



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AMBIENTAL

VALIDACIÓN DE MODELOS DE  
PRONÓSTICO DE VARIABLES DE OPERACIÓN DEL  
SISTEMA DE EMBALSES DEL ACUEDUCTO REGIONAL  
DEL CENTRO

**Tutor:**

**Dra. Adriana Márquez**

**Elaborado por:**

**Aponte Amaruth**

**González Oscar**

Naguanagua, Mayo 2015



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AMBIENTAL

**VALIDACIÓN DE MODELOS DE  
PRONÓSTICO DE VARIABLES DE OPERACIÓN DEL  
SISTEMA DE EMBALSES DEL ACUEDUCTO REGIONAL  
DEL CENTRO**

**Trabajo Presentado como Requisito para optar al Título de Ingeniero Civil de la  
Universidad de Carabobo**

**Tutor:  
Dra. Adriana Márquez**

**Elaborado por:  
Aponte Amaruth  
González Oscar**

Naguanagua, Mayo 2015



UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**CERTIFICADO DE APROBACIÓN**

Nosotros, Miembros del Jurado designado para la Evaluación del Trabajo de Grado titulado: "VALIDACIÓN DE MODELOS DE PRONÓSTICO DE VARIABLES DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE EMBALSES DEL ACUEDUCTO REGIONAL DEL CENTRO", presentado por los Bachilleres: Amaruth Aponte C.I:20.888.407 y Oscar González C.I: 21.020.189; para optar al título de Ingeniero Civil, estimamos que el mismo reúne los requisitos para ser considerado como: APROBADO.

NOMBRE

C.I. 8359594

Adeilda Martínez NOMBRE

12604007 C.I.

NOMBRE

C.I. 13509123

Maryela Jimenez

## **AGRADECIMIENTOS**

Ante todo, gracias A DIOS por mostrarme el camino, por darme salud, protección y por ser la guía en mi vida.

A MIS PADRES, por su apoyo constante, su cariño, y por enseñarme con su ejemplo lo bueno y lo malo.

A MI PROFESORA ADRIANA MARQUEZ, por su apoyo, y por guiarnos a dar lo mejor de nosotros en esta última etapa de nuestra meta.

A MIS COMPAÑEROS, principalmente por sus consejos y sus apoyos.

A LA UNIVERSIDAD DE CARABOBO, por abrirme las puertas y ser mí segundo hogar durante todos estos años.

A LOS PROFESORES, por formar profesionales con sentido de responsabilidad.

**Amaruth Aponte**

## **AGRADECIMIENTOS.**

Gracias primeramente a DIOS TODO PODEROSO, por darme vida, protección y salud para poder día a día cumplir con cada una de mis metas.

A MIS PADRES Y HERMANA, por darme su amor y el ejemplo de la perseverancia, el trabajo honesto y el valor de luchar por lo que se quiere.

A MI TUTOR Y PROFESORA ADRIANA MARQUEZ, por su colaboración y atención, por compartir su tiempo y enfocarlo a guiarnos, para lograr el último gran paso de esta meta.

A MIS COMPAÑEROS, por ser parte importante del recorrido de esta carrera

A LA UNIVIERSIDAD DE CARABOBO Y LOS PROFESORES, que me formaron con su conocimiento y ejemplo.

A TODOS AQUELLOS que permitieron la realización de este trabajo.

**Oscar José González Ron**

UNIVERSIDAD DE CARABOBO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**VALIDACIÓN DE MODELOS DE PRONÓSTICO DE VARIABLES DE  
OPERACIÓN DEL SISTEMA DE EMBALSES DEL ACUEDUCTO  
REGIONAL DEL CENTRO**

**AUTORES:** APONTE AMARUTH

GONZALEZ OSCAR

**TUTOR:** Dra. ADRIANA MARQUEZ

**RESUMEN**

En este estudio se validan modelos de pronóstico de variables de operación del sistema de embalses del acueducto regional del centro, en Venezuela en los últimos años se ha presentado fenómenos climáticos que comprometen los niveles y volúmenes de almacenamiento de los embalses presentes en el país, teniendo el Acueducto regional del centro como fuente principal a los Embalses Pao Cachinche, Guataparo y Pao La Balsa.

La presente investigación lleva a cabo para el Sistemas de Embalses del Acueducto Regional del Centro un conjunto de análisis de series de tiempos para las variables climatológicas y operacionales que en estos coexisten, mediante las observaciones realizadas de los balances hídricos para el Embalse Pao Cachinche durante (1985-2014), el Embalse Guataparo (1993-2014) y Pao la Balsa (1992-2014). Esta investigación se realiza mediante la ejecución de métodos descriptivos, principalmente en autocorrelaciones y periodogramas con la función de determinar patrones de comportamientos cíclicos y/o estacionales.

Los modelos ARIMA(1,0,1) para niveles diarios y ARIMA(2,0,1) para la niveles mensuales del Embalse Pao Cachinche, ARIMA(2,1,1) para niveles diarios y ARIMA(2,0,2) para niveles mensuales del Embalse Guataparo; y ARIMA(1,1,1) para niveles diarios y ARIMA(2,1,2) para niveles mensuales del Embalse Pao La Balsa. El modelo Pao-Cachinche con datos diarios se ajusto a los datos ( $R=0.53$ ), comparado con el modelo Pao-Cachinche con datos mensuales ( $R=0.72$ ) este ultimo resultando con un mejor ajuste. El modelo Guataparo con datos diarios se ajusto satisfactoriamente a los datos ( $R=0.99$ ), comparado con el modelo Guataparo con datos mensuales ( $R=0.99$ ). El modelo Pao-La Balsa con datos diarios se ajusto satisfactoriamente a los datos ( $R=0.88$ ), comparado con el modelo Pao-La Balsa con datos mensuales ( $R=0.97$ ).

Palabras clave: Serie de tiempo hidrológica, -ARIMA, operación de embalses, pronósticos de variables de operación de embalses.

## INDICE

INTRODUCCIÓN .....	
<b>CAPÍTULO I: EL PROBLEMA .....</b>	
PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.....	
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	
OBJETIVO GENERAL .....	
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	
JUSTIFICACIÓN .....	
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	
ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	
<b>CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....</b>	
TIPO DE INVESTIGACION .....	
DISEÑO DE LA INVESTIGACION. ....	
POBLACION Y MUESTRA.....	
DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA. ....	
1. RECOLECCION DE DATOS.....	
2. PROCESAMIENTO DE DATOS .....	
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS.....</b>	
1. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE EMBALSES DEL ACUEDUCTO REGIONAL DEL CENTRO.....	
EMBALSE PAO CACHINCHE.....	
VARIABLES CLIMATOLOGICAS PRESENTES EN EL EMBALSE PAO CACHINCE.....	
VARIABLES OPERACIONALES PRESENTES EN EL EMBALSE PAO CACHINCE	
EMBALSE GUATAPARO .....	

VARIABLES CLIMATICAS PRESENTES EN EL EMBALSE GUATAPARO.... **¡Error! Marcador no definido.**

VARIABLES OPERACIONALES PRESENTES EN EL EMBALSE GUATAPARO ... .

EMBALSE PAO LA Balsa.....

VARIABLES CLIMATOLÓGICAS PRESENTES EN EL EMBALSE PAO LA Balsa ..... **¡Error! Marcador no definido.**

VARIABLES OPERACIONALES PRESENTES EN EL EMBALSE PAO LA Balsa

2. DIAGNOSTICO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE EMBLASES DEL ACUEDUCTO REGIONAL DEL CENTRO.....

EMBALSE PAO CACHINCHE ..... .

EMBALSE GUATAPARO..... .

EMBALSE PAO LA Balsa ..... .

3. CALIBRAR LOS MODELOS DE PRONÓSTICO DE LAS VARIABLES DEL SISTEMA DE EMBALSES DEL ACUEDUCTO REGIONAL DEL CENTRO ..... 120

Calibración 1: Embalse Pao-Cachinche con datos diarios .....121

Calibración 2: Embalse Guataparo con datos diarios .....124

Calibración 3: Embalse Pao la Balsa con datos diarios.....127

Calibración 4: Embalse Pao-Cachinche con datos mensuales .....130

Calibración 5: Embalse Guataparo con datos mensuales .....134

Calibración 6: Embalse Pao-la Balsa con datos mensuales .....137

Resumen de las calibraciones.....140

4. VALIDAR LOS MODELOS DE PRONÓSTICO DE LAS VARIABLES DEL SISTEMA DE EMBALSES DEL ACUEDUCTO REGIONAL DEL CENTRO ..... 141

Validación 1: Embalse Pao-Cachinche con datos diarios .....141

Validación 2: Embalse Guataparo datos diarios .....146

Validación 3: Embalse Pao-la Balsa datos diarios .....152

Validación 4: Embalse Pao-Cachinche datos mensuales.....156

Validación 5: Embalse Guataparo datos mensuales .....160

Validación 6: Embalse Pao-la Balsa datos mensuales .....165

**CONCLUSIONES**.....

<b>RECOMENDACIONES.....</b>	
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>175</b>

## INTRODUCCIÓN

El Sistema de Embalses del Acueducto Regional del Centro (SEARC) se encuentra formado por tres represas ubicadas en el sistema hidrológico del Río Pao. El primer Embalse construido fue el de Guataparo entre los años 1946-1948, posteriormente el Embalse Pao Cachinche entre 1971-1974 y seguido a este último el Embalse Pao La Balsa 1976-1978. La capacidad de producción de agua del SEARC para consumo humano es de 12.100 L/s. El operador del SEARC es la empresa de servicios públicos HIDROCENTRO.

La capacidad que posee este sistema de embalse de producción de agua potable está directamente vinculada con las variaciones hidrológicas que desencadenen variabilidades operacionales en los mismos. Este aspecto es importante para conocer los cambios temporales de sus variables con el fin de predecir las condiciones operacionales durante el periodo de vida de los embalses.

El propósito de este trabajo de grado es analizar la movilidad temporal de las variables climáticas y operacionales del Sistema de Embalses del Acueducto Regional del Centro, para que con los mismos se puedan efectuar pronósticos estadísticos basados en series de tiempo; en donde se evidenciaran los patrones que estos poseen.

La investigación se desarrolla mediante cinco capítulos estructurados de la siguiente forma:

En el Capítulo I se describe el planteamiento del problema, objetivos, justificación alcance y limitaciones.

En el Capítulo II contiene antecedentes y bases teóricas. En las bases teóricas se incluyen fórmulas de gran importancia para el cálculo de los métodos descriptivos y pronóstico.

En el Capítulo III se establece el Marco Metodológico y se define el tipo y diseño de investigación, la Población y Muestra, las Técnicas de Recolección de Datos y las Fases de la Investigación.

En el Capítulo IV se incluyen los resultados de los análisis estadísticos de las variables del Sistema de Embalses del Acueducto Regional del Centro.

En el Capítulo V contiene las conclusiones y recomendaciones con base en los objetivos específicos y demás resultados presentados en el capítulo cuatro.

# **CAPÍTULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA**

Los diversos cambios climáticos que presenta el planeta inciden en la cantidad de lluvia, que pueden acarrear inundaciones o sequías, de acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) con estos cambios asociados a un aumento de entre 0.8°C - 1.1°C se puede anticipar los siguientes eventos: 5-15% de reducciones en el rendimiento de cultivos de acuerdo a como se cosechan en la actualidad, 3-10% de aumento en la cantidad de lluvia que cae durante los eventos de mayor precipitación, lo cual aumenta los riesgos de inundaciones. 5-10% de reducción en el flujo de la corriente en algunas cuencas fluviales, incluyendo el Arkansas y el Río Grande. 200-400% de aumento en las áreas quemadas por incendios forestales en lugares del oeste de los Estados Unidos.

En Venezuela se ha hecho evidencia de estos casos en las últimas décadas manifestándose como largos periodos de sequias, como el Fenómeno del Niño e intensas precipitaciones que han generado pérdidas importantes a nivel agrícola, energético y con ellas pérdidas económicas, sin olvidar que algunos de estos eventos han generado lamentables pérdidas humanas, de esta manera lo afirma el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, donde expresa que de los 9 desastres naturales más destacados en Venezuela 4 han sido inundaciones y 1 tormenta. De la misma

manera nos ha afectado temporadas secas, particularmente en el año pasado 2014. Según Jose G. Sottolano, (2014) presidente del INAMEH, enfatizó “Venimos de unos periodos muy secos desde octubre 2013 hasta abril del 2014, los modelos indican que esta temporada de lluvia vamos a estar en el promedio y que vamos a tener el fenómeno El Niño a finales de año, llamamos a las instituciones a tomar las medidas preventivas que garanticen que este fenómeno no afecte como en años anteriores”. Estos eventos generan cambios importantes de niveles de agua de los Embalses de Venezuela.

Según estimaciones de HIDROVEN (2009), en los últimos tres años los embalses que abastecen de agua a los Estados Aragua, Carabobo y Cojedes han disminuido en un veinticinco por ciento (25%) sus niveles de agua, influenciado por la marcada sequía por la cual atravesó el país en 2009. Lo cual contempla que el suministro de agua por habitante disminuya, trayendo como consecuencia el pensamiento de que el agua se está escanciando, contrario a ello la Organización de las Naciones Unidas (ONU) destaca en su informe Objetivos del Milenio 2008 que el consumo de agua en el último siglo se ha multiplicado por seis, ya que la tasa de crecimiento demográfico ha aumentado más del doble.

Pese a este informe publicado por la ONU es gratificante que en la actualidad la Universidad Nacional Experimental (UNES) indica que este vital líquido llega al 96 % de la población de este país.

De esta manera surge la necesidad de acudir a las nuevas tecnologías y exigirse estar un paso a delante de los acontecimientos naturales, lo que nos lleva a establecer pronósticos de variables que permitan mitigar los déficits operacionales que pueden existir en el control de los embalses del acueducto regional del centro, beneficiando así a los sistemas regionales de los cuales son fuentes, basando la investigación en registros históricos de eventualidades naturales que generen cambios de aporte y aliviado de los diferentes embalses, viéndose también beneficiadas las comunidades

cercanas, debido a que se tendrá en cuenta los diferentes caudales y niveles en los que oscilaran los embalses.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo instaurar una metodología operacional para los embalses del acueducto regional del centro?

1. ¿Qué variables influyen en la operación de los embalses del sistema de embalses del acueducto regional del centro?
2. ¿Cómo han variado los niveles de los embalses en los últimos años?
3. ¿Qué modelo de pronostico permitiría predecir el comportamiento de niveles en los embalses?
4. ¿En qué medida los modelos de pronostico permitieron predecir el comportamiento de los niveles en los embalses?

## **OBJETIVO GENERAL**

Validar modelos de pronóstico de variables para operación en el sistema de embalses del acueducto regional del centro.

## **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

1. Describir las variables de operación del Sistema de Embalses del Acueducto Regional del Centro.
2. Diagnosticar la operación histórica del Sistema de Embalses del Acueducto Regional del Centro.
3. Calibrar los modelos de pronóstico de las variables del Sistema de Embalses del Acueducto Regional del Centro.
4. Validar los modelos de pronóstico de las variables del Sistema de Embalses del Acueducto Regional del Centro.

## **JUSTIFICACIÓN**

Este estudio contribuirá directamente con los procesos de operación de los distintos embalses del acueducto regional del centro, por medio de un pronóstico de operación para cada uno ellos. Teniendo en cuenta conjeturas de eventualidades que se puedan presentar y modifique la operación de los embalses.

Todo este pronóstico está basado en los históricos de balances hídricos presentes entre los años 1983-2014. Con estos pronósticos no solo se beneficiara aproximadamente un 5% de población de Venezuela que se abastecen de estos

embalses, sino que a su vez servirá para el control de inundaciones aguas abajo que se puede presentar de los mismos.

La investigación también formara parte de la apertura de trabajos realizados recientemente de este amplio universo, para la Universidad de Carabobo e interesados en esta área de estudio.

### **ALCANCES Y LIMITACIONES**

Esta investigación está sujeta a la data de información aportada por HIDROCENTRO (Hidrología del Centro C.A.) Correspondiente a caudales de aporte, salida y medición de variables hídricas (balances hídricos) presentes en el sistema de Embalses del acueducto regional del centro, donde para el Embalse Pao Cachinche esta comprende desde 1983 hasta 2014, para el Embalse de Guataparo desde 1993-2104 y para el Embalse Pao La Balsa dese 1992 hasta 2014.

Se espera obtener modelos de pronóstico con los cuales las operadoras de los embalses en observación puedan emplear, para conseguir un manejo integral y conjunto con ello realizar análisis comparativos de acuerdo a las mediciones y los pronósticos estimados.

Este estudio además servirá para futuras investigaciones y aplicaciones sobre el tema, siendo un aporte considerable en el marco del campo en el área de pre-grado de Ingeniería Civil de la Universidad de Carabobo.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

La aplicación de modelos de operación de embales en el país ha tenido un auge, en virtud a el acelerado crecimiento poblacional y el surgir de forma más usual de fenómenos meteorológicos que afectan el manejo del agua. Al respecto, el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, INIA, destaca que el impacto producido por el Cambio Climático sobre los recursos hídricos del país está comprometiendo tanto la disponibilidad como la calidad del agua para diversos usos, principalmente para consumo humano (INIA, 2006).

Padrón (2011), en esta investigación se evalúa el desempeño de la operación del Embalse Pao-Cachince durante el periodo 1983-2009 mediante la aplicación de técnicas de modelado estocástico (ARIMA), determinístico y de inteligencia artificial (RNA) utilizando variables de operación de embalses. Para ello se caracteriza física y operacionalmente el SRCI con HEC-GeoHMS, se modela el aporte hídrico de las cinco principales sub-cuencas afluentes al embalse, se simula la operación de crecientes con HEC-ResSim y se establece el modelo óptimo de operación del mismo. Se encuentra que los modelos RNA muestran un ajuste satisfactorio ( $R=0.98$ ) seguido del modelo ARIMA. Con el modelo determinístico se verifica que los gastos máximos de crecientes con periodos de retorno de 50 años y 2% de excedencia no superan la capacidad del aliviadero del embalse.

Garzón, Ojeda (2014), lleva a cabo en su investigación un análisis con respecto a la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar por medio de tres series de tiempo como lo son los caudales mensuales de aporte proveniente de la cuenca del Gurí para el periodo 1950-2013, caudales diarios turbinado y aliviado para el periodo 1986-2013. La metodología empleada en su investigación involucra la aplicación de métodos descriptivos que se deriva en autocorrelaciones, autocorrelaciones parciales y periodogramas, métodos de descomposición estacional para dividir las series en sus componentes y suavización de las series que evidencie patrones de tendencia y ciclo. El modelo de pronóstico obtenido para los caudales de aporte y turbinado fue ARIMA (1,0,0)x(0,1,1)<sup>12</sup> y ARIMA (2,0,1)x(0,1,2)<sup>7</sup> respectivamente, arrojando el menor valor de error que los otros modelos estudiados, mientras que en los caudales aliviados se evidenció una aparente aleatoriedad la cual no permite que dicha serie se ajuste a un modelo predictivo.

Pérez y Dueñas (2003) aplicaron modelos estocásticos para pronosticar la oferta hídrica de la cuenca del río Colca, el cual desemboca al embalse Condoroma, situado en Arequipa, Perú. La metodología utilizada abarcó la caracterización morfológica e hidrográfica de la subcuenca Condoroma, la caracterización técnica del embalse, el tratamiento de los datos hidrológicos para la modelación estocástica de las series históricas y la simulación de operación del embalse Condoroma. El tratamiento de los datos consistió en el ajuste de las series históricas mediante técnicas de regresión y correlación durante el período 1951-2000.

## **MARCO REFERENCIAL**

El acueducto regional del centro está sub-divido en dos sistema regionales, sistema regional del centro I y sistema regional del centro II. Teniendo como característica principal que sus embalses pertenecen al sistema hidrológico del río Pao, dividido en cuenca alta, cuenca media y cuenca baja; las tres cuencas totalizan, de acuerdo a estimaciones de HIDROCENTRO, un área de aproximadamente 259.323 hectáreas. La cuenca alta comprende desde las cabeceras hasta el Embalse Pao-Cachinche, tiene

un área de 8.018 hectáreas y suministra agua al Embalse Guataparó. La cuenca media se extiende desde el Embalse Pao-Cachinche hasta el Embalse Pao-La Balsa, posee un área de aproximadamente 93.195 hectáreas, según cálculos de HIDROCENTRO y abastece de agua al Embalse Pao-Cachinche; la cuenca baja abarca desde el Embalse Pao-La Balsa hasta la confluencia con el río Portuguesa, tiene un área de alrededor de 158.110 hectáreas y provee de agua al Embalse Pao-La Balsa. La subcuenca Pao-Cachinche está constituida por las microcuencas de los ríos Chirgua, Paíto, Pirapira, Paya y San Pedro, respectivamente.

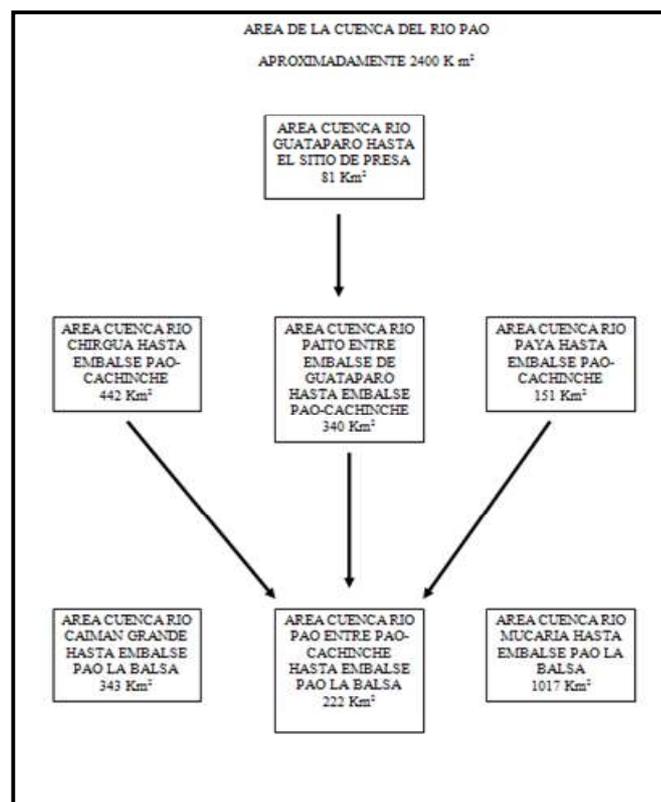


Figura 2.1 Esquema del Área de la cuenca del Río Pao.  
Fuente: HIDROCENTRO



Figura 2.2. Componentes del sistema regional del centro I y II  
 Fuente: HIDROCENTRO

El Sistema Regional del Centro I está diseñado para suministrar agua potable a las poblaciones ubicadas en la región central del país, es decir Aragua, Carabobo y parte de Cojedes, siendo su principal fuente de abastecimiento Embalse Pao Cachinche, el agua allí captada se envía por gravedad a la Estación de Bombeo Cachinche, para luego ser bombeada hasta la Planta Potabilizadora Alejo Zuloaga, en donde se inicia el proceso de potabilización y posterior distribución.

Como segunda fuente de abastecimiento se encuentra el Embalse Guataparo y Dique Toma Río Torito, los cuales funcionan como auxiliares del Embalse Pao Cachinche. El agua captada en estas fuentes se envía, por gravedad, directamente a la planta de potabilización Alejo Zuloaga.

Componentes del Sistema Regional del Centro I:

Tabla 2.1. Capacidades de Embalses para el 2014  
Fuente: HIDROCENTRO.

<b>Embalses</b>	<b>Capacidad de Almacenamiento</b>
<b>Pao - Cachinche</b>	200.000.000 m <sup>3</sup> .
<b>Guataparo</b>	26.700.000 m <sup>3</sup> .

Tabla 2.2. Capacidades de Planta Potabilizadora para el 2014  
Fuente: HIDROCENTRO.

<b>Planta de Potabilización</b>	<b>Capacidad de Producción (actual)</b>
<b>Alejo Zuloaga - Convencional</b>	3.000 L/s.
<b>Degremont</b>	3.500 L/s.

Tabla 2.3. Detalles Técnicos- Históricos de Embalse Pao Cachinche.  
Fuente: Ministerio del Poder Popular para el Ambiente.

<b>Embalse Pao Cachinche</b>	
<p>Nombre de la Presa: <b>Sesquicentenario de la Batalla de Carabobo.</b></p> <p>Ubicación: <b>En el Estado Carabobo. Sobre el Río Pao, a 4 Km aguas debajo de la confluencia de los ríos Paito y Chirgua.</b></p> <p>Propósito: <b>Abastecimiento de agua potable y riego.</b></p> <p>Proyectista: <b>Antonio J. de Guruceaga</b></p> <p>Constructor: <b>Constructora Palace</b></p> <p>Fecha de Construcción: <b>1971-1974</b></p> <p>Operador: <b>HIDROCENTRO.</b></p> <p>Características de la Cuenca:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Cuenca principal: Río Pao</b></li> <li>• <b>Afluentes principales: Río Pao</b></li> <li>• <b>Área de la Cuenca 121.068 Ha</b></li> <li>• <b>Escorrentamiento medio anual 220Hm3</b></li> </ul> <p>Capacidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Capacidad normal: 170 Hm3</b></li> <li>• <b>Capacidad mínima: 5 Hm3</b></li> <li>• <b>Capacidad útil: 165 Hm3</b></li> <li>• <b>Superficie del embalse: 1.650 Ha</b></li> <li>• <b>Vida útil: 100 años</b></li> </ul>	<p><b>Característica de la Presa:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo: De tierra zonificada</li> <li>• Altura Máxima: 53m</li> <li>• Longitud de la cresta: 260m</li> <li>• Ancho de Cresta: 11m</li> <li>• Pendiente del talud: Aguas Arriba : 3 : 1 Aguas Abajo: 2,5 :1</li> </ul> <p><b>Aliviadero:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicación: En el estribo izquierdo de la presa.</li> <li>• Tipo: De vertedero curvo en forma de abanico e descarga libre, una sección de control y un canal rápido de 234m de longitud que descarga al río.</li> <li>• Longitud de la cresta :32 m</li> <li>• Cara sobre el vertedero: 4,52 m</li> </ul> <p><b>Obra de Toma:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicación: Aguas arriba del talud de la presa.</li> <li>• Tipo: Torre toma sumergida, conducto de 1,82 m de diámetro, válvula de regulación para riego, gasto ecológico y descarga de fondo H.B.=36''</li> <li>• Gasto máximo: 7 m<sup>3</sup>/s .</li> </ul> <p><b>Beneficios:</b> Abastecimiento de agua a la ciudad de Valencia y riego de 6.000Ha.</p>



Figura 2.3. Embalse Pao Cachinche.  
Fuente: Google Earth.



Figura 2.4. Embalse Pao Cachinche.  
Fuente: Ministerio del Poder Popular para el Ambiente.

Tabla 2.4. Detalles Técnicos- Históricos de Embalse Guataparo.  
Fuente: Ministerio del Poder Popular para el Ambiente.

<b>Embalse Guataparo</b>	
<p><b>Nombre de la Presa: Guataparo.</b></p> <p><b>Ubicación: En el Estado Carabobo. Sobre el Río Cabriales, a 2 Km del Municipio Valencia.</b></p> <p><b>Propósito: Abastecimiento y riego.</b></p> <p><b>Proyectista: INOS.</b></p> <p><b>Constructor: INOS.</b></p> <p><b>Fecha de Construcción: 1946-1948</b></p> <p><b>Operador: HIDROCENTRO.</b></p> <p><b>Características de la Cuenca:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Cuenca principal: Río Guataparo</b></li> <li>• <b>Afluentes principales: Río Guataparo</b></li> <li>• <b>Área de la Cuenca: 5.000 Ha</b></li> </ul> <p><b>Capacidad:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Capacidad normal: 26 Hm<sup>3</sup></b></li> <li>• <b>Capacidad muerta: 0,10 Hm<sup>3</sup></b></li> <li>• <b>Capacidad útil: 28,8 Hm<sup>3</sup></b></li> <li>• <b>Superficie del embalse: 380 Ha</b></li> <li>• <b>Vida útil: 100 años</b></li> </ul>	<p><b>Característica de la Presa:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Tipo:</b> De tierra zonificada con núcleo impermeable de grava arcillosa</li> <li>• <b>Altura Máxima:</b> 30m</li> <li>• <b>Longitud de la cresta:</b> 108m</li> <li>• <b>Ancho de Cresta:</b> 6m</li> <li>• <b>Pendiente del talud:</b> Aguas Arriba : 2,5 : 1 Aguas Abajo: 2 :1</li> <li>• <b>Volumen del Terraplén:</b> 120.000 m<sup>3</sup></li> </ul> <p><b>Aliviadero:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Ubicación:</b> En el estribo izquierdo de la presa.</li> <li>• <b>Tipo:</b> Descarga libre de eje curvo.</li> <li>• <b>Carga sobre el vertedero:</b> 3,12 m</li> <li>• <b>Carga máxima:</b> 353m<sup>3</sup>/s</li> </ul> <p><b>Obra de Toma:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Ubicación:</b> Situada en el estribo derecho</li> <li>• <b>Tipo:</b> Torre toma con 2 compuertas deslizantes de 1,70 x 1,70 m</li> <li>• <b>Gasto máximo:</b> 3 m<sup>3</sup>/s .</li> </ul> <p><b>Beneficios:</b> Abastecimiento de agua a la ciudad de Valencia y riego de 2.500Ha.</p>

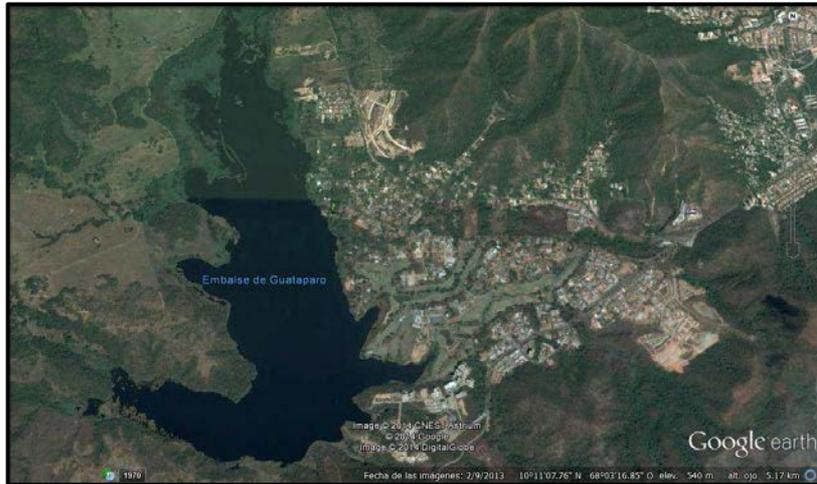


Figura 2.5. Embalse Guataparo.  
Fuente: Google Earth.



Figura 2.6. Embalse Guataparo.  
Fuente: Ministerio del Poder Popular para el Ambiente.

El sistema regional del centro II suministra agua al Estado Aragua mediante dos conexiones con el antiguo Sistema Regional del Centro I, la primera en el sector Los Guayos frente al Centro Comercial Palmi II y la segunda en el sector Peaje de Palo Negro.

Así mismo, abastece poblaciones del estado Carabobo tales como Guigue, Yuma, Magdaleno, Boquerón, Central Tacarigua, Los Guayos, Guacara, San Joaquín y zonas circunvecinas.

Su fuente de abastecimiento es el Embalse Pao - Las Balsas, ubicado en las Galeras del Pao, Municipio El Pao de San Juan Bautista, en el Estado Cojedes.

El Embalse Pao La Balsa lleva el nombre de “Ing. Carpóforo Olivares” construido entre los años 1976-1978, con la principal finalidad de abastecer a la Región Central del país, a través del acueducto regional del centro.

El agua captada del Embalse Pao - Las Balsas, se envía por gravedad a la Estación de Bombeo Primaria, la cual bombea hacia la E/B N°1 Principal y de allí a la E/B N°2 Principal. Finalmente el agua es bombeada a la P/T Baldó Soules para su tratamiento.

Componentes del Sistema Regional del Centro:

Tabla 2.5. Capacidades de Embalses para el 2014  
Fuente: HIDROCENTRO.

<b>Embalses</b>	<b>Capacidad de Almacenamiento</b>
<b>Pao - Las Balsas</b>	403.000.000 m <sup>3</sup> .

Tabla 2.6. Capacidades de Planta Potabilizadora para el 2014  
Fuente: HIDROCENTRO

<b>Planta de Potabilización</b>	<b>Capacidad de Producción (actual)</b>
<b>Baldó Soules</b>	5.600 L/s.

Tabla 2.7. Detalles Técnicos- Históricos de Embalse Pao La Balsa.

Fuente: Ministerio del Poder Popular para el Ambiente.

<b>Embalse Pao La Balsa</b>	
<p>Nombre de la Presa: <b>Ing. Carpóforo Olivares</b></p> <p>Ubicación: <b>En el Estado Cojedes. Sobre el Río Pao, al sur de la carretera que une Tinaco con la población del Pao, sitio denominado La Balsa.</b></p> <p>Propósito: <b>Abastecimiento de agua potable a la región central del país a través del acueducto regional del centro.</b></p> <p>Proyectista: <b>Ingeniería de Suelos, S.A. e Ing. Rafael Martínez M.</b></p> <p>Constructor: <b>BARSANTI, C.A.</b></p> <p>Fecha de Construcción: <b>1976-1978</b></p> <p>Operador: <b>HIDROCENTRO.</b></p> <p>Características de la Cuenca:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Cuenca principal: Río Pao</b></li> <li>• <b>Afluentes principales: Río Pao</b></li> <li>• <b>Área de la Cuenca: 2.700 km<sup>2</sup></b></li> <li>• <b>Escorrentamiento medio anual: 309,05 Hm<sup>3</sup></b></li> </ul> <p>Capacidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Capacidad normal: 341,7 Hm<sup>3</sup></b></li> <li>• <b>Capacidad mínima: 32,53 Hm<sup>3</sup></b></li> <li>• <b>Capacidad útil: 309,17 Hm<sup>3</sup></b></li> <li>• <b>Superficie del embalse: 4.780,65 Ha</b></li> <li>• <b>Vida útil: 50 años</b></li> </ul>	<p><b>Característica de la Presa:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo: De tierra homogénea</li> <li>• Altura Máxima: 27m</li> <li>• Longitud de la cresta: 250m</li> <li>• Ancho de Cresta: 6m</li> <li>• Pendiente del talud: Aguas Arriba : 3,5 : 1 - Aguas Abajo: 3 :1</li> <li>• Volumen del Terraplén: 495.000 m<sup>3</sup></li> </ul> <p><b>Aliviadero:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicación: En contacto con la presa por el estribo derecho.</li> <li>• Tipo: Canal rectangular de concreto con vertedero recto, frontal, de descarga libre.</li> <li>• Longitud de cresta: 15m</li> <li>• Carga sobre el vertedero: 1,5 m</li> <li>• Carga máxima: 60m<sup>3</sup>/s</li> </ul> <p><b>Obra de Toma:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ubicación: En contacto con la presa por el estribo izquierdo</li> <li>• Tipo: Para acueducto una torre-toma de 18,4m de altura, seis(6) compuertas planas protegidas con rejillas.</li> <li>• Gasto máximo: 60 m<sup>3</sup>/s . La H.B. según proyecto.</li> </ul> <p><b>Beneficios:</b> Abastecimiento de agua a potable a la región central del país.</p>

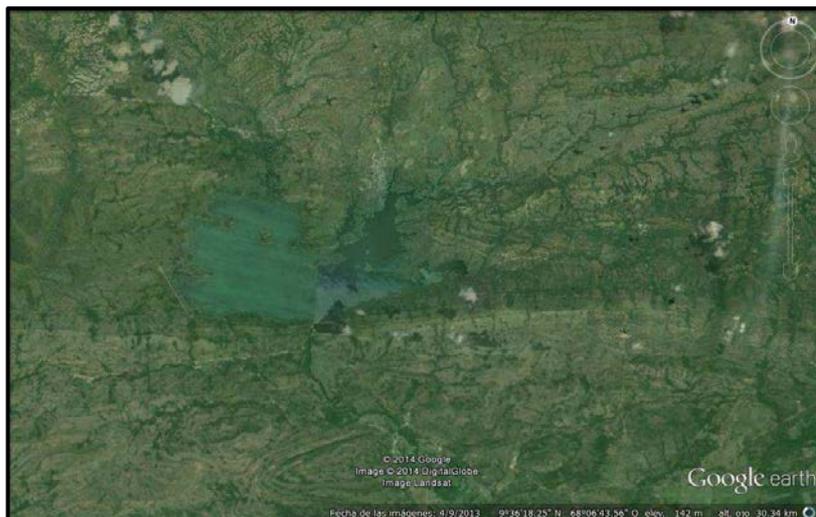


Figura 2.7. Embalse Pao La Balsa.  
Fuente: Google Earth.



Figura 2.8. Embalse Pao La Balsa.  
Fuente: Ministerio del Poder Popular para el Ambiente

Tabla 2.7. Últimos niveles de Embalse Medidos por Miras.  
Fuente: HIDROCENTRO

<b>Embalse</b>	<b>Nivel de Alivio (m.s.n.m.)</b>	<b>Nivel Actual (m.s.n.m.)</b>	<b>Nivel Alivio (cm.)</b>
<b>Pao Cachinche</b>	353,28	353,35	7cm
<b>Pao La Balsa</b>	131.00	125.11	00cm
<b>Guataparo</b>	513.29	501.19	00 cm

## FUNDAMENTOS TEORICOS

### Serie de Tiempo

Se puede definir como un conjunto de datos numéricos que se obtienen en periodos regulares y específicos a través del tiempo. Algunos aspectos esenciales de los procesos no son directamente observables por ellos es importante disponer de procedimientos que permitan extraer esos aspectos de las observaciones. Las cuatros componentes de una serie de tiempo son:

**1. Componente Tendencial:** movimiento o dirección general de la variable en periodos prolongados de tiempo.

**2. Componente Estacional:** fluctuaciones periódicas de la variable, más o menos regulares, en periodos relativamente cortos de tiempo, con una oscilación repetitiva para lapsos de tiempo contiguos.

**3. Componente Cíclica:** movimientos de la variable similares a la estacionalidad, pero relativos a periodos de tiempo mucho más prolongados. Solo se detecta en series suficientemente largas.

**4. Componente Aleatorio:** es el movimiento irregular de la variable, determinado por el azar, impredecible de forma determinística. A esta componente se le suele llamar residuo aleatorio o ruido.

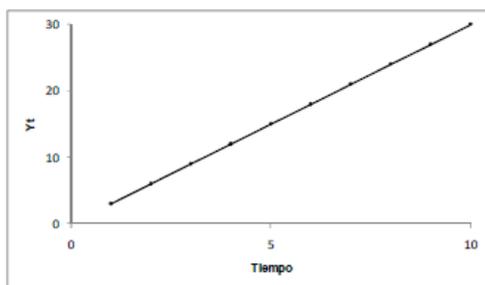


Figura 2.9. Tendencia

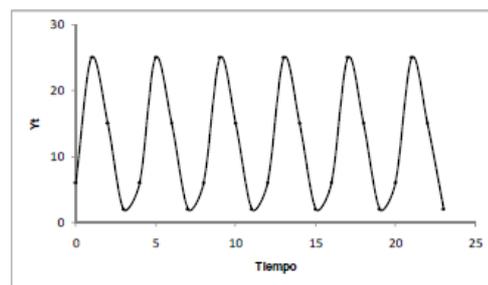


Figura 2.10. Estacional

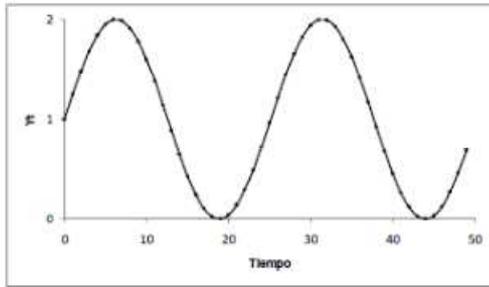


Figura 2.11. Ciclo

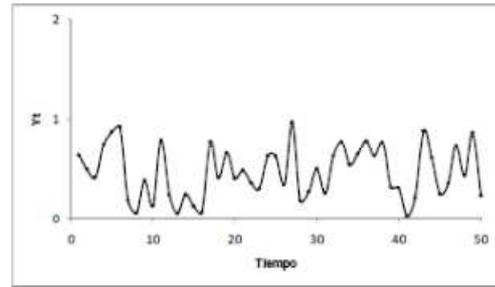


Figura 2.12. Aleatorio

Las series de tiempo se analizan principalmente por los siguientes métodos:

### Métodos Descriptivos

Se compone principalmente por:

- **Auto-correlaciones muestrales**

Es una herramienta importante en la modelación de datos de series de tiempo, la auto-correlación en el rezago  $k$  mide la fuerza de la correlación entre las observaciones durante  $k$  periodos de tiempo. La auto-correlación muestral del rezago  $k$  se calcula de la siguiente manera:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (y_t - \bar{y})(y_{t+k} - \bar{y})}{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2}$$

*Ecu. (2.1)*

El error estándar para  $r_k$  es calculado con el supuesto de que las autocorrelaciones han desaparecido por el rezago  $k$  y son iguales a cero en todos los rezagos mayores o iguales a  $k$ . el error estándar se calcula de la siguiente manera:

$$se[r_k] = \sqrt{\frac{1}{n} \left\{ 1 + 2 \sum_{i=1}^{k-1} r_i^2 \right\}}$$

*Ecu. (2.2)*

Este error estándar se usa para calcular  $100(1-\alpha)\%$  límites de probabilidad alrededor de cero, usando un valor crítico de la distribución normal estándar:

$$0 \pm z_{\alpha/2} se[r_k]$$

*Ecu. (2.3)*

Si  $\alpha = 0.05$ , las autocorrelaciones muestrales que caen fuera de esos límites son estadísticamente significativamente diferente de cero en un nivel de significancia de 5%.

- **Periodograma**

Examina los datos en el dominio de la frecuencia al considerar que tanta variabilidad existe en diferentes frecuencias. Se ha demostrado que cualquier serie de tiempo discreta puede ser representada como la suma de un conjunto de senos y cosenos en un conjunto de frecuencia llamadas frecuencias de Fourier. Un típico componente tiene la forma:

$$a_i \cos(2\pi f_i t) + b_i \sin(2\pi f_i t)$$

*Ecu. (2.4)*

Donde es la  $i$ -ésima frecuencia de Fourier. La  $i$ -ésima frecuencia de Fourier es

$$f_i = \frac{i}{n}$$

*Ecu. (2.5)*

Para  $i = 0, 1, \dots, n/2$  si  $n$  es par y  $i = 0, 1, \dots, (n - 1)/2$  si  $n$  es impar

El periodograma calcula la potencia de los datos en cada frecuencia de Fourier al calcular:

$$I(f_i) = \frac{i}{n} (a_i^2 + b_i^2)$$

*Ecu. (2.6)*

El cual se mide de acuerdo con una escala tal que la suma de las ordenadas del periodograma a través de todas las frecuencias de Fourier excepto para  $i = 0$ , arroja la suma de las desviaciones cuadradas de la serie de tiempo alrededor de su media, en efecto el periodograma genera análisis de varianza por frecuencia.

### **Pronósticos**

El pronóstico de las series de tiempo significa que extendemos los valores históricos al futuro, donde aun no hay mediciones disponibles. A continuación se presenta la notación que será utilizada y algunos de los modelos de pronósticos más utilizados en series de tiempo:

$X_t$  = valor observado en el tiempo  $t$ ,  $t = 1, 2, \dots, n$

$n$  = tamaño de muestra (número de observaciones usadas para ajustar el modelo)

$\widehat{X}_{t+k}$  = pronóstico para el tiempo  $t + k$  hecho en el tiempo

$a_t$  = errores del pronóstico para el periodo  $t$

Calculados por:

$$a_t = X_t - \widehat{X}_t$$

*Ecu. (2.7)*

Modelo Auto-regresivo AR( $p$ ).

Se basan en la idea de que el valor actual de la serie puede explicarse en función de  $p$  valores pasados, donde  $p$  determina el número de rezagos necesarios para pronosticar un valor actual.

Modelo de Medias móviles MA( $q$ ).

Modela el comportamiento de una variable, ya no en función de los valores que tomó en el pasado, sino a través de los errores al estimar el valor de la variable en períodos anteriores.

Modelo Auto-regresivo Integrado y de Media Móvil ARIMA( $p,d,q$ ).

Los modelos ARIMA, expresan la observación en el tiempo  $t$  como una función lineal de las observaciones previas, un término del error actual, y una combinación lineal de los términos del error previo. El modelo es aplicado a series de tiempo no estacionarias, donde  $p$  denota el número de términos auto-regresivos,  $d$  el número de veces que la serie debe ser diferenciada para hacerla estacionaria y  $q$  el número de términos de la media móvil invertible.

El gráfico ARIMA se construye sobre una clase de modelos más complicados definida por:

$$Z_t = \theta_0 + \sum_{i=1}^p \phi_i * Z_{t-i} - \sum_{i=1}^q \theta_i * a_{t-i} + a_t$$

$$Z_t = \nabla^d X_t$$

*Ecu. (2.8)*

Donde:

$Z_t$ =diferenciación de la serie  $d$  veces

$\theta_0$ = constante

$\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$ = parámetros auto-regresivos

$\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ = parámetros de promedio móvil

### **Raíz del cuadrado medio del error**

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m e_{n+i}^2}{m}}$$

*Ecu. (2.9)*

### **Porcentaje de la media del error absoluto**

$$100 \frac{\sum_{i=1}^m |e_{n+i}/y_{t+1}|}{m} \%$$

*Ecu. (2.10)*

### **Media del error absoluto**

$$\frac{\sum_{i=1}^m |e_{n+i}|}{m}$$

*Ecu. (2.11)*

### **Media del error**

$$\frac{\sum_{i=1}^m e_{n+i}}{m}$$

*Ecu. (2.12)*

### **Porcentaje de la media del error**

$$\frac{\sum_{i=1}^m \left( \frac{e_{n+i}}{y_{n+1}} \right)}{m} 100$$

*Ecu. (2.13)*

## Criterio de Información Akaike

El Criterio de Información Akaike (AIC) es calculado por

$$AIC = 2 \ln RMSE + \frac{2c}{n}$$

*Ecu. (2.14)*

Donde RMSE es la raíz del cuadrado medio del error durante el periodo de estimación,  $c$  es el número de coeficientes estimados en el modelo estimado, y  $n$  es el tamaño de muestral utilizado para estimar el modelo. Nótese que AIC es una función de la varianza de los residuos del modelo, penalizado por el número de parámetros estimados. En general, el modelo que será seleccionado minimiza el cuadrado medio del error sin usar también muchos coeficientes (relativo a la cantidad de datos disponibles).

## **CAPITULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

Este concierne a la situación que abarca el proceso de la investigación, con el fin de colocarlos en evidencia y coordinarlos, para que de esta forma se logre analizar los conjeturados del estudio y reconstruir los datos.

#### **TIPO DE INVESTIGACION**

Bavaresco de Prieto (2001), indica que las investigaciones descriptivas o de diagnóstico van hacia la búsqueda, de aquellos aspectos que desean conocer y de los que se pretende obtener respuestas, describiendo y analizando sistemáticamente sus características. De acuerdo con Fidiás Arias (2006) este tipo de investigación consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Este tipo de investigación se encuentra en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere.

Permitiendo en este trabajo describir las variables de operación del sistema de embalses del acueducto regional del centro, logrando realizar un diagnóstico de la operación de cada embalse del sistema. Mediante el aprovechamiento de las mediciones de las diferentes variables que se pueden evaluar en cada uno de ellos de forma temporal, con el objeto de encontrar el modelo matemático que mejor ajuste

tenga a la operación de cada embalse respectivamente, prediciendo su comportamiento a lo largo del tiempo.

### **DISEÑO DE LA INVESTIGACION.**

Mediante el diseño de la investigación se lograra establecer el procedimiento con el cual se recolectara la base de datos implementada para este estudio, si que esta data sufra algún cambio o modificación. De acuerdo a Hernández (2006) la investigación no experimental es sistemática y empírica, las variables independientes no se manipulan dado que ya han sucedido, las inferencias sobre las relaciones entre variables se realizan sin intervención o influencia directa, así mismo las relaciones se observan tal y como se dieron en el contexto natural, así mismo Ramírez (2007) establece que el investigador no debe manipular las variables debido a que esto hace perder el ambiente de naturalidad en el cual se manifiesta y desenvuelve el hecho.

Estos conceptos nos permiten definir la investigación no experimental de campo, por estar en consonancia a lo planteado en los objetivos y con lo inherente de la población, donde ninguna medición de la data de estudio será modificada, estudiando cómo se manifiestan en el ambiente.

## **POBLACION Y MUESTRA.**

Tamayo y Tamayo, (1997) definen la población como la totalidad del fenómeno a estudiar donde las unidades de población posee una característica común la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación. (p.114).

Arias (2006) afirma que “la muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible”. (p.83).

~~Para~~ esta investigación la población en estudio se enmarca en los parámetros hidrológicos de operación de los embalses, registrados por la Gerencia de Captación, Tratamiento y Mantenimiento de HIDROCENTRO, C.A., comprendido entre los años 1983-2014. Definiéndose la muestra para este trabajo especial de grado como se presenta a continuación:

Tabla 3.1. Tamaño e Intervalo de tiempo de observación de la muestra para cada embalse.  
Fuente: Aponte, González 2015

<b>EMBALSE</b>	<b>VARIBALES</b>		<b>NUMERO DE MUESTRAS</b>	<b>INTERVALO DE TIEMPO</b>
<b>CACHINCHE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precipitación</li> <li>• Evaporación</li> <li>• Aporte de ríos</li> <li>• Gasto Ecológico</li> <li>• Bombeo</li> <li>• Alivio del Embalse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alivio dirigido al Embalse.</li> <li>• Nivel de Embalse (COTA)</li> <li>• Volumen almacenado</li> <li>• Área ocupada</li> </ul>	10896	(1985-2014)
<b>GUATAPARO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aporte de ríos</li> <li>• Aportes de Embalse Pao Cachinche</li> <li>• Alivio dirigido Planta Alejo Zuloaga.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alivio.</li> <li>• Nivel de Embalse (COTA)</li> <li>• Volumen almacenado</li> <li>• Área ocupada</li> </ul>	7754	(1993-2014)
<b>PAO LA Balsa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precipitación</li> <li>• Evaporación</li> <li>• Aporte de ríos</li> <li>• Gasto Ecológico</li> <li>• Aporte del Río Pao</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bombeo</li> <li>• Alivio</li> <li>• Nivel de Embalse (COTA)</li> <li>• Volumen almacenado</li> <li>• Área ocupada</li> </ul>	8035	(1993-2014)

.

.

### **DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA.**

Se describen los métodos, técnicas y herramientas de forma detallada que permiten el alcance de los objetivos, así como también habilitan la información requerida para este fin.

1. Recolección de Datos.
2. Procesamiento y Análisis de Datos.
3. Obtención de Resultados.

#### **1. RECOLECCION DE DATOS**

Esta etapa conlleva la recaudación de información, para el análisis que requiere la investigación, siendo esta información recolectada de diferentes autores y organismos públicos. Estando resumida en la siguiente tabla.

Tabla 3.1. Información, Contenido y Fuente.

<b>FECHA</b>	<b>FUENTE</b>	<b>INFORMACION</b>	<b>CONTENIDO</b>	<b>USO</b>
<b>2/06/2011</b>	Google Earth	Imagen Satelital	Embalse Pao-Cachince	Conocer la ubicación geográfica, establecer límites del embalse y visualización de la mancha de inundación
<b>2/09/2013</b>			Embalse de Guataparo	
<b>20/06/2014</b>	HIDROCENTRO C.A.	Niveles de los Embalses	Nivel alivio, actual, nivel de alivio	Visualización de operación actual de los embalses
<b>12/12/2014</b>	HIDROCENTRO C.A.	Curva Área-Capacidad	Embalse Pao-Cachince	Análisis de volúmenes históricos
			Embalse Guataparo	
			Embalse Pao La Balsa	
<b>12/12/2014</b>	HIDROCENTRO C.A.	Balances Hídrico	Embalse Pao-Cachince desde el año 1983 hasta el año 2014	Describir, diagnosticar y pronosticar la operación del embalse
			Embalse Guataparo desde el año 1993 hasta el año 2014	
			Embalse Pao La Balsa desde el año 1992 hasta el año 2014	

## **2. PROCESAMIENTO DE DATOS**

El procesamiento de datos se hará mediante el uso del software STATGRAPHICS Centurion XV v.15.2.06, el cual será usado para modelar los patrones de comportamiento históricos, los pronósticos y posteriormente analizar estos resultados y establecer los pronósticos con mejor ajuste a la operación de cada embalse. Para ello también se deberá realizar:

- Seleccionar el método descriptivo para analizar las variables de entradas del análisis de operación de los embalses
- Realización de las graficas descriptivas y de resultados de los comportamientos históricos y de pronósticos.

Para el procesamiento de los datos fue necesario describir el procedimiento ejecutado para al menos una de las variables de estudio de uno de los embalses. A continuación se mostrara un detallado de la generación de un modelo de pronóstico de nivel del embalse Cachinche mediante el uso de este software:

2.1. Una vez digitalizada la información en un archivo de MICROSOFT EXCEL con formato tipo [LIBRO DE EXCEL (\*.xls)] como muestra la imagen. Para este estudio se implementara el archivo que contienen los balances hídricos del Embalse Pao Cachinche denominado “BALANCE HIDRICO CACHINCE” y para este procesamiento se analizara la variable PRECIPITACIÓN.

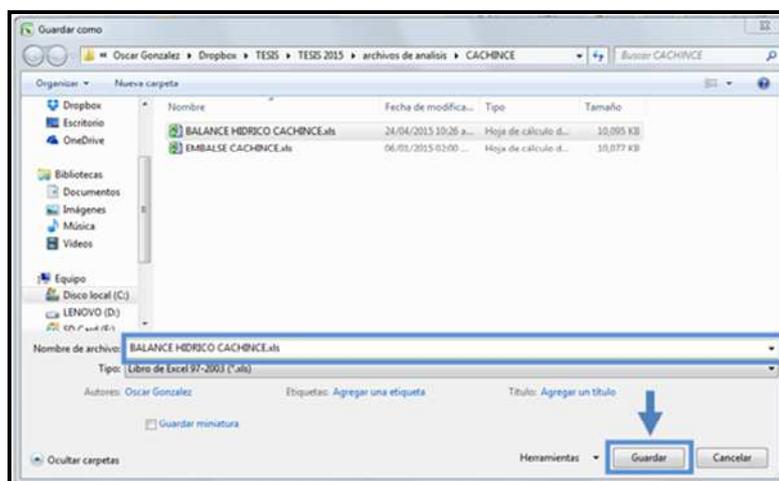


Figura 3.1. Selección del Archivo de Analisis.

2.2. Se procede a la apertura de STATGRAPHICS Centurion XV v.15.2.06, e inmediatamente este le preguntara “Que tarea desea realizar”, y a esta pregunta se contestara con la selección de la primera opción de “Introducir Nuevos Datos o Importarlos de una Fuente Externa...”.

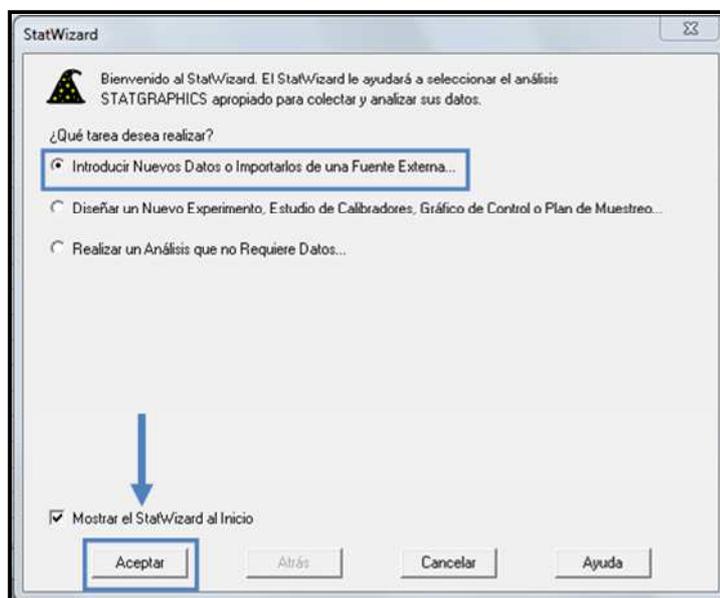


Figura 3.2. Ventana inicial de STATGRAPHICS

2.3. Siguiendo a esta se selecciona la opción que refleja “Un archivo de datos, una base de datos o en la portapapeles de Windows. . . Se recomienda tener un respaldo de los archivos de análisis en un disco duro externo u otro dispositivo de almacenamiento informático.

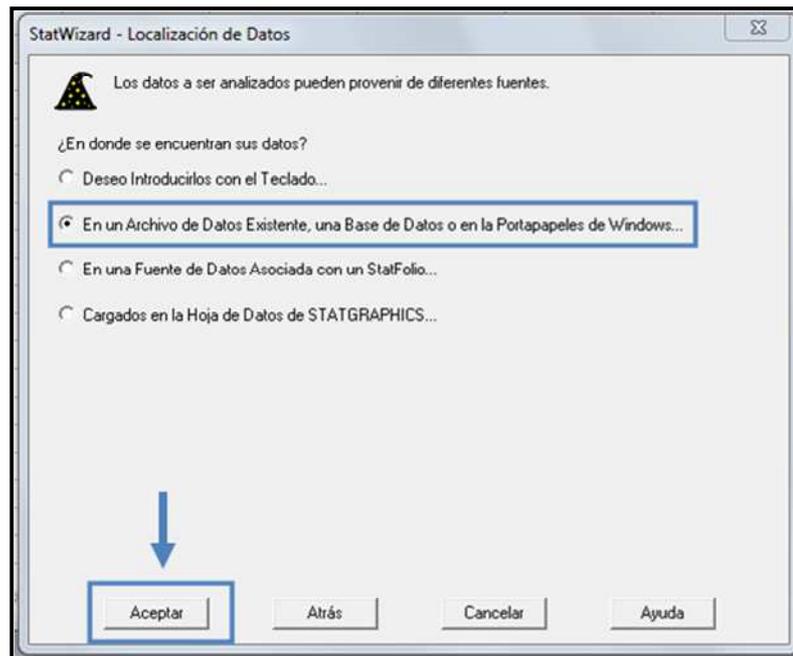


Figura 3.3. Tipo de fuente por los cuales serán introducidos los datos

2.4. Al desplegarse la ventana” Propiedades del Libro de Datos” se seleccionara Abrir y seguidamente aparecerá la ventana “Abrir origen de datos” donde se marcara la opción “Archivo de Datos Externos” solicitando Abrir esta opción para desplegar la carpeta donde se encuentra contenido los archivos de análisis y seleccionar el que se será objeto de estudio.

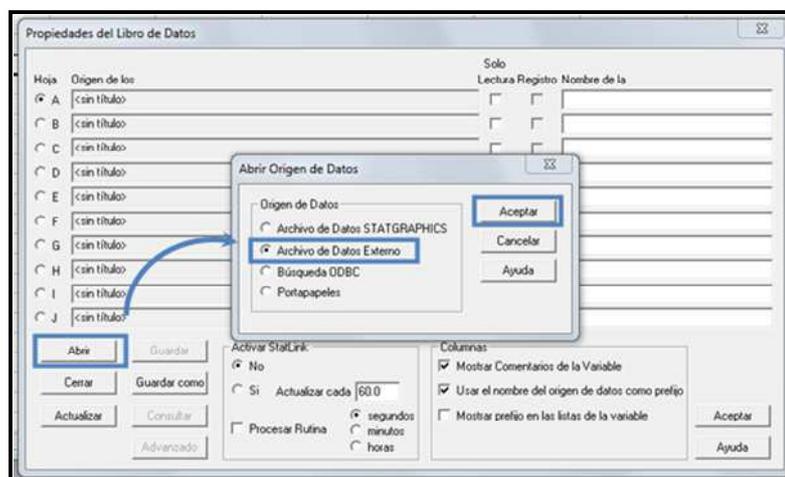


Figura 3.4. Selección de la fuente de datos.



Figura 3.5. Selección del archivo con la data de información.

2.5. De inmediato se desplegará la ventana “Leer Archivo de Excel”, donde se le indicarán las características y ubicación del archivo (número de hoja, la fila inicial y fila final del contenido de la data), en el caso del archivo “BALANCE HIDRICO CACHINCE”, el número de hoja a implementar es el número (1), la fila inicial es la (754) y la fila final es (11631), esto con el fin de analizar la variable precipitación desde la fecha de Enero (1) del año 1985 hasta Octubre (31) del año 2014.

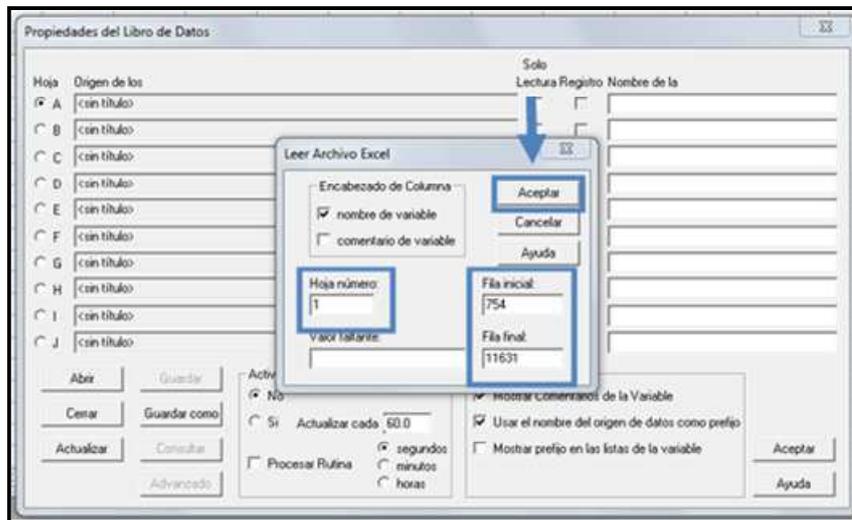


Figura 3.6. Dirección de la ubicación de la data en análisis.

	FECHA	BSA	Cota_m	Volúmenes_M3/día	Area_m2	Dif. de Cota_m	Dif. de Volúmenes_M3/día	Rend. I_m3	Rend. II_m3
1									
2	11/12/93	35	192.34	370	3273	0	0	88.5	0
3	13/12/93	35	192.35	370	3275	-0.0000000000000000	0	75.48	0
4	15/12/93	35	192.34	370	3272	0.0000000000000000	0	84.2	0
5	16/12/93	35	192.34	370	3273	0	0	74.33	76.2
6	16/12/93	34	192.34	370	3273	0	0	75.3	0
7	16/12/93	35	192.34	370	3273	0.0000000000000000	0	79.4	0
8	16/12/93	34	192.34	370	3273	0	0	84.4	0
9	17/12/93	35	192.37	370	3274	-0.0000000000000000	0	82.4	74.36
10	18/12/93	35	192.34	370	3273	-0.0000000000000000	0	75.48	0
11	18/12/93	34	192.34	370	3273	0	0	85.76	81.4
12	18/12/93	35	192.35	370	3273	-0.0000000000000000	0	79.3	0
13	13/12/93	33	193.34	370	3272	-0.0000000000000000	0	68.4	0
14	12/12/93	33	193.33	368	3272	-0.0000000000000000	0	82.0	76.8
15	13/12/93	33	192.32	369	3272	-0.0000000000000000	0	81.5	0
16	14/12/93	34	192.0	369	3270	-0.0000000000000000	0	82.4	0
17	15/12/93	35	192.48	368	3269	-0.0000000000000000	0	74.4	0
18	16/12/93	36	193.44	368	3269	0	0	74.4	0
19	17/12/93	37	192.44	368	3264	-0.0000000000000000	0	71.32	0
20	18/12/93	38	192.43	368	3265	-0.0000000000000000	0	68.4	76.3
21	15/12/93	39	192.42	368	3263	-0.0000000000000000	0	81.32	0
22	16/12/93	38	192.4	368	3263	-0.0000000000000000	0	77.5	0
23	15/12/93	35	192.4	368	3262	0	0	75.5	0
24	15/12/93	33	193.37	367	3263	-0.0000000000000000	0	68.0	74.5
25	15/12/93	35	192.35	367	3266	-0.0000000000000000	0	64.38	0

Figura 3.7. Data trasladada desde Excel a STATGRAPHICS.

2.6. Una vez introducida la data se seleccionara de la barra de herramienta “Pronósticos” desplegándose una lista y dentro de esta se selecciona “Métodos de Series de Tiempos Descriptivos...”.

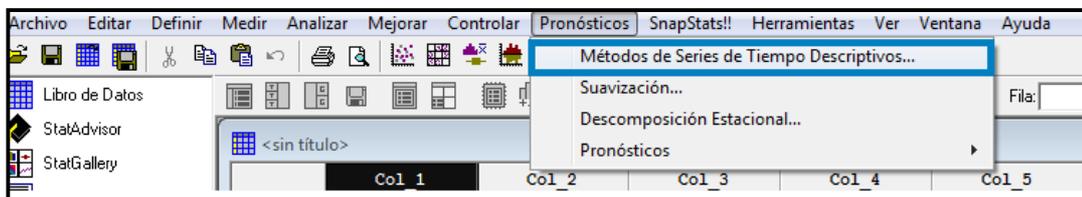


Figura 3.8. Selección de comandos a ejecutar.

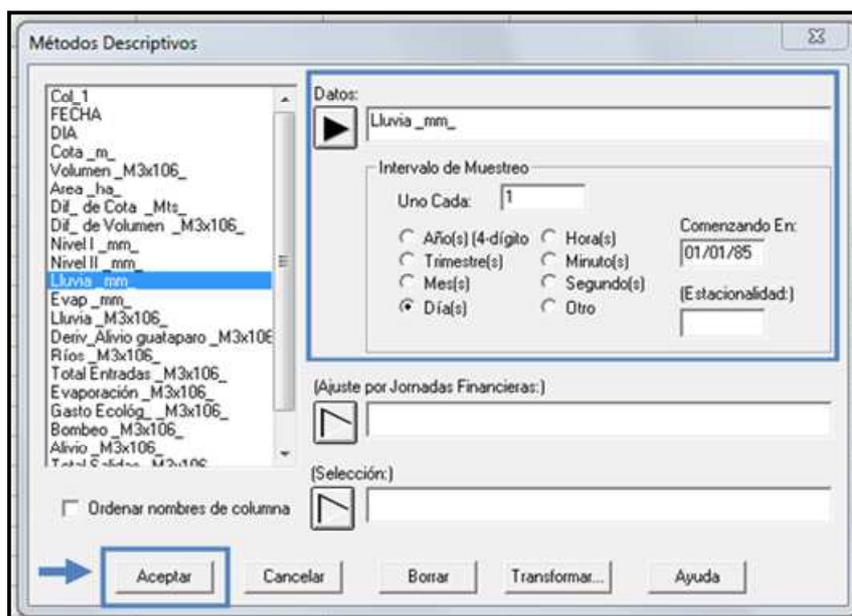


Figura 3.9. Ventana método descriptivo.

2.7. De esta opción se desplegará la ventana de Métodos Descriptivos como lo muestra la Figura 3.9, y del contenido del archivo “BALANCE HIDRICO CACHINCE” se analizará la columna número diez (10) denominada “Lluvia \_mm\_”, para ello será necesario seleccionarla y que se refleje en la celda denominada “Datos” de la lista que muestra los encabezados del balance hídrico y luego se procederá a llenar el formulario que refleja esta ventana de la siguiente manera:

- Intervalo de Muestreo: Define el intervalo entre observaciones sucesivas. El Archivo “BALANCE HIDRICO CACHINCE”, presenta toma de mediciones y estimaciones una vez al día, y de esta forma se está realizando el análisis, por lo tanto el intervalo de muestreo reflejara en su casilla el número (1), y

realizando un click en el button check Dia(s), se estará definiendo este intervalo en el software.

- En la casilla denominada “Comenzando En:” se colocara la fecha de inicio de la serie de tiempo que se desea estudiar. Como antes ya mencionado el estudio partirá Enero (1) del año 1985.
- La Estacionalidad (s) está asociada a la existencia de un patrón que se repite en un periodo de tiempo fijo, como es en el caso de la precipitación en Venezuela que tienen a estar presente en los meses lluviosos de cada año, de no saber la estacionalidad puede omitir agregarle información a esta casilla, aun así los resultados no variarían y el programa asumirá una estacionalidad igual 1. Para el análisis se tomó estacionalidad igual a 7

De no conocer la estacionalidad de los datos de estudio será necesario aplicar una suavización de los datos.

- El resto de las casillas como bien lo muestran son para estudios financieros y económicos, estas son omitidas y el programa no adjudicará ningún valor para ellas ni las involucrará en el estudio.

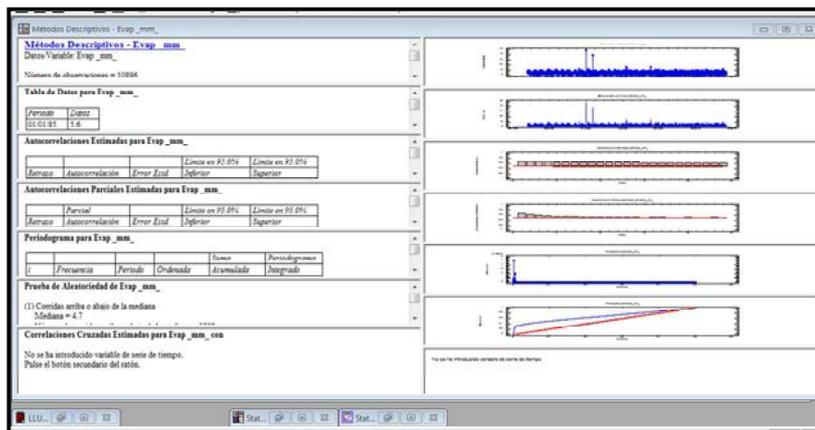


Figura 3.10. Tablas y Graficas descriptivas.

Continuando con el procedimiento, el cual describe los pasos a seguir para la obtención del pronóstico de una variable, con la posibilidad de escoger cinco modelos definidos por el usuario, así como la cantidad de pronóstico a generar:

2.8 En la barra de herramienta se encuentra “pronósticos – pronósticos automáticos...”. Haga click en ella como se muestra.

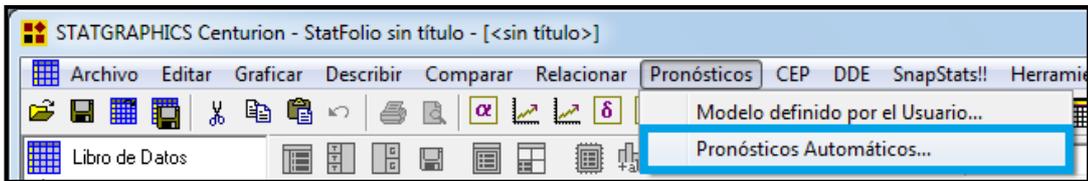


Figura 3.11. Seleccionar pronósticos automáticos

2.9 Al seleccionar “pronósticos Automáticos” saldrá la siguiente ventana, en la cual se deben agregar la variable a la cual se le desea pronosticar, el tipo de secuencia de los datos, fecha inicial de la data. En la parte inferior se agregan los números de pronóstico, son el número de datos que pronosticara en el futuro y los números de validación, que son el número de datos que validan el pronóstico.

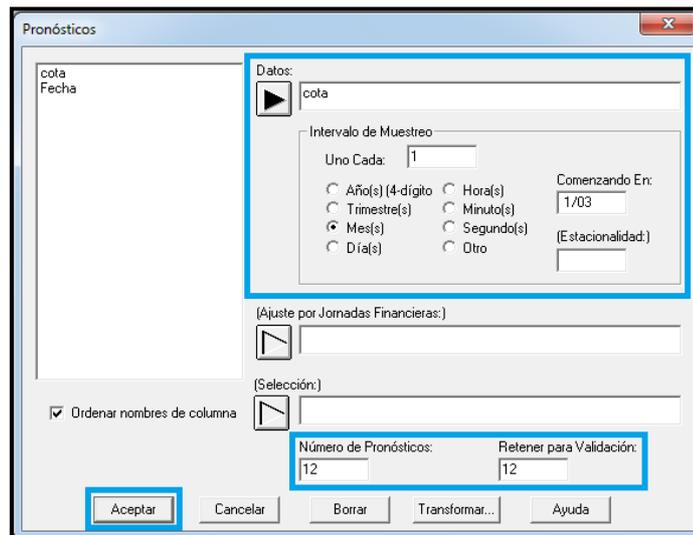


Figura 3.12. Ventana Pronósticos.

- Número de Pronósticos: Es el número de predicciones que se desean conocer en el futuro, vienen dadas por el intervalo de muestra seleccionado.
- Retener para validación: Es el número de datos al final de la serie de tiempo, del cual se extraen para validar el modelo. Es decir, numero de datos que no se tomaran en cuenta para la calibración del modelo.

Al darle click en aceptar, se genera la sección “Pronósticos Automáticos-VARIABLE”. En el cual se muestran los parámetros estimados, los pronósticos realizados y la comparación de modelos. Así como la grafica del modelo ajustado y las correlaciones de la serie de errores cometidos.

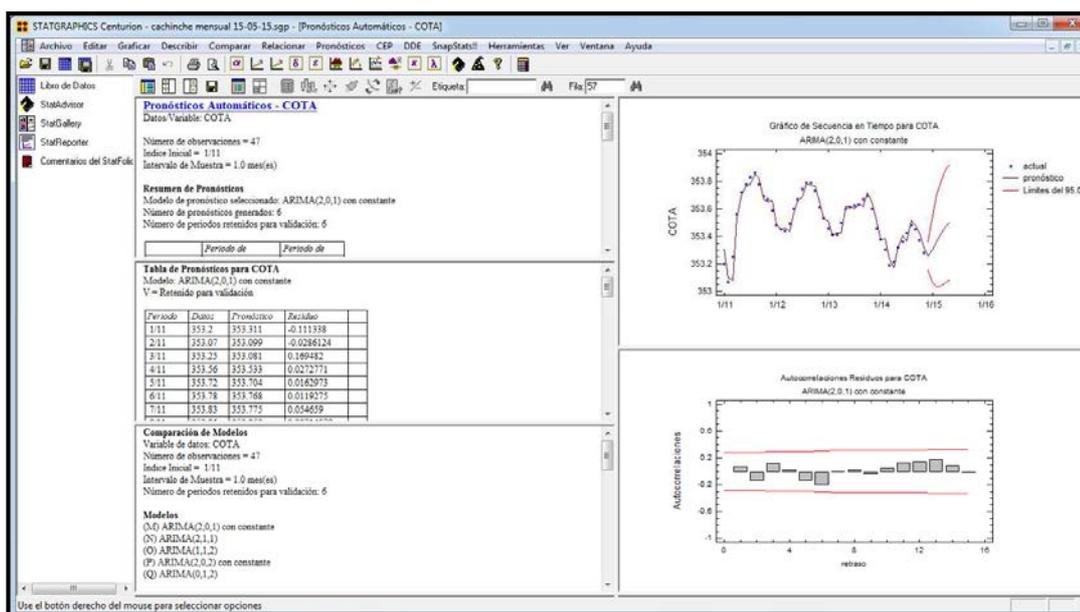


Figura 3.13. Resultado de Pronósticos Automáticos

2.10. En la barra de herramienta se encuentra el “Pronósticos – modelo definido por el Usuario”. Haga click en ella como se muestra.



Figura 3.14. Seleccionar modelo definido por el usuario.

2.11 Al seleccionar “pronósticos definidos por el usuario” saldrá la siguiente ventana indicada en la Figura 3.15., en la cual se deben agregar la variable a la cual se le desea pronosticar, el tipo de secuencia de los datos, fecha inicial de la data. En la parte inferior se agregan los números de pronóstico, son el número de datos que pronosticara en el futuro y los números de validación, que son el número de datos que validan el pronóstico. Igual que en pronósticos automáticos.

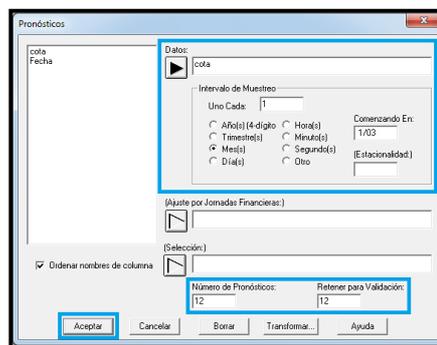


Figura 3.15. Ventana pronosticos

2.12. Al hacer click en el siguiente botón remarcado en un cuadro en la Figura 3.16., ubicado debajo de la barra de herramientas, se abre la ventana ilustrada en la Figura 3.17.



Figura 3.16. Opciones

Se le da clic al modelo A, como se muestra en la Figura 3.17, a continuación se agregan los diferentes grados del ARIMA y si posee constante o no. El último modelo activo, será el ejecutado por el programa como el “modelo seleccionado”. Introduzca el modelo ARIMA (AR=p; Orden No=d; MA=q) en las casillas.

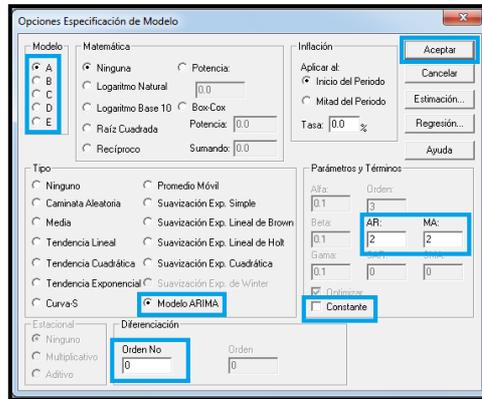


Figura 3.17. Ventana de Calibración.

2.13. Al hacer click en el siguiente botón remarcado en un cuadro en la Figura 3.18., ubicado debajo de la barra de herramientas, se abre la ventana ilustrada en la Figura 3.19. Finalmente, seleccionar “Tabla de Pronosticos”.



Figura 3.18. Opciones.



Figura 3.19 Ventana de Dialogos.

Al darle click en aceptar, se genera la sección “Pronosticos- VARIABLE”. En el cual se muestran los parámetros estimados, los pronósticos realizados y la comparación de modelos. Así como la grafica del modelo ajustado y las correlaciones de la serie de errores cometidos. Mostrada en la Figura 3.20.

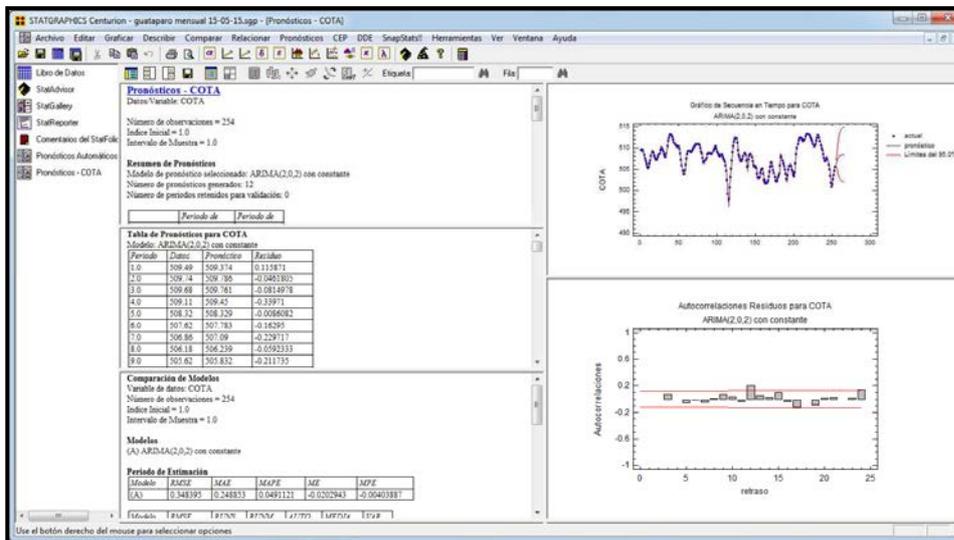


Figura 3.20. Modelos Ajustados.

**Analizar las variaciones temporales de las variables del sistema de embalses del acueducto regional del centro.**

- Se determina la variación que presentan las variables en el Embalse Pao Cachinche desde (1983-2014), Embalse Guataparo (1993-2014) y Embalse Pao La Balsa (1992-2014).
- Se observó la tendencia, ciclo, estacionalidad o aleatoriedad que presentaron los resultados obtenidos.
- Se identificaron los patrones que existen en la variación temporal.
- Se elaboraron pronósticos a variables operacionales para cada embalse del sistema de Embalses del Acueducto Regional del Centro.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS**

Una vez expuesta la necesidad de analizar la variabilidad temporal presente en las variables del sistema de Embalses del Acueducto regional del centro. Se solicitaron a HIDROCENTRO, ente responsable de su operación, registros donde se evidenciaran mediciones y estimaciones de las variables presente en los embalses y el éxito de esta investigación se debe a la colaboración prestada por los mismos y el aporte de información, veraz, clara y concisa.

Esta información debido a su amplitud se podrá localizar en el Apéndice A de esta investigación, mostrándose a continuación solamente un balance hídrico de cada embalse.

## 1. DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE EMBALSES DEL ACUEDUCTO REGIONAL DEL CENTRO.

### EMBALSE PAO CACHINCHE

Para la realización de la descripción de las variables y la deducción del diagnóstico del embalse Pao Cachinche es necesario establecer las variables de entrada y salida que se encuentran presente en los embalses.

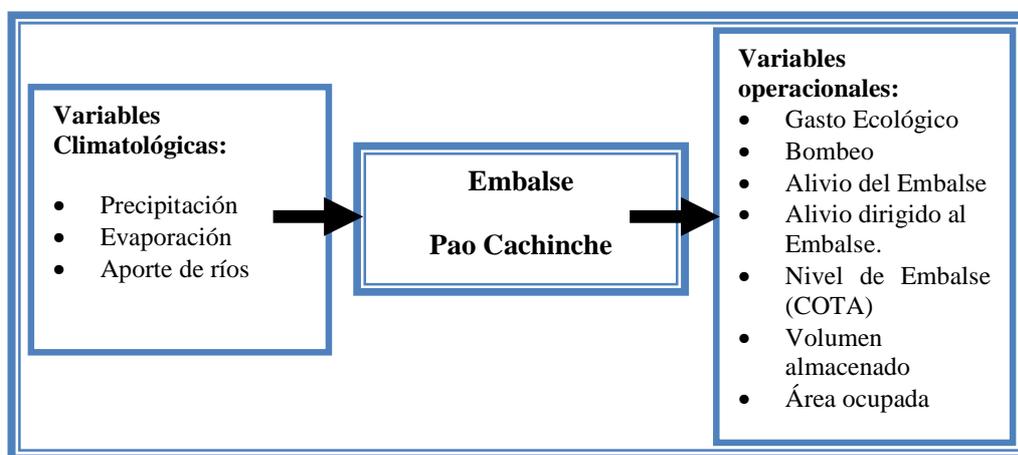


Figura 4.1. Variables Presentes en el Embalse Pao Cachinche.

### VARIABLES CLIMATOLÓGICAS PRESENTES EN EL EMBALSE PAO CACHINCE

El sistema climático de Venezuela está caracterizado por dos estaciones climáticas, siendo estas más acentuadas a nivel nacional en la zona central del país.

- **PRECIPITACIÓN.**

La precipitación en el país depende del sistema climático formado por la estación lluviosa comprendida entre el mes de Mayo hasta el mes de Octubre y la estación seca comprendida entre el mes de Noviembre hasta el mes Abril.

Las mediciones de lluvia en el embalse son tomadas por medio de un pluviómetro instalado en las adyacencias. Este instrumento registra la altura del agua en milímetros y es tomada la medición una vez al día, es importante destacar que con este instrumento no se puede definir con exactitud las horas en la cual se manifestó este fenómeno. En la siguiente Figura 4.2, se aprecia el comportamiento en el tiempo de la precipitación en el embalse Pao Cachinche.

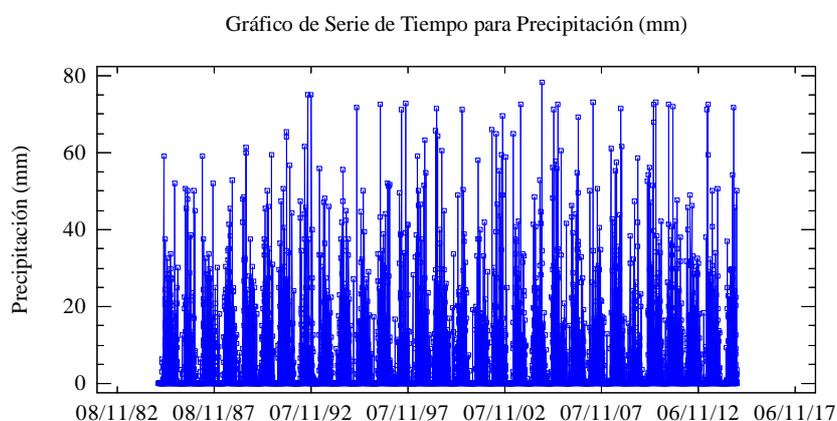


Figura 4.2. Serie de Tiempo para Precipitación del Embalse Pao Cachinche.

Se puede apreciar en la Figura 4.2 la serie de tiempo de la precipitación en el Embalse Pao Cachinche, realizada con datos que tienen inicio en Enero (1) del año 1985 hasta Octubre (31) del año 2014, con un número de observaciones de 10896. Se observa la manifestación y el aumento de la precipitación para los meses lluvioso (desde el mes de Mayo hasta el mes de Octubre), disminuyendo para inicios del mes de noviembre y ausentándose para los meses próximos de la estación seca, observándose para los últimos años disminución de esta variable y colocando su altura entre 35mm a 40mm.

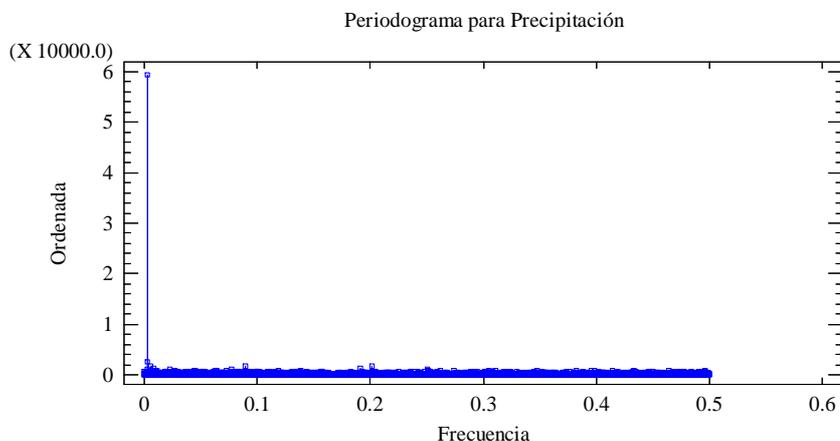


Figura 4.3. Periodograma para Precipitación del Embalse Pao Cachinche.

El periodograma de la Figura 4.3 muestra una característica prevista para esta variable, presencia de frecuencia, asociada a la estacionalidad climática existente en Venezuela, se observa que para el valor más alto en la Ordenada se asocia un periodo de 363.2 días, aproximadamente un año y una frecuencia de 0,00275. Tabla de Periodograma para precipitación con los primeros 31 valores de (i) de 997 valores.

Tabla 4.1. Periodograma para Precipitación del Embalse Pao Cachinche.

				Suma	Periodograma
i	Frecuencia	Periodo	Ordenada	Acumulada	Integrado
0	0.0		1.07956E-15	1.07956E-15	1.22414E-21
1	0.0000917768	10896.0	270.524	270.524	0.000306756
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
24	0.00220264	454.0	224.774	5587.1	0.0063354
25	0.00229442	435.84	377.333	5964.44	0.00676327
26	0.0023862	419.077	346.097	6310.53	0.00715572
27	0.00247797	403.556	50.506	6361.04	0.00721299
28	0.00256975	389.143	678.117	7039.16	0.00798192
29	0.00266153	375.724	2636.21	9675.37	0.0109712
<b>30</b>	<b>0.0027533</b>	<b>363.2</b>	<b>59304.8</b>	<b>68980.1</b>	<b>0.0782188</b>
31	0.00284508	351.484	1048.54	70028.7	0.0794078

- **EVAPORACIÓN.**

La evaporación al igual que la precipitación está fuertemente ligada a las estaciones climáticas presentes en Venezuela. Esta variable se presenta durante todo el año, siendo esta la peculiaridad o la característica más relevante de ella respecto a un estudio de operación de un embalse.

Para la medición de la evaporación en los embalses en estudio se realiza por medio de Tina Tipo A. Este es un tanque cilíndrico de lámina galvanizada, de 1,21 m de diámetro y 25 cm de profundidad. Se coloca sobre una plataforma de madera de 10 cm de alto, perfectamente horizontal, se realiza una medición cada 24 horas registrándose la altura de agua evaporada. Las mediciones realizadas son procesadas por medio de la siguiente formulación.

$$E_n = N_{n-1}^I - N_n^I + P_n \rightarrow \text{Si } N_{n-1}^{II} = 0$$

*Ecu. (4.1)*

$$E_n = N_{n-1}^{II} - N_n^I + P_n$$

*Ecu. (4.2)*

Donde:

$E_n$ : Evaporación en el día.

$N_{n-1}^I$ : Nivel de agua del día anterior del estudio medido en la tina.

$N_n^I$ : Nivel de agua medido en el día.

$N_{n-1}^{II}$ : Nivel de agua medido en la tina del día anterior. Sujeto a la adición de agua en la tina.

$P_n$ : Precipitación en el día medida por medio de un pluviómetro.

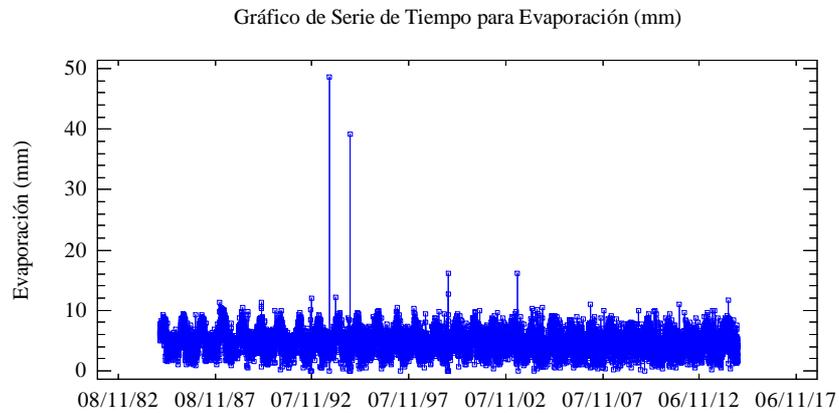


Figura 4.4. Serie de Tiempo para Evaporación del Embalse Pao Cachinche.

La presente Figura 4.4 representa la serie de tiempo para la evaporación presente en el Embalse Pao Cachinche desde Enero (1) del año 1985 hasta Octubre (31) teniendo variaciones de magnitud que rondan desde 0mm a 12mm de 10896 observaciones.

Mostrando un comportamiento estacional previsto, en donde en los meses de sequia se muestran los más altos picos que rondan entre 7mm a 12mm de evaporación y teniendo una evaporación promedio para la serie en estudio de 4.8mm y una mediana de 4.7mm, apelando a que la evaporación es un fenómeno presente durante todo el año.

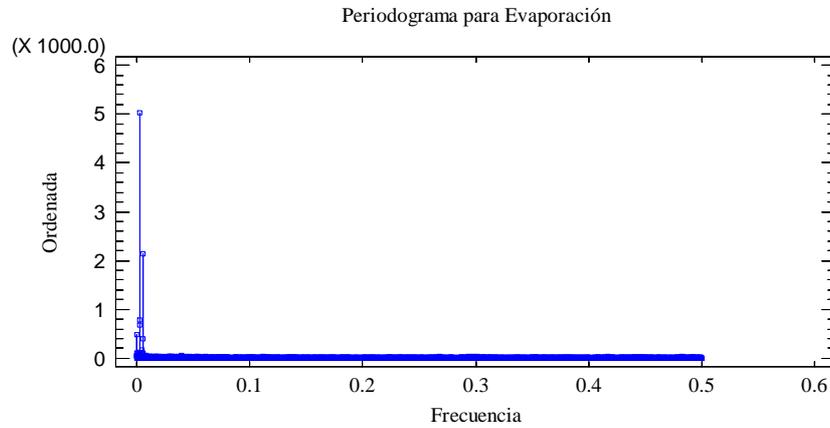


Figura 4.5. Periodograma para Evaporación del Embalse Pao Cachinche.

El periodograma de la Figura 4.5 de la Evaporación presente en el Embalse Pao Cachinche acentúa el comportamiento estacional existente en la región estableciendo el periodo a 363.2 días asociado a la frecuencia 0.00275, lo que aproxima a la reiteración cada año de estas magnitudes de Evaporación. Tabla de Periodograma de Evaporación con los primeros 31 valores de (i) de 997 valores.

Tabla 4.2: Periodograma para Evaporación del Embalse Pao Cachinche.

i	Frecuencia	Periodo	Ordenada	Suma Acumulada	Periodograma Integrado
0	0.0		2.85873E-18	2.85873E-18	7.41119E-23
1	0.0000917768	10896.0	494.32	494.32	0.0128152
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
<b>30</b>	0.00266153	375.724	777.923	2276.92	0.0590286
<b>31</b>	<b>0.0027533</b>	<b>363.2</b>	<b>5024.56</b>	<b>7301.48</b>	<b>0.189289</b>

- **APOORTE DE RIOS**

Los aportes de los ríos realizados a en los embalses no son medidos y su magnitud es estimada a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Río}(m^3 \times 10^6) = DV_n - P_n - DA_n + E_n + GE_n + B_n + A_n$$

*Ecu. (4.3)*

Con la consideración de:  $Río \geq 0$ , de ser menor de cero (0) se llevara a la magnitud cero (0), no existe explicación física para que la estimación del aporte arroje valores negativo.

Donde:

$DV_n$ = Representa la diferencia de volumen almacenado del embalse entre el día anterior a la estimación y el día de la estimación.

$P_n$ = Precipitación del día de la estimación, determinada por un pluviómetro.

$DA_n$ = Alivio de un embalse Aguas Arribas que aporta directamente al embalse en estudio en el día de estimación.

$E_n$ = Evaporación del día de la estimación, determinada por una tina tipo a.

$GE_n$ = Gasto ecológico, corresponderá al caudal necesario para preservar los cauces aguas abajo, siendo esta una variable producto de una medición.

$B_n$ = Bombeo del embalse en el día de la estimación, este dependerá de la capacidad de la planta de bombeo y de la demanda de agua.

$A_n$ = Alivio del embalse en el día de la estimación, este solo dependerá del nivel que alcance el embalse y supere la nivel de alivio.

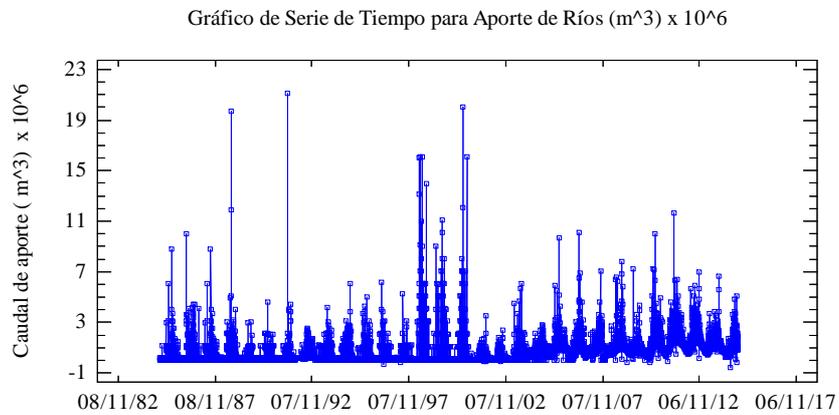


Figura 4.6. Serie de Tiempo para Aporte de Ríos en el Embalse Pao Cachinche.

En la Figura 4.6 se muestra la serie de tiempo de Aporte de Ríos, siendo el principal aportador de este caudal al embalse el Río Pao, esta serie tiene inicio en Enero (1) del año 1985 hasta Octubre (31) del año 2014, con un número de observaciones de 10896, destacando que los mayores aportes que se generan para el embalse corresponde cuando el río presenta mayores niveles de caudal, lo que sucederá para los meses lluviosos.

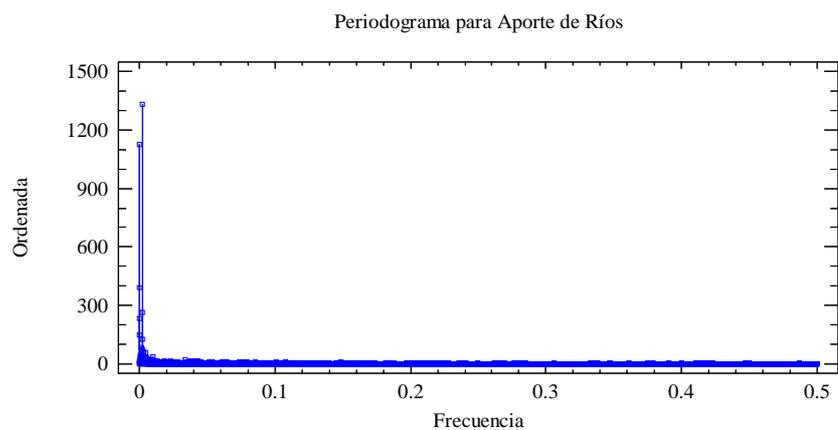


Figura 4.7. Periodograma para Aporte de Ríos del Embalse Pao Cachinche.

Las variables climáticas presentes en el Embalse Pao- Cachinche de acuerdo a la data proporcionada presentan una frecuencia prevista de acuerdo a su periodo de repetición y el número de observaciones. Con esta última observación de las variables climáticas del embalse en función del periodograma Figura4.7, se obtiene un periodo muy similar a los anteriores correspondiente a 363.2 días asociado a una frecuencia de 0.00275.

Tabla de Periodograma de Aporte de Ríos con los primeros 31 valores de (i) de 997 valores.

Tabla 4.3. Periodograma para Aporte de Ríos del Embalse Pao Cachinche.

				Suma	Periodograma
i	Frecuencia	Periodo	Ordenada	Acumulada	Integrado
0	0.0		8.47919E-26	8.47919E-26	6.48116E-30
1	0.0000917684	10897.0	1122.47	1122.47	0.0857975
2	0.000183537	5448.5	393.473	1515.95	0.115873
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
27	0.00247775	403.593	73.1177	2652.57	0.202752
28	0.00256951	389.179	1.84042	2654.41	0.202893
29	0.00266128	375.759	126.975	2781.38	0.212598
<b>30</b>	<b>0.0027533</b>	<b>363.2</b>	<b>1328.17</b>	<b>4109.55</b>	<b>0.314118</b>
31	0.00284482	351.516	62.1528	4171.71	0.318869

Por lo que se puede observar que las variables climáticas presentan una periodicidad de aproximadamente un año, para una oscilación, esto se debe a la aparición de una alta ordenada en esa frecuencia haciendo que los datos tiendan a subir y caer sobre una base anual.

Tabla 4.4. Valores de frecuencia y periodo de las variables climáticas

VARIABLE CLIMATICA	FRECUENCIA	PERIODO
• Precipitación	0.0027533	363.2
• Evaporación	0.0027533	363.2
• Aporte de Ríos	0.0027533	363.2

## VARIABLES OPERACIONALES PRESENTES EN EL EMBALSE PAO CACHINCE

- **GASTO ECOLÓGICO**

El gasto ecológico en el embalse es una medición que se realiza directamente a las aguas de los cauces debajo del mismo y concernirá al agua que sea necesaria para preservar los valores ecológicos.

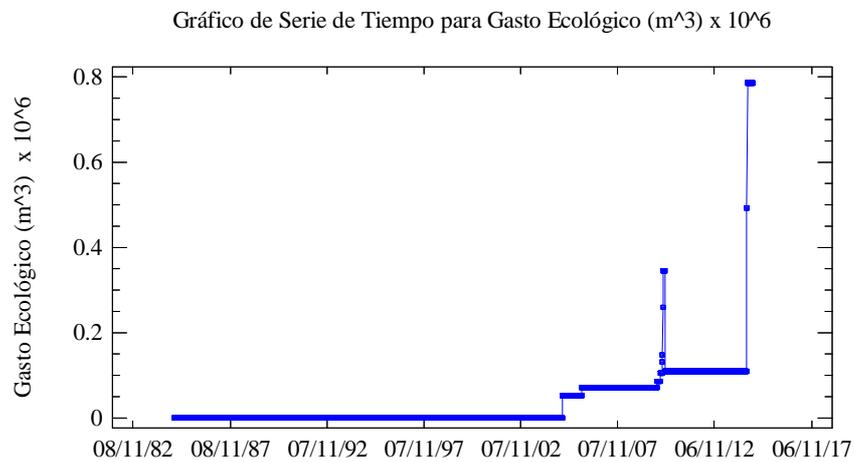


Figura 4.8. Serie de Tiempo para Gasto Ecológico en el Embalse Pao Cachinche.

Lográndose observar en la serie de tiempo Figura 4.8, iniciada en Enero (1) del año 1985 hasta Octubre (31) del año 2014, con un total de mediciones de 10896, un aumento del caudal necesario para los en los últimos años. Sería necesario realizar el análisis requerido para determinar las causas a las que se deben el aumento de magnitud de esta variable.

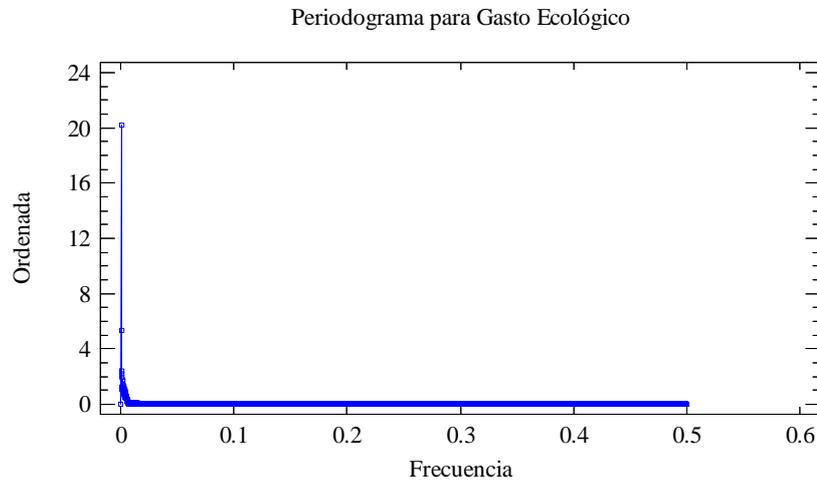


Figura 4.9. Periodograma para Gasto Ecológico del Embalse Pao Cachimche.

Se observa en el periodograma de la Figura 4.9, que el comportamiento del Gasto Ecológico no se aproxima a un periodo anual, debido al alto valor de la Ordenada asociándolo a una frecuencia de 0.0000917 y un periodo de 10896 días, siendo el mismo número de observaciones de análisis.

Tabla de Periodograma de Gasto Ecológico con los primeros 3 valores de (i) de 997 valores.

Tabla 4.5. Periodograma para Gasto Ecológico del Embalse Pao Cachimche.

				Suma	Periodograma
i	Frecuencia	Periodo	Ordenada	Acumulada	Integrado
0	0.0		3.07176E-17	3.07176E-17	3.51034E-19
<b>1</b>	<b>0.0000917768</b>	<b>10896.0</b>	<b>20.2239</b>	<b>20.2239</b>	<b>0.231115</b>
2	0.000183554	5448.0	5.31711	25.5411	0.291878
3	0.00027533	3632.0	1.24622	26.7873	0.30612

- **BOMBEO**

El bombeo en el embalse está condicionado a la capacidad de la estación de bombeo y a la demanda procedente de la población. Este volumen denominado

bombeo es un alivio dirigido para ser bombeado posteriormente a la planta potabilizadora Alejo Zuloaga

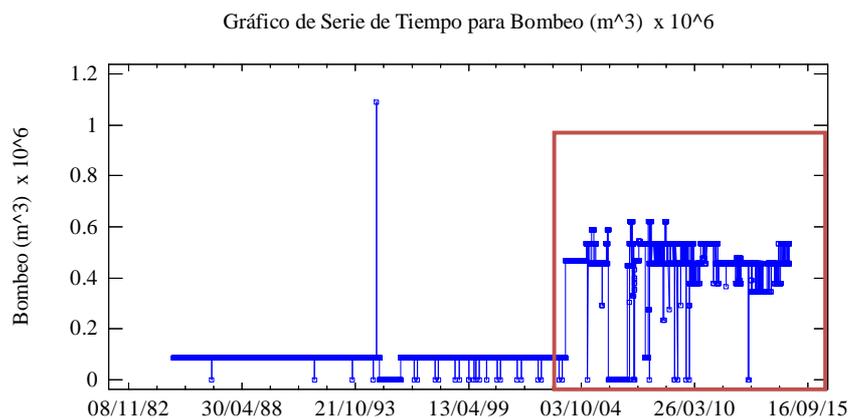


Figura 4.10. Serie de Tiempo para Bombeo en el Embalse Pao Cachinche.

La serie de tiempo Figura 4.10, de Bombeo del Embalse Pao Cachinche se aumenta de forma significativa mostrando depresiones considerables para el año 2000, entrando en un rango estable para el año 2008, de un intervalo de estudio que tiene inicio en Enero (1) del año 1985 y culmino hasta Octubre (31) del año 2014 con un numero de observaciones de 10896.

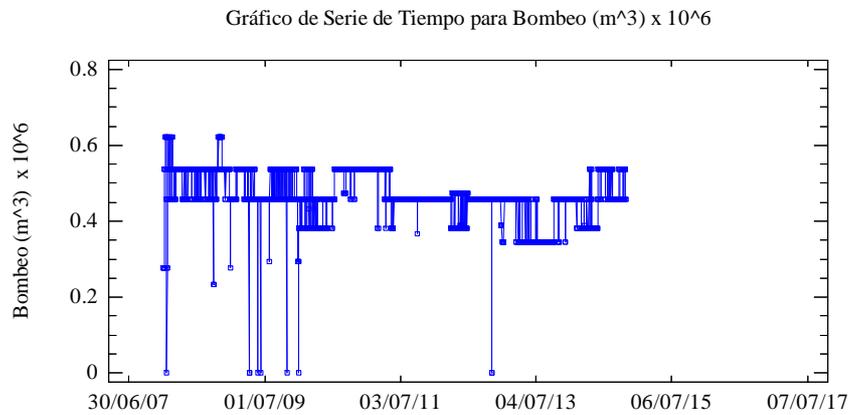


Figura 4.11. Serie de Tiempo para Bombeo en el Embalse Pao Cachinche.

Pese la reducción del intervalo de tiempo mostrado en la Figura 4.11, llevado a Enero (1) del año 2008 hasta Octubre (31) del año 2014, con un número de observaciones igual a 2496, no se logra observar periodicidad, ni estacionalidad. El periodograma determinó el periodo asociado a la ordenada mayor como 2496 días igual al número de observaciones analizadas.

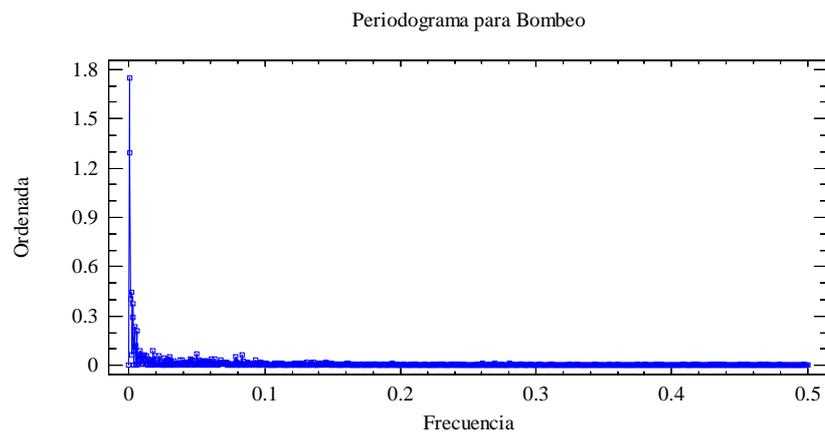


Figura 4.12. Periodograma para Gasto Ecológico del Embalse Pao Cachinche.

Tabla 4.6. Periodograma para Bombeo en el Embalse Pao Cachinche.

				Suma	Periodograma
i	Frecuencia	Periodo	Ordenada	Acumulada	Integrado
0	0.0		1.00193E-20	1.00193E-20	8.65593E-22
<b>1</b>	<b>0.000400641</b>	<b>2496.0</b>	<b>1.74713</b>	<b>1.74713</b>	<b>0.150938</b>
2	0.000801282	1248.0	1.29262	3.03974	0.262611
3	0.00120192	832.0	0.406983	3.44673	0.297771
4	0.00160256	624.0	0.44272	3.88945	0.336018
5	0.00200321	499.2	0.0616251	3.95107	0.341342
6	0.00240385	416.0	0.294221	4.24529	0.366761

- **ALIVIO**

El alivio en el embalse corresponderá a niveles de agua que superen el nivel de alivio.

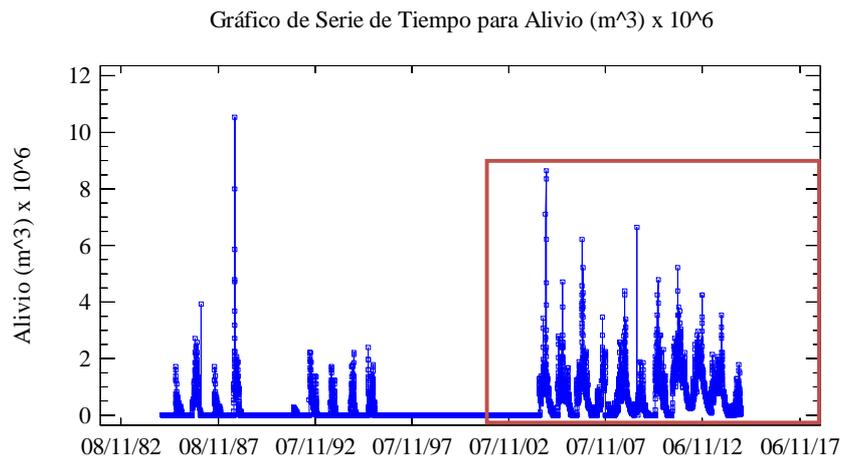


Figura 4.13. Serie de Tiempo para Alivio en el Embalse Pao Cachinche.

La serie de tiempo Figura 4.13, de Alivio del Embalse Pao Cachinche estudiada desde Enero (1) del año 1985 hasta Octubre (31) del año 2014, con 10896 observaciones, se evidencia una dispersión del comportamiento, seleccionando solo estudiar la ventana de tiempo que va desde Enero (1) del año 2005 hasta Octubre (31) del año 2014, mediante la implementación de 3591 observaciones, como se muestra en la siguiente Figura 4.14.

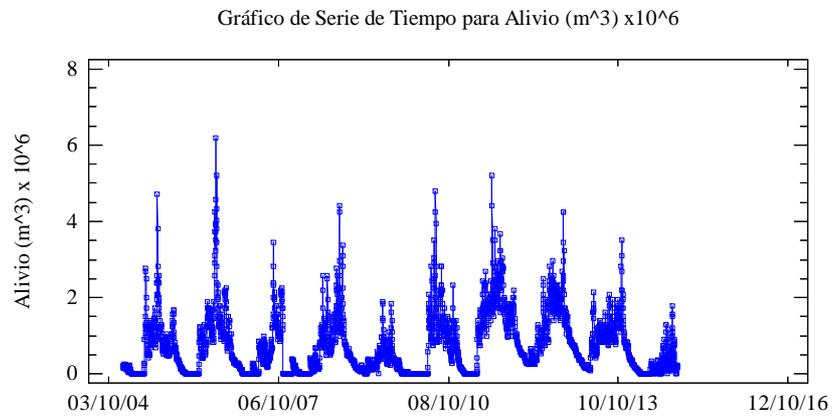


Figura 4.14. Serie de Tiempo para Alivio en el Embalse Pao Cachinche.

Atendiendo a esta consideración en la Figura 4.14, se obtiene una frecuencia de 0.0027 asociada a un periodo de 359 días aproximando a un año, previsto debido a que el embalse presentara mayores niveles de agua para los meses lluviosos del año donde resultaran los mayores aportes para el mismo.

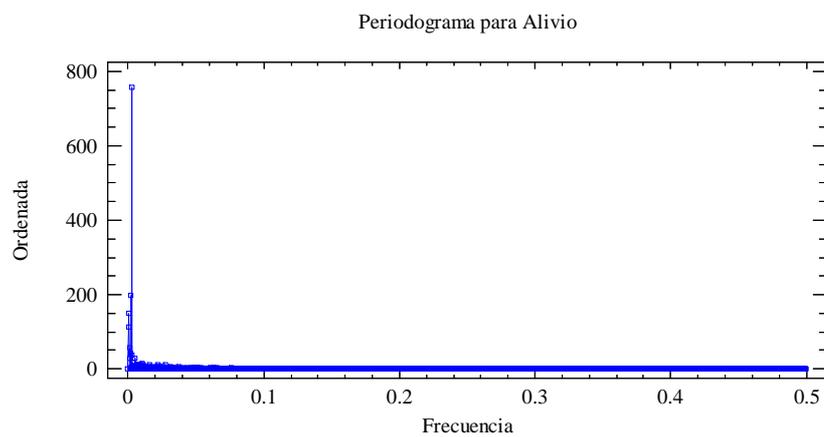


Figura 4.15: Periodograma para Alivio del Embalse Pao Cachinche.

Tabla de Periodograma de Alivio con los primeros 11 valores de (i) de 997 valores.

Tabla 4.7. Periodograma para Bombeo en el Embalse Pao Cachinche.

i	Frecuencia	Periodo	Ordenada	Suma Acumulada	Periodograma Integrado
0	0.0		1.83741E-25	1.83741E-25	8.8415E-29
1	0.000278474	3591.0	111.826	111.826	0.0538097
2	0.000556948	1795.5	150.678	262.504	0.126315
3	0.000835422	1197.0	27.663	290.167	0.139626
4	0.0011139	897.75	55.8802	346.047	0.166515
5	0.00139237	718.2	4.05901	350.106	0.168468
6	0.00167084	598.5	42.2361	392.342	0.188792
7	0.00194932	513.0	0.181692	392.524	0.18888
8	0.00222779	448.875	198.414	590.938	0.284355
9	0.00250627	399.0	38.1089	629.047	0.302693
<b>10</b>	<b>0.00278474</b>	<b>359.1</b>	<b>757.871</b>	<b>1386.92</b>	<b>0.667375</b>
11	0.00306321	326.455	3.12371	1390.04	0.668878

- **ALIVIO DIRIGIDO AL EMBALSE**

Este alivio es el resultado que se obtiene cuando los niveles del Embalse de Guataparo alcanzan la cota alivio y son conducidos al Embalse Pao Cachinche. De las 10896 observaciones iniciadas en Enero (1) del año 1985 hasta Octubre (31) del año 2014 trazadas en la Figura 4.16, se observa un comportamiento disperso iniciado en el año 2010, por este motivo se seleccionara las observaciones de tiempo comprendidas entre Enero (1) del año 2010 hasta Octubre (31) del año 2014, con un numero de mediciones igual a 1795 mostradas en la Figura 4.17, siendo más representativo por ser comportamientos contemporáneos a la fecha.

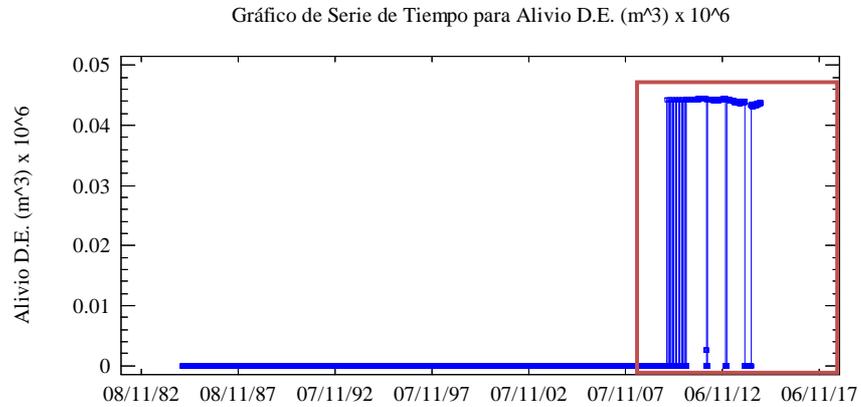


Figura 4.16. Serie de Tiempo para Alivio Dirigido al Embalse Pao Cachinche.

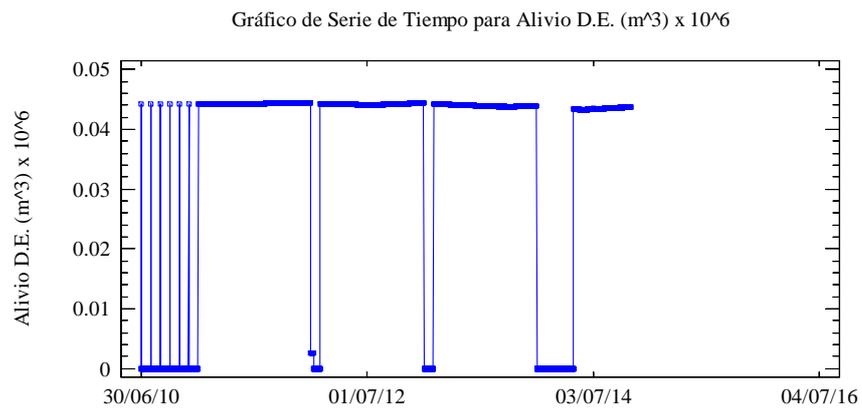


Figura 4.17. Serie de Tiempo para Alivio Dirigido al Embalse Pao Cachinche.

Pese a analizar un intervalo de tiempo más cerrado, mostrado en la Figura 4.17, estos alivios generados por el Embalse de Guataparo, tienen ausencia de ciclicidad y frecuencia en el tiempo esto se puede observar en la Figura 4.18, de periodograma, la cual arroja una ordenada de alta magnitud para una frecuencia de 0.00056 asociada a un periodo de 1795, el mismo número de mediciones para realización del estudio, puede que a futuro con mayores observaciones tienda a tener un conducta frecuencial.

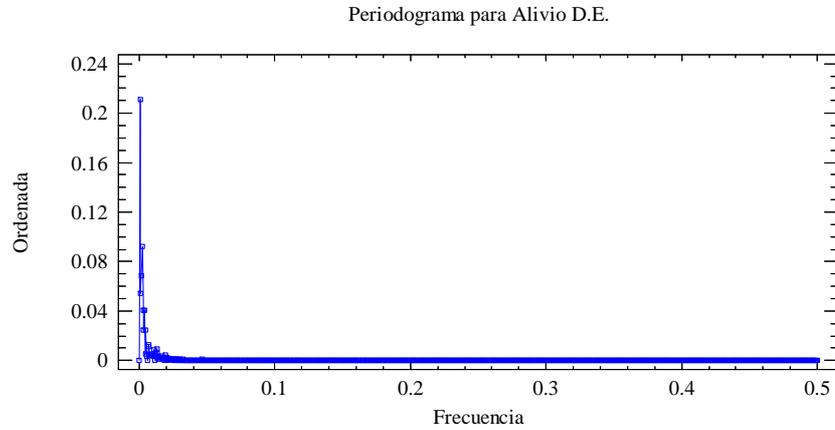


Figura 4.18. Periodograma para Alivio Dirigido al Embalse Pao Cachinche.

Tabla de Periodograma de Alivio Dirigido al Embalse Pao Cachinche con los primeros 4 valores de (i) de 997 valores.

Tabla 4.8: Periodograma para Bombeo en el Embalse Pao Cachinche.

				Suma	Periodograma
i	Frecuencia	Periodo	Ordenada	Acumulada	Integrado
0	0.0		1.49035E-30	1.49035E-30	2.06319E-30
1	<b>0.000566572</b>	<b>1765.0</b>	<b>0.211536</b>	<b>0.211536</b>	<b>0.292843</b>
2	0.00113314	882.5	0.0540333	0.265569	0.367645
3	0.00169972	588.333	0.0684572	0.334026	0.462414
4	0.00226629	441.25	0.091851	0.425877	0.58957

- **NIVELES EN EL EMBALSE PAO CACHINCHE**

Para obtener mejores resultados se hizo una corrida de todos los datos, tal cual fueron proporcionados, para así visualizar en mejor medida los cambios o dispersiones en las mediciones. Estos resultados con cifra significativa de dispersión fueron modificados manualmente a valores promedios de las medidas entre los datos con la finalidad de mitigar un poco los errores de medición. Los datos comprendidos

entre el 01/04/83-29/04/83 fueron sustituidos automáticamente por el software Statgraphics. Lográndose observar continuidad de la grafica con los resultados obtenidos.

Tabla 4.9: Suavización de datos obtenidos mediante medición directa.

<b>Fecha</b>	<b>Nivel</b>	<b>Nivel corregido</b>	<b>Fecha</b>	<b>Nivel</b>	<b>Nivel corregido</b>
01/04/83	Sin dato	350.33	27/04/83	Sin dato	349.03
02/04/83	Sin dato	350.28	28/04/83	Sin dato	349.375
03/04/83	Sin dato	350.23	29/04/83	Sin dato	350.363
04/04/83	Sin dato	350.18	02/06/83	352.62	Sin modificar
05/04/83	Sin dato	350.13	03/06/83	350.58	352.58
06/04/83	Sin dato	350.08	04/06/83	352.62	Sin modificar
07/04/83	Sin dato	350.03	03/03/88	350.57	Sin modificar
08/04/83	Sin dato	349.98	04/03/88	351.52	350.52
09/04/83	Sin dato	349.93	05/03/88	350.48	Sin modificar
10/04/83	Sin dato	349.88	27/01/91	350.84	Sin modificar
11/04/83	Sin dato	349.83	28/01/91	380.80	350.80
12/04/83	Sin dato	349.78	29/01/91	350.76	Sin modificar
13/04/83	Sin dato	349.73	31/05/94	348.18	Sin modificar
14/04/83	Sin dato	349.68	01/06/94	345.15	348.15
15/04/83	Sin dato	349.63	02/06/94	348.22	Sin modificar
16/04/83	Sin dato	349.58	23/05/96	349.06	Sin modificar
17/04/83	Sin dato	349.53	24/05/96	346.06	349.06
18/04/83	Sin dato	349.48	25/05/96	349.06	Sin modificar
19/04/83	Sin dato	349.43	28/04/97	350.63	Sin modificar
20/04/83	Sin dato	349.38	29/04/97	353.60	350.60
21/04/83	Sin dato	349.33	30/04/97	350.56	Sin modificar
22/04/83	Sin dato	349.28	01/05/97	352.48	350.48
23/04/83	Sin dato	349.23	02/05/97	350.44	Sin modificar
24/04/83	Sin dato	349.18	24/06/97	349.91	Sin modificar
25/04/83	Sin dato	349.13	25/06/97	359.95	349.95
26/04/83	Sin dato	349.08	26/06/97	349.99	Sin modificar

En la Figura 4.19 se muestran los datos de la serie de tiempo de los niveles del embalse Pao Cachinche, iniciando el 01 de Enero del año 1983 hasta el 19 de Noviembre del año 2014, con un número de observaciones de 11646 días. En el cual se observa un comportamiento más disperso entre los años 1982-2010. Llegando a un comportamiento más estable a partir del año 2011, por lo tanto se decide analizar la ventana de tiempo comprendida entre 2011-2014.

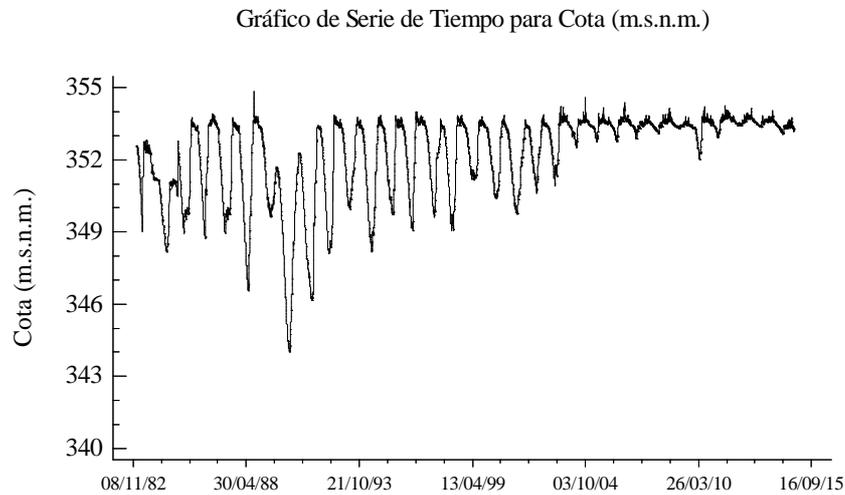


Figura 4.19. Serie de Tiempo para Cotas del Embalse Pao Cachinche.  
Fuentes: Aponte, González 2015.

Los intervalos de observación y Análisis se reflejan en la Figura 4.20. El primero periodo está sujeto a los datos suministrados por Hidrocentro así como la dispersión en el tiempo de la variable en estudio, y el segundo esta propuesto en función de obtener un patrón contemporáneo y poder mitigar las limitaciones que presente el software por altas dispersiones presentes en las observaciones realizadas Statgraphics en cuanto al pronóstico a generar.



Figura 4.20. Periodo de calibración y validación, embalse Pao-Cachinche.

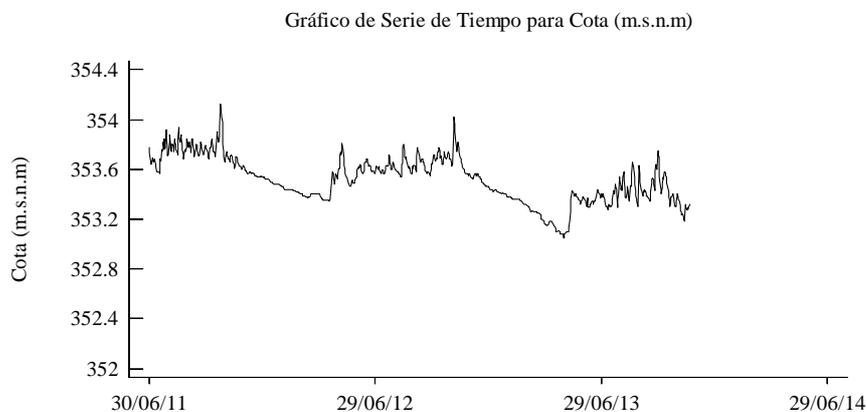


Figura 4.21. Serie de Tiempo para Niveles del Embalse Pao Cachinche.

En la Figura 4.21, se presenta la serie de tiempo de análisis de la Cota del Embalse Pao Cachinche realizadas con un número de observaciones 1419 iniciada el 1 de Enero del año 2011 y finalizada en Noviembre 19 del año 2014, presentando una frecuencia predominante del análisis espectral observado en el periodograma en función al elevado valor de ordenada, arrojando como resultado un periodo aproximado de 1 año (354.75 días), con una frecuencia 0.0028, así lo reflejan la Figura 4.22 y en la tabla fuente de la misma.

Tabla de Periodograma de Cota del Embalse Pao Cachinche con los primeros 6 valores de (i) de 709 valores.

Tabla 4.10. Periodograma para Niveles en el Embalse Pao Cachinche.

				Suma	Periodograma
i	Frecuencia	Periodo	Ordenada	Acumulada	Integrado
0	0.0		4.07559E-24	4.07559E-24	6.71767E-26
1	0.000704722	1419.0	14.241	14.241	0.23473
2	0.00140944	709.5	6.36069	20.6017	0.339572
3	0.00211416	473.0	4.21402	24.8157	0.40903
<b>4</b>	<b>0.00281889</b>	<b>354.75</b>	<b>21.1401</b>	<b>45.9558</b>	<b>0.757477</b>
5	0.00352361	283.8	1.88109	47.8369	0.788482
6	0.00422833	236.5	2.51432	50.3513	0.829925

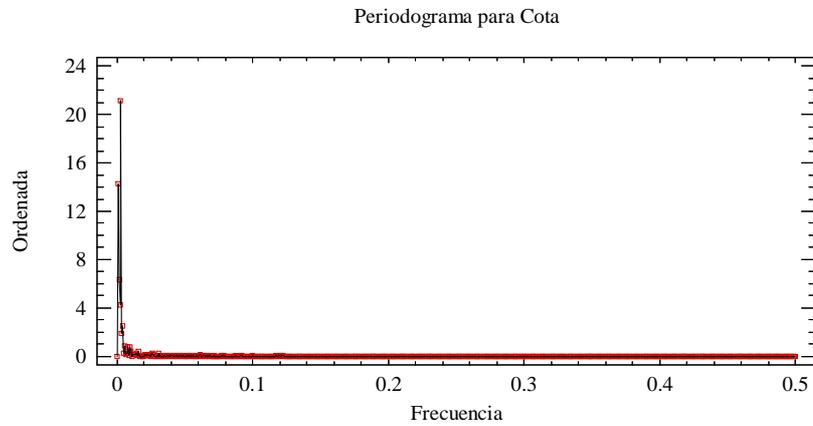


Figura 4.22: Periodograma para Cota del Embalse Pao Cachinche.  
Fuentes: Aponte, González 2015

Los volúmenes del embalse y el área que llegue a ocupar el espejo de agua estarán en función de la cota, leída mediante mediciones directa, por ende el estudio estacional y de frecuencia en el tiempo, tendrá el mismo comportamiento a la cota, ya que si bien la relación de la curva de área-capacidad de la Figura 4.23, no es lineal, el embalse almacenara mayor volumen y tendrá espejos de aguas de mayor área al aumentar la cota.

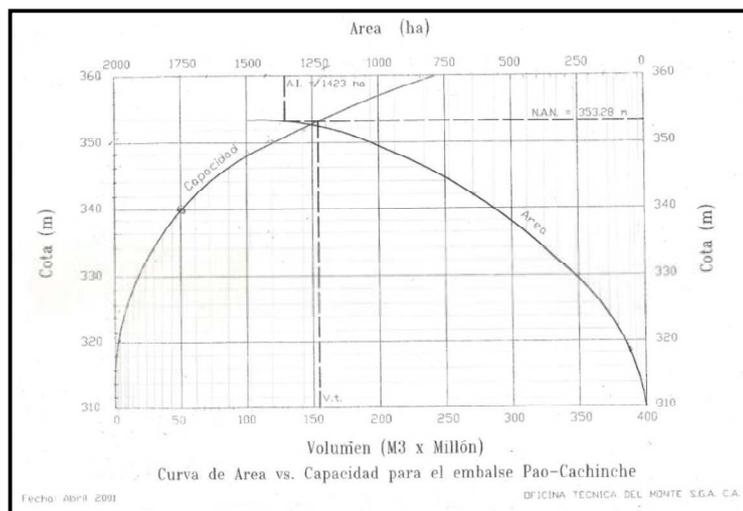


Figura 4.23. Curva Área-Capacidad del Embalse Pao Cachinche.

Esto se podrá reflejar en las siguientes graficas, comparando los valores asociado al pico mayor de ordenada de los Periodograma de Volumen y Área con los correspondientes a Cota.

Tabla 4.11. Valores de Frecuencia, Periodo y Ordenada de las variables Operacionales.

<b>VARIABLE</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>PERIODO</b>	<b>ORDENADA</b>
• <b>Cota</b>	0.00281889	354.75	21.1401
• <b>Volumen</b>	0.00281889	354.75	3766.78
• <b>Área</b>	0.00281889	354.75	93775.1

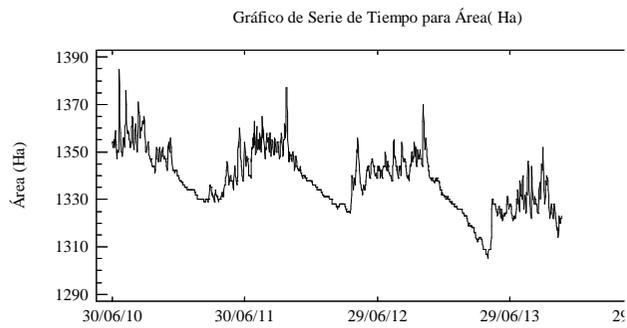


Figura 4.24. Serie de Tiempo para Volumen mensuales del Embalse Pao Cachimche.

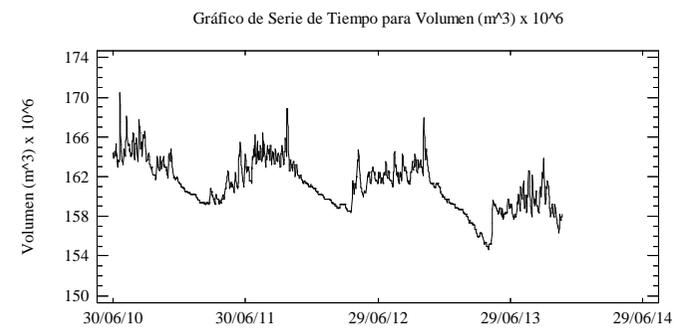


Figura 4.26 Serie de Tiempo para Área mensuales del Embalse Pao Cachimche.

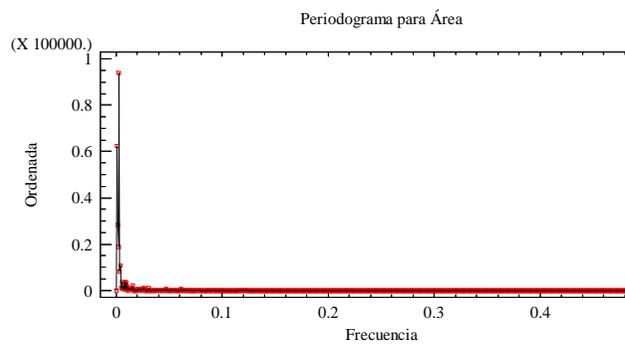


Figura 4.25. Periodograma para Volumen del Embalse Pao Cachimche.

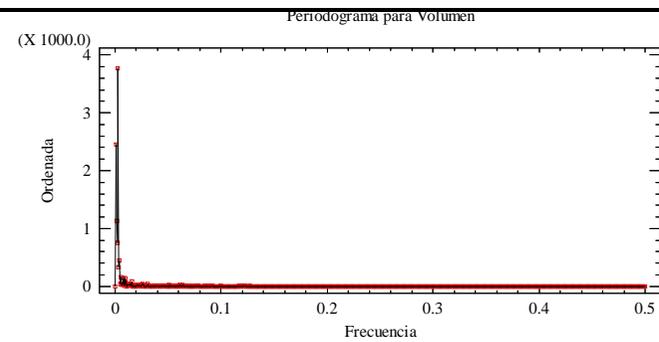


Figura 4.27. Periodograma para Área del Embalse Pao Cachimche.

## EMBALSE GUATAPARO

Dentro de las variables climatológicas presentes en el Embalse Guataparo la Precipitación, la Evaporación y Gasto Ecológico no se logran medir por la ausencia de instrumentos meteorológicos relacionados a su determinación, por ende no se podrá desarrollar el estudio, estacional y frecuencial de las mismas; solo obteniendo análisis en el tiempo de los Aporte de Ríos, donde esta es una variable producto de una estimación.

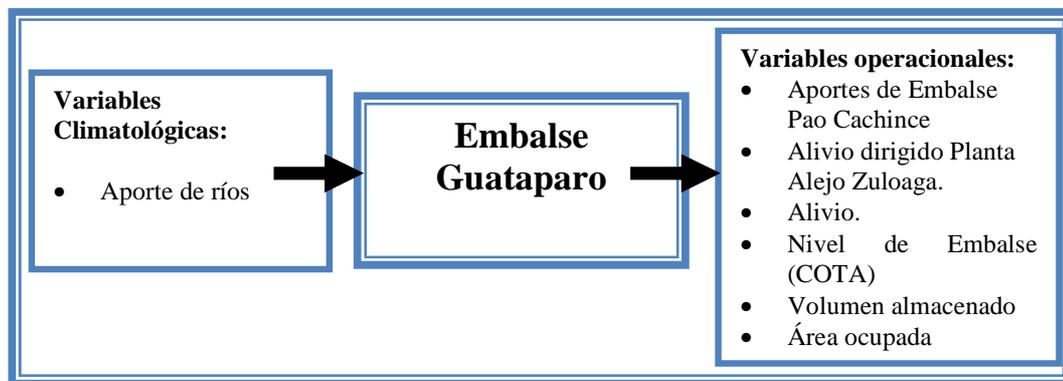


Figura 4.28. Variables Presentes en el Embalse Guataparo.

## VARIABLES CLIMATICAS PRESENTES EN EL EMBALSE GUATAPARO

### • APORTE DE RIOS.

La estimación de esta variable está ausente de precisión y exactitud, por dos motivos importantes:

1. La imposibilidad de medición de precipitación, evaporación y Gasto Ecológico.
2. La estimación de aportes de ríos mediante a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Río}(m^3 \times 10^6) = DV_n + A_n - AE_n + ADAZ_n$$

*Ecu. (4.4)*

Donde:

$DV_n$  = Representa la diferencia de volumen almacenado del embalse entre el día anterior a la estimación y el día de la estimación.

$A_n$  = Alivio del embalse en el día de la estimación, este solo dependerá del nivel de cota que alcance el embalse y supere la cota de alivio.

$AE_n$  = Aporte del Embalse Pao Cachinche en el día de la estimación. Realizado por bombeo desde el embalse

$ADAZ_n$  = Alivio del embalse en el día de la estimación, este dependerá de la demanda de la población y de la capacidad de potabilización de la plata Alejo Zuloaga.

Comparando esta con la *Ecu. (4.3)* que nos permite la estimación de los Aporte de Ríos en el Embalse Pao Cachinche, como simple bosquejo se puede observar la ausencia de las variables, precipitación, evaporación y gasto ecológico, de forma física se asume un equilibrio entre ellas, es decir:

$$0 = P_n - GE_n - E_n \quad \text{Ecu. (4.5)}$$

Donde:

$P_n$  = Precipitación del día de la estimación, determinada por un pluviómetro.

$E_n$  = Evaporación del día de la estimación, determinada por una tina tipo a.

$GE_n$  = Gasto ecológico, corresponderá al caudal necesario para preservar los cauces aguas abajo, siendo esta una variable producto de una medición.

Además se considera que  $Río \geq 0$ , de ser menor de cero (0) se llevara a la magnitud a cero (0), no existe explicación física para que la estimación del aporte arroje valores negativo.

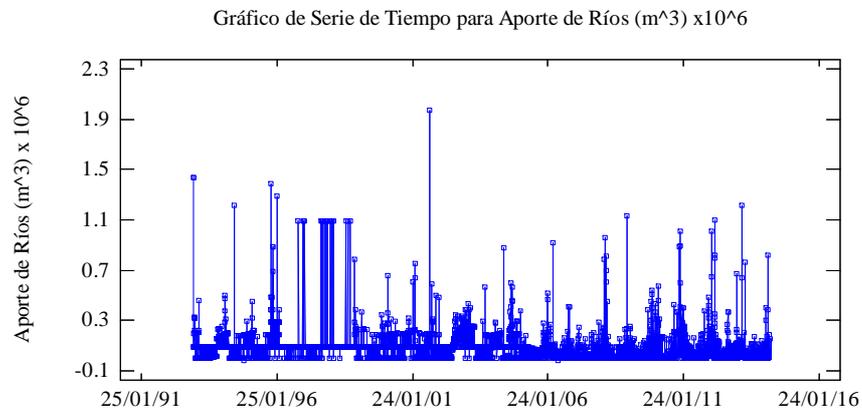


Figura 4.29.Serie de Tiempo para Aporte de Ríos  
Embalse Guataparo

En la Figura 4.29, refleja el comportamiento estacional mucho más marcado desde el año 2004 hacia adelante, abandonando un estado donde se observan dispersiones para una ventana de tiempo antes del año 2004, sobre el Aporte de Ríos en la serie de tiempo iniciada desde el 31 de Agosto del año 1993 hasta el 19 de Noviembre del año 2014 con un numero de observaciones igual a 7754.

Pese a esta discontinuidad presentada, el periodo base de frecuencia se aproxima a un año, para ser preciso se encuentra con una oscilación 369,238 días para una frecuencia de 0.0027, observado en la Figura 4.30 de periodograma y en la tabla asociada a ella.

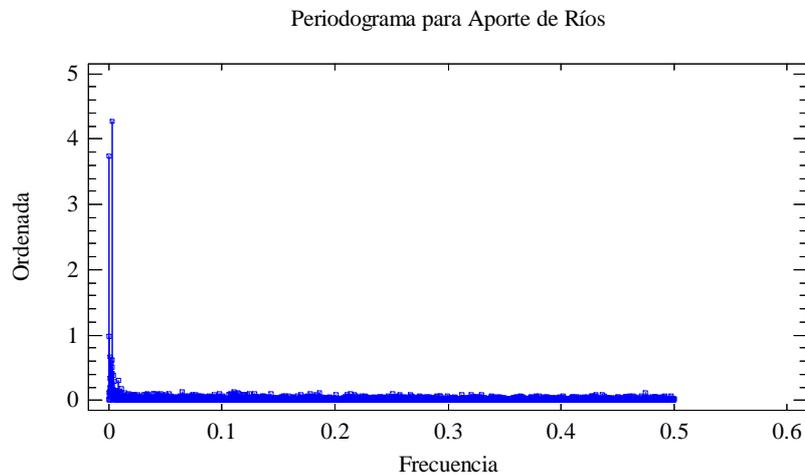


Figura 4.30. Periodograma para Aporte de Ríos del Embalse Guataparo.  
Fuentes: Aponte, González 2015

Tabla de Periodograma para Aporte de Ríos con los primeros 21 valores de (i) de 997 valores.

Tabla 4.12. Periodograma para Aporte de Ríos en el Embalse Guataparo

i	Frecuencia	Periodo	Ordenada	Suma Acumulada	Periodograma Integrado
0	0.0		2.5862E-19	2.5862E-19	2.98723E-21
1	0.000128966	7754.0	3.73141	3.73141	0.0431002
2	0.000257931	3877.0	0.119773	3.85118	0.0444837
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
17	0.00219242	456.118	0.0842398	8.51551	0.0983598
18	0.00232138	430.778	0.420679	8.93619	0.103219
19	0.00245035	408.105	0.420362	9.35655	0.108074
20	0.00257931	387.7	0.62207	9.97862	0.11526
<b>21</b>	<b>0.00270828</b>	<b>369.238</b>	<b>4.26612</b>	<b>14.2447</b>	<b>0.164536</b>

### VARIABLES OPERACIONALES PRESENTES EN EL EMBALSE GUATAPARO

- **APORTES DEL EMBALSE PAO-CACHINCHE**

Estos aportes de parte del Embalse Pao Cachinche se han generado a partir del año 2005 hasta la fecha, con un comportamiento aleatorio, estableciéndose para lapsos continuos con picos máximos de hasta  $0.115 \text{ m}^3 \times 10^6$ .

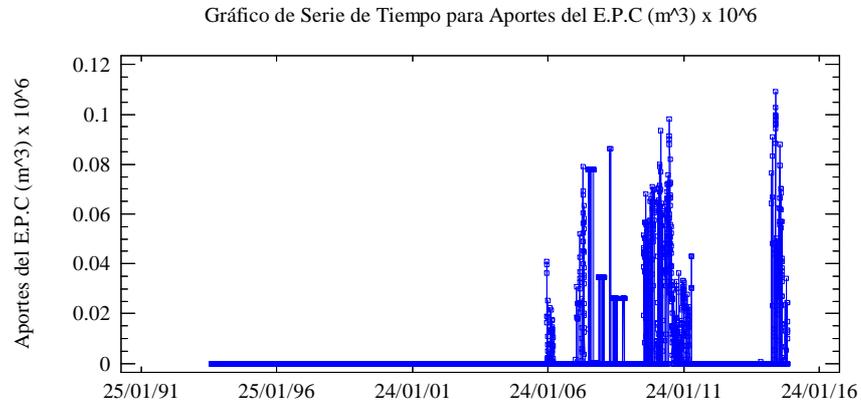


Figura 4.31. Serie de Tiempo para Alivios Dirigidos del Embalse Pao Cachinche al Embalse Guataparo

La falta de frecuencia en periodos asociados a esta se manifiesta en el periodograma, donde el periodo estimado de ocurrencia arroja como valor la misma cantidad de observaciones, no encontrando una frecuencia para esta variable.

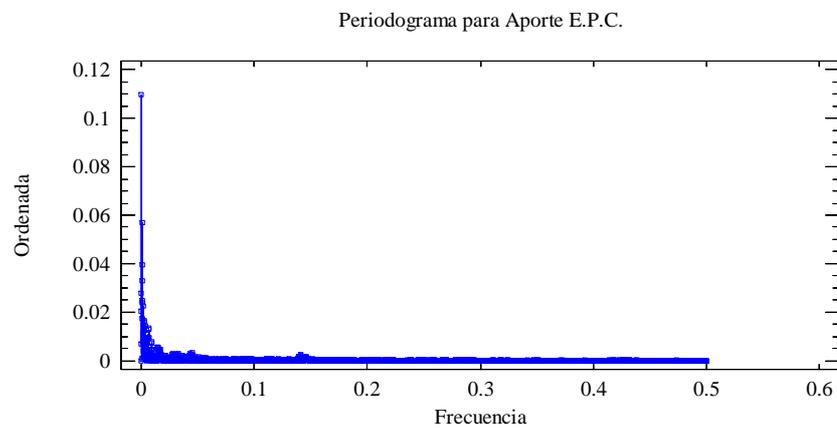


Figura 4.32. Periodograma para Alivios Dirigidos del Embalse Pao Cachinche al Embalse Guataparo

Tabla de Periodograma para Alivios Dirigidos del Embalse Pao Cachinche al Embalse Guataparo con los primeros 3 valores de (i) de 997 valores.

Tabla 4.13. Periodograma para Alivios Dirigidos del Embalse Pao Cachinche al Embalse Guataparo

				Suma	Periodograma
i	Frecuencia	Periodo	Ordenada	Acumulada	Integrado
0	0.0		3.251E-20	3.251E-20	2.44756E-20
<b>1</b>	<b>0.000128966</b>	<b>7754.0</b>	<b>0.109578</b>	<b>0.109578</b>	<b>0.0824971</b>
2	0.000257931	3877.0	0.0279502	0.137528	0.10354
3	0.000386897	2584.67	0.0205026	0.15803	0.118976

- **ALIVIO DIRIGIDO A PLANTA ALEJO ZULOAGA**

El alivio dirigido a la planta potabilizadora dependerá absolutamente de la demanda de la población y de los niveles que presente el embalse para poder cubrir esta demanda.

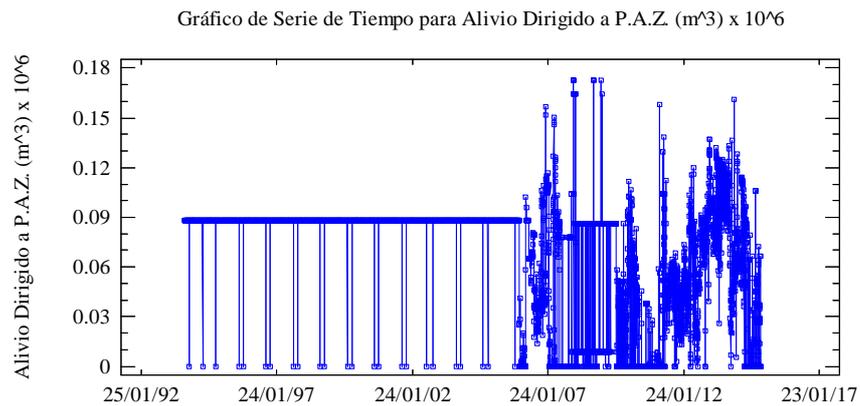


Figura 4.33. Serie de Tiempo para Alivios Dirigidos P.A.Z. del Embalse Guataparo

Visualizando un descenso para los últimos años, en la Figura 4.33, de un comportamiento constante que tenía hasta finales del año 2006, debido a esto se marca aleatoriedad y falta de frecuencia.

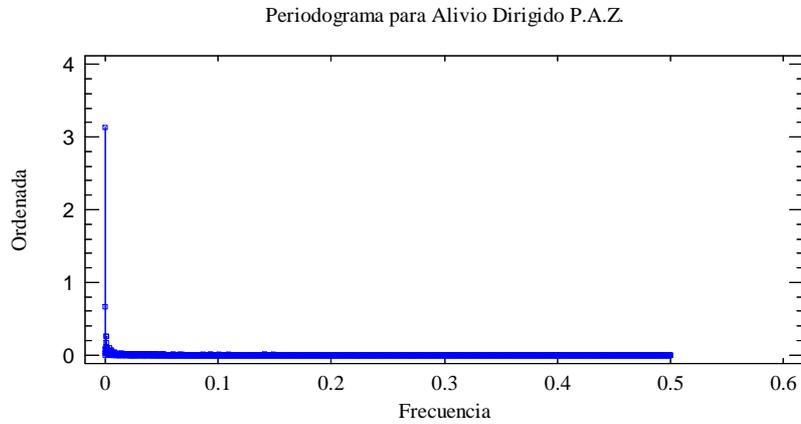


Figura 4.34. Periodograma para Alivios Dirigidos P.A.Z. del Embalse Guataparo.

Tabla de Periodograma para Alivios Dirigidos del Embalse Pao Cachinche al Embalse Guataparo con los primeros 3valores de (i) de 997 valores.

Tabla 14.Periodograma para Alivios Dirigidos del Embalse Pao Cachinche al Embalse Guataparo

				Suma	Periodograma
i	Frecuencia	Periodo	Ordenada	Acumulada	Integrado
0	0.0		2.21767E-18	2.21767E-18	2.25404E-19
<b>1</b>	<b>0.000128966</b>	<b>7754.0</b>	<b>3.13927</b>	<b>3.13927</b>	<b>0.319077</b>
2	0.000257931	3877.0	0.667979	3.80725	0.38697

- **ALIVIO**

El alivio que se puede presentar en el embalse dependerá de que los niveles superen el nivel de Alivio, debido a las pérdidas considerables los últimos tiempos, el alivio tienden a estar prácticamente ausente, por ende no se considerara en el estudio para el embalse.

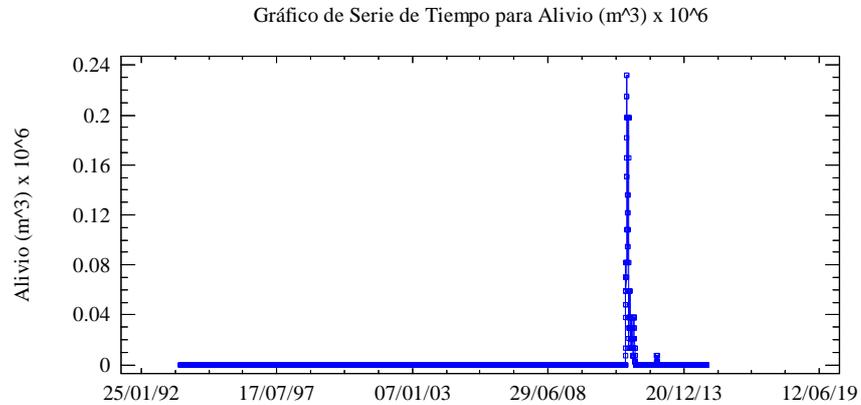


Figura 4.35. Serie de tiempo para Alivio del Embalse Guataparo.

- **COTA**

Para el Embalse de Guataparo se tomaran todas las observaciones suministradas por Hidrocentro, principalmente debido a las pocas observaciones registradas y a la ausencia de mediciones y/o estimaciones de variables climáticas de aportes o extracción en el mismo.



Figura 4.36. Periodo de Observación y Análisis, Embalse Guataparo.

En la Figura 4.37 se muestran los datos de la serie de tiempo de los niveles del embalse Guataparo, iniciando el 1 de Septiembre del año 1993, con un número de observaciones de 7754 días. En el cual se observa un comportamiento estocástico, aparentemente aleatorio, directamente arrojando un periodo 2584.67 días, lo que próxima a 7 años, asociado a una frecuencia 0.00037.

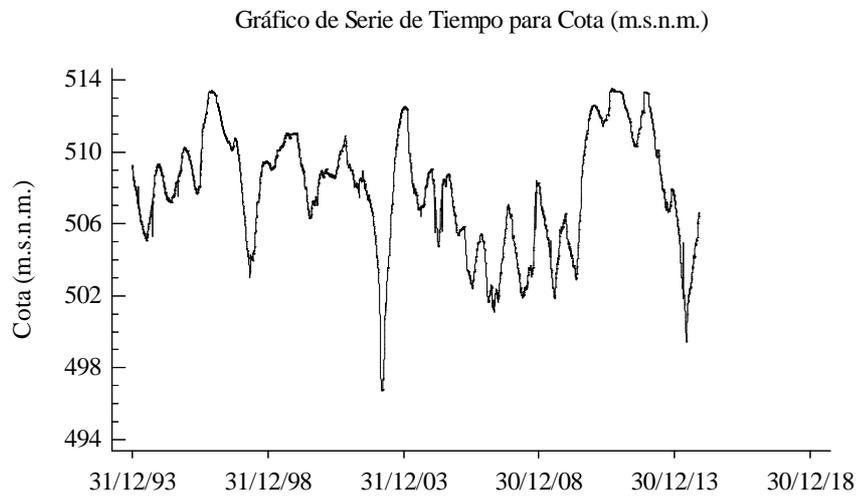


Figura 4.37. Serie de Tiempo para Niveles del embalse Guataparo.

Esta frecuencia y periodo asociado a ella pueden ser producto de un comportamiento aleatorio o directamente la estacionalidad que presenta el embalse, por ello será necesario que se ampliar el número de observaciones para dar garantía de ello, por lo tanto es imprescindible seguir tomando y ejecutando descripciones de comportamiento para esta variable.

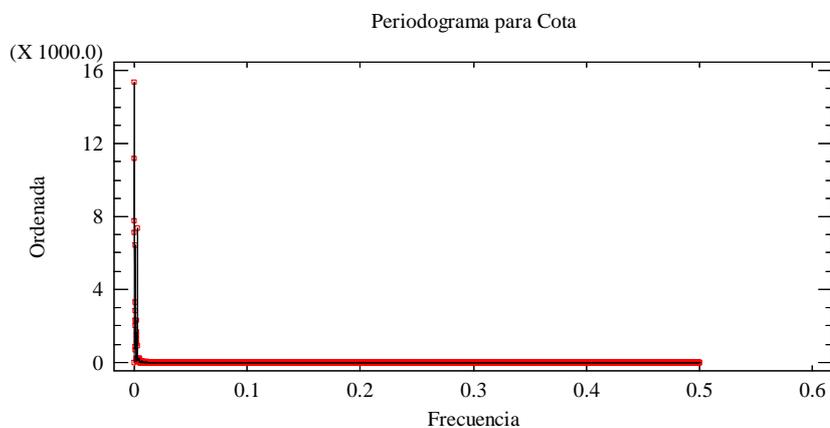


Figura 4.38. Periodograma de Cota del embalse Guataparo.  
Fuentes: Aponte, González 2015

En la siguiente tabla se muestra el periodograma para los niveles, con los primeros 5 valores de (i) de 997 valores.

Tabla 4.15. Periodograma para Aporte Alivios Dirigidos del Embalse Pao Cachinche al Embalse Guataparo.

i	Frecuencia	Periodo	Ordenada	Suma Acumulada	Periodograma Integrado
0	0.0		8.05391E-19	8.05391E-19	1.00687E-23
1	0.000128966	7754.0	11217.6	11217.6	0.140239
2	0.000257931	3877.0	7782.38	19000.0	0.237532
<b>3</b>	<b>0.000386897</b>	<b>2584.67</b>	<b>15397.6</b>	<b>34397.6</b>	<b>0.430028</b>
4	0.000515863	1938.5	7131.61	41529.2	0.519185
5	0.000644828	1550.8	2853.81	44383.0	0.554862

Debido a que el estudio del volumen almacenado y el área que ocupe en la zona corresponderán en función de la Curva Área-Capacidad Figura 4.39. El comportamiento que presenten estas variables será el mismo que el de la cota del embalse, como lo muestra la Tabla 4.16 donde se denotan los mismos periodos y frecuencia, evidenciando la misma conducta.

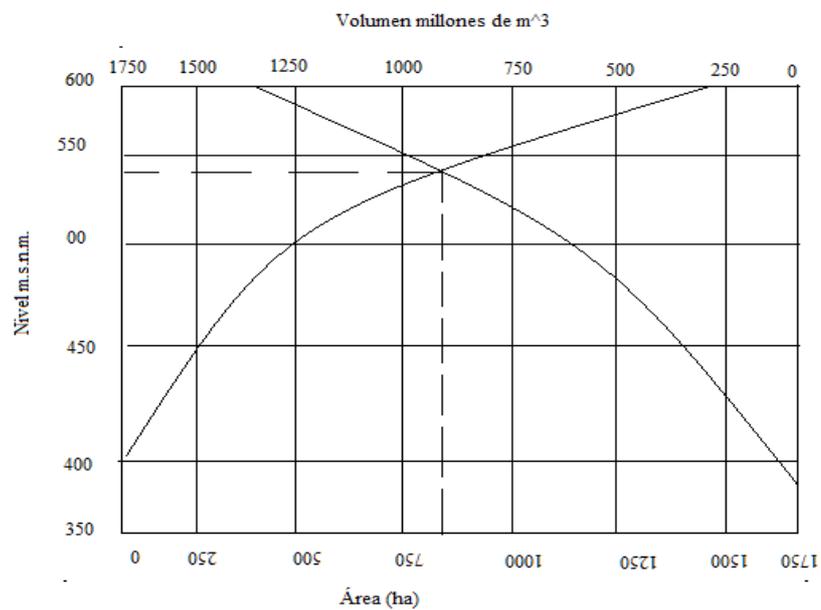


Figura 4.39. Curva Área-Capacidad del Embalse Pao Cachinche.

Tabla 4.16. Valores de Frecuencia, Periodo y Ordenada de las variables Operacionales

VARIABLE	FRECUENCIA	PERIODO	ORDENADA
• Cota	0.000386897	2584.67	15397.6
• Área	0.000386897	2584.67	1.10306E7
• Volumen	0.000386897	2584.67	71257.7

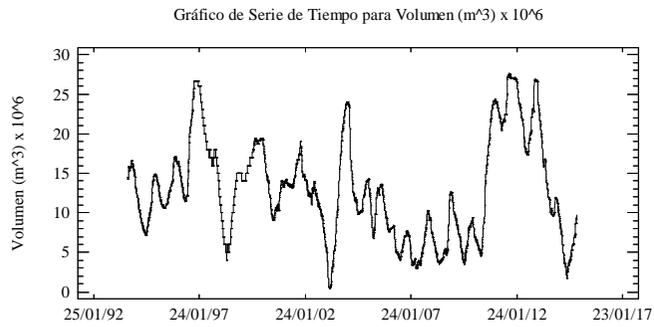


Figura 4.40. Serie de Tiempo para Volumen del Embalse Guataparo. Fuentes: Aponte, González 2015.

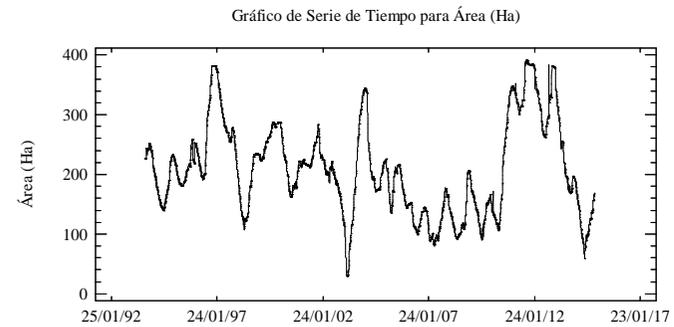


Figura 4.42. Serie de Tiempo para Cota del Embalse Guataparo. Fuentes: Aponte, González 2015.

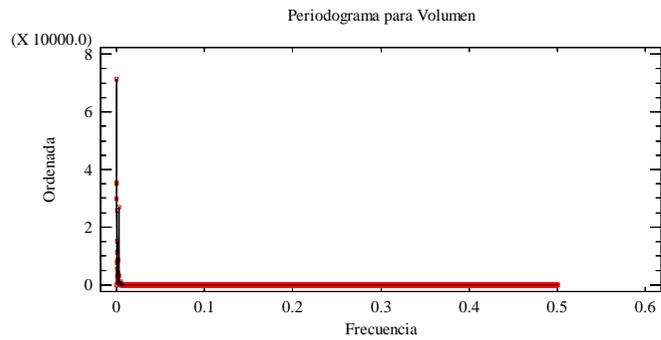


Figura 4.41. Periodograma para Volumen del Embalse Guataparo. Fuentes: Aponte, González 2015.

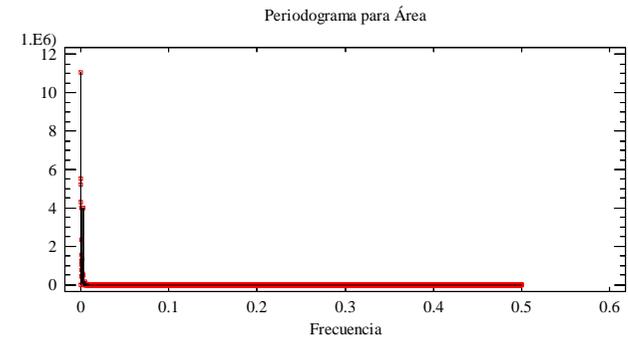


Figura 4.43. Periodograma para Área del Embalse Guataparo. Fuentes: Aponte, González 2015.

## EMBALSE PAO LA BALSA

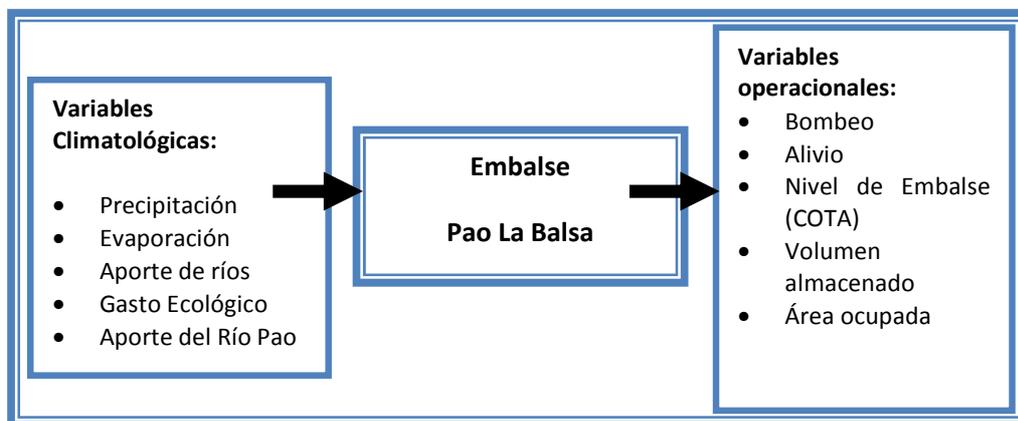


Figura 4.44. Variables Presentes en el Embalse Pao La Balsa.

### VARIABLES CLIMATOLOGICAS PRESENTES EN EL EMBALSE PAO LA BALSA

Las variables climáticas están sujetas al régimen climático presente en el país, es decir estación lluviosa y una estación de sequía.

- **PRECIPITACIÓN.**

Las precipitaciones que se presentan en el Embalse Pao La Balsa son medidas directamente con un pluviómetro instalado en las adyacencias del embalse, teniendo un comportamiento estacional representado por la Figura 4.45, que muestra la serie de tiempo iniciada en Enero (1) del año 1993 hasta Diciembre (12) del año 2014, con un número de observaciones de 8035.

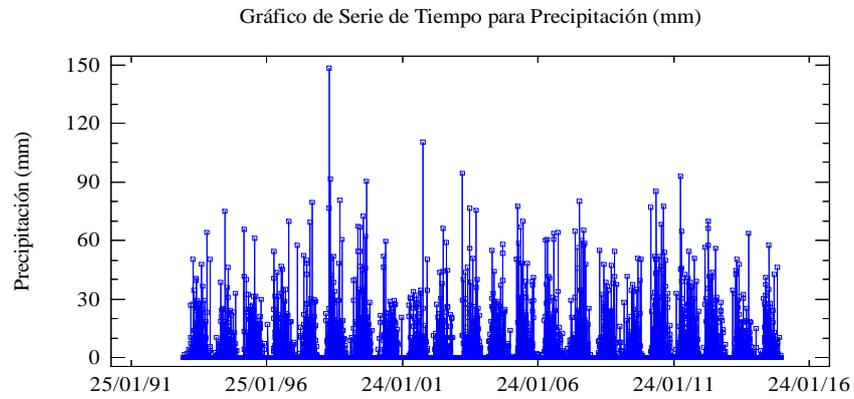


Figura 4.45. Serie de Tiempo para Precipitación del Embalse Pao La Balsa.

Observándose un descenso de magnitud de lluvia para los meses de sequia, y bien reflejado en esta Figura 4.45 mostrando este descenso para el mes de Enero. Esta estacionalidad repuntara en una frecuencia de ocurrencia y en un periodo marcado por el mayor valor de ordenada dado por el periodograma Figura 4.46.

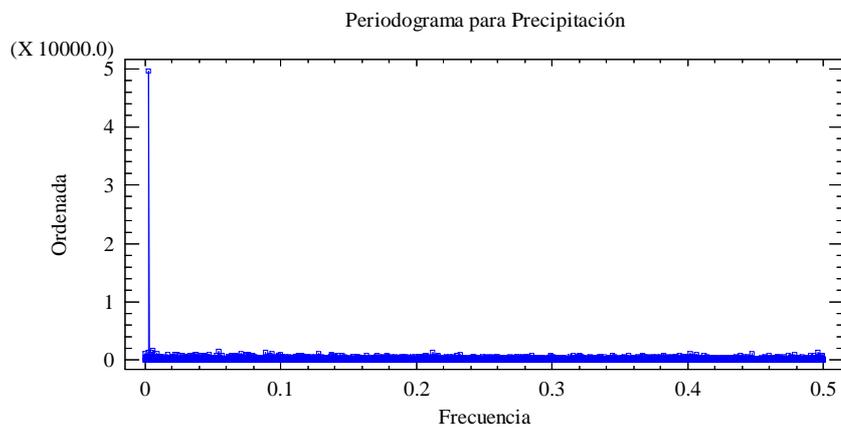


Figura 4.46. Periodograma para Precipitación del Embalse Pao La Balsa.

Tabla de Periodograma para precipitación con los primeros 24 valores de (i) de 997 valores.

Tabla 4.17. Periodograma para Precipitación del Embalse Pao La Balsa.

i	Frecuencia	Periodo	Ordenada	Suma Acumulada	Periodograma Integrado
0	0.0		7.78489E-26	7.78489E-26	1.04046E-31
1	0.000124456	8035.0	68.0471	68.0471	0.0000909454
2	0.000248911	4017.5	462.526	530.573	0.000709114
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
20	0.00248911	401.75	98.4775	6702.66	0.00895816
21	0.00261357	382.619	274.768	6977.43	0.00932539
<b>22</b>	<b>0.00273802</b>	<b>365.227</b>	<b>49506.4</b>	<b>56483.9</b>	<b>0.0754911</b>
23	0.00286248	349.348	96.46	56580.3	0.07562
24	0.00298693	334.792	177.085	56757.4	0.0758567

Poniéndose en manifiesto una base anual como periodo de frecuencia de la variable.

- **EVAPORACIÓN.**

La evaporación en el Embalse Pao La Balsa es medida a través de una Tina tipo A, con las mismas condiciones con las que es medida en el Embalse Pao Cachinche, colocando en práctica las ecuaciones *Ecu. (4.1)* y *Ecu. (4.2)*, resultando tener un comportamiento estacional y estar presente durante todo el año.

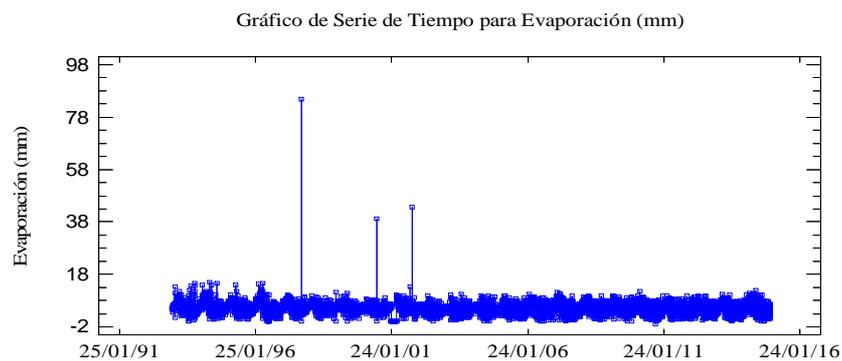


Figura 4.47. Serie de Tiempo para Evaporación del Embalse Pao La Balsa.

La Figura 4.47 representa la serie de tiempo para la Evaporación del Embalse Pao La Balsa con un numero de observaciones de 8035 iniciadas en Enero (1) del año 1993 y finalizadas en Diciembre (12) del año 2014 presentando el mismo comportamiento estacional de la evaporación presente en el embalse Pao Cachince, con una variación de los picos más altos que ronda entre 9mm y 12mm, observando un disminución de 2mm de los meses secos a partir del año 1998, esta variable presenta una mediana de 4.94mm y un promedio de 5mm. Realizando los estadísticos de promedio y mediana descartando las medidas que se pueden observar en ambas series de tiempo que salen del comportamiento y se observan que son dispersantes, que pudieron ser producto de un error instrumental o un error humano.

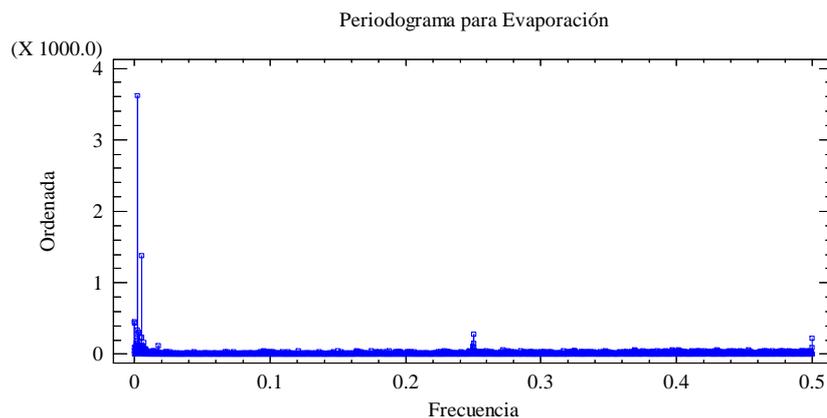


Figura 4.48. Periodograma para Evaporación del Embalse Pao La Balsa.

La representación Figura 4.48, del periodograma para la evaporación arroja como resultado previsto asociado al mayor valor de ordenada un periodo base aproximadamente de un año, pues bien los mayores valores de magnitud de evaporación se registraran como se observa en la serie de tiempo en los meses de sequia.

Tabla de Periodograma para Evaporación con los primeros 24 valores de (i) de 997 valores.

Tabla 4.18. Periodograma para Evaporación del Embalse Pao La Balsa.

i	Frecuencia	Periodo	Ordenada	Suma Acumulada	Periodograma Integrado
0	0.0		3.03934E-25	3.03934E-25	6.08368E-30
1	0.000124456	8035.0	451.862	451.862	0.00904467
2	0.000248911	4017.5	436.765	888.627	0.0177872
3	0.000373367	2678.33	89.077	977.704	0.0195702
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
21	0.00261357	382.619	196.43	2300.86	0.046055
<b>22</b>	<b>0.00273802</b>	<b>365.227</b>	<b>3612.05</b>	<b>5912.91</b>	<b>0.118355</b>
23	0.00286248	349.348	336.064	6248.97	0.125082
24	0.00298693	334.792	312.901	6561.87	0.131345

- **APORTE DE RÍOS**

El aporte de ríos es una estimación que se constituye por la medición y el cálculo de las variables que se presentan en la siguiente ecuación.

$$\text{Río}(m^3 \times 10^6) = DV_n - P_n - AR_n + E_n + GE_n + B_n + A_n$$

*Ecu. (4.6)*

Con la consideración de: Río  $\geq 0$ , de ser menor de cero (0) se llevara a la magnitud cero (0), no existe explicación física para que la estimación del aporte arroje valores negativo.

Donde:

$DV_n$ = Representa la diferencia de volumen almacenado del embalse entre el día anterior a la estimación y el día de la estimación.

$P_n$ = Precipitación del día de la estimación, determinada por un pluviómetro.

$AR_n$ = Aporte del Río Pao que directamente al embalse en estudio en el día de estimación.

$E_n$  = Evaporación del día de la estimación, determinada por una tina tipo a.

$GE_n$  = Gasto ecológico, corresponderá al caudal necesario para preservar los cauces aguas abajo, siendo esta una variable producto de una medición.

$B_n$  = Bombeo del embalse en el día de la estimación, este dependerá de la capacidad de la planta de bombeo y de la demanda de agua.

$A_n$  = Alivio del embalse en el día de la estimación, este solo dependerá del nivel de cota que alcance el embalse y supere la cota de alivio.

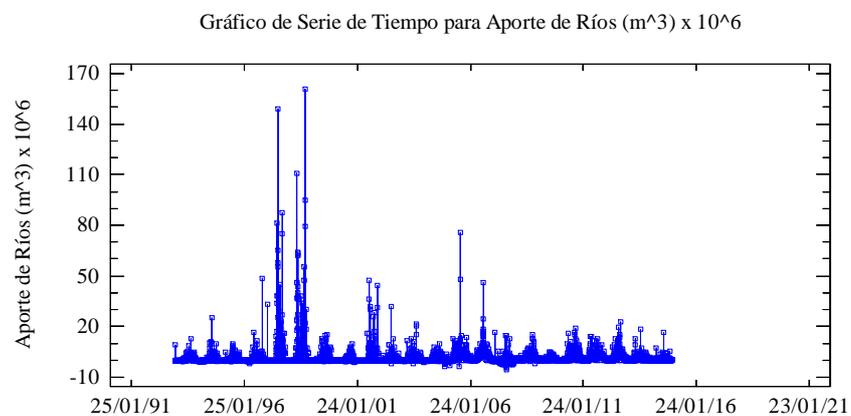


Figura 4.49. Serie de Tiempo para Aporte de Ríos del Embalse Pao La Balsa.

La serie de tiempo para Aporte de Ríos de la Figura 4.49, realizada con 8035 observaciones iniciada en Enero (1) del año 1993 hasta Diciembre (31) del 2014, muestra la frecuencia en el aumento de los aportes dada por la estacionalidad climática, con una frecuencia de ocurrencia 0.0027 para el número de observaciones, haciendo caer esta estacionalidad en una base anual indicado por el valor de la ordenada del periodograma de la Figura 4.42 Periodograma para Aporte de Ríos.

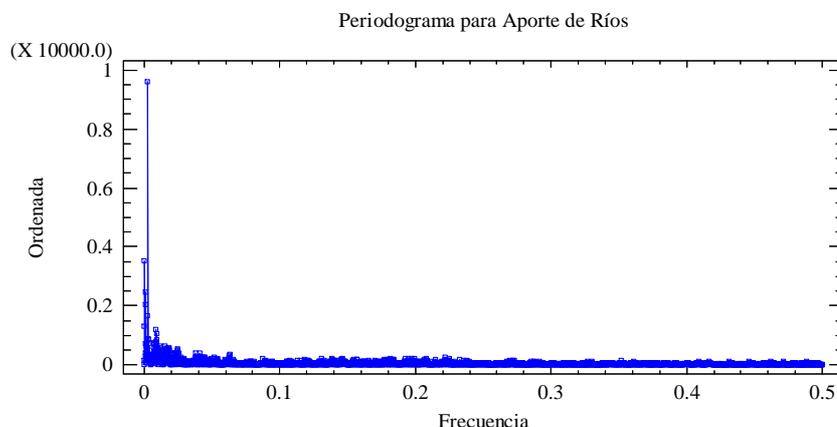


Figura 4.50. Periodograma para Aporte de Ríos del Embalse Pao La Balsa.

Tabla de Periodograma para Aporte de Ríos con los primeros 24 valores de (i) de 997 valores.

Tabla 4.19. Periodograma para Aporte de Ríos del Embalse Pao La Balsa.

i	Frecuencia	Periodo	Ordenada	Suma Acumulada	Periodograma Integrado
0	0.0		2.74918E-24	2.74918E-24	1.26494E-29
1	0.000124456	8035.0	140.624	140.624	0.000647035
2	0.000248911	4017.5	1291.51	1432.13	0.00658947
3	0.000373367	2678.33	3538.81	4970.94	0.0228721
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
21	0.00261357	382.619	469.756	16411.5	0.0755119
<b>22</b>	<b>0.00273802</b>	<b>365.227</b>	<b>9596.11</b>	<b>26007.6</b>	<b>0.119665</b>
23	0.00286248	349.348	137.977	26145.6	0.1203
24	0.00298693	334.792	338.994	26484.6	0.12186

- **APORTE DEL RÍO PAO**

Las mediciones de aportes del Río Pao corresponden a las descargas más los alivios realizados por el Embalse Pao Cachinche situado Agua arribas. Resultando tener un comportamiento cíclico estacional, para observaciones iniciadas el 1 de Enero del año 2008 hasta el 13 de Diciembre del año 2014 totalizando 2539 estimaciones Figura4.51.

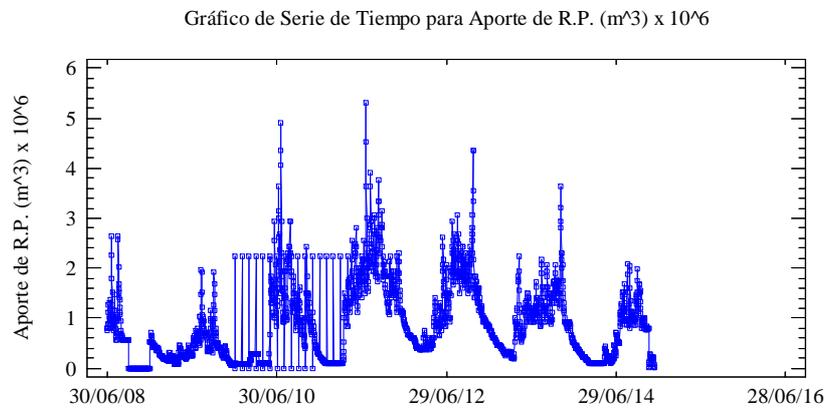


Figura 4.51: Serie de Tiempo para Aporte de Ríos del Embalse Pao La Balsa.

Esta estacionalidad se pone en evidencia con la razón del periodo de oscilación de la ciclicidad presente en el comportamiento de los aportes en la serie de tiempo aproximando a este a un año.

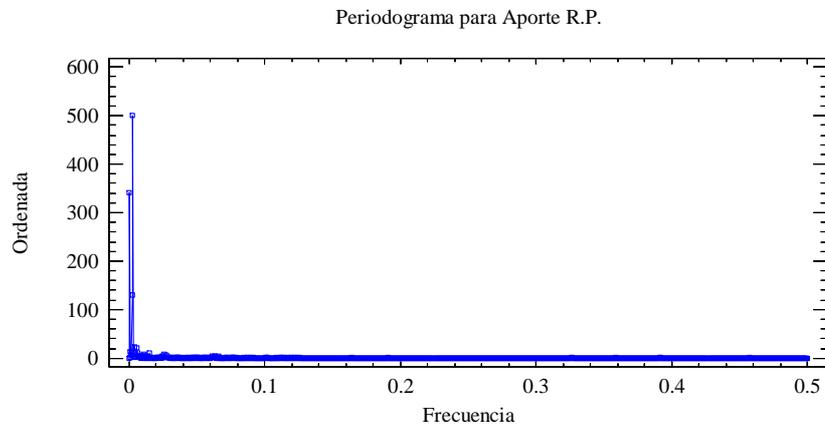


Figura 4.52. Periodograma para Aporte de Ríos del Embalse Pao La Balsa.

Tabla de Periodograma para Aporte de Ríos con los primeros 9 valores de (i) de 997 valores.

Tabla 4.20. Periodograma para Aporte de Ríos del Embalse Pao La Balsa.

				Suma	Periodograma
i	Frecuencia	Periodo	Ordenada	Acumulada	Integrado
0	0.0		1.33202E-25	1.33202E-25	9.26091E-29
1	0.000393856	2539.0	341.955	341.955	0.237746
2	0.000787712	1269.5	12.0734	354.028	0.24614
3	0.00118157	846.333	1.80382	355.832	0.247394
4	0.00157542	634.75	5.44346	361.276	0.251179
5	0.00196928	507.8	7.4512	368.727	0.256359
6	0.00236314	423.167	131.179	499.906	0.347562
<b>7</b>	<b>0.00275699</b>	<b>362.714</b>	<b>500.676</b>	<b>1000.58</b>	<b>0.69566</b>
8	0.00315085	317.375	0.614597	1001.2	0.696088
9	0.0035447	282.111	11.9471	1013.14	0.704394

Denotándose ampliamente la estacionalidad que presentan las variables climáticas, teniendo como periodo de oscilación aproximadamente un año, cayendo en esta base periódica debido al mayor valor de ordena de los periodogramas correspondientes.

Tabla 4.21. Valores de frecuencia y periodo de las variables climáticas

VARIABLE CLIMATICA	FRECUENCIA	PERIODO
• <b>Precipitación</b>	0.00273802	365.227
• <b>Evaporación</b>	0.00273802	365.227
• <b>Aporte de Ríos</b>	0.00273802	365.227

#### **VARIABLES OPERACIONALES PRESENTES EN EL EMBALSE PAO LA Balsa**

- **GASTO ECOLÓGICO**

El Gasto Ecológico que debe cumplir el Embalse Pao La Balsa con respecto a los afluentes aguas debajo se refleja en la Figura 4.53.

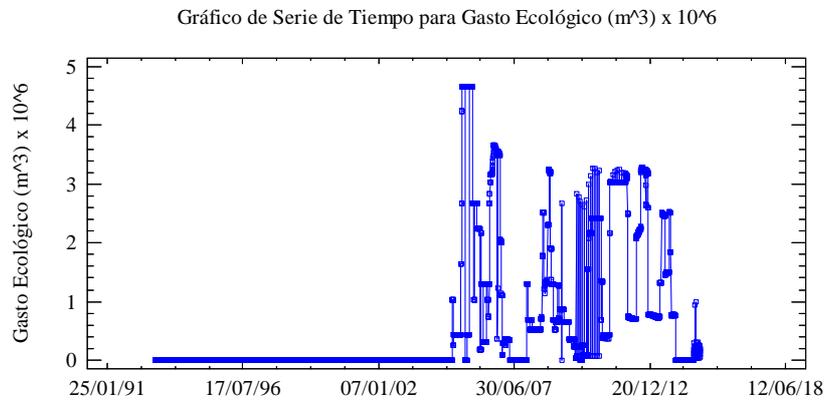


Figura 4.53. Serie de Tiempo para Gasto Ecológico del Embalse Pao La Balsa.

Mostrando un comportamiento aleatorio que es producto principalmente de las necesidades que tengan el cauce aguas abajo para preservar sus propiedades. De igual forma que pasa en el Embalse Pao Cachinche será necesario realizar un estudio en una ventana de tiempo mucho más amplia y a futuro, para definir la frecuencia y las necesidades en el espacio tiempo de estos cauces.

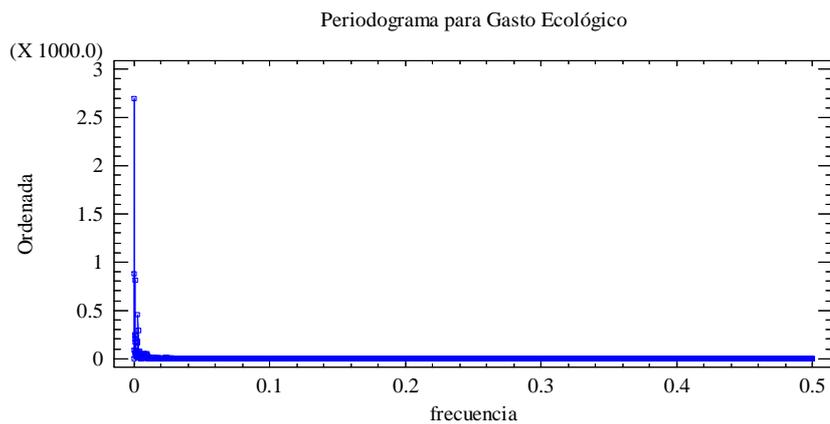


Figura 4.54. Periodograma para Gasto Ecológico del Embalse Pao La Balsa.

La aleatoriedad se pone en evidencia cuando el periodograma resultante designa un periodo base de 8035 días, misma cantidad de días en las que son realizadas las observaciones, es decir no logra concretar un periodo frecuencial menor al del estudio ni una frecuencia que lo asocie para esta serie.

Tabla de Periodograma para Gasto Ecológico con los primeros 4 valores de (i) de 997 valores.

Tabla 4.22. Periodograma para Gasto Ecológico del Embalse Pao La Balsa.

				Suma	Periodograma
i	Frecuencia	Periodo	Ordenada	Acumulada	Integrado
0	0.0		4.37867E-25	4.37867E-25	4.8352E-29
<b>1</b>	<b>0.000124456</b>	<b>8035.0</b>	<b>2693.97</b>	<b>2693.97</b>	<b>0.297485</b>
2	0.000248911	4017.5	82.7849	2776.76	0.306627
3	0.000373367	2678.33	880.146	3656.91	0.403818
4	0.000497822	2008.75	809.081	4465.99	0.493162

- **BOMBEO**

El bombeo que realice el embalse está en función de la Capacidad de la planta de bombeo y de la Demanda que solicite el Sistema Regional del Centro II. Presentando aleatoriedad en la serie de tiempo de análisis iniciada en Enero (1) del año 1993 y finalizada en Diciembre (31) del año 2014, con un numero de observaciones igual a 8035, manteniendo un valor constante de caudal de bombeo para los últimos años de  $0.648 \text{ m}^3 \times 10^6$  como se muestra en la Figura 4.55.

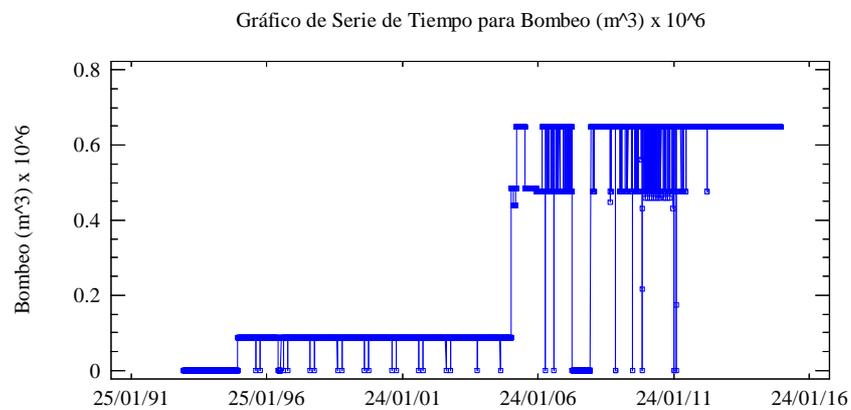


Figura 4.55. Serie de Tiempo para Bombeo del Embalse Pao La Balsa.

Esta aleatoriedad se afirma mediante el periodograma, el cual refleja un periodo igual al número de observaciones con una frecuencia igual al inverso de las observaciones realizadas.

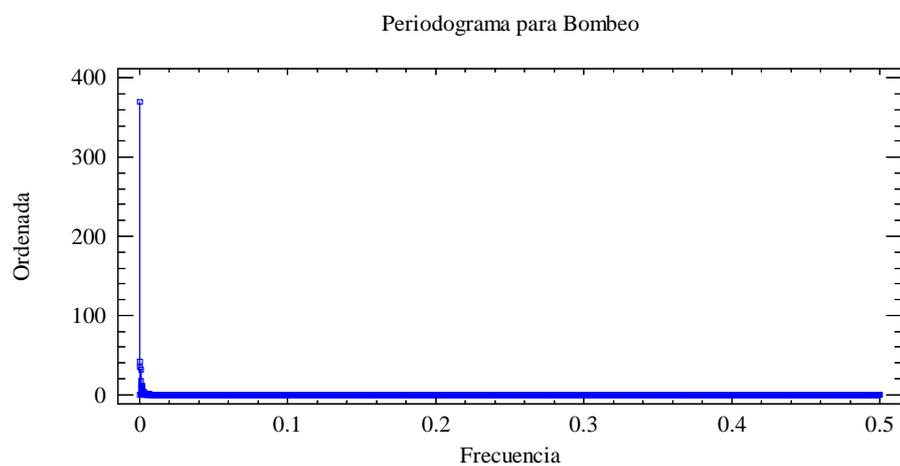


Figura 4.56. Periodograma para Bombeo del Embalse Pao La Balsa.

Tabla de Periodograma para Gasto Ecológico con los primeros 3 valores de (i) de 997 valores.

Tabla 4.23 Periodograma para Bombeo del Embalse Pao La Balsa.

i	Frecuencia	Periodo	Ordenada	Suma Acumulada	Periodograma Integrado
0	0.0		4.29617E-24	4.29617E-24	7.01554E-27
<b>1</b>	<b>0.000124456</b>	<b>8035.0</b>	<b>369.864</b>	<b>369.864</b>	<b>0.603977</b>
2	0.000248911	4017.5	42.1128	411.977	0.672747
3	0.000373367	2678.33	34.5977	446.574	0.729244

- **ALIVIO**

El alivio para el embalse Pao La Balsa corresponderá a la medición de caudal que supere la cota alivio del embalse

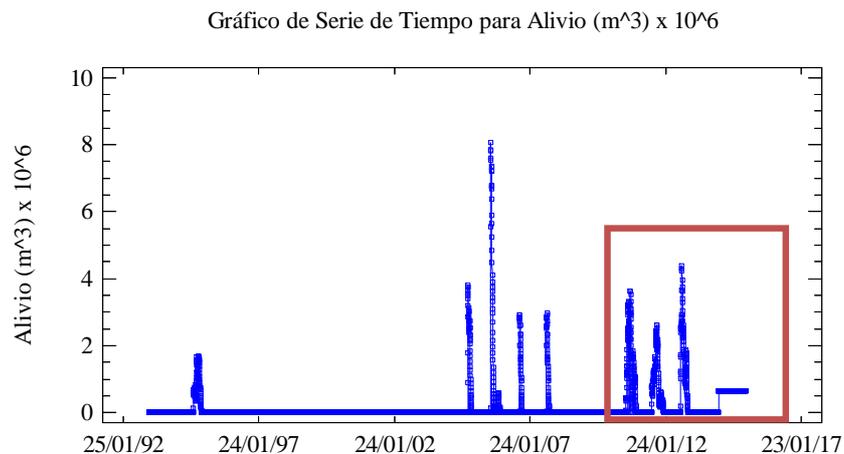


Figura 4.57. Serie de Tiempo para Alivio del Embalse Pao La Balsa.

Presentando una aleatoriedad notable la serie de tiempo Figura 4.57, producto de un número de observaciones igual a 8035 iniciadas el 1 de Enero del año 1993 y finalizadas el 31 de Diciembre del año 2014, reflejando para años posteriores del 2010 ciclicidad con un periodo base de 365.22 días, como lo muestra la Figura 4.58.

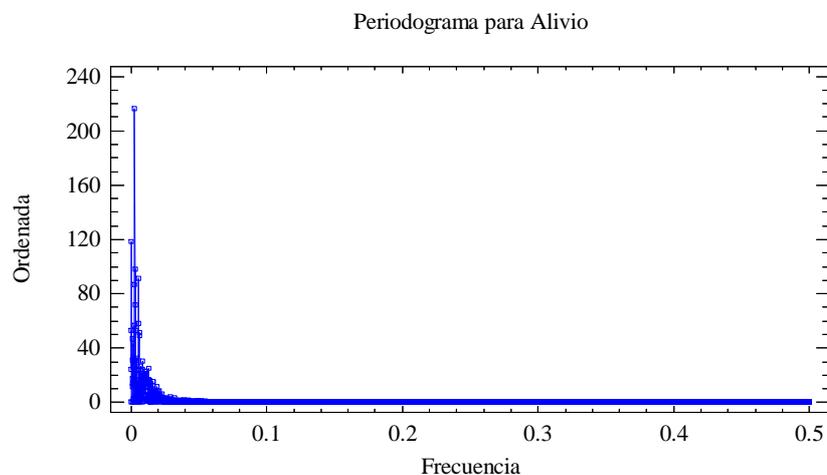


Figura 4.58. Periodograma para Alivio del Embalse Pao La Balsa.

Tabla de Periodograma para Gasto Ecológico con los primeros 23 valores de (i) de 997 valores.

Tabla 4.23 Periodograma para Alivio del Embalse Pao La Balsa.

i	Frecuencia	Periodo	Ordenada	Suma Acumulada	Periodograma Integrado
0	0.0		4.59815E-26	4.59815E-26	1.64943E-29
1	0.000124456	8035.0	118.537	118.537	0.0425212
2	0.000248911	4017.5	24.5349	143.072	0.0513223
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
20	0.00248911	401.75	0.706196	541.386	0.194204
21	0.00261357	382.619	86.6349	628.021	0.225281
<b>22</b>	<b>0.00273802</b>	<b>365.227</b>	<b>216.45</b>	<b>844.471</b>	<b>0.302925</b>
23	0.00286248	349.348	52.662	897.133	0.321816

- **NIVEL**

En la Figura 4.59 se muestran los datos de la serie de tiempo de los niveles del Embalse Pao la Balsa, iniciando el 01 de Enero del año 1992 hasta el 31 de Diciembre del año 2014, con un número de observaciones de 8401 días. En el cual se observa un comportamiento relativamente disperso.

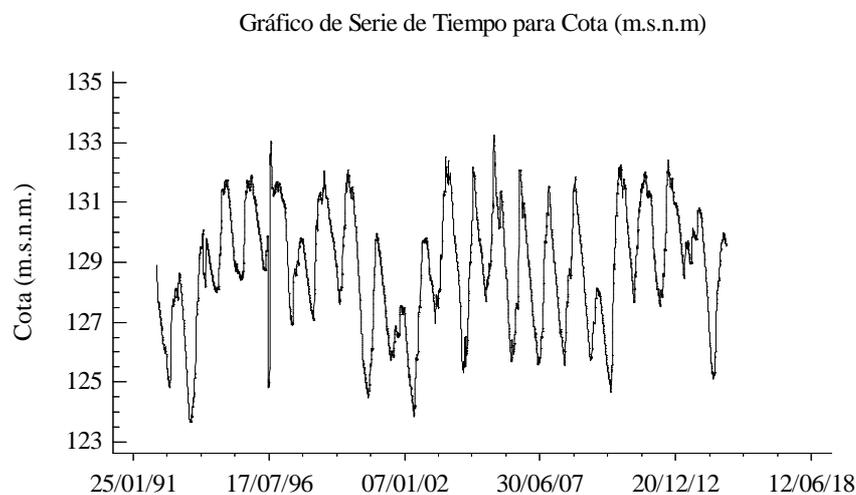


Figura 4.59. Serie de tiempo de los niveles diarias del embalse Pao la Balsa.

Los intervalos de observación y Análisis se reflejan en la Figura 4.60. El primero periodo está sujeto a los datos suministrados por HIDROCENTRO así como la dispersión en el tiempo de la variable en estudio, y el segundo esta propuesto en función de obtener un patrón contemporáneo y poder mitigar las limitaciones que presente el software por altas dispersiones presentes en las observaciones realizadas Statgraphics en cuanto al pronóstico a generar.



Figura 4.60. Periodo de calibración y validación, embalse Pao la Balsa.

En la Figura 4.61, se presenta la serie de tiempo de análisis del la Cota del Embalse Pao Balsa realizadas con un numero de observaciones igual a 4383, iniciada el 1 de Enero del año 2003 y finalizada en Diciembre 31 del año 2014, presentando una frecuencia predominante del análisis espectral observado en el periodograma en función al elevado valor de ordenada, arrojando como resultado un periodo

aproximado de 1 año (365.25días), con una frecuencia 0.0027, así lo reflejan la Figura y en la tabla fuente de la misma.

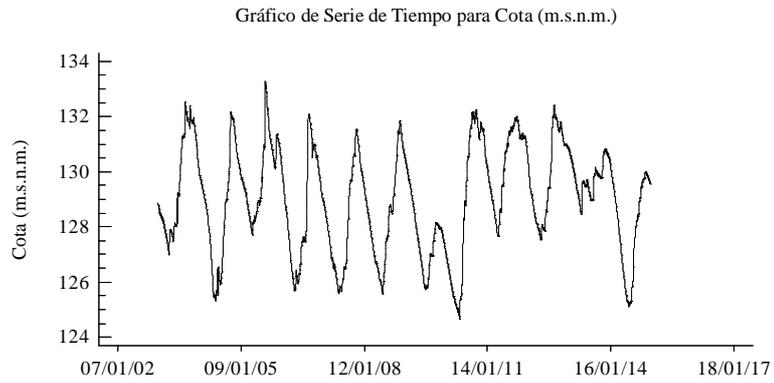


Figura 4.61. Serie de tiempo de los niveles diarias del embalse Pao la Balsa.

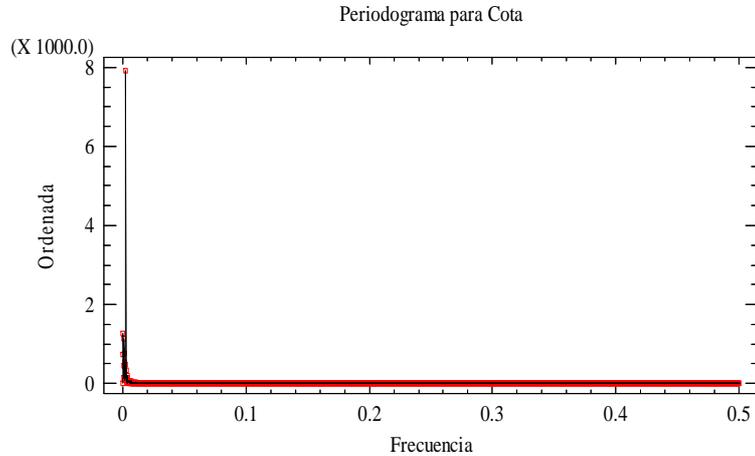


Figura 4.62. Periodograma para Cota del Embalse Pao La Balsa.

Tabla de Periodograma de Cota del Embalse Pao Cachinche con los primeros 14 valores de (i) de 709 valores.

Tabla 4.24. Periodograma para Bombeo del Embalse Pao La Balsa.

i	Frecuencia	Periodo	Ordenada	Suma Acumulada	Periodograma Integrado
0	0.0		5.86805E-22	5.86805E-22	3.66921E-26
1	0.000228154	4383.0	725.498	725.498	0.0453644
2	0.000456308	2191.5	1266.27	1991.77	0.124542
3	0.000684463	1461.0	459.613	2451.38	0.153281
4	0.000912617	1095.75	155.352	2606.73	0.162995
5	0.00114077	876.6	1126.22	3732.95	0.233416
6	0.00136893	730.5	777.088	4510.04	0.282006
7	0.00159708	626.143	544.931	5054.97	0.31608
8	0.00182523	547.875	102.965	5157.93	0.322518
9	0.00205339	487.0	429.81	5587.74	0.349394
10	0.00228154	438.3	489.964	6077.71	0.380031
11	0.0025097	398.455	148.956	6226.66	0.389345
<b>12</b>	<b>0.00273785</b>	<b>365.25</b>	<b>7906.67</b>	<b>14133.3</b>	<b>0.883738</b>
13	0.00296601	337.154	158.951	14292.3	0.893677
14	0.00319416	313.071	353.076	14645.4	0.915755

Los volúmenes del embalse y el área que llegue a ocupar el espejo de agua estarán en función de la cota, leída mediante mediciones directa, por ende el estudio estacional y de frecuencia en el tiempo, tendrá el mismo comportamiento a la cota, ya que si bien la relación de la curva de área-capacidad de la Figura 4.63, no es lineal, el embalse almacenara mayor volumen y tendrá espejos de aguas de mayor área al aumentar la cota.

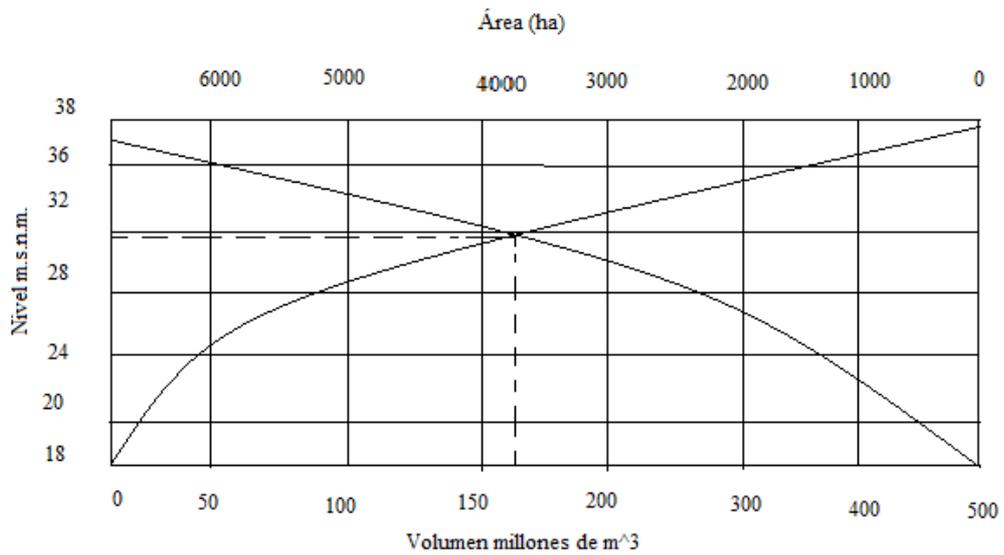


Figura 4.63. Curva Área-Capacidad del Embalse Pao la Balsa.

Esto se podrá reflejar en las siguientes Figuras, comparando los valores asociado al pico mayor de ordenada de los Periodograma de Volumen y Área con los correspondientes a Cota.

Tabla 4.25 valores de Frecuencia, Periodo y Ordenada de las variables Operacionales

VARIABLE	FRECUENCIA	PERIODO	ORDENADA
• Cota	0.00273785	365.25	7906.67
• Área	0.00273785	365.25	1.11357E9
• Volumen	0.00273785	365.25	1.21339E7

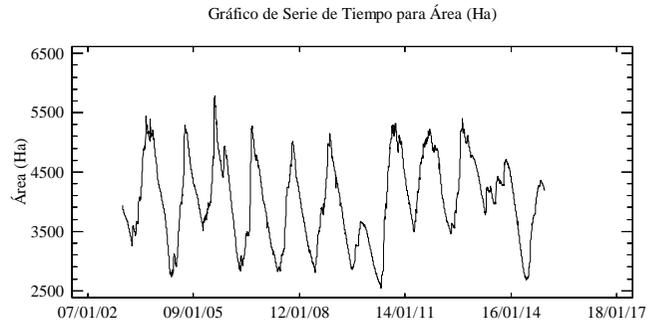


Figura 4.64. Serie de Tiempo para Área del Embalse Pao La Balsa

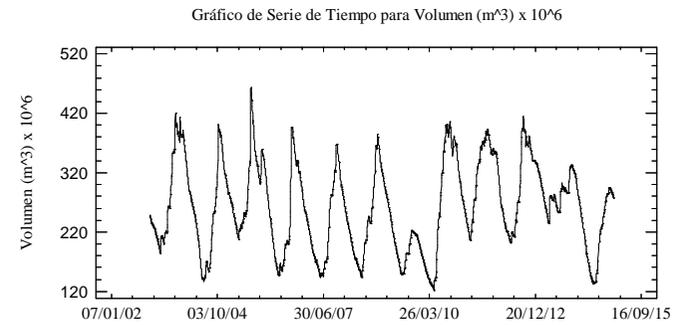


Figura 4.66. Serie de Tiempo para Volumen del Embalse Pao La Balsa

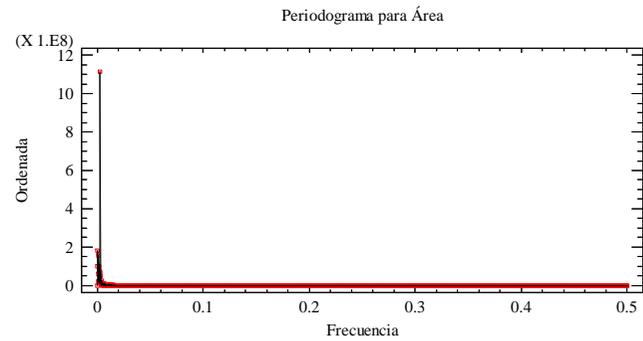


Figura 4.65. Periodograma para Área del Embalse Pao La Balsa

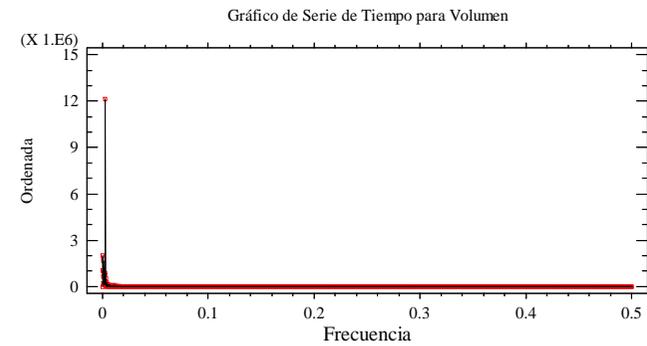


Figura 4.67. Periodograma para Área del Embalse Pao La Balsa

## 2. DIAGNOSTICO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE EMBLASES DEL ACUEDUCTO REGIONAL DEL CENTRO.

En base a las descripciones de las variables presentes en el embalse se podrá evidenciar mediante las entradas y salidas la operación en cada uno de los embalses que componen el Acueducto Regional del Centro

### EMBALSE PAO CACHINCHE

Definido el intervalo de análisis en las descripciones realizadas, es importante destacar que las observaciones de entradas y salidas de gasto se realizaran a partir del día 1 de Enero del año 2011, esto es necesario debido a la definición del volumen base para iniciar las comparaciones de entradas y salidas, este volumen base será el del día 31 de Diciembre del año 2010, un día anterior del inicio del intervalo de análisis, como se observa en la Figura 4.68.

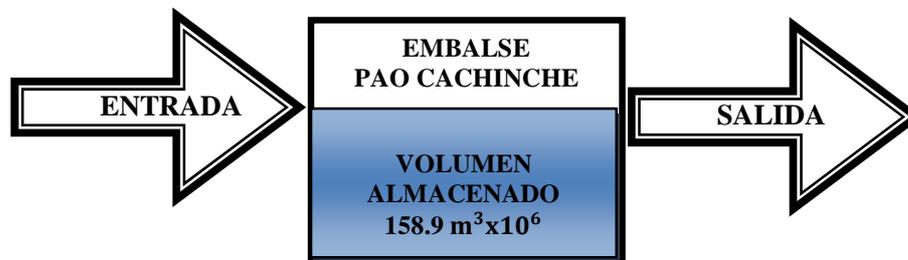


Figura 4.68. Entradas Vs Salidas con volumen acumulado del día 31 de Diciembre del 2010.

Donde los volúmenes de entradas están definidos por la estimación, aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{Volúmen de Entrada (m}^3\text{)x10}^6 = P_n + \text{Río}_n + \text{DA}_n$$

*Ecu. (4.7)*

Donde:

$P_n$  = Precipitación del día de la estimación, determinada por un pluviómetro.

$Río_n$  = Aportes de Ríos en el día de la estimación, determinado por medio de la *Ecu.(4.3)*.

$DA_n$  = Alivio de un embalse Aguas Arribas que aporta directamente al embalse en estudio en el día de estimación.

Mientras que los volúmenes de salidas se definen como:

$$\text{Volúmen de Salida (m}^3\text{)} \times 10^6 = GE_n + B_n + A_n + E_n$$

*Ecu. (4.8)*

Donde:

$GE_n$  = Gasto ecológico, corresponderá al caudal necesario para preservar los cauces aguas abajo, siendo esta una variable producto de una medición.

$B_n$  = Bombeo del embalse en el día de la estimación, este dependerá de la capacidad de la planta de bombeo y de la demanda de agua.

$A_n$  = Alivio del embalse en el día de la estimación, este solo dependerá del nivel de cota que alcance el embalse y supere la cota de alivio.

$E_n$  = Evaporación del día de la estimación, determinada por una tina tipo a.

Con ello se puede construir la grafica de volúmenes acumulados de entradas y salidas.

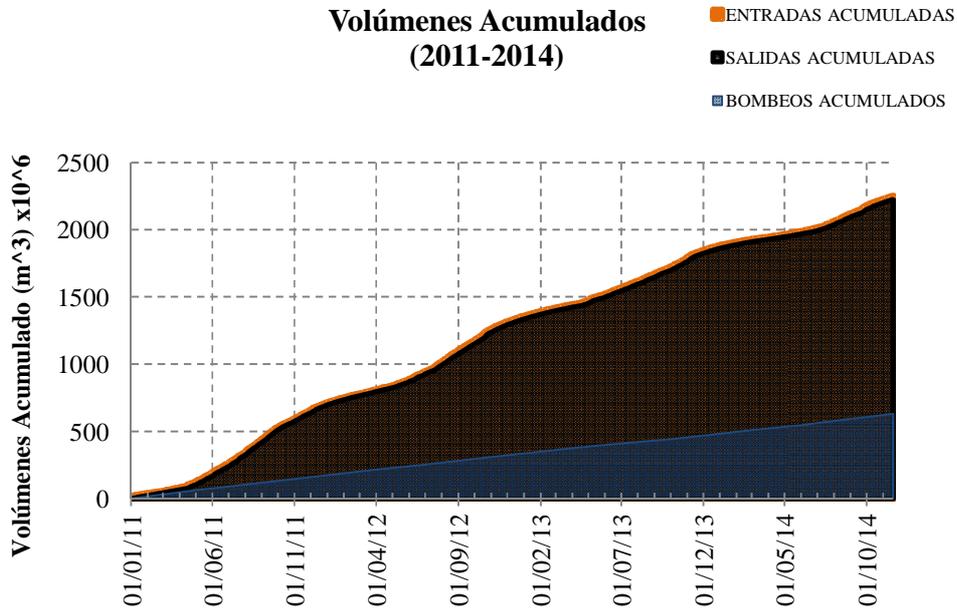


Figura 4.69. Volúmenes Acumulados de Entradas y Salidas (2011-2014) en el Embalse Pao Cachinche.

Logrando visualizar en la Figura 4.69 que la relación Entradas/Salidas se aproxima a 1, realizando un promedio de esta relación en el intervalo de tiempo seleccionado arroja un valor de 1.002, destacando que el volumen almacenado hasta el día 31 de Diciembre del 2010 no se ha visto afectado por esta variación de gasto, por ende el volumen para el día 31 de Octubre del año 2014 fecha para cual finaliza el intervalo de tiempo de análisis, se debe aproximar al mismo valor de volumen inicial.

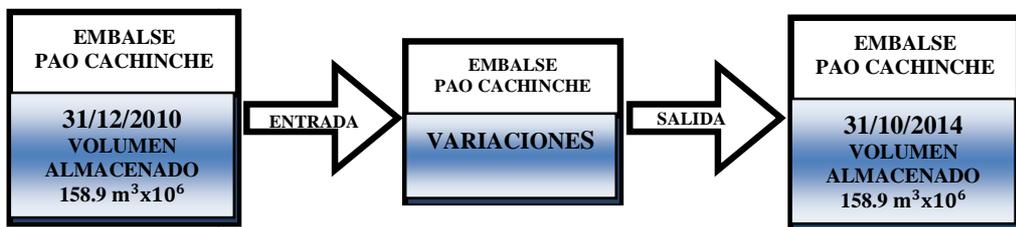


Figura 4.70. Variación de volumen en el intervalo (2011-2014)

De la misma manera se representa en la Figura 4.69, los volúmenes acumulados de Bombeo, siendo estos el más significativo respecto a los volúmenes de salidas. Presentando un incremento constante en los volúmenes de bombeo, debido al suministro constante de este caudal.

Debido a que la determinación del volumen está en función de la Curva Área-Capacidad (Figura 4.23) no se apreciara en este caso las ganancias o las perdidas poco significativa, es por ello será necesario plantear una grafica de ganancia o pérdidas acumuladas.

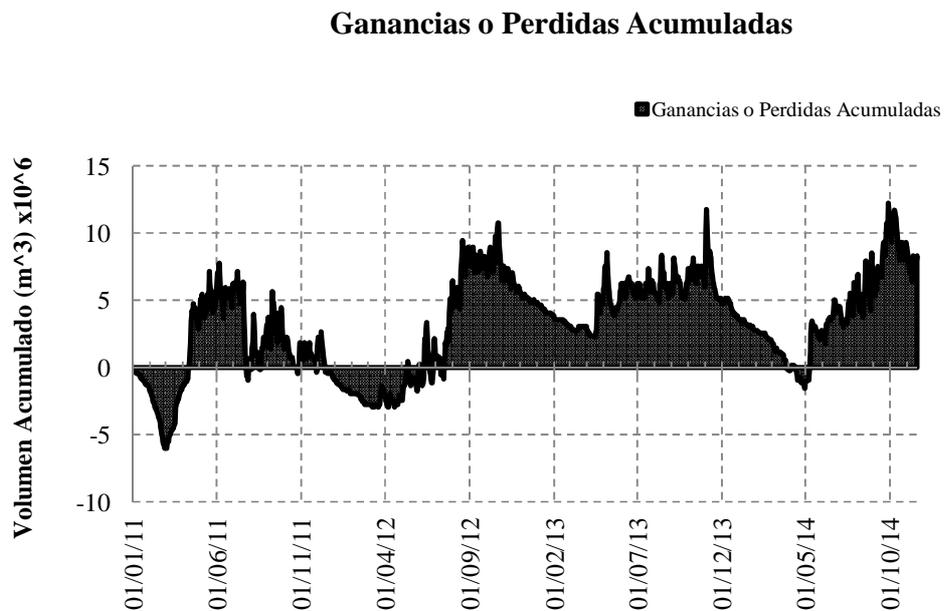


Figura 4.71. Ganancias o Pérdidas Acumuladas (2011-2014) en el Embalse Pao Cachinche.

Logrando poder apreciar en la Figura 4.71, una ganancia de aproximadamente de ocho millones de metros cúbicos ( $8 \text{ m}^3 \times 10^6$ ) representando un 5% del volumen almacenado para el día 31 de Diciembre del 2011.

Estas entradas están discreteados en diferentes aportes percibidos por el embalse y en consecuente es relevante establecer la relación porcentual de cada uno de estos aportes versus la entrada total en el día y observar su comportamiento de aporte diario en la ventana de tiempo seleccionada.

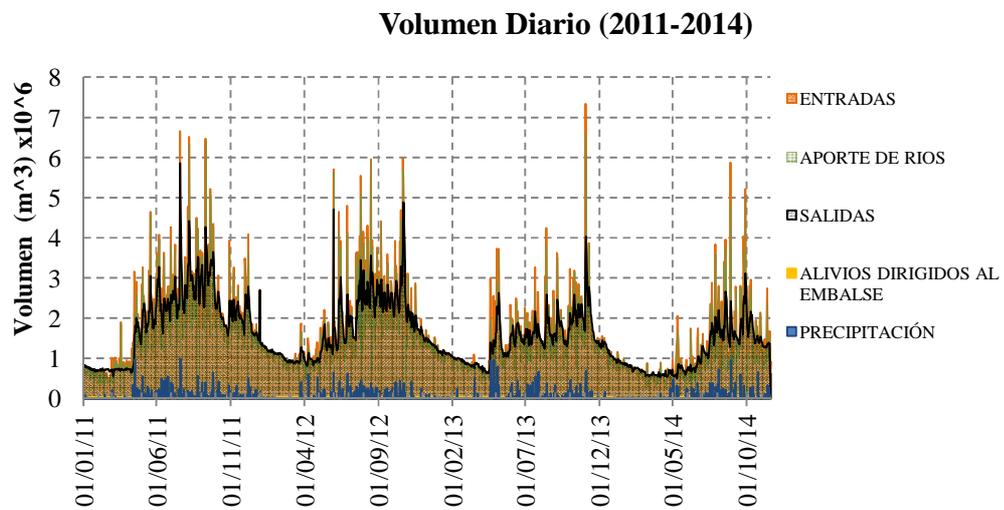


Figura 4.72. Volúmenes diarios (2011-2014) en el Embalse Pao Cachinche.

Observando en la Figura 4.72, la poca significación de los aportes percibidos por el Alivios Dirigidos al Embalse y la Precipitación se denota el papel primordial de las entradas de Aporte de Ríos el cual se observa que al igual que las precipitaciones sus mayores picos se alcanzan para los meses lluviosos. De misma forma se nota la aproximación del volumen de salida al volumen de Aporte de Ríos.

### Relacion Porcentual Aporte - Entrada total (2011-2014)

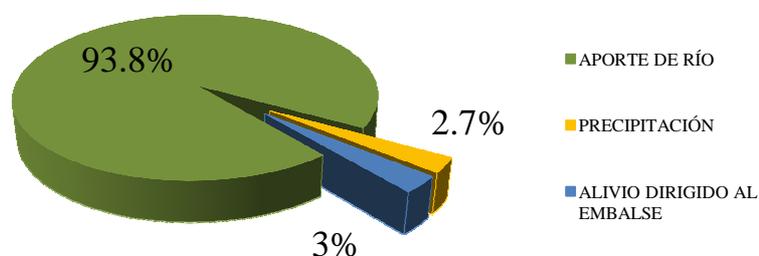


Figura 4.73. Relación porcentual Aporte – Entrada total (2011-2014) en el Embalse Pao Cachinche

El embalse Pao Cachinche fue construido con el propósito de suministrar agua a potable y riego a una población de aproximadamente de casi más tres millones de personas, pese a esto dentro de las demandas se pueden visualizar adicionalmente variables climáticas y operacionales diferentes de lo que sería el gasto correspondiente al consumo y el riego (Bombeo). Por este motivo es ineludible conocer qué porcentaje ocupa el caudal correspondiente a Bombeo respecto a las Salidas diarias. Con el gráfico 4.62., se logra visualizar la magnitud del volumen diario de las diferentes extracciones respecto a las salidas totales diarias, permitiendo determinar el porcentaje promedio del intervalo iniciado en el año 2011 hasta el año 2014.

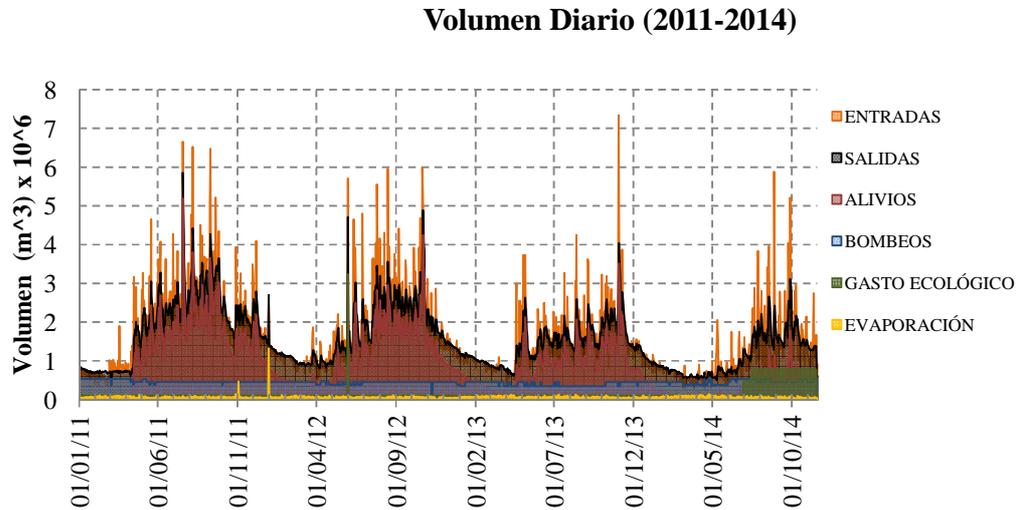


Figura 4.74. Volúmenes diarios (2011-2014) en el Embalse Pao Cachinche.

El cual este promedio es de aproximadamente 35% y de la misma forma también se observa intervalos de tiempo donde el Bombeo corresponderá a porcentajes cercanos al 90% de las salidas del embalse.

Respecto al resto de las extracciones el promedio de esta relación se puede observar en el siguiente grafico.

**Relacion Porcentual Extracción - Salida total  
(2011-2014)**

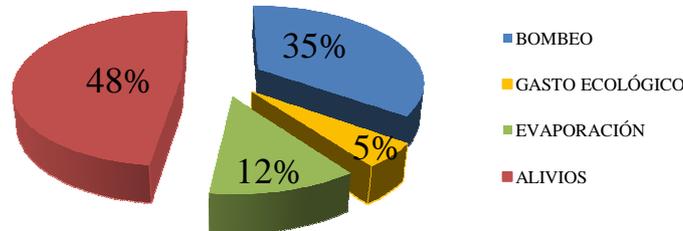


Figura 4.75. Relación porcentual Extracción – Salida total (2011-2014) en el Embalse Pao Cachinche.

Las mayores salidas serán producto del Alivio del embalse, que se efectúan para los meses lluviosos del año, donde por el contrario tanto el bombeo como la evaporación se encontraran existentes durante todo el intervalo de estudio mientras que el gasto ecológico presenta aleatoriedad en el tiempo y magnitud con dependencia a preservar las propiedades de los cauces.

**EMBALSE GUATAPARO**

Con base a las descripciones de las variables presentes en el embalse de Guataparo y la definición del intervalo de tiempo de estudio, el cual abarcara desde el año 1993 hasta el año 2014, se podrán definir las salidas y las entradas representadas en el siguiente Figura 4.76.

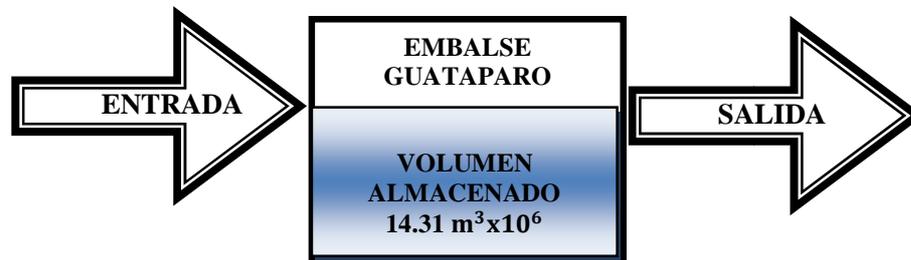


Figura 4.76 Entradas Vs Salidas con volumen acumulado del día 2 de Septiembre del 1993.

Destacando que el volumen almacenado inicial concernirá al del día 2 de Septiembre del año 1993, y el volumen de entrada y salidas están limitados por:

- Ausencia de medición y/o estimación de precipitación y evaporación.
- Desconocimiento del comportamiento de aportes en el tiempo de precipitación y evaporación.

De esta manera la capacidad asociado a los volúmenes de entradas están definidas por:

$$\text{Volúmen de Entrada (m}^3\text{)x10}^6 = \text{Río}_n + \text{AE}_n$$

*Ecu. (4.9)*

Donde:

$\text{Río}_n$  = Aportes de Ríos en el día de la estimación, determinado por medio de la *Ecu (4.4)*.

$\text{AE}_n$  = Aporte del Embalse Pao Cachinche en el día de la estimación. Realizado por bombeo desde el embalse

El volumen de salida referido a la demandan se define por:

$$\text{Volúmen de Salida (m}^3\text{)x10}^6 = \text{ADAZ}_n$$

*Ecu. (4.10)*

Donde:

$\text{ADAZ}_n$  = Alivio del embalse en el día de la estimación, este dependerá de la demanda de la población y de la capacidad de potabilización de la plata Alejo Zuloaga.

Una vez definido estos volúmenes y construyendo el grafico de volúmenes de entradas y salida acumulados durante los años 1993 y 2014.

### Volúmenes Acumulados 1993-2014

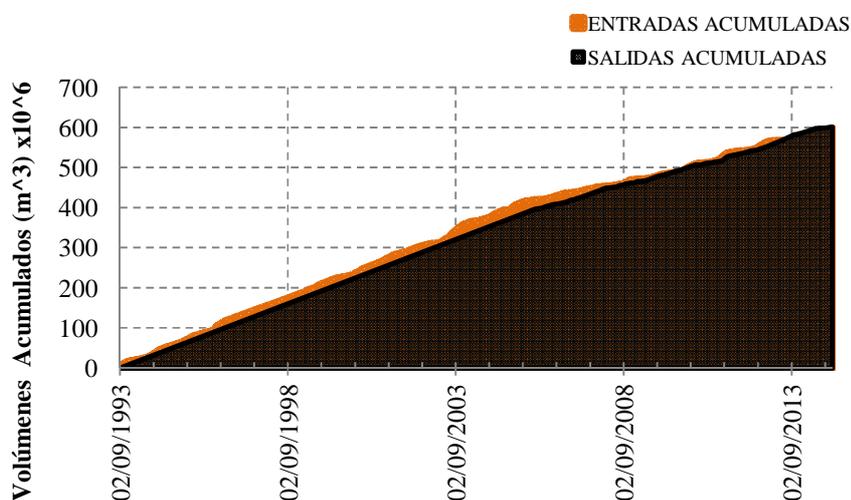


Figura 4.77. Volúmenes Acumulados de Entradas y Salidas (1993-2014) en el Embalse Guataparo.

Se aprecia en la Figura 4.77, una salida acumulada para los últimos años superior a las a entradas, comprometiéndose seriamente el volumen almacenado para el día 2 de Septiembre del año 1993 a pérdidas importantes, de aproximadamente siete millones de metros cúbicos ( $7 \text{ m}^3 \times 10^6$ ) siendo este un 50% del volumen almacenado para un día antes del inicio del estudio.

Las mediciones de niveles que permiten estimar el volumen del embalse mediante la Curva Área-Capacidad (Figura 4.39), nos indican que el volumen para el día 31 de Diciembre del año 2014, fecha para la cual se finalizan las observaciones en estudio se encuentran en un nivel de 506.65 m.s.n.m. y el volumen almacenado es de nueve millones con seiscientos sesenta y seis mil metros cúbicos ( $9.66 \text{ m}^3 \times 10^6$ ).

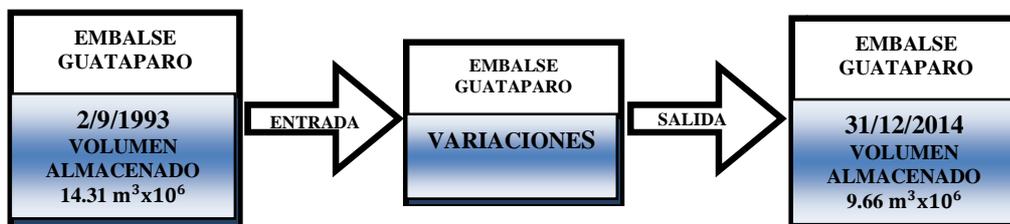


Figura 4.78. Variación de volumen en el intervalo (1993-2014)

Por lo tanto la diferencia de volumen observada desde la estimación mediante las curva Área-Capacidad es de cuatro millones seiscientos cinco mil ( $4.65\text{m}^3 \times 10^6$ ), a su vez este volumen representa un 33% del volumen inicial. Consecuentes a que ambas estimaciones están sujetas a errores se puede establecer que el embalse ha presentado unas pérdidas comprendidas entre un 33% a un 50% del volumen almacenado hasta el día 2 de Septiembre de 1993.

Apreciando las ganancias o pérdidas acumuladas en el periodo de estudio mediante el siguiente grafico.

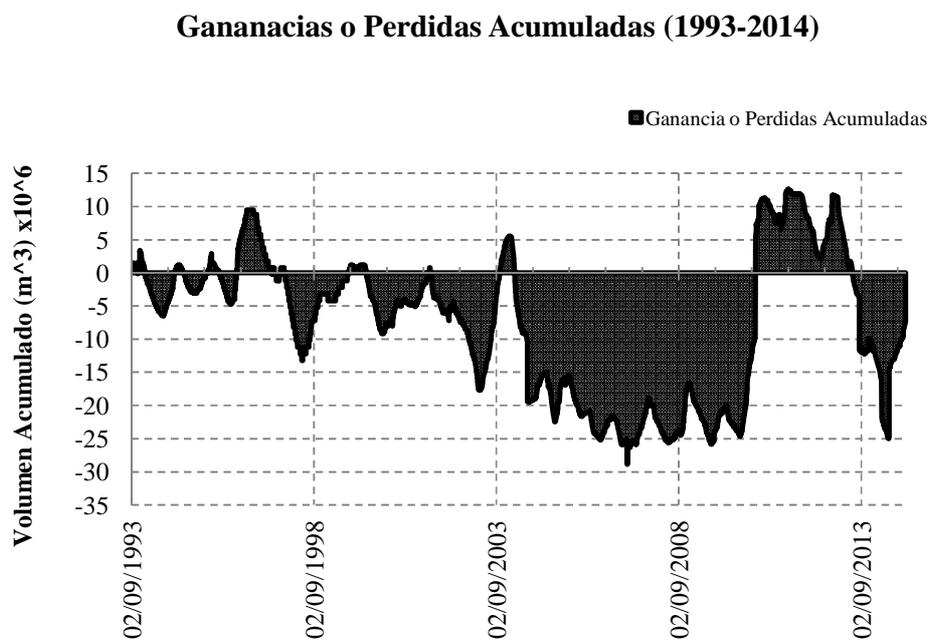


Figura 4.79. Ganancias o Pérdidas Acumuladas (1993-2014) en el Embalse Guataparo.

Se manifiesta la recuperación de volumen para finales del año 2014 saliendo de una fuerte pérdida a mediados del mismo año. Por consiguiente es necesario establecer el porcentaje de aporte recibidos de parte de los ríos y del alivio dirigido del Embalse Pao Cachimche.

Mediante la graficación diaria de los aportes de volumen al embalse se logra visualizar la significación que presentan los aportes realizados por ríos y el aumento de los alivios dirigidos del Embalse Cachinche al Embalse de Guataparo a partir del año 2005. Donde podemos deducir que en promedio de la ventana de tiempo (1993-2014), el porcentaje de aporte de ambos volúmenes de entrada respecto a la entrada total se encuentran como lo representa la Figura 4.80.

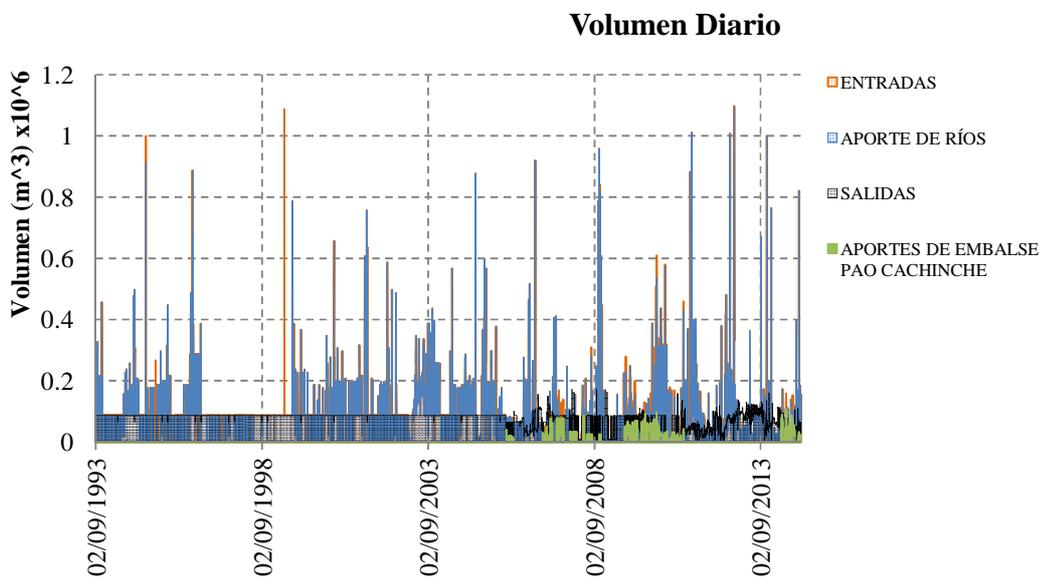


Figura 4.80. Volúmenes diarios (2011-2014) en el Embalse Guataparo

Enmarcando que dentro de los aportes totales que percibe el embalse no se es registrado los recibidos por precipitaciones, por ende no son cuantificados en este estudio.

### Relacion Porcentual Aporte- Entrada total (2011-2014)

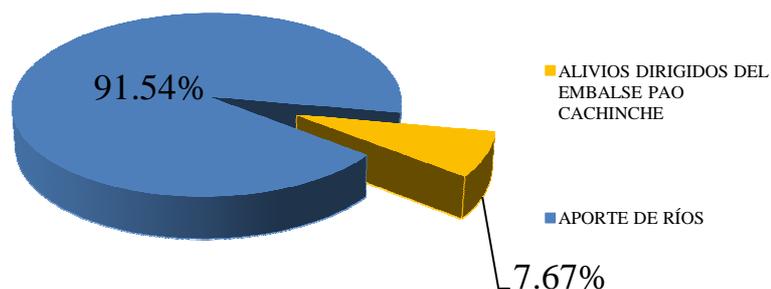


Figura 4.81. Relación porcentual Aporte – Entrada total (1993-2014) en el Embalse Pao Guataparó

El embalse de Guataparó pertenece al sistema de embalses del Acueducto Regional del Centro I, el cual tiene como fin de abastecer agua de consumo humano y para riego, por lo tanto su demanda exclusivamente se ven asociadas al alivio generado hacia la planta Alejo Zuloaga, descartando las pérdidas que se podrían generar por evaporación, gasto ecológico o alivios necesarios para protección de la presa, debido a la ausencia de estas observaciones. Lo que genera que los Alivios dirigido para la planta potabilizadora Alejo Zuloaga tengan como proporción de un 100% respecto a las salidas totales.

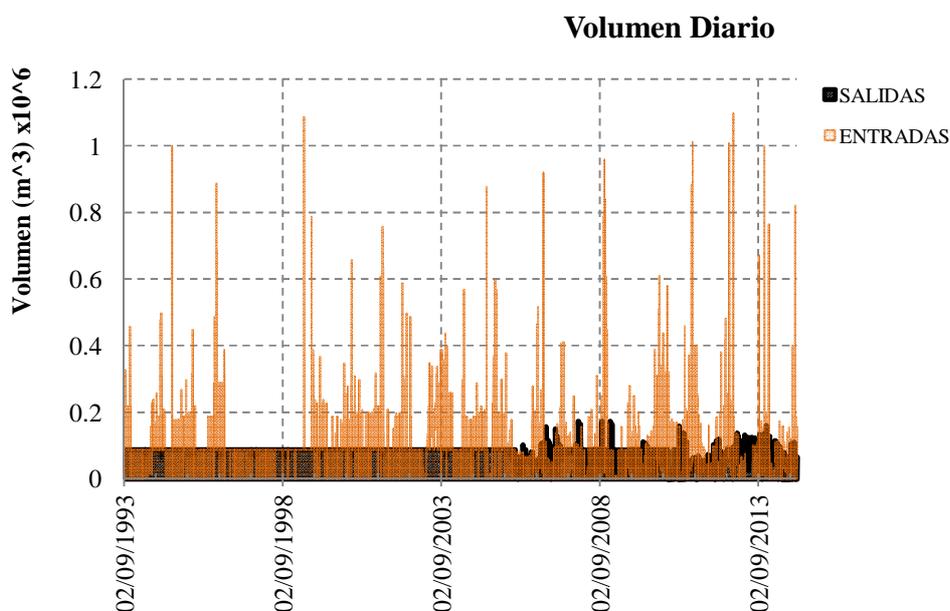


Figura 4.82. Volúmenes diarios (1993-2014) en el Embalse Guataparo.

Pese a esto se visualiza que respecto a altas magnitudes de entradas aun así existen periodos donde la demanda supera considerablemente a las entradas, por consecuente el embalse presenta grandes pérdidas.

### **EMBALSE PAO LA Balsa**

El Embalse Pao La Balsa presenta de acuerdo a las descripciones dadas regularidad, estacionalidad y frecuencia más estable para la ventana de tiempo comprendida desde el año 2003 hasta el año 2014, es por este motivo que el diagnostico para un pronóstico se ejecutara en este intervalo de tiempo.

Es necesario enmarcar el volumen acumulado para un día antes de la realización de las observaciones de gastos de entrada y salida, el cual se refleja en el Figura 4.83.

Este volumen acumulado es el estimado por medio de las curvas de Área-Capacidad de la (Figura 4.63), el día 31 de Diciembre del año 2002.

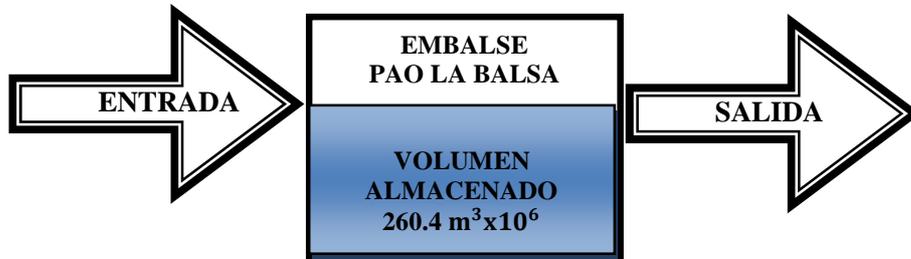


Figura 4.83. Entradas Vs Salidas con volumen acumulado del día 31 de diciembre del 2002.

Definiéndose las entradas en el embalse como:

$$\text{Volúmen de Entrada (m}^3\text{)x10}^6 = P_n + \text{Río}_n + \text{AR}$$

*Ecu. (4.11)*

Donde:

$P_n$  = Precipitación del día de la estimación, determinada por un pluviómetro.

$\text{Río}_n$  = Aportes de Ríos en el día de la estimación, determinado por medio de la *Ecu.(4.6)*.

$\text{AR}_n$  = Aporte del Río Pao directo al embalse en estudio en el día de estimación.

Las salidas en el embalse se definen como.

$$\text{Volúmen de Salida (m}^3\text{)x10}^6 = \text{GE}_n + \text{B}_n + \text{A}_n + \text{E}_n$$

*Ecu. (4.12)*

Definido el gasto de entrada y de salida, mediante la aplicación de un grafico de volúmenes acumulados se podrá reflejar las ganancias o pérdidas, así como las

demandas de volumen dispuestos a suministro de la población (Bombeo) que se han presentado en el embalse en el periodo 2003-2014.

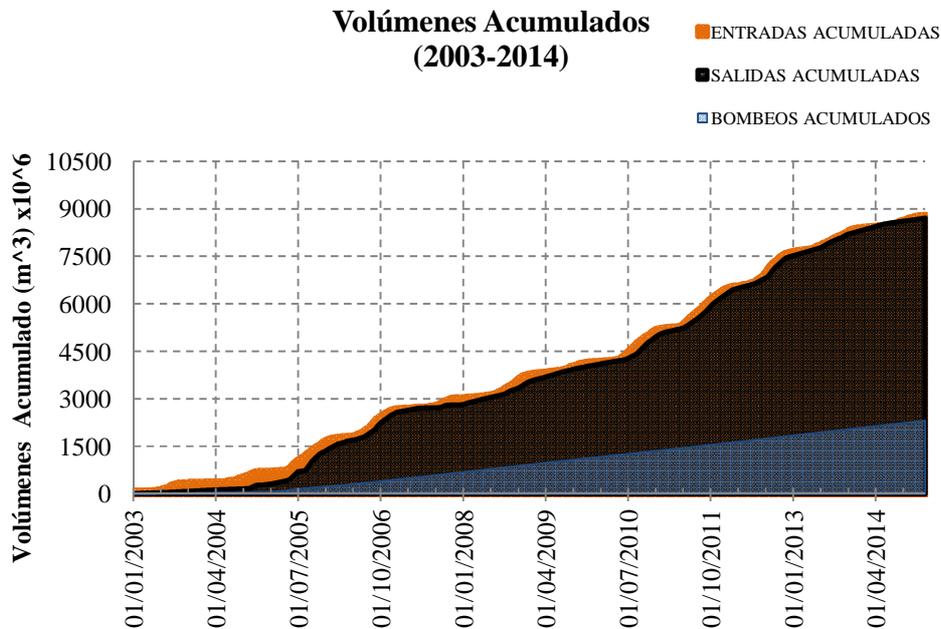


Figura 4.84. Volúmenes Acumulados de Entradas y Salidas (2003-2014) en el Embalse Pao La Balsa

Reflejando el caudal acumulado de entrada en algunos puntos menor que el de salida estableciendo como resultando pérdidas importantes en el volumen de almacenamiento, pero retomando ganancia para finales del intervalo de estudio. Visualizando una demanda constante respecto a las salidas de volumen del embalse para el intervalo de observaciones

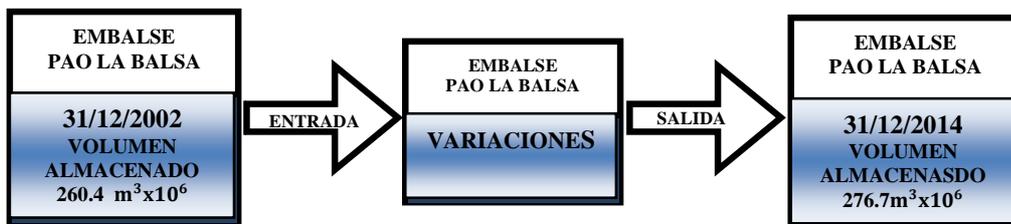


Figura 4.85. Variación de Volumen en el Intervalo (2002-2014)

Para finales del año 2014 se logra obtener ganancias cercanas a los dieces millones de metros cúbicos ( $16 \text{ m}^3 \times 10^6$ ) sobre el volumen inicial al estudio, valor el cual corroborado mediante la implementación de la Curva de Área-Capacidad figura (Figura 4.63), significando un 6% respecto al volumen del día 31/12/2002.

### Ganancias o Perdidas Acumuladas (2003-2014)

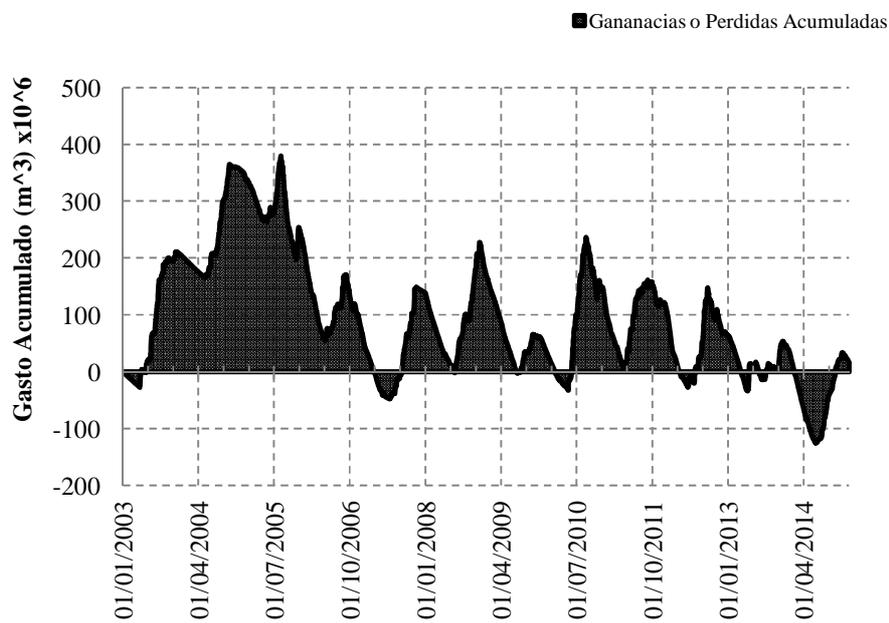


Figura 4.86. Ganancias o Pérdidas Acumuladas (2003-2014) en el Embalse Pao La Balsa

Determinando la proporción de los diferentes aportes respecto a la entrada total y en qué fecha se manifiestan se pueden generar los dos siguientes gráficos.

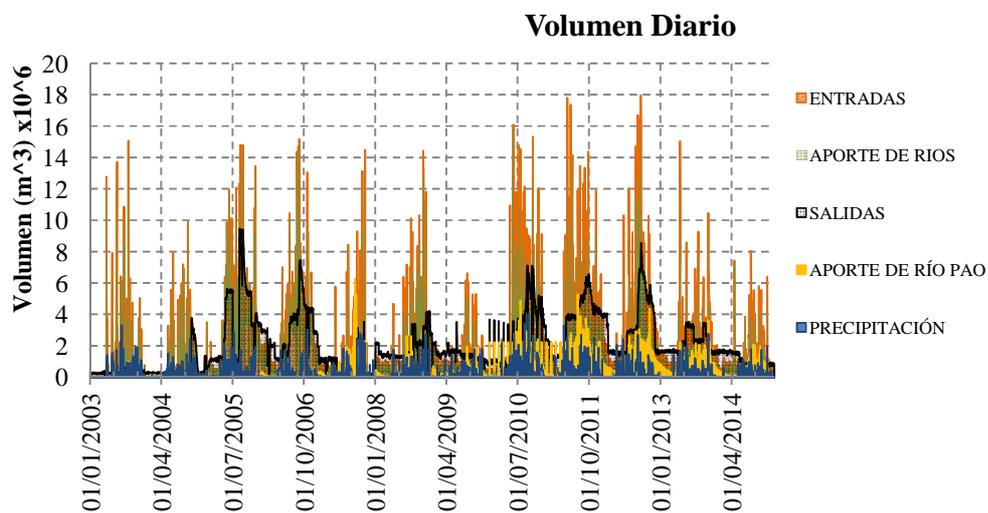


Figura 4.87. Volúmenes diarios (1993-2014) en el Embalse Pao La Balsa.

Percibiendo los más altos aportes durante los meses lluviosos y conjunto a esto las mayores perdidas

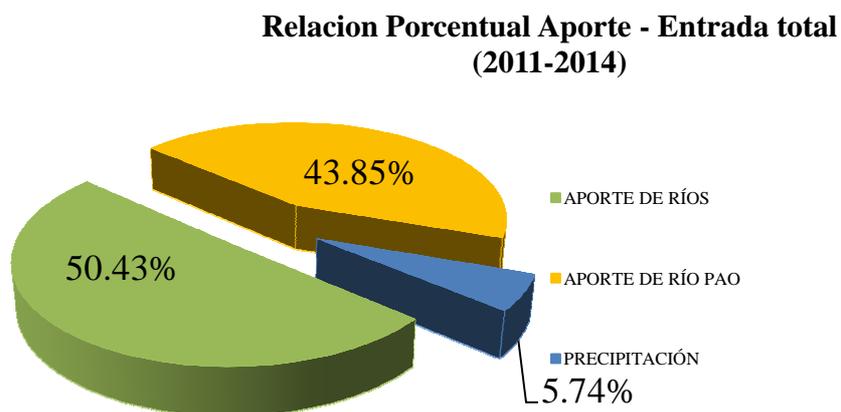


Figura 4.88. Relación porcentual Aporte – Entrada total (2003-2014) en el Embalse Pao La Balsa

Destacando el importante aporte que percibe el embalse de los cauces que vierten en el, aproximándose a un 95 % de las entradas totales.

El Acueducto Regional del Centro II tiene como única fuente el embalse Pao La Balsa y planta de tratamiento Baldó Soules, la cual tiene una capacidad de potabilización 5.600 L/s y además de este gasto con el cual debe cumplir el embalse se ve expuesto a otros tipos de salidas ya mencionados, coexistiendo el volumen para Bombeo en un porcentaje promedio en este intervalo de tiempo de 40% y en consecuente con el resto de las extracciones que se presenta en el Figura 4.89 se observan los porcentajes respecto a la salida total.

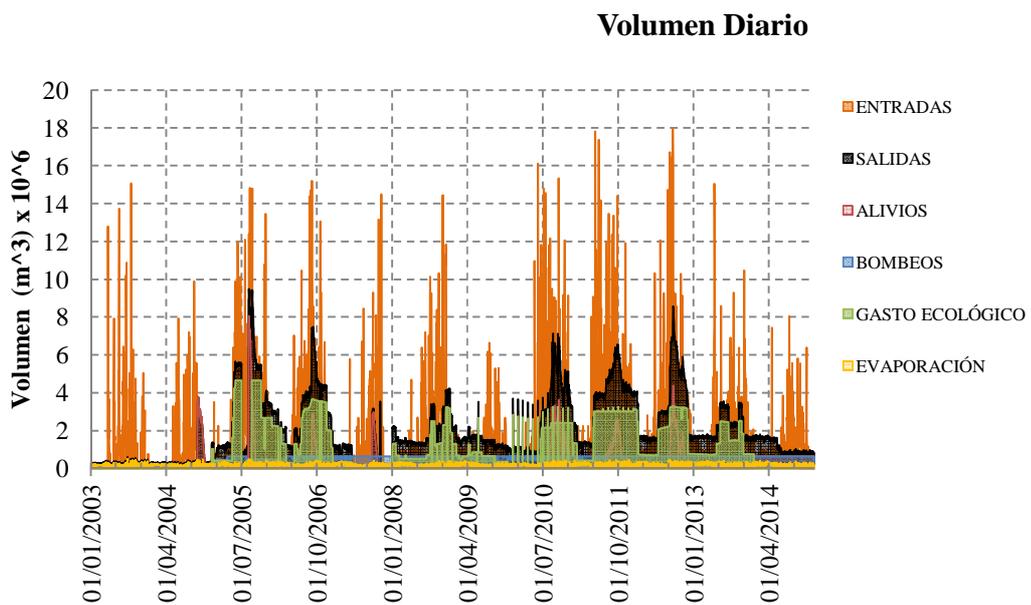


Figura 4.89. Volúmenes diarios de Salidas (2003-2014) en el Embalse Pao La Balsa.

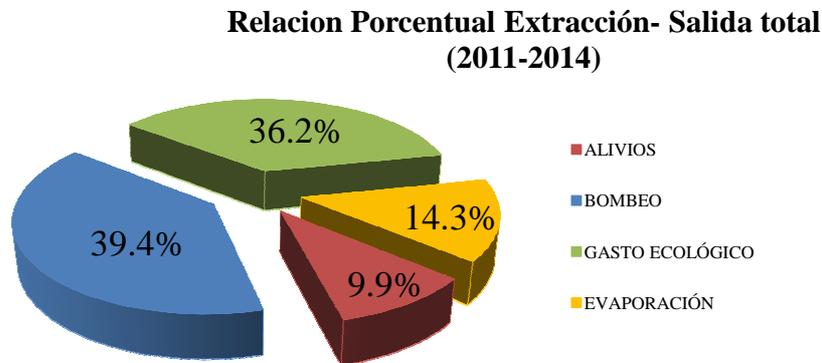


Figura 4.90. Relación porcentual Extracción– Salida total (2003-2014) en el Embalse Pao La Balsa

### **3. CALIBRAR LOS MODELOS DE PRONÓSTICO DE LAS VARIABLES DEL SISTEMA DE EMBALSES DEL ACUEDUCTO REGIONAL DEL CENTRO**

Se realizaron seis (6) calibraciones de los modelos de pronóstico para las variables del sistema de embalses del acueducto regional del centro. Específicamente para los embalses Cachinche, Guataparo y Pao-la Balsa, con un total de dos (2) calibraciones para cada embalse. En una primera etapa se calibraron los modelos para datos diarios y en una segunda etapa para datos mensuales. Actualmente, se ha seleccionado el modelo autoregresivo integrado de media móvil (ARIMA).

Se comparan los diferentes modelos ARIMA, con el fin de seleccionar aquel que tenga el menor error de los siguientes:

- La raíz del error cuadrado medio (RMSE)
- El error absoluto medio (MAE)
- El porcentaje de error absoluto medio (MAPE)
- El error medio (ME)
- El porcentaje de error medio (MPE)

A su vez, tomando en cuenta el que pase la mayoría de las pruebas estadísticas que se mencionan:

- Prueba corridas excesivas arriba y abajo (RUNS)
- Prueba corridas excesivas arriba y abajo de la mediana (RUNM)
- Prueba de Box-Pierce para autocorrelación excesiva (AUTO)
- Prueba para diferencia en medias entre la 1ª mitad y la 2ª mitad (MEDIA)
- Prueba para diferencia en varianza entre la 1ª mitad y la 2ª mitad (VAR)

Statgraphics organiza los modelos ARIMA, según el criterio de información Akaike (AIC). Se debe seleccionar el mejor modelo tomando en cuenta todos los errores y las pruebas que se le realizan.

### **Calibración 1: Embalse Pao-Cachinche con datos diarios**

Este procedimiento estima valores futuros, el cual se basan en 1419 observaciones. Para este caso, el modelo fue estimado a partir de las primeras 1404. Ya que 15 datos al final de la serie de tiempo son retenidos para validar el modelo.

Tabla 4.26. Datos de entrada para el pronóstico del Embalse Pao-Cachinche.

<b>Datos/Variable</b>	Nivel
<b>Número de observaciones</b>	1419
<b>Índice Inicial</b>	01/01/2011
<b>Intervalo de Muestra</b>	1 día

### **Comparación de los modelos en la calibración 1**

Los modelos que Statgraphics enumera, usando la herramienta modelos de pronósticos automáticos, son los siguientes:

- (1) ARIMA(1,0,1) con constante
- (2) ARIMA(2,0,1) con constante
- (3) ARIMA(2,0,0) con constante
- (4) ARIMA(2,1,0) sin constante
- (5) ARIMA(2,1,0) con constante

La raíz del error cuadrado medio (RMSE) y el error absoluto medio (MAE) miden la magnitud de los errores, se buscan los valores más pequeños, por tal motivo se selecciono el modelo (1) ARIMA (1, 0, 1) con constante. En el periodo de estimación 01/01/2011 – 03/11/2014.

Tabla 4.27 Comparación de los estadísticos de error de los modelos en el periodo de estimación.

Modelo	RMSE	MAE	MAPE	ME	MPE	AIC
<b>(1)</b>	<b>0.0372111</b>	<b>0.0212453</b>	<b>0.00600754</b>	<b>0.0001759940</b>	<b>0.0000486735</b>	<b>-6.57802</b>
(2)	0.0372226	0.0212785	0.00601694	0.0000535281	0.0000140387	-6.57598
(3)	0.0372888	0.0213701	0.00604284	0.0000106749	0.00000190355	-6.57385
(4)	0.0373424	0.0211279	0.00597420	-0.0000640234	-0.0000186044	-6.57240
(5)	0.0373557	0.0211240	0.00597310	-0.0000102864		-6.57026

Para el modelo (1), los resultados no son significativos en la prueba para diferencia en medias entre la 1ª mitad y la 2ª mitad (MEDIA). Para el modelo (4) y (5), los resultados no son significativos en la prueba de corridas excesivas arriba y abajo (RUNS) y la prueba para diferencia en medias entra la 1ª mitad y la 2ª mitad (MEDIA). A su vez la prueba corridas excesivas arriba y abajo de la mediana (RUNM) son marginalmente significativas.

Tabla 4.28 Comparación de las diferentes pruebas de los modelos en el periodo de estimación.

Modelo	RMSE	RUNS	RUNM	AUTO	MEDIA	VAR
<b>(1)</b>	<b>0.0372111</b>	***	***	***	<b>OK</b>	***
(2)	0.0372226	***	***	***	OK	***
(3)	0.0372888	***	***	***	OK	***
(4)	0.0373424	OK	**	***	OK	***
(5)	0.0373557	OK	**	***	OK	***

### Modelo ARIMA (1, 0, 1) con constante

La salida resume la significancia estadística de los parámetros en el modelo de pronósticos. Los términos con valores-P menores que 0.05 son estadísticamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%. Los valores-P para los términos “AR (1)” y “MA (1)”, son menores que 0.05, de modo que son estadísticamente diferentes de cero.

Tabla 4.29. Parámetros del modelo ARIMA (1, 0, 1) con constante para el embalse Pao-Cachinche.

Parámetro	Estimado	Error Estd.	t	Valor-P
AR(1)	0.975832	0.00597734	163.255	0.000000
MA(1)	-0.222874	0.0263894	-8.44558	0.000000
Media	353.52	0.0489011	7229.29	0.000000
Constante	8.54383			
Desviación estándar	0.0372169			
Varianza	0.0013851			

Sustituyendo los valores  $p=1$ ,  $d=0$  y  $q=1$ , en las ecuaciones generales del modelo ARIMA. Se tiene que:

$$Z_t = \theta_0 + \sum_{i=1}^1 \phi_i * Z_{t-i} - \sum_{i=1}^1 \theta_i * a_{t-i} + a_t$$

*Ecu. (4.13)*

$$Z_t = \nabla^0 X_t \quad \text{Ecu. (4.14)}$$

Considerando que  $AR(1)=\phi_1$  y  $MA(1)=\theta_1$ , y sustituyendo los resultados obtenidos con el programa Statgraphics en la ecuación anterior. Se tiene que:

$$Z_t = 8.54383 + 0.975832 * Z_{t-1} + 0.222874 * a_{t-1} + a_t$$

*Ecu. (4.15)*

$$Z_t = \nabla^0 X_t = X_t \quad \text{Ecu. (4.16)}$$

Sustituyendo el orden de diferenciación, se obtiene la ecuación que define al modelo en el embalse Pao-Cachinche para el pronóstico desde el 20/11/14 al 26/11/14.

$$X_t = 8.54383 + 0.975832 * X_{t-1} + 0.222874 * a_{t-1} + a_t$$

*Ecu. (4.17)*

Reorganizando

$$X_t = \widehat{X}_t + a_t \quad \text{Ecu. (4.18)}$$

$$\widehat{X}_t = 8.54383 + 0.975832 * X_{t-1} + 0.222874 * a_{t-1}$$

Ecu. (4.19)

Donde:

$\widehat{X}_t$ =Pronostico en el periodo t

$X_t$ =valor de cota en el periodo t

$X_{t-1}$ =valor de cota en el periodo t-1

$a_{t-1}$ =error cometido en la cota en el periodo t-1

$a_t$ = error cometido en la cota en el periodo t

### Calibración 2: Embalse Guataparo con datos diarios

Este procedimiento estima valores futuros, el cual se basan en 7751 observaciones. Para este caso, el modelo fue estimado a partir de los primeros 7739. Ya que 15 datos al final de la serie de tiempo son retenidos para validar el modelo.

Tabla 4.30. Datos de entrada para el pronóstico del embalse Guataparo.

Datos/Variable	Nivel
Número de observaciones	7751
Índice Inicial	31/08/93
Intervalo de Muestra	1 día

### Comparación de los modelos en la calibración 2

Los modelos que Statgraphics enumera, usando la herramienta modelos de pronósticos automáticos, son los siguientes:

- (1) ARIMA(2,1,1) sin constante
- (2) ARIMA(2,1,1) con constante
- (3) ARIMA(2,0,2) con constante
- (4) ARIMA(1,1,2) sin constante
- (5) ARIMA(1,1,2) con constante

La raíz del error cuadrado medio (RMSE) y el error absoluto medio (MAE) miden la magnitud de los errores, se buscan los valores más pequeños, por tal motivo se selecciono el modelo (1) ARIMA (2, 1, 1) sin constante. En el periodo de estimación 31/08/1993-03/11/2013.

Tabla 4.31. Comparación de los estadísticos de error de los modelos en el periodo de estimación.

Modelo	RMSE	MAE	MAPE	ME	MPE	AIC
<b>(1)</b>	<b>0.0399731</b>	<b>0.0189129</b>	<b>0.00373278</b>	<b>-0.0000412682</b>		<b>-6.43832</b>
(2)	0.0399757	0.0189067	0.00373157		-7.39481E-8	-6.43793
(3)	0.0400099	0.0190777	0.00376539	-0.000512486	-0.000101311	-6.43596
(4)	0.0400337	0.0189907	0.00374809	-0.0000511614		-6.43529
(5)	0.0400362	0.0189824	0.00374645		1.92281E-7	-6.43491

Para el modelo (1), los resultados no son significativos en la prueba para diferencia en medias entre la 1ª mitad y la 2ª mitad (MEDIA).

Tabla 4.32. Comparación de las diferentes pruebas de los modelos en el periodo de estimación.

Modelo	RMSE	RUNS	RUNM	AUTO	MEDIA	VAR
<b>(1)</b>	<b>0.0399731</b>	***	***	***	<b>OK</b>	***
(2)	0.0399757	***	***	***	OK	***
(3)	0.0400099	***	***	***	OK	***
(4)	0.0400337	***	***	***	OK	***
(5)	0.0400362	***	***	***	OK	***

### Modelo ARIMA (2, 1, 1) sin constante

La salida resume la significancia estadística de los términos en el modelo de pronósticos. Términos con valores-P menores que 0.05 son estadísticamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%. Los valores-P para los término AR (2), AR (1) y MA (1) son menores que 0.05, de modo que son estadísticamente diferentes de cero.

Tabla 4.33: Parámetros del modelo ARIMA (2,1,1).

Parámetro	Estimado	Error Estd.	t	Valor-P
-----------	----------	-------------	---	---------

AR(1)	1.16167	0.018757	61.9326	0.000000
AR(2)	-0.191068	0.0162021	-11.7928	0.000000
MA(1)	0.801198	0.013936	57.4913	0.000000
Desviación estándar	0.0399732			
Varianza	0.00159786			

Sustituyendo los valores  $p=2$ ,  $d=1$  y  $q=1$ , en las ecuaciones generales del modelo ARIMA. Se tiene que:

$$Z_t = \theta_0 + \sum_{i=1}^2 \phi_i * Z_{t-i} - \theta_1 * a_{t-1} + a_t$$

*Ecu. (4.20)*

$$Z_t = \nabla^1 X_t \quad \text{Ecu. (4.21)}$$

Considerando que  $AR(1)=\phi_1$ ,  $AR(2)=\phi_2$  y  $MA(1)=\theta_1$ , y sustituyendo en la ecuación anterior, los resultados obtenidos con el programa Statgraphics. Se tiene que:

$$Z_t = 1.16167 * Z_{t-1} - 0.191068 * Z_{t-2} - 0.801198 * a_{t-1} + a_t$$

*Ecu. (4.22)*

$$Z_t = \nabla^1 X_t = X_t - X_{t-1} \quad \text{Ecu. (4.23)}$$

$$Z_{t-1} = \nabla^1 X_{t-1} = X_{t-1} - X_{t-2} \quad \text{Ecu. (4.24)}$$

$$Z_{t-2} = \nabla^1 X_{t-2} = X_{t-2} - X_{t-3} \quad \text{Ecu. (4.25)}$$

Sustituyendo el orden de diferenciación, se obtiene la ecuación que define al modelo en Guataparo para el pronóstico desde el 20/11/14 al 26/11/14.

$$X_t - X_{t-1} = 1.16167 * (X_{t-1} - X_{t-2}) - 0.191068 * (X_{t-2} - X_{t-3}) - 0.801198 * a_{t-1} + a_t$$

*Ecu. (4.26)*

Reorganizando

$$X_t = \widehat{X}_t + a_t \quad \text{Ecu. (4.27)}$$

$$\widehat{X}_t = X_{t-1} + 1.16167 * (X_{t-1} - X_{t-2}) - 0.191068 * (X_{t-2} - X_{t-3}) - 0.801198 * a_{t-1}$$

Ecu. (4.28)

Donde:

$\widehat{X}_t$ =Pronostico en el periodo t

$X_t$ =valor de cota en el periodo t

$X_{t-1}$ =valor de cota en el periodo t-1

$X_{t-2}$ =valor de cota en el periodo t-2

$X_{t-3}$ =valor de cota en el periodo t-3

$a_{t-1}$ =error cometido en la cota en el periodo t-1

$a_t$ = error cometido en la cota en el periodo t

### Calibración 3: Embalse Pao la Balsa con datos diarios

Este procedimiento estima valores futuros, el cual se basa en 4383 observaciones. Para este caso, el modelo fue estimado a partir de los primeros 4368. Ya que 15 datos al final de la serie de tiempo fueron retenidos para validar el modelo.

Tabla 4.44 datos de entrada para el pronóstico del embalse Pao la Balsa.

Datos/Variable	Nivel
Número de observaciones	4383
Índice Inicial	01/01/2003
Intervalo de Muestra	1 día

### Comparación de los modelos en la calibración 3

Los modelos que Statgraphics enumera, usando la herramienta modelos de pronósticos automáticos, son los siguientes:

- (1) ARIMA (2, 0, 2) con constante
- (2) ARIMA (2, 0, 1) con constante

- (3) ARIMA (1, 1, 1) sin constante
- (4) ARIMA (1, 1, 2) sin constante
- (5) ARIMA (2, 1, 1) sin constante

La raíz del error cuadrado medio (RMSE) y el error absoluto medio (MAE) miden la magnitud de los errores, se buscan los valores más pequeños. Los modelos (3) y (4) pasan un mayor número de pruebas en el periodo de estimación 01/01/2003 – 03/11/2014.

Tabla 4.45. Comparación de los estadísticos de error de los modelos en el periodo de estimación.

Modelo	RMSE	MAE	MAPE	ME	MPE	AIC
(1)	0.0673884	0.0284023	0.0219953	-0.000105532	-0.000109096	-5.39225
(2)	0.0674094	0.0284648	0.0220442	-0.0000604335	-0.0000742371	-5.39209
<b>(3)</b>	<b>0.0675423</b>	<b>0.0283471</b>	<b>0.0219321</b>	<b>0.0000687049</b>	<b>0.0000741319</b>	<b>-5.38908</b>
<b>(4)</b>	<b>0.0675363</b>	<b>0.0282735</b>	<b>0.0218742</b>	<b>0.0000701977</b>	<b>0.000077127</b>	<b>-5.38879</b>
(5)	0.0675388	0.0282759	0.0218767	0.0000706623	0.0000762069	-5.38872

Para el modelo (1), los resultados no son significativos en la prueba para diferencia en medias entre la 1ª mitad y la 2ª mitad (MEDIA). A su vez la prueba de Box-Pierce para autocorrelación excesiva (AUTO) es marginalmente significativa. Para los modelos (3), (4) y (5), los resultados no son significativos en la prueba para diferencia en medias entre la 1ª mitad y la 2ª mitad (MEDIA) y en la prueba de Box-Pierce para autocorrelación excesiva (AUTO).

Tabla 4.46. Comparación de las diferentes pruebas de los modelos en el periodo de estimación.

Modelo	RMSE	RUNS	RUNM	AUTO	MEDIA	VAR
(1)	0.0673884	***	***	*	OK	***
(2)	0.0674094	***	***	*	OK	***
<b>(3)</b>	<b>0.0675423</b>	<b>***</b>	<b>***</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>***</b>
<b>(4)</b>	<b>0.0675363</b>	<b>***</b>	<b>***</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>***</b>
(5)	0.0675388	***	***	OK	OK	***

Para el modelo (4) ARIMA (1, 1, 2) el valor-P para el término MA (2) es mayor que 0.05, de modo que no es estadísticamente significativo. Por lo tanto, se descarta.

Tabla 4.47. Parámetros del modelo ARIMA (1, 1, 2).

Parámetro	Estimado	Error Estd.	t	Valor-P
AR(1)	0.946563	0.00985867	96.0133	0.000000
MA(1)	0.782555	0.018214	42.9644	0.000000
MA(2)	0.0202098	0.0163412	1.23674	0.216182

El modelo (3) posee la menor raíz del error cuadrado medio y con el mayor número de pruebas superadas. Por lo tanto el modelo seleccionado para el embalse Guataparo es el ARIMA (1, 1, 1).

### Modelo ARIMA (1, 1, 1) sin constante

La salida resume la significancia estadística de los términos en el modelo de pronósticos. Términos con valores-P menores que 0.05 son estadísticamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%. Los valores-P para los términos AR (1) y MA (1) son menores que 0.05, de modo que son estadísticamente diferentes de cero.

Tabla 4.48. Parámetros del modelo ARIMA (1, 1, 1).

Parámetro	Estimado	Error Estd.	t	Valor-P
AR(1)	0.940047	0.00987329	95.2112	0.000000
MA(1)	0.786966	0.0172319	45.6692	0.000000
Desviación estándar	0.0675425			
Varianza	0.004562			

Sustituyendo los valores  $p=1$ ,  $d=1$  y  $q=1$ , en las ecuaciones generales del modelo ARIMA. Se tiene que:

$$Z_t = \theta_0 + \sum_{i=1}^1 \phi_i * Z_{t-i} - \sum_{i=1}^1 \theta_i * a_{t-i} + a_t$$

*Ecu. (4.29)*

$$Z_t = \nabla^1 X_t \quad \text{Ecu. (4.30)}$$

Considerando que  $AR(1)=\phi_1$  y  $MA(1)=\theta_1$ , y sustituyendo en la ecuación anterior los resultados obtenidos con el programa Statgraphics. Se tiene que:

$$Z_t = 0.940047 * Z_{t-1} - 0.786966 * a_{t-1} + a_t$$

*Ecu. (4.31)*

$$Z_t = \nabla^1 X_t = X_t - X_{t-1} \quad \text{Ecu. (4.32)}$$

$$Z_{t-1} = \nabla^1 X_{t-1} = X_{t-1} - X_{t-2} \quad \text{Ecu. (4.33)}$$

Sustituyendo el orden de diferenciación, se obtiene la ecuación que define al modelo en Guataparo para el pronóstico desde el 20/11/14 al 26/11/14.

$$X_t - X_{t-1} = 0.940047 * (X_{t-1} - X_{t-2}) - 0.786966 * a_{t-1} + a_t$$

*Ecu. (4.34)*

Reorganizando

$$X_t = \widehat{X}_t + a_t \quad \text{Ecu. (4.35)}$$

$$\widehat{X}_t = X_{t-1} + 0.940047 * (X_{t-1} - X_{t-2}) - 0.786966 * a_{t-1}$$

*Ecu. (4.36)*

Donde:

$\widehat{X}_t$ =Pronostico en el periodo t

$X_t$ =valor de cota en el periodo t

$X_{t-1}$ =valor de cota en el periodo t-1

$X_{t-2}$ =valor de cota en el periodo t-2

$a_{t-1}$ =error cometido en la cota en el periodo t-1

$a_t$ = error cometido en la cota en el periodo t

#### **Calibración 4: Embalse Pao-Cachinche con datos mensuales**

Este procedimiento estima valores futuros, el cual se basa en 47 observaciones. Actualmente, se ha seleccionado el modelo de un promedio móvil autoregresivo integrado (ARIMA).

Tabla 4.49 Datos de entrada para el pronóstico del embalse Pao-Cachinche.

<b>Datos/Variable</b>		Nivel
<b>Número de observaciones</b>		47
<b>Índice Inicial</b>		01/2011
<b>Intervalo de Muestra</b>		1 mes

Para este caso, el modelo fue estimado a partir de los primeros 41 observaciones. Ya que 6 datos al final de la serie de tiempo fueron retenidos para validar el modelo.

#### **Comparación de los modelos en la calibración 4**

Los modelos que Statgraphics enumera, usando la herramienta modelos de pronósticos automáticos, son los siguientes:

- (1) ARIMA(2,0,1) con constante
- (2) ARIMA(2,1,1)
- (3) ARIMA(1,1,2)
- (4) ARIMA(2,0,2) con constante
- (5) ARIMA(0,1,2)

La raíz del error cuadrado medio (RMSE) y el error absoluto medio (MAE) miden la magnitud de los errores, se buscan los valores más pequeños, por tal motivo se selecciono el modelo (1) ARIMA(2,0,1) con constante. En el periodo de Estimación 01/2011 – 03/2014.

Tabla 4.50. Comparación de los estadísticos de error de los modelos en el periodo de estimación.

Modelo	RMSE	MAE	MAPE	ME	MPE	AIC
<b>(1)</b>	<b>0.0499795</b>	<b>0.0342934</b>	<b>0.00970163</b>	<b>-0.0000197965</b>		<b>-5.79716</b>
(2)	0.0512479	0.0369595	0.0104551	0.00322849	0.000914867	-5.79582
(3)	0.0517085	0.0348425	0.00985634	0.00334218	0.000947587	-5.77792
(4)	0.049282	0.0343629	0.00972087	0.00133887	0.000377405	-5.77649
(5)	0.0541325	0.0363107	0.0102715	0.00348136	0.000986071	-5.73508

Para los modelos (1), (2), (3) y (4), los resultados no son significativos en todas las pruebas estadísticas realizadas. Solo para el modelo (5), la prueba de Box-Pierce para autocorrelación excesiva (AUTO) es marginalmente significativa.

Tabla 4.51. Comparación de las diferentes pruebas de los modelos en el periodo de estimación.

Modelo	RMSE	RUNS	RUNM	AUTO	MEDIA	VAR
<b>(1)</b>	<b>0.0499795</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>
(2)	0.0512479	OK	OK	OK	OK	OK
(3)	0.0517085	OK	OK	OK	OK	OK
(4)	0.049282	OK	OK	OK	OK	OK
(5)	0.0541325	OK	OK	*	OK	OK

### Modelo ARIMA(2,0,1) con constante

La salida resume la significancia estadística de los términos en el modelo de pronósticos. Los términos con valores-P menores que 0.05 son estadísticamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%. Los valores-P para los términos AR (2), MA (1) y la constante son menores que 0.05, de modo que son estadísticamente diferentes de cero.

Tabla 4.52. Parámetros del modelo para el embalse Pao-Cachinche.

Parámetro	Estimado	Error Estd.	t	Valor-P
AR(1)	1.20341	0.124528	9.66376	0.000000
AR(2)	-0.380183	0.0783049	-4.85516	0.000017
MA(1)	-0.939794	0.0446826	-21.0326	0.000000
Media	353.561	0.0785527	4500.94	0.000000
Constante	62.5009			
Desviación estándar	0.0511766			
Varianza	0.00261905			

Sustituyendo los valores  $p=2$ ,  $d=0$  y  $q=1$ , en las ecuaciones generales del modelo ARIMA. Se tiene que:

$$Z_t = \theta_0 + \sum_{i=1}^2 \phi_i * Z_{t-i} - \sum_{i=1}^1 \theta_i * a_{t-i} + a_t$$

*Ecu. (4.37)*

$$Z_t = \nabla^0 X_t \quad \text{Ecu. (4.38)}$$

Considerando que AR(1)= $\phi_1$ , AR(2)= $\phi_2$  y MA(1)= $\theta_1$ , y sustituyendo en la ecuación anterior los resultados obtenidos con el programa Statgraphics. Se tiene que:

$$Z_t = 62.5009 + 1.20341 * Z_{t-1} - 0.380183 * Z_{t-2} + 0.939794 * a_{t-1} + a_t \quad \text{Ecu. (4.39)}$$

$$Z_t = \nabla^0 X_t = X_t \quad \text{Ecu. (4.40)}$$

$$Z_{t-1} = \nabla^0 X_{t-1} = X_{t-1} \quad \text{Ecu. (4.41)}$$

$$Z_{t-2} = \nabla^0 X_{t-2} = X_{t-2} \quad \text{Ecu. (4.42)}$$

Sustituyendo el orden de diferenciación, se obtiene la ecuación que define al modelo en Guataparo para el pronóstico desde el 11/14 al 05/15.

$$X_t = 62.5009 + 1.20341 * X_{t-1} - 0.380183 * X_{t-2} + 0.939794 * a_{t-1} + a_t \quad \text{Ecu. (4.43)}$$

Reorganizando

$$X_t = \widehat{X}_t + a_t \quad \text{Ecu. (4.44)}$$

$$\widehat{X}_t = 62.5009 + 1.20341 * X_{t-1} - 0.380183 * X_{t-2} + 0.939794 * a_{t-1} \quad \text{Ecu. (4.45)}$$

Donde:

$\widehat{X}_t$ =Pronostico en el periodo t

$X_t$ =valor de cota en el periodo t

$X_{t-1}$ =valor de cota en el periodo t-1

$X_{t-2}$ =valor de cota en el periodo t-2

$a_{t-1}$ =error cometido en la cota en el periodo t-1

$a_t$ = error cometido en la cota en el periodo t

### Calibración 5: Embalse Guataparo con datos mensuales

Este procedimiento estima valores futuros, el cual se basa en 254 observaciones. Actualmente, se ha seleccionado el modelo de un promedio móvil autoregresivo integrado (ARIMA).

Tabla 4.53: datos de entrada para el pronóstico del embalse Guataparo.

Datos/Variable	Nivel
Número de observaciones	254
Índice Inicial	09/93
Intervalo de Muestra	1 mes

Para este caso, el modelo fue estimado a partir de los primeros 248 observaciones. Ya que 6 datos al final de la serie de tiempo fueron retenidos para validar el modelo.

### Comparación de los modelos en la calibración 5

Los modelos que Statgraphics enumera, usando la herramienta modelos de pronósticos automáticos, son los siguientes:

- (1) ARIMA(2,0,2) con constante
- (2) ARIMA(2,0,1) con constante
- (3) ARIMA(2,1,1)
- (4) ARIMA(1,1,2)
- (5) ARIMA(2,1,2)

La raíz del error cuadrado medio (RMSE) y el error absoluto medio (MAE) miden la magnitud de los errores, se buscan los valores más pequeños, por tal motivo se selecciono el modelo (1) ARIMA (2, 0, 2) con constante. En el periodo de Estimación 09/1993-03/2013.

Tabla 4.54. Comparación de los estadísticos de error de los modelos en el periodo de estimación.

Modelo	RMSE	MAE	MAPE	ME	MPE	AIC
--------	------	-----	------	----	-----	-----

<b>(1)</b>	<b>0.350752</b>	<b>0.250676</b>	<b>0.0494654</b>	<b>-0.0219929</b>	<b>-0.00437375</b>	<b>-2.05503</b>
(2)	0.353847	0.252455	0.0498189	-0.0117306	-0.0023586	-2.04552
(3)	0.360242	0.253657	0.0500577	-0.00936356	-0.00179548	-2.01777
(4)	0.360689	0.254954	0.050313	-0.00918773	-0.00175338	-2.01529
(5)	0.36046	0.252975	0.0499233	-0.00945571	-0.00181719	-2.00849

Para los modelos (1) y (2), los resultados no son significativos en la prueba corridas excesivas arriba y abajo (RUNS); la prueba corridas excesivas arriba y abajo de la mediana (RUNM); la prueba para diferencia en medias entre la 1ª mitad y la 2ª mitad (MEDIA) y la prueba para diferencia en varianza entre la 1ª mitad y la 2ª mitad (VAR).

A su vez la prueba de Box-Pierce para autocorrelación excesiva (AUTO) es marginalmente significativa.

Tabla 4.55. Comparación de las diferentes pruebas de los modelos en el periodo de estimación.

Modelo	RMSE	RUNS	RUNM	AUTO	MEDIA	VAR
<b>(1)</b>	<b>0.350752</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	*	<b>OK</b>	<b>OK</b>
(2)	0.353847	OK	OK	*	OK	OK
(3)	0.360242	OK	OK	**	OK	OK
(4)	0.360689	OK	OK	***	OK	OK
(5)	0.36046	OK	OK	**	OK	OK

### Modelo ARIMA (2, 0, 2) con constante

La salida resume la significancia estadística de los términos en el modelo de pronósticos. Los términos con valores-P menores que 0.05 son estadísticamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%. Los valores-P para los términos AR (1), AR(2), MA(1), MA (2) y la constante son menores que 0.05, de modo que son estadísticamente diferentes de cero.

Tabla 4.56. Parámetros del modelo ARIMA.

Parámetro	Estimado	Error Estd.	t	Valor-P
AR(1)	1.51032	0.0698647	21.6177	0.000000
AR(2)	-0.57994	0.069531	-8.34074	0.000000
MA(1)	-1.12176	0.0839856	-13.3566	0.000000
MA(2)	-0.227117	0.0750978	-3.02428	0.002753
Media	508.406	0.28476	1785.39	0.000000
Constante	35.3968			

Sustituyendo los valores  $p=2$ ,  $d=0$  y  $q=2$ , en las ecuaciones generales del modelo ARIMA. Se tiene que:

$$Z_t = \theta_0 + \sum_{i=1}^2 \phi_i * Z_{t-i} - \sum_{i=1}^2 \theta_i * a_{t-i} + a_t$$

*Ecu. (4.46)*

$$Z_t = \nabla^0 X_t \quad \text{Ecu. (4.47)}$$

Considerando que  $AR(1)=\phi_1$ ,  $AR(2)=\phi_2$ ,  $MA(1)=\theta_1$  y  $MA(2)=\theta_2$ , y sustituyendo en la ecuación anterior los resultados obtenidos con el programa Statgraphics. Se tiene que:

$$Z_t = 35.3968 + 1.51032 * Z_{t-1} - 0.57994 * Z_{t-2} + 1.12176 * a_{t-1} + 0.227117 * a_{t-2} + a_t$$

*Ecu. (4.48)*

$$Z_t = \nabla^0 X_t = X_t \quad \text{Ecu. (4.49)}$$

$$Z_{t-1} = \nabla^0 X_{t-1} = X_{t-1} \quad \text{Ecu. (4.50)}$$

$$Z_{t-2} = \nabla^0 X_{t-2} = X_{t-2} \quad \text{Ecu. (4.51)}$$

Sustituyendo el orden de diferenciación, se obtiene la ecuación que define al modelo en Guataparo para el pronóstico desde el 11/14 al 05/15.

$$X_t = 35.3968 + 1.51032 * X_{t-1} - 0.57994 * X_{t-2} + 1.12176 * a_{t-1} + 0.227117 * a_{t-2} + a_t$$

*Ecu. (4.52)*

Reorganizando

$$X_t = \widehat{X}_t + a_t \quad \text{Ecu. (4.53)}$$

$$\widehat{X}_t = 35.3968 + 1.51032 * X_{t-1} - 0.57994 * X_{t-2} + 1.12176 * a_{t-1} + 0.227117 * a_{t-2}$$

*Ecu. (4.54)*

Donde:

$\widehat{X}_t$ =Pronostico en el periodo t

$X_t$ =valor de cota en el periodo t

$X_{t-1}$ =valor de cota en el periodo t-1

$X_{t-2}$ =valor de cota en el periodo t-2

$a_{t-1}$ =error cometido en la cota en el periodo t-1

$a_{t-2}$ =error cometido en la cota en el periodo t-2

$a_t$ = error cometido en la cota en el periodo t

### **Calibración 6: Embalse Pao-la Balsa con datos mensuales**

Este procedimiento estima valores futuros, el cual se basa en 142 observaciones. Actualmente, se ha seleccionado el modelo de un promedio móvil autoregresivo integrado (ARIMA).

Tabla 4.57. Ficha del pronóstico.

<b>Datos/Variable</b>	Nivel
<b>Número de observaciones</b>	142
<b>Índice Inicial</b>	01/2003
<b>Intervalo de Muestra</b>	1 mes

Para este caso, el modelo fue estimado a partir de los primeros 136 observaciones. Ya que 6 datos al final de la serie de tiempo fueron retenidos para validar el modelo.

### **Comparación de los modelos en la calibración 6**

Los modelos que Statgraphics enumera, usando la herramienta modelos de pronósticos automáticos, son los siguientes:

- (1) ARIMA(2,1,2) sin constante
- (2) ARIMA(2,0,1) con constante
- (3) ARIMA(2,0,2) con constante

- (4) ARIMA(2,1,2) con constante
- (5) ARIMA(2,1,1) sin constante

La raíz del error cuadrado medio (RMSE) y el error absoluto medio (MAE) miden la magnitud de los errores, se buscan los valores más pequeños, por tal motivo se selecciono el modelo (1) ARIMA (2, 1, 2) sin constante. En el periodo de Estimación 01/2003 – 03/2014.

Tabla 4.58. Comparación de los estadísticos de error de los modelos en el periodo de estimación.

Modelo	RMSE	MAE	MAPE	ME	MPE	AIC
<b>(1)</b>	<b>0.35623</b>	<b>0.274867</b>	<b>0.213038</b>	<b>-0.0112564</b>	<b>-0.0093726</b>	<b>-2.00553</b>
(2)	0.356569	0.279484	0.216639	0.00789256	0.00527685	-2.00363
(3)	0.357155	0.278932	0.216221	0.00781894	0.00520505	-1.98564
(4)	0.357614	0.275197	0.213294	-0.0123964	-0.0102474	-1.98307
(5)	0.404038	0.302893	0.234672	-0.00411212	-0.00229184	-1.76837

Para el modelos (1), los resultados no son significativos en la prueba corridas excesivas arriba y abajo (RUNS); la prueba corridas excesivas arriba y abajo de la mediana (RUNM); la prueba para diferencia en medias entre la 1ª mitad y la 2ª mitad (MEDIA) y la prueba de Box-Pierce para autocorrelación excesiva (AUTO). A su vez la prueba para diferencia en varianza entre la 1ª mitad y la 2ª mitad (VAR) es marginalmente significativa.

Tabla 4.59. Comparación de las diferentes pruebas de los modelos en el periodo de estimación.

Modelo	RMSE	RUNS	RUNM	AUTO	MEDIA	VAR
<b>(1)</b>	<b>0.35623</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>OK</b>	<b>*</b>
(2)	0.356569	OK	OK	*	OK	OK
(3)	0.357155	OK	OK	*	OK	OK
(4)	0.357614	OK	OK	*	OK	*
(5)	0.404038	OK	OK	***	OK	**

### Modelo ARIMA (2, 1, 2) sin constante

La salida resume la significancia estadística de los términos en el modelo de pronósticos. Términos con valores-P menores que 0.05 son estadísticamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%. Los valores-P para los

términos AR (1), AR(2), MA(1) y MA (2) son menores que 0.05, de modo que son estadísticamente diferentes de cero.

Tabla 4.60. Parámetros del modelo ARIMA.

Parámetro	Estimado	Error Estd.	t	Valor-P
AR(1)	1.50101	0.0637424	23.5481	0.000000
AR(2)	-0.716239	0.0630376	-11.3621	0.000001
MA(1)	0.118567	0.0469889	2.52329	0.012769
MA(2)	0.843365	0.0437071	19.2958	0.000000
Desviación estándar	0.356738			
Varianza	0.127262			

Sustituyendo los valores  $p=2$ ,  $d=1$  y  $q=2$ , en las ecuaciones generales del modelo ARIMA. Se tiene que:

$$Z_t = \theta_0 + \sum_{i=1}^2 \phi_i * Z_{t-i} - \sum_{i=1}^2 \theta_i * a_{t-i} + a_t$$

*Ecu. (4.55)*

$$Z_t = \nabla^1 X_t \quad \text{Ecu. (4.56)}$$

Considerando que  $AR(1)=\phi_1$ ,  $AR(2)=\phi_2$ ,  $MA(1)=\theta_1$  y  $MA(2)=\theta_2$ , y sustituyendo en la ecuación anterior los resultados obtenidos con el programa Statgraphics. Se tiene que:

$$Z_t = 1.50101 * Z_{t-1} - 0.716239 * Z_{t-2} - 0.118567 * a_{t-1} - 0.843365 * a_{t-2} + a_t$$

*Ecu. (4.57)*

$$Z_t = \nabla^1 X_t = X_t - X_{t-1} \quad \text{Ecu. (4.58)}$$

$$Z_{t-1} = \nabla^1 X_{t-1} = X_{t-1} - X_{t-2} \quad \text{Ecu. (4.59)}$$

$$Z_{t-2} = \nabla^1 X_{t-2} = X_{t-2} - X_{t-3} \quad \text{Ecu. (4.60)}$$

Sustituyendo el orden de diferenciación, se obtiene la ecuación que define al modelo en Pao la Balsa para el pronóstico desde el 11/14 al 05/15.

$$X_t - X_{t-1} = 1.50101 * (X_{t-1} - X_{t-2}) - 0.716239 * (X_{t-2} - X_{t-3}) - 0.118567 * a_{t-1} - 0.843365 * a_{t-2} + a_t$$

Ecu. (4.61)

Reorganizando

$$X_t = \widehat{X}_t + a_t \quad \text{Ecu. (4.62)}$$

$$\widehat{X}_t = X_{t-1} + 1.50101 * (X_{t-1} - X_{t-2}) - 0.716239 * (X_{t-2} - X_{t-3}) - 0.118567 * a_{t-1} - 0.843365 * a_{t-2}$$

Ecu. (4.63)

Donde:

$\widehat{X}_t$ =Pronostico en el periodo t

$X_t$ =valor de cota en el periodo t

$X_{t-1}$ =valor de cota en el periodo t-1

$X_{t-2}$ =valor de cota en el periodo t-2

$X_{t-3}$ =valor de cota en el periodo t-3

$a_{t-1}$ =error cometido en la cota en el periodo t-1

$a_{t-2}$ =error cometido en la cota en el periodo t-2

$a_t$ = error cometido en la cota en el periodo t

### Resumen de las calibraciones

Se muestran los resúmenes para datos diarios y para datos mensuales, de los parámetros estimados en la calibración.

Tabla 4.61. Parámetros estimados y RMSE, para los embalses Pao-Cachinche, Guataparo y Pao-la Balsa basados en datos diarios.

EMBALSE	MODELO	RMSE	PARAMETROS				
			$\phi_1$	$\phi_2$	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_0$
<b>PAO-CACHINCHE</b>	ARIMA(1,0,1)	0.0372111	0.975832	0	-0.222874	0	8.54383
<b>GUATAPARO</b>	ARIMA(2,1,1)	0.0399731	1.16167	-0.191068	0.801198	0	0
<b>PAO-LA Balsa</b>	ARIMA(1,1,1)	0.0675423	0.940047	0	0.786966	0	0

Tabla 4.62. Parámetros estimados y RMSE, para los embalses Pao-Cachinche, Guataparo y Pao-la Balsa basados en datos mensuales.

EMBALSE	MODELO	RMSE	PARAMETROS				
			$\phi_1$	$\phi_2$	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_0$
PAO-CACHINCHE	ARIMA(2,0,1)	0.0499795	1.20341	-0.380183	-0.939794	0	62.5009
GUATAPARO	ARIMA(2,0,2)	0.3507520	1.51032	-0.57994	-1.12176	-0.227117	35.3968
PAO-LA BALSA	ARIMA(2,1,2)	0.3562300	1.50101	-0.716239	0.118567	0.843365	0

#### 4. VALIDAR LOS MODELOS DE PRONÓSTICO DE LAS VARIABLES DEL SISTEMA DE EMBALSES DEL ACUEDUCTO REGIONAL DEL CENTRO

Se realizaron seis (6) validaciones de los modelos de pronóstico para las variables del sistema de embalses del acueducto regional del centro. Específicamente para los embalses Cachinche, Guataparo y Pao-la Balsa, con un total de dos (2) validaciones para cada embalse. En una primera etapa se validaron los modelos para datos diarios y en una segunda etapa para datos mensuales.

##### Validación 1: Embalse Pao-Cachinche con datos diarios

La validación se basa en 15 datos al final de la serie de tiempo, los cuales fueron retenidos desde el 05 al 19 de Noviembre del 2014.

Tabla 4.63 Datos retenidos para la validación.

PERIODO	COTA OBSERVADA	PERIODO	COTA OBSERVADA	PERIODO	COTA OBSERVADA
05/11/14	353.26	10/11/14	353.18	15/11/14	353.29
06/11/14	353.23	11/11/14	353.22	16/11/14	353.28
07/11/14	353.24	12/11/14	353.32	17/11/14	353.30
08/11/14	353.22	13/11/14	353.30	18/11/14	353.30
09/11/14	353.20	14/11/14	353.28	19/11/14	353.32

##### Comparación de los modelos en la validación 1

Recordando los modelos enumerados en la “Calibración 1: embalse Pao-Cachinche con datos diarios”, resaltando el modelo seleccionado:

- (1) **ARIMA(1,0,1) con constante**
- (2) ARIMA(2,0,1) con constante
- (3) ARIMA(2,0,0) con constante
- (4) ARIMA(2,1,0) sin constante
- (5) ARIMA(2,1,0) con constante

Al comparar los errores estadísticos de cada modelo en el periodo de validación desde 03/11/2014 al 19/11/2014, se llega al resultado que el modelo (2) posee los menores de los siguientes errores: la raíz del error cuadrado medio (RMSE) y el error absoluto medio (MAE). Sin embargo no es mucha la diferencia con el modelo seleccionado, el cual se resalta en la “Tabla 4.63: Comparación de los estadísticos de error de los modelos en el periodo de validación”.

Tabla 4.63 Comparación de los estadísticos de error de los modelos en el periodo de validación.

Modelo	RMSE	MAE	MAPE	ME	MPE
<b>(1)</b>	<b>0.0315090</b>	<b>0.0250424</b>	<b>0.00708880</b>	<b>-0.00176098</b>	<b>-0.000498914</b>
(2)	0.0314937	0.0250322	0.00708591	-0.00182185	-0.000516148
(3)	0.0317467	0.0251974	0.00713267	-0.00206536	-0.000585071
(4)	0.0316829	0.0240687	0.00681311	0.00321358	0.000909260
(5)	0.0316884	0.0240580	0.00681007	0.00326732	0.000924471

### **Comparación de los errores estadísticos en el periodo de estimación con el periodo de validación del modelo seleccionado en la calibración**

La tabla 4.64 muestra los estadísticos de error tanto para los periodos de estimación como de validación. Si los resultados son considerablemente peores en el periodo de validación, esto significa que no parece que el modelo se desempeñará tan bien como se esperaría de otra manera para pronosticar el futuro.

Por lo que el modelo seleccionado se desempeña como se esperaba. Si los resultados son mejores en el periodo de validación, esto significa que parece que el modelo se desempeñará aceptablemente, para pronosticar el futuro.

Tabla 4.64 Estadísticos de error del modelo ARIMA (1, 0, 1).

Estadístico	Periodo de Estimación	Periodo de Validación
RMSE	0.0372111	0.0315090
MAE	0.0212453	0.0250424
MAPE	0.00600754	0.0070888
ME	0.000175994	-0.00176098
MPE	0.0000486735	-0.000498914

### Comparación de los pronósticos con los reales en el periodo de validación

En la siguiente tabla se muestran los niveles observados, el pronosticado y el error cometido del modelo en el periodo de validación. El error cometido máximo es de 8.5 cm y el menor de 0.7 cm, con un error promedio de  $\pm 4.4$  cm.

Tabla 4.63 Comparación de las cotas observadas con las cotas pronosticadas.

Periodo	Observado	Pronostico	Error	Periodo	Observado	Pronostico	Error
05/11/14	353.26	353.267	-0.007	13/11/14	353.30	353.344	-0.044
06/11/14	353.23	353.265	-0.035	14/11/14	353.28	353.296	-0.016
07/11/14	353.24	353.229	0.011	15/11/14	353.29	353.282	0.008
08/11/14	353.22	353.249	-0.029	16/11/14	353.28	353.297	-0.017
09/11/14	353.20	353.221	-0.021	17/11/14	353.30	353.282	0.018
10/11/14	353.18	353.203	-0.023	18/11/14	353.30	353.309	-0.009
11/11/14	353.22	353.183	0.037	19/11/14	353.32	353.303	0.016
12/11/14	353.32	353.235	0.085				

Al comparar los niveles observados con los pronosticados en el periodo de validación. Se observa que en las fechas 12/11/14 y 13/11/14 poseen la mayor diferencia, como se muestra en la Figura 4.91.

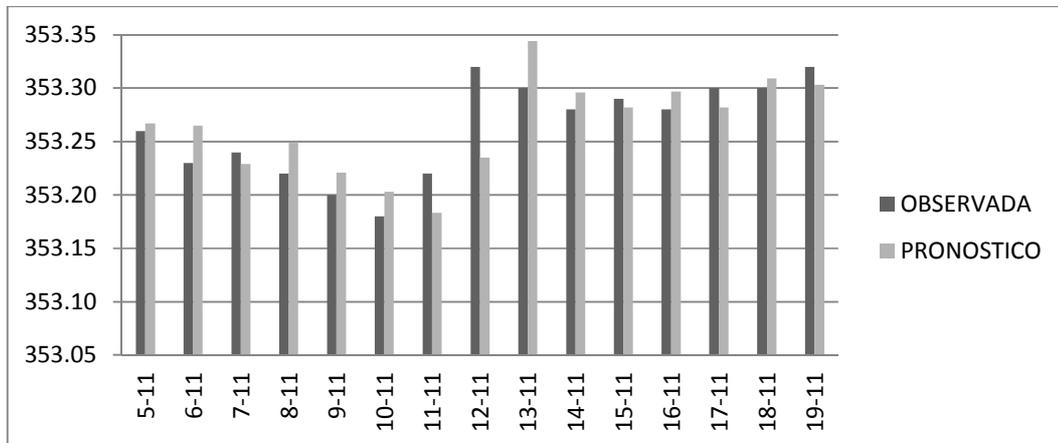


Figura 4.91. Comparación de las cotas observadas con las cotas pronosticadas en el periodo de validación del embalse Pao-Cachinche para datos diarios.

Analizando la dispersión de los datos, se llegó al resultado que  $R^2$  es igual a 0.5308 para el pronóstico de datos diarios en Pao-Cachinche.

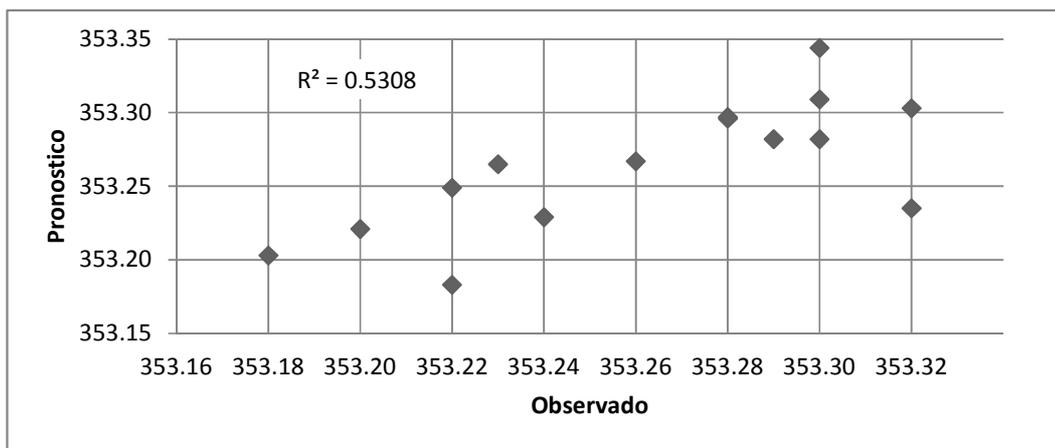


Figura 4.92. Comparación de los niveles observados con las cotas pronosticadas en el periodo de validación del embalse Pao-Cachinche para datos diarios.

### Pronósticos determinados con Statgraphics

Se muestran 7 datos posteriores al periodo de estudio, es decir desde el 20/11/2014 al 26/11/2014. En la “Tabla 4.64., Pronósticos del embalse Pao-Cachinche” se señala el periodo, el pronóstico, el límite inferior y límite superior con un 95% de confianza.

Tabla 4.64. Pronósticos del embalse Pao-Cachinche.

Periodo	Pronóstico	Límite en 95.0%

		Inferior	Superior
20/11/14	353.329	353.256	353.402
21/11/14	353.333	353.219	353.447
22/11/14	353.338	353.195	353.48
23/11/14	353.342	353.177	353.507
24/11/14	353.346	353.163	353.53
25/11/14	353.351	353.150	353.551
26/11/14	353.355	353.140	353.569

La siguiente grafica muestra los pronósticos determinados con sus respectivos límites con una confianza del 95%. A medida que se aumenta el periodo, aumenta el error probable esperado debido a que el modelo se basa en los resultados de periodos anteriores al pronosticado. Es decir, se basa en los mismos pronósticos acumulando los errores.

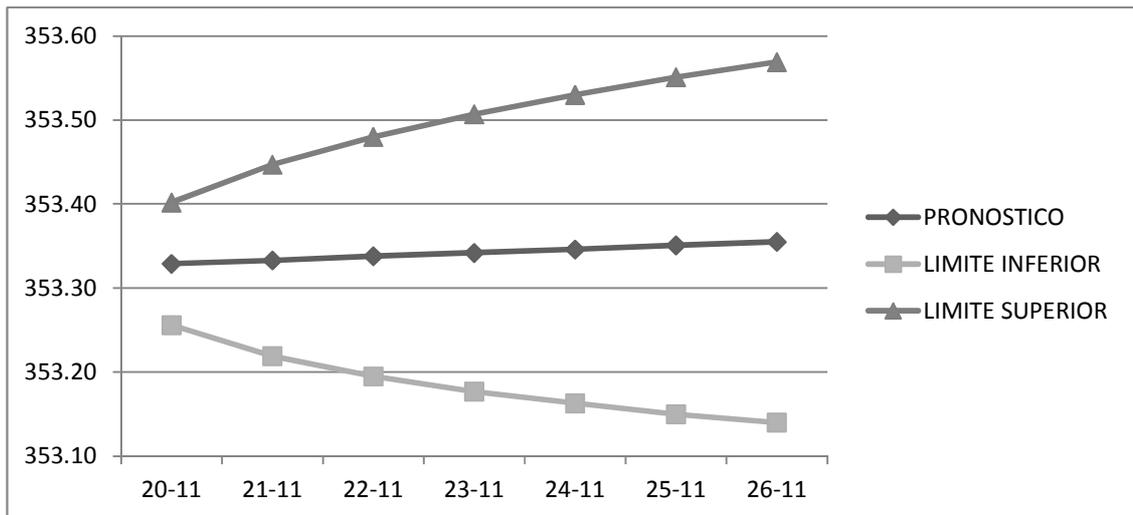


Figura 4.93. Pronósticos del embalse Pao-Cachinche.

### Ejemplo de pronósticos determinados con los modelos

La ecuación paramétrica, estimada en la calibración 1, es la siguiente:

$$X_t = \bar{X}_t + a_t$$

$$\bar{X}_t = 8.54383 + 0.975832 * X_{t-1} + 0.222874 * a_{t-1}$$

Continuando desde el periodo de validación se tiene que:

$$\widehat{Nivel}_{20/11} = 8.54383 + 0.975832 * Nivel_{19/11} + 0.222874 * Error_{19}$$

$$\widehat{Nivel}_{20/11} = 8.54383 + 0.975832 * 353.26 + 0.222874 * -0.00748871$$

$$\widehat{Nivel}_{20/11} = 353.329$$

### Validación 2: Embalse Guataparo datos diarios

La validación se basa en 15 datos al final de la serie de tiempo, los cuales fueron retenidos desde el 05 al 19 de Noviembre del 2014.

Tabla 4.65. Datos retenidos para la validación 2.

PERIODO	COTA OBSERVADA	PERIODO	COTA OBSERVADA	PERIODO	COTA OBSERVADA
05/11/14	506.10	10/11/14	506.39	15/11/14	506.51
06/11/14	506.15	11/11/14	506.40	16/11/14	506.55
07/11/14	506.21	12/11/14	506.42	17/11/14	506.59
08/11/14	506.27	13/11/14	506.45	18/11/14	506.63
09/11/14	506.34	14/11/14	506.47	19/11/14	506.65

### Comparación de los modelos en la validación 2

Recordando los modelos enumerados en la “Calibración 2: Embalse Guataparo con datos diarios”, resaltando el modelo seleccionado:

- (1) **ARIMA(2,1,1) sin constante**
- (2) ARIMA(2,1,1) con constante
- (3) ARIMA(2,0,2) con constante
- (4) ARIMA(1,1,2) sin constante
- (5) ARIMA(1,1,2) con constante

Al comparar los errores estadísticos de cada modelo en el periodo de validación desde 05/11/2014 al 19/11/2014, se llega al resultado que el modelo (1) posee los menores de los siguientes errores: la raíz del error cuadrado medio (RMSE) y el error absoluto medio (MAE).

Por lo que el modelo seleccionado obtuvo un desempeño ideal en la validación, el cual se resalta en la “Tabla 4.66: Comparación de los estadísticos de error de los modelos en la validación 2”.

Tabla 4.66. Comparación de los estadísticos de error de los modelos en la validación 2.

Modelo	RMSE	MAE	MAPE	ME	MPE
<b>(1)</b>	<b>0.0156748</b>	<b>0.0131132</b>	<b>0.00258963</b>	<b>0.00398139</b>	<b>0.000786564</b>
(2)	0.0156838	0.0131248	0.00259192	0.00401587	0.000793373
(3)	0.0165070	0.0138882	0.00274272	0.00467573	0.000923719
(4)	0.0169014	0.0144459	0.00285286	0.00582341	0.00115035
(5)	0.0169177	0.0144678	0.00285719	0.00587008	0.00115957

### **Comparación de los errores estadísticos en el periodo de estimación con el periodo de validación del modelo seleccionado en la calibración**

La tabla 4.67., muestra los estadísticos de error tanto para los periodos de estimación como de validación. Si los resultados son considerablemente peores en el periodo de validación, esto significa que no parece que el modelo se desempeñará tan bien como se esperaría de otra manera para pronosticar el futuro.

Si los resultados son mejores en el periodo de validación, esto significa que parece que el modelo se desempeñará aceptablemente, para pronosticar el futuro. Por lo que el modelo seleccionado se desempeña como se esperaba.

Tabla 4.67. Estadísticos de error del modelo ARIMA (2, 1, 1).

<b>Estadístico</b>	<b>Periodo de Estimación</b>	<b>Periodo de Validación</b>
RMSE	0.0399731	0.0156748
MAE	0.0189129	0.0131132
MAPE	0.00373278	0.00258963
ME	-0.0000412682	0.00398139
MPE	-0.00000663806	0.000786564

### Comparación de los pronósticos con los reales en el periodo de validación

Al comparar las cotas observadas con las cotas pronosticadas en el periodo de validación, se observa que en la fecha 11/11/14 posee la mayor diferencia. El error cometido máximo es de 3.5 cm y el menor de 0.1 cm, con un error promedio de  $\pm 1.3$  cm.

Tabla 4.68. Comparación de las cotas observadas con las cotas pronosticadas.

Periodo	Observado	Pronostico	Error	Periodo	Observado	Pronostico	Error
05/11/14	506.10	506.082	0.018	13/11/14	506.45	506.449	0.001
06/11/14	506.15	506.139	0.011	14/11/14	506.47	506.481	-0.011
07/11/14	506.21	506.190	0.020	15/11/14	506.51	506.496	0.014
08/11/14	506.27	506.254	0.016	16/11/14	506.55	506.541	0.009
09/11/14	506.34	506.316	0.024	17/11/14	506.59	506.582	0.008
10/11/14	506.39	506.390	0.000	18/11/14	506.63	506.622	0.008
11/11/14	506.40	506.435	-0.035	19/11/14	506.65	506.663	-0.013
12/11/14	506.42	506.430	-0.010				

Al comparar los niveles observados con los pronosticados en el periodo de validación. Se observa que en la fecha 11/11/14 posee la mayor diferencia, como se muestra en la Figura 4.94.

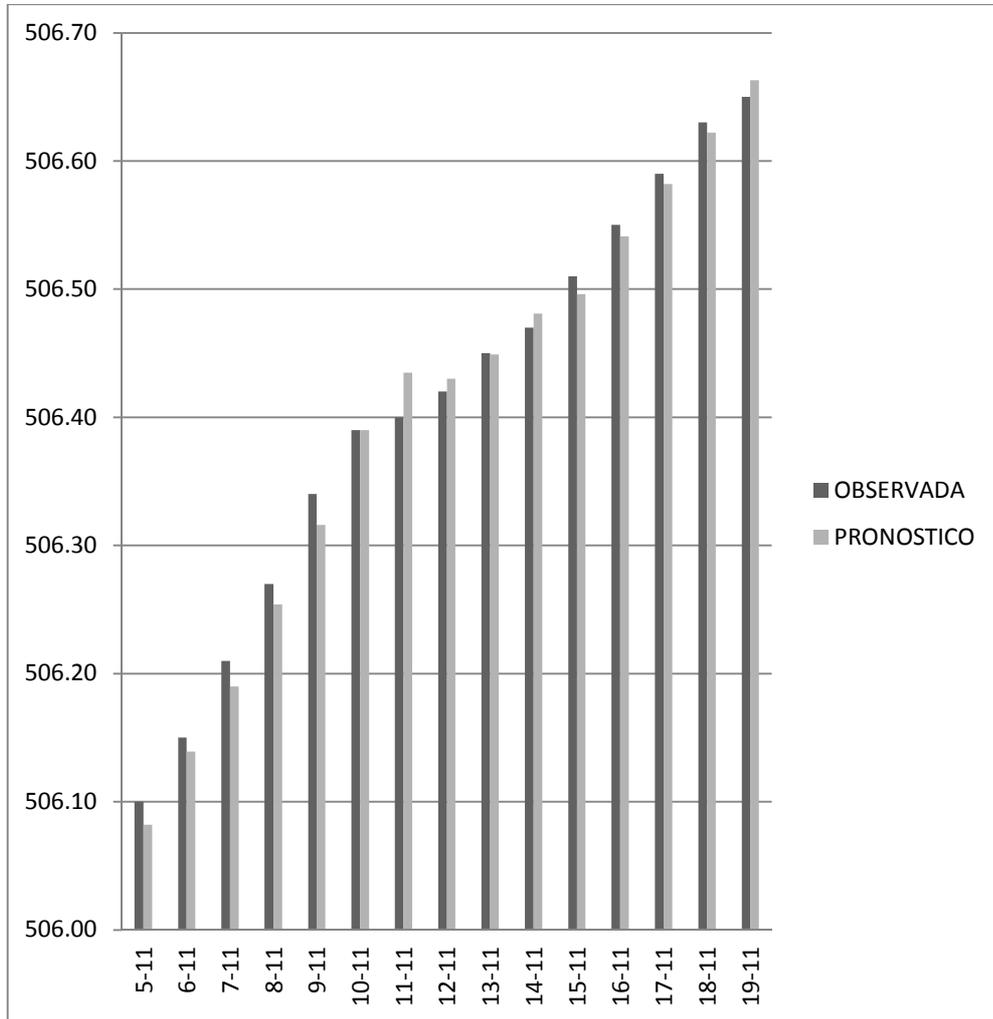


Figura 4.94. Comparación de las cotas observadas con las cotas pronosticadas en el periodo de validación del embalse Guataparo para datos diarios

Analizando la dispersión de los datos, se llegó al resultado que  $R^2$  es igual a 0.9931 para el pronóstico de datos diarios en el embalse Guataparo.

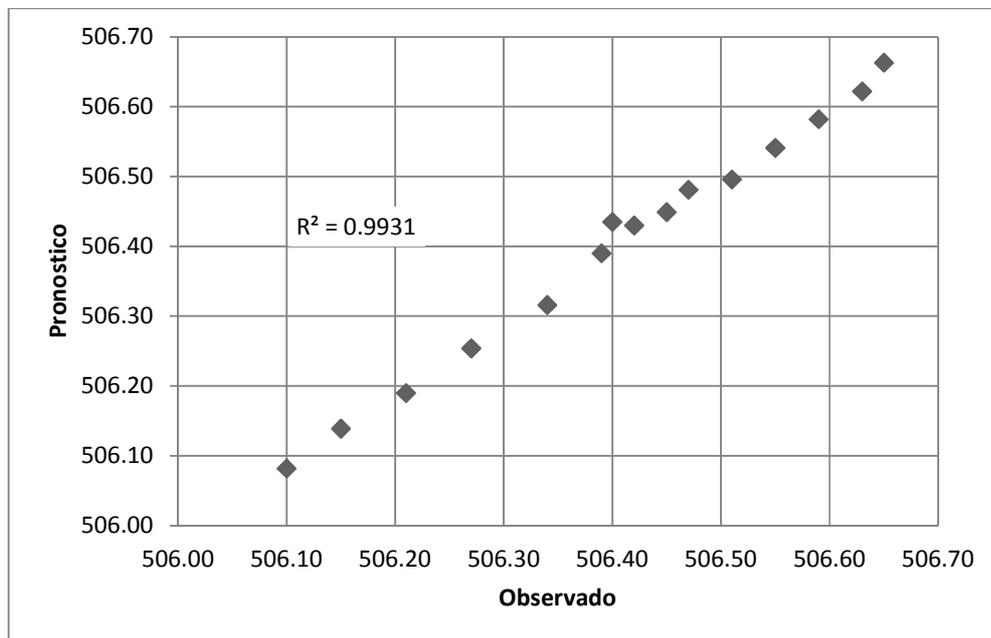


Figura 4.95. Comparación de los niveles observados con los niveles pronosticados en el periodo de validación del embalse Guataparo para datos diarios

### Pronósticos determinados con Statgraphics

Se muestran 7 datos posteriores al periodo de estudio, es decir desde el 20/11/2014 al 26/11/2014. En la “Tabla 4.69., Pronósticos del embalse Guataparo” se señala el periodo, el pronóstico, el límite inferior y límite superior con un 95% de confianza.

Tabla 4.69. Pronósticos del embalse Guataparo.

Periodo	Pronóstico	Límite en 95.0%	
		Inferior	Superior
20/11/14	506.676	506.597	506.754
21/11/14	506.702	506.570	506.834
22/11/14	506.727	506.546	506.909
23/11/14	506.752	506.523	506.981
24/11/14	506.775	506.499	507.052
25/11/14	506.798	506.475	507.121
26/11/14	506.820	506.450	507.191

La siguiente grafica muestra los pronósticos determinados con sus respectivos límites con una confianza del 95%. A medida que se aumenta el periodo, aumenta el error probable esperado debido a que el modelo se basa en los resultados de periodos

anteriores al pronosticado. Es decir, se basa en los mismos pronósticos acumulando los errores.

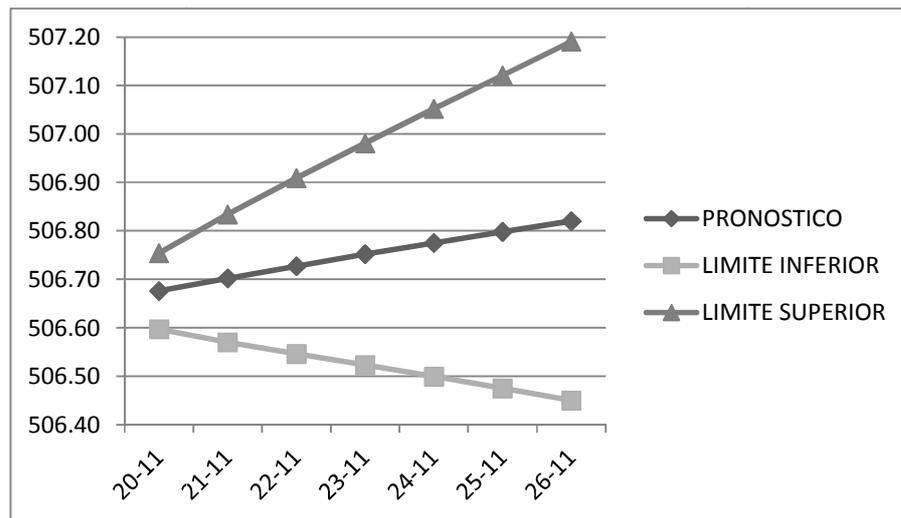


Figura 4.96. Pronósticos del embalse Guatapo.

### Ejemplo de pronósticos determinados con los modelos

La ecuación paramétrica, estimada en la calibración 2, es la siguiente:

$$X_t = \bar{X}_t + a_t$$

$$\bar{X}_t = X_{t-1} + 1.16167 * (X_{t-1} - X_{t-2}) - 0.191068 * (X_{t-2} - X_{t-3}) - 0.801198 * a_{t-1}$$

Continuando desde el periodo de validación se tiene que:

$$\widehat{Nivel}_{20/11} = Cota_{19} + 1.16167 * (\widehat{Nivel}_{19/11} - \widehat{Nivel}_{18/11}) - 0.191068 * (\widehat{Nivel}_{18/11} - \widehat{Nivel}_{17/11}) - 0.801198 * Error_{19}$$

$$\widehat{Nivel}_{20/11} = 506.65 + 1.16167 * (506.65 - 506.63) - 0.191068 * (506.63 - 506.59) - 0.801198 * -0.0126934$$

$$\widehat{Nivel}_{20/11} = 506.676$$

### Validación 3: Embalse Pao-la Balsa datos diarios

La validación se basa en 15 datos al final de la serie de tiempo, los cuales fueron retenidos desde el 05 al 19 de Noviembre del 2014.

Tabla 4.70. Datos retenidos para la validación.

PERIODO	COTA OBSERVADA	PERIODO	COTA OBSERVADA	PERIODO	COTA OBSERVADA
05/11/14	129.74	10/11/14	129.75	15/11/14	129.81
06/11/14	129.73	11/11/14	129.76	16/11/14	129.94
07/11/14	129.73	12/11/14	129.76	17/11/14	129.97
08/11/14	129.74	13/11/14	129.77	18/11/14	129.98
09/11/14	129.75	14/11/14	129.77	19/11/14	129.98

#### Comparación de los modelos en la validación

Recordando los modelos enumerados en la “Calibración 3: embalse Pao-la Balsa con datos diarios”, resaltando el modelo seleccionado:

- (1) ARIMA (2, 0, 2) con constante
- (2) ARIMA (2, 0, 1) con constante
- (3) ARIMA (1, 1, 1) sin constante**
- (4) ARIMA (1, 1, 2) sin constante
- (5) ARIMA (2, 1, 1) sin constante

Al comparar los errores estadísticos de cada modelo en el periodo de validación desde 03/11/2014 al 19/11/2014, se llega al resultado que el modelo (3) posee la menor raíz del error cuadrado medio (RMSE) y el modelo (1) posee el menor error absoluto medio (MAE). Sin embargo no es mucha la diferencia con el modelo seleccionado, el cual se resalta en la “Tabla 4.71: Comparación de los estadísticos de error de los modelos en el periodo de validación”.

Tabla 4.71. Comparación de los estadísticos de error de los modelos en el periodo de validación.

Modelo	RMSE	MAE	MAPE	ME	MPE
(1)	0.0341285	0.0171869	0.0132330	0.00916532	0.00705578
(2)	0.0344176	0.0174630	0.0134454	0.00945277	0.00727752
<b>(3)</b>	<b>0.0340100</b>	<b>0.0175347</b>	<b>0.0135006</b>	<b>0.00790935</b>	<b>0.00608877</b>
(4)	0.0337938	0.0173176	0.0133336	0.00772489	0.00594649
(5)	0.0338542	0.0173635	0.0133689	0.00780125	0.00600546

### Comparación de los errores estadísticos en el periodo de estimación con el periodo de validación del modelo seleccionado en la calibración

La tabla 4.72., muestra los estadísticos de error tanto para los periodos de estimación como de validación. Si los resultados son considerablemente peores en el periodo de validación, esto significa que no parece que el modelo se desempeñará tan bien como se esperaría de otra manera para pronosticar el futuro.

Por lo que el modelo seleccionado se desempeña como se esperaba. Si los resultados son mejores en el periodo de validación, esto significa que parece que el modelo se desempeñará aceptablemente, para pronosticar el futuro.

Tabla 4.72. Estadísticos de error del modelo ARIMA (1, 1, 1).

Estadístico	Periodo de Estimación	Periodo de Validación
RMSE	0.0675423	0.0340100
MAE	0.0283471	0.0175347
MAPE	0.0219321	0.0135006
ME	0.0000687049	0.00790935
MPE	0.0000741319	0.00608877

### Comparación de los pronósticos en el periodo de validación con los reales

Al comparar las cotas observadas con las cotas pronosticadas en el periodo de validación, se observa que en la fecha 16/11/14 posee la mayor diferencia. El error cometido máximo es de 3.7 cm y el menor de 0.2 cm, con un error promedio de  $\pm 1.5$  cm.

Tabla 4.73. Comparación de las cotas observadas con las cotas pronosticadas.

Periodo	Observado	Pronostico	Error	Periodo	Observado	Pronostico	Error
05/11/14	129.74	129.746	-0.006	13/11/14	129.77	129.763	0.007
06/11/14	129.73	129.745	-0.015	14/11/14	129.77	129.774	-0.004
07/11/14	129.73	129.732	-0.002	15/11/14	129.81	129.773	0.037
08/11/14	129.74	129.732	0.008	16/11/14	129.94	129.819	0.121
09/11/14	129.75	129.743	0.007	17/11/14	129.97	129.967	0.003
10/11/14	129.75	129.754	-0.004	18/11/14	129.98	129.996	-0.016
11/11/14	129.76	129.753	0.007	19/11/14	129.98	130.002	-0.022
12/11/14	129.76	129.764	-0.004				

Al comparar los niveles observados con los pronosticados en el periodo de validación. Se observa que en la fecha 16/11/14 posee la mayor diferencia, como se muestra en la Figura 4.97.

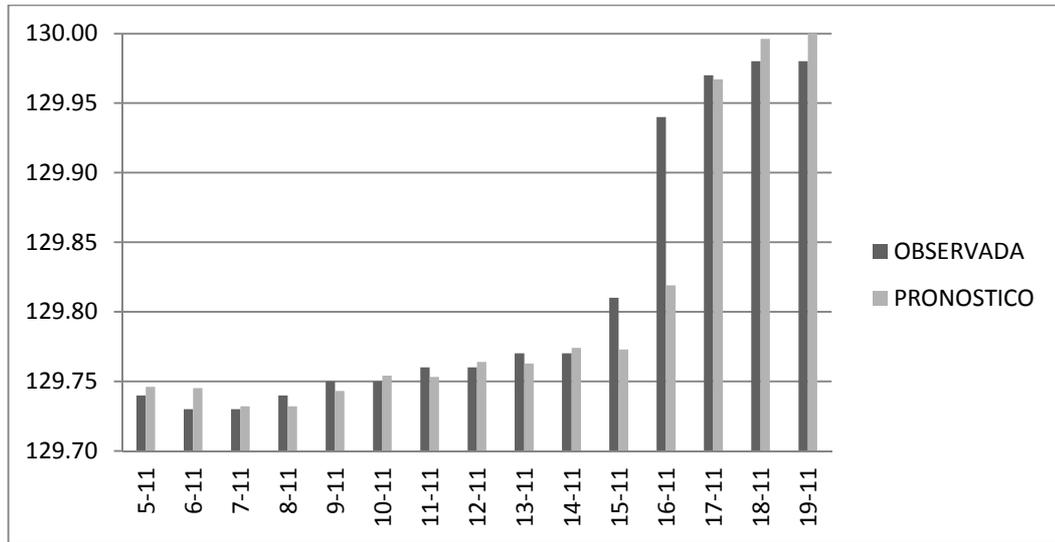


Figura 4.97. Comparación de las cotas observadas con las cotas pronosticadas en el periodo de validación del embalse Pao-la Balsa para datos diarios.

Analizando la dispersión de los datos, se llegó al resultado que  $R^2$  es igual a 0.8836 para el pronóstico de datos diarios en el embalse Pao-la Balsa.

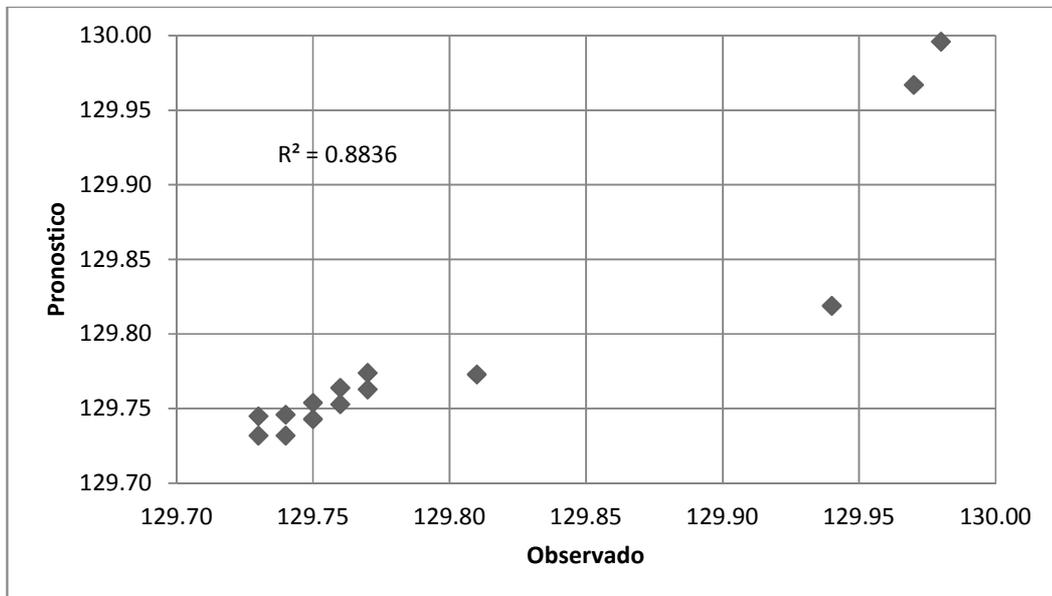


Figura 4.98. Comparación de los niveles observados con los niveles pronosticados en el periodo de validación del embalse Pao-la Balsa para datos diarios.

### Pronósticos determinados con Statgraphics

Se muestran 7 datos posteriores al periodo de estudio, es decir desde el 20/11/2014 al 26/11/2014. En la “Tabla 4.74., Pronósticos del embalse Pao-la Balsa” se señala el periodo, el pronóstico, el límite inferior y límite superior con un 95% de confianza.

Tabla 4.74.Pronósticos del embalse Pao-la Balsa.

Periodo	Pronóstico	Límite en 95.0%	
		Inferior	Superior
20/11/14	129.997	129.865	130.129
21/11/14	130.013	129.811	130.215
22/11/14	130.028	129.763	130.293
23/11/14	130.042	129.716	130.368
24/11/14	130.056	129.670	130.441
25/11/14	130.068	129.623	130.513
26/11/14	130.080	129.575	130.584

La siguiente grafica muestra los pronósticos determinados con sus respectivos límites con una confianza del 95%. A medida que se aumenta el periodo, aumenta el error probable esperado debido a que el modelo se basa en los resultados de periodos anteriores al pronosticado. Es decir, se basa en los mismos pronósticos acumulando los errores.

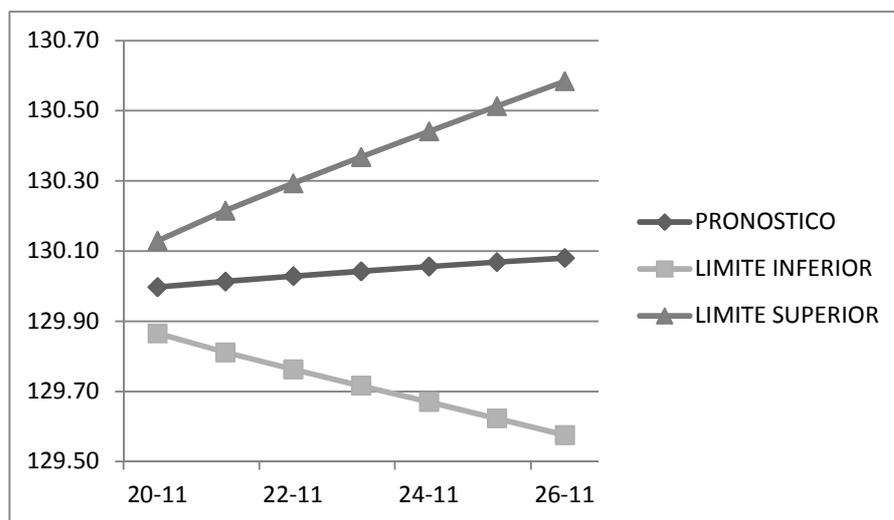


Figura 4.99. Pronósticos del embalse Pao-la Balsa.

### Ejemplo de pronósticos determinados con los modelos

La ecuación paramétrica, estimada en la calibración 3, es la siguiente:

$$X_t = \bar{X}_t + a_t$$

$$\bar{X}_t = X_{t-1} + 0.940047 * (X_{t-1} - X_{t-2}) - 0.786966 * a_{t-1}$$

Continuando desde el periodo de validación se tiene que:

$$\widehat{Nivel}_{20/11} = Nivel_{19/11} + 0.940047 * (Nivel_{19/11} - Nivel_{18/11}) - 0.786966 * Error_{19/11}$$

$$\widehat{Nivel}_{20/11} = 129.98 + 0.940047 * (129.98 - 129.98) - 0.786966 * -0.0216475$$

$$\widehat{Nivel}_{20/11} = 129.997$$

### Validación 4: Embalse Pao-Cachinche datos mensuales

La validación se basa en 6 datos al final de la serie de tiempo, los cuales fueron retenidos desde del 06/2014 al 11/2014.

Tabla 4.75. Datos retenidos para la validación.

PERIODO	COTA OBSERVADA
6/14	353.36
7/14	353.42
8/14	353.48
9/14	353.45
10/14	353.37
11/14	353.28

### Comparación de los modelos en la validación 4

Recordando los modelos enumerados en la “Calibración 4: embalse Pao-Cachinche con datos mensuales”, resaltando el modelo seleccionado:

- (1) **ARIMA(2,0,1) con constante**
- (2) ARIMA(2,1,1)
- (3) ARIMA(1,1,2)
- (4) ARIMA(2,0,2) con constante
- (5) ARIMA(0,1,2)

Al comparar los errores estadísticos de cada modelo en el periodo de validación desde 06/2014 al 11/2014, se llega al resultado que el modelo (5) posee los menores de los siguientes errores: la raíz del error cuadrado medio (RMSE) y el error absoluto medio (MAE). Sin embargo no es mucha la diferencia con el modelo seleccionado, el cual se resalta en la “Tabla X: Comparación de los estadísticos de error de los modelos en el periodo de validación”.

Tabla 4.76. Comparación de los estadísticos de error de los modelos en el periodo de validación.

Modelo	RMSE	MAE	MAPE	ME	MPE
<b>(1)</b>	<b>0.0450006</b>	<b>0.0441110</b>	<b>0.0124822</b>	<b>-0.0266338</b>	<b>-0.00753709</b>
(2)	0.0428057	0.0354322	0.0100259	-0.00761828	-0.00215598
(3)	0.0434542	0.0354089	0.0100192	-0.00932367	-0.00263836
(4)	0.0451135	0.0426566	0.0120705	-0.0228049	-0.00645349
(5)	0.0408097	0.0347435	0.00983135	-0.0104081	-0.00294568

### **Comparación de los errores estadísticos en el periodo de estimación con el periodo de validación del modelo seleccionado en la calibración**

La tabla 4.7., muestra los estadísticos de error tanto para los periodos de estimación como de validación. Si los resultados son considerablemente peores en el periodo de validación, esto significa que no parece que el modelo se desempeñará tan bien como se esperaba de otra manera para pronosticar el futuro.

Por lo que el modelo seleccionado se desempeña como se esperaba. Si los resultados son mejores en el periodo de validación, esto significa que parece que el modelo se desempeñará aceptablemente, para pronosticar el futuro.

Tabla 4.77. Estadísticos de error del modelo ARIMA

	<i>Periodo de</i>	<i>Periodo de</i>
<i>Estadístico</i>	<i>Estimación</i>	<i>Validación</i>
RMSE	0.0499795	0.0450006
MAE	0.0342934	0.044111
MAPE	0.00970163	0.0124822
ME	-0.0000197965	-0.0266338
MPE	-0.00000668242	-0.00753709

### Comparación de los pronósticos en el periodo de validación con los reales

Al comparar las cotas observadas con las cotas pronosticadas en el periodo de validación, se observa que en los meses 7/14 y 10/14 poseen la mayor diferencia. El error cometido máximo es de 5.8 cm y el menor de 3.2 cm, con un error promedio de  $\pm 4.4$  cm.

Tabla 4.78. Comparación de las cotas observadas con las cotas pronosticadas.

PERIODO	OBSERVADO	PRONOSTICO	ERROR
6/14	353.36	353.406	-0.046
7/14	353.42	353.368	0.052
8/14	353.48	353.517	-0.037
9/14	353.45	353.482	-0.032
10/14	353.37	353.428	-0.058
11/14	353.28	353.319	-0.039

Al comparar los niveles observados con los pronosticados en el periodo de validación. Se observa que en los meses 7/14 y 10/14 posee la mayor diferencia, como se muestra en la Figura 4.100.

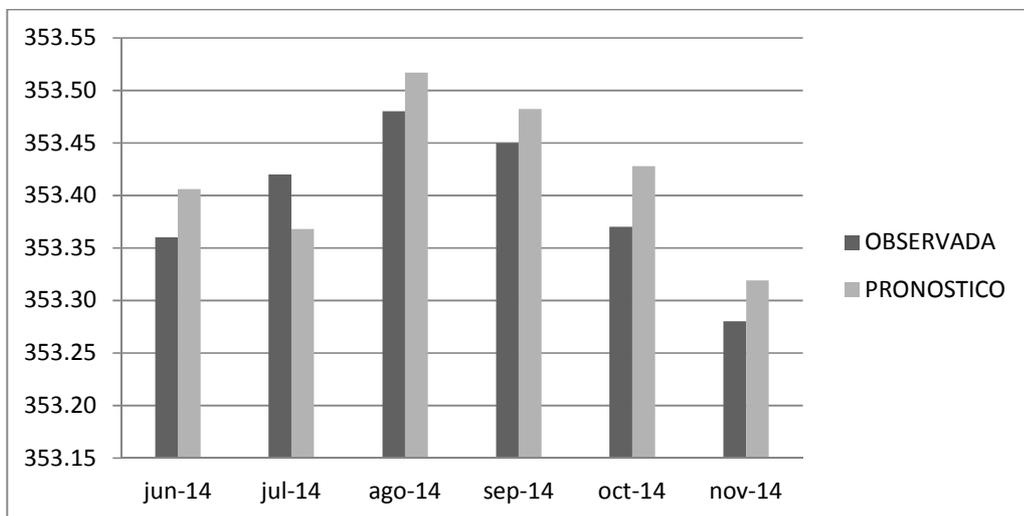


Figura 4.100. Comparación de las cotas observadas con las cotas pronosticadas en el periodo de validación del embalse Pao-Cachinche para datos mensuales.

Analizando la dispersión de los datos, se llegó al resultado que  $R^2$  es igual a 0.7233 para el pronóstico de datos mensuales en el embalse Pao-Cachinche.

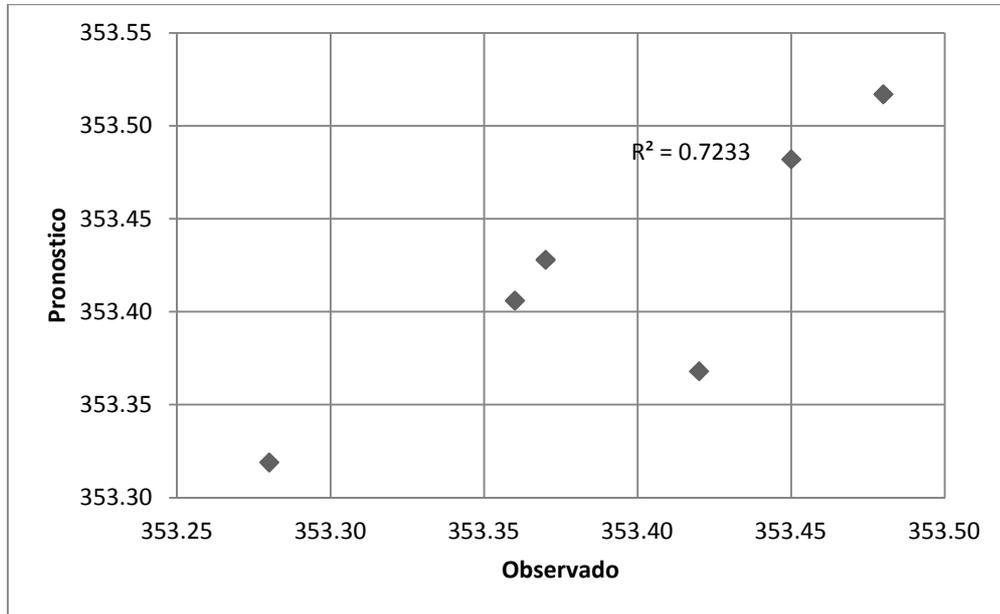


Figura 4.101. Comparación de las cotas observadas con las cotas pronosticadas en el periodo de validación del embalse Pao-Cachinche para datos mensuales.

### Pronósticos determinados con Statgraphics

Se muestran 6 datos posteriores al periodo de estudio, es decir desde el 12/2014 al 05/2015. En la “Tabla 4.79., Pronósticos del embalse Pao-Cachinche” se señala el periodo, el pronóstico, el límite inferior y límite superior con un 95% de confianza.

Tabla 4.79. Pronósticos del embalse Pao-Cachinche.

Periodo	Pronóstico	Límite en 95.0%	
		Inferior	Superior
12/14	353.259	353.156	353.362
1/15	353.304	353.060	353.548
2/15	353.367	353.034	353.700
3/15	353.425	353.042	353.808
4/15	353.471	353.063	353.880
5/15	353.505	353.085	353.925

La siguiente grafica muestra los pronósticos determinados con sus respectivos límites con una confianza del 95%. A medida que se aumenta el periodo, aumenta el error probable esperado debido a que el modelo se basa en los resultados de periodos anteriores al pronosticado. Es decir, se basa en los mismos pronósticos acumulando los errores.

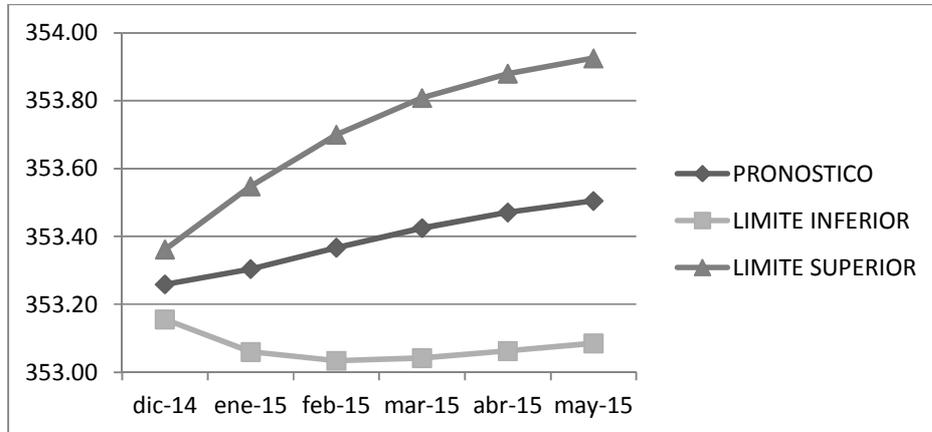


Figura 4.102. Pronósticos del embalse Pao-Cachinche.

### Ejemplo de pronósticos determinados con los modelos

La ecuación paramétrica, estimada en la calibración 4, es la siguiente:

$$X_t = \bar{X}_t + a_t$$

$$\bar{X}_t = 62.5009 + 1.20341 * X_{t-1} - 0.380183 * X_{t-2} + 0.939794 * a_{t-1}$$

Continuando desde el periodo de validación se tiene que:

$$\widehat{Nivel}_{12/14} = 62.5009 + 1.20341 * Nivel_{11/14} - 0.380183 * Nivel_{10/14} + 0.939794 * Error_{11/14}$$

$$\widehat{Nivel}_{12/14} = 62.5009 + 1.20341 * 353.28 - 0.380183 * 353.37 + 0.939794 * -0.0390173$$

$$\widehat{Nivel}_{12/14} = 353.260$$

### Validación 5: Embalse Guataparo datos mensuales

La validación se basa en 6 datos al final de la serie de tiempo, los cuales fueron retenidos desde del 05/2014 al 10/2014.

Tabla 4.80. Datos retenidos para la validación.

PERIODO	COTA OBSERVADA
5/14	500.88
6/14	501.48
7/14	502.69
8/14	503.67
9/14	504.62
10/14	505.56

## Comparación de los modelos en la validación 5

Recordando los modelos enumerados en el apartado 4.3.5 “Calibración 5: embalse Guataparó con datos mensuales”, resaltando el modelo seleccionado:

- (1) **ARIMA(2,0,2) con constante**
- (2) ARIMA(2,0,1) con constante
- (3) ARIMA(2,1,1)
- (4) ARIMA(1,1,2)
- (5) ARIMA(2,1,2)

Al comparar los errores estadísticos de cada modelo en el periodo de validación desde 05/2014 al 10/2014, se llega al resultado que el modelo (1) posee los menores de los siguientes errores: la raíz del error cuadrado medio (RMSE) y el error absoluto medio (MAE). Por lo que la selección es satisfactoria, el cual se resalta en la “Tabla X: Comparación de los estadísticos de error de los modelos en el periodo de validación”.

Tabla 4.81. Comparación de los estadísticos de error de los modelos en el periodo de validación.

Modelo	RMSE	MAE	MAPE	ME	MPE
<b>(1)</b>	<b>0.238086</b>	<b>0.167012</b>	<b>0.033264</b>	<b>0.0917153</b>	<b>0.0182852</b>
(2)	0.271607	0.174396	0.0347474	0.0911879	0.0182005
(3)	0.336118	0.278357	0.0553816	0.254055	0.0505471
(4)	0.339600	0.268022	0.0533382	0.264085	0.0525549
(5)	0.333268	0.279327	0.0555706	0.248908	0.0495195

## Comparación de los errores estadísticos en el periodo de estimación con el periodo de validación del modelo seleccionado en la calibración

La tabla 4.82., muestra los estadísticos de error tanto para los periodos de estimación como de validación. Si los resultados son considerablemente peores en el periodo de validación, esto significa que no parece que el modelo se desempeñará tan bien como se esperaría de otra manera para pronosticar el futuro.

Por lo que el modelo seleccionado se desempeña como se esperaba. Si los resultados son mejores en el periodo de validación, esto significa que parece que el modelo se desempeñará aceptablemente, para pronosticar el futuro.

Tabla 4.82. Estadísticos de error del modelo ARIMA.

	Periodo de	Periodo de
Estadístico	Estimación	Validación
RMSE	0.350752	0.238086
MAE	0.250676	0.167012
MAPE	0.0494654	0.033264
ME	-0.0219929	0.0917153
MPE	-0.00437375	0.0182852

### Comparación de los pronósticos en el periodo de validación con los reales

Al comparar las cotas observadas con las cotas pronosticadas en el periodo de validación, se observa que en el mes 6/14 posee la mayor diferencia. El error cometido máximo es de 51.3 cm y el menor de 1.7 cm, con un error promedio de  $\pm 16.7$  cm.

Tabla 4.83. Comparación de las cotas observadas con las cotas pronosticadas.

PERIODO	COTA OBSERVADA	COTA PRONOSTICADA	ERROR COMETIDO
5/14	500.88	500.745	0.135
6/14	501.48	500.967	0.513
7/14	502.69	502.916	-0.226
8/14	503.67	503.653	0.017
9/14	504.62	504.536	0.084
10/14	505.56	505.533	0.027

Al comparar los niveles observados con los pronosticados en el periodo de validación. Se observa que en los meses 6/14 posee la mayor diferencia, como se muestra en la Figura 4.103.

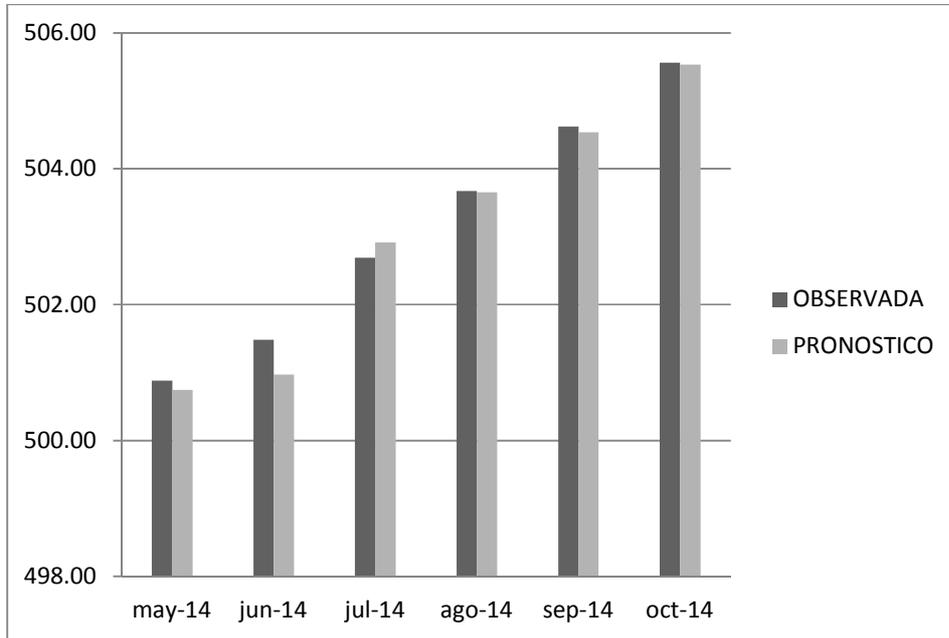


Figura 4.103. Comparación de las cotas observadas con las cotas pronosticadas en el periodo de validación del embalse Guataparo para datos mensuales.

Analizando la dispersión de los datos, se llegó al resultado que  $R^2$  es igual a 0.9867 para el pronóstico de datos mensuales en el embalse Pao-Cachinche.

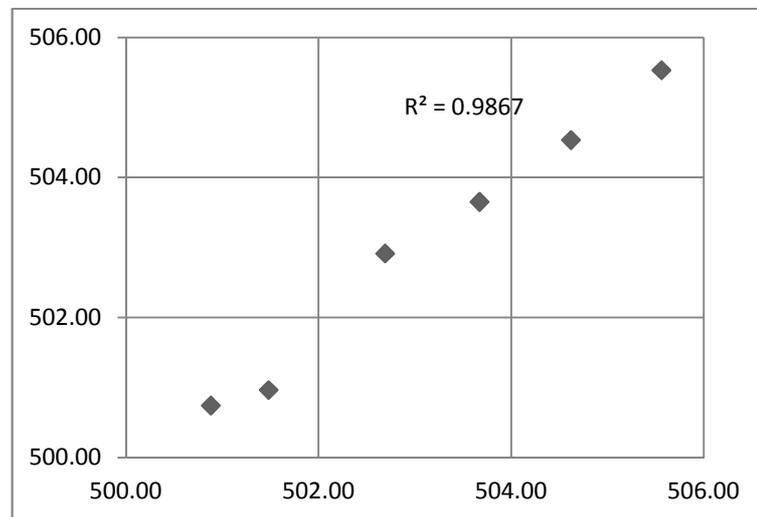


Figura 4.104. Comparación de las cotas observadas con las cotas pronosticadas en el periodo de validación del embalse Guataparo para datos mensuales.

## Pronósticos determinados con Statgraphics

Se muestran 6 datos posteriores al periodo de estudio, es decir desde el 11/2014 al 04/2015. En la “Tabla 4.84., Pronósticos del embalse Guataparo” se señala el periodo, el pronóstico, el límite inferior y límite superior con un 95% de confianza.

Tabla 4.84. Pronósticos del embalse Guataparo.

Periodo	Pronóstico	Límite en 95.0%	
		Inferior	Superior
11/14	506.353	505.662	507.044
12/14	506.962	505.017	508.908
01/15	507.416	504.246	510.587
02/15	507.748	503.567	511.93
03/15	507.987	503.028	512.945
04/15	508.154	502.626	513.682

La siguiente grafica muestra los pronósticos determinados con sus respectivos límites con una confianza del 95%. A medida que se aumenta el periodo, aumenta el error probable esperado debido a que el modelo se basa en los resultados de periodos anteriores al pronosticado. Es decir, se basa en los mismos pronósticos acumulando los errores.

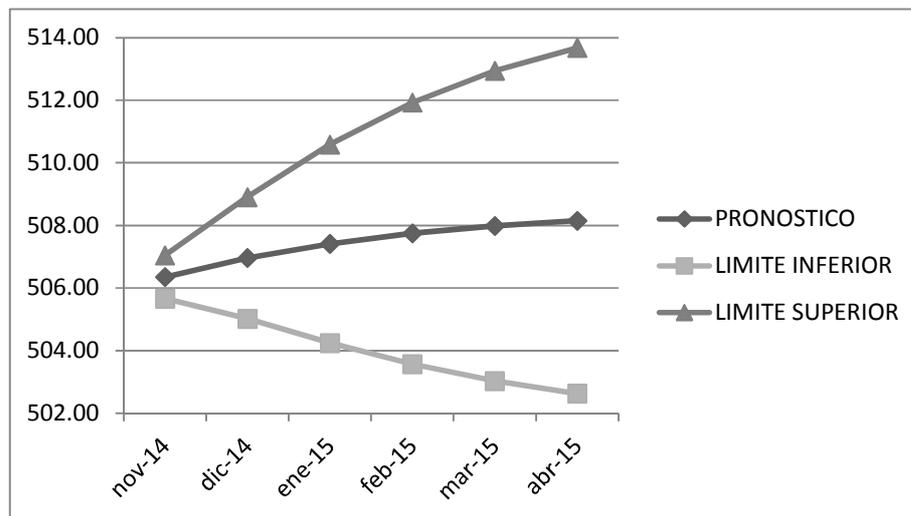


Figura 4.105. Pronósticos del embalse Guataparo.

### Ejemplo de pronósticos determinados con los modelos

La ecuación paramétrica, estimada en la calibración 5, es la siguiente:

$$X_t = \bar{X}_t + a_t$$

$$\bar{X}_t = 35.3968 + 1.51032 * X_{t-1} - 0.57994 * X_{t-2} + 1.12176 * a_{t-1} + 0.227117 * a_{t-2}$$

Continuando desde el periodo de validación se tiene que:

$$\widehat{Nivel}_{11/14} = 35.3968 + 1.51032 * Nivel_{10/14} - 0.57994 * Nivel_{9/14} + 1.12176 * Error_{10/14} + 0.227117 * Error_{9/14}$$

$$\widehat{Nivel}_{11/14} = 35.3968 + 1.51032 * 505.56 - 0.57994 * 504.62 + 1.12176 * 0.0274651 + 0.227117 * 0.0838481$$

$$\widehat{Nivel}_{11/14} = 506.355$$

### Validación 6: Embalse Pao-la Balsa datos mensuales

La validación se basa en 6 datos al final de la serie de tiempo, los cuales fueron retenidos desde del 05/2014 al 10/2014.

Tabla 4.85. Datos retenidos para la validación.

PERIODO	COTA OBSERVADA
5/14	125.70
6/14	125.39
7/14	126.47
8/14	127.96
9/14	128.93
10/14	129.62

### Comparación de los modelos en la validación 6

Recordando los modelos enumerados en el apartado 4.3.6 “Calibración 6: embalse Pao-la Balsa con datos mensuales”, resaltando el modelo seleccionado:

- (1) ARIMA(2,1,2) sin constante
- (2) ARIMA(2,0,1) con constante

- (3) ARIMA(2,0,2) con constante
- (4) ARIMA(2,1,2) con constante
- (5) ARIMA(2,1,1) sin constante

Al comparar los errores estadísticos de cada modelo en el periodo de validación desde 05/2014 al 10/2014, se llega al resultado que el modelo (1) posee el menor error estadístico de la raíz del error cuadrado medio (RMSE). Por lo que la selección es satisfactoria, el cual se resalta en la “Tabla 4.86., Comparación de los estadísticos de error de los modelos en el periodo de validación”.

Tabla 4.86 Comparación de los estadísticos de error de los modelos en el periodo de validación.

Modelo	RMSE	MAE	MAPE	ME	MPE
<b>(1)</b>	<b>0.292570</b>	<b>0.241679</b>	<b>0.19056</b>	<b>-0.0468212</b>	<b>-0.036826</b>
(2)	0.296235	0.233631	0.18419	-0.0144888	-0.0115845
(3)	0.296838	0.230424	0.181705	-0.0180581	-0.0143574
(4)	0.294332	0.241943	0.190755	-0.0550683	-0.0433112
(5)	0.382057	0.283875	0.224296	0.203653	0.160486

### **Comparación de los errores estadísticos en el periodo de estimación con el periodo de validación del modelo seleccionado en la calibración**

La tabla 4.87., muestra los estadísticos de error tanto para los periodos de estimación como de validación. Si los resultados son considerablemente peores en el periodo de validación, esto significa que no parece que el modelo se desempeñará tan bien como se esperaría de otra manera para pronosticar el futuro.

Por lo que el modelo seleccionado se desempeña como se esperaba. Si los resultados son mejores en el periodo de validación, esto significa que parece que el modelo se desempeñará aceptablemente, para pronosticar el futuro.

Tabla 4.87: Estadísticos de error del modelo ARIMA(2,1,2).

	Periodo de Estimación	Periodo de Validación
Estadístico		
RMSE	0.356230	0.292570
MAE	0.274867	0.241679
MAPE	0.213038	0.190560
ME	-0.0112564	-0.0468212
MPE	-0.0093726	-0.036826

### Comparación de los pronósticos en el periodo de validación con los reales

Al comparar las cotas observadas con las cotas pronosticadas en el periodo de validación, se observa que en los meses 5/14 y 7/14 poseen la mayor diferencia. El error cometido máximo es de 47.2 cm y el menor de 6.3 cm, con un error promedio de  $\pm 24.2$  cm.

Tabla 4.88. Comparación de las cotas observadas con las cotas pronosticadas.

PERIODO	OBSERVADO	PRONOSTICADO	ERROR
5/14	125.70	126.172	-0.472
6/14	125.39	125.327	0.063
7/14	126.47	126.024	0.446
8/14	127.96	128.207	-0.247
9/14	128.93	129.076	-0.146
10/14	129.62	129.544	0.076

Al comparar los niveles observados con los pronosticados en el periodo de validación. Se observa que en los meses 5/14 y 7/14 poseen la mayor diferencia, como se muestra en la Figura 4.106.

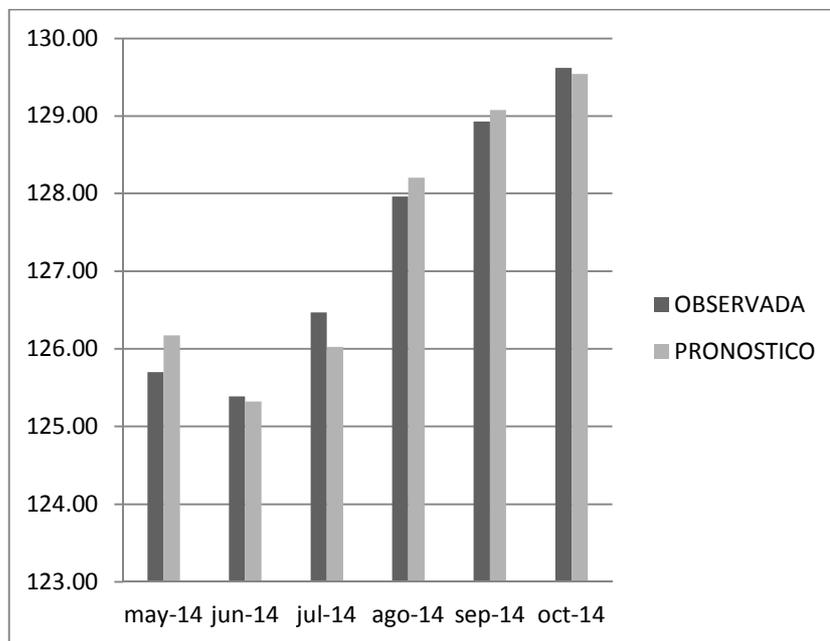


Figura 4.106. Comparación de las cotas observadas con las cotas pronosticadas en el periodo de validación del embalse Pao-la Balsa para datos mensuales.

Analizando la dispersión de los datos, se llegó al resultado que  $R^2$  es igual a 0.9682 para el pronóstico de datos mensuales en el embalse Pao-la Balsa.

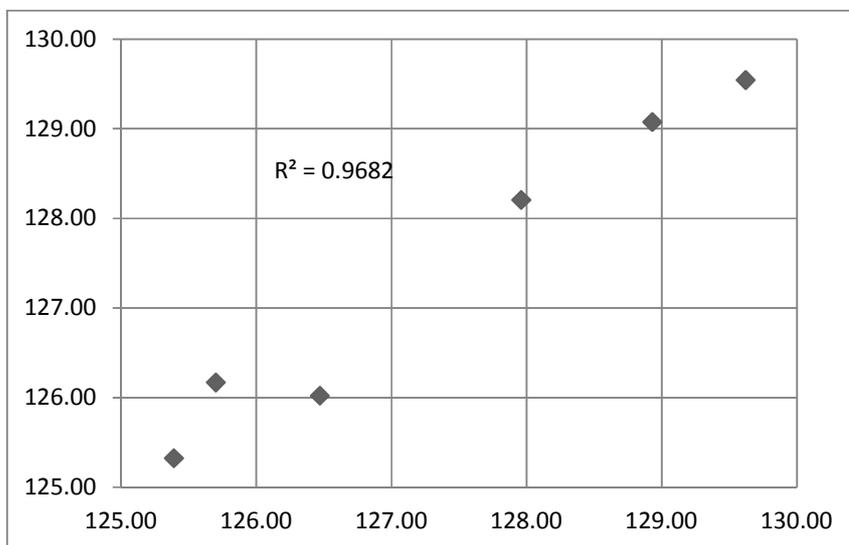


Figura 4.107. Comparación de las cotas observadas con las cotas pronosticadas en el periodo de validación del embalse Pao-la Balsa para datos mensuales.

### Pronósticos determinados con Statgraphics

Se muestran 6 datos posteriores al periodo de estudio, es decir desde el 11/2014 al 04/2015. En la “Tabla 4.90., Pronósticos del embalse Pao-la Balsa” se señala el periodo, el pronóstico, el límite inferior y límite superior con un 95% de confianza.

Tabla 4.90. Pronósticos del embalse Pao-la Balsa.

Periodo	Pronóstico	Límite en 95.0%	
		Inferior	Superior
11/14	130.076	129.370	130.781
12/14	130.201	128.379	132.024
01/15	130.064	127.325	132.802
02/15	129.767	126.439	133.096
03/15	129.421	125.809	133.032
04/15	129.113	125.419	132.807

La siguiente grafica muestra los pronósticos determinados con sus respectivos límites con una confianza del 95%. A medida que se aumenta el periodo, aumenta el error probable esperado debido a que el modelo se basa en los resultados de periodos

anteriores al pronosticado. Es decir, se basa en los mismos pronósticos acumulando los errores.

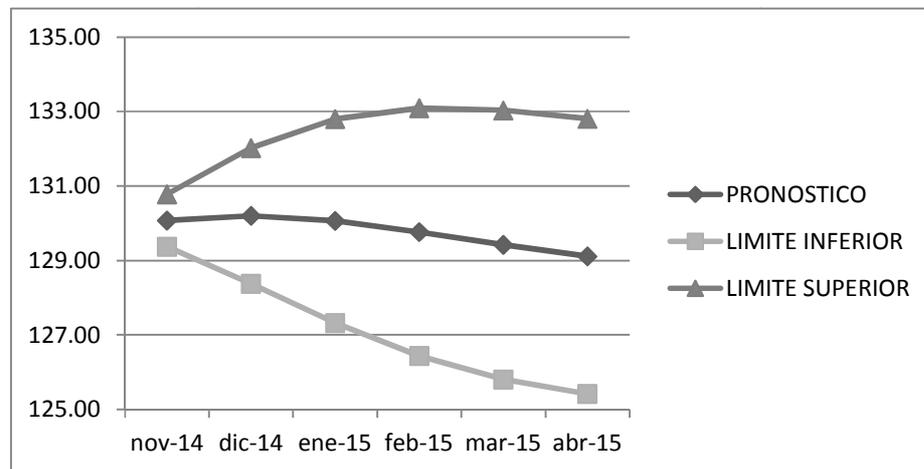


Figura 4.108. Pronósticos del embalse Pao-la Balsa.

### Ejemplo de pronósticos determinados con los modelos

La ecuación paramétrica, estimada en la calibración 6, es la siguiente:

$$X_t = \bar{X}_t + a_t$$

$$\bar{X}_t = X_{t-1} + 1.50101 * (X_{t-1} - X_{t-2}) - 0.716239 * (X_{t-2} - X_{t-3}) - 0.118567 * a_{t-1} - 0.843365 * a_{t-2}$$

Continuando desde el periodo de validación se tiene que:

$$\widehat{Nivel}_{11/14} = Nivel_{10} + 1.50101 * (Nivel_{10/14} - Nivel_{9/14}) - 0.716239 * (Nivel_{9/14} - Nivel_{8/14}) - 0.118567 * Error_{10} - 0.843365 * Error_9$$

$$\widehat{Nivel}_{11/14} = 129.62 + 1.50101 * (129.62 - 128.93) - 0.716239 * (128.93 - 127.96) - 0.118567 * 0.0756597 - 0.843365 * (-0.146481)$$

$$\widehat{Nivel}_{11/14} = 130.076$$

### Determinación de las variables “AREA” y “VOLUMEN”

Una vez obtenidos los pronósticos de las cotas del embalse, se pueden determinar las variables “Área” y “Volumen”. Utilizando la curva de AREA-CAPACIDAD del embalse, ya que las tres variables están íntimamente relacionadas y presentan el

mismo comportamiento en el tiempo. Las mismas tendrán igual tendencia, por lo tanto para la validación tendrán el mismo resultado que el planteado para la cota.

### **Resumen de la validación**

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos que validan los modelos seleccionados en la calibración.

Tabla 4.91. Resumen de la validación.

Validación	R <sup>2</sup>	Error máx. (cm)	Error min (cm)	MAE (cm)
<b>1</b>	0.5308	8.5	0.7	2.5
<b>2</b>	0.9931	3.5	0.1	1.3
<b>3</b>	0.8836	3.7	0.2	1.8
<b>4</b>	0.7233	5.8	3.2	4.4
<b>5</b>	0.9867	51.3	1.7	16.7
<b>6</b>	0.9682	47.2	6.3	24.2

## CONCLUSIONES

- Las Variables Climáticas presentes en el Sistema de Embalses del Acueducto Regional del Centro tienen un comportamiento estacional con un periodo de frecuencia anual, reflejando los máximos aportes de volúmenes para con los embalses en los meses lluviosos, comportamiento estudiado entre los años (1983-2014) para el Embalse Pao Cachinche, (1993-2014) para el Embalse Guataparo y el Embalse Pao La Balsa (1992-2014).
- Las Variables operacionales del embalse, presentan un comportamiento aleatorio, en función de las demandas que ha presentado el mismo durante las observaciones realizadas, exceptuando las variables cota, volumen y área de los embalses, donde para el embalse Pao Cachinche y Pao La Balsa este comportamiento aleatorio está ausente, exhibiendo una frecuencia de 0.0028 y 0.0027 respectivamente cayendo en un periodo de repetición de aproximadamente un año para ambos, mientras que para el embalse de Guataparo su periodograma muestra una frecuencia de 0.00038 con un periodo de repetición de aproximadamente siete años, este resultado a partir de observaciones que van desde el año (2011-2014) para el Embalse Pao Cachinche, (1993-2014) para el Embalse Guataparo y (2003-2014) para el Embalse Pao La Balsa .
- El Embalse Pao Cachinche de acuerdo a mediciones no ha presentado pérdidas ni ganancias de volumen almacenado desde el año 2011, acorde a mediciones efectuadas, pero realizando una estimación de las ganancias y pérdidas mediante las entradas y salidas de volúmenes refleja que desde dicha fecha el embalse ha obtenido ganancias de alrededor de  $8\text{m}^3 \times 10^6$  que representa el 5% del volumen almacenado hasta la fecha 12/31/2010, mientras que el embalse de Guataparo ha presentado importantes pérdidas desde el año 1993, ubicándose para la fecha del 12/31/2014 con una pérdida de aproximadamente del 50% de acuerdo estimaciones y de 33% de acuerdo a mediciones respecto al volumen del día

2/9/1993; y pese a las pérdidas concebidas en el embalse Pao La Balsa, para finales del año 2014 se recuperó, estableciendo ganancia de su volumen de alrededor del 6% respecto al día 31/12/2002.

- Los mayores aportes que presentan los embalses de acuerdo a las entradas son provenientes de los ríos que convergen en ellos, donde para el embalse Pao Cachinche este aporte corresponde a un 93.8%, para el embalse Guataparo es de 91.54% y para el embalse Pao la Balsa es de 95%, entretanto evaluando la salida de volumen para demandas de consumo humano respecto a la salida total estas se encuentran en un 35%, 100% y 39,4% respectivamente para cada embalse dentro de los intervalos de análisis, que fueron (2011-2014) para el embalse Pao Cachinche, (1993-2014) para el embalse de Guataparo y (2003-2014) para el embalse Pao La Balsa.
- Se realizaron pronósticos, estos determinaron los niveles en un periodo donde no se tenían datos observados. En el caso de Pao-Cachinche se obtuvo el modelo ARIMA(1,0,1) para datos diarios y el modelo ARIMA(2,0,1) para datos mensuales. Para el embalse Guataparo se obtuvo el modelo ARIMA(2,1,1) para datos diarios y el modelo ARIMA(2,0,2) para datos mensuales. Y por último, pero no menos importante, el embalse Pao-la Balsa se obtuvo el modelo ARIMA(1,1,1) para datos diarios y el modelo ARIMA(2,1,2) para datos mensuales. La RMSE para los embalses Pao-Cachinche, Guataparo, Pao-La Balsa con datos diarios fueron de 3.7cm, 4.0 cm, 6.8 cm, respectivamente. Por otra parte con datos mensuales, la RMSE fueron de 5.0 cm, 35.1 cm y 35,6 cm. Todos los parámetros estimados, para los modelos ARIMA, fueron estadísticamente significativos.
- El modelo Pao-Cachinche con datos diarios se ajustó a los datos ( $R=0.53$  y  $MAE=2.5\text{cm}$ ), comparado con el modelo Pao-Cachinche con datos mensuales ( $R=0.72$  y  $MAE=4.4\text{cm}$ ) este último resultando con un mejor ajuste pero con menor exactitud. El modelo Guataparo con datos diarios se ajustó

satisfactoriamente a los datos ( $R=0.99$  y  $MAE=1.3\text{cm}$ ), comparado con el modelo Guataparo con datos mensuales ( $R=0.99$  y  $MAE=16.7\text{cm}$ ) resultando ambos muy precisos, pero el ultimo con una menor exactitud. El modelo Pao-La Balsa con datos diarios se ajusto satisfactoriamente a los datos ( $R=0.88$  y  $MAE=1.8\text{cm}$ ), comparado con el modelo Pao-La Balsa con datos mensuales ( $R=0.97$  y  $MAE=24.2\text{cm}$ ) con una mayor precisión pero con una menor exactitud.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda ejecutar mediciones de precipitación y evaporación en las adyacencias del Embalse Guataparo, para estimar el real aporte de los ríos a y de estas variables con el embalse.
- Sera necesario estudiar la operación en sitio de cada uno de los embalses, así como también las dificultades a las que se podría enfrentar el operadores en sitio para la medición de alguna variable.
- Al realizar el análisis estadístico de autocorrelaciones y periodograma muestral de las cotas en el Embalse Guataparo se pudo apreciar ruido blanco en la serie, sin embargo; se recomienda realizar una prueba de aleatoriedad a los datos para así comprobar si la muestra responde a un patrón o puede considerarse como un conjunto de valores impredecibles.
- Se recomienda trabajar con la tabla de pronósticos que proporciona Statgraphics, ya que los modelos paramétricos determinados solo son validos para los periodos estudiados, si se desea conocer la ecuación en otro periodo se tendría que realizar todo el procedimiento de nuevo para la obtención de dicha ecuación en un periodo de tiempo siguiente al señalado.
- Los modelos planteados pueden ser utilizados cuando sea imposible tomar las mediciones en campo, se recomienda utilizarlos en periodos de tiempo relativamente cortos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

### Referencias Bibliográficas

1. Arias, F (2006). El Proyecto de Investigación. Editorial Episteme. Caracas, Venezuela. Pp 24, 83, 85.
2. Bavaresco, Aura (2006). Proceso Metodológico en la Investigación: Cómo hacer un Diseño de Investigación. Maracaibo, Venezuela
3. Bolinaga. (1996). Proyectos de Ingeniería Hidráulica. Volumen I. Caracas-Venezuela: Fundación Polar.
4. Box, G., y Jenkins, G. (1970). Time series analysis: forecasting and control. San Francisco, Holden Day.
5. Garzon, R. y Ojeda, J.(2014) Análisis de la Variabilidad Temporal de Los Caudales de Aporte, Aliviado y Turbinado de la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar: Universidad de Carabobo.
6. Guevara, J., Vega, C. y Guevara, E. (2010). Análisis estocástico de una serie cronológica de caudales mensuales. Caso de estudio: Río Caroní, Venezuela.
7. Hernández et al (2006). Metodología de la Investigación. Segunda edición. Editorial McGraw-Hill. México.
8. Pérez y Dueñas (2003) aplicaron modelos estocásticos para pronosticar la oferta hídrica de la cuenca del río Colca. Perú
9. Ramírez, T (2007). Cómo hacer un proyecto de investigación. Editorial Panapo. Caracas, Venezuela.
10. Tamayo y Tamayo, M. (2001) El proceso de la investigación científica: Incluye administración de proyectos de investigación. Limusa-Noriega Editores: México.
11. Uriel, E. (2000). Introducción al análisis de series temporales. Editorial AC.

## ANEXO A

(Balances Hídricos de los S.E.A.R.C)

(En en el CD proporcionado)

## ANEXO B

(Volúmenes Diarios de Aportes y  
Extracciones del S.E.A.R.C)

### Volumen Diario (2011-2014)

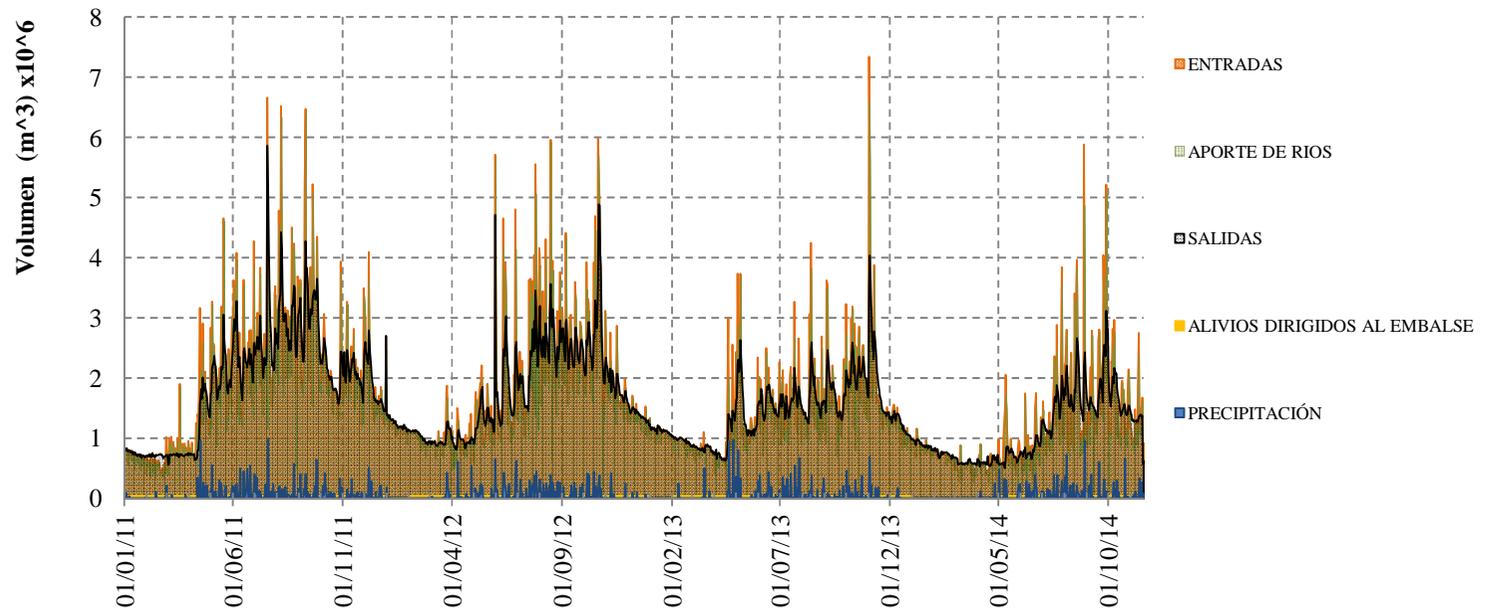


Figura 4.72. Volúmenes diarios (2011-2014) en el Embalse Pao Cachimbe.

### Volumen Diario (2011-2014)

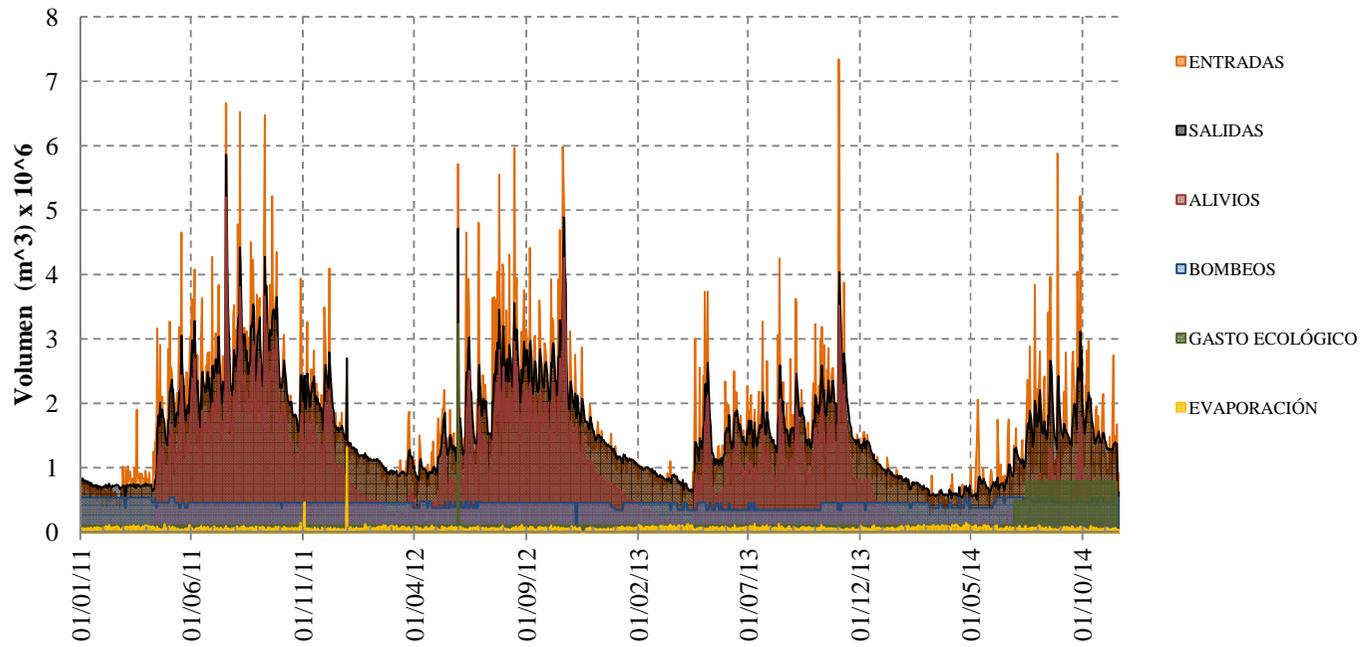


Figura 4.74. Volúmenes diarios (2011-2014) en el Embalse Pao Cachinche.

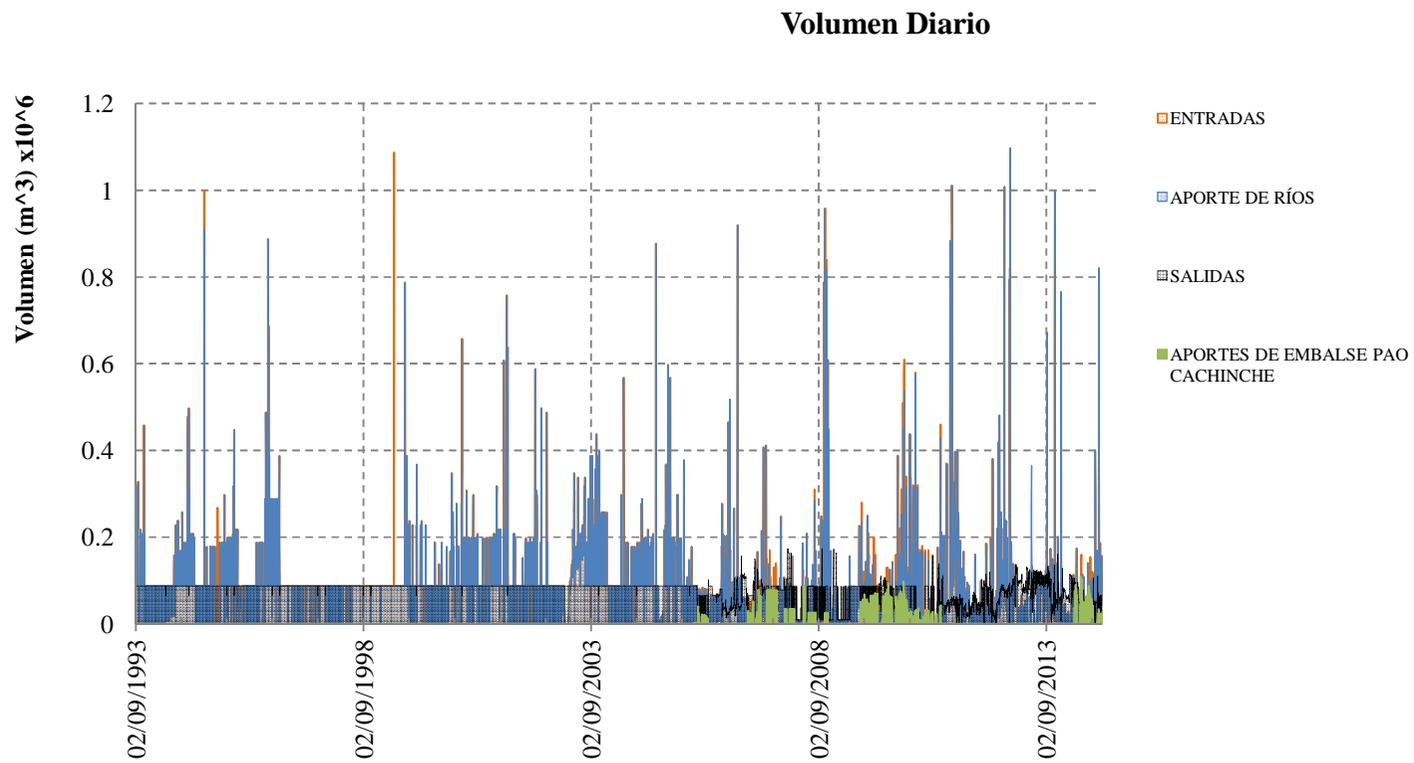


Figura 4.80. Volúmenes diarios (2011-2014) en el Embalse Guataparo

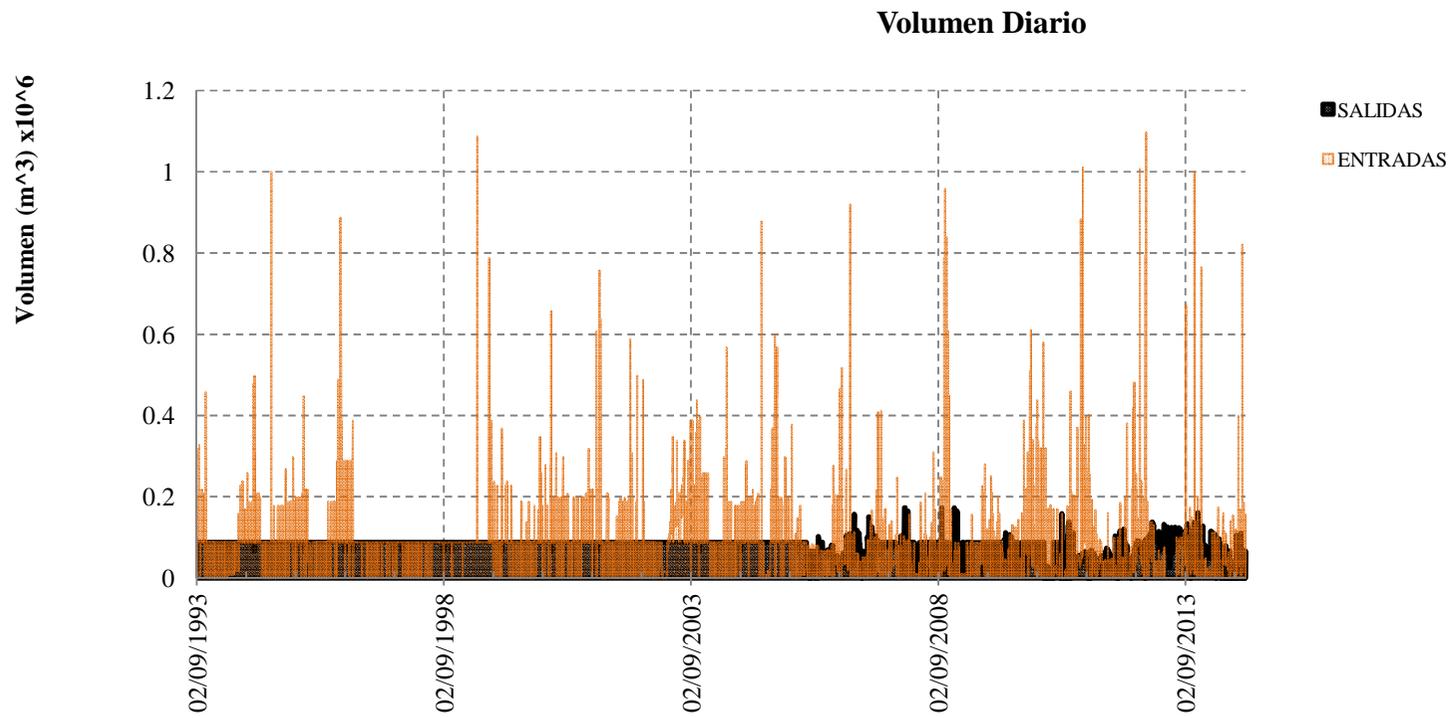


Figura 4.82. Volúmenes diarios (1993-2014) en el Embalse Guataparo.

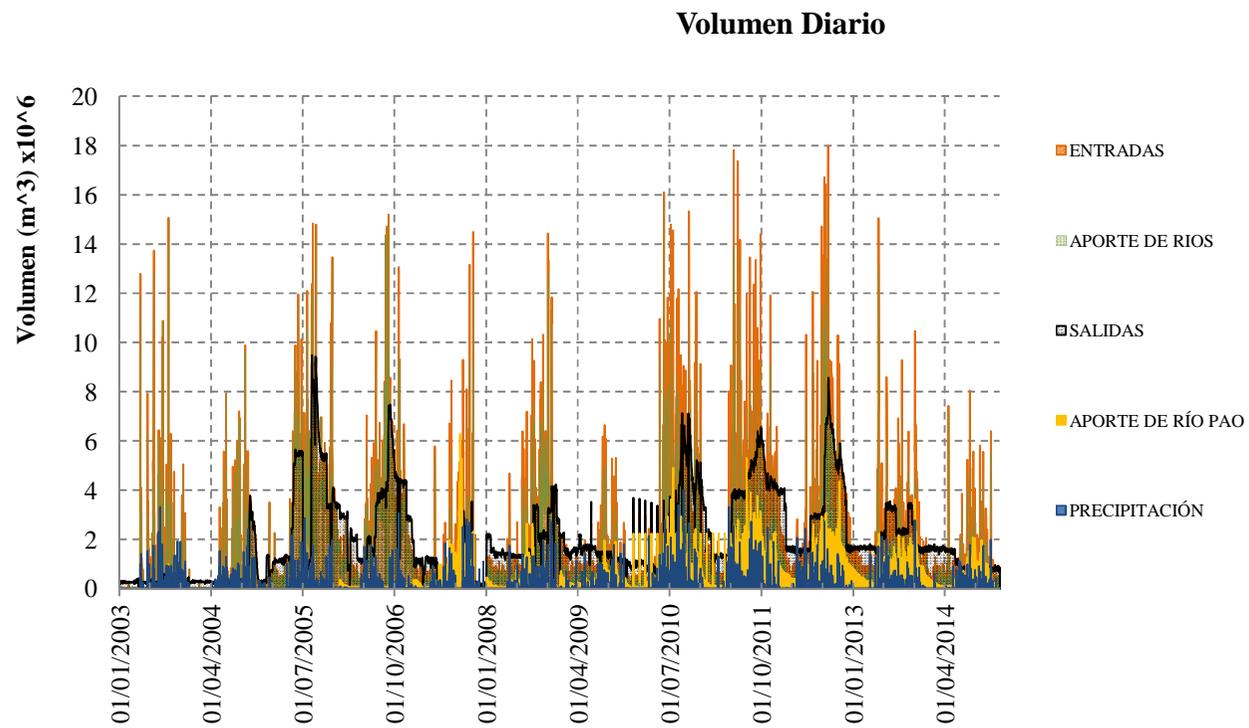


Figura 4.87. Volúmenes diarios (1993-2014) en el Embalse Pao La Balsa.

### Volumen Diario

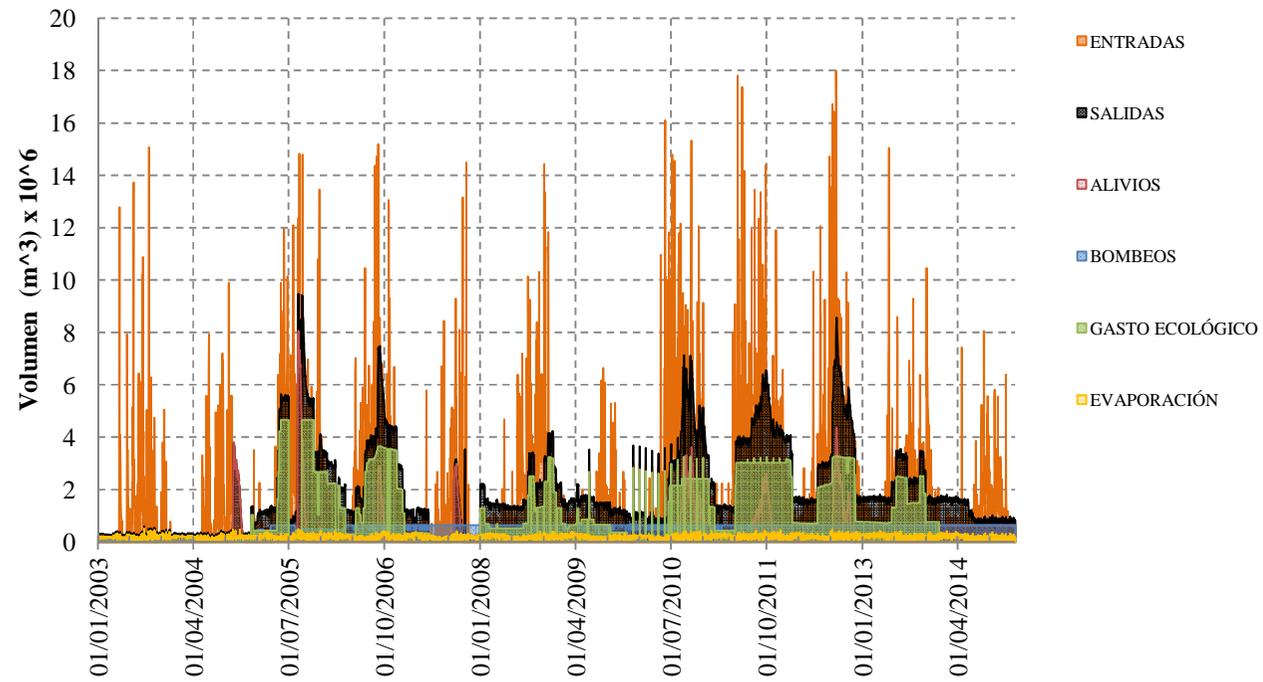


Figura 4.89. Volúmenes diarios de Salidas (2003-2014) en el Embalse Pao La Balsa.