11-16	NA	602.8203	509.98	630.04	250.42	540.69
28	2018-11-17	NA	597.1173	499.34	637.52	232.88	556.29
29	2018-11-18	NA	591.4212	493.49	645.00	212.94	580.17
30	2018-11-19	NA	585.7324	492.35	652.49	193.10	582.86
31	2018-11-20	NA	581.9440	492.35	659.98	175.82	646.21
32	2018-11-21	NA	576.2679	507.40	667.48	161.04	663.13
33	2018-11-22	NA	566.8256	515.82	676.85	143.85	691.61
34	2018-11-23	NA	559.2887	523.45	686.24	134.04	700.21
35	2018-11-24	NA	546.1377	515.82	695.62	125.48	731.95
36	2018-11-25	NA	540.5173	514.36	705.02	114.47	749.38
37	2018-11-26	NA	527.4419	515.82	714.42	97.38	763.95
38	2018-11-27	NA	512.5691	515.82	725.71	88.85	775.64
39	2018-11-28	NA	497.7762	512.91	737.00	77.89	816.75
40	2018-11-29	NA	483.0673	512.91	752.06	75.45	866.98
41	2018-11-30	NA	468.4455	509.98	769.03	70.58	896.66

Fuente: elaboración propia con R.



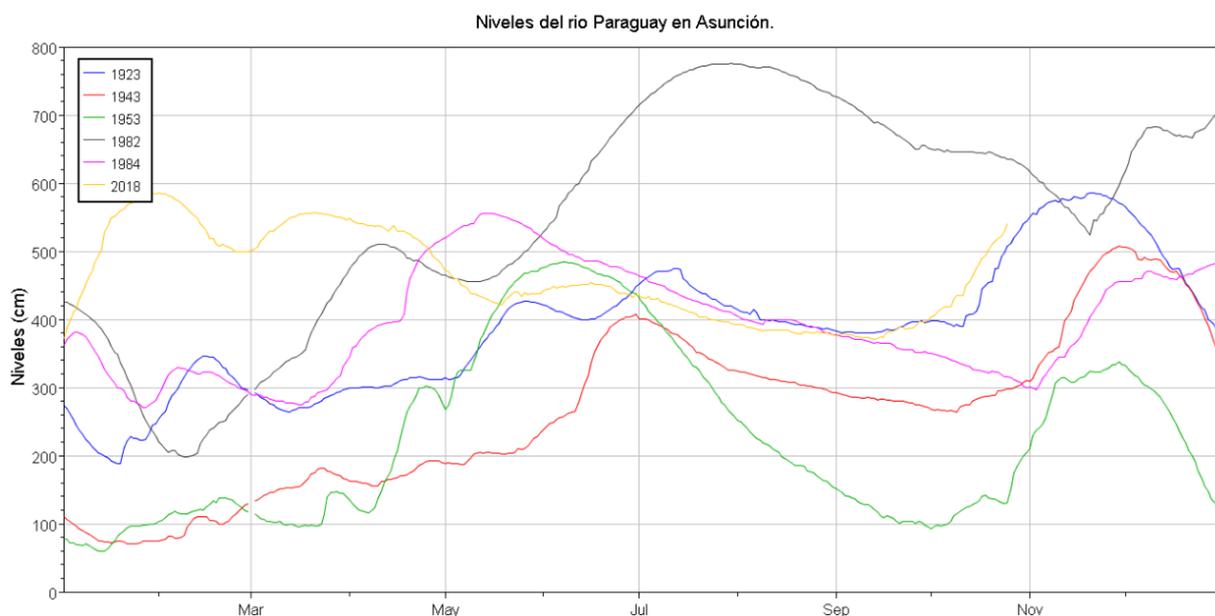
**Gráfico 70.** Previsión octubre 2018 con 1904, 2004, 2006, 2012 y 2015.

Fuente: elaboración propia con R.



Para ajustar la previsión de 2012, se hizo otra regresión, tomando como periodo de regresión hasta el 10 de octubre, y con las previsiones del 11 al 18 se ajustó para extender hasta el 30. Se tomó las diferencias entre el día actual y el anterior, para el periodo del 11 al 18 de octubre con los niveles reales registrados. El promedio de esas diferencias fue 8, entonces comenzando con la primera previsión sin ajustar (con 2012): 432, se restó del nivel real registrado y dio 18, entonces se comenzó sumando 20 a la primera previsión y luego 8 a las siguientes.

El gráfico a continuación indica las curvas que encontré mostraron mejor correlación gráfica.



**Gráfico 71.** Año 2018 con 1923, 1943, 1953, 1982 y 1984.

Fuente: elaboración propia con DSS.

**# Prueba con 1943.**

**Tabla 78.** Previsión octubre-noviembre 2018 con 1943.

	fecha	niv.registrados	prev.1943.Hi80
1	2018-10-24	541	547.65
2	2018-10-25	546	547.65
3	2018-10-26	552	551.32
4	2018-10-27	NA	562.35
5	2018-10-28	NA	569.74
6	2018-10-29	NA	580.86
7	2018-10-30	NA	592.03
8	2018-10-31	NA	588.30
9	2018-11-01	NA	603.23
10	2018-11-02	NA	652.14
11	2018-11-03	NA	682.45
12	2018-11-04	NA	709.06
13	2018-11-05	NA	728.11
14	2018-11-06	NA	747.18
15	2018-11-07	NA	754.82

Fuente: elaboración propia con R.

**# Prueba con 1984.**

Para 1984 se desfasó un mes aproximadamente, se relacionó desde el 16 de setiembre al 8 de octubre de 2018 con el periodo del 1 al 23 de noviembre de 1984.

**Tabla 79.** Previsión nov-dic 2018 con 1984.

fecha	niv.real registrado	fecha	niv.real registrado	dif.real.x-xi	f.1984.	f.1984 ajustado	dif..x-xi	real-prev.	precip.Asunc.
25/11/1984	447	10/10/2018	435	0	435				10/10/2018 35
26/11/1984	450	11/10/2018	450	15	436	450	15	14	11/10/2018 0
27/11/1984	454	12/10/2018	455	5	438	458	20	17	12/10/2018 0
28/11/1984	455	13/10/2018	464	9	439	469	30	25	13/10/2018 36.2
29/11/1984	455	14/10/2018	474	10	439	474	35	35	14/10/2018 0.1
30/11/1984	455	15/10/2018	482	8	439	479	40	43	15/10/2018 0
01/12/1984	455	16/10/2018	490	8	439	484	45	51	16/10/2018 0
02/12/1984	455	17/10/2018	494	4	439	489	50		17/10/2018 0
03/12/1984	459	18/10/2018	502	8	439	494	55		18/10/2018 0
04/12/1984	460	19/10/2018	510	8	441	501	60		19/10/2018 0.3
05/12/1984	460	20/10/2018	514	4	441	506	65		20/10/2018 0
06/12/1984	468	21/10/2018	519	5	441	511	70		21/10/2018 0
07/12/1984	470	22/10/2018	523	4	444	519	75		22/10/2018 0
08/12/1984	470	23/10/2018	530	7	445	535	90		15 23/10/2018 58
09/12/1984	468	24/10/2018	541	11	445	540	95		24/10/2018 2.4
10/12/1984	466	25/10/2018	546	5	444	544	100		25/10/2018 0.2
11/12/1984	465	26/10/2018	552	6	444	549	105		
12/12/1984	463	27/10/2018	NA	prom=7	443	553	110		
13/12/1984	462	28/10/2018	NA		442	557	115		
14/12/1984	460	29/10/2018	NA		442	562	120		
15/12/1984	459	30/10/2018	NA		441	566	125		
16/12/1984	458	31/10/2018	NA		441	571	130		
17/12/1984	462	01/11/2018	NA		441	576	135		
18/12/1984	463	02/11/2018	NA		442	582	140		
19/12/1984	465	03/11/2018	NA		442	587	145		
20/12/1984	467	04/11/2018	NA		443	593	150		
21/12/1984	467	05/11/2018	NA		444	599	155		
22/12/1984	470	06/11/2018	NA		444	604	160		
23/12/1984	472	07/11/2018	NA		445	610	165		

Fuente: elaboración propia con R.

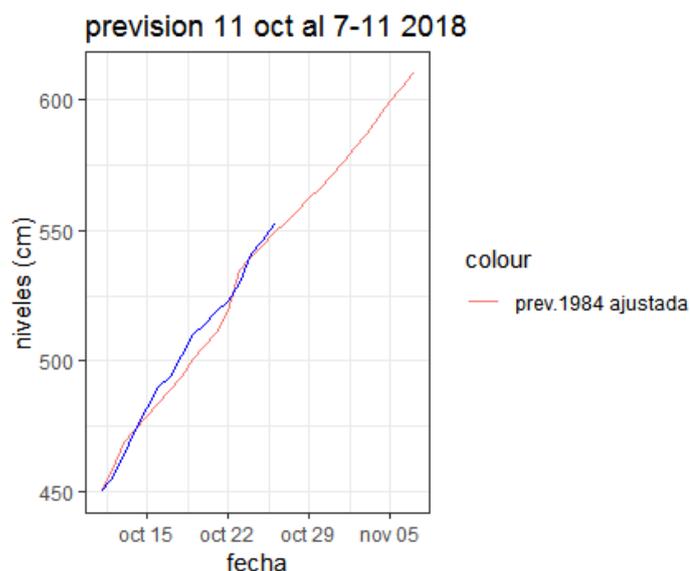
### Metodología para el ajuste.

Para 5 días, desde el 11/10 hasta el 16/10 del 2018, se comparó cuánto varían de un día a otro los niveles reales registrados en Asunción, y con eso armo una progresión.

Para el primer día de previsión sumo la primera diferencia ( $X_{real\ i} - X_{real\ i-1}$ ), y para los siguientes día le voy sumando la progresión armada.

Considerando la frecuencia e intensidad de lluvias que se está teniendo, se probó tomar en consideración a la precipitación de la siguiente manera: la primera fecha luego del 10/10/2018 que registró precipitación fue el 13/10/2018, con 36.2mm, entonces para esa fecha aumento 5cm a la progresión. (No estaba entre los objetivos del trabajo incluir precipitación. Fue solo una prueba)

El 23/10 se registró 58 mm, entonces se aumentó 10 cm a la progresión (le correspondía la previsión + 80 y pasó a ser previsión +90. De ahí sigue 95, 100...de 5 en 5)



**Gráfico 72.** Previsión del 11-10 al 7-11 2018.

Fuente: Elaboración propia con R.

### Resumen.

1ero se tenían datos registrados hasta el 15/10/2018.

p1) previsión para el periodo: 16/10/2018 al 24/10/2018 relacionando con 2006.

Los datos se tenían entonces hasta el 21/10/2018.

p2) previsión para el periodo: 22/10/2018 al 30/12/2018, relacionando con 2006 y 2012.

Estas previsiones se descartaron.

p3) Periodo de regresión: del 26/09/2018 al 21/10/2018.

Periodo de previsión: del 22/10/2018 al 20/11/2018

Relacionando con 1904, 2004, 2006, 2012 y 2015. Con ajuste para el 2012.

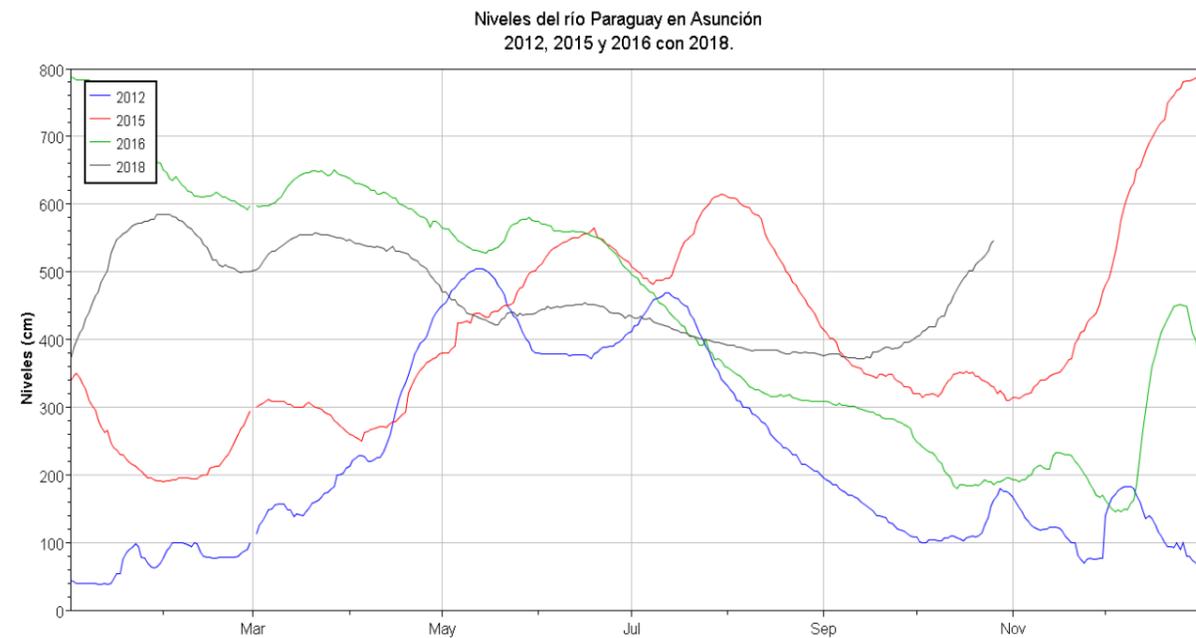
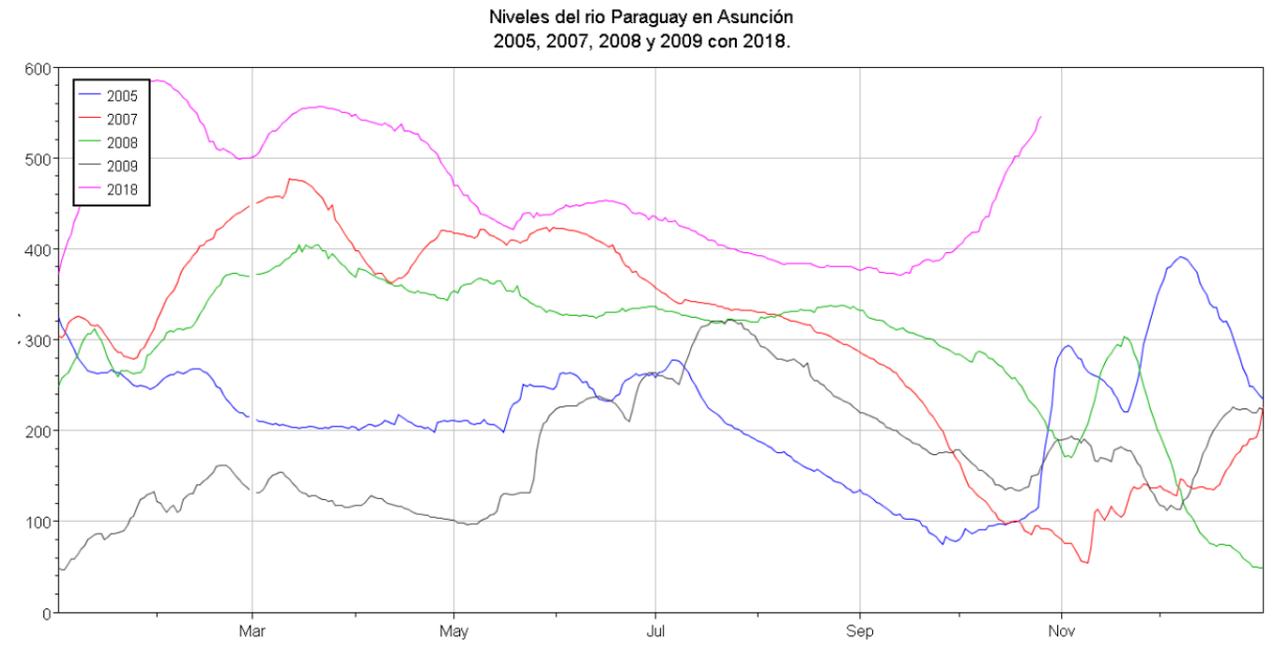
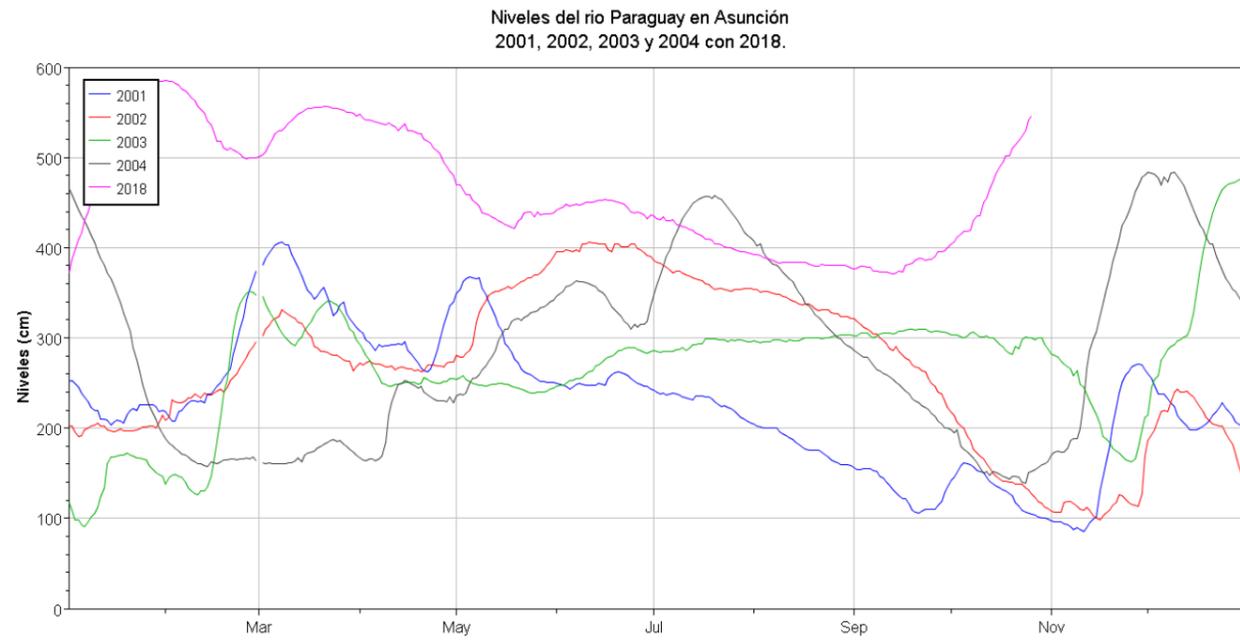
p4) Periodo de previsión: del 24/10/2018 al 7/11/2018, relacionando con 1943.

p5) Periodo de previsión: del 11/10/2018 al 7/11/2018, relacionando:

del 16/09 al 8/10/2018 con el periodo: del 1/11 al 23/11/1984.

Un cuadro resumen de resultados se muestra a continuación.





**Gráfico 73.** Años varios con 2018.  
 Fuente: elaboración propia con DSS.

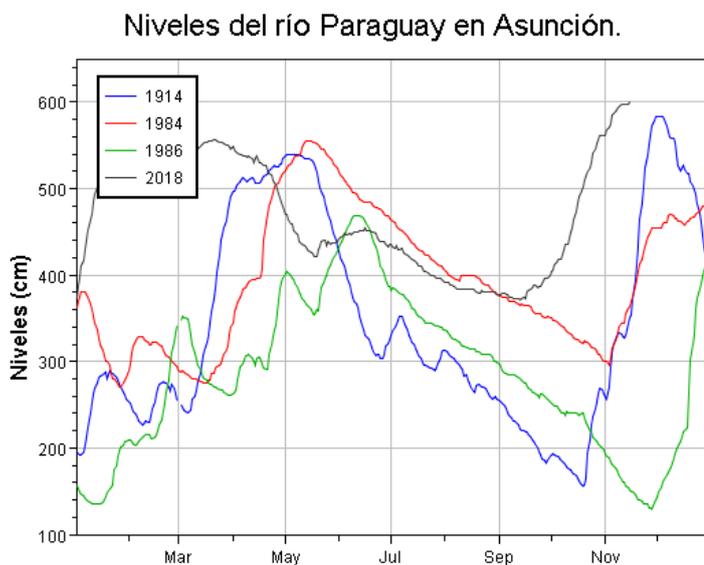
1943 y 1984 tienen resultados muy favorables, considerando que se trata de un comportamiento atípico, en una época muy influenciada por las lluvias, si bien se tuvo en cuenta algunos ajustes considerando la precipitación. \*

\* (El ajuste con precipitación se incluyó solo a modo de prueba, no es el objetivo del trabajo).

**Tabla 81.** Previsión con 1984 ajustado y 1986.

		p5 con 1984				p7 con 1986	
	ajustado		dif	p6 con 1914	dif		dif
31/10/2018	561	571	-10			564.13	2.87
01/11/2018	567	576	-9			573.14	-2.14
02/11/2018	571	582	-11	581.03	-10.03	580.64	-6.64
03/11/2018	574	587	-11	594.38	-20.38	585.13	-0.13
04/11/2018	585	593	-11	607.1	-22.1	589.62	-2.62
05/11/2018	587	599	-11	619.22	-32.22	650.78	-60.78
06/11/2018	590	604	-11	630.77	-40.77	705.79	
07/11/2018	NA	610		641.77			
08/11/2018	NA			652.26			
09/11/2018	NA			662.25			
10/11/2018	NA			671.77			

Fuente: elaboración propia.



**Gráfico 74.** Comportamiento de los años 1914, 1984, 1986 y 2018.

Fuente: elaboración propia.

Se probó con 1914 y 1986. De 1914 se obtuvo como suma de diferencias diarias de ese mes un valor igual a la suma de diferencias diarias de octubre 2018. Y 1986 presentó una subida en diciembre con pendiente similar a la de set-oct 2018.

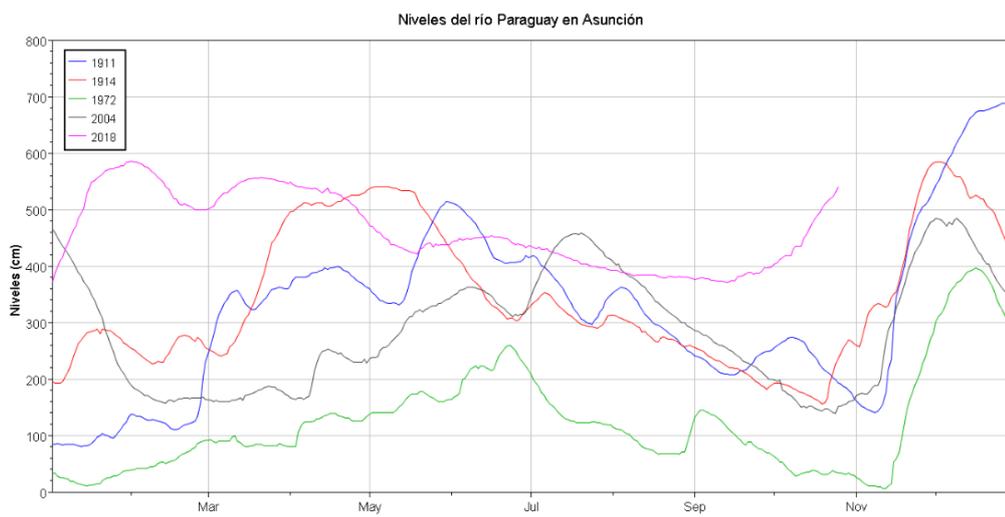
Para 1914, con el periodo del 1/11/1914 al 25/11/1914 se armó un ARIMA (1, 1, 2), y con ese modelo y para el periodo del 1/10/2018 al 25/10/2018 se hizo la previsión. Esa previsión tuvo en cuenta variaciones de 10 cm diarios, sería el caso considerando precipitación diaria para esos días de noviembre.

Para 1986, se realizó una regresión lineal y se encontró los parámetros, con 1986 (periodo: 27/11/1986 al 9/12/1986) y 2018 (periodo 11/10/2018 a 23/10/2018); y para la previsión se utilizó como entrada el periodo de 9/12/1986 a 25/12/1986.

Los mejores resultados se mantienen para 1984.

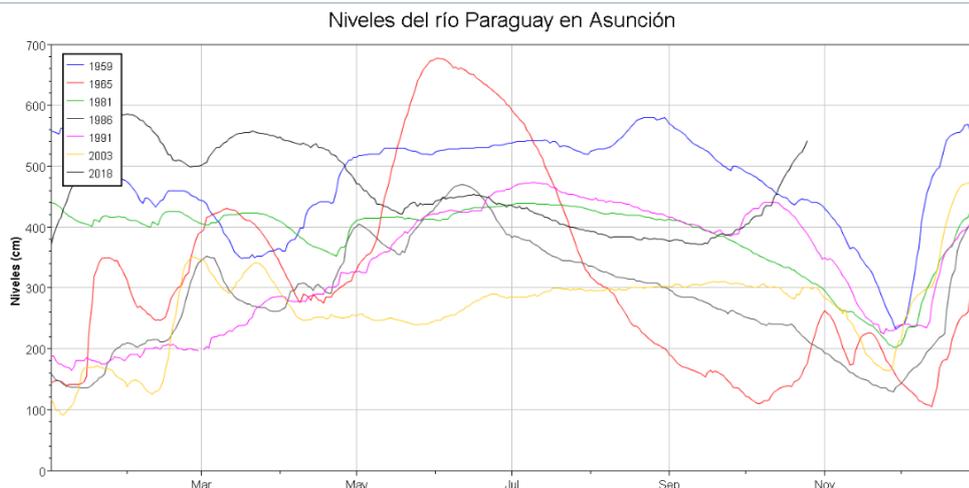
Los años del gráfico 75 se obtuvieron buscando los años que presentaron una subida en octubre-noviembre, que pudiese relacionarse con la crecida de octubre 2018.

Los años del gráfico 76 se obtuvieron buscando los años que presentaron una subida en diciembre, que pudiese relacionarse con la crecida de octubre 2018, desfasando.



**Gráfico 75.** Años con crecida en octubre-noviembre.

Curvas: 1911 (azul), 1914 (rojo), 1972 (verde), 2004 (gris) y 2018 (rosado). Fuente: elaboración propia con DSS.



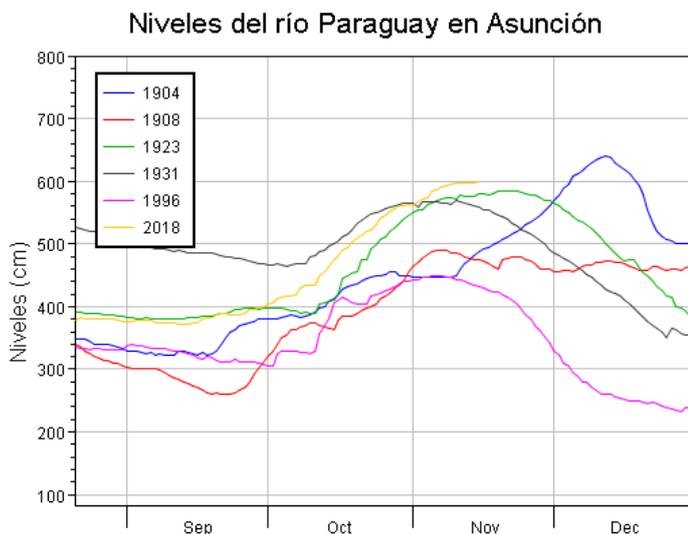
**Gráfico 76.** Años con crecida en diciembre.

Curvas: 1959 (azul), 1965 (rojo), 1981 (verde), 1986 (gris), 1991 (rosado), 2003 (amarillo) y 2018 (negro).

Fuente: elaboración propia con DSS.

**# Nuevo periodo de regresión para la previsión desde el 15 de noviembre de 2018.**

Correlacionando del 1/octubre al 14/11/2018 con la serie histórica desde 1904, los años de mejor correlación positiva fueron: 1923, 1931, 1996, 1904 y 1908. En el gráfico 77, se observa mejor correlación con 1923, entonces se realizó la previsión con ese año.



**Gráfico 77.** Años 1904, 1908, 1923, 1931, 1996 y 2018.

Fuente: elaboración propia con DSS.

Periodo de regresión: 10/octubre a 10/noviembre, 1923 con 2018.

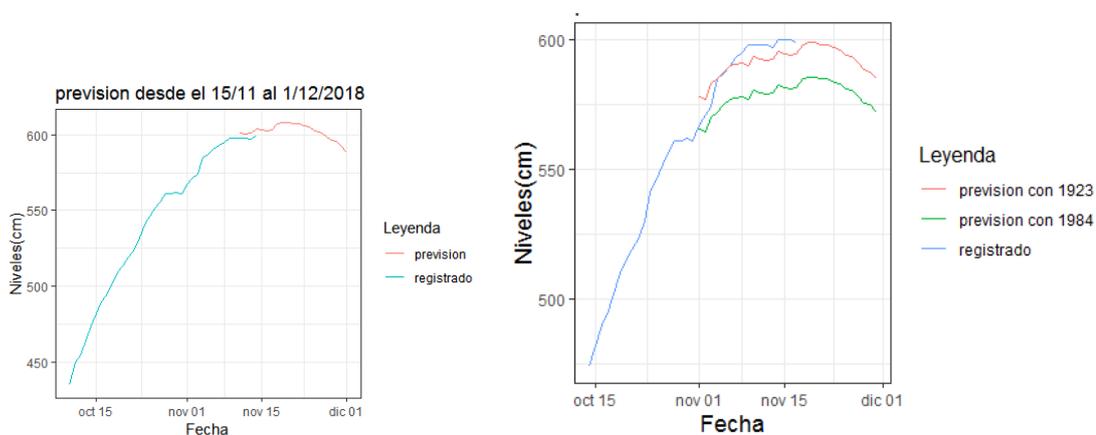
**Tabla 82.** Previsión desde el 15 de noviembre de. 2018.

	fecha	registrado	Forecast
1	2018-10-10	435	NA
2	2018-10-11	450	NA
3	2018-10-12	455	NA
4	2018-10-13	464	NA
5	2018-10-14	474	NA
6	2018-10-15	482	NA
7	2018-10-16	490	NA
8	2018-10-17	494	NA
9	2018-10-18	502	NA
10	2018-10-19	510	NA
11	2018-10-20	514	NA
12	2018-10-21	519	NA
13	2018-10-22	523	NA
14	2018-10-23	530	NA
15	2018-10-24	541	NA
16	2018-10-25	546	NA
17	2018-10-26	552	NA
18	2018-10-27	556	NA
19	2018-10-28	561	NA
20	2018-10-29	561	NA
21	2018-10-30	562	NA
22	2018-10-31	561	NA
23	2018-11-01	567	NA
24	2018-11-02	571	NA
25	2018-11-03	574	NA
26	2018-11-04	585	NA
27	2018-11-05	587	NA
27	2018-11-05	587	NA
28	2018-11-06	590	NA
29	2018-11-07	593	NA
30	2018-11-08	595	NA
31	2018-11-09	598	NA
32	2018-11-10	598	NA
33	2018-11-11	598	600.96
34	2018-11-12	598	600.18
35	2018-11-13	597	600.96
36	2018-11-14	600	604.09
37	2018-11-15	NA	603.31
38	2018-11-16	NA	602.52
39	2018-11-17	NA	603.31
40	2018-11-18	NA	607.22
41	2018-11-19	NA	608.00
42	2018-11-20	NA	608.00
43	2018-11-21	NA	607.22
44	2018-11-22	NA	607.22
45	2018-11-23	NA	605.65
46	2018-11-24	NA	604.87
47	2018-11-25	NA	602.52
48	2018-11-26	NA	601.74
49	2018-11-27	NA	599.40
50	2018-11-28	NA	596.27
51	2018-11-29	NA	595.49
52	2018-11-30	NA	592.37
53	2018-12-01	NA	588.46

Showing 1 to 28 of 53 entries

Showing 26 to 53 of 53 entries

Fuente: elaboración propia con R.



**Gráfico 78.** Previsión del 15/11 al 1/12 de 2018 (izq.), previsión noviembre 2018 con 1923 y 1984 (derecha)

Fuente: elaboración propia con R.

## **6. CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

- Se logró el primer objetivo específico, recopilar los datos de nivel y precipitación del río Paraguay para las 4 estaciones del alcance. Del año 2000 a agosto del año 2018 se realizó el análisis de calidad de datos de niveles. Se encontró diferencias entre las fuentes, de allí la recomendación a las entidades gubernamentales responsables, de hacer un control de calidad mensual o trimestral para ir eliminando posibles errores.

Con los datos de precipitación recopilados y con los de niveles recopilados y validados se organizó una base de datos.

- Se cumplió con el segundo objetivo específico, de analizar las propiedades del proceso estocástico y las propiedades estadísticas de la serie temporal de niveles históricos del río Paraguay en Asunción. Esto ayudó a que sea posible el siguiente objetivo, construir modelos estocásticos para la previsión de niveles hidrométricos del río Paraguay en Asunción. Se presentaron modelos de regresión lineal con diferentes entradas y modelos ARIMA univariante. La regresión lineal se está usando actualmente atendiendo la influencia de los fenómenos “La Niña” y “El Niño” para la época de previsión. Se buscó contribuir a la mejora de estos resultados con las entradas y nuevos métodos.

- Respecto al último objetivo de validar los métodos, las previsiones se hicieron para el corriente año, y para la validación se tomó años al azar: años influenciados por el fenómeno “La Niña” y años influenciados por el fenómeno “El Niño”, años de aguas altas y bajas y años “anormales”. Si bien no se tiene aún listo para automatizar el proceso, se encontró información importante, a medida que se iban teniendo en cuenta las consideraciones para elegir cada entrada.

- Entre los modelos de regresión lineal, las entradas que se probaron fueron: años influenciados por los fenómenos “La Niña” y “El Niño”, correlaciones con Concepción y con otros años o trimestres con curvas de comportamiento similar al periodo de previsión, para meses antes. En general, para meses del segundo cuatrimestre del año (se probó para mayo, agosto y julio de diferentes años), la entrada para la regresión lineal que da mejor resultado es la de correlación trimestral, con un horizonte de previsión mínimo de 13 días (de entre los casos analizados).

Con años niña/o el inconveniente que se encontró es que si el año de previsión sigue un comportamiento atípico (no la forma campana de promedios históricos) podría producir más error o disminuir el horizonte de previsión con diferencias menores a 20 cm.

La correlación con Concepción fue la que menos resultados favorables mostró.

El modelo ARIMA que se presentó es univariante. La entrada que se consideró para este método fue solo niveles reales registrados de Asunción. Para meses como julio, agosto y setiembre presentó un horizonte incluso mayor al mes, y para los meses para los cuales los otros modelos presentaron dificultades, por ejemplo, el de entrada Niña/o, tales como diciembre 2011 y noviembre 2015 por ejemplo, mostró muy buenos resultados, con previsiones con diferencias menores a los 20 cm para más de 10 días.

- Una hipótesis del por qué los modelos podrían estar teniendo mayor dificultad de previsión en el último trimestre del año es que podría deberse al efecto de la precipitación en estos meses, considerando que son los meses de más precipitación en el año.

En base a las previsiones de octubre y noviembre de 2018, incorporando la precipitación para los ajustes de los modelos a modo de prueba solamente, considerando que no era éste un objetivo del trabajo, presento como recomendación para posteriores investigaciones con estos u otros modelos incluir la precipitación como entrada para los modelos.

Para incluir el escenario de precipitación al modelo, primeramente se tendría que definir el umbral de precipitación considerado relevante para afectar significativamente al comportamiento de niveles.



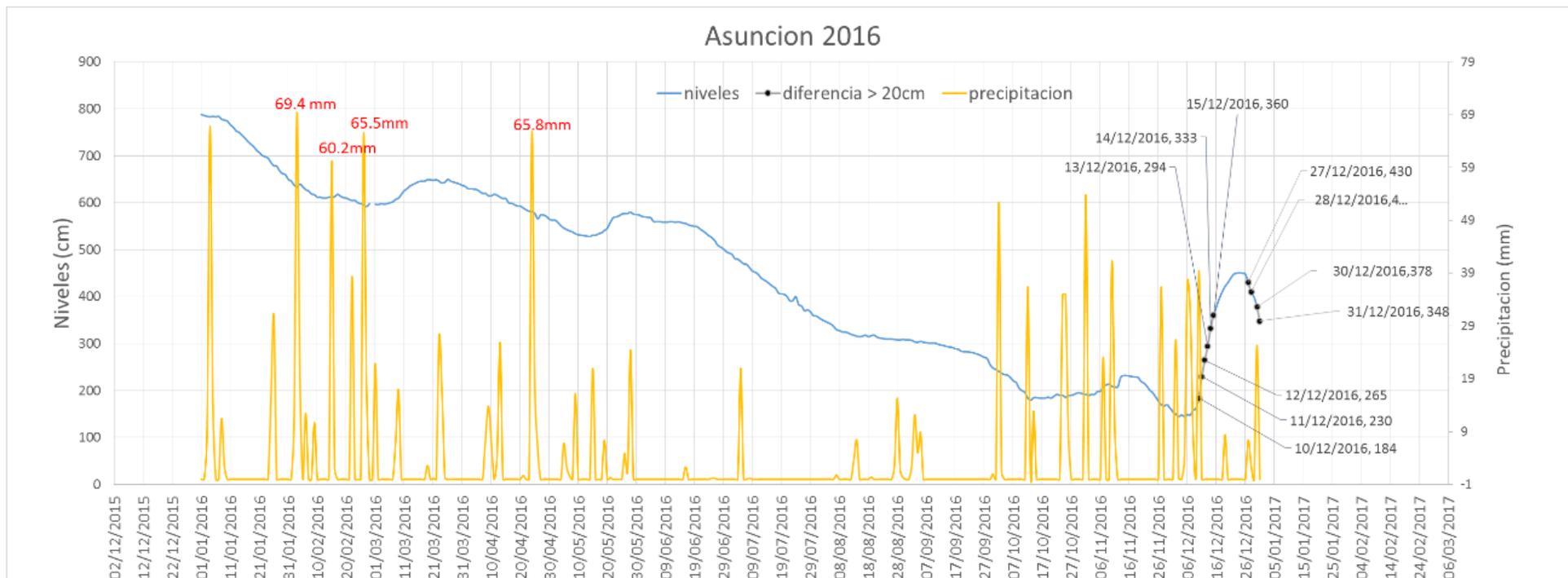
## **7. ANEXOS.**

### 7.1. Apartado 1.



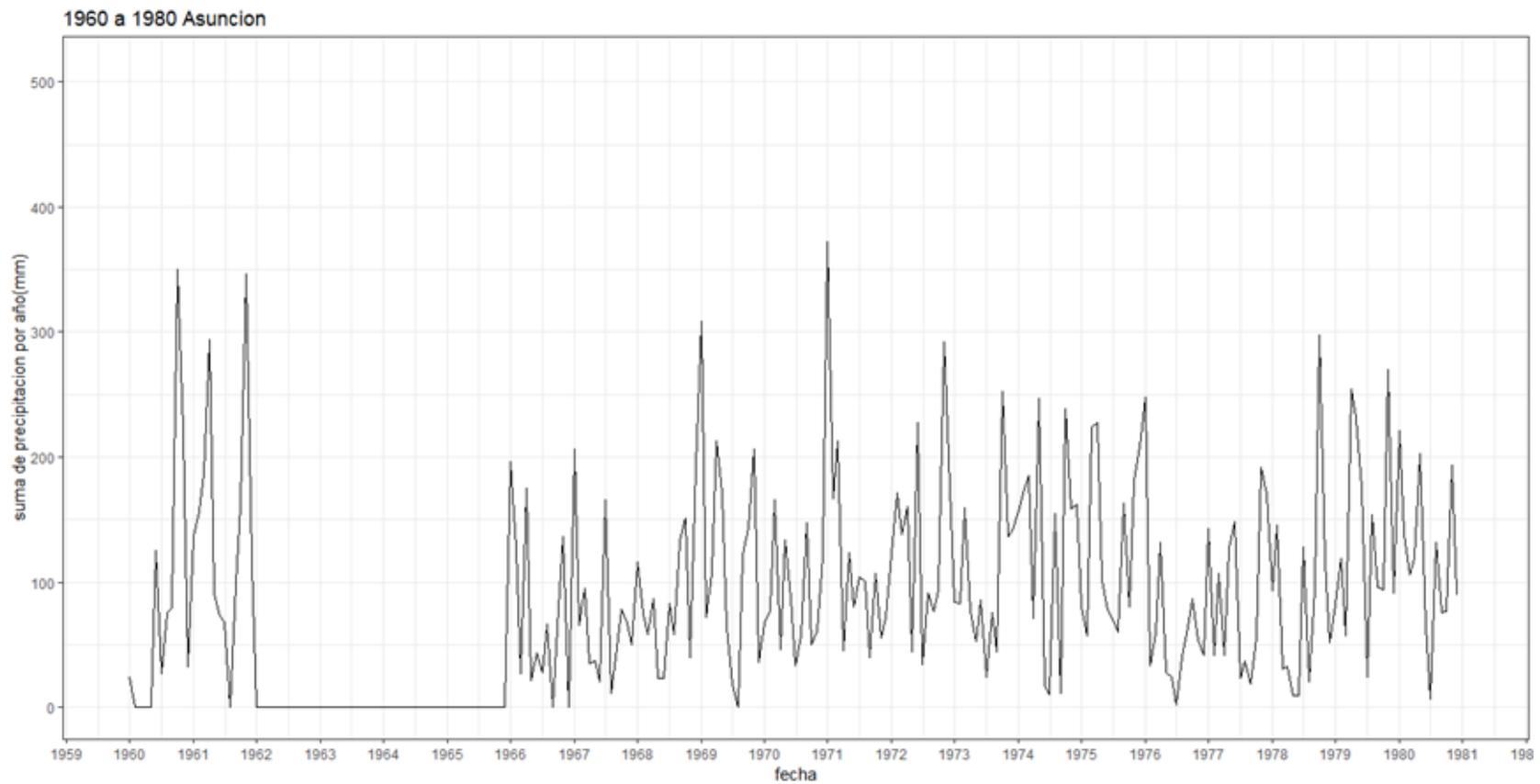


7.2. Apartado 2.

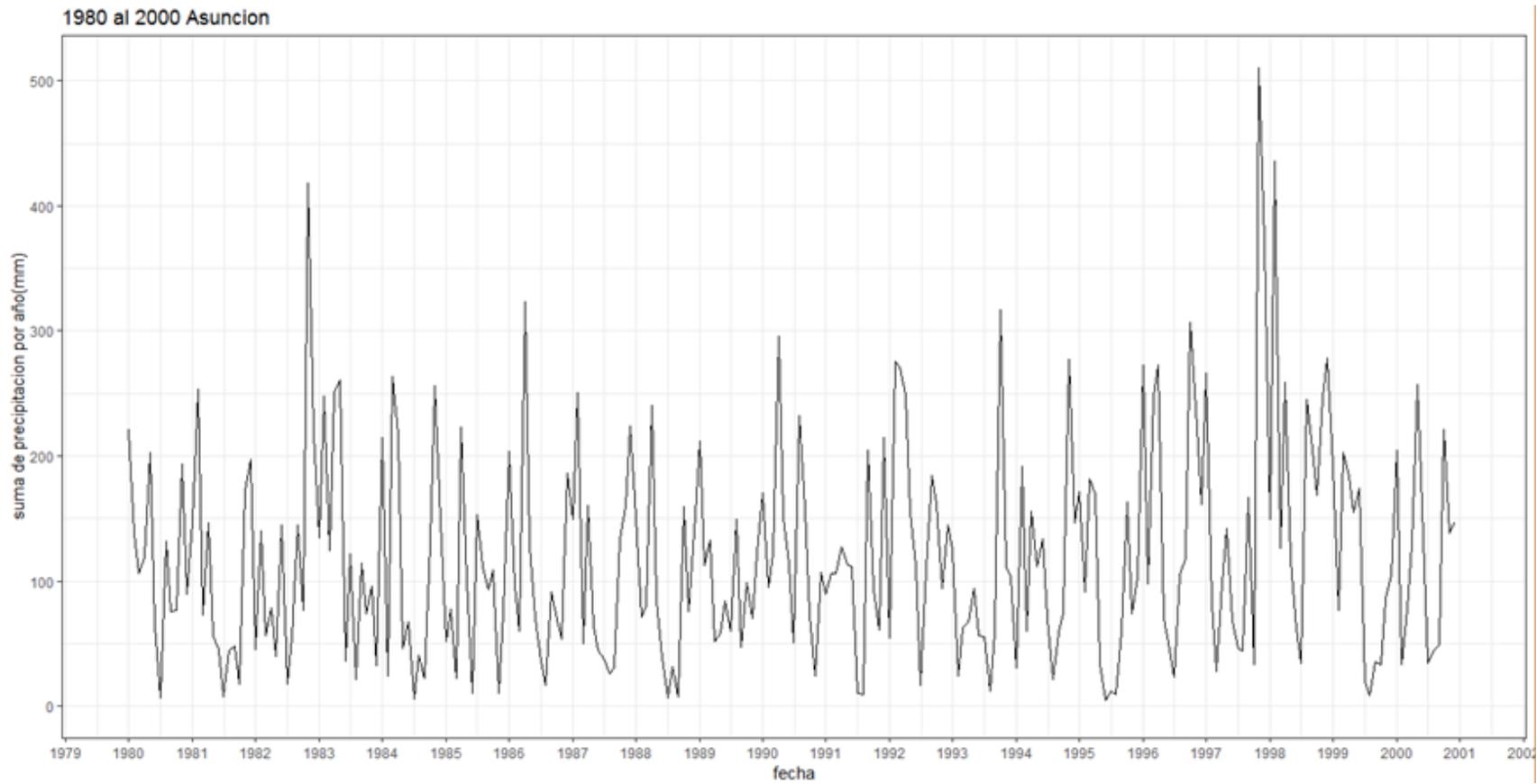


Ejemplo de gráfico de niveles y precipitación vs fecha utilizado para el control de calidad de los datos.

### 7.3. Apartado 3.

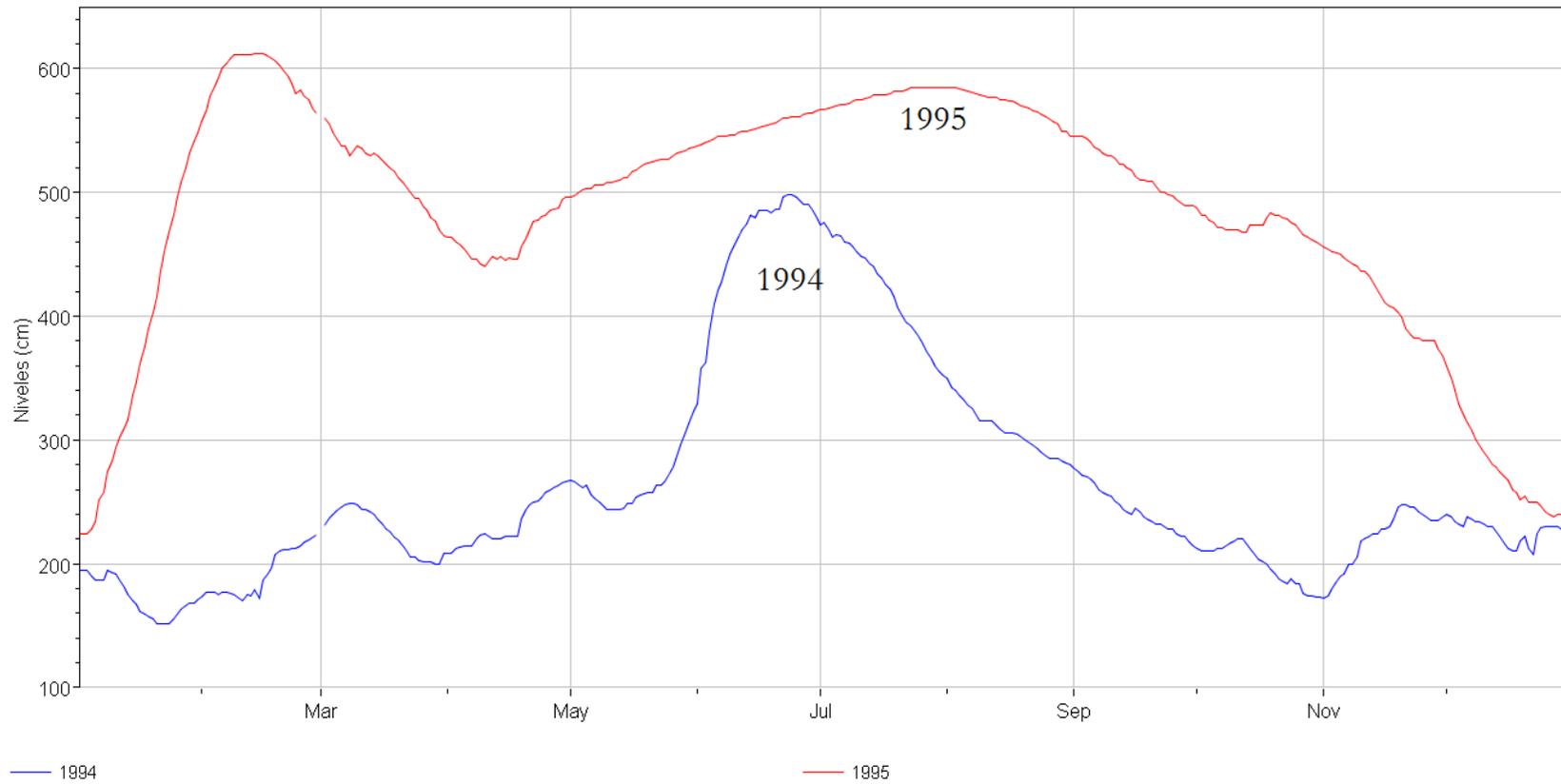


Suma de precipitación por año (mm). Periodo 1960 a 1980. Datos faltantes de 1962 a 1965.



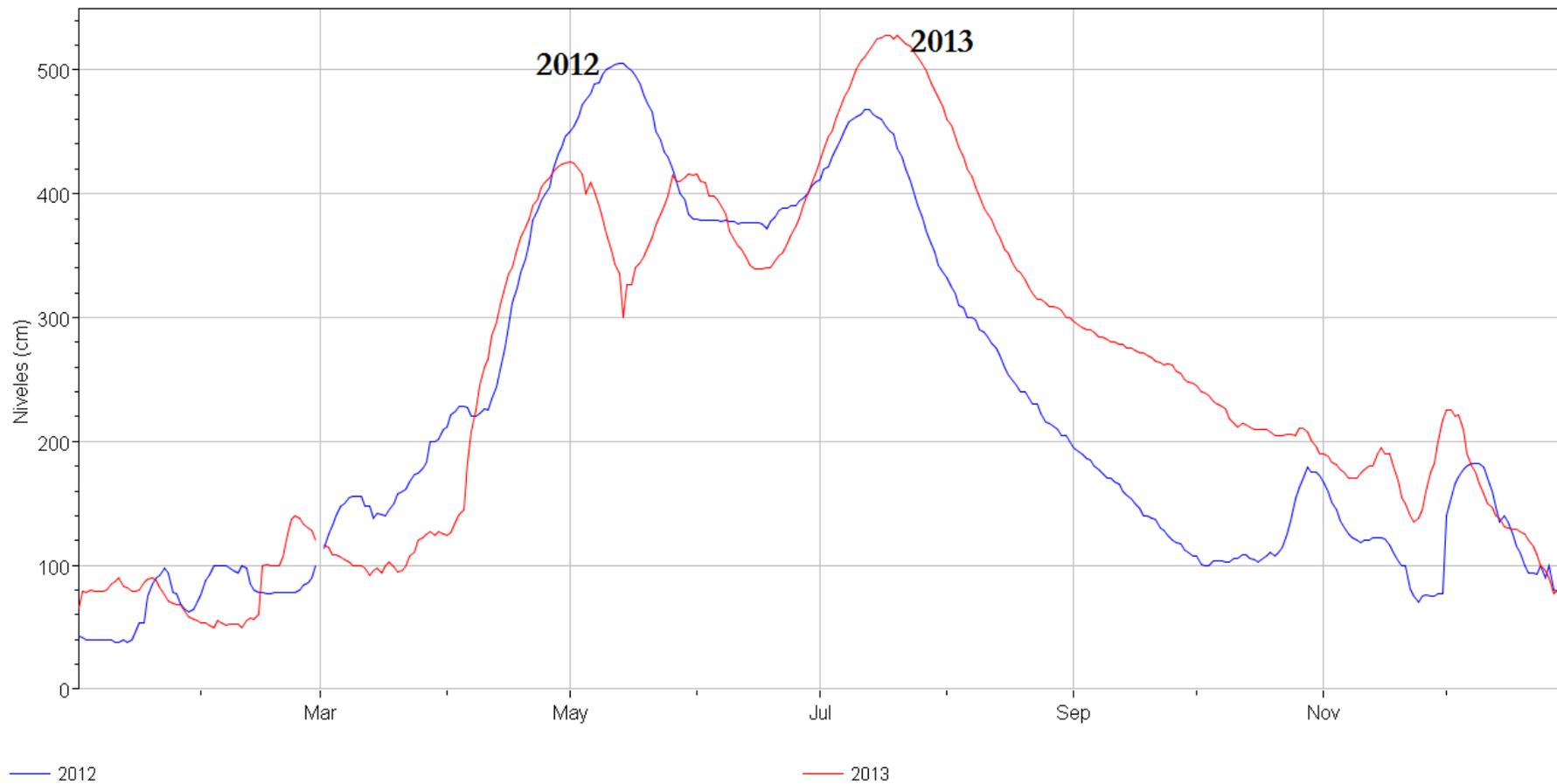
Suma de precipitación por año. Periodo 1980 al 2000

#### 7.4. Apartado 4. Cambio en el comportamiento del río, y otros hidrogramas.



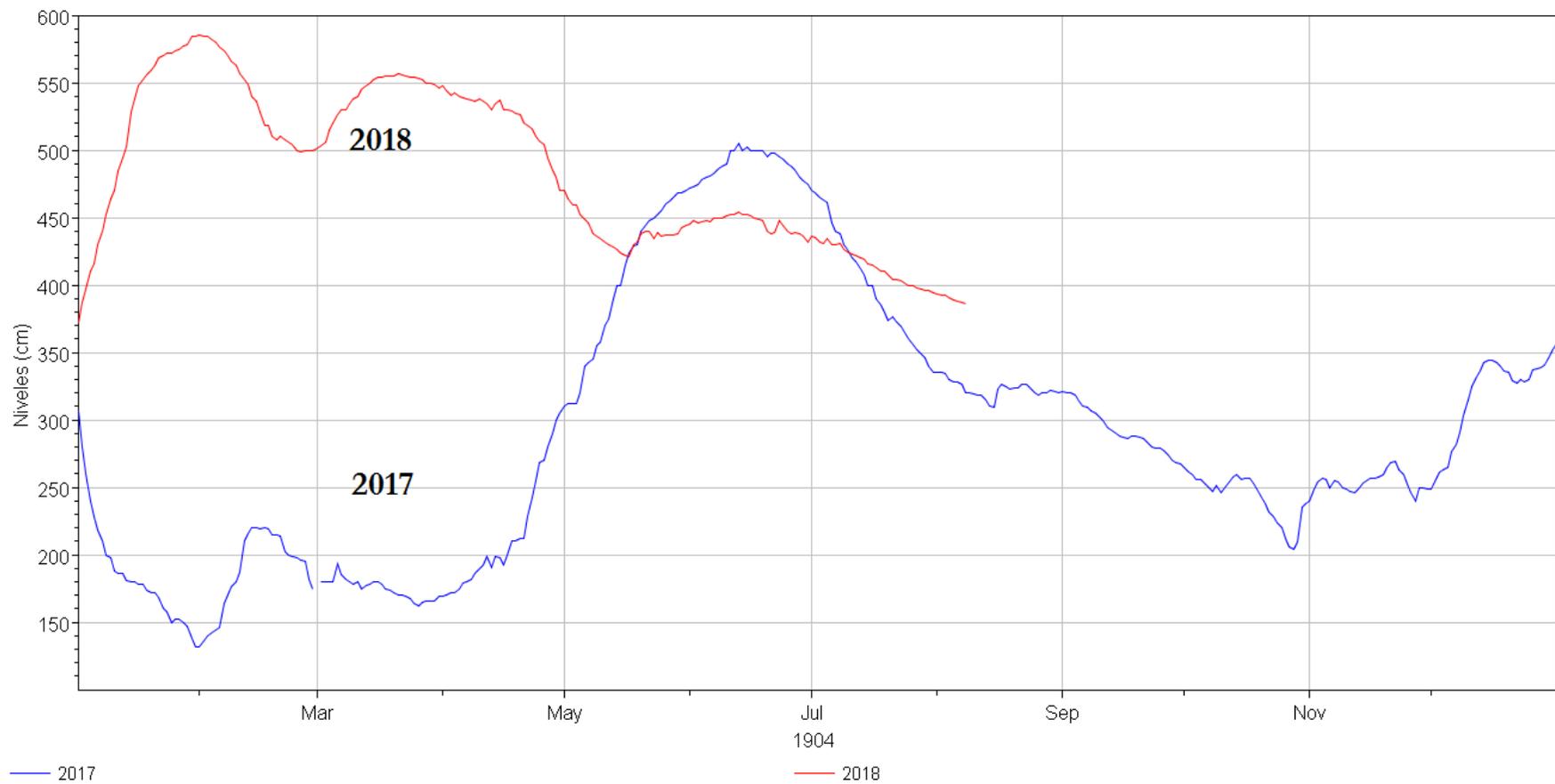
Comparación de curvas 1994 y 1995.



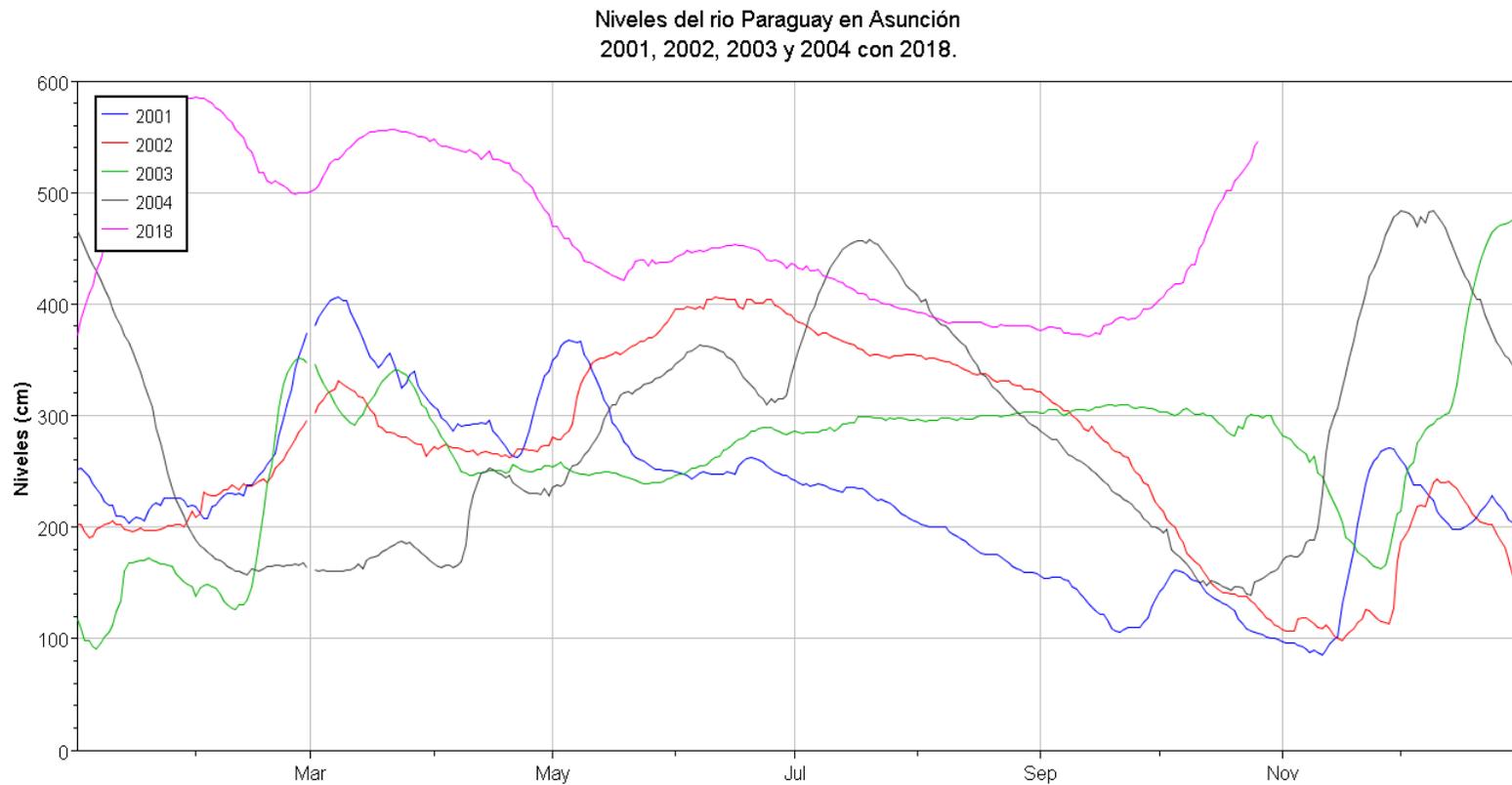


Comparación de hidrogramas, 2012 y 2013.





Comparación de hidrogramas, 2017 y 2018.

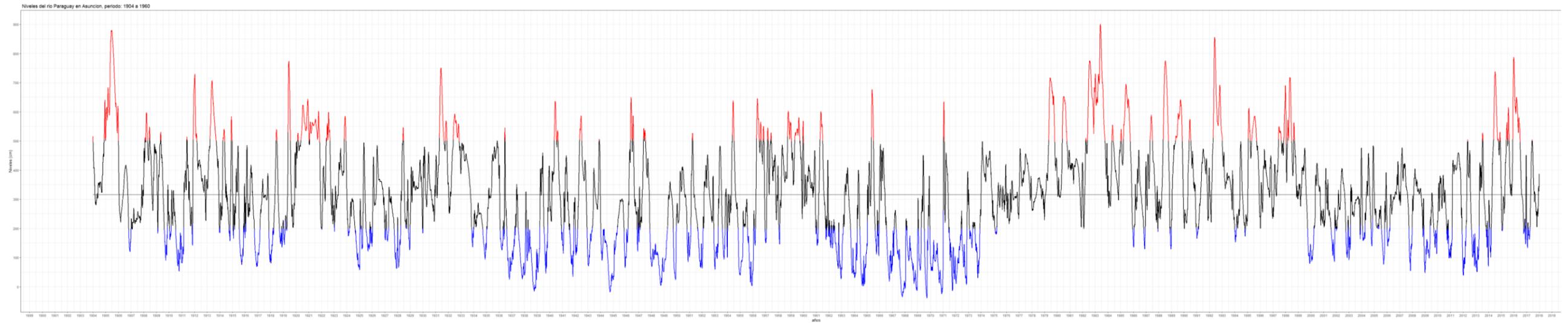


Años de comportamiento similar, subidas en el último trimestre del año.

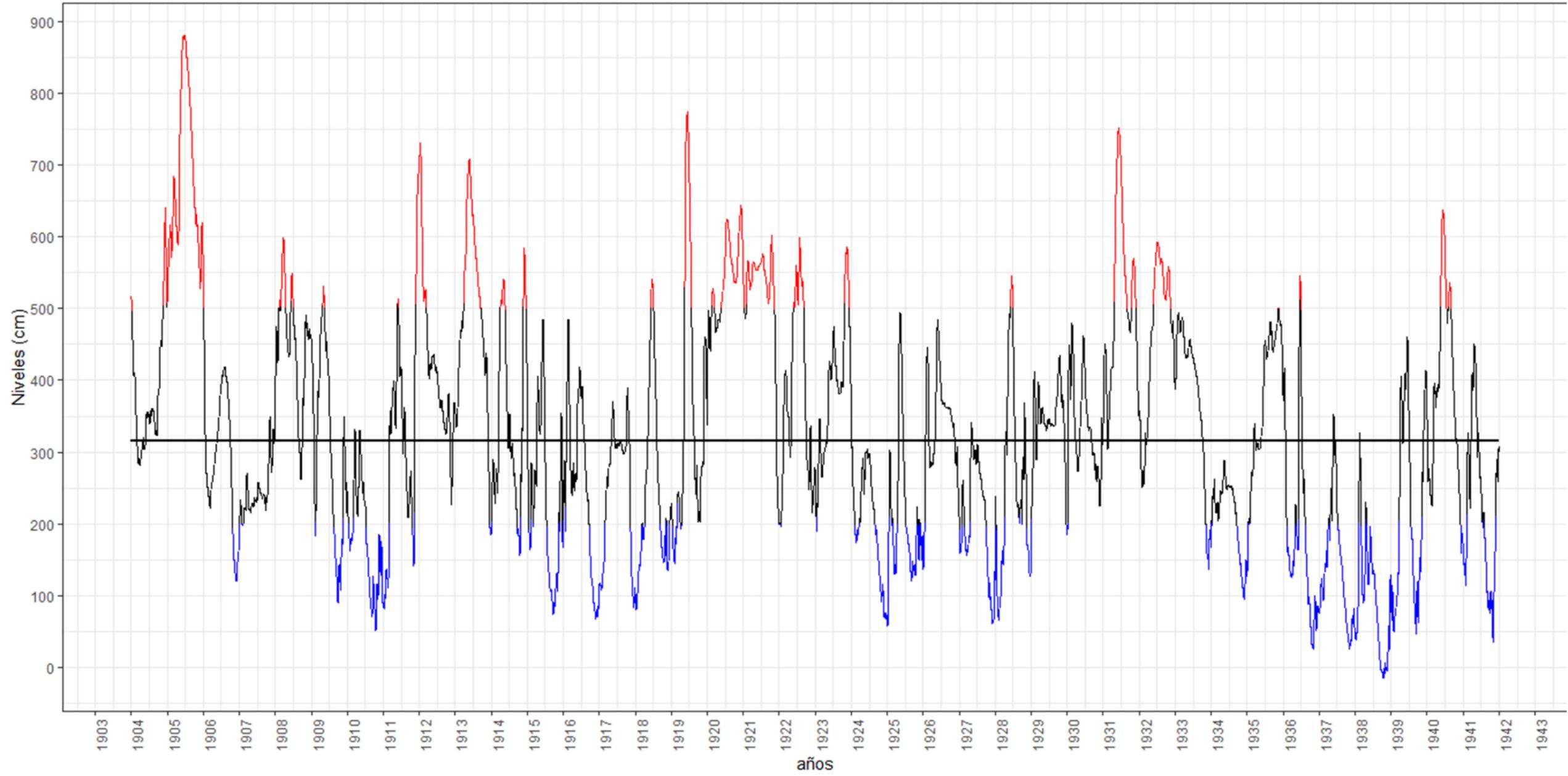




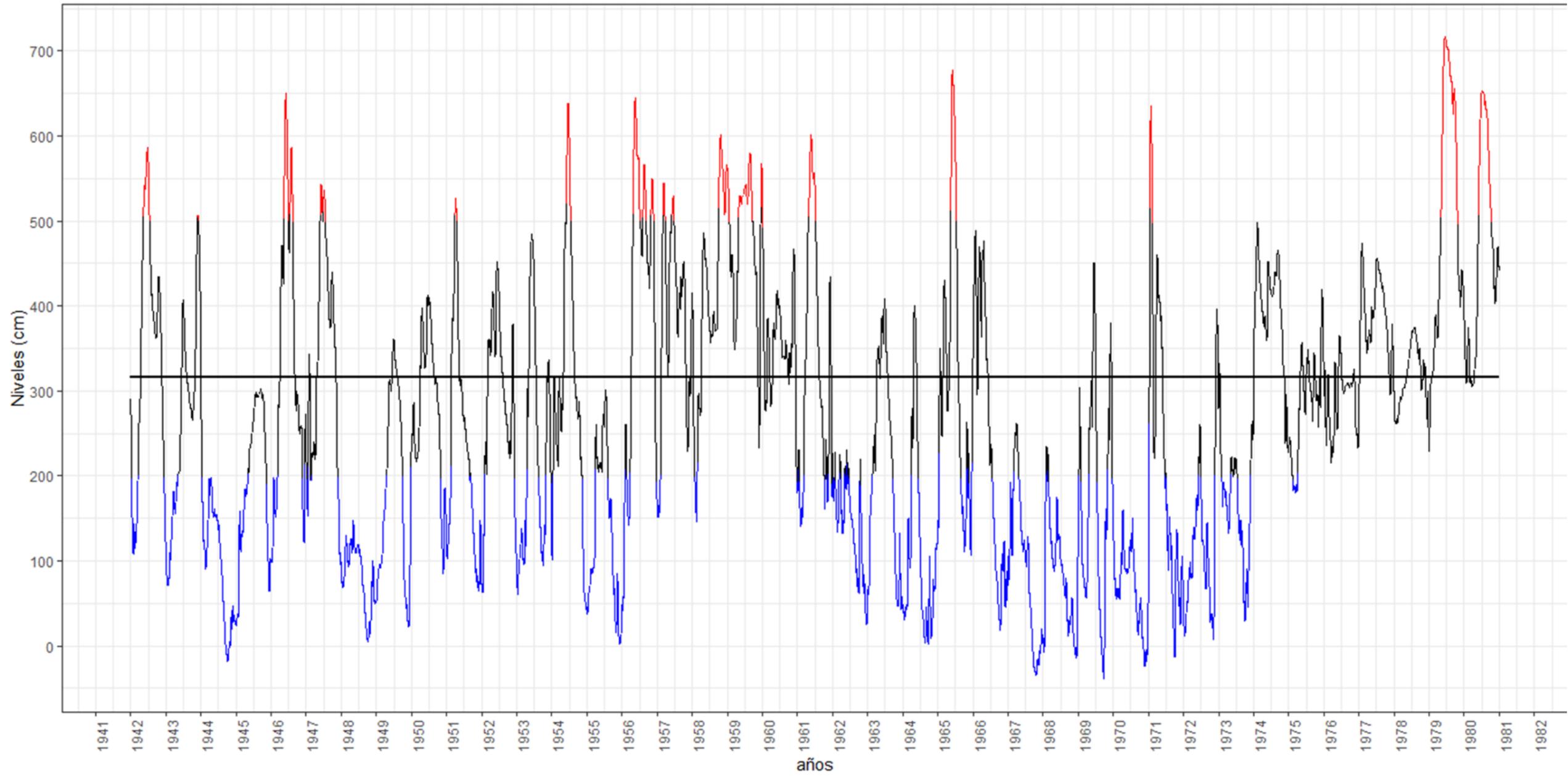
### **7.5. Apartado 5. Serie histórica de niveles del río Paraguay en Asunción.**



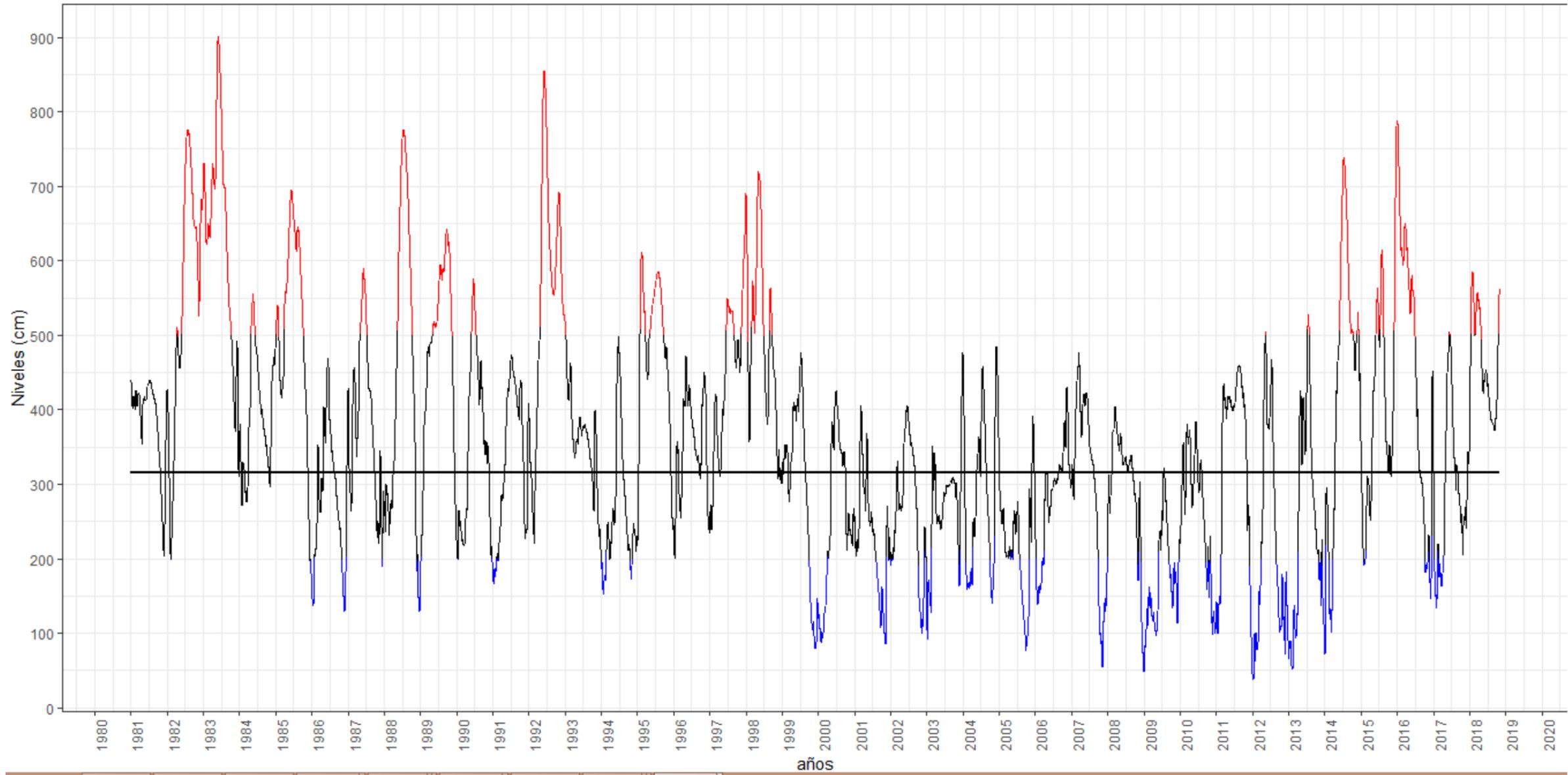
Niveles del río Paraguay en Asunción, periodo: 1904 a 1941



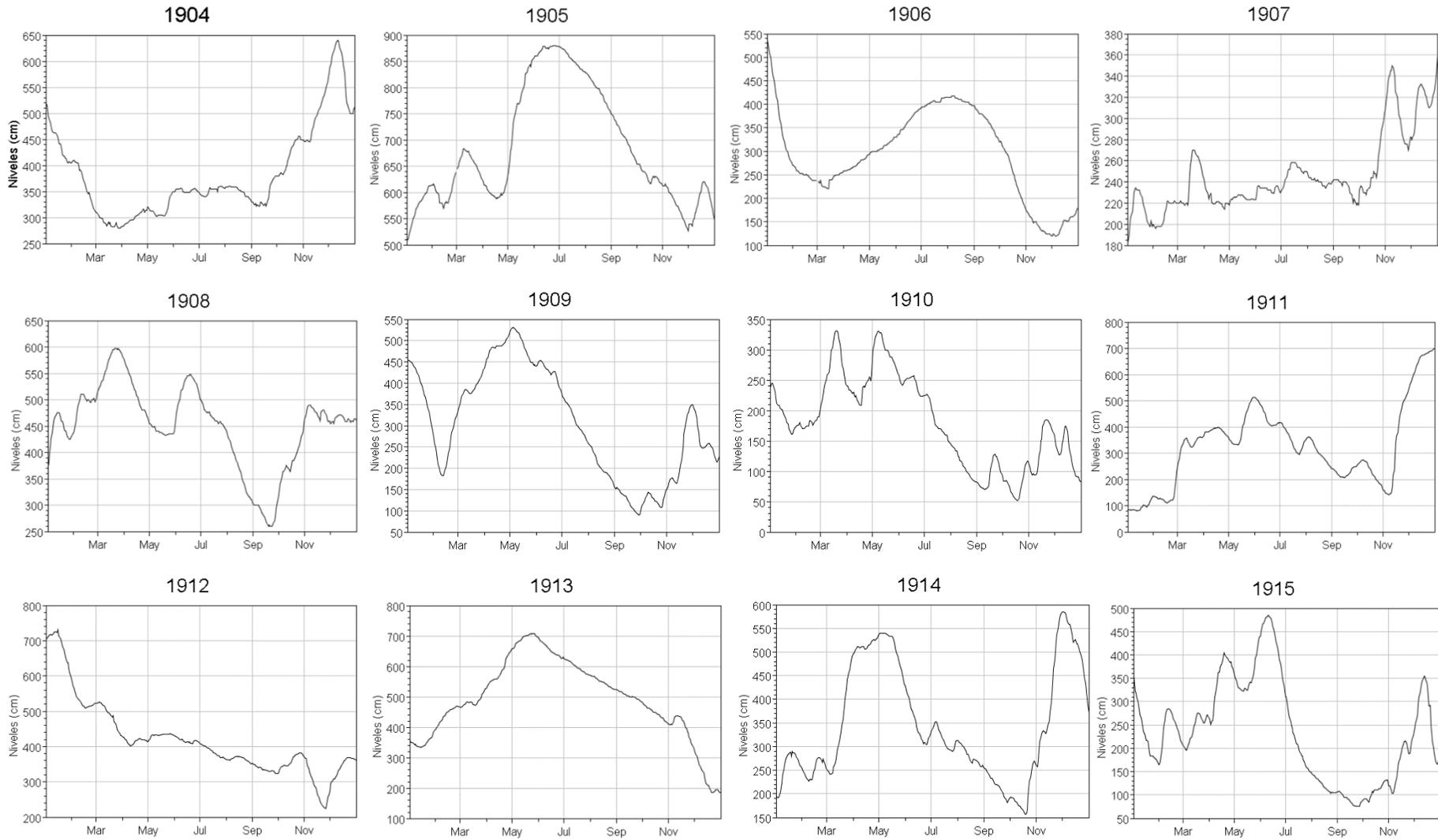
Niveles del río Paraguay en Asunción, periodo: 1942 a 1980

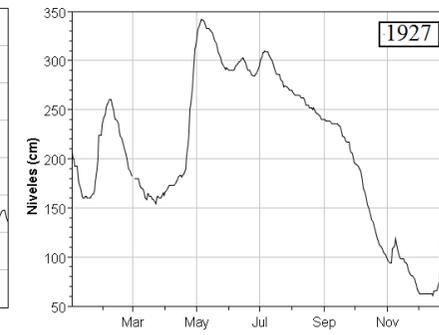
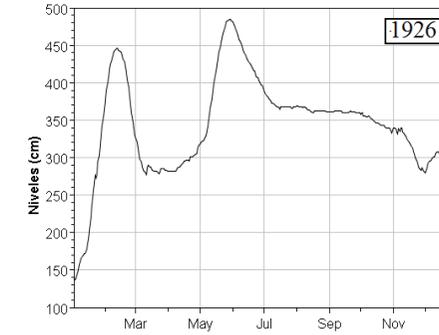
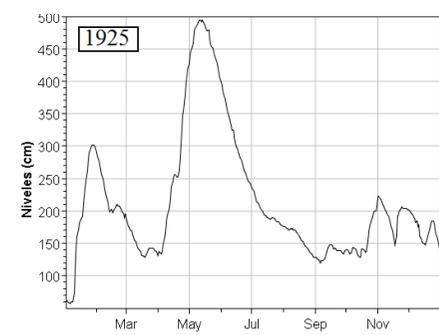
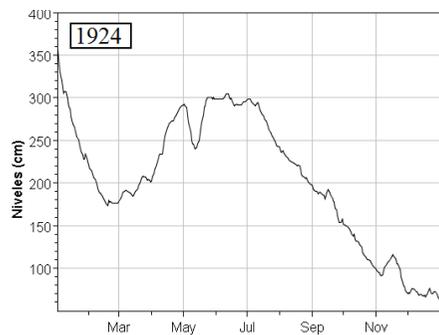
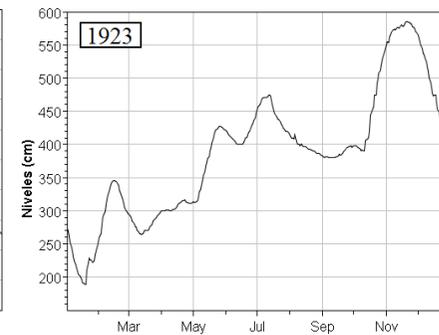
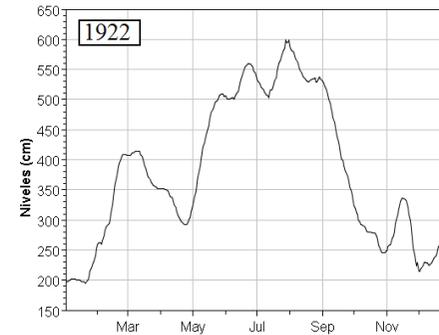
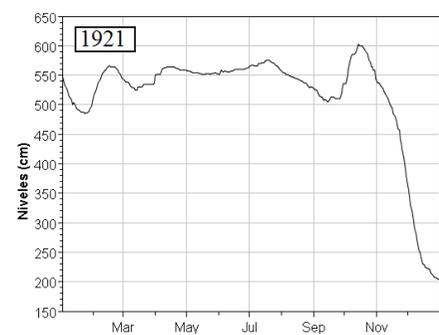
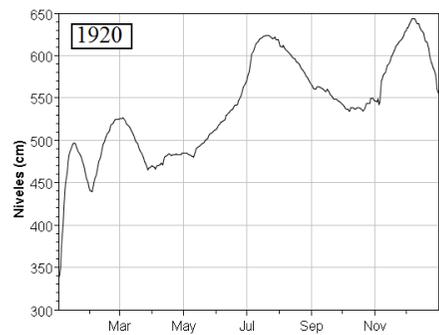
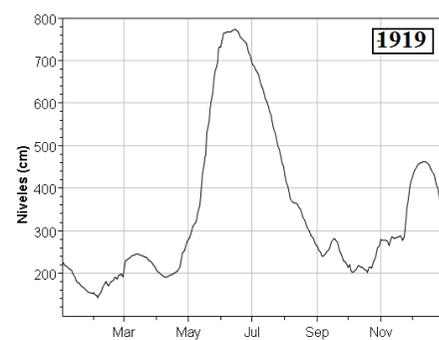
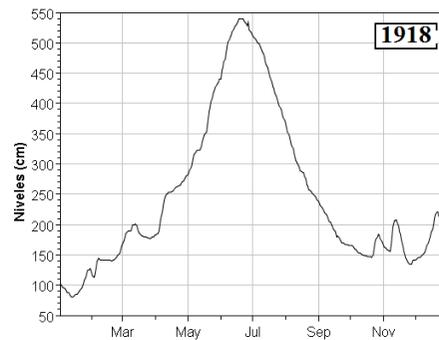
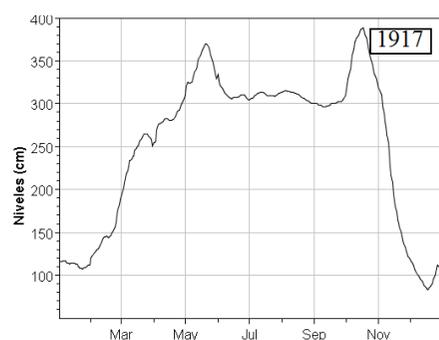
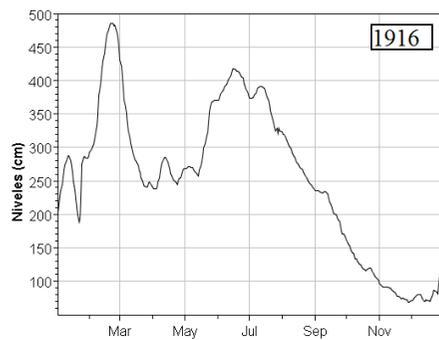


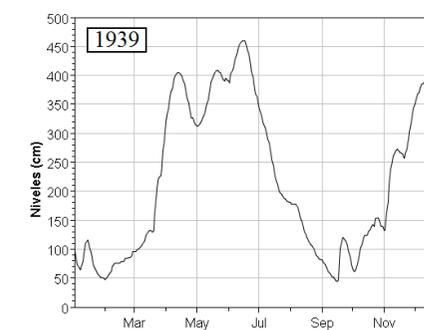
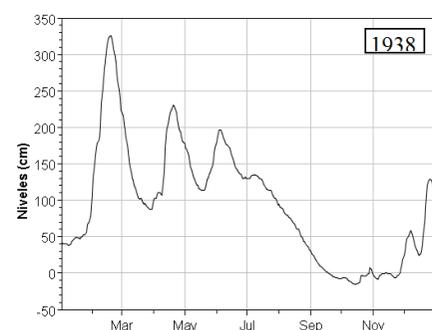
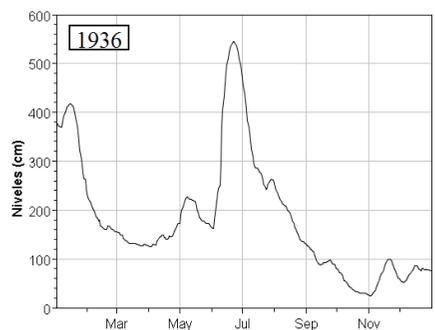
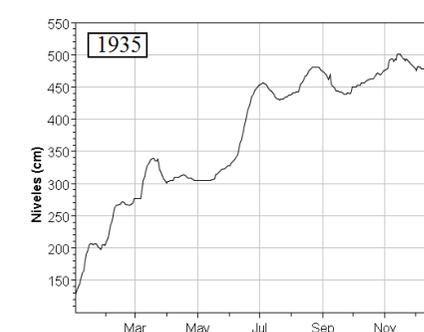
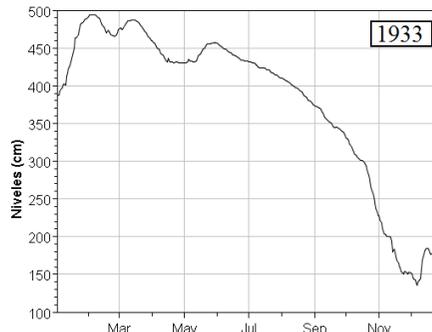
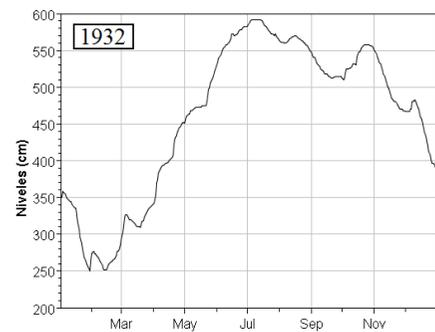
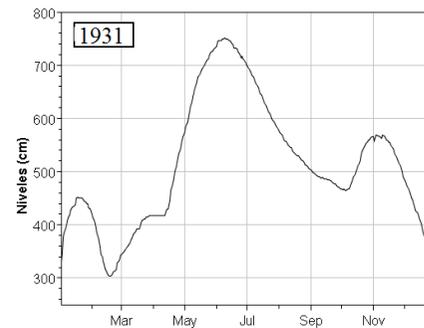
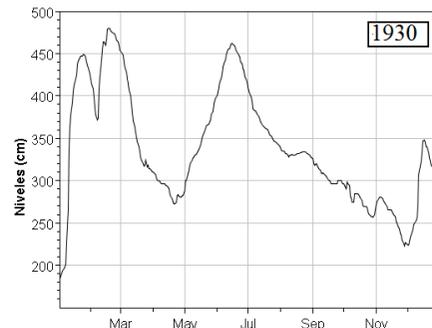
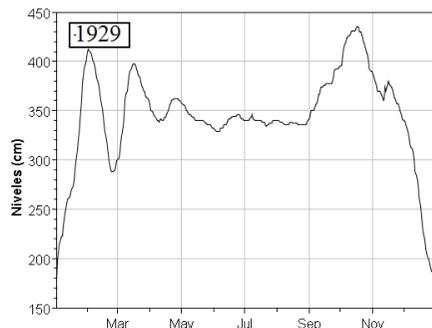
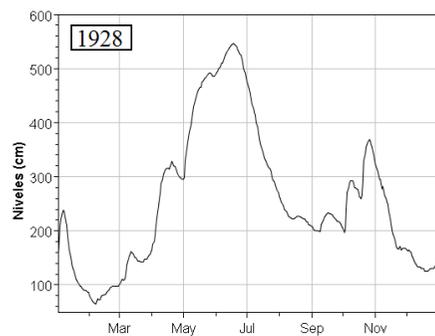
Niveles del río Paraguay en Asuncion, periodo: 1981 a oct.2018

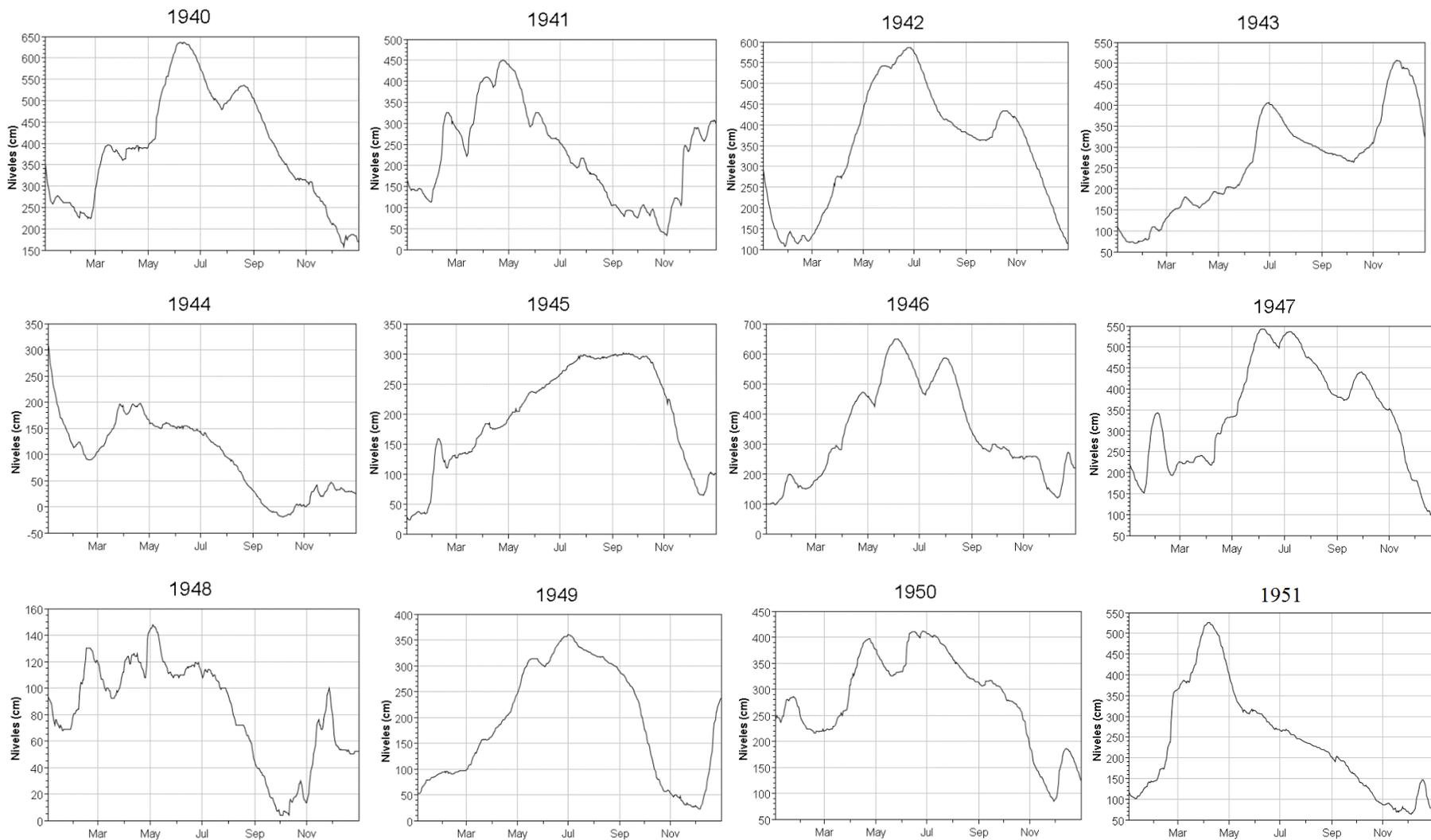


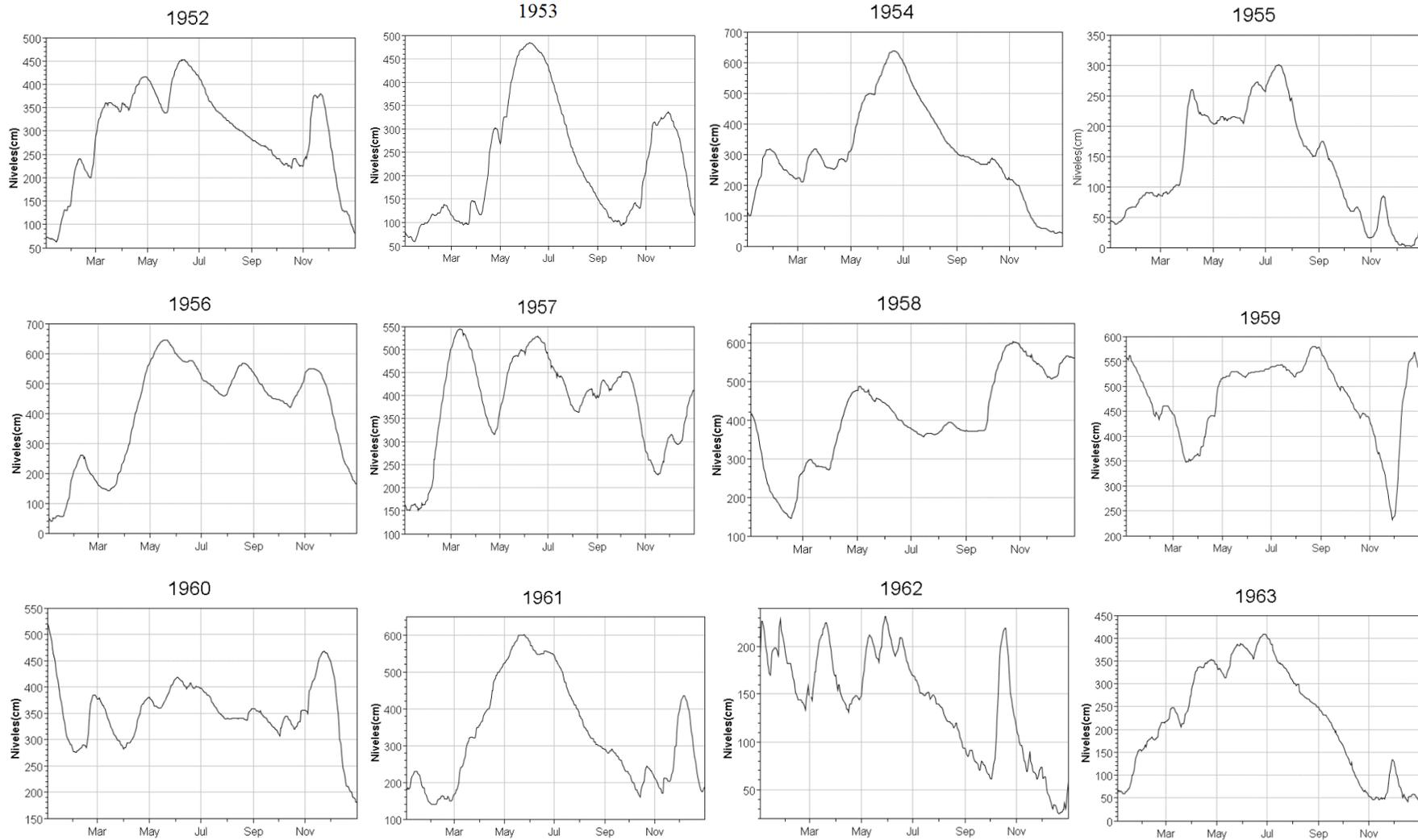
**A continuación se presentan hidrogramas de la serie histórica (1904 a octubre 2018), por año.**

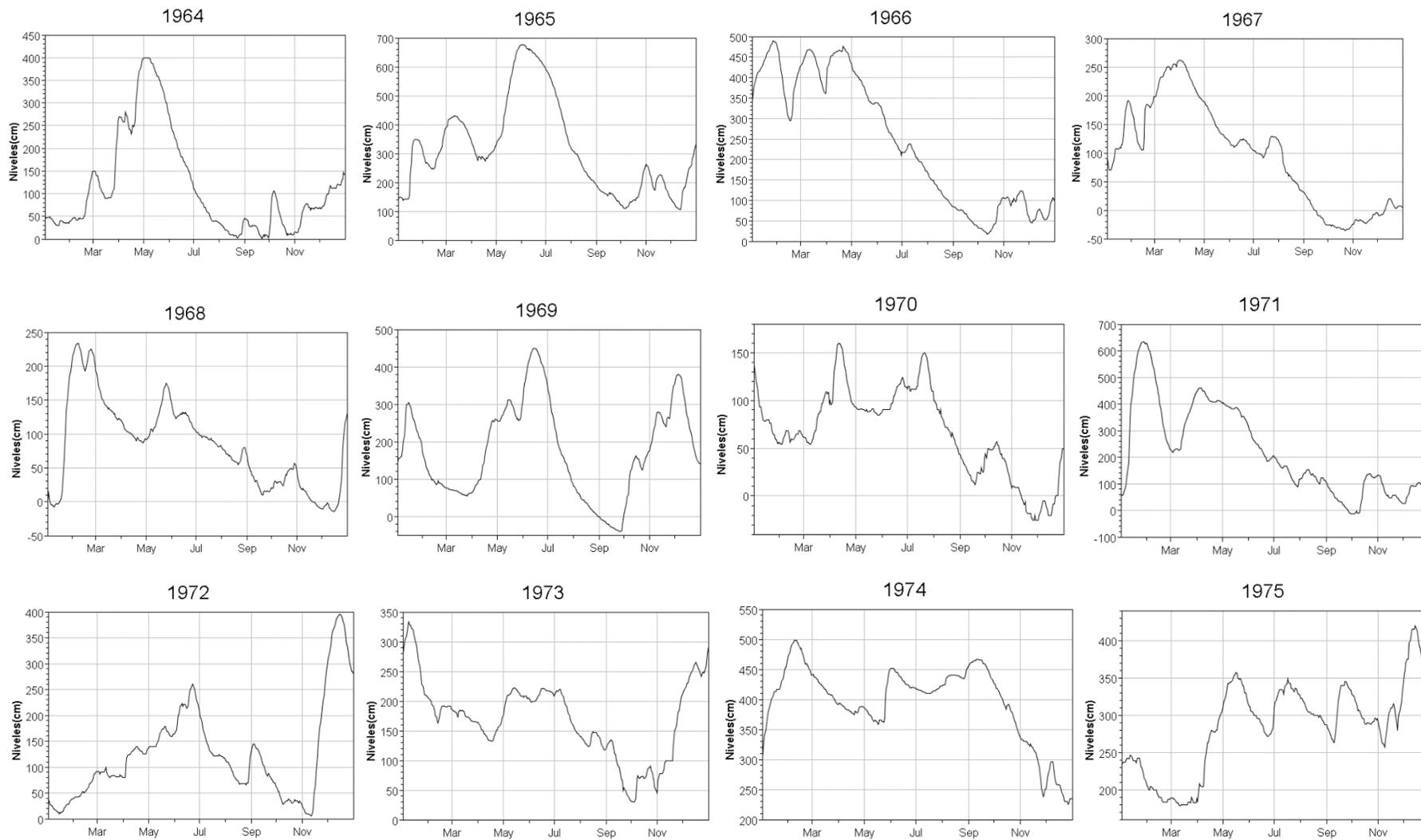


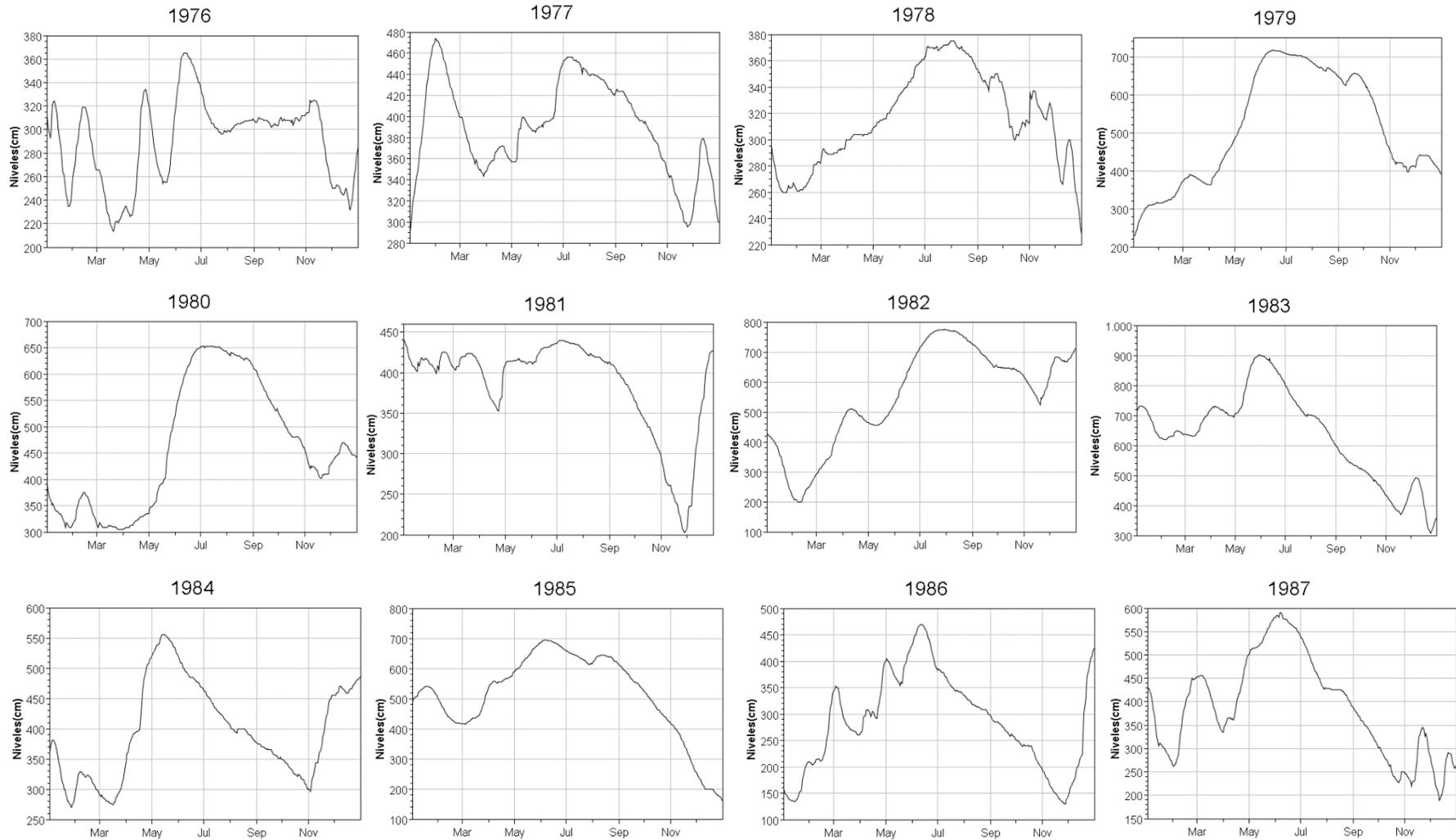


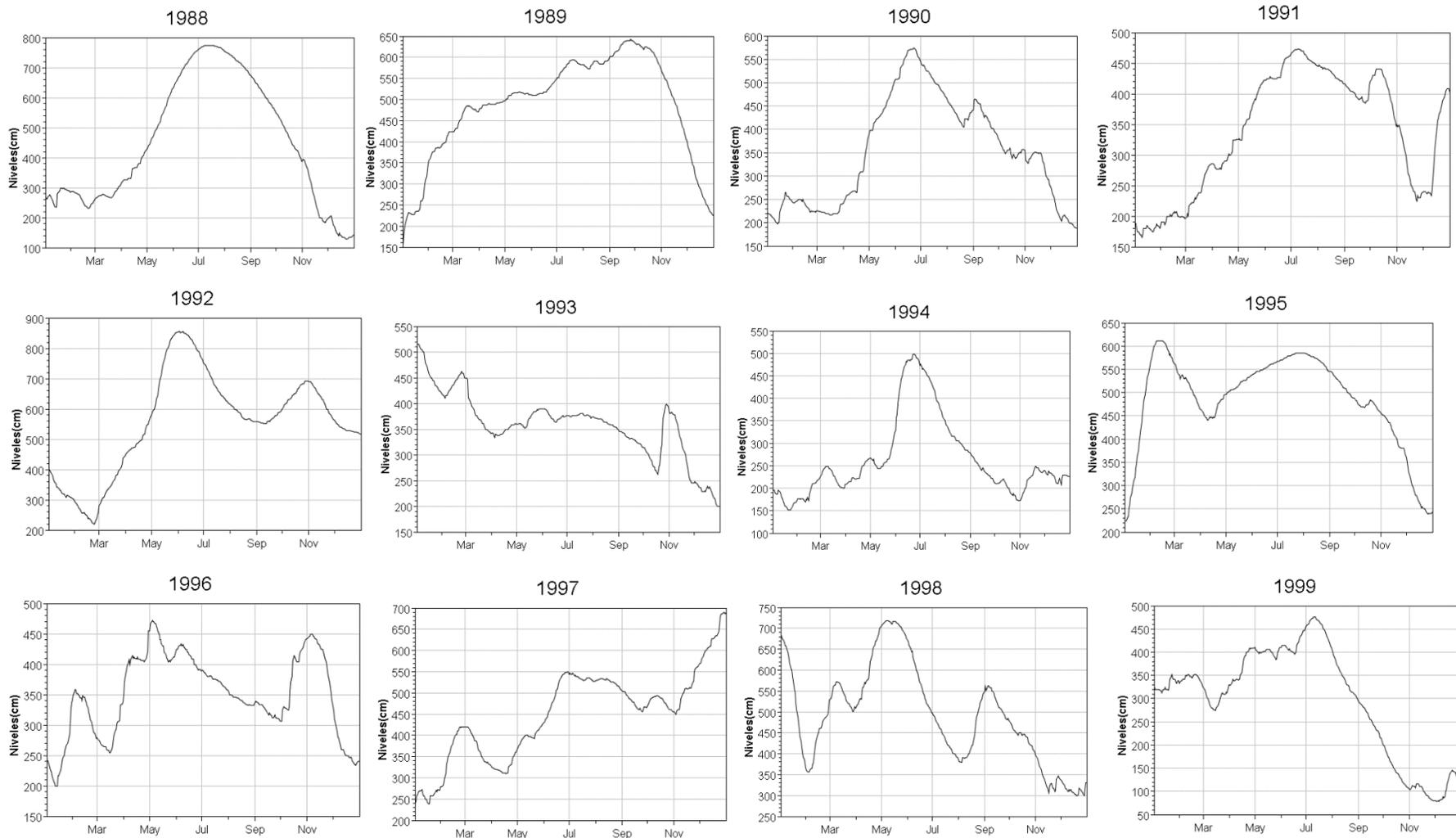


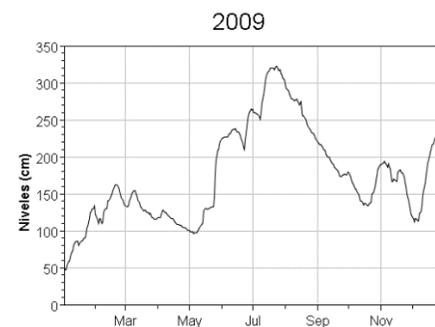
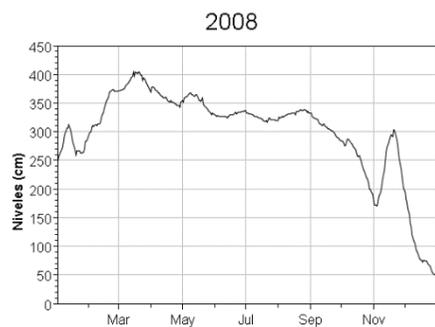
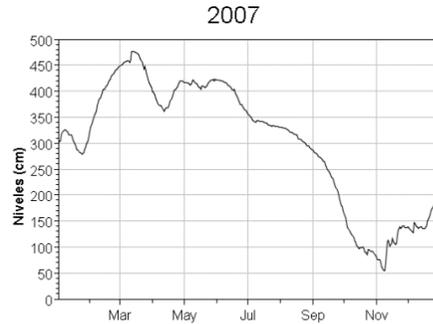
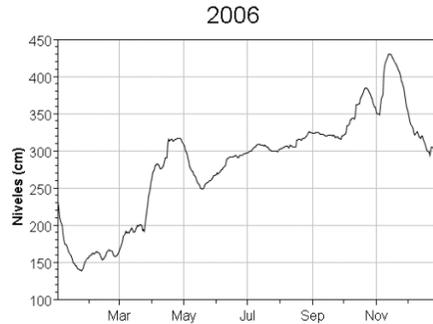
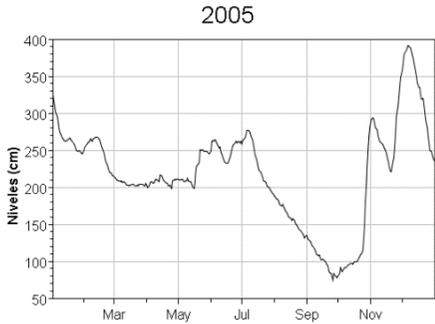
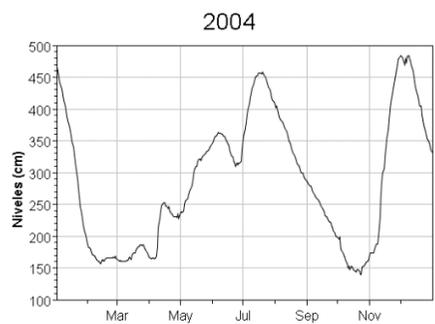
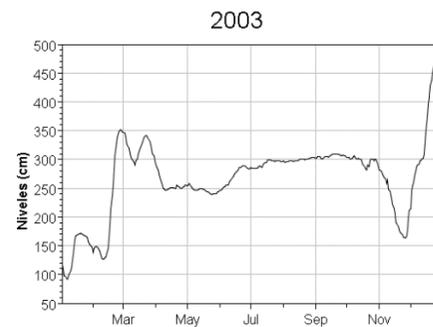
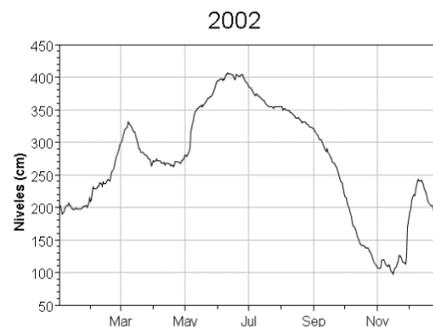
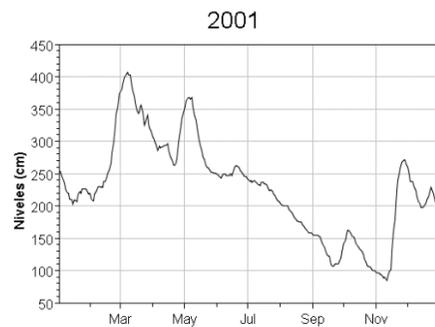
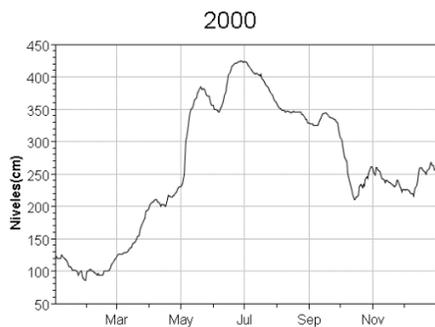


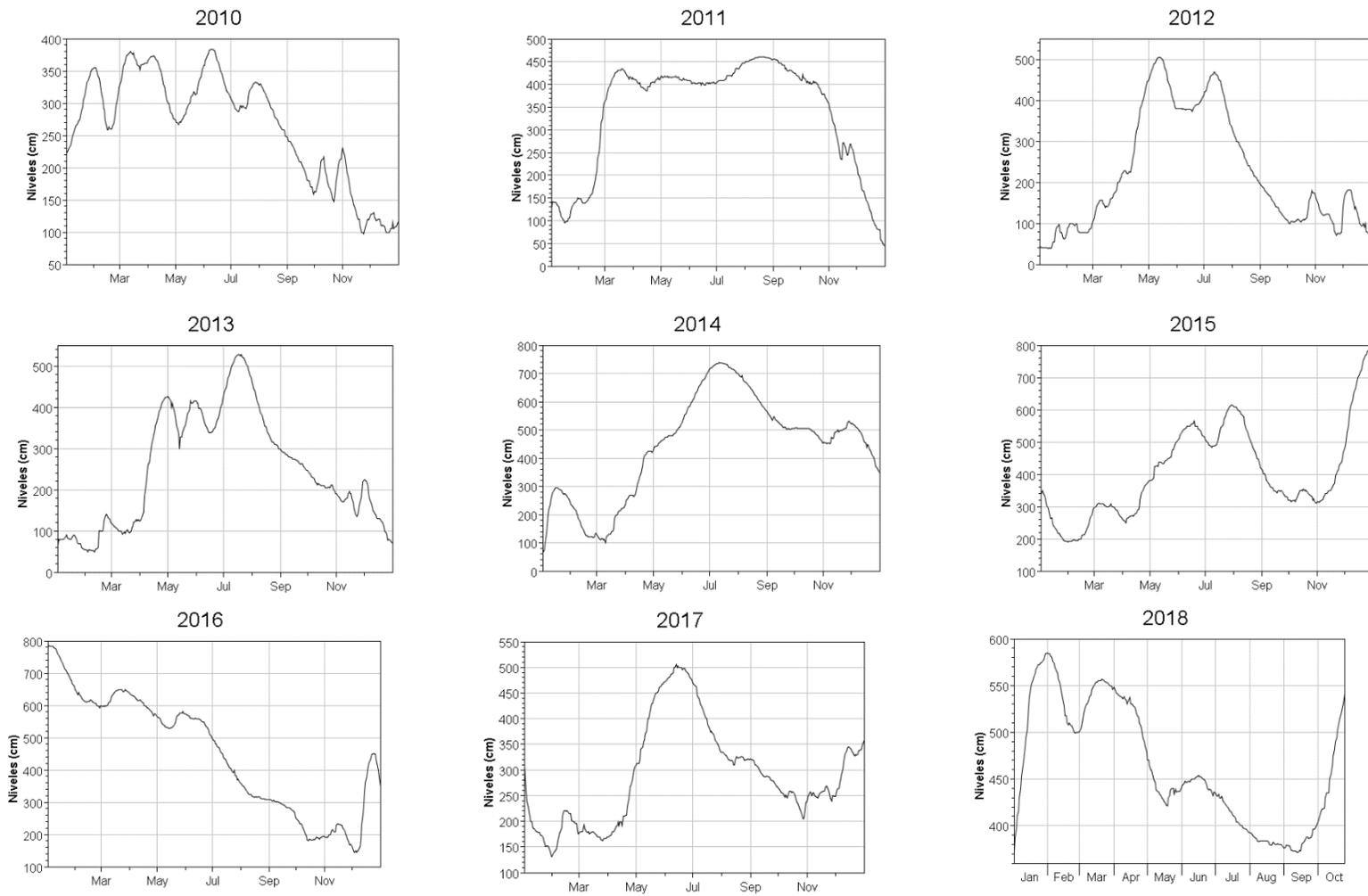












## 7.6. Apartado 6. Previsiones de la DMH-DINAC.

### Pronósticos de alturas hidrométricas del río Paraguay

Para las próximas tres semanas, las alturas hidrométricas pueden llegar a los siguientes niveles:

	<i>Actual</i>	<i>Pronóstico</i>		
<i>Estación / Fecha</i>	<b>06 ago</b>	<b>13 ago</b>	<b>20 ago</b>	<b>27 ago</b>
<i>Bahía Negra</i>	<b>5,24 E</b>	5,25	5,23	5,22
<i>Concepción</i>	<b>4,61 E</b>	4,55	4,47	4,40
<i>Asunción</i>	<b>3,87 -1</b>	3,79	3,70	3,62
<i>Pilar</i>	<b>4,32 E</b>	4,26	4,20	4,15

Rango de Incertidumbre: +/-20cm

	<i>Actual</i>	<i>Pronóstico</i>		
<i>Estación / Fecha</i>	<b>16 oct</b>	<b>21 oct</b>	<b>29 oct</b>	<b>05 nov</b>
<i>Bahía Negra</i>	<b>4,30 -5</b>	4,20	4,12	4,05
<i>Concepción</i>	<b>5,38 E</b>	5,80	6,02	6,18
<i>Asunción</i>	<b>4,90 +8</b>	5,25	5,40	5,60
<i>Pilar</i>	<b>5,29 +13</b>	5,60	5,50	5,68

Rango de Incertidumbre: +/-20cm

Para las próximas tres semanas, las alturas hidrométricas pueden llegar a los siguientes niveles:

	<i>Actual</i>	<i>Pronóstico</i>		
<i>Estación / Fecha</i>	<b>29 oct</b>	<b>05 nov</b>	<b>12 nov</b>	<b>19 nov</b>
<i>Bahía Negra</i>	<b>3,91 E</b>	3,86	3,80	3,74
<i>Concepción</i>	<b>5,01 E</b>	5,05	5,10	5,18
<i>Asunción</i>	<b>5,61 E</b>	5,68	5,80	5,90
<i>Pilar</i>	<b>5,95 +5</b>	6,10	6,20	6,30

Rango de Incertidumbre: +/-20cm

Para las próximas tres semanas, las alturas hidrométricas pueden llegar a los siguientes niveles:

	<i>Actual</i>	<i>Pronóstico</i>		
<i>Estación / Fecha</i>	<b>12 nov</b>	<b>19 nov</b>	<b>26 nov</b>	<b>03 dic</b>
<i>Bahía Negra</i>	<b>3,77 E</b>	3,70	3,64	3,59
<i>Concepción</i>	<b>5,12 -2</b>	5,04	5,11	5,02
<i>Asunción</i>	<b>5,98 E</b>	6,06	6,20	6,32
<i>Pilar</i>	<b>6,96 +2</b>	7,15	7,38	7,50

Rango de Incertidumbre: +/-20cm

## 8. BIBLIOGRAFIA.

- 8.1. Ávila, Báez, Monte Domecq, et.al. (marzo 2017). 1er informe técnico de avances del proyecto: "Pronóstico de niveles y caudales del río Paraguay hasta 60, 90 días". pp.18,22,68
- 8.2. Barcelona, U. d. (2018). Obtenido de [http://www.ub.edu/aplica\\_infor/spss/cap8-4.htm](http://www.ub.edu/aplica_infor/spss/cap8-4.htm)
- 8.3. Benza, I. J. (1998). *Informe final del proyecto "Zonificación de áreas inundables del río Paraguay"*.
- 8.4. Cadavid, Juan David y Carvajal, Luis Fernando, "Modelo autorregresivo bilineal aplicado a la predicción mensual de caudales en Colombia", Revista Ingenierías Universidad de Medellín, vol.12, No 23, ISSN 1692-3324 (2013): pp.26.
- 8.5. Cadavid Alzate, Juan David (2009). Tesis de grado: "Modelo autorregresivo bilineal aplicado a la predicción mensual de caudales en Colombia". Universidad nacional de Colombia. pp.2-1, 2-4 , 5-1.
- 8.6. Carvajal y Cadavid. (oct.2013). Modelo autorregresivo bilineal aplicado a la predicción mensual de caudales en Colombia. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Vol.12, No.23,, 23-33.*
- 8.7. Chavasse, Diana y Seoane Rafael, "Asociación determinístico-Estocástica para la predicción de caudales", Ingeniería del Agua Vol.4 Num.2 (junio 1997): pp.55-64.
- 8.8. Clarke, Robin, "Stochastic Hydrology Revisited", Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volumen 7, (Dic.2002): pp.97-104.
- 8.9. Casimiro, M. P. (abril de 2009). Universidad del País Vasco. Obtenido de Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Análisis de series temporales, modelos ARIMA: <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/12492/04-09gon.pdf>
- 8.10. Daniel Allasia (2007), tesis de doctorado: "Validación de la previsión hidroclimática en Alto Paraguay", Universidad Federal de Rio Grande del Sur.

- 8.11. de Egea y Cazó. (1998). Informe de tesis de grado: "*Estudio de crecidas del río Paraguay*". Universidad Nacional de Asunción.
- 8.12. García Gutiérrez, Francisco Pablo (2010). "Modelación hidrológica estocástica: desarrollo de un modelo de generación sintética de series temporales". Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno. Santa Cruz – Bolivia.p.3
- 8.13. Gill, Esperanza, Testimonio de la Asunción, Crecimient y desarrollo en sus 450 años (1987).p.104.
- 8.14. *Golden Gate Weather Services*. (s.f.). Obtenido de <https://ggweather.com/enso/oni.htm>
- 8.15. Jain, K. (2018). *Analytics Vidhya*. Obtenido de [www.analyticsvidhya.com/](http://www.analyticsvidhya.com/)
- 8.16. *La estadística: una orquesta hecha instrumento*. (2018). Obtenido de <https://estadisticaorquestainstrumento.wordpress.com/2013/04/30/tema-25-analisis-de-series-temporales/>
- 8.17. *Monte Domecq, Perito, Chamorro, Ávila, Báez; CAPITULO 7, PARAGUAY. Carlos M. Tucci. Inundaciones Urbanas.pp.337.*
- 8.18. *Monte Domecq. (2015). Análisis de series de caudales del río Paraguay ante eventos extremos - Serie 1975 – 2015*
- 8.19. *Monte Domecq. (2013). Informe de Navegabilidad en el Rio Paraguay Para el Puerto CAIASA. p.4 a 8.*
- 8.20. Natalia De la Fuente. (s.f.). *Estrategias de trading*. Obtenido de <https://estrategiastrading.com/series-estacionarias/>
- 8.21. NOAA. (s.f.). *National Weather Service*. Obtenido de Climate Prediction Center:  
[http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)
- 8.22. *Organización Meteorológica Mundial*. (s.f.). Obtenido de <https://public.wmo.int/es/media/noticias/el-ni%C3%B1o-la-ni%C3%B1a-hoy-junio-de-2018>

- 8.23. (Paraguay fluvial, s.f.) PFN [paraguayfluvial.com](http://paraguayfluvial.com). Obtenido de: <http://paraguayfluvial.com/camara-de-comercio-paraguayo-argentina-organiza-conferencia-el-transporte-fluvial-como-motor-de-la-economia-paraguaya/>
- 8.24. Reddy, Jayarami, Stochastic hydrology (New Delhi, India: ISBN: 978-81-318-0983-9, 2016): p.134:171.
- 8.25. Tucci y Braga, Clima y recursos hídricos en Brasil ABRH 9. Noviembre 2003 (Porto alegre, Brasil, noviembre 2003). Capítulo 7. Clarke.p 243 a 263.
- 8.26. Universidad de Granada. (2018). Obtenido de [http://www.ugr.es/~bioestad/\\_private/cpfund10.pdf](http://www.ugr.es/~bioestad/_private/cpfund10.pdf)
- 8.27. Universidad de Santiago de Compostela, Departamento de Estadística e Investigación Operativa. (2018). Obtenido de [http://eio.usc.es/eipc1/base/BASEMASTER/FORMULARIOS-PHP/MATERIALESMATER/Mat\\_112909\\_Tema3\\_yIII.pdf](http://eio.usc.es/eipc1/base/BASEMASTER/FORMULARIOS-PHP/MATERIALESMATER/Mat_112909_Tema3_yIII.pdf)
- 8.28. Universidad de Valladolid. (junio de 2018). *UVa*. Obtenido de Componentes de una serie temporal: <http://www5.uva.es/estadmed/datos/series/series1.htm>
- 8.29. Universidad de Valladolid. (2018.). *UVa*. Obtenido de <http://www5.uva.es/estadmed/datos/series/series1.htm>
- 8.30. Universidad del país Vasco, F. d. (s.f.). *addi, archivo digital docencia investigación*. Obtenido de <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/12492/04-09gon.pdf>
- 8.31. Universidad Nacional de Colombia. (2018). *bdigital Repositorio Institucional UN*. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/15202/1/9799-17373-1-PB.pdf>
- 8.32. Universitat de Barcelona. (2018). *Universidad de Barcelona*. Obtenido de [http://www.ub.edu/aplica\\_infor/spss/cap8-2.htm](http://www.ub.edu/aplica_infor/spss/cap8-2.htm)
- 8.33. Ven Te Chow, Hidrología Aplicada (1994): p.361, 371.
- 8.34. Wilks, Daniel S, Statistical Methods in the Atmospheric Science (San Diego, California, 2006): p.180:82, 206, 352:358.