	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 1 de 7</b>

16-

<b>FECHA</b>	Viernes,07 de junio de 2019
--------------	-----------------------------

Señores  
**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA**  
 BIBLIOTECA  
 Facatativá

<b>UNIDAD REGIONAL</b>	Extensión Facatativá
------------------------	----------------------

<b>TIPO DE DOCUMENTO</b>	Trabajo De Grado
--------------------------	------------------

<b>FACULTAD</b>	Ciencias Agropecuarias
-----------------	------------------------

<b>NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO</b>	Pregrado
---	----------


<b>PROGRAMA ACADÉMICO</b>	Ingeniería Ambiental
---------------------------	----------------------

El Autor(Es):

<b>APELLIDOS COMPLETOS</b>	<b>NOMBRES COMPLETOS</b>	<b>No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN</b>
Ballesteros Arevalo	Joaquin Camilo	1.070.970.812

Calle 14 Avenida 15 Barrio Berlín Facatativá – Cundinamarca  
 Teléfono (091) 892 07 07 Línea Gratuita 018000976000  
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 2 de 7</b>

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

<b>APELLIDOS COMPLETOS</b>	<b>NOMBRES COMPLETOS</b>
Bedoya Rios	Diego Fernando

<b>TÍTULO DEL DOCUMENTO</b>
<b>ESTIMACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO EN LA CUENCA DEL RIO SUBACHOQUE, MUNICIPIO EL ROSAL, A PARTIR DE LA GENERACIÓN DE CAUDALES MEDIOS UTILIZANDO EL MODELO AGREGADO DE TANQUES</b>

<b>SUBTÍTULO</b> (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

<b>TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:</b> Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
<b>INGENIERO AMBIENTAL</b>

<b>AÑO DE EDICION DEL DOCUMENTO</b>	<b>NÚMERO DE PÁGINAS</b>
06/06/2019	52 pág.

<b>DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS</b> (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
<b>ESPAÑOL</b>	<b>INGLÉS</b>
1. Caudal ecológico	Ecological flow
2. Precipitación	Precipitation
3. Escorrentía	Runoff
4. Caudal ambiental	Enviromental flow
5. Cuenca	Basin
6. Modelo hidrológico	Hydrological model

Calle 14 Avenida 15 Barrio Berlín Facatativá – Cundinamarca  
Teléfono (091) 892 07 07 Línea Gratuita 018000976000  
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 3 de 7</b>

## RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

El presente estudio se realiza con el fin de calcular el caudal ecológico de la cuenca del río Subachoque, comprendida en el municipio de El Rosal, una herramienta que sirve de apoyo en los procesos de planeación y explotación hídrica, dado que actualmente en el municipio no se cuenta con la suficiente información al respecto. El cálculo del caudal ecológico se realiza por el método  $Q_{95}$ , programado para Python; para ello se necesita el cálculo de los caudales medios, por la insuficiencia de la información se requiere hacer un modelo hidrológico conocido como el modelo de tanques, a partir de los datos de precipitación y caudales medios mensuales. El modelo se realiza mediante herramientas de programación tales como Excel y Python, donde se obtienen caudales estimados para la obtención del caudal ecológico. El modelo arrojó un valor de evaluación del **37,5%**, lo que indica buena calibración y correlación en los caudales estimados. El caudal ecológico estimado es igual a **0,01699 m<sup>3</sup>/s**.

### ABSTRACT

The present study is carried out with the purpose of calculating the ecological flow of the Subachoque river basin, included in the municipality of El Rosal, a tool that serves as support in the planning and water exploitation processes, given that currently in the municipality there is no there is enough information about it. The calculation of the ecological flow is done by the  $Q_{95}$  method, programmed for Python; For this, the calculation of average flows is needed, due to the insufficiency of the information, it is necessary to make a hydrological model known as the tank model, based on rainfall data and average monthly flows. The model is made through programming tools such as Excel and Python, where estimated flows are obtained to obtain the ecological flow. The model showed an evaluation value very close to **37,5%**, which indicates good calibration and correlation in the estimated flows. The estimated ecological flow is equal to **0,01699 m<sup>3</sup>/s**.

## AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

Calle 14 Avenida 15 Barrio Berlín Facatativá – Cundinamarca  
Teléfono (091) 892 07 07 Línea Gratuita 018000976000  
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 4 de 7</b>

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son:

Marque con una "X":

<b>AUTORIZO (AUTORIZAMOS)</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	X	
2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	X	
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	X	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva,



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 5 de 7</b>

eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

**NOTA:** (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

**Información Confidencial:**

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado. **SI \_\_ NO \_X\_.** En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

**LICENCIA DE PUBLICACIÓN**

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

- a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).
- b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.



**MACROPROCESO DE APOYO  
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO  
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL  
REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

**CÓDIGO: AAAr113  
VERSIÓN: 3  
VIGENCIA: 2017-11-16  
PAGINA: 6 de 7**

c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el "Manual del Repositorio Institucional AAAM003"

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.





**Nota:**  
 Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. ESTIMACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO EN LA CUENCA DEL RIO SUBACHOQUE, MUNICIPIO EL ROSAL, A PARTIR DE LA GENERACIÓN DE CAUDALES MEDIOS UTILIZANDO EL MODELO AGREGADO DE TANQUES.pdf	Texto
2.	
3.	
4.	

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafo)
Ballesteros Arevalo Joaquin Camilo	

12.1.40

**ESTIMACIÓN DEL CAUDAL ECOLÓGICO EN LA CUENCA DEL RIO  
SUBACHOQUE, MUNICIPIO EL ROSAL, A PARTIR DE LA GENERACIÓN DE  
CAUDALES MEDIOS UTILIZANDO EL MODELO AGREGADO DE TANQUES**

Joaquín Camilo Ballesteros Arévalo  
Mayo 2019.

Universidad De Cundinamarca  
Facultad De Ciencias Agropecuarias  
Ingeniería Ambiental



**Palabras clave:** Caudal, precipitación, escorrentía, caudal ecológico, cuenca, modelo

El presente estudio se realiza con el fin de calcular el caudal ecológico de la cuenca del río Subachoque, comprendida en el municipio de El Rosal, una herramienta que sirve de apoyo en los procesos de planeación y explotación hídrica, dado que actualmente en el municipio no se cuenta con la suficiente información al respecto. El cálculo del caudal ecológico se realiza por el método  $Q_{95}$ , programado para Python; para ello se necesita el cálculo de los caudales medios, por la insuficiencia de la información se requiere hacer un modelo hidrológico conocido como el modelo de tanques, a partir de los datos de precipitación y caudales medios mensuales. El modelo se realiza mediante herramientas de programación tales como Excel y Python, donde se obtienen caudales estimados para la obtención del caudal ecológico. El modelo arrojó un valor de evaluación muy cercano a 1, lo que indica buena calibración y correlación en los caudales estimados. El caudal ecológico estimado es igual a  $0,01105 \text{ m}^3/\text{s}$ .

INTRODUCCIÓN .....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
JUSTIFICACIÓN .....	3
OBJETIVOS .....	4
1.1.    Objetivo General .....	4
1.2.    Objetivos específicos .....	4
2.    DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	5
2.1.    Localización .....	5
2.2.    Aspectos generales de la cuenca .....	5
2.3.    Geología y Geomorfología .....	6
2.4.    Climatología.....	7
2.5.    Hidrografía.....	11
2.6.    Factor Biótico.....	12
3.    REPRESENTACIÓN DE LOS PROCESOS HIDROLOGICOS .....	16
3.1.    Generalidades.....	16
3.2.    Modelo agregado de tanques .....	16
3.2.1.    Función de Producción .....	17
3.2.2.    Función de Transferencia.....	19
4.    METODOLOGÍA .....	20
5.    SELECCIÓN DE DATOS HIDROMETEOROLÓGICOS.....	21
5.1.    Análisis de consistencia de datos .....	22
5.2.    Homogeneidad de las series del entorno.....	25
5.3.    Correlación de las estaciones de precipitación con las de Caudal .....	27
6.    CALIBRACIÓN DEL MODELO .....	29
7.    CÁLCULO DEL CAUDAL ECOLÓGICO .....	33
8.    CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	36
Referencias.....	38
ANEXOS .....	40

Tabla 1. Distribución de los diferentes rangos de pendiente, extensión territorial y porcentual de la cuenca del Río Subachoque. ....	5
Tabla 2. Valores morfométricos de la cuenca del río Subachoque.....	6
Tabla 3. Descripción del tipo de relieve presente en el municipio de El Rosal.....	7
Tabla 4. Valores representativos del comportamiento hidrológico de la cuenca del río .....	11
Tabla 5. Estructura y composición de las coberturas vegetales de la cuenca del río Subachoque. ....	13
Tabla 6 .Familias botánicas con especies registradas en Cuenca Río Subachoque. ....	14
Tabla 7. Estaciones metereológicas para el presente estudio. ....	21
Tabla 8. Periodo de registro de las estaciones hidrométricas. (PM) Pluviométrica, (PG) Pluviográfica, (AU) Automática, (CP) Climatológica principal. ....	22
Tabla 9. Tabla de valores de $Kn$ para una distribución normal. ....	23
Tabla 10. Valores obtenidos para la consistencia de datos hidrometeoerológicos. ....	23

## Lista de figuras

v

Imagen 1. Distribución de la Precipitación anual de la cuenca del río Subachoque. ....	8
Imagen 2. Isolíneas de precipitación cuenca río Subachoque.....	8
Imagen 3. Isolíneas de evaporación cuenca río Subachoque.....	9
Imagen 4. Isotermas cuenca río Subachoque.....	10
Imagen 5. Clasificación climática Caldas-Lang cuenca río Subachoque. ....	10
Imagen 6. Estructura del modelo GR2M.. ....	17
Imagen 7. Ubicación espacial de las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Subachoque, municipio El Rosal.....	21
Imagen 8. Consistencia de datos hidroclimáticos. ....	25
Imagen 9. Curva de dobles masas (la homogeneidad de las series). ....	27
Imagen 10. Correlaciones lineales entre las estaciones lluvia-caudal. ....	29
Imagen 11. Hidrograma de la cuenca del río Subachoque.....	32
Imagen 12. Correlación de datos de Caudal observado vs Caudal estimado.....	33
Imagen 13. Algoritmo para el cálculo del caudal ecológico de la cuenca del río Subachoque. ...	34
Imagen 14. Algoritmo para el cálculo del caudal ecológico de la cuenca del río Subachoque. ...	35
Imagen 15. Caudal ecológico estimado para la cuenca del río Subachoque .....	35

## INTRODUCCIÓN

El caudal ecológico o ambiental ha sido objeto de estudio en múltiples áreas, desde la hidrología hasta la hidráulica. Este se puede definir como un caudal mínimo donde se garantice la calidad, la duración y la estabilidad de los ecosistemas acuáticos, avalando su funcionamiento. Actualmente la preocupación por mantener los servicios ambientales y el sostenimiento del ecosistema han generado la normatividad correspondiente a las metodologías que permiten su cálculo, tal como sucede en el Decreto 865/04. Sin embargo, dichas metodologías no tienen una dirección integral que permite concentrar el componente hidrológico, hidráulico y la calidad hídrica de manera simultánea. (Parra & Carvajal, 2012). Los conflictos por el uso del agua para diversas actividades antrópicas se han venido incrementando significativamente por la competencia para suministro en las ciudades, las industrias, la agricultura y la generación de energía. Ante esta situación, la conciencia acerca de la protección y conservación de los ecosistemas acuáticos y la biodiversidad que albergan, también ha venido en aumento, debido principalmente a las actividades económicas presentes en la región.

El estudio se desarrolla en la cuenca del río Subachoque, localizada en el municipio de El Rosal, Cundinamarca. Se toma como base los datos de caudal mínimo y precipitación registradas en estaciones meteorológicas de la zona, pluviométricas y limnimétricas. El presente estudio permite ser de herramienta en los procesos investigativos y de consulta que se puedan presentar a futuro.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La cuenca del río Subachoque es fuente hídrica de suma importancia para el municipio de El Rosal. La empresa de acueducto, alcantarillado y aseo del municipio de El Rosal es abastecida por las cuencas del río Subachoque y San Francisco.

Actualmente la expansión económica y poblacional sugiere una creciente en la demanda del recurso hídrico. El problema es que al ser tan nueva la institución, (la primera planta de potabilización se construyó en el año 2001), no cuenta con la suficiente información necesaria. El cálculo del caudal ambiental permitirá ser una herramienta dentro de los procesos de planeación, organización y estructuración dentro del municipio, aplicable a proyectos que requieran captar agua de fuentes superficiales y que impliquen el trasvase de aguas, la generación de energía hidroeléctrica y/o la formación de embalses, cualquiera que sea su propósito.

## JUSTIFICACIÓN

El recurso hídrico es de suma importancia para cualquier hábitat o sociedad. El presente estudio se realiza con el fin de servir como apoyo de consulta para los diferentes procesos actuales y futuros en la planeación de proyectos, donde se incluya la explotación del recurso hídrico del municipio, dado que el uso que se le da aproximadamente es 70% para el sector agropecuario. Por lo tanto, se propone el cálculo del caudal ecológico, como el caudal mínimo necesario para el suministro y uso del agua, sin que este comprometa los servicios y permita el desarrollo ecosistémico, disminuyendo los posibles impactos generados por el hombre. No solo se dispondrá los resultados obtenidos, sino se pondrá disposición la metodología usada, y las herramientas. El objetivo final de este trabajo es que se use como instrumento en la potencialización de los procesos agropecuarios dentro del municipio para la conservación y recuperación de la cuenca del río Subachoque<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Descrito en el artículo del Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de El Rosal

## **OBJETIVOS**

### **1.1.Objetivo General**

Calcular el caudal ecológico de la cuenca del río Subachoque, del municipio de El Rosal, Cundinamarca, a partir de la generación de caudales medios mediante la aplicación del modelo de tanques.

### **1.2.Objetivos específicos**

- Realizar el levantamiento de información climatológica, ambiental y cartográfica de la zona estudio.
- Determinar las diferentes variables del modelo agregado de tanques dentro del análisis hidrológico de la cuenca.
- Realizar la simulación de caudales utilizando el modelo de tanques para estimar el caudal ecológico.



## 2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

### 2.1. Localización

El análisis multitemporal se realiza para la cuenca del río Subachoque, exclusivamente el área en que este hace el recorrido dentro de la jurisdicción del municipio de El Rosal. El río Subachoque pertenece a la subcuenca del río Balsilla, que a su vez pertenece a la cuenca media del río Bogotá. El municipio de El Rosal se encuentra dentro del municipio de Cundinamarca, limita al nort oriente con el municipio de Subachoque, al noroccidente con el municipio de San Francisco, al sur oriente con el municipio de Madrid y al sur occidente con el municipio de Facatativá. La cuenca se encuentra localizada en las coordenadas planas: al este (4.881563, - 74.187579), al oeste (4.828026, -74.233241).

### 2.2. Aspectos generales de la cuenca

**Topografía y pendientes:** La cuenca se caracteriza por presentar relieves montañosos en la parte nort-oriental, con predominio de relieves ondulados. Esta inclinación ocupa el 44,5% del área total de la cuenca dentro del municipio. Las partes planas se presentan cerca de la cabecera municipal. A continuación, se hace una descripción de las diferentes pendientes de la cuenca:

Grado	Relieve	Símbolo	Porcentaje
0-3%	Plano, ligeramente plano o plano cóncavo	A	20,39
3-7%	Ligeramente ondulado o inclinado	B	22,83
7-12%	Ondulado, inclinado	C	14,18
12-25%	Fuertemente ondulado	D	24,03
25-50%	Fuertemente quebrado	E	15,77
50-75%	Escarpado	F	2,52
>75%	Muy escarpado	G	0,27

Tabla 1. Distribución de los diferentes rangos de pendiente, extensión territorial y porcentual de la cuenca del Río Subachoque. Fuente: CAR, 2010

**Morfometría de la Cuenca:** De acuerdo al POMCA<sup>2</sup> de la cuenca de río Subachoque, la cuenca es de tipo triangular, encontrándose entre la cota más alta a 2750 m.s.n.m. y la cota más baja 2500 m.s.n.m. La altura media es de 2625 m.s.n.m. Presenta un drenaje superficial rápido, de tipo sinuoso.

PARAMETRO	UNIDAD	VALOR
Área	Km <sup>2</sup>	4,677
Perímetro	Km	13,877
Longitud cauce principal	Km	12,15
Pendiente cauce	%	1,58
Elevación media	m.s.n.m.	2625
Numero de cauces	Unidad	5
Longitud curso de agua	Km	27,6
Densidad de ríos	Rios/Km <sup>2</sup>	0,19
Densidad de drenaje	Km/Km <sup>2</sup>	0,64

Tabla 2. Valores morfométricos de la cuenca del río Subachoque

### 2.3. Geología y Geomorfología

Debido a que se encuentra dentro de la cordillera oriental, está conformada por secuencias dominantes de rocas sedimentarias de origen marino. El componente geológico del municipio se caracteriza por la presencia de arcillolitas, areniscas, y materiales del periodo cuaternario. Así, las arcillolitas predominan sobre las areniscas y el material aluvial. El componente geomorfológico está representado por paisajes de montaña, el cual se caracteriza por ser abrupto y complejo, varía de moderadamente empinado a muy escarpado, con pendientes que difieren en grado de inclinación, longitud, forma y configuración, desde rangos de 7-12% hasta mayores de 75%.

---

<sup>2</sup> Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas, **POMCA**, establecido en el Decreto 2811 de 1974.

**Relieve:**

<b>TIPO</b>	<b>DESCRIPCION</b>
<b>Crestones</b>	Flancos estructurales y el escarpe tienden a ser regulares y poco disectados. Generalmente las cimas son agudas y el flanco o ladera de buzamiento presenta inclinación superior a 30°; mientras que su contrapendiente es un escarpe muy abrupto con estratos truncados. El relieve dominante varía de ligeramente ondulado a fuertemente quebrado con pendientes hasta del 50%. El material litológico consiste en areniscas y limolitas con intercalaciones de arcillolitas.
<b>Lomas</b>	Relieve ligeramente ondulado a escarpado con pendientes de diferente inclinación, forma y longitud. El material de estas lomas está compuesto por arcillolitas, lutitas y areniscas del Terciario y Cretácico. Las lomas en el paisaje de lomerío presentan relieves ligera a fuertemente ondulados y quebrados con pendientes cortas y convexas del rango 12-25-50%

Tabla 3. Descripción del tipo de relieve presente en el municipio de El Rosal. Fuente: CAR, 2008

## 2.4. Climatología

### Precipitación:

La precipitación de la región presenta un régimen bimodal marcado principalmente por dos épocas de lluvia y dos épocas de sequía. Los meses de abril y mayo al igual que octubre y noviembre corresponden a la época del año lluviosa; y los meses de enero-febrero-julio-agosto corresponden a los periodos secos. Las estaciones incluidas presentan precipitaciones medias anuales que oscilan entre 131,2- 30,9 mm. Al calcular el promedio

o media aritmética de los datos de precipitación el valor resultante es 75,8 mm, la mediana 71,1 mm, y la media armónica es 65,4 mm.

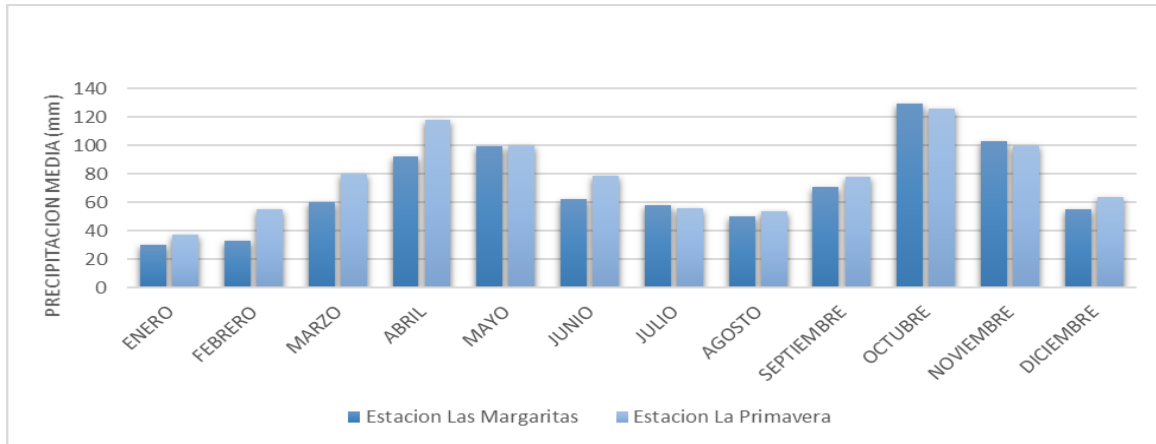


Imagen 1. Distribución de la Precipitación anual de la cuenca del rio Subachoque. Fuente: Equipo Técnico UP, 2010

La CAR menciona tres rangos de precipitación de acuerdo a una distribución espacial, el primero está entre 800 a 900 mm/año en el sector suroriental, en la zona central la precipitación es de 900 a 1.000 mm/año, el costado noroccidental presenta precipitaciones entre 1.000 a 1.100 mm/año.



Imagen 2. Isolíneas de precipitación cuenca rio Subachoque. Fuente: Planeación Ecológica Ltda (2006)

### Evaporación:

La evaporación es de tipo uniforme a lo largo del año, donde los registros más altos se presentan hacia los meses de enero, febrero y marzo, siendo este último el que presenta mayor registro. El promedio anual total es de 1000mm, observando que la evaporación presentada es mayor a la precipitación.



Imagen 3. Isolíneas de evaporación cuenca río Subachoque. Fuente: Planeación Ecológica Ltda (2006)

### Temperatura:

El rango de temperatura media oscila entre 15,9 a 20,9 °C, la mínima anual entre 10,1 a 17,5 °C y la máxima de 20,8 a 29,3 °C. De los valores de medidas de tendencia central la más representativa es la media armónica (18,4 °C).

Los valores medios de temperatura presentan una distribución bimodal, donde se presenta los valores más bajos en los meses de julio, agosto y septiembre, con un valor medio de 12°C y diciembre-enero con un valor 11,5 °C. La media de temperatura en la zona es de 12,2 °C.

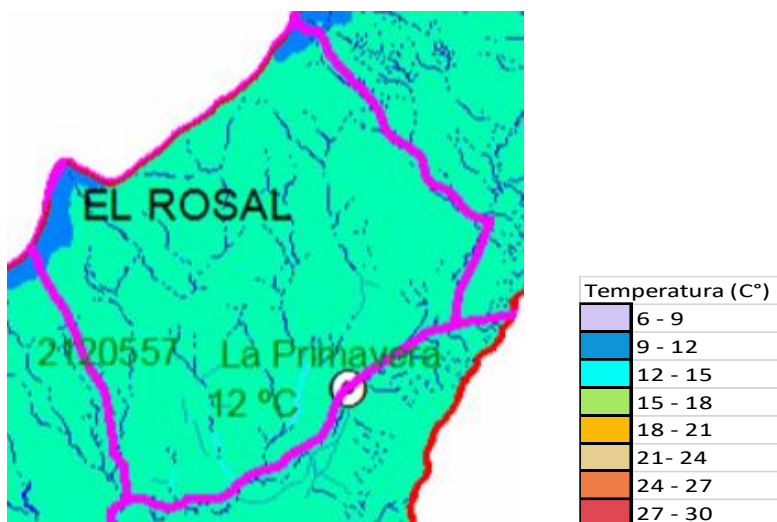


Imagen 4. Isothermas cuenca rio Subachoque. Fuente: Planeación Ecológica Ltda (2006)

**Clasificación climática:** En la cuenca predominan los tipos de clima frío semiárido en la parte media alta y frío semihúmedo en la parte baja. Aunque en la cuenca no se presenta el páramo húmedo y semihúmedo, en el municipio se presenta hacia la parte noroccidental. La clasificación se realiza de acuerdo a lo expuesto por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), es decir utilizando la clasificación climática de Caldas-Lang.

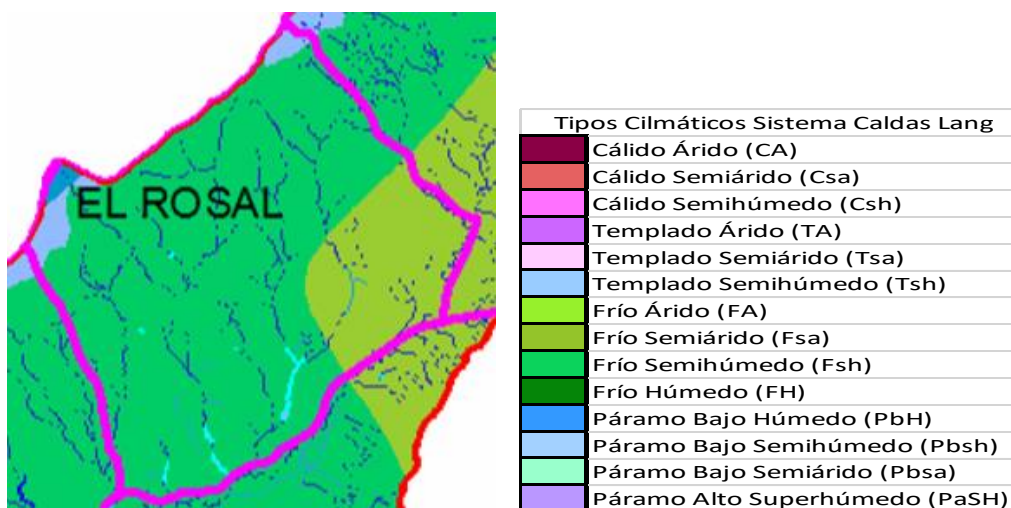


Imagen 5. Clasificación climática Caldas-Lang cuenca rio Subachoque. Fuente: Planeación Ecológica

## 2.5.Hidrografía

La cuenca del río Subachoque es el principal tributario de la cuenca del río Balsillas. En la zona se encuentran dos estaciones limnimétricas que permiten tener un control sobre el caudal diario presentado en sus valores máximos, medios y mínimos, importantes en el presente estudio. Además, corrobora en los procesos de análisis de la oferta hídrica dentro del municipio.

Así mismo, la oferta hídrica disponible corresponde al caudal promedio anual de una corriente que puede ser utilizado en el desarrollo de las diferentes actividades socioeconómicas del hombre teniendo en cuenta condiciones de calidad y sostenibilidad; por consiguiente, en la determinación de la disponibilidad de agua de cualquier corriente es imprescindible considerar las necesidades de agua para la conservación de la flora y la fauna y el funcionamiento del ecosistema aguas abajo.<sup>3</sup>

Entonces la CAR<sup>4</sup> muestra describe diferentes conceptos evaluados en el modelo de tanques como caudal medio, la oferta hídrica total y la oferta hídrica disponible, resumida en el siguiente cuadro:

Oferta Hídrica Total (m <sup>3</sup> /s)	Caudal de Estiaje 97,5% (m <sup>3</sup> /s)	Factor Re (%)	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Factor Rit (%)	Oferta Hídrica Disponible (m <sup>3</sup> /s)	Caudal min (m <sup>3</sup> /s)	Caudal medio (m <sup>3</sup> /s)	Caudal max (m <sup>3</sup> /s)
0,495	0,074	14,9	0,180	0,364	35	0,248	0,495	0,593	0,014

Tabla 4. Valores representativos del comportamiento hidrológico de la cuenca del río Subachoque, CAR (2008)

<sup>3</sup> Cálculo de la demanda de agua. Sistema de información del recurso hídrico, IDEAM. 2008

<sup>4</sup> Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca

## 2.6. Factor Biótico

El uso con mayor representación en cuanto a extensión son pastos, cultivos y árboles aislados, con una superficie cuyo porcentaje es 46,27%, la cobertura de bosque con el 10,04%, pastos que corresponde al 7,71% y el restante 6,39% correspondiente a matorrales, pastos y vegetación de páramo. En general se puede evidenciar que las área con cobertura boscosa, matorrales y pajonales de páramos poseen el 38,69% y el uso agropecuario se representa con el 61,31%, analizando estas cifras es necesario aumentar la cobertura vegetal de páramos, subpáramos y bosque alto andino.

### Tipo de cobertura:

Tipo de cobertura	Prioridad biológica	Vulnerabilidad y Presiones	Especies acompañantes
Bosque de Weinmania y Brunelia	Alta: Bosque importantes en para la recarga de acuíferos, la intercepción de nubes y el mantenimiento de cursos de agua.	Alta: tiene mucha cercanía a zonas de producción agropecuaria por lo tanto corre el riesgo de disminuir su área	<i>Brunellia propinqua</i> , <i>Weinmannia fagaroides</i> , <i>Weinmannia rollottii</i> , <i>Weinmannia tomentosa</i> <i>Weinmannia sp</i>
Bosque de Cedrella, Escallonia y Myrsine.	Alta: Bosque importantes para la recarga de acuíferos, la intercepción de nubes y el mantenimiento de cursos de agua.	Alta: tiene mucha cercanía a zonas de producción agropecuaria por lo tanto corre el riesgo de disminuir su área	<i>Cedrela montana</i> , <i>Escallonia myrtilloides</i> , <i>Escallonia paniculata</i> <i>Myrsine coriácea</i> , <i>Myrsine guianensis</i> <i>Myrsine latifolia</i>
Matorral de subpáramo.	Alta: vegetación importante en las zonas de recarga hídrica, importantes para el mantenimiento	Alta: tiene mucha cercanía a zonas de producción agropecuaria, disminuyendose considerablemente	<i>Chusquea scandens</i>



Tipo de cobertura	Prioridad biológica	Vulnerabilidad y Presiones	Especies acompañantes
Pajonal de Calamagrostis y Espeletia	Alta: Comunidad en fase inicial de recuperación.	Media: Es primordial adelantar programas de restauración en estas zonas logrando conectividad con otros tipos de vegetación.	<i>Calamagrostis effusa</i> <i>Espeletia argentea</i> <i>Espeletia grandiflora</i> <i>Espeletiopsis corymbosa</i>
Pajonal de Chusquea tesellata con Miconia salicifolia	Alta: importantes en recarga de acuíferos, nacimientos de ríos y el mantenimiento de cursos de agua.	Alta: debido al aumento desmedido de la frontera agrícola estas zonas corren peligro de ser disturbadas	<i>Chusquea tesellata</i> <i>Miconia salicifolia</i>
Pastizal de Pennisetum clandestinum	Baja: comunidad no nativa que debe ser remplazada o incluida en un sistema de producción sostenible.	Baja: estos espacios se mantienen debido a la demanda de los pobladores.	<i>Pennisetum clandestinum</i>
Cultivo de Solanum tuberosum ó Solanum phureja	Baja: comunidad no nativa que debe ser remplazada o incluida en un sistema sostenible.	Baja: estos espacios se mantienen debido a la demanda de los pobladores.	<i>Solanum phureja</i> <i>Solanum tuberosum</i>
Plantacion forestal de Pinus patula	Baja: comunidad no nativa que debe ser remplazada.	Baja: no hay un aprovechamiento intensivo del recurso forestal.	<i>Pinus patula</i>

Tabla 5. Estructura y composición de las coberturas vegetales de la cuenca del río Subachoque. Fuente: CAR (2012)

### Flora:

La siguiente tabla da un inventario realizado para especies arbóreas nativas en la región

FAMILIA	ESPECIE
BLECHNACEAE	<i>Blechnum auratum</i>
DENNSTAEDTIACEAE	<i>Pteridium aquillinum</i>
LOPHOSORIAACEAE	<i>Lophosoria quadripinnata</i>
	<i>Lycopodiella pendulina</i>
CHLORANTHACEAE	<i>Hedyosmum colombianum</i>
LAURACEAE	<i>Ocotea heterochroma</i>
PIPERACEAE	<i>Peperomia saligna</i>
BROMELIACEAE	<i>Puya trianae</i>
	<i>Puya nítida</i>
	<i>Racinaea tetrantha</i>
CYPERACEAE	<i>Oreobolus sp.</i>
	<i>Rhynchospora oreoboloidea</i>
ERIOCAULACEAE	<i>Paepalanthus columbiensis</i>
	<i>Paepalanthus sp.</i>
IRIDIACEAE	<i>Orthosanthus chimboracensis</i>
	<i>Sisyrinchium micranthum</i>
	<i>Sisyrinchium pusillum</i>
LILIACEAE	<i>Eccremis coarctata</i>
POACEAE	<i>Agrostis perennans</i>
	<i>Agrostis toluensis</i>
	<i>Calamagrostis effusa</i>
	<i>Chusquea tessellata</i>
	<i>Cortaderia nitida</i>
	<i>Paspalum trianae</i>
APIACEAE	<i>Azorella crenata</i>
	<i>Niphogeton glaucescens</i>
AQUIFOLIACEAE	<i>Ilex cuntiana</i>

Tabla 6 .Familias botánicas con especies registradas en Cuenca Rio Subachoque. FUENTE: Equipo Técnico UP (2010)

### Fauna:

El registro faunístico presentado por la CAR se realizó a partir de estudios bibliográficos, donde se exponen las especies más representativas, divididas en tres grupos: Herpetofauna (reptiles y anfibios), avifauna y mastofauna (mamíferos).

Las familias mejor representadas en los anuros dentro del registro potencial de anfibios son Leptodactylidae y Bufonidae, entre tanto, la familia de menor representación es

Centrolenidae. Otras familias de anfibios con representatividad de especies son Bufonidae y Dendrobatidae. Entre los atributos ecológicos de los anfibios con registro potencial para el área de estudio, cabe destacar que estos ocupan distintos ambientes, hallándose desde formas terrestres a arborícolas. Así mismo, en los reptiles, se destacan cinco familias y ocho especies, de las que cuatro son serpientes y cuatro son saurios o lagartos, con registro potencial para el área de estudio y otras circundantes. Respecto a lo anterior y de acuerdo con Ardila & Acosta (2002), las familias son Polychrotidae (géneros Anolis y Phenacosaurus), Gymnophthalmidae (géneros Anadia y Proctoporus) y Tropiduridae (género Stenocercus).

En la zona es de vital importancia la presencia las aves, y por tanto su representatividad dentro de la fauna de la zona de estudio. La avifauna representa un listado de 152 especies pertenecientes a 34 familias; entre las familias más representativas se listan en orden de abundancia: Thraupidae (Tangaras, mieleros y afines), Trochilidae (Colibríes), Tyrannidae (mosqueros o atrapamoscas), Furnaridae (rastrojeros), y Emberizidae (semilleros), entre otras.

Los mamíferos arrojaron un listado de 67 especies pertenecientes a 24 familias; dichas especies presentan una amplia variedad de hábitos, encontrándose formas diurnas y nocturnas, animalívoras y herbívoras, frugívoras, insectívoras, nectarívoras, omnívoras y carnívoras, que ocupan al igual que las aves, todos los estratos de los bosques húmedos. se destacan las familias Muridae, Phyllostomidae y Vespertilionidae; mamíferos no voladores, como los roedores de las familias Caviidae, Echimyidae y Muridae.

## **3. REPRESENTACIÓN DE LOS PROCESOS HIDROLOGICOS**

### **3.1. Generalidades**

La falta de información siempre ha sido un problema para cualquier estudio hidrológico en el país. A raíz de esto también han surgido problemas en cuanto a la evaluación del recurso hídrico, en cuencas y cuerpos de agua.

Los modelos GR son un grupo de modelos basados en el principio de precipitación-escorrentía desarrollados en Francia por la unidad de investigación en hidrología del Cemagref d'Antony. Estos modelos se caracterizan por utilizar como datos de ingreso la precipitación y la temperatura. Desde 1983, año en que se propuso este modelo de forma global para reconstruir los caudales diarios, el modelo GR ha evolucionado presentando diferentes versiones como el GR1A, para caudales anuales; GR2M, para caudales mensuales; GR3J y GR4J, para caudales diarios.

### **3.2. Modelo agregado de tanques**

#### **Modelo agregado GR2M:**

GR2M es un modelo agregado que simula caudales en intervalos mensuales. El modelo transforma la precipitación en escorrentía mediante la aplicación de dos funciones: una función de producción y una función de transferencia

Su estructura consta de dos reservorios: el reservorio suelo y el reservorio de agua gravitacional, tal como se muestra en la figura, y los principales procesos hidrológicos que son tomados en cuenta en el modelo.

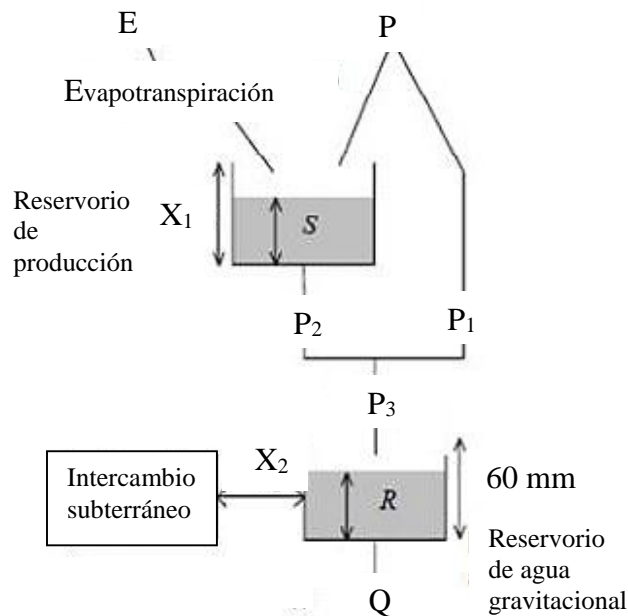


Imagen 6. Estructura del modelo GR2M. Fuente: CEMAGREF ([www.cemagref.fr](http://www.cemagref.fr)).

Como se observa en la Imagen 6,  $P$  es la precipitación media de la cuenca,  $P_1$  es la escorrentía superficial,  $E$  es la evapotranspiración actual,  $P_2$  la percolación profunda,  $S$  el almacenamiento del reservorio-suelo al inicio del periodo de análisis,  $R$  el almacenamiento del reservorio de agua gravitacional al inicio del periodo de análisis y  $Q$  el caudal a la salida de la cuenca. La capacidad máxima de almacenamiento del reservorio suelo es  $X_1$  y la del reservorio gravitacional es asumida como  $60\text{ mm}$ . Estas últimas dos son las variables a calibrar.

### 3.2.1. Función de Producción

En primera instancia parte de la precipitación es absorbida por el reservorio suelo, y la restante ( $P_1$ ) se dirige al reservorio de agua gravitacional. El nuevo volumen en el suelo ( $S_1$ ) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$S1 = \frac{S + X1 * \varphi}{1 + \varphi * \frac{S}{X1}} \quad (1)$$

Donde  $\varphi$  es igual a:

$$\varphi = \tanh\left(\frac{P}{X1}\right) \quad (2)$$

Asumiendo que no hay pérdidas, el volumen de agua antes de la infiltración debe ser el mismo después de ésta; entonces:

$$P1 = P + S - S1 \quad (3)$$

En una segunda instancia, el reservorio suelo será afectado por la evapotranspiración, reduciendo su volumen a  $S_2$ . El nuevo volumen se calcula de la siguiente manera:

$$S2 = \frac{S1 * (1 - \Psi)}{1 + \Psi * \left(1 - \frac{S1}{X1}\right)} \quad (4)$$

Donde:

$$\Psi = \tanh\left(\frac{E}{X1}\right) \quad (5)$$

Parte de este nuevo volumen  $S_2$  será transferido al reservorio de agua gravitacional y el remanente se convertirá en el volumen inicial  $S$  para el siguiente período de análisis. El nuevo valor de  $S$  será:

$$S = \frac{S2}{\left(1 + \left(\frac{S2}{X1}\right)^3\right)^{1/3}} \quad (6)$$

Así el volumen de agua que percola  $P2$  se estimará como la diferencia entre  $S_2$  y  $S$ :

$$P2 = S2 - S \quad (7)$$

### 3.2.2. Función de Transferencia

Conocido el volumen de agua que percola, la precipitación efectiva que ingresa al reservorio de agua gravitacional ( $P_3$ ), será:

$$P_3 = P_1 + P_2 \quad (8)$$

Debido a que el reservorio de agua gravitacional contaba con un volumen inicial  $R$ , su nuevo volumen ( $R_1$ ) será:

$$R_1 = R + P_3 \quad (9)$$

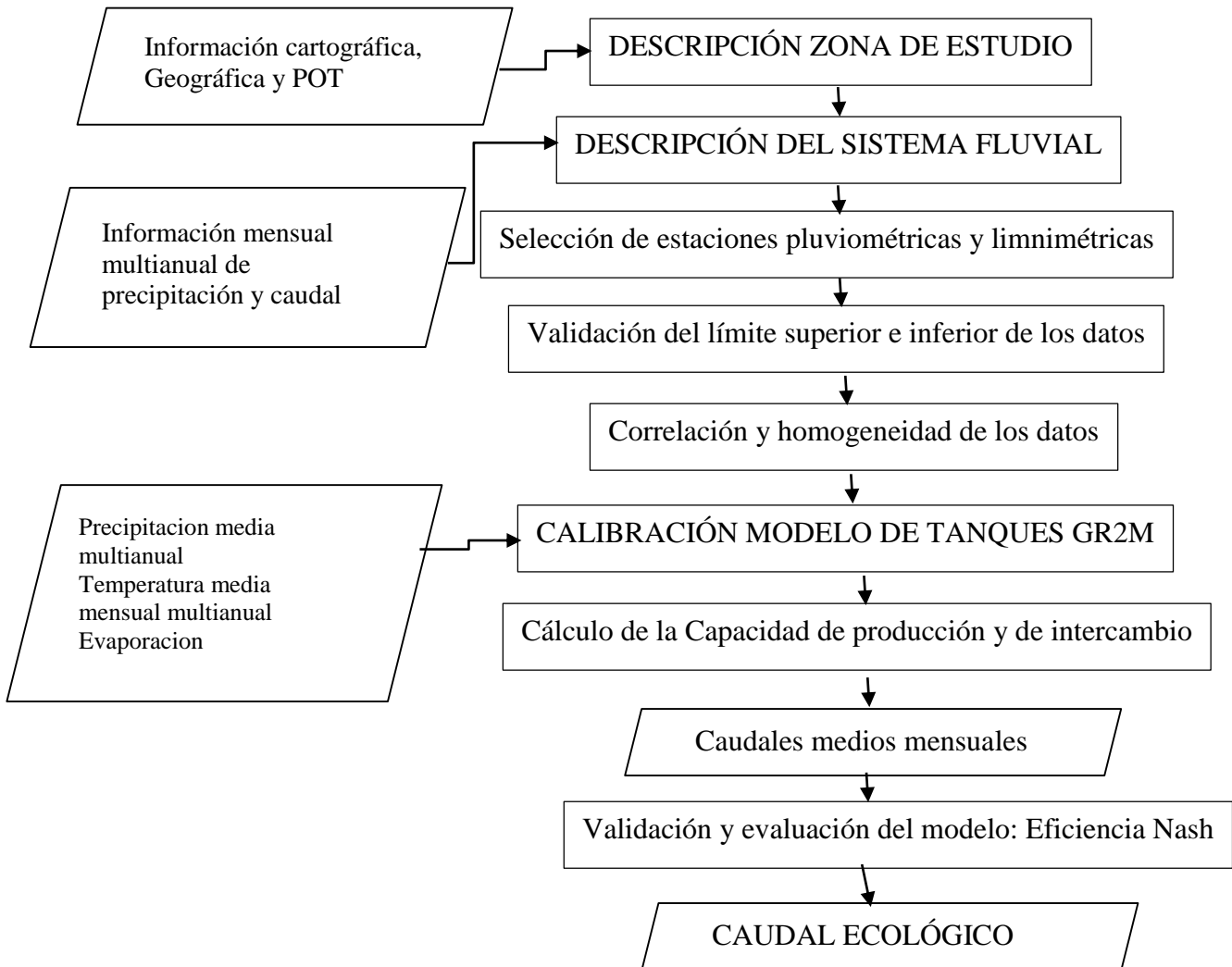
Sin embargo, debido a que existe un intercambio de volúmenes a nivel subsuperficial, el volumen del reservorio se corrige por el factor  $X_2$ :

$$R_2 = X_2 * R_1 \quad (10)$$

Finalmente, el reservorio de agua gravitacional se vacía dando como resultado el caudal de salida:

$$Q = \frac{R_2^2}{R_2 + 60} \quad (11)$$

## 4. METODOLOGÍA





## 5. SELECCIÓN DE DATOS

### HIDROMETEOROLÓGICOS

El primer paso para la selección de la información de los datos hidrometeorológicos para el cálculo de los caudales medios, se debe buscar las estaciones pluviométricas y limnimétricas en la zona. Los círculos simbolizan las estaciones pluviométricas y los triángulos las estaciones limnimétricas.



Imagen 7. Ubicación espacial de las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Subachoque, municipio El Rosal. Fuente: CAR (sin año)

CÓDIGO	ESTACIÓN	CATEGORIA	ELEVACIÓN	Norte	Este
2120071	Las Margaritas	Pluviométrica	2606 msnm	1026200	980750
2120055	La Unión	Pluviométrica	2725 msnm	1030640	980540
2120557	La Primavera	Pluviométrica	2590 msnm	1029900	985090
2120766	La Pradera	Limnimétrica	2704msnm	1044880	993954
2120758	La Muralla	Limnimétrica	2585 msnm	1029600	987280
2120800	Pte Manrique	Limnimétrica	2610 msnm	1035400	989400

Tabla 7. Estaciones metereológicas para el presente estudio. Fuente: Autor

Se toman los datos de cada una de las estaciones correspondiente a precipitación media mensual, temperatura media mensual y caudal medio mensual, estas estaciones son tomadas de la CAR.

En la tabla 7 se observan los datos registrados para los diferentes periodos, teniendo en cuenta a las estaciones que cuenten con mayor continuidad en el registro, y en lo posible un periodo superior a 20 años. Cabe aclarar que también se hace la comparación con las demás estaciones hidrométricas que pertenecen a la cuenca, pero no están ubicadas dentro del municipio.

ESTACION	CODIGO	CATEGORIA	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
Las Margaritas	2120071	PM																														
La Pradera	2120044	PG																														
La Unión	2120055	PM																														
Tisquesusa	2120631	AU																														
Planadas	2120691	CP																														
La Primavera	2120557	CP																														

Tabla 8. Periodo de registro de las estaciones hidrométricas. (PM) Pluviométrica, (PG) Pluviográfica, (AU) Automática, (CP) Climatológica principal. Fuente: CAR, Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca

Se observa continuidad de registro para las estaciones Las Margaritas, La Pradera, La Unión y La Primavera. La estación de La Pradera presenta demasiados datos faltantes, por tanto, no puede ser utilizada en el análisis estadístico, a pesar que esta tiene continuidad en el registro de datos. El periodo de estudio se realiza de 1991 – 2015; equivalente a 25 años.

### 5.1. Análisis de consistencia de datos

La falta de datos, o que los datos no permitan ser intercomparables es un problema grave a la hora de realizar cualquier cálculo hidrológico. Se utilizó el modelo Water Resources Council para la realización de ajustes de las series dudosas.

$$y_H = \bar{y} + K_n * S_y \quad (12)$$

$$y_L = \bar{y} + K_n * S_y \quad (13)$$

Las ecuaciones (12) y (13) representan los valores máximos y mínimos permisibles dentro de un rango, es decir, si un dato se acerca a alguno de los dos valores calculados presenta un umbral alto de duda.  $K_n$  es tomado de la tabla de valores ya calculada por la WSC para un valor  $n$  (Tabla 8). En este caso si  $n = 25$ ;  $K_n = 2,486$ .

<b>n</b>	<b>K<sub>n</sub></b>	<b>n</b>	<b>K<sub>n</sub></b>	<b>n</b>	<b>K<sub>n</sub></b>	<b>n</b>	<b>K<sub>n</sub></b>
10	2,036	24	2,467	38	2,661	60	2,837
11	2,088	25	2,486	39	2,671	65	2,866
12	2,134	26	2,502	40	2,682	70	2,893
13	2,175	27	2,519	41	2,692	75	2,917
14	2,213	28	2,534	42	2,700	80	2,94
15	2,247	29	2,549	43	2,71	85	2,961
16	2,279	30	2,563	44	2,719	90	2,981
17	2,309	31	2,577	45	2,727	95	3,000
18	2.335	32	2,591	46	2,736	100	3,017
19	2,361	33	2,604	47	2,744	110	3,049
20	2,385	34	2,616	48	2,753	120	3,078
21	2,408	35	2,628	49	2,760	130	3,104
22	2,429	36	2,639	50	2,768	140	3,129
23	2,448	37	2,65	55	2,804		

Tabla 9. Tabla de valores de  $K_n$  para una distribución normal. Fuente: U.S. Water Resources Council, Para el cálculo de  $S_y$  se tiene la siguiente ecuación:

$$S_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2} \quad (14)$$

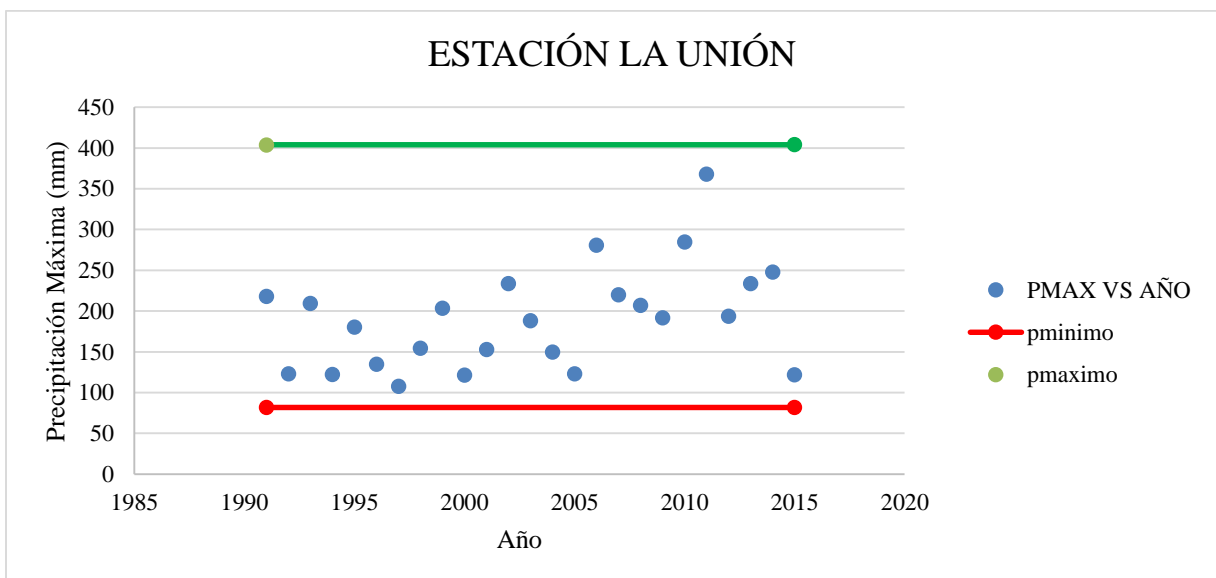
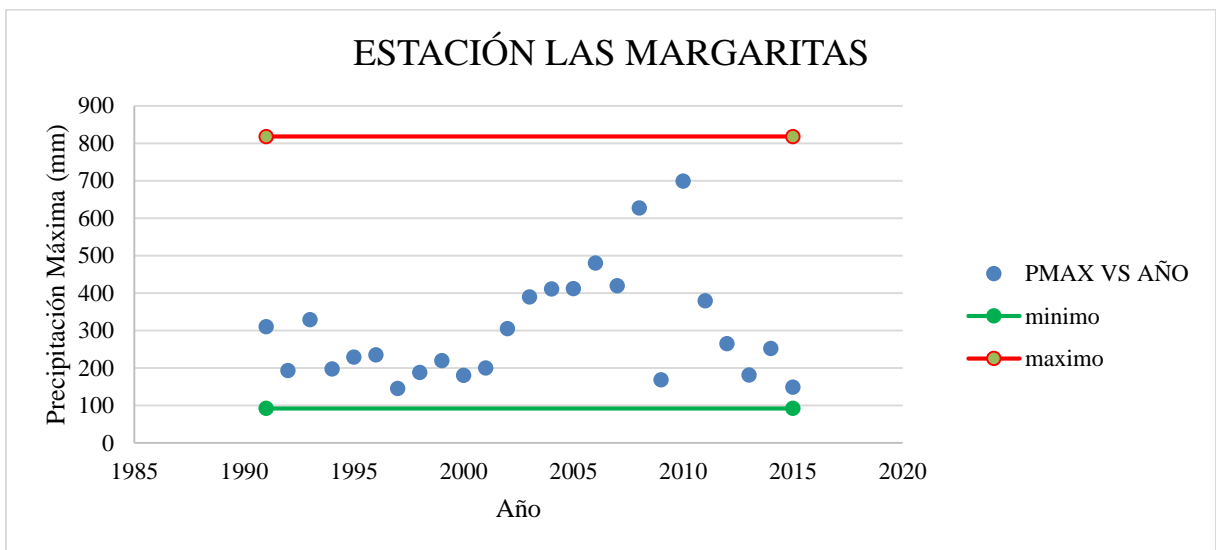
$\bar{y}$  = Promedio de los logaritmos en base 10 de los datos. (Ver Anexos A)

	<b>Las Margaritas</b>	<b>La Unión</b>	<b>La Primavera</b>
<b>S<sub>y</sub></b>	0,1907	0,1395	0,1473
<b>PL</b>	92,139	81,763	64,530
<b>PH</b>	817,87	403,82	348,30
<b>YL</b>	1,9644	1,9125	1,8097
<b>YH</b>	2,9127	2,6061	2,5419
<b>N</b>	25,000	25,000	25,000
<b>K<sub>n</sub></b>	2,4860	2,4860	2,4860

Tabla 10. Valores obtenidos para la consistencia de datos hidrometeorológicos. Fuente: Autor

Los valores de PL y PH se obtienen elevando los valores de YL y YH en base 10.

Se grafica la precipitación máxima para todo el periodo de estudio junto a los valores del umbral calculados:



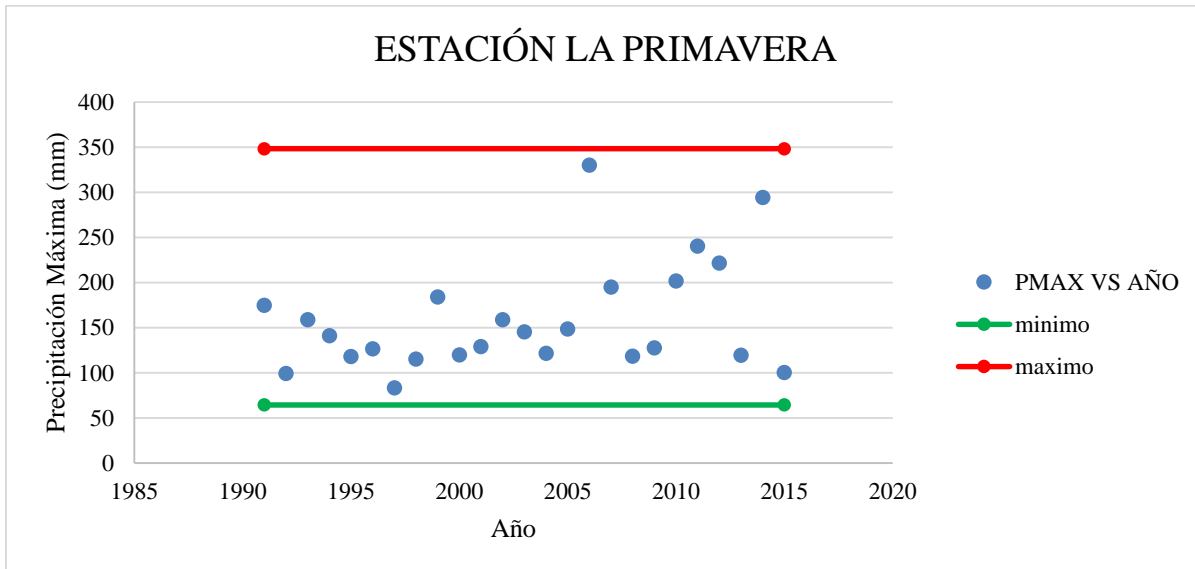


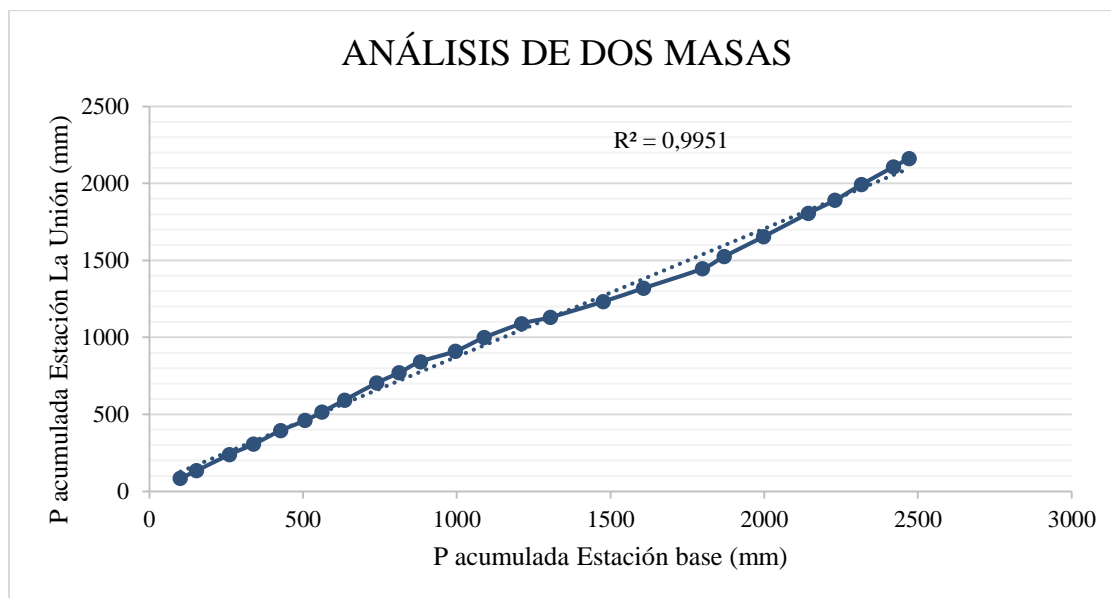
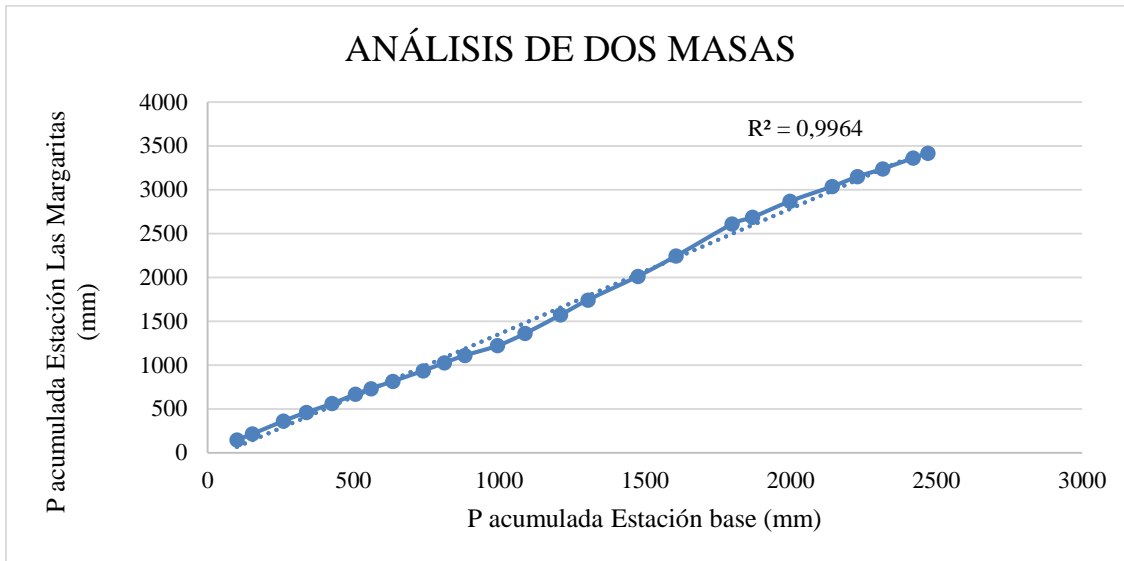
Imagen 8. Consistencia de datos hidroclimáticos. Fuente: Autor

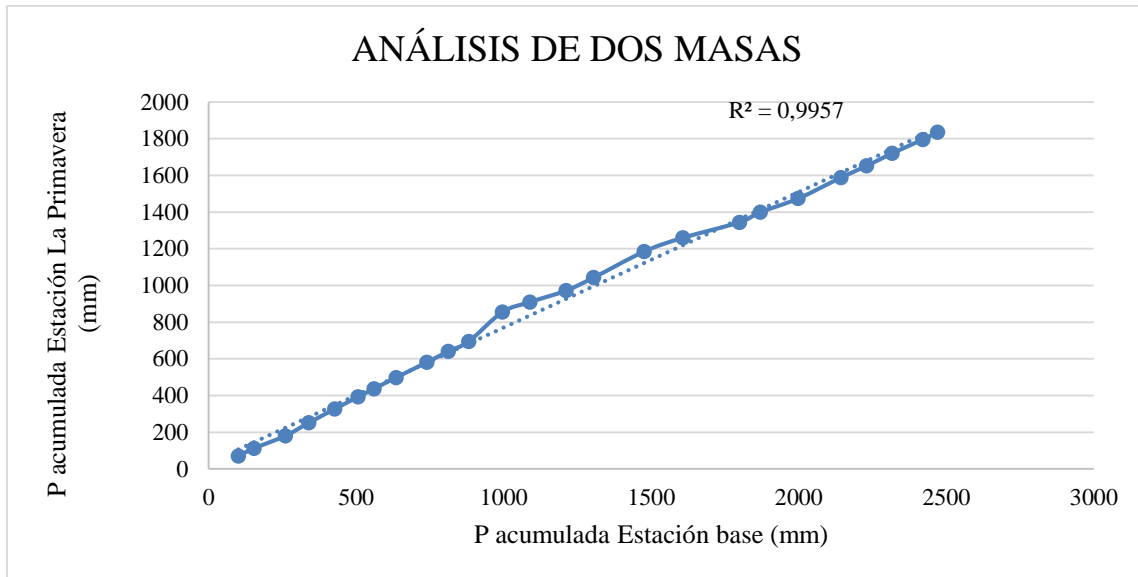
Las tres estaciones presentan dispersión en sus datos, sin embargo, la estación Las Margaritas tiene menor dispersión. Todos los datos de las tres estaciones están dentro del rango permitido.

## 5.2. Homogeneidad de las series del entorno

Una muestra es homogénea si sus variaciones responden exclusivamente a las variaciones de la atmósfera<sup>5</sup>. Para este análisis se toman los datos de la precipitación acumulada para las tres estaciones y se comparan junto a los datos de precipitación acumulada de una estación base. Los datos de la estación base es el valor de la media aritmética de las precipitaciones de las estaciones en cuestión, donde a partir de los datos resultantes se calcula la precipitación acumulada. (Ver Anexo A)

<sup>5</sup> CONRAD, P. y POLLACK, S. Análisis de homogeneidad de las series del entorno de Guipuzcoa. San Sebastian (País Vasco), 2013. p. 93.



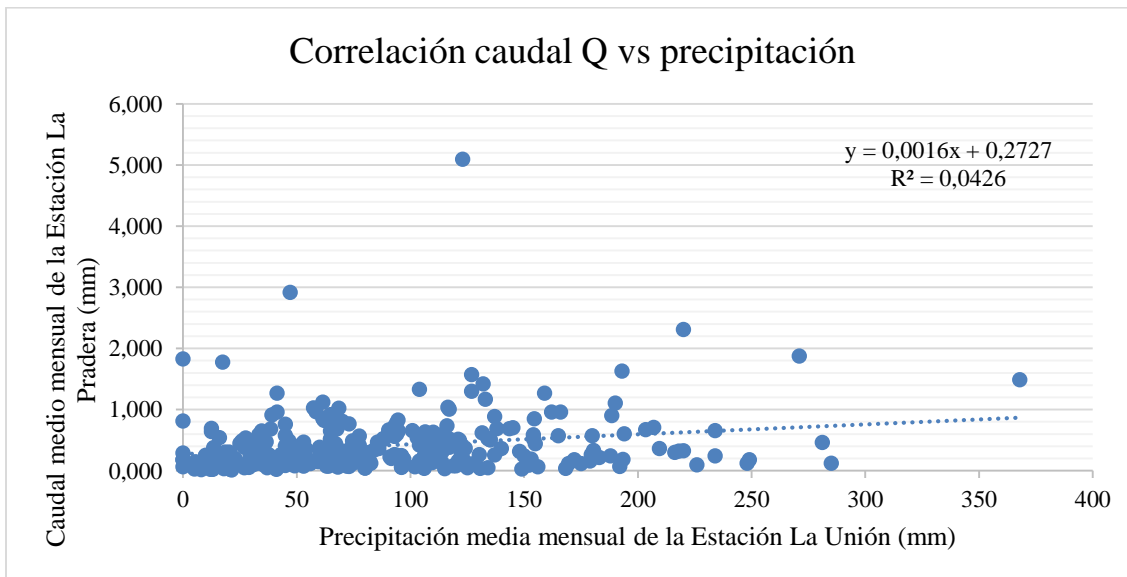
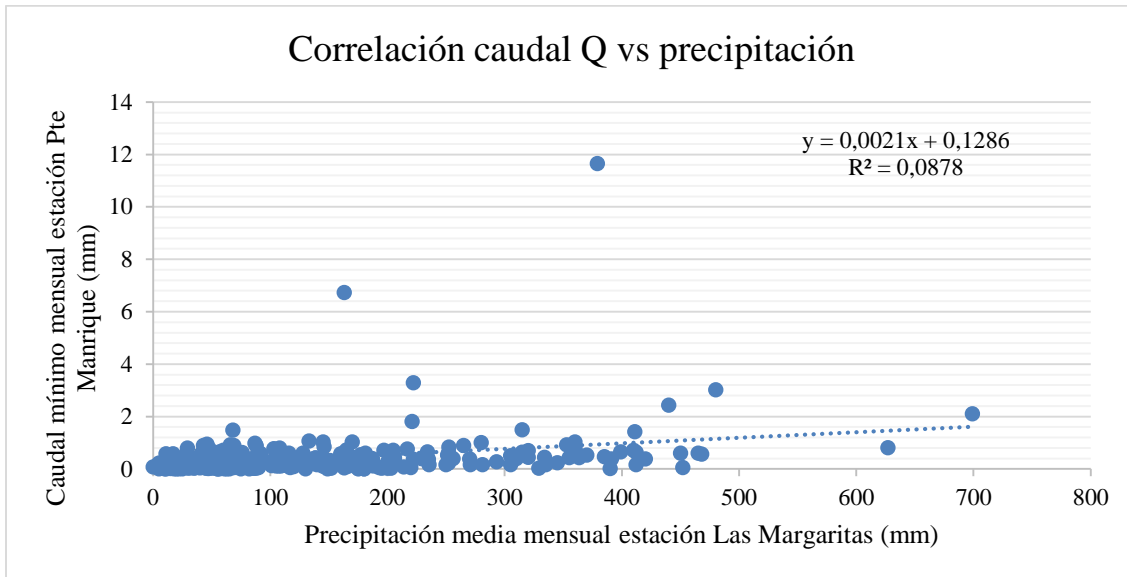


*Imagen 9. Curva de dobles masas (la homogeneidad de las series). Fuente: Autor*

El método que se usó es el de correlación de dos masas. En este análisis se observa una correlación alta para las tres estaciones, lo que permite seguir con el último análisis.

### **5.3. Correlación de las estaciones de precipitación con las de Caudal**

Se debe hacer una correlación de masas similar a la descrita anteriormente, pero esta vez con los datos de precipitación de la estación con los de caudal. Estas estaciones al ser pluviométricas no cuentan con datos de caudal, sin embargo, en la tabla 6 se presentan las estaciones limnimétricas para la zona. La correlación se hace basada en la altura y ubicación cercana entre la estación pluviométrica y la estación limnimétrica.





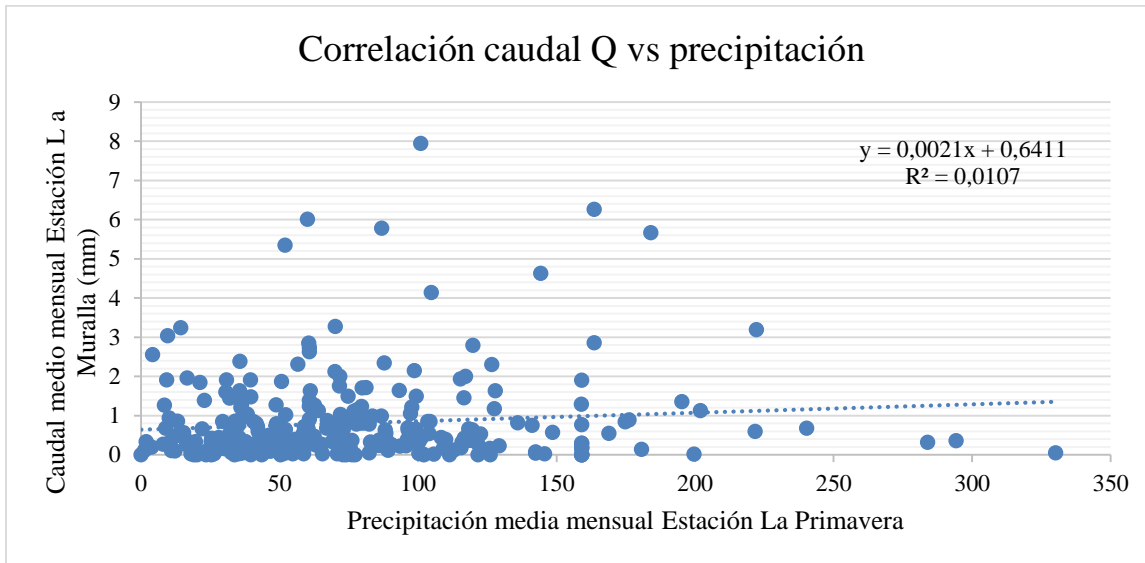


Imagen 10. Correlaciones lineales entre las estaciones lluvia-caudal. Fuente: Autor

Finalmente se escogen los datos de la estación Las Margaritas, ya que es la que tiene mayor coeficiente de correlación, como entradas en el modelo agregado.

## 6. CALIBRACIÓN DEL MODELO

Inicialmente, para hacer la calibración se debe tener en cuenta cuales son los datos de entrada. Los datos que el modelo utiliza para el cálculo son la precipitación mensual multianual registrada, la evapotranspiración corregida; esta última calculada a partir de los datos de temperatura. La ETP<sup>6</sup> se calcula por medio del método de Thornwhite, y son datos que se encuentran disponibles en el IDEAM.

---

<sup>6</sup> Thornthwaite (1948) denominó Evapotranspiración Potencial (ETP), a la evapotranspiración que se produciría si la humedad del suelo y la cobertura vegetal estuvieran en óptimas condiciones.

Dentro de la estructura del modelo GR2M, los parámetros que requieren ser calibrados son  $X_1$  (máxima capacidad de almacenamiento del tanque de producción) y  $X_2$  (parámetro de intercambio de agua con otras cuencas).

Se calcula un valor aproximado de  $X_1$  con los datos de precipitación y evaporación, esto con el fin de disminuir la complejidad del modelo al calibrar este parámetro para cada ladera de la zona de estudio.

$$X_1 = \left[ E * P * \tanh\left(\frac{P}{E}\right) * \left(1 - \cosh\left(\frac{E}{P}\right) + \sinh\left(\frac{E}{P}\right)\right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (15)$$

El valor de  $X_2$  es asumido con un máximo de 0,60 mm.

Como condición inicial, para el primer mes se asumió el almacenamiento en el tanque de producción como  $S = X_1/2$ . Para los meses siguientes este valor se actualizó siguiendo el procedimiento descrito por las ecuaciones (3), (4) y (16), Intercambio de agua F.

$$F = (X_2 - 1) * R_1 \quad (16)$$

Luego se procede a decidir el intervalo temporal para este estudio, igual a 16 años, observando el comportamiento de los datos de la estación Las Margaritas por el periodo desde 1991 hasta 2007. Se calculan los demás valores expuestos en las ecuaciones del numeral 3.2.

### **Criterio de evaluación**

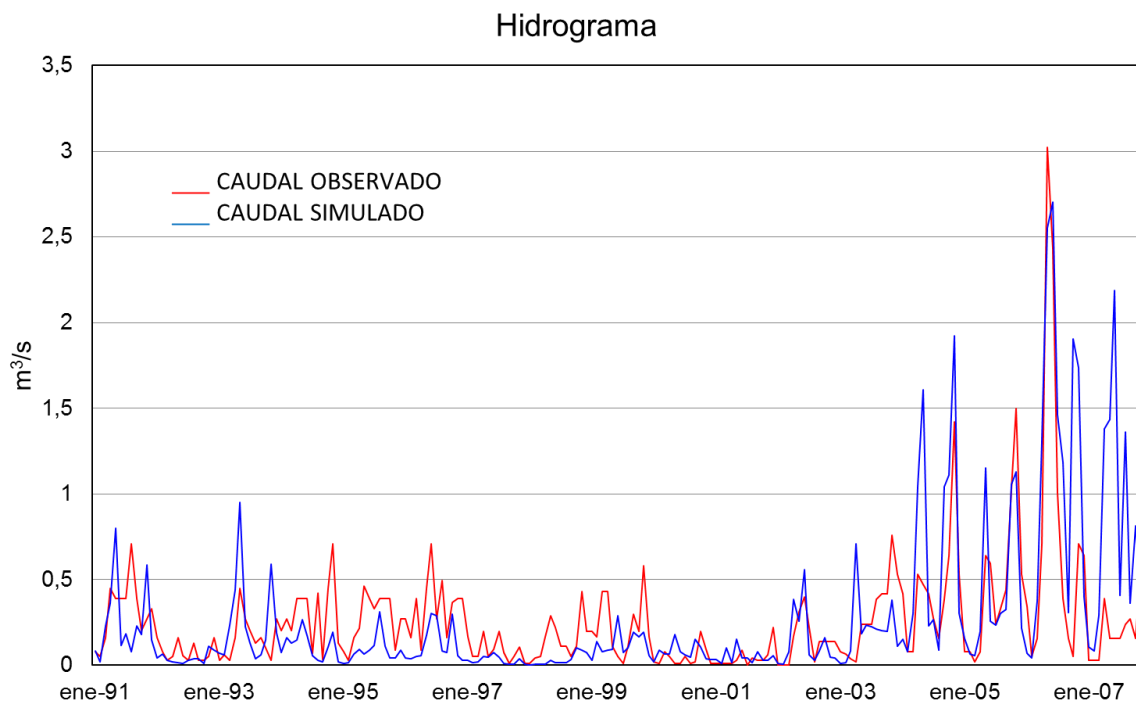
Para cuantificar el grado de ajuste entre las series simuladas y las series observadas en cada una de las estaciones de caudal empleadas, se utilizó el criterio de Nash (Nash y Sutcliffe, 1970; Perrin et al., 2003):

$$\text{NASH} = \left( 1 - \frac{\sum(Q - Q_{est})^2}{\sum(Q_{med} - Q)^2} \right) \quad (17)$$

Donde Q = Caudal observado; Q<sub>est</sub> = Caudal estimado; Q<sub>med</sub> = Promedio de los caudales observados.

X<sub>1</sub> inicial es calculado a partir de los datos de precipitación y ETP, como se muestra en la ecuación (15). El valor obtenido es igual a 18,1303 mm. El valor de X<sub>2</sub>, como se mencionó anteriormente, se asume con un valor máximo de 0,60 mm.

Por medio de la herramienta SOLVER, en una hoja de EXCEL, se estiman los valores reales de X<sub>1</sub> y X<sub>2</sub>, obteniendo los valores: X<sub>1</sub> = 7,46mm y X<sub>2</sub> = 0,0285mm. Así también se obtiene un NASH del 37,5%; los valores de evaluación donde el modelo presenta un ajuste perfecto entre los valores observados y los estimados esta NASH > 0% hasta 100%. (Ver Anexo B)



*Imagen 11. Hidrograma de la cuenca del rio Subachoque. Fuente: Autor*

Como se observa en el hidrograma el modelo presenta ajustes en los periodos con caudal más alto, presentando un comportamiento muy similar entre los caudales; sin embargo, pierde eficiencia en periodos donde hubo Fenómeno de la Niña, como se aprecia en el año de 1996-1997. También se puede observar que para la calibración del modelo se tomo del año base de 1991, obteniendo un valor muy cercano, lo que indica el buen camino del modelo.

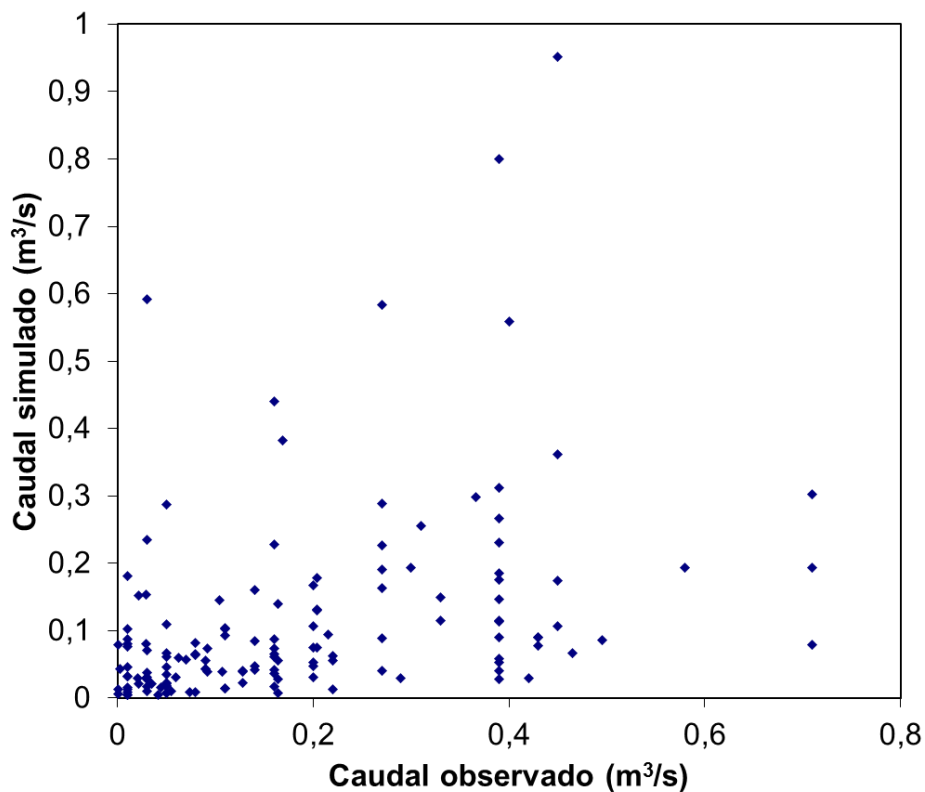


Imagen 12. Correlación de datos de Caudal observado vs Caudal estimado. Fuente: Autor

Se observa que existe dispersión entre los datos obtenidos, sin embargo la mayoría de los datos presentan correlación, por tanto se toman los datos del caudal simulados para la estimación del caudal ecológico.

## 7. CÁLCULO DEL CAUDAL ECOLÓGICO

El calculo del caudal ecológico usualmente se realiza por el método  $Q_{95}$ , expuesto por el IDEAM, es así que se realiza el calculo del caudal por este método. Este está definido como el cuantil 5 de la serie de datos, básicamente.

La herramienta usada para el cálculo es Jupyter, una extensión de Anaconda Python 2019.03.

El algoritmo de programación se demuestra en las siguientes imágenes:

```
In [2]: %pylab inline
import pandas as pd

datosmargaritas = pd.read_csv("Datos_Estacion_lasmargaritas.csv", index_col=2, parse_dates=True)

Populating the interactive namespace from numpy and matplotlib
```

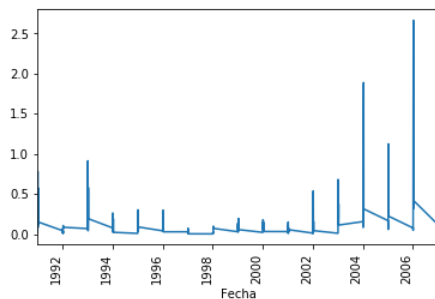
```
In [3]: datosmargaritas.head()
```

```
Out[3]:
```

	ALA	Estacion	Caudal(m3/s)
Fecha			
1991-01-01	LAS	MARGARITAS	0.0887
1991-01-02	LAS	MARGARITAS	0.0219
1991-01-03	LAS	MARGARITAS	0.2328
1991-01-04	LAS	MARGARITAS	0.3591
1991-01-05	LAS	MARGARITAS	0.7805

```
In [5]: datosmargaritas["Caudal(m3/s)"].plot()
figsize(16,3)
xticks(rotation="vertical")
```

```
Out[5]: (array([726468., 727198., 727929., 728659., 729390., 730120., 730851.,
731581., 732312., 733042.]), <a list of 10 Text xticklabel objects>)
```



```
In [6]: Margaritas17yrs = datosmargaritas["1991-01-01":"2007-01-12"]
Margaritas17yrsFilter = Margaritas17yrs[["Caudal(m3/s)"]]
Margaritas17yrsFilter.head()
```

```
Out[6]:
```

	Caudal(m3/s)
Fecha	
1991-01-01	0.0887
1991-01-02	0.0219
1991-01-03	0.2328
1991-01-04	0.3591
1991-01-05	0.7805

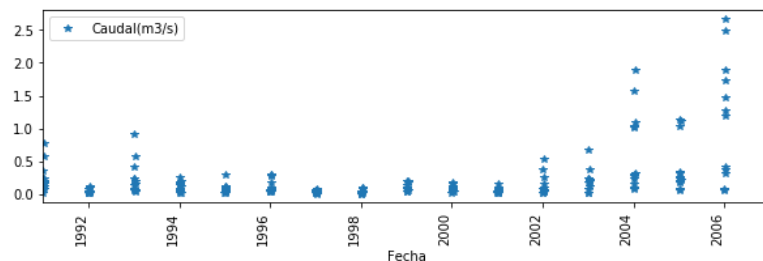
Imagen 13. Algoritmo para el cálculo del caudal ecológico de la cuenca del río Subachoque. Fuente: Autor

Básicamente, se introdujeron los datos dentro del programa, y se reagruparon anualmente.

Luego se graficaron para mirar su distribución.

```
In [9]: Margaritas17yrsFilter.plot(style="*")
figsize(16,10)
xticks(rotation="vertical")
```

```
Out[9]: (array([726468., 727198., 727929., 728659., 729390., 730120., 730851.,
731581., 732312., 733042.]), <a list of 10 Text xticklabel objects>)
```



```
In [28]: Margaritasmensuales.boxplot(subplots=False, return_type="dict");
xticks(rotation="vertical")
ylim(0,0.5)
```

```
Out[28]: (0, 0.5)
```

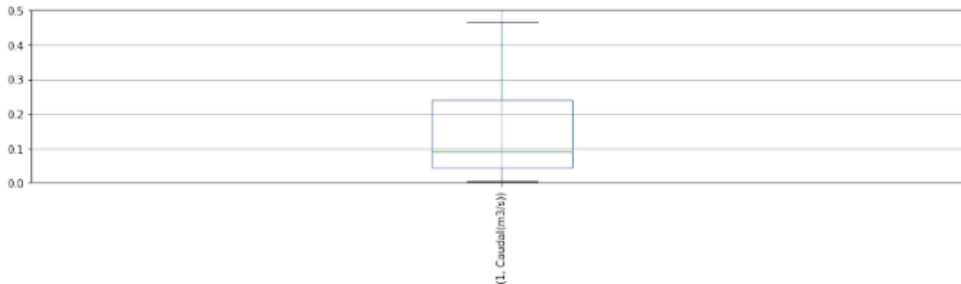


Imagen 14. Algoritmo para el cálculo del caudal ecológico de la cuenca del río Subachoque. Fuente: Autor

En la anterior gráfica de caja se observa que el cuantil está entre valores de 0,0 y 0,02; además, también nos muestra el valor máximo y la media de los mismos.

```
In [30]: Margaritasmensuales.quantile(0.05)
```

```
Out[30]:
0.05 Caudal(m3/s)
1      0.01105
```

```
In [31]: Margaritasmensuales.quantile(0.1)
```

```
Out[31]:
0.1 Caudal(m3/s)
1      0.01699
```

Imagen 15. Caudal ecológico estimado para la cuenca del río Subachoque Fuente: Autor

Finalmente se calculan los caudales  $Q_{95}$  y  $Q_{90}$ , cuantil 5 y cuantil 10 respectivamente, obteniendo un valor de caudal mínimo de  $0,01105 \text{ m}^3/\text{s}$  y el valor del caudal ambiental de  $0,01699 \text{ m}^3/\text{s}$ . Según un estudio realizado por la CAR, el caudal ecológico para la cuenca del río Subachoque es de  $0,018 \text{ m}^3/\text{s}$  y para la cuenca del río Balsillas es de  $0,03 \text{ m}^3/\text{s}$ . Estos valores se aproximan a los valores obtenidos en el algoritmo. Se toma el valor del caudal ecológico como el valor mínimo requerido que se debe mantener para no afectar las condiciones ambientales de la zona. Se puede deducir que actualmente lo denunciado por la CAR podría indicar que si se están manteniendo las condiciones óptimas de conservación. Es importante recordar que la cuenca hace parte de la cuenca media del río Bogotá, la cual tiene un manejo especial en su plan de ordenamiento.

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Observando los datos obtenidos por el modelo se encuentra dispersión en los caudales estimados para periodos de anomalía climática. Es por eso precisar el hecho de que el clima es fluctuante en el tiempo, y que en cualquier momento las tendencias pueden variar, que no son fallas por la medición de los mismos, sino por el comportamiento atmosférico.

Los caudales del río Subachoque se atienden a la dinámica de las precipitaciones de la región, esto se ve reflejado en incrementos de caudal en los meses lluviosos y decremento del gasto en los meses secos. Así pues, se muestra una distribución bimodal teniendo dos picos muy marcados a lo largo del año en los trimestres de ‘marzo, abril, mayo’ y ‘septiembre, octubre, noviembre’ siendo por lo menos, para la cuenca del río Subachoque el mes de octubre el más lluvioso del año con precipitaciones mensuales mayores incluso a 200 mm.



En cuanto a la consistencia de los datos a través de los diagramas de doble masa se observa que en general los datos de precipitación son consistentes presentando una tendencia lineal constante, tal como se comentó en el análisis de consistencia.

En definitiva, se logró calcular el caudal ecológico para la cuenca del río Subachoque, obteniendo resultados **gratificantes** en cuanto a los criterios de evaluación del modelo, y a la comparación de los caudales observados con los caudales estimados. Asimismo, el presente documento será de útil servicio para la investigación, desarrollo y evaluación de diferentes programas y proyectos que involucren la alteración de la cuenca.

El método GR2M es un método que estima caudales mensuales, que como vimos, funciona efectivamente; sin embargo, **se deja a cabalidad la comparación con algún modelo que estime caudales medios diarios**. Es importante **no menospreciar el hecho tal**, que el presente documento aporta a la disminución en la falta de información sobre el tema.

Aunque el objeto del estudio es estimar el caudal ecológico de la cuenca, se hace la recomendación de estudiar más a fondo la mencionada metodología, poder determinar si la reducción del caudal ecológico estimado con el caudal ecológico registrado por la CAR se debe a algún problema dentro del modelo, o si realmente está disminuyendo el flujo del río. Asimismo, que sea de base el presente documento poder determinar la demanda hídrica y la oferta hídrica del municipio, determinando el tiempo de abastecimiento si se mantiene el caudal estimado.

## Referencias

- ALCALDÍA DEL MUNICIPIO DE EL ROSAL. Plan de ordenamiento territorial. 2004.
- CABRA, A. Estimación del caudal ecológico por los métodos  $7q_{10}$ ,  $q_{95}$  y los factores de reducción del 25% en el río Ocoa, a partir de la generación de caudales diarios utilizando el modelo agregado de tanques. 2014. 50 p.
- CHIANG SL, J. F. Propuesta metodológica preliminar para la estimación del caudal ambiental en proyecto licenciado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 1976. 306 p.
- CONRAD, P. Análisis de homogeneidad de las series del entorno de Guipuzcoa. San Sebastian (País Vasco), 2013. 217 p.
- FRANCÉS, F. AND BENITO, J. La modelación distribuida con pocos parámetros de las crecidas. Ingeniería del agua, 1995. 2, 4, 7-24 p.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). Atlas Climatológico de Colombia. Bogotá: IDEAM, 2005. 216 p. LONDOÑO, H. Cuencas hidrográficas. Ibagué: Universidad del Tolima, 2001. 183 p.
- KLEMEŠ, V. A hydrological perspective, J. Hydrol., 100, 3-28, 1988.
- LOZANO, G. Caudales Ecológicos: Conceptos, Metodologías, Estado del Arte y estimación mediante métodos hidrológicos. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia. 2005
- Ltda-CAR, C. E. Elaboración del diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del río Bogotá Subcuenca río Alto Bogotá-2120-19. Bogotá. 2010
- MARTÍNEZ, A. Fundamentos de hidrogeología. Madrid: Anagrama, 2005. 519 p.
- MONSALVE SÁENZ, Germán. Hidrología en la ingeniería. 2 ed. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 1999. 382 p.
- NGPRP. Northern Great Plains Resource Program: Instream needs subgroup report. Netherland: SWork Group C report, 1974. 289 p.
- OCHOA, T. Hidráulica de ríos y procesos morfológicos. Bogotá: Ecoediones, 2011. 219 p.

PARRA, E., & CARVAJAL, L. F. Modelamiento y manejo de las interacciones entre la hidrología, la ecología y la economía en una cuenca hidrográfica para la estimación de caudales ambientales. XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, 2012. 15 p

RODRÍGUEZ, D. Hidráulica fluvial: fundamentos y aplicaciones de socavación. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2010. 244 p.

SÁNCHEZ, L. C. Cuenca hidrográficas: bases conceptuales, caracterización, planificación y administración. Ibagué: Universidad del Tolima, 2001. 177 p.

STANESCU, S. Determinación práctica de las principales características morfométricas y fisiográficas de las cuencas hidrográficas y su aplicación en los cálculos hidrológicos. Madrid: McGraw-Hill, 1970. 312 p.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Propuesta metodológica preliminar para la estimación del caudal ambiental en proyectos licenciados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). Bogotá: UNAL, 2014. 196 p.

VÉLEZ, C. Aplicaciones de un modelo hidrológico agregado en Colombia. Medellín: Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, 2010. 263 p.

VÉLEZ, Frances F., y VÉLEZ, JJ. Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Punta de Este, Uruguay: AIIH, 2007. 198 p.

## **ANEXOS**

**ANEXO A**  
**(Método Water Resources Council)**

PRECIPITACION ESTACION LAS MARGARITAS													CAUDAL MEDIO MENSUAL ESTACION PUENTE MANRIQUE																		
AÑO	P ENERO	P FEBRERO	P MARZO	P ABRIL	P MAYO	P JUNIO	P JULIO	P AGOSTO	P SEPTIEMBRE	P OCTUBRE	P NOVIEMBRE	P DICIEMBRE	PROMEDIO	P ACUMULADA	P ACUM EB	VALOR MAXIMO	$y = \log(x)$	$(y - \bar{y})^2$	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	
1991	19	25	250	232	310	35	124	60	187	138	293	75	145,6666667	145,6666667	100,269444	310	2,49136169	0,0027878	0,08	0,05	0,16	0,45	0,39	0,39	0,39	0,17	0,39	0,204	0,27	0,33	
1992	15	75	35	33	33	25	88	101	85,5	15	193	115,5	67,83333333	213,5	153,302778	193	2,28555731	0,02341044	0,16	0,08	0,03	0,05	0,16	0,055	0,03	0,28	0,03	0,03	0,05	0,16	
1993	86	74	203	235,5	320	80	70	17,5	77	166,5	329	110	147,375	360,875	260,1	329	2,5171959	0,00618329	0,03	0,063	0,03	0,16	0,45	0,27	0,204	0,128	0,16	0,104	0,03	0,27	
1994	50	140	107	121	181	115	25	35	170	197	5	5	98,41666667	459,2916667	338,95	197	2,29446623	0,0070636	0,04	0,27	0,204	0,39	0,39	0,39	0,39	0,42	0,39	0,45	0,71	0,128	
1995	0	45	140	140	90	114	128	229	85	35	65	127	99,83333333	559,125	426,963889	229	2,35983548	0,00619787	0,08	0,03	0,16	0,215	0,45	0,39	0,33	0,39	0,39	0,39	0,306	0,27	
1996	55	60	90	85	182,5	205	170	55	75,5	235	45	30	107,33333333	666,4583333	506,477778	235	2,37106786	0,00455546	0,27	0,16	0,39	0,39	0,45	0,71	1,026	0,495	0,16	0,366	0,39	0,39	
1997	50	32	55	115	87	120	80	5	25	36	145	5	62,91666667	729,375	560,755556	145	2,161368	0,07683653	0,164	0,05	0,05	0,2	0,05	0,092	0,2	0,074	0,01	0,05	0,107	0,01	0,01
1998	20	40	55	55	129	51,5	62	60	117	188	130	105	84,375	813,75	634,877778	188	2,27415785	0,02702873	0,01	0,042	0,05	0,164	0,289	0,22	0,11	0,11	0,05	0,11	0,43	0,2	
1999	45	180,5	90	105	105	220	55	107	175	145	160	45	119,375	933,125	739,172222	220	2,34242268	0,00924277	0,2	0,164	0,43	0,43	0,11	0,05	0,01	0,11	0,3	1,03	0,58	0,164	0,164
2000	15	130	85	90	180	75	69	63	175	115	45	55	91,41666667	1024,541667	812,130556	180	2,25527251	0,03359505	0,022	0,01	0,08	0,05	0,01	0,01	0,05	0,01	0,022	0,2	0,092	0,01	0,01
2001	61	18	175	10	200	45	65	21	152	56	75	120	83,16666667	1107,708333	881,805556	200	2,30103	0,01891506	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,029	0,09	0,0025	0,0445	0,029	0,029	0,06	0,22
2002	22	11,3	180	305	360	256	5	10	112,21	170	50	65	112,2091667	1219,9175	994,885278	305	2,48429984	0,00209195	0,001	0,000625	0,000625	0,1685	0,31	0,4	0,22	0,021	0,14021875	0,14021875	0,14021875	0,14021875	0,14021875
2003	5	40	163	390	90	138,57	138,57	138,57	138,57	138,57	217	65	138,5708333	1358,408333	1088,790833	390	2,59106461	0,02325704	0,079	0,068	0,038	0,019	0,239	0,239	0,239	0,383	0,419	0,419	0,419	0,759	0,529
2004	120	65	214	370	385	55	125	40	391	315	411	75	213,8333333	1572,321667	1211,16861	411	2,61384182	0,09072301	0,419	0,079	0,079	0,529	0,474	0,419	0,276	0,159	0,383	0,639	1,42	0,529	
2005	65	27,5	47	175	412	91,5	120	165	175	360	315	69	168,5	1740,821667	1304,72639	412	2,61489722	0,0310941	0,079	0,079	0,019	0,079	0,639	0,596	0,239	0,33	0,441	1,029	1,5	0,529	
2006	45	45	270,7	410	480	440	280	270,2	90	452	360	105	270,5883333	2011,48	1476,2625	480	2,68124124	0,0588932	0,342	0,054	0,159	0,709	3,024	2,43	1,004	0,389	0,159	0,05	0,709	0,642	
2007	30	50	195	420	335	412	90	345	114	281	177	334	231,9166667	2243,396667	1607,56806	420	2,62324929	0,03410938	0,029	0,029	0,029	0,389	0,159	0,159	0,159	0,237	0,27	0,159	0,54	0,449	
2008	135	200	450	360	465	399	305	355	234	468	627	363,45	363,4541667	2606,850833	1799,165	627	2,79726754	0,02869695	0,243	0,255	0,601	0,671	0,651	0,509	0,428	0,651	0,564	0,814	0,428	0,549	
2009	43	157	168	116	61	63	14	53	15	109	114	21	77,83333333	2684,684167	1869,69833	168	2,22530928	0,04547673	0,293	0,293	0,325	0,428	0,238	0,135	0,272	0,192	0,167	0,116	0,293	0,116	0,116
2010	17	41	11	82	187	88	309	107	70	222	699	353	182,1666667	2866,850833	1998,27333	699	2,84447718	0,16476711	0,581	0,581	0,581	0,003	0,292	0,293	0,493	0,601	0,25	0,371	2,111	0,915	
2011	65	96	252	202	221	151	78	50	57	320	379	163	169,5	3036,350833	2143,14444	379	2,57863921	0,01962162	0,122	0,296	0,223	0,398	1,814	0,323	0,234	0,468	0,486	0,695	11,656	6,729	
2012	68	46	252	222	133	27	103	43	69	265	66	48	111,8333333	3148,184167	2230,16222	265	2,42324587	0,00323458	1,484	0,945	0,611	3,292	1,07245455	0,51	0,779	0,902	0,902	0,902	0,921	0,549	
2013	24	50	65	143	181	55	16	73,8	20,8	129	146	165	89,05	3237,234167	2316,70111	181	2,25767857	0,0371882	0,368	0,358	0,326	0,607	0,472	0,316	0,245	0,4	0,472	0,846	0,729	0,729	
2014	56,7	146	251,4	128	252,3	108	29,2	65	45	206	87	88	121,8833333	3359,1175	2420,45111	252,3	2,40191725	0,00134284	0,653	0,4	0,524	0,607	0,831	0,796	0,796	0,347	0,607	0,423	0,978	0,883	
2015	62	48	76	116	20	36	44	29	36	7	149	56,64	56,63666667	3415,754167	2471,105	149	2,17318627	0,07042429	0,715	0,773	0,627	0,601	0,4	0,324	0,224	0,137	0,131	0,048	0	0,008	
																	Σ	2,43856203	0,87294093												

PRECIPITACION ESTACION LA UNION													CAUDAL MEDIO MENSUAL ESTACION LA PRADERA																		
AÑO	P ENERO	P FEBRERO	P MARZO	P ABRIL	P MAYO	P JUNIO	P JULIO	P AGOSTO	P SEPTIEMBRE	P OCTUBRE	P NOVIEMBRE	P DICIEMBRE	PROMEDIO	P ACUMULADA	P ACUM EB	VALOR MAXIMO	$y = \log(x)$	$(y - \bar{y})^2$	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	
1991	80,5	42	218	94	180	32,5	34,5	38,5	76	42,5	106,5	75,5	85,04166667	85,04166667	100,269444	218	2,33845649	0,0062545	0,127	0,17	0,322	0,599	0,572	0,292	0,33	0,682	0,263	0,237	0,637	0,341	
1992	5,5	59,5	29,5	35	49	35	71	21	56	41	123	61	48,875	133,9166667	153,302778	123	2,08990511	0,0281872	0,141	0,147	0,108	0,109	0,1705	0,1705	0,176	0,528	0,116	0,09	0,207	0,353	
1993	68,9	82,5	169,5	183	145	33,5	60	13,5	104	69,5	209,5	116,5	116,5	104,6166667	328,5333333	260,1	209,5	2,32118403	0,00382084	0,167	0,123	0,119	0,217	0,705	0,436	0,383	0,376	0,423	0,242	0,363	1,039
1994	39	73	35	122,5	74,5	106	46,5	61	45,5	103	93	10	67,41666667	305,95	338,95	122,5	2,08813609	0,02932143	0,91	0,767	0,166	0,274	0,261	0,244	0,491	0,335	0,333	0,539	0,563	0,254	
1995	0	41	109,5	180,5	179,5	74	91,5	124	27	113	32	94,5	88,875	394,825	426,963889	180,5	2,25647721	0,37466-06	0,179	0,128	0,132	0,333	0,266	0,379	0,202	0,37	0,385	0,581	0,497	0,831	
1996	64,78	64,78	64,78	64,78	64,78	34,5	68,5	45	51	135	12,5	0	64,78333333	459,6083333	506,477778	135	2,13033377	0,01665063	0,653	0,515	0,919	0,264	0,517	0,652	1,023	0,759	0,392	0,512	0,64	0,421	
1997	77,5	36,5	108	72,5	80,5	72	18,5	21	56,5	62,8	82	0	55,65	515,2583333	560,755556	108	2,03342376	0,0510522	0,298	0,175	0,17	0,32	0,301	0,317	0,304	0,157	0,158	0,134	0,16	0,182	
1998	27	44	31	113,8	116	57,4	48	68,1	67,1	154,5	109,5	90,5	77,24166667	592,5	634,877778	154,5	2,18892848	0,00496216	0,085	0,102	0,103	0,137	0,732	1,027	0,421	0,324	0,44	0,852	0,59	0,668	
1999	73,5	154,1	93,8	70	77,5	131,5	27,5	94,7	143,5	166	203,5	96	110,9666667	703,4666667	739,172222	203,5	2,30856441	0,00241988	0,292	0,586	0,777	0,807	0,569	0,569	0,621	0,652	0,685	0,961	0,671	0,248	
2000	35,5	95,5	77,5	48,5	22,9	45	46,2	45,5	121,5	92,5	117	54	66,8	770,2666667	812,130556	121,5	2,08457628	0,03055323	0,181	0,229	0,191	0,218	0,193	0,578	0,466	0,247	0,499	0,673	0,521	0,348	
2001	35,1	43	104	29,5	153	36,5	31,5	16	110,5	76,5	77,5	148	71,75833333	842,025	881,805556	153	2,18469143	0,00557705	0,109	0,109	0,16	0,248181818	0,189	0,19	0,232	0,235	0,326	0,408	0,417	0,318	
2002	16	5,5	97	234	90,5	58,5	12,5	16	36,5	138	37	74,5	68	910,025	994,885278	234	2,36921586	0,01206587	0,191	0,141	0,191	0,654	0,622	0,963	0,69	0,539	0,471	0,688	0,278		



**ANEXO B**  
**(Modelo agregado de tanques GR2M)**



Meas	Precipitation	ETP (mm)	Caudal m3/s	S1	P1	S2	S	P2	R1	F	R2	R	Caudal Simulado	Qobs	VQobs	In(Qobs+M4)	Qcal	VQcal	In(Qcal+M4)	Delta(Q)	Delta(VQ)	Delta(InQ+M4)	Delta(Q^2)	Delta(VQ^2)	Delta(InQ+M4)	Delta(Q/Pobs)	ETPobs		
ene-91	19	55.43	0.08	874.10	4.83	832.75	803.43	29.32	34.15	64.15	-61.79	2.35	2.26	0.09	0.080	0.283	-2.445	0.089	0.298	-2.349	0.000	0.000	0.009	0.035	0.026	0.277	19.000	55.432	
feb-91	25	48.57	0.05	822.84	5.38	788.00	754.25	23.76	29.35	31.61	-30.45	1.16	1.14	0.02	0.050	0.224	-2.870	0.022	0.148	-3.551	0.011	0.006	0.465	0.048	0.048	9.004	25.000	48.573	
mar-91	250	50.42	0.16	951.47	62.78	911.65	870.42	41.23	104.00	105.14	-101.29	3.86	3.62	0.23	0.160	0.400	-1.792	0.233	0.483	-1.429	0.055	0.007	0.131	0.012	0.002	0.016	250.000	50.417	
abr-91	232	45.86	0.45	1031.06	71.36	992.97	938.39	56.58	127.95	131.57	-126.74	4.83	4.47	0.36	0.450	0.671	-0.784	0.359	0.599	-1.005	0.088	0.005	0.049	0.033	0.052	1.289	232.000	45.863	
may-91	310	47.53	0.39	1133.07	113.32	1081.47	1011.73	78.75	193.07	197.53	-190.29	7.24	6.46	0.78	0.390	0.624	-0.925	0.781	0.883	-2.239	0.153	0.067	0.470	0.015	0.033	0.889	310.000	47.529	
jun-91	35	54.86	0.38	1034.34	12.39	988.96	933.21	55.78	68.13	74.60	-71.86	2.74	2.67	0.12	0.380	0.624	-0.925	0.119	0.345	-2.071	0.073	0.078	1.315	0.015	0.033	0.889	35.000	54.857	
jul-91	124	57.27	0.39	1017.27	39.94	969.89	918.00	51.89	81.83	84.45	-90.99	3.46	3.27	0.19	0.390	0.624	-0.925	0.189	0.435	-1.631	0.040	0.036	0.459	0.015	0.033	0.889	124.000	57.671	
ago-91	60	63.30	0.71	960.10	17.90	910.00	869.05	40.95	38.85	62.12	-59.84	2.28	2.19	0.08	0.710	0.843	-0.333	0.083	0.289	-2.407	0.393	0.307	4.303	0.195	0.160	2.516	60.000	63.295	
sep-91	167	65.67	0.39	1000.56	55.49	947.25	899.70	47.55	103.04	105.23	-101.37	3.86	3.63	0.23	0.390	0.624	-0.925	0.253	0.483	-1.427	0.025	0.020	0.253	0.015	0.033	0.889	167.000	65.669	
oct-91	138	65.83	0.204	995.70	42.00	942.43	895.77	46.66	68.66	92.28	-88.90	3.8	3.20	0.18	0.204	0.452	-1.557	0.181	0.425	-1.674	0.001	0.014	0.044	0.000	0.000	0.131	138.000	65.830	
nov-91	293	62.43	0.27	1090.16	96.61	1036.83	970.57	66.26	164.87	168.07	-161.91	6.16	5.59	0.57	0.270	0.520	-1.285	0.574	0.758	-2.543	0.093	0.057	0.550	0.000	0.006	0.402	293.000	62.432	
dic-91	75	49.69	0.33	1020.43	25.14	979.45	925.65	53.83	78.95	84.44	-81.43	3.10	2.95	0.15	0.330	0.574	-1.089	0.152	0.390	-1.839	0.032	0.034	0.363	0.004	0.017	0.690	75.000	49.690	
ene-92	15	66.44	0.16	936.25	4.40	892.21	854.18	38.03	42.43	45.38	-43.71	1.60	1.60	0.00	0.160	0.400	-1.792	0.045	0.212	-2.964	0.013	0.020	0.046	0.000	0.000	0.016	15.000	66.437	
feb-92	75	46.08	0.08	909.44	19.73	874.05	838.85	35.20	54.94	56.55	-54.48	2.07	2.00	0.07	0.080	0.283	-2.445	0.069	0.263	-2.577	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.037	75.000	46.082	
mar-92	35	49.57	0.03	865.25	8.59	828.46	799.71	28.75	37.34	39.35	-37.90	1.44	1.41	0.03	0.030	0.173	-3.305	0.034	0.184	-3.234	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.057	35.000	49.571	
abr-92	33	45.90	0.05	825.34	7.37	792.33	768.07	24.26	31.63	33.03	-31.82	1.21	1.19	0.02	0.050	0.224	-2.870	0.024	0.155	-3.484	0.001	0.005	0.077	0.035	0.026	0.277	33.000	45.900	
may-92	33	46.37	0.16	794.26	6.81	761.80	740.93	20.87	27.68	28.87	-27.81	1.06	1.04	0.02	0.160	0.400	-1.792	0.018	0.135	-3.686	0.020	0.070	3.590	0.012	0.002	0.016	33.000	46.366	
jun-92	25	49.49	0.055	781.16	4.77	727.80	710.11	17.49	22.28	23.30	-22.44	0.85	0.84	0.01	0.055	0.235	-2.785	0.072	0.110	-3.979	0.002	0.016	1.425	0.046	0.043	0.750	25.000	49.487	
jul-92	89	46.27	0.03	781.54	16.97	749.52	729.91	19.61	36.18	37.02	-35.66	1.36	1.33	0.03	0.030	0.173	-3.305	0.030	0.173	-3.305	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.057	0.73	89.000	46.253
ago-92	101	59.46	0.128	810.62	20.30	768.56	746.97	21.59	41.89	43.21	-41.63	1.58	1.54	0.04	0.128	0.358	-2.005	0.041	0.202	-3.047	0.008	0.024	1.087	0.020	0.007	0.007	101.000	59.463	
sep-92	85.5	51.30	0.03	814.82	17.65	778.31	755.65	22.86	40.31	41.85	-40.32	1.53	1.50	0.04	0.030	0.173	-3.305	0.038	0.196	-3.101	0.000	0.001	0.041	0.057	0.073	1.920	85.500	51.300	
oct-92	15	53.26	0.03	877.71	2.94	731.41	713.56	17.84	20.79	22.28	-21.47	0.92	0.91	0.01	0.030	0.173	-3.305	0.011	0.105	-4.035	0.000	0.005	0.533	0.057	0.073	1.920	15.000	53.257	
nov-92	193	44.23	0.05	885.62	40.94	832.66	803.35	29.31	70.25	71.05	-68.45	2.81	2.50	0.11	0.050	0.224	-2.870	0.108	0.329	-2.181	0.003	0.011	0.502	0.048	0.048	0.904	193.000	44.333	
dic-92	115.5	43.99	0.16	890.78	28.07	857.95	825.13	32.82	60.90	63.39	-61.07	2.32	2.24	0.09	0.160	0.400	-1.792	0.087	0.295	-2.370	0.005	0.011	0.335	0.012	0.002	0.016	115.500	43.287	
ene-93	66	36.56	0.03	899.73	21.40	861.08	828.57	33.41	54.80	57.04	-54.95	2.09	2.02	0.07	0.030	0.173	-3.305	0.001	0.266	-2.561	0.002	0.009	0.553	0.057	0.073	1.920	66.000	36.563	
feb-93	74	37.31	0.063	884.21	18.36	856.01	823.47	32.54	50.00	52.93	-50.96	1.84	1.88	0.06	0.063	0.251	-2.663	0.061	0.247	-2.655	0.000	0.000	0.001	0.042	0.037	0.554	74.000	37.315	
mar-93	203	36.30	0.03	870.81	55.55	841.91	895.35	46.56	102.11	104.00	-100.18	3.81	3.59	0.23	0.030	0.173	-3.305	0.028	0.477	-4.690	0.039	0.093	3.442	0.057	0.073	1.920	203.000	36.125	
abr-93	235	45.84	0.16	1054.87	75.18	1025.27	961.29	63.61	139.79	143.26	-138.11	5.26	4.83	0.43	0.160	0.400	-1.792	0.040	0.266	-2.843	0.013	0.053	0.713	0.057	0.073	1.920	235.000	45.811	
may-93	320	45.40	0.45	1158.83	122.83	1103.63	1031.63	87.08	209.91	214.75	-206.87	7.88	6.96	0.51	0.450	0.671	-0.784	0.914	0.956	-0.083	0.215	0.081	0.491	0.033	0.052	1.289	320.000	45.296	
jun-93	80	49.74	0.27	1081.42	30.21	1039.00	972.24	66.76	96.97	103.93	-100.12	3.81	3.58	0.23	0.270	0.520	-1.285	0.228	0.477	-4.151	0.002	0.007	0.028	0.000	0.006	0.402	80.000	49.737	
jul-93	103	50.43	0.03	1018.77	23.47	973.98	921.28	50.76	76.17	82.18	-76.83	2.92	2.79	0.07	0.030	0.173	-3.305	0.039	0.369	-3.967	0.005	0.017	0.511	0.057	0.073	1.920	103.000	50.430	
ago-93	17.5	62.70	0.128	833.69	89.92	884.08	848.04	38.88	43.97	44.76	-43.12	1.64	1.60	0.04	0.128	0.358	-2.005	0.044	0.208	-2.097	0.007	0.022	0.966	0.020	0.007	0.007	17.500	62.701	
sep-93	77	61.97	0.16	905.03	20.02	857.79	824.99	32.80	52.81	54.41	-52.42	2.00	1.93	0.06	0.160	0.400	-1.792	0.064	0.253	-2.646	0.009	0.021	0.730	0.012	0.002	0.016	77.000	61.973	
oct-93	166.5	77.45	0.104	847.13	44.36	896.58	849.44	37.14	81.50	83.44	-80.38	3.06	2.91	0.15	0.104	0.322	-2.201	0.148	0.385	-1.963	0.002	0.004	0.114	0.027	0.014	0.079	166.500	77.440	
nov-93	329	67.07	0.03	1074.21	104.27	1042.86	965.60	61.86	166.09	169.07	-162.80	6.26	5.69	0.47	0.030	0.173	-3.305	0.027	0.346	-3.762	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	329.000	67.065	
dic-93	110	63.97	0.27	1028.93	36.67	976.10	922.97	53.13	89.79	95.41	-91.91	3.50	3.31	0.19	0.270	0.520	-1.285	0.193	0.439	-1.612	0.008	0.006	0.107	0.000	0.006	0.402	110.000	63.975	
ene-94	50	51.19	0.204	958.02	14.96	917.42	875.21	42.21	57.17	60.47	-58.26	2.22	2.14	0.08	0.204	0.452	-1.557	0.079	0.281	-2.456	0.018	0.029	0.808	0.004	0.000	0.131	50.000	51.190	
feb-94	140	47.30	0.27	1074.61	40.59	936.66	891.06	45.60	86.20	88.34	-86.10	3.24	3.07	0.17	0.270	0.520	-1.285	0.186	0.407	-1.756	0.011	0.013	0.222	0.006	0.006	0.402	140.000	47.295	
mar-94	107	46.34	0.204	966.80	31.26	929.79	885.41	44.27	53.63	57.14	-55.82	2.22	2.15	0.13	0.204	0.452	-1.557	0.133	0.364	-1.972	0.005	0.008	0.172	0.004	0.000	0.131	107.000	46.339	
abr-94	121	43.40	0.39	971.10	35.31	936.32	890.78	45.54	80.86	83.61	-80.54	3.07	2.92	0.15	0.390	0.624	-0.925	0.149	0.388	-1.859	0.058	0.057	0.873	0.015	0.033	0.889	121.000	43.395	
may-94	181	45.83	0.039	1015.94	58.73	978.20	924.65	109.39	112.31	113.11	-109.19	4.28	3.85	0.34	0.039	0.173	-3.305	0.285	0.514	-3.395	0.014	0.012	0.144	0.057	0.073	1.920	181.000	45.831	

abr-98	55	0.164	671.30	10.61	639.65	629.05	10.61	18.42	19.09	-18.39	0.70	0.69	0.01	0.164	0.405	-1.768	0.008	0.090	-4.214	0.024	0.099	5.985	0.011	0.001	0.023	51.360	51.360		
may-98	129	50.92	0.289	737.61	20.44	703.88	688.49	15.39	35.82	36.52	-35.18	1.34	1.31	0.03	0.289	0.538	-1.218	0.029	0.171	-3.326	0.067	0.134	4.440	0.000	0.009	0.491	129.000	50.916	
jun-98	51.5	49.94	0.22	731.22	8.78	698.40	683.48	14.93	23.71	25.02	-24.10	0.92	0.90	0.01	0.220	0.469	-1.184	0.014	0.118	-3.886	0.043	0.124	5.770	0.000	0.001	0.189	51.500	49.937	
jul-98	62	55.43	0.11	734.92	10.55	698.36	683.44	14.92	25.48	26.38	-25.41	0.97	0.95	0.02	0.110	0.332	-2.148	0.015	0.124	-3.814	0.009	0.043	2.775	0.025	0.012	0.052	62.000	55.426	
ago-98	60	60.80	0.11	733.25	10.19	693.29	678.78	14.51	24.69	25.65	-24.71	0.84	0.93	0.01	0.110	0.332	-2.148	0.015	0.120	-3.853	0.009	0.045	2.905	0.025	0.012	0.052	60.000	60.799	
sep-98	117	59.78	0.05	774.83	20.95	733.90	715.82	18.08	39.03	39.96	-38.49	1.47	1.43	0.03	0.050	0.224	-2.870	0.035	0.187	-3.179	0.000	0.001	0.095	0.048	0.048	0.804	117.000	59.778	
oct-98	189	65.74	0.11	863.92	39.89	815.41	798.35	27.07	66.96	68.39	-65.88	2.51	2.41	0.10	0.330	0.110	0.332	-2.148	0.161	0.317	-2.232	0.000	0.000	0.007	0.025	0.012	0.052	189.000	65.745
nov-98	130	61.69	0.43	887.41	30.94	841.00	810.57	30.43	61.37	63.78	-61.44	2.34	2.25	0.09	0.430	0.656	-0.828	0.088	0.296	-2.369	0.117	0.129	2.344	0.026	0.045	1.189	130.000	61.687	
dic-98	105	66.56	0.2	889.96	25.70	839.77	809.50	30.27	55.97	58.22	-56.08	2.14	2.06	0.07	0.200	0.447	-1.676	0.073	0.271	-2.525	0.016	0.021	0.899	0.005	0.000	0.117	105.000	66.556	
ene-99	45	61.14	0.2	844.10	10.40	799.63	774.51	23.12	35.53	37.59	-36.21	1.38	1.35	0.03	0.200	0.447	-1.676	0.073	0.271	-2.525	0.016	0.021	0.899	0.005	0.000	0.117	45.000	61.145	
feb-99	180.5	69.93	0.164	911.43	43.58	873.07	838.01	35.06	76.83	79.98	-77.05	2.83	2.80	0.14	0.164	0.405	-1.768	0.137	0.370	-1.942	0.001	0.001	0.030	0.011	0.001	0.023	180.500	69.926	
mar-99	90	50.62	0.43	904.88	23.13	866.17	832.15	34.02	57.16	59.95	-57.75	2.20	2.12	0.08	0.430	0.656	-0.828	0.078	0.279	-2.472	0.124	0.142	2.700	0.026	0.045	1.189	90.000	50.624	
abr-99	105	46.50	0.43	910.17	26.98	874.44	839.18	35.26	62.25	64.37	-62.01	2.36	2.27	0.09	0.430	0.656	-0.828	0.088	0.299	-2.343	0.116	0.127	2.293	0.026	0.045	1.189	105.000	46.495	
may-99	105	48.63	0.11	916.77	27.41	879.25	843.25	36.00	63.40	65.68	-63.27	2.41	2.32	0.09	0.110	0.332	-2.148	0.103	0.305	-2.306	0.000	0.001	0.025	0.025	0.012	0.052	105.000	48.630	
jun-99	220	50.43	0.05	999.70	63.56	958.63	908.93	49.70	113.25	115.57	-111.33	4.24	3.96	0.28	0.050	0.224	-2.870	0.290	0.529	-1.250	0.053	0.093	2.622	0.048	0.048	0.904	220.000	50.427	
jul-99	55	57.83	0.01	947.80	15.03	902.42	862.73	39.69	55.72	59.68	-57.49	2.19	2.11	0.08	0.010	0.100	-4.092	0.077	0.278	-2.480	0.004	0.032	2.598	0.067	0.117	4.721	55.000	57.828	
ago-99	220	64.74	0.11	940.29	29.45	899.74	852.10	37.64	67.08	69.20	-66.66	2.54	2.43	0.10	0.110	0.332	-2.148	0.103	0.321	-2.210	0.000	0.004	0.024	0.025	0.012	0.052	220.000	64.736	
sep-99	175	68.51	0.3	977.40	49.71	922.63	879.52	43.11	92.82	95.25	-91.76	3.45	3.30	0.19	0.300	0.548	-1.182	0.192	0.438	-1.615	0.102	0.121	0.187	0.001	0.011	0.544	175.000	68.505	
oct-99	145	76.67	1.03	981.94	42.58	920.59	877.63	42.76	85.34	88.64	-85.39	3.29	3.08	0.17	1.030	1.015	0.036	0.587	0.409	-1.750	0.746	0.367	3.190	0.580	0.328	3.823	145.000	76.673	
nov-99	180	70.63	0.58	1000.48	47.36	933.58	888.63	45.05	92.41	95.49	-91.99	3.50	3.31	0.19	0.580	0.782	-0.533	0.160	0.439	-1.610	0.150	0.160	0.997	0.001	0.001	0.533	180.000	70.623	
dic-99	45	56.96	0.164	921.07	12.46	877.09	841.43	35.67	48.13	51.43	-49.55	1.89	1.83	0.06	0.164	0.405	-1.768	0.058	0.240	-2.746	0.011	0.027	0.956	0.011	0.001	0.023	45.000	56.957	
ene-00	15	51.30	0.022	852.79	3.84	815.10	788.08	27.03	30.49	32.49	-31.30	1.19	1.17	0.02	0.022	0.148	-3.651	0.023	0.152	-3.509	0.000	0.000	0.002	0.061	0.087	2.862	15.000	51.299	
feb-00	130	41.89	0.01	897.16	30.92	855.47	823.01	32.46	63.38	64.55	-62.19	2.37	2.26	0.09	0.010	0.100	-4.092	0.090	0.300	-2.337	0.006	0.040	3.076	0.067	0.117	4.721	130.000	41.897	
mar-00	85	42.45	0.08	886.98	21.03	850.55	818.79	31.76	52.79	55.07	-53.05	2.02	1.95	0.07	0.080	0.283	-2.445	0.066	0.256	-2.624	0.000	0.001	0.032	0.005	0.026	0.277	85.000	42.427	
abr-00	90	43.27	0.05	886.64	22.15	853.78	821.56	32.22	54.37	56.33	-54.26	2.07	2.00	0.07	0.050	0.224	-2.870	0.099	0.262	-2.584	0.000	0.001	0.082	0.048	0.048	0.904	90.000	43.474	
may-00	180	48.13	0.071	953.41	48.15	915.32	873.47	41.85	90.00	92.00	-89.52	3.37	3.19	0.18	0.070	0.100	-4.092	0.180	0.424	-1.680	0.029	0.105	5.816	0.067	0.117	4.721	180.000	48.132	
jun-00	75	49.02	0.01	927.88	20.58	889.77	852.12	37.64	58.23	61.42	-59.17	2.25	2.17	0.08	0.010	0.100	-4.092	0.082	0.286	-2.238	0.005	0.034	2.769	0.067	0.117	4.721	75.000	49.024	
jul-00	69	51.39	0.05	903.14	17.96	863.91	830.22	33.69	51.67	53.84	-51.87	1.97	1.91	0.06	0.050	0.224	-2.870	0.063	0.251	-2.665	0.000	0.001	0.042	0.048	0.048	0.904	69.000	51.387	
ago-00	45	55.55	0.01	910.37	12.58	871.63	845.30	32.46	45.11	48.05	-45.30	1.72	1.63	0.03	0.010	0.100	-4.092	0.063	0.220	-2.354	0.000	0.014	2.543	0.067	0.117	4.721	45.000	55.547	
sep-00	175	57.81	0.022	935.09	44.90	890.03	852.34	37.68	62.67	64.35	-61.26	2.09	2.04	0.15	0.020	0.148	-3.551	0.152	0.389	-1.843	0.017	0.058	2.917	0.067	0.117	4.721	175.000	57.810	
oct-00	115	68.28	0.2	936.19	31.15	883.08	846.49	36.59	67.74	70.68	-68.09	2.59	2.48	0.11	0.200	0.447	-1.676	0.107	0.328	-2.171	0.000	0.014	0.353	0.005	0.000	0.117	115.000	68.281	
nov-00	45	60.79	0.042	880.15	11.40	832.45	803.17	28.28	40.24	43.00	-41.50	1.58	1.54	0.04	0.040	0.300	-2.165	0.044	0.201	-3.050	0.000	0.001	0.031	0.019	0.019	0.511	45.000	60.793	
dic-00	65	61.43	0.01	845.83	12.94	800.80	775.54	25.26	37.91	39.45	-38.00	1.41	1.41	0.03	0.010	0.100	-4.092	0.034	0.180	-3.900	0.001	0.007	0.796	0.067	0.117	4.721	65.000	61.435	
ene-01	61	62.54	0.01	823.35	13.19	792.77	768.46	24.31	37.50	38.91	-37.48	1.43	1.39	0.03	0.010	0.100	-4.092	0.033	0.182	-3.222	0.001	0.007	0.756	0.067	0.117	4.721	61.000	62.532	
feb-01	18	42.80	0.01	782.80	3.66	753.11	733.14	19.97	23.63	25.03	-24.11	0.92	0.90	0.01	0.010	0.100	-4.092	0.044	0.118	-3.886	0.000	0.000	0.043	0.067	0.117	4.721	18.000	42.802	
mar-01	175	45.10	0.01	869.94	33.21	836.29	808.30	29.78	68.00	69.38	-66.38	2.79	2.72	0.10	0.010	0.100	-4.092	0.092	0.249	-2.117	0.000	0.001	0.067	0.067	0.117	4.721	175.000	45.102	
abr-01	10	48.20	0.01	814.28	2.22	779.96	757.12	22.84	25.06	27.49	-26.48	1.01	0.99	0.02	0.010	0.100	-4.092	0.017	0.129	-3.766	0.000	0.001	0.113	0.067	0.117	4.721	10.000	48.197	
may-01	200	38.51	0.029	969.95	47.27	880.20	844.06	36.14	83.41	84.40	-81.31	3.10	2.94	0.15	0.020	0.148	-3.551	0.152	0.389	-1.843	0.017	0.058	2.917	0.067	0.117	4.721	200.000	38.513	
jun-01	45	47.87	0.09	877.78	11.28	842.03	811.65	30.68	41.16	44.80	-43.16	1.64	1.60	0.04	0.090	0.150	-3.332	0.192	0.390	-1.842	0.015	0.048	2.223	0.057	0.174	1.997	45.000	47.873	
jul-01	65	54.12	0.0025	861.07	15.38	821.09	793.30	27.79	43.17	44.77	-43.12	1.64	1.60	0.04	0.003	0.050	-0.688	0.044	0.209	-2.987	0.002	0.025	2.892	0.071	0.574	7.665	65.000	54.122	
ago-01	21	64.87	0.0445	809.74	4.56	763.96	742.87	21.10	25.66	27.26	-26.26	1.00	0.98	0.02	0.045	0.211	-2.972	0.016	0.128	-3.788	0.001	0.007	0.634	0.050	0.054	1.198	21.000	64.874	
sep-01	152	62.23	0.029	861.86	33.29	815.79	788.67	27.11	60.32	61.78	-60.29	1.51	1.44	0.06	0.020	0.148	-3.551	0.081	0.265	-2.432	0.000	0.013	0.323	0.067	0.117	4.721	152.000	62.217	
oct-01	56	75.85																											

ago-05	165	58.28	0.33	1061.02	56.72	1011.96	951.31	60.65	117.37	121.05	-116.62	4.44	4.13	0.31	0.330	0.574	-1.089	0.306	0.553	-1.163	0.001	0.000	0.006	0.004	0.017	0.690	165.000	58.276
sep-05	175	62.31	0.441	1065.92	60.39	1013.37	952.41	60.96	121.34	125.48	-120.88	4.60	4.27	0.33	0.441	0.664	-0.804	0.328	0.573	-1.095	0.013	0.008	0.085	0.030	0.049	1.244	175.000	62.309
oct-05	360	65.73	1.029	1173.20	139.21	1114.86	1028.84	85.02	225.23	229.50	-221.06	8.42	7.38	1.04	1.029	1.014	0.035	1.038	1.018	0.041	0.000	0.000	0.000	0.379	0.327	3.819	360.000	65.725
nov-05	315	63.16	1.5	1209.32	134.51	1152.38	1055.66	96.72	231.23	238.61	-229.86	8.75	7.64	1.11	1.500	1.225	0.410	1.114	1.055	0.114	0.149	0.029	0.088	1.517	0.612	5.424	315.000	63.161
dic-05	69	60.83	0.529	1097.60	27.05	1045.43	977.16	68.27	95.33	102.96	-99.19	3.78	3.55	0.22	0.529	0.727	-0.624	0.224	0.473	-1.468	0.093	0.065	0.713	0.088	0.081	1.677	69.000	60.826
ene-06	45	116.76	0.342	1007.18	14.86	913.24	871.74	41.50	36.48	60.03	-57.83	2.20	2.12	0.08	0.342	0.585	-1.054	0.078	0.279	-2.469	0.070	0.063	2.005	0.005	0.020	0.749	45.000	116.781
feb-06	45	59.61	0.054	904.73	12.01	899.26	826.26	33.01	45.02	47.44	-45.41	1.73	1.66	0.05	0.054	0.232	-2.802	0.048	0.220	-2.898	0.000	0.000	0.000	0.046	0.044	0.778	45.000	59.612
mar-06	270.7	41.77	0.159	1018.37	78.59	983.90	929.19	54.71	133.30	134.98	-130.03	4.95	4.57	0.38	0.159	0.399	-1.798	0.377	0.614	-0.957	0.048	0.046	0.708	0.012	0.002	0.615	270.700	41.774
abr-06	410	39.27	0.708	1182.16	157.03	1146.98	1051.85	95.13	252.17	256.74	-247.32	9.42	8.14	1.28	0.708	0.842	-0.334	1.277	1.130	0.250	0.323	0.083	0.342	0.194	0.160	2.811	410.000	39.272
may-06	490	47.90	3.024	1302.96	228.89	1298.19	1128.88	131.21	360.10	368.24	-354.73	13.51	11.02	2.48	3.024	1.739	1.109	2.481	1.375	0.912	0.294	0.027	0.039	7.594	1.681	9.168	490.000	47.904
jun-06	440	50.66	2.43	1338.08	228.90	1290.24	1147.31	142.93	371.83	382.85	-368.81	14.04	11.38	2.66	2.430	1.559	0.891	2.663	1.632	0.982	0.054	0.005	0.008	4.673	1.246	7.895	440.000	50.660
jul-06	290	51.24	1.004	1286.38	140.93	1238.76	1114.37	124.40	265.33	276.71	-266.56	10.15	8.68	1.47	1.004	1.002	0.011	1.488	1.212	0.389	0.215	0.044	0.143	0.541	0.313	3.724	290.000	51.244
ago-06	270.2	64.39	0.389	1255.59	128.97	1196.52	1086.19	110.33	239.30	247.68	-238.89	9.10	7.60	1.20	0.389	0.624	-0.927	1.197	1.094	0.186	0.653	0.221	1.238	0.015	0.033	0.984	270.200	64.385
sep-06	90	58.21	0.159	1138.52	37.67	1087.56	1008.83	78.73	116.40	124.30	-119.74	4.56	4.24	0.32	0.159	0.399	-1.798	0.322	0.567	-1.113	0.027	0.028	0.469	0.012	0.002	0.615	90.000	58.214
oct-06	452	60.59	0.05	1260.71	200.12	1204.99	1091.92	113.07	313.19	317.43	-305.78	11.64	9.75	1.89	0.050	0.224	-2.870	1.892	1.375	0.641	3.392	1.327	12.327	0.049	0.048	0.904	452.000	60.588
nov-06	360	58.11	0.709	1279.19	172.72	1225.38	1105.55	119.83	292.55	302.30	-291.22	11.99	9.36	1.73	0.709	0.842	-0.334	1.729	1.315	0.552	1.041	0.224	0.785	0.194	0.160	2.511	360.000	58.114
dic-06	105	52.84	0.642	1164.77	45.78	1117.91	1031.05	86.86	132.64	142.00	-136.79	5.21	4.79	0.42	0.642	0.801	-0.433	0.416	0.645	-0.961	0.051	0.024	0.184	0.140	0.129	2.209	105.000	52.843
ene-07	30	57.10	0.029	1050.07	10.98	1002.26	943.71	58.55	69.53	74.32	-71.60	2.73	2.61	0.12	0.029	0.170	-3.332	0.118	0.344	-2.078	0.008	0.030	1.573	0.057	0.074	1.997	30.000	57.099
feb-07	50	43.86	0.029	978.10	15.61	942.79	896.07	46.72	62.34	64.94	-62.56	2.38	2.29	0.09	0.029	0.170	-3.332	0.091	0.302	-2.398	0.004	0.017	1.012	0.057	0.074	1.997	50.000	43.863
mar-07	195	44.32	0.029	1029.67	61.40	992.88	936.31	56.66	117.96	120.25	-115.84	4.41	4.11	0.30	0.029	0.170	-3.332	0.302	0.650	-1.173	0.075	0.144	4.653	0.057	0.074	1.997	195.000	44.324
abr-07	420	43.21	0.389	1192.67	163.64	1153.83	1056.68	97.15	260.79	264.90	-255.18	9.72	8.36	1.35	0.389	0.624	-0.927	1.354	1.164	0.308	0.931	0.291	1.525	0.015	0.033	0.984	420.000	43.208
may-07	335	43.61	0.159	1240.86	150.82	1200.92	1089.18	111.75	262.57	270.93	-261.00	9.94	8.52	1.41	0.159	0.399	-1.798	1.412	1.188	0.350	1.570	0.623	4.610	0.012	0.002	0.615	335.000	43.607
jun-07	412	46.12	0.159	1299.95	201.23	1256.87	1128.13	130.74	331.97	340.49	-329.01	12.40	10.34	2.15	0.159	0.399	-1.798	2.151	1.467	0.769	3.970	1.441	6.986	0.012	0.002	0.615	412.000	46.115
jul-07	90	42.58	0.159	1175.80	40.33	1137.78	1045.32	92.46	132.80	143.13	-137.89	5.25	4.83	0.42	0.159	0.399	-1.798	0.422	0.650	-0.846	0.069	0.063	0.905	0.012	0.002	0.615	90.000	42.580
ago-07	345	54.78	0.237	1236.95	153.37	1186.95	1079.66	107.28	260.66	265.49	-255.75	9.74	8.38	1.46	0.237	0.487	-1.412	1.360	1.166	0.312	1.260	0.461	2.972	0.001	0.002	0.257	345.000	54.782
sep-07	114	67.46	0.27	1145.88	47.78	1086.74	1038.22	78.51	126.29	134.67	-129.73	4.94	4.56	0.38	0.270	0.520	-1.265	0.376	0.613	-0.961	0.011	0.009	0.105	0.000	0.006	0.402	114.000	67.465
oct-07	281	75.37	0.159	1175.18	114.04	1108.34	1024.10	84.24	198.28	202.85	-195.41	7.44	6.62	0.82	0.159	0.399	-1.798	0.821	0.906	-0.189	0.438	0.257	2.586	0.012	0.002	0.615	281.000	75.375
nov-07	177	68.87	0.54	1131.39	69.71	1071.43	996.82	74.61	144.32	150.94	-145.41	5.54	5.07	0.47	0.540	0.735	-0.604	0.468	0.684	-0.746	0.005	0.003	0.020	0.074	0.085	1.730	177.000	68.870
dic-07	334	62.58	0.449	1193.95	136.96	1137.88	1045.39	92.49	229.35	234.42	-225.62	8.60	7.52	1.08	0.449	0.670	-0.786	1.078	1.038	0.081	0.395	0.135	0.751	0.033	0.052	1.284	334.000	62.581