



Facultad de Ingeniería  
y Ciencias Hídricas  
UNIVERSIDAD NACIONAL  
DEL LITORAL

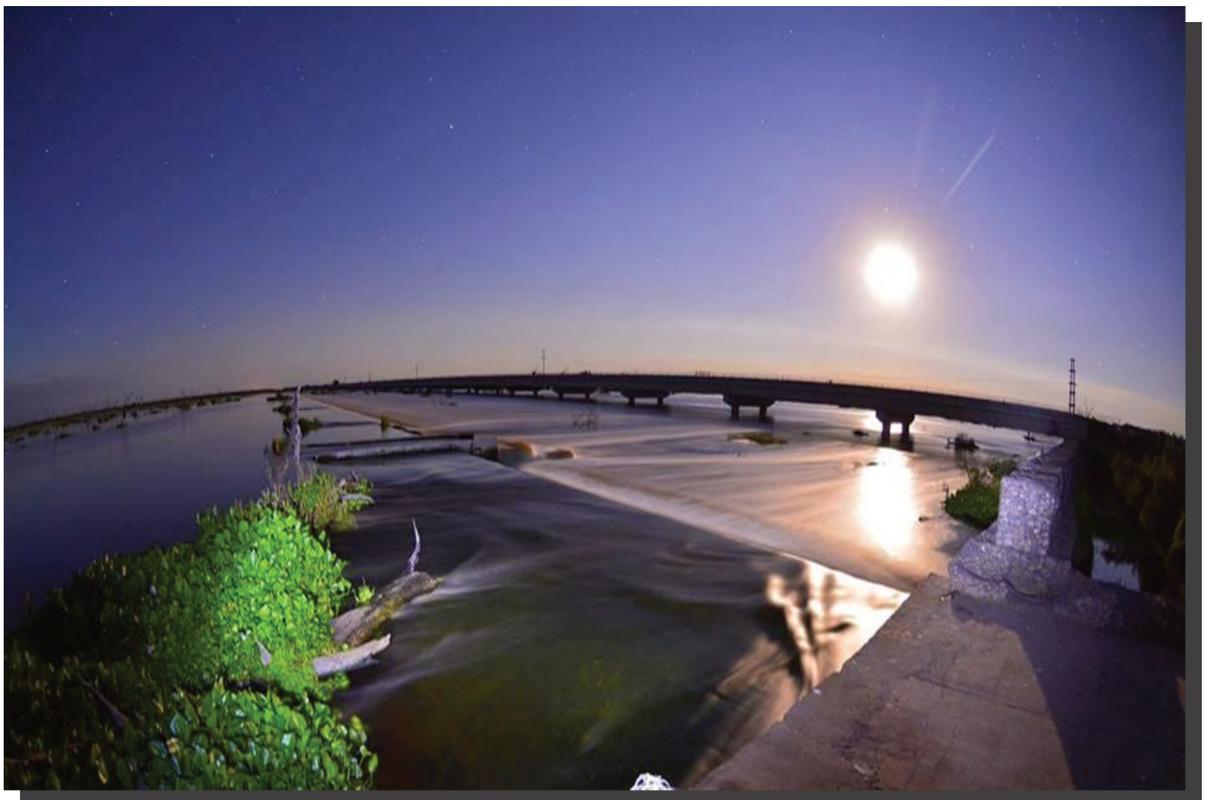
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

**“OPTIMIZACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE UN SISTEMA DE  
LLANURA POR APLICACIÓN DEL SISTEMA DE SOPORTE DE DECISIÓN  
MIKE BASIN. CASO DE ESTUDIO BAÑADO LA ESTRELLA (FORMOSA)”**

Ing. María Alejandra Cristanchi

Director: MSc. Miguel Ángel Valiente

Co-Directora: MSc. Rosana Hämmerly



Ramón Maldonado, bañado La Estrella 2015

Santa Fe, Diciembre 2015



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas**

Santa Fe, 17 de Agosto de 2016.

Como miembros del Jurado Evaluador de la Tesis de Maestría titulada *"Optimización de los recursos hídricos de un sistema de llanura por aplicación del Sistema de Soporte de Decisión MIKE BASIN. Caso de estudio Bañado La Estrella (Formosa)"*, desarrollada por la Ing. María Alejandra CRISTANCHI, certificamos que hemos evaluado la Tesis y recomendamos que sea aceptada como parte de los requisitos para la obtención del título de Magíster en Ingeniería de los Recursos Hídricos. La aprobación final de esta disertación está condicionada a la presentación de dos copias encuadernadas de la versión final de la Tesis ante el Comité Académico de la Maestría en Ingeniería de los Recursos Hídricos.

Mag. Alejandro Ruberto

Ing. Marcelo Borsellino

Mag. Viviana Zucarelli

Santa Fe, 17 de Agosto de 2016.

Certifico haber leído esta Tesis preparada bajo mi dirección y recomiendo que sea aceptada como parte de los requisitos para la obtención del título de Magíster en Ingeniería de los Recursos Hídricos.

Mag. Rosana Hammerly  
Codirectora de Tesis

MSc. Miguel Ángel Valiente  
Director de Tesis

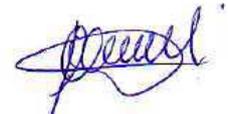
Universidad Nacional del Litoral  
Facultad de Ingeniería y  
Ciencias Hídricas  
Secretaría de Posgrado

Ciudad Universitaria  
C.C. 217  
Ruta Nacional N° 168 - Km. 472,4  
(3000) Santa Fe  
Tel: (54) (0342) 4575 220  
Fax: (54) (0342) 4575 224  
E-mail: posgrado@fich.unl.edu.ar

## **DECLARACIÓN LEGAL DE LA AUTORA**

Esta Tesis ha sido remitida al Comité Académico de Maestría de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, como parte de los requisitos para la obtención del grado académico de Magister en Ingeniería de los Recursos Hídricos ante la Universidad Nacional del Litoral.

Citaciones breves de esta Tesis son permitidas sin la necesidad de un permiso especial, en la suposición de que la fuente sea correctamente citada. Solicitudes de permiso para una citación extendida o para la reproducción parcial o total de este manuscrito serán exigidas por el portador legal del derecho de propiedad intelectual de la obra.



# DEDICATORIA

.....A mi familia por el apoyo, la confianza y la presencia diaria....

... y a mi hermano Mariano, mi ángel guardián del cielo....

## AGRADECIMIENTOS

A Miguel y Rosana por aceptar este desafío, por la presencia, la paciencia y el intercambio de experiencias y conocimientos.

A quienes han aportado sus conocimientos desde lo técnico hasta los datos para que este trabajo pueda llevarse a cabo.

A los observadores, a los encargados de las plantas de agua potable y a los que diariamente realizan la tarea de medir (niveles, lluvias) y brindar la información valiosa para poder trabajar.

Al personal del Servicio Provincial de Agua Potable (SPAP), Ing. Daniel Soldani, Patricia Vera.

Al personal de la Unidad Provincial Coordinadora del Agua, especialmente Ing. Nancy Leonardini y Noelia Sosa, y a mis ex compañeros de trabajo de dicho organismo.

A los Ings. Eduardo Branchi, Ricardo Jara Zaquelli, Hernán Ramis, José Rafaniello, Gerard Schneider por la información brindada.

A los Ings. Martín Marazzi, Jorge Molina Carpio, Beatriz Gutiérrez y Vartush por la ayuda con el modelo MIKE BASIN.

A mis compañeros de Maestría con quienes compartí experiencias y gratos momentos, María Inés, Natalia, María Lina, Sergio, Juan Pablo S., Juan Pablo A., John Jairo.

A mis compañeros de la Comisión Trinacional Río Pilcomayo.

A mis amigos, pilares fundamentales de la vida.

**Agradecimiento muy especial al Ing. Darío Aguilar, parte importante para el desarrollo del trabajo de Tesis por el apoyo, la predisposición e información brindada, a Jorge Ferreira por la información topográfica y por estar siempre ante cualquier duda, al Ing. Rodolfo Cruz Flores por el apoyo con el modelo MIKE BASIN y al Ing. Rafael Silva quien fue un impulsor para que llevara a cabo la Maestría.**

# ÍNDICE GENERAL

<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>i</b>
<b>Índice de Tablas</b> .....	<b>xii</b>
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Consideraciones Generales .....	1
1.2. Contenido de la Tesis .....	2
1.3. Objetivos .....	3
1.4. Descripción del Problema .....	4
<b>CAPÍTULO 2: CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO</b> .....	<b>8</b>
2.1. Ubicación y características generales de la provincia de Formosa .....	8
2.2. Población, estrategia productiva, infraestructura .....	10
2.3. Características climáticas .....	12
2.4. Pluviometría .....	15
2.5. Evapotranspiración.....	15
2.6. Hidrografía .....	18
2.7. Suelos .....	21
2.8. Zona de estudio: descripción del sistema .....	23
<b>CAPÍTULO 3: ESTADO DEL ARTE</b> .....	<b>27</b>
<b>CAPÍTULO 4: PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN Y DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA</b> .....	<b>37</b>
4.1. Información social y ambiental .....	38
4.2. Información planialtimétrica e imágenes satelitales .....	38
4.3. Información de obras existentes .....	38
4.4. Información meteorológica e hidrométrica .....	66
<b>CAPÍTULO 5: METODOLOGÍA APLICADA</b> .....	<b>69</b>
5.1. Escenarios implementados .....	69
5.2. Descripción general del modelo .....	70
5.3. Componentes del modelo .....	73
5.3.1. Cuencas (Catchments) .....	73
5.3.2. Red de drenaje fluvial (River network) .....	73

5.3.3. Nodos de ríos (River nodes) .....	75
5.3.4. Nodos de usuarios (Water user nodes) .....	76
5.3.5. Embalses-Reservorios (Reservoir) .....	77
5.4. Simulación-Resultados .....	79
5.5. Coeficientes de evaluación de la performance del modelo .....	80
<b>CAPÍTULO 6: APLICACIÓN DEL MODELO MIKE BASIN.....</b>	<b>82</b>
6.1. Esquema de funcionamiento bañado La Estrella.....	82
6.2. Esquema topológico .....	84
6.3. Presentación y análisis de los resultados .....	86
6.3.1. Escenario actual.....	86
6.3.2. Escenario optimizado a corto plazo.....	187
6.3.3. Escenario optimizado a largo plazo.....	202
<b>CAPÍTULO 7: RESULTADOS DEL MODELO.....</b>	<b>249</b>
<b>CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES.....</b>	<b>266</b>
<b>CAPÍTULO 9: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>270</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>278</b>
Anexo I: PUBLICACIONES ANTECEDENTES DE LA TESISTA.....	279
Anexo II: TABLAS .....	281
Anexo III: FIGURAS .....	291

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1. Ubicación de provincia de Formosa- División Política .....	9
Figura N° 2.2. Mapa ubicación de Formosa dentro del Gran Chaco en Sudamérica (Fuente: Formosa 2015-Gobierno de la provincia de Formosa-Atlas del Gran Chaco Americano).....	9
Figura N° 2.3. Mapa distribución de la población en la provincia de Formosa .....	11
Figura N° 2.4. Mapa regiones climáticas (Fuente: Lagranja, 2004).....	13
Figura N° 2.5. Mapa de Isohietas medias anuales y Evapotranspiración Potencial (Fuente: Unidad Provincial Coordinadora del Agua).....	17
Figura N° 2.6. Mapa de distribuciones de la deficiencia de agua (Fuente: Bobadilla de Gane y Silva, 2004) .....	17
Figura N° 2.7. Mapa Hidrográfico (Fuente Federico González Brizzio/Blue Martie NASA,2009) .....	19
Figura N° 2.8. Mapa red hidrográfica de la provincia de Formosa (Fuente Unidad Provincial Coordinadora del Agua).....	20
Figura N° 2.9. Mapa regiones fisiográficas (Fuente: Atlas de Suelo de la Rep. Argentina- INTA-SAGPyA. Proyecto Arg 85/019-1990).....	23
Figura N° 2.10. Ubicación bañado La Estrella en el territorio provincial- detalle Complejo Hidrovial RP N° 28 (Fuente: Unidad Provincial Coordinadora del Agua).....	26
Figura N° 3.1. Esquema conceptual de un Sistema Soporte de Decisión (SSD) para la gestión de recursos hídricos (Fuente: Bereciartua, 2003).....	28
Figura N° 4.1. Programa provincial de manejo de los recursos hídricos-sistema río Pilcomayo-bañado La Estrella (Fuente Unidad Provincial Coordinadora del Agua) .....	39
Figura N° 4.2. Obras Complejo Hidrovial RP N° 28 (Fuente: Unidad Provincial Coordinadora del Agua).....	40
Figura N° 4.3. Esquema de funcionamiento bañado La Estrella (elaboración propia).....	41
Figura N° 4.4. Complejo Hidrovial RP N° 28- zona de Embalse- vertedero y puente RP N° 28 .....	46
Figura N° 4.5. Riacho Salado (vista hacia aguas arriba) .....	46
Figura N° 4.6. Compuertas riacho Salado .....	47
Figura N° 4.7. Canal Embalse RP N° 28-obra partidora (vista hacia aguas arriba) (Fuente: Schneider-Ferreira) .....	47
Figura N° 4.8. Obra partidora (canal Monte Lindo, del Este y Las Lomitas) .....	48
Figura N° 4.9. Obra partidora (canal Monte Lindo, del Este-vista hacia aguas abajo) .....	48

Figura N° 4.10. Compuertas canal Las Lomitas.....	49
Figura N° 4.11. Canal Las Lomitas (vista hacia aguas abajo).....	49
Figura N° 4.12. Mapa ubicación localidad de Las Lomitas (Fuente: Google Earth,2013) ..	51
Figura N° 4.13. Planta de agua potable Las Lomitas (tanque de distribución) .....	52
Figura N° 4.14. Embalse y planta de agua potable Las Lomitas .....	52
Figura N° 4.15. Embalse Las Lomitas.....	53
Figura N° 4.16. Madrejón Las Lomitas (vista desde RN N° 81 hacia aguas arriba) .....	53
Figura N° 4.17. Mapa ubicación localidad Pozo del Tigre (Fuente: Google Earth) .....	55
Figura N° 4.18. Vista panorámica planta de agua potable y embalse Pozo del Tigre .....	55
Figura N° 4.19. Planta de agua potable Pozo del Tigre (tanque de distribución).....	56
Figura N° 4.20. Vista panorámica embalse Pozo del Tigre.....	56
Figura N° 4.21. Caños (conducen el agua desde el riacho Monte Lindo al embalse Pozo del Tigre).....	56
Figura N° 4.22. Mapa ubicación localidad de Estanislao del Campo (Fuente: Google Earth).....	58
Figura N° 4.23. Planta de agua potable Estanislao del Campo.....	58
Figuras N° 4.24. Canal de entrada al embalse Estanislao del Campo .....	59
Figura N° 4.25. Vista panorámica embalse Estanislao del Campo .....	59
Figura N° 4.26. Mapa ubicación localidad Ibarreta (Fuente: Google Earth).....	61
Figura N° 4.27. Canal Monte Lindo - embalse Ibarreta (vista hacia aguas abajo) .....	61
Figura N° 4.28. Canal Monte Lindo - embalse Ibarreta (vista hacia aguas arriba) .....	62
Figura N° 4.29. Casilla bombeo embalse Ibarreta .....	62
Figura N° 4.30. Mapa ubicación localidad Comandante Fontana (Fuente: Google Earth).....	64
Figura N° 4.31. Alcantarilla y canal (RN N° 95) que alimenta embalse Comandante Fontana.....	64
Figura N° 4.32. Alcantarilla entrada de agua al embalse Comandante Fontana.....	65
Figuras N° 4.33. Embalse Comandante Fontana .....	65
Figura N° 4.34. Estación de bombeo embalse Comandante Fontana .....	66
Figura N° 4.35. Muestra una de las perforaciones realizadas en Comandante Fontana.....	66
Figura N° 4.36. Estaciones hidrométricas (Fuente: Google Earth) .....	68
Figura N° 4.37. Estaciones pluviométricas.....	68
Figura N° 5.1. Representación simplificada del trabajo de un modelo matemático de gestión (Fuente: Molina Carpio, Cruz Flores, 2008).....	70
Figura N° 5.2. Interfaz entorno ArcGIS y barra de herramientas MIKE BASIN (Fuente: DHI Software, MIKE BASIN User´s Guide, 2012) .....	72

Figura N° 5.3. Zonas de operación del embalse (Fuente: DHI Software, MIKE BASIN User´s Guide, 2012) .....	78
Figura N° 6.1. Esquema topológico escenario actual .....	85
Figura N° 6.2. Mapa ubicación Misión La Paz-Embocadura (Fuente: Google Earth - <a href="http://www.pilcomayo.net">www.pilcomayo.net</a> ) .....	87
Figura N° 6.3. Caudales diarios observados (m <sup>3</sup> /s) (estación Misión La Paz) .....	88
Figura N° 6.4. Distribución acumulada de caudales diarios observados estación Misión La Paz (2005/2006-2010/2011) .....	89
Figura N° 6.5. Curva duración de caudales diarios observados estación Misión La Paz (2005/2006-2010/2011) .....	90
Figura N° 6.6. Imagen satelital 22 -03- 2007- se observan los desbordes entre Misión La Paz y Embocadura (Fuente: <a href="http://landsatlook.usgs.gov/viewer.html">http://landsatlook.usgs.gov/viewer.html</a> ).....	92
Figura N° 6.7. Imagen satelital 14 -02- 2008- se observan los desbordes entre Misión La Paz y Embocadura (Fuente: <a href="http://landsatlook.usgs.gov/viewer.html">http://landsatlook.usgs.gov/viewer.html</a> ).....	93
Figura N° 6.8. Caudales diarios observados Misión La Paz – caudales diarios tramo Misión La Paz - Embocadura (2005/2006-2010/2011) .....	94
Figura N° 6.9. Caudales diarios observados Misión La Paz – caudales diarios tramo Misión La Paz-Embocadura (2006/2007) .....	95
Figura N° 6.10. Distribución de caudales diarios (Embocadura-Argentina-Paraguay) (2005/2006-2010/2011).....	97
Figura N° 6.11. Distribución de caudales diarios (Embocadura-Argentina-Paraguay) (2006/2007) .....	98
Figura N° 6.12. Distribución acumulada caudales diarios ingreso Argentina (2005/2006-2010/2011).....	98
Figura N° 6.13. Curva de duración de caudales diarios ingreso Argentina (2005/2006-2010/2011).....	99
Figura N° 6.14. Subcuencas bañado La Estrella.....	102
Figura N° 6.15. Ubicación estaciones pluviométricas .....	103
Figura N° 6.16. Topología modelo HEC-HMS .....	105
Figura N° 6.17. Fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración (Xing Fang et al., 2008) .....	107
Figura N° 6.18. Hidrograma Embalse RP N° 28-tabla resumen (2005/2006) .....	109
Figura N° 6.19. Caudales diarios que ingresan a Argentina + caudales diarios de lluvia (20%) – caudales diarios tramo Embocadura-Embalse RP N° 28 (2005/2006-2010/2011).....	110

Figura N° 6.20. Caudales diarios que ingresan a Argentina + caudales diarios de lluvia (20%) – caudales diarios tramo Embocadura- Embalse RP N° 28 (2006/2007 - 2007/2008).....	111
Figura N° 6.21. Caudales diarios tramo Embocadura-Embalse RP N° 28 – caudales diarios pérdida por evaporación (tramo Embocadura-Embalse RP N° 28) (2005/2006-2010/2011).....	112
Figura N° 6.22. Curvas de nivel Embalse RP N° 28.....	113
Figura N° 6.23. Curva de nivel-área-volumen y niveles característicos Embalse RP N° 28.....	115
Figura N° 6.24. Vertedero y Embalse RP N° 28, vista área.....	118
Figura N° 6.25. Imágenes satelitales (Landsat 7 ETM y Landsat 4-5 TM - Fuente: <a href="http://landsatlook.usgs.gov/viewer.html">http://landsatlook.usgs.gov/viewer.html</a> ) .....	119
Figura N° 6.26. Curva H-Q vertedero RP N° 28 .....	122
Figura N° 6.27. Caudales diarios observados (con niveles medidos sobre vertedero)- caudales diarios observados (propagado + caudal lluvia-80%) - caudales diarios simulados sobre vertedero (escenario actual).....	124
Figura N° 6.28. Caudales diarios observados - caudales diarios pérdidas por evapotranspiración e infiltración (escenario actual).....	125
Figura N° 6.29. Almacenamiento relativo - volumen almacenado, diario, Embalse RP N° 28 (escenario actual).....	126
Figura N° 6.30. Monitoreo de crecida bañado La Estrella (Fuente: Valiente et al., 2009).....	127
Figura N° 6.31. Caudales y niveles diarios que pasan sobre vertedero (escenario actual).....	128
Figura N° 6.32. Imágenes satelitales (14-01-2011 y 04-04-2011) (Landsat 4-5 TM- Fuente <a href="http://landsatlook.usgs.gov/viewer.html">http://landsatlook.usgs.gov/viewer.html</a> ).....	129
Figura N° 6.33. Distribución acumulada volumen almacenado, diario, Embalse RP N° 28 (escenario actual).....	129
Figura N° 6.34. Curva duración volumen almacenado, diario, Embalse RP N° 28 (escenario actual).....	130
Figura N° 6.35. Caudales diarios progresiva 35,500 km (inicio canal Embalse RP N° 28 - obra partidora) - caudales diarios obra partidora (escenario actual).....	133
Figura N° 6.36. Distribución de caudales diarios: obra partidora - canal Monte Lindo+ canal del Este - canal Las Lomitas (escenario actual).....	134
Figura N° 6.37. Distribución de caudales diarios: obra partidora - canal Monte Lindo- canal del Este (escenario actual) .....	134
Figura N° 6.38. Perfiles transversales canal Las Lomitas (Fuente: Jorge Ferreira) .....	136

Figura N° 6.39. Perfil longitudinal canal a Las Lomitas (Fuente Jorge Ferreira) .....	137
Figura N° 6.40. Caudales diarios obra partidora - canal Las Lomitas – caudales diarios Las Lomitas (embalse) (escenario actual) .....	139
Figura N° 6.41. Curva nivel – área - volumen embalse Las Lomitas (escenario actual)...	140
Figura N° 6.42. Almacenamiento relativo - volumen almacenado, mensual, embalse Las Lomitas (escenario actual).....	141
Figura N° 6.43. Distribución acumulada volumen almacenado, mensual, embalse Las Lomitas (escenario actual).....	142
Figura N° 6.44. Curva duración volumen almacenado, mensual, embalse Las Lomitas (escenario actual).....	142
Figura N° 6.45. Variación de niveles mensuales embalse Las Lomitas (escenario actual).....	143
Figura N° 6.46. Caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos en la población de Las Lomitas (escenario actual).....	143
Figura N° 6.47. Demanda mensual de la población (usuario)-Déficit mensual de la demanda, Las Lomitas (escenario actual) .....	144
Figura N° 6.48. Demanda mensual de la población (usuario) - déficit mensual de la demanda (2006/2007 - 2007/2008), Las Lomitas .....	145
Figura N° 6.49. Curva duración déficit relativo, mensual, Las Lomitas (escenario actual).....	145
Figura N° 6.50. Canal Monte Lindo-alcantarilla (Fuente: Schneider – Ferreira).....	147
Figura N° 6.51. Caudales diarios ingreso canal Monte Lindo-caudales diarios toma de Pozo del Tigre (escenario actual) .....	148
Figura N° 6.52. Curva nivel – área - volumen embalse Pozo del Tigre (escenario actual).....	151
Figura N° 6.53. Distribución de caudales diarios toma Pozo del Tigre (escenario actual).....	151
Figura N° 6.54. Almacenamiento relativo-volumen almacenado, mensual, embalse Pozo del Tigre (escenario actual) .....	152
Figura N° 6.55. Distribución acumulada volumen almacenado, mensual, embalse Pozo del Tigre (escenario actual) .....	153
Figura N° 6.56. Curva duración volumen almacenado, mensual, embalse Pozo del Tigre (escenario actual).....	153
Figura N° 6.57. Variación de niveles mensuales embalse Pozo del Tigre (escenario actual).....	154
Figura N° 6.58. Caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos en la población de Pozo del Tigre (escenario actual) .....	155

Figura N° 6.59. Demanda mensual de la población (usuario)-déficit mensual de la demanda, Pozo del Tigre (escenario actual).....	156
Figura N° 6.60. Demanda mensual de la población (usuario) - déficit mensual de la demanda (2006/2007 - 2007/2008), Pozo del Tigre.....	156
Figura N° 6.61. Curva duración déficit relativo, mensual, Pozo del Tigre (escenario actual).....	157
Figura N° 6.62. Curva nivel – área - volumen embalse Estanislao del Campo (escenario actual).....	159
Figura N° 6.63. Distribución de caudales diarios toma Estanislao del Campo (escenario actual).....	160
Figura N° 6.64. Almacenamiento relativo - volumen almacenado, mensual, embalse Estanislao del Campo (escenario actual).....	161
Figura N° 6.65. Distribución acumulada volumen almacenado, mensual, embalse Estanislao del Campo (escenario actual).....	162
Figura N° 6.66. Curva duración volumen almacenado, mensual, embalse Estanislao del Campo (escenario actual).....	162
Figura N° 6.67. Variación de niveles mensuales embalse Estanislao del Campo (escenario actual).....	163
Figura N° 6.68. Caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos en la población de Estanislao del Campo (escenario actual).....	164
Figura N° 6.69. Demanda mensual de la población (usuario) - déficit mensual de la demanda, Estanislao del Campo (escenario actual) .....	165
Figura N° 6.70. Demanda mensual de la población (usuario) - déficit mensual de la demanda (2006/2007 - 2007/2008), Estanislao del Campo.....	165
Figura N° 6.71. Curva duración déficit relativo, mensual, Estanislao del Campo (escenario actual).....	166
Figura N° 6.72. Curva nivel – área - volumen embalse Ibarreta (escenario actual) .....	168
Figura N° 6.73. Distribución de caudales diarios: bifurcación - riacho Monte Lindo - canal embalse Ibarreta (escenario actual).....	169
Figura N° 6.74. Distribución de caudales diarios: bifurcación riacho Monte Lindo - canal embalse Ibarreta (escenario actual).....	170
Figura N° 6.75. Almacenamiento relativo-volumen almacenado, mensual, embalse Ibarreta (escenario actual) .....	172
Figura N° 6.76. Distribución acumulada volumen almacenado, mensual, embalse Ibarreta (escenario actual).....	173
Figura N° 6.77. Curva duración volumen almacenado, mensual, embalse Ibarreta (escenario actual).....	173

Figura N° 6.78. Variación de niveles mensuales embalse Ibarreta (escenario actual) .....	174
Figura N° 6.79. Caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos en la población de Ibarreta (escenario actual) .....	174
Figura N° 6.80. Demanda mensual de la población (usuario) - déficit mensual de la demanda, Ibarreta (escenario actual).....	175
Figura N° 6.81. Demanda mensual de la población (usuario) - déficit mensual de la demanda (2006/2007 - 2007/2008), Ibarreta.....	176
Figura N° 6.82. Curva duración déficit relativo, mensual, Ibarreta (escenario actual) .....	176
Figura N° 6.83. Curva nivel – área - volumen embalse Comandante Fontana (escenario actual).....	179
Figura N° 6.84. Caudales diarios Ibarreta- Comandante Fontana - caudales diarios embalse Comandante Fontana (escenario actual).....	179
Figura N° 6.85. Almacenamiento relativo - volumen almacenado, mensual, embalse Comandante Fontana (escenario actual).....	181
Figura N° 6.86. Distribución acumulada volumen almacenado, mensual, embalse Comandante Fontana (escenario actual).....	182
Figura N° 6.87. Curva duración volumen almacenado, mensual, embalse Comandante Fontana (escenario actual).....	182
Figura N° 6.88. Variación de niveles mensuales embalse Comandante Fontana (escenario actual).....	183
Figura N° 6.89. Caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos en la población de Comandante Fontana (escenario actual).....	184
Figura N° 6.90. Demanda, mensual, de la población (usuario) - déficit mensual de la demanda, Comandante Fontana (escenario actual) .....	185
Figura N° 6.91. Demanda, mensual, de la población (usuario) - déficit mensual de la demanda (2006/2007-2007/2008), Comandante Fontana .....	185
Figura N° 6.92. Curva duración déficit relativo, mensual, Comandante Fontana (escenario actual).....	186
Figura N° 6.93. Esquema topológico escenario optimizado a corto y largo plazo .....	189
Figura N° 6.94. Déficit, mensual, de la demanda Las Lomitas (escenario actual - escenario optimizado a corto plazo).....	190
Figura N° 6.95. Déficit, mensual, de la demanda Pozo del Tigre (escenario actual – escenario optimizado a corto plazo) .....	191
Figura N° 6.96. Almacenamiento relativo, mensual, embalse Pozo del Tigre (escenario actual – escenario optimizado a corto plazo) .....	192
Figura N° 6.97. Caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos población de Pozo del Tigre (escenario actual – escenario optimizado a corto plazo).....	192

Figura N° 6.98. Curva nivel – área - volumen embalse Estanislao del Campo (escenario actual – escenario optimizado a corto plazo) .....	194
Figura N° 6.99. Déficit, mensual, de la demanda Estanislao del Campo (escenario actual – escenario optimizado a corto plazo) .....	194
Figura N° 6.100. Curva nivel – área - volumen embalse Ibarreta (escenario actual – escenario optimizado a corto plazo) .....	196
Figura N° 6.101. Déficit, mensual, de la demanda Ibarreta (escenario actual – escenario optimizado a corto plazo) .....	196
Figura N° 6.102. Almacenamiento relativo, mensual, embalse Ibarreta (escenario actual – escenario optimizado a corto plazo) .....	197
Figura N° 6.103. Curva nivel – área – volumen embalse Comandante Fontana (escenario actual – escenario optimizado a corto plazo) .....	198
Figura N° 6.104. Déficit, mensual, de la demanda Comandante Fontana (escenario actual – escenario optimizado a corto plazo) .....	199
Figura N° 6.105. Almacenamiento relativo mensual embalse Comandante Fontana (escenario actual – escenario optimizado a corto plazo) .....	200
Figura N° 6.106. Caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos población de Comandante Fontana (escenario actual – escenario optimizado a corto plazo) .....	200
Figura N° 6.107. Caudales diarios observados (sobre vertedero) - caudales diarios observados (propagado + caudal lluvia) - caudales diarios simulados (escenario optimizado a largo plazo).....	204
Figura N° 6.108. Volumen almacenado, diario, Embalse RP N° 28 (escenario actual-escenario optimizado a largo plazo).....	205
Figura N° 6.109. Almacenamiento relativo, diario, Embalse RP N° 28 (escenario actual - escenario optimizado a largo plazo).....	206
Figura N° 6.110. Caudales diarios progresiva 35,500 km (inicio canal Embalse RP N° 28- obra partidora) - caudales diarios obra partidora (escenario optimizado a largo plazo) ....	208
Figura N° 6.111. Distribución de caudales diarios: obra partidora - canal Monte Lindo + canal del Este - canal Las Lomitas (escenario optimizado a largo plazo) .....	209
Figura N° 6.112. Caudales diarios obra partidora - canal a Las Lomitas (escenario actual - escenario optimizado a largo plazo).....	211
Figura N° 6.113. Caudales diarios obra partidora - canal Las Lomitas – caudales diarios Las Lomitas (embalse) (escenario optimizado a largo plazo) .....	212
Figura N° 6.114. Curva nivel – área - volumen embalse Las Lomitas (escenario actual - escenario optimizado a largo plazo).....	213
Figura N° 6.115. Volumen almacenado, mensual, embalse Las Lomitas (escenario actual-escenario optimizado a corto y largo plazo) .....	214

Figura N° 6.116. Almacenamiento relativo, mensual, embalse Las Lomitas (escenario actual-escenario optimizado a corto y largo plazo) .....	214
Figura N° 6.117. Caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos en la población de Las Lomitas (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo).....	215
Figura N° 6.118. Déficit, mensual, de la demanda Las Lomitas (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo) .....	216
Figura N° 6.119. Caudales diarios obra partidora - canal Monte Lindo (escenario actual - escenario optimizado largo plazo) .....	217
Figura N° 6.120. Caudales diarios ingreso canal Monte Lindo - caudales diarios toma Pozo del Tigre (escenario optimizado a largo plazo) .....	219
Figura N° 6.121. Distribución de caudales diarios toma Pozo del Tigre (escenario optimizado a largo plazo).....	220
Figura N° 6.122. Curva nivel – área - volumen embalse Pozo del Tigre (escenario optimizado a largo plazo).....	221
Figura N° 6.123. Volumen almacenado, mensual, embalse Pozo del Tigre (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo). .....	222
Figura N° 6.124. Almacenamiento relativo, mensual, embalse Pozo del Tigre (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo) .....	222
Figura N° 6.125. Caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos en la población de Pozo del Tigre (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo).....	223
Figura N° 6.126. Déficit, mensual, de la demanda, Pozo del Tigre (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo) .....	224
Figura N° 6.127. Curva nivel - área - volumen embalse Estanislao del Campo (escenario actual - escenario optimizado a largo plazo).....	225
Figura N° 6.128. Distribución de caudales diarios toma Estanislao del Campo (escenario optimizado a largo plazo).....	226
Figura N° 6.129. Volumen almacenado, mensual, embalse Estanislao del Campo (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo) .....	228
Figura N° 6.130. Almacenamiento relativo, mensual, embalse Estanislao del Campo (escenario actual -escenario optimizado a corto y largo plazo) .....	228
Figura N° 6.131. Caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos en la población de Estanislao del Campo (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo).....	229
Figura N° 6.132. Déficit, mensual, de la demanda, Estanislao del Campo (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo) .....	230
Figura N° 6.133. Curva nivel – área - volumen embalse Ibarreta (escenario optimizado a largo plazo).....	231

Figura N° 6.134. Distribución de caudales diarios: bifurcación riacho Monte Lindo - canal embalse Ibarreta (escenario optimizado a largo plazo).....	232
Figura N° 6.135. Distribución de caudales diarios: bifurcación riacho Monte Lindo- canal embalse Ibarreta (escenario optimizado a largo plazo).....	233
Figura N° 6.136. Volumen almacenado, mensual, embalse Ibarreta (escenario actual-escenario optimizado a corto y largo plazo) .....	235
Figura N° 6.137. Almacenamiento relativo, mensual, embalse Ibarreta (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo) .....	235
Figura N° 6.138. Caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos en la población de Ibarreta (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo) .....	236
Figura N° 6.139. Déficit, mensual, de la demanda, Ibarreta (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo) .....	237
Figura N° 6.140. Curva nivel – área - volumen embalse Comandante Fontana (escenario optimizado a largo plazo).....	238
Figura N° 6.141. Caudales diarios Ibarreta - Comandante Fontana - caudales diarios Comandante Fontana (embalse) (escenario optimizado a largo plazo).....	239
Figura N° 6.142. Volumen almacenado, mensual, embalse Comandante Fontana (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo) .....	240
Figura N° 6.143. Almacenamiento relativo, mensual, embalse Comandante Fontana (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo).....	241
Figura N° 6.144. Caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos en la población de Comandante Fontana (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo).....	242
Figura N° 6.145. Déficit, mensual, de la demanda, Comandante Fontana (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo) .....	243
Figura N° 6.146. Mapa de demanda máxima de la población escenario actual .....	245
Figura N° 6.147. Mapa de déficit máximo de la demanda escenario actual.....	246
Figura N° 6.148. Mapa de demanda máxima de la población escenario optimizado a largo plazo.....	247
Figura N° 6.149. Mapa de déficit máximo de la demanda escenario optimizado a largo plazo.....	248

Figura N° AIII.1. Monitoreo de crecida bañado La Estrella año 2007 (Fuente: Valiente et al., 2009).....	291
Figura N° AIII.2. Monitoreo de crecida bañado La Estrella año 2008 (Fuente: Valiente et al., 2009).....	292
Figura N° AIII.3. Hidrograma Embalse RP N° 28 - tabla resumen (2006/2007) .....	293
Figura N° AIII.4. Hidrograma Embalse RP N° 28 - tabla resumen (2007/2008) .....	293
Figura N° AIII.5. Hidrograma Embalse RP N° 28 - tabla resumen (2008/2009) .....	294
Figura N° AIII.6. Hidrograma Embalse RP N° 28 - tabla resumen (2009/2010) .....	294
Figura N° AIII.7. Hidrograma Embalse RP N° 28 - tabla resumen (2010/2011) .....	295

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 2.1. Habitantes provincia de Formosa- (Fuente: INDEC: Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010) .....	11
Tabla N° 2.2. Zonas climáticas provincia de Formosa (Fuente: Bobadilla de Gane y Silva, 2004 ) .....	14
Tabla N° 4.1. Habitantes localidades de la zona de estudio (Fuente INDEC: Censo 2010) .....	38
Tabla N° 6.1. Funcionamiento bañado La Estrella .....	83
Tabla N° 6.2. Caudales máximos y mínimos observados .....	88
Tabla N° 6.3. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios observados estación Misión La Paz (m <sup>3</sup> /s) .....	89
Tabla N° 6.4. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios tramo Misión La Paz – Embocadura (m <sup>3</sup> /s) .....	92
Tabla N° 6.5. Características subcuencas bañado La Estrella .....	104
Tabla N° 6.6. Valores CN subcuencas bañado La Estrella .....	106
Tabla N° 6.7. Tiempo de concentración por subcuenca y por autor .....	107
Tabla N° 6.8. Tiempo de retardo por subcuenca y por autor .....	108
Tabla N° 6.9. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios ingreso Argentina + caudales diarios lluvia (20%) (m <sup>3</sup> /s) .....	111
Tabla N° 6.10. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios tramo Embocadura - Embalse RP N° 28 (m <sup>3</sup> /s) .....	111
Tabla N° 6.11. Valores de cota, superficie inundada y volumen almacenado Embalse RP N° 28 .....	114
Tabla N° 6.12. Valores velocidad de infiltración (Fuente: NutriTierra <a href="http://www.nutritierra.com.ar/images/PDF/Info%20Tecnica/valores_suelos.pdf">www.nutritierra.com.ar/images/PDF/Info%20Tecnica/valores_suelos.pdf</a> ) .....	116
Tabla N° 6.13. Valores de evapotranspiración mensual y diaria .....	118
Tabla N° 6.14. Demanda mensual usuario (caudal que conduce canal Embalse RP N° 28- obra partidora) (m <sup>3</sup> /s) .....	121
Tabla N° 6.15 Caudales aforados y calculados a partir de la curva H-Q (m <sup>3</sup> /s) .....	122
Tabla N° 6.16. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios (simulados) que pasan sobre vertedero (m <sup>3</sup> /s) (escenario actual) .....	123
Tabla N° 6.17. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar niveles en Embalse RP N° 28 (m) (escenario actual) .....	128

Tabla N° 6.18. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar volumen almacenado Embalse RP N° 28 (hm <sup>3</sup> ), antes del usuario aguas abajo (escenario actual) ..	131
Tabla N° 6.19. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar almacenamiento Embalse RP N° 28 (hm <sup>3</sup> ), después del usuario aguas abajo (escenario actual).....	131
Tabla N° 6.20. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios progresiva 35,00 km (inicio canal Embalse RP N° 28 - obra partidora) (m <sup>3</sup> /s) (escenario actual).....	133
Tabla N° 6.21. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios obra partidora (m <sup>3</sup> /s) (escenario actual) .....	133
Tabla N° 6.22. Demanda diaria (L/hab.día) y mensual (m <sup>3</sup> /s) de la población por localidad (escenario actual) .....	135
Tabla N° 6.23. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios obra partidora - inicio canal Las Lomitas (m <sup>3</sup> /s) (escenario actual) .....	138
Tabla N° 6.24. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios que llegan a Las Lomitas (embalse) (m <sup>3</sup> /s) (escenario actual) .....	138
Tabla N° 6.25. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios que ingresan al canal Monte Lindo (desde obra partidora) (m <sup>3</sup> /s) (escenario actual).....	149
Tabla N° 6.26. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios que llegan a toma Pozo del Tigre (m <sup>3</sup> /s) (escenario actual) .....	149
Tabla N° 6.27. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios Pozo del Tigre - Estanislao del Campo (m <sup>3</sup> /s) (escenario actual) .....	160
Tabla N° 6.28. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios que llegan a la toma Estanislao del Campo (m <sup>3</sup> /s) (escenario actual) .....	161
Tabla N° 6.29. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios Estanislao del Campo - bifurcación riacho Monte Lindo - canal embalse Ibarreta (m <sup>3</sup> /s) (escenario actual) .....	170
Tabla N° 6.30. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios bifurcación riacho Monte Lindo - canal embalse Ibarreta (m <sup>3</sup> /s) (escenario actual).....	170
Tabla N° 6.31. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios bifurcación - canal embalse Ibarreta (m <sup>3</sup> /s) (escenario actual) .....	171
Tabla N° 6.32. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios que llegan al embalse Ibarreta (m <sup>3</sup> /s) (escenario actual).....	171
Tabla N° 6.33. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios salida embalse Ibarreta (m <sup>3</sup> /s) (escenario actual).....	180

Tabla N° 6.34. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios que llegan al embalse Comandante Fontana (m <sup>3</sup> /s) (escenario actual) ...	180
Tabla N° 6.35. Demanda mensual usuarios escenario optimizado a largo plazo - 20 años (m <sup>3</sup> /s).....	203
Tabla N° 6.36. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios progresiva 35,500 km (inicio canal Embalse RP N° 28 - obra partidora) (m <sup>3</sup> /s) (escenario optimizado a largo plazo).....	208
Tabla N° 6.37. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios que llegan a obra partidora (m <sup>3</sup> /s) (escenario optimizado a largo plazo).....	208
Tabla N° 6.38. Demanda diaria (L/hab.dia) y mensual (m <sup>3</sup> /s) de los usuarios para las distintas localidades (escenario optimizado a largo plazo) .....	210
Tabla N° 6.39. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios canal Las Lomitas (m <sup>3</sup> /s) (escenario actual) .....	211
Tabla N° 6.40. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios canal Las Lomitas (m <sup>3</sup> /s) (escenario optimizado a largo plazo) .....	211
Tabla N° 6.41. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios canal Monte Lindo (m <sup>3</sup> /s) (escenario actual) .....	218
Tabla N° 6.42. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios canal Monte Lindo (m <sup>3</sup> /s) (escenario optimizado a largo plazo) .....	218
Tabla N° 6.43. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios ingreso canal Monte Lindo (m <sup>3</sup> /s) (escenario optimizado a largo plazo) .....	219
Tabla N° 6.44. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios toma Pozo del Tigre (m <sup>3</sup> /s) (escenario optimizado a largo plazo).....	220
Tabla N° 6.45. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios Pozo del Tigre - Estanislao del Campo (m <sup>3</sup> /s) (escenario optimizado a largo plazo).....	227
Tabla N° 6.46. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios que llegan a la toma de Estanislao del Campo (m <sup>3</sup> /s) (escenario optimizado a largo plazo).....	227
Tabla N° 6.47. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios Estanislao del Campo – bifurcación (m <sup>3</sup> /s) (escenario optimizado a largo plazo).....	233
Tabla N° 6.48. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios que llegan a la bifurcación (m <sup>3</sup> /s) (escenario optimizado a largo plazo).....	233
Tabla N° 6.49. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios bifurcación – canal embalse Ibarreta (m <sup>3</sup> /s) (escenario optimizado a largo plazo).....	234

Tabla N° 6.50. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios que llegan al embalse Ibarreta (m3/s) (escenario optimizado a largo plazo).....	234
Tabla N° 6.51. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios salida embalse Ibarreta (m3/s) (escenario optimizado a largo plazo).....	240
Tabla N° 6.51. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios que llegan al embalse Comandante Fontana (m3/s) (escenario optimizado a largo plazo).....	240
Tabla N° 7.1. Cuenca de aporte .....	249
Tabla N° 7.2. Embocadura .....	250
Tabla N° 7.3. Tramo Embocadura - Embalse RP N° 28.....	251
Tabla N° 7.4. Embalse RP N° 28 .....	252
Tabla N° 7.5. Obra partidora .....	254
Tabla N° 7.6. Medidas propuestas (estructurales y no estructurales) .....	255
Tabla N° 7.7. Canal Las Lomitas .....	256
Tabla N° 7.8. Las Lomitas.....	257
Tabla N° 7.9. Obra partidora - canal Monte Lindo - toma Pozo del Tigre.....	258
Tabla N° 7.10. Pozo del Tigre .....	259
Tabla N° 7.11. Estanislao del Campo.....	260
Tabla N° 7.12. Ibarreta .....	262
Tabla N° 7.13. Comandante Fontana.....	264
Tabla N° AII. 1. Hogares por instalación sanitaria, por departamento (Fuente INDEC 2010) .....	281
Tabla N° AII.2. Viviendas particulares habitadas, hogares y población censada por tipo de vivienda, por departamento (Fuente INDEC 2010) .....	281
Tabla N° AII.3. Hogares por disponibilidad de bienes, por departamento (Fuente INDEC 2010) .....	282
Tabla N° AII.4. Población de 10 años y más por condición de alfabetismo y sexo, por departamento (Fuente INDEC 2010) .....	282
Tabla N° AII.5. Hogares por presencia de servicios en el segmento, por departamento (Fuente INDEC 2010) .....	282

Tabla N° AII.6.1. Características suelo subcuenca 1. ....	283
Tabla N° AII.6.2. Características suelo subcuenca 2. ....	284
Tabla N° AII.6.3. Características suelo subcuenca 3. ....	285
Tabla N° AII.6.4. Características suelo subcuenca 4. ....	286
Tabla N° AII.6.5. Características suelo subcuenca 5. ....	287
Tabla N° AII.6.6. Características suelo subcuenca 6. ....	288
Tabla N° AII.6.7. Características suelo subcuenca 7. ....	289
Tabla N° AII. 7. Cálculo CN .....	290

## RESUMEN

La provincia de Formosa cuenta con abundantes recursos hídricos. Las lluvias y caudales de los cursos de agua presentan una variabilidad temporal significativa, dando lugar a una alternancia de períodos húmedos y secos y a la ocurrencia de crecidas y estiajes severos. Esta alternancia natural de exceso y déficit condicionan las actividades económicas y de desarrollo en los centros urbanos y rurales, debido a que la infraestructura de la región no está adaptada suficientemente a la variabilidad. Esta situación lleva a plantear la necesidad de mejorar la capacidad de regulación actual de las lagunas y bañados por medio de nuevas obras y de optimizar la operación de éstas.

En el presente trabajo se optimizan los recursos hídricos de un sistema de llanura, adoptando como caso de estudio el bañado La Estrella, siendo uno de los cuerpos de agua más importante de la provincia de Formosa. En esta tesis se analiza, en particular para la modelación, el Embalse RP N°28, canal derivador sur, obra partidora, canales Monte Lindo y Las Lomitas y las localidades Las Lomitas, Pozo del Tigre, Estanislao del Campo, Ibarreta y Comandante Fontana beneficiarias directas de las aguas del bañado a través de los canales mencionados. El período de estudio es de 2005/2006 a 2010/2011.

La implementación del modelo permitió evaluar la oferta y demanda para un escenario actual y un escenario optimizado (a corto y largo plazo), como así también establecer políticas de manejo óptimo y racional de las aguas del bañado La Estrella, garantizando de esta manera el mayor tiempo posible la disponibilidad de agua para consumo humano.

La ventaja que ofreció la implementación del modelo para hallar soluciones estacionarias a cada paso de tiempo, permitió evaluar la cantidad de agua requerida de manera individual (por localidad) y en su conjunto, realizando un balance de entrada y salida en cada nodo de acuerdo a las reglas fijadas.

También se pudieron estimar los volúmenes embalsados del Embalse RP N° 28 a ser distribuidos a través de las diferentes obras que componen el bañado La Estrella y los volúmenes de abastecimiento de los embalses de las localidades de estudio, los meses que se presenta déficit hídrico y las deficiencias en las obras existentes que impedirían satisfacer la demanda de la población.

Se ha logrado con este trabajo compatibilizar los diversos conocimientos adquiridos en el cursado de la Maestría, aplicado a un caso de estudio particular de manera inicial con posibilidad de ser extrapolado a otras regiones hídricas de la provincia de Formosa.

## ABSTRACT

Formosa province has abundant water resources. The rains and flows of the rivers show significant temporal variability, leading to alternating wet and dry periods and the occurrence of floods and severe droughts. This natural alternating excess and deficiency condition economic development and in urban centers and rural activities, because the infrastructure of the region is not sufficiently adapted to variability.

This situation begs the need to improve the capacity of current regulation of lakes and marshes through new works and to optimize the operation of these.

In this paper the water resources of plain system are optimized, taking as a case study the bañado La Estrella, one of the most important bodies of water in the province of Formosa. This thesis analyzes, particularly for modeling, reservoir RP N° 28, diverter canal south, riving work, canals Monte Lindo and Las Lomitas and localities Las Lomitas, Pozo del Tigre, Estanislao del Campo, Ibarreta and Comandante Fontana beneficiaries direct beathed in the waters of through the aforementioned channels. The study period 2005/2006 – 2010/2011.

Implementation of the model allowed evaluation of supply and demand for the current scenario and optimized (short and long term) stage, as well as establish optimal policies and sound management of the waters of bañado La Estrella, thus ensuring the highest possible time the availability of water for human consumption.

The advantage offered by the implementation of the model to find stationary at each time step solutions possible to evaluate the amount of water required individually (by location) and as a whole, making a balance of input and output in each node according to the rules set.

Could also estimate the volume of the reservoir dammed RP N°. 28 to be distributed through the different works that make up the system Bathed La Estrella and volumes of supply reservoirs of the studied, the months that presents water deficit and deficiencies in existing works that would prevent satisfy the demand of the population.

It has managed to combine this work with the various skills acquired in the Master studied, applied to a particular case study in initially with the possibility of water be extrapolated to other regions of the province of Formosa.

# CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

## 1.1. Consideraciones Generales

La optimización de los recursos hídricos se enfoca en encontrar el equilibrio entre la oferta y demanda en tiempo y espacio del recurso agua, teniendo en cuenta la “cantidad” y “calidad” suficiente para abastecer a los diferentes usuarios y usos.

Según lo expresa el Dr. Jorge Pilar en la Revista Voces en el Fénix N° 20: El agua es *“fuente de vida”, por lo tanto, de una buena planificación de su uso depende la posibilidad de vida digna para la población. Por ello es necesario un diálogo entre todos los sectores de la sociedad, para la elaboración de la mejor política hídrica posible.*

La utilización racional del agua implica una gestión sostenible, eficiente e integral de los recursos hídricos. A veces para lograr estos objetivos es necesario utilizar herramientas tecnológicas que permitan analizar los sistemas de manera integrada abordando incertidumbres como ser el uso y la demanda; y dando como resultado soluciones óptimas que permitan lograr el equilibrio entre la oferta y la demanda.

Los problemas relativos al agua reflejan las dificultades que enfrenta el mundo. En el último informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo se afirma que *“el agua representa el único medio por el cual las grandes crisis globales (alimentaria, energética, económica, cambio climático) se pueden abordar conjuntamente”*. (ONU, 2015)

[\(http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/\)](http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/)

La herramienta computacional a aplicar en este trabajo es el Sistema de Soporte de Decisión MIKE BASIN (2008), desarrollado por el Instituto Hidráulico Danés en Hørsholm Dinamarca. Los Sistemas de Soporte de Decisión son sistemas informáticos que ayudan en el proceso de toma de decisiones, esta toma de decisiones implica el apoyo a la estimación, la evaluación y/o comparación de alternativas, valiéndose de conocimientos en tecnología informática, ingeniería y gerenciamiento. Los mismos son aplicados en todos aquellos campos, donde a través de este sistema informático se permite ayudar a los

individuos a tomar decisiones en problemas complejos como la gestión y planificación de los recursos hídricos.

A pesar de la trascendencia del tema, hasta el momento no se habían encarado estudios referentes a la optimización de los recursos hídricos en la zona de estudio lo cual constituía una asignatura pendiente.

Es por ello que en este trabajo se presenta una evaluación del estado actual y funcionamiento del sistema hídrico del bañado La Estrella, resultando de gran interés la implementación de un Sistema Soporte de Decisión que permita optimizar los recursos hídricos a través de nuevas obras y políticas de operación.

## **1.2. Contenido de la tesis**

El desarrollo de la presente Tesis se organiza en los siguientes capítulos:

En el Capítulo 1: INTRODUCCIÓN, se presenta el tema de Tesis, los objetivos, la organización de la misma y la descripción del problema.

En el Capítulo 2: CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO, se presentan las principales características de la provincia de Formosa, su ubicación geográfica, población, clima, temperatura, pluviometría, evapotranspiración, suelos. Como así también la descripción del área de estudio bañado La Estrella.

En el Capítulo 3: ESTADO DEL ARTE, se comenta la importancia de los Sistemas Soporte de Decisión y una descripción del estado del arte respecto a los mismos.

En el Capítulo 4: PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA, se describe el procesamiento y análisis de la información proporcionada por los diferentes organismos, como ser información básica, social, planialtimétrica, meteorológica e hidrométrica, imágenes satelitales y la infraestructura existente en la zona de estudio, como así también el funcionamiento del bañado La Estrella.

En el Capítulo 5: METODOLOGÍA APLICADA, se detalla la metodología aplicada, incluyendo la descripción general del modelo y sus componentes.

En el Capítulo 6: APLICACIÓN DEL MODELO MIKE BASIN, se presenta la implementación y simulaciones del modelo en la zona de estudio para los escenarios considerados, sus resultados y la evaluación de los mismos.

En el Capítulo 7: RESULTADOS DEL MODELO, se presentan a modo de resumen los principales resultados a los que se arriba en el desarrollo de la Tesis.

En el Capítulo 8: CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES, se destacan los aspectos más relevantes de la tesis, y se indica o sugieren los análisis o estudios no realizados, por entender que escapan al alcance de la tesis y que deberían ser tenidos en cuenta en futuras investigaciones.

En el Capítulo 9: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS, corresponde al listado de referencias bibliográficas consultadas y utilizadas para el desarrollo de la Tesis.

En los Anexos se presentan:

Anexo I: Publicaciones antecedentes de la tesista

Anexo II: Tablas

Anexo III: Figuras

### **1.3. Objetivos**

El objetivo general del trabajo de Tesis es optimizar los recursos hídricos en el bañado La Estrella (Formosa).

Los objetivos particulares son:

- Evaluar la variación espacio-temporal de los déficits hídricos del sistema con las obras de regulación existentes, para un período plurianual de referencia incluyendo eventos de crecida y de estiaje.

- Establecer políticas de operación del sistema con nuevas obras de regulación propuestas para el período de referencia y demandas futuras, proyectadas a un incremento de la población de 20 años.

#### **1.4. Descripción del problema**

La provincia de Formosa cuenta con abundantes recursos hídricos superficiales como los ríos Bermejo, Paraguay y Pilcomayo, grandes lagunas y bañados como el bañado La Estrella, embalse Laguna Yema, laguna La Salada, estero Bellaco y riachos menores.

Las lluvias y caudales de los cursos de agua presentan una variabilidad temporal significativa, dando lugar a una alternancia de períodos húmedos y secos y a la ocurrencia de crecidas y estiajes severos.

Si se consideran los más recientes acontecimientos hídricos ocurridos en la provincia, en los años 1982/1983/1984 se registraron las mayores inundaciones en todo el territorio provincial con un saldo de 30.500 evacuados y cuantiosas pérdidas económicas a causa de crecidas en los ríos Bermejo, Paraguay y Pilcomayo. Durante 2006/2007, se han producido inundaciones debido no sólo a los desbordes de los ríos Bermejo y Pilcomayo como consecuencia de las precipitaciones registradas en las altas cuencas sino también por las excesivas precipitaciones caídas dentro del territorio provincial. Este fenómeno ocasionó un anegamiento del 30% de la superficie total de la provincia, lo que ha generado la evacuación de las poblaciones ribereñas a los ríos, pérdidas económicas y materiales. En el período 2007/2008, como consecuencia de las inundaciones se han registrado los mayores valores hidrométricos quedando la provincia anegada en un 35% de la superficie total.

En contraposición a estos eventos, las sequías también afectaron a la provincia en los años 1987 y 1988, durante 6 meses en el primer año y 5 meses en el segundo. Esto incidió en millones de hectáreas afectando la disponibilidad de agua para consumo humano, cultivos, ganados y pasturas, con pérdidas económicas significativas y consecuencias sociales indeseables.

Esta alternancia natural de exceso y déficit condicionan las actividades económicas y de desarrollo en los centros urbanos y rurales, debido a que la infraestructura de la región

no está adaptada suficientemente a la variabilidad. Esta situación lleva a plantear la necesidad de mejorar la capacidad de regulación actual de las lagunas y bañados por medio de nuevas obras y de optimizar la operación de éstas. El trabajo de Tesis propuesto tiene por objetivo general optimizar los recursos hídricos de un sistema de llanura. Se adopta como caso de estudio el bañado La Estrella, siendo uno de los cuerpos de agua más importante que tiene la provincia.

Estos problemas llevan a pensar en la necesidad de un manejo óptimo y racional de los recursos hídricos, en este caso a través de la implementación de un Sistema Soporte de Decisión, que permita obtener las mejores alternativas y resultados del manejo del sistema hídrico del bañado La Estrella con las obras existentes, nuevas obras y políticas de operación de las mismas, de manera tal que la alternancia natural entre exceso y déficit sea mínima.

La importancia de regulación de los recursos hídricos del bañado La Estrella, junto con la importancia de un Plan Director que atienda a las necesidades de las poblaciones y la preservación de otros recursos, está contemplada en la legislación provincial.

La Constitución de la provincia de Formosa, sancionada el 30 de noviembre de 1957 dice:

- En el Artículo N° 38: todos los habitantes tienen derecho a vivir en un medio ambiente adecuado para el desarrollo de la persona, así como el deber de conservarlo. Es obligación de los poderes públicos proteger el medio ambiente y los recursos naturales, promoviendo la utilización racional de los mismos, ya que de ellos dependen el desarrollo y la supervivencia humana.

Para ello se dictaron normas entre las que figuran: 1- el mantenimiento de los procesos ecológicos esenciales, la preservación de la diversidad genética, la protección, recuperación y mejoramiento del medio ambiente. 2- el adecuado manejo de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, protegiéndolas de todo tipo de contaminación o degradación, sea química o física.

- En el Artículo N° 53: la provincia debe procurar el aprovechamiento integral y el uso racional del agua, respetando las prioridades que derivan de las necesidades de consumo de la población y el desarrollo del sector primario e industrial. Un código de aguas reglamentará todo lo atinente a este recurso.

En el mes de octubre de 1995 se presenta el primer informe parcial elaborado por el Ing. Mario N. Ferdkin sobre el “Plan director del sistema hídrico interno de la provincia de Formosa”. El informe tiene entre sus puntos más importantes la identificación de la problemática hídrica identificando la dinámica de los sistemas hídricos de la provincia, la elaboración de un sistema de información geográfica con la información disponible, el detalle de las obras existentes y en ejecución para ese año y las alternativas de acción y obras, este punto contempla la protección de localidades contra inundaciones, y la regulación hídrica de los desbordes de los ríos Pilcomayo y Bermejo.

En el año 1997, la Legislatura de la provincia de Formosa sanciona con fuerza de ley, la Ley N° 1246 Código de Aguas, la cual consta de 314 artículos, entre los que se destacan con mayor importancia los que se refieren al uso de agua pública (derecho de uso, permisos y concesiones), uso en particular (abastecimiento de poblaciones, irrigación, usos pecuarios, energéticos, industrial, terapéutico, recreativo), condiciones y repartos de las aguas públicas (aforo y distribución del agua pública, distribución de agua para riego), obras hidráulicas, tasas y retribuciones, y las limitaciones a la propiedad privada.

En el mes de mayo de 2005, la Legislatura de la provincia de Formosa sanciona la Ley N° 1471 afectando al dominio público del Estado Provincial el bañado La Estrella en toda su extensión, desde el ingreso de las aguas del río Pilcomayo hasta la RP N° 24 y hasta su línea de máxima crecida.

Declara reserva natural de utilidad pública a las aguas y tierras ocupadas por el bañado La Estrella con la finalidad de proteger los recursos hídricos en calidad y cantidad suficiente que garanticen la protección del medio ambiente y la ejecución de planes de desarrollo sustentable para el hombre.

El uso de las aguas en la reserva natural del bañado La Estrella se regirá por las disposiciones del Código de Aguas Provincial.

Esta ley es reglamentada posteriormente por el decreto N° 921/2005, mediante el cual la provincia busca dejar expresamente fijado el destino que se da a las aguas, suelo, fauna y flora del bañado La Estrella. Se expresa en los considerandos que los desbordes del río Pilcomayo representan una situación que debe ser atendida por el estado provincial con particular cuidado político y técnico para que las aguas lleguen normalmente a las zonas de producción sin que se alteren el equilibrio ambiental. La pretensión de la ley es proteger la biodiversidad de un sistema considerado excepcional, prohibiendo para ello la venta y

comercialización de las tierras fiscales, las aguas subterráneas, y superficiales, la flora y fauna. (Fundación ProYungas, 2010).

En el año 2012 se sanciona la Ley N° 1587: aféctese al dominio público del Estado Provincial y declárense reserva de utilidad pública las aguas y tierras ocupadas por los reservorios, canales, derivaciones y obras anexas que funcionen como almacenamiento y/o abastecimiento para la producción de agua potable para consumo humano.

A nivel nacional en el año 2003, se presenta “Principios rectores de política hídrica de la República Argentina”, fundamentos del Acuerdo Federal del Agua COHIFE. El Acuerdo queda consensuado en un marco de federalismo concertado, los fundamentos de una política hídrica nacional, racional y aglutinante de todos los sectores. En ejercicio de las facultades concurrentes entre las provincias y la Nación que muestra la Carta Constitucional, consagra este Acuerdo lograr amalgamar principios de políticas que integran los aspectos sociales y ambientales relacionados con el agua como parte de las actividades productivas de la sociedad, incorporando principios básicos de organización, gestión y economía de los recursos hídricos en concierto con principios de protección del recurso.

En el año 2007, se presenta en el Congreso Nacional del Agua (Tucumán) la versión del “Plan Nacional Federal de los recursos hídricos” (SSRH-COHIFE). Este plan es la herramienta básica de la gestión que permitirá el uso de los recursos hídricos, con vistas al desarrollo económico y social de la Nación, tanto de las aguas superficiales como subterráneas y de los ecosistemas acuáticos y terrestres. Se entiende que la formulación del Plan Nacional Federal se orientó a compatibilizar las acciones contempladas en las planificaciones provinciales, regionales, sectoriales y por cuenca. Destacándose los principios generales considerados para la formulación del Plan:

- asegurar la provisión de agua potable y saneamiento a toda la población (equidad)
- optimizar el aprovechamiento del agua para usos productivos (eficiencia y desarrollo sostenible)
- reducir y prevenir las inundaciones y sequías (minimización de riesgos)
- proteger y preservar el ambiente (desarrollo sostenible).

## **CAPÍTULO 2: CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO**

### **2.1. Ubicación y características generales de la provincia de Formosa**

La provincia de Formosa se ubica en la zona norte de la República Argentina, ocupa íntegramente el área del Chaco Central y define con sus sabanas parque el gran ecosistema de la llanura chaqueña, conformado también por el Chaco Boreal (Paraguay) y el Chaco Austral (Argentina).

Se extiende entre los paralelos 22° y 27° de latitud sur y los meridianos 57° y 63° de longitud oeste de Greenwich, es atravesada en su zona norte por el Trópico de Capricornio que la ubica en la región subtropical del país.

(<https://www.formosa.gob.ar/miprovincia/aspectosgenerales>)

Limita al norte y este con la República del Paraguay, al oeste con la provincia de Salta y al sur con la provincia de Chaco. Tiene una superficie de 72.066 km<sup>2</sup>. Se divide en 9 departamentos: Bermejo, Formosa, Laishí, Matacos, Patiño, Pilagás, Pilcomayo, Pirané y Ramón Lista (<https://www.formosa.gob.ar/miprovincia/aspectosgenerales>)

La Figura N° 2.1 muestra la ubicación de la provincia en relación al país, y su división política.

La Figura N° 2.2 presenta a la provincia de Formosa en el contexto del Gran Chaco en Sudamérica.



Figura N° 2.1. Ubicación de provincia de Formosa- División Política

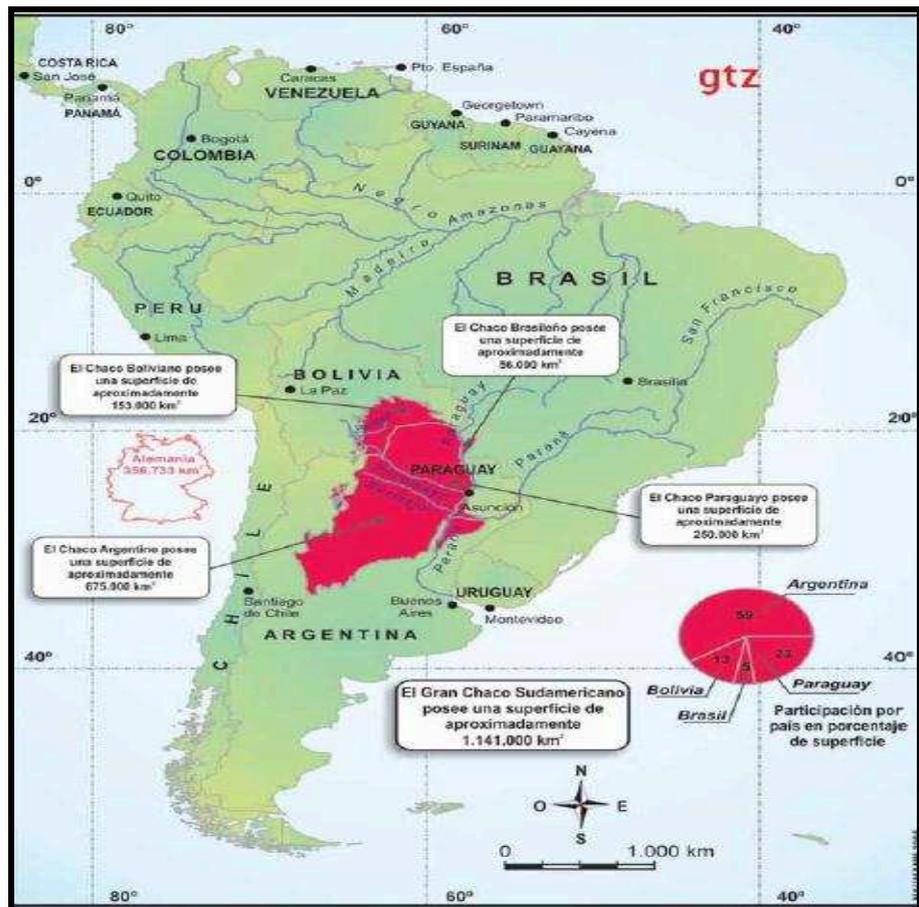


Figura N° 2.2. Mapa ubicación de Formosa dentro del Gran Chaco en Sudamérica (Fuente: Formosa 2015-Gobierno de la provincia de Formosa-Atlas del Gran Chaco Americano)

Varios autores han estudiado la extensión del Gran Chaco Americano con resultados diferentes.

Según Bruniard (1978) la superficie que abarca el Gran Chaco Americano es de 700.000 a 800.000 km<sup>2</sup>.

De acuerdo a Bernalt (2001) el territorio del Gran Chaco Americano abarca un territorio de 1.280.000 km<sup>2</sup>, comprende jurisdicciones de Brasil (50.000 km<sup>2</sup>), Argentina (más de 621.000 km<sup>2</sup>), Bolivia (306.000 km<sup>2</sup>) y Paraguay (246.000 km<sup>2</sup>).

En el año 2005, The Nature Conservancy (TNC), Fundación Vida Silvestre Argentina (FVSA), Fundación para el Desarrollo Sustentable del Chaco (DeSdel Chaco) y Wildlife Conservation Society Bolivia (WCS) presentaron “Evaluación ecorregional del Gran Chaco Americano”, en el cual indican que la superficie que abarca el Gran Chaco Americano es de 1.066.000 km<sup>2</sup>, ocupando territorio de 4 países Argentina (62.19%), Paraguay (25.43%), Bolivia (11.61%) y Brasil (0.77%).

En 2011, Memendi presenta “Recopilación de textos y mapas de la provincia del Chaco, sistemas fluviales y normas legislativas ambientales”, donde describe que la superficie del Gran Chaco Americano oscila entre 1.000.000 a 1.200.000 km<sup>2</sup>.

## **2.2. Población, estrategia productiva, infraestructura**

La población provincial de acuerdo al Censo 2010 asciende a un total de 530.162 habitantes. La misma se encuentra desigualmente distribuida, concentrándose la mayor cantidad de habitantes en el sector este del territorio provincial.

La provincia de Formosa genera una gran variedad de productos de origen agropecuarios y forestales, entre los que se pueden identificar: granos (soja, girasol, trigo, sorgo, arroz, maní), carnes (bovina, porcina, caprina, bubalina), frutas (banana, pomelo, limón), hortalizas (zapallo, sandía, mandioca, batata, melón), forestales (muebles, pisos, carbón), industriales (algodón) y otros productos (pacú, miel, lácteos).

La infraestructura de la provincia creció a partir del plan estratégico, donde la inversión para la misma se ha incrementado en un 33% a partir del año 2003. Este aumento de inversión se ve reflejado en la infraestructura vial que tuvo un incremento de rutas nacionales y provinciales pavimentadas del 333%, generación de nuevas líneas de energía eléctrica, construcción de más de 1.000 unidades educativas y de centros de salud de alta

complejidad. En la actualidad se están construyendo el Polo Científico Tecnológico y de Innovación y el cuarto hospital de energía nuclear. (<https://www.formosa.gob.ar/formosa2015>).

La Tabla N° 2.1 muestra el total de habitantes por departamento, según el Censo 2010.

Tabla N° 2.1. Habitantes provincia de Formosa- (Fuente: INDEC: Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010)

Departamento	Habitantes
Formosa	234.354
Pilcomayo	85.024
Patiño	68.581
Pirané	64.566
Pilagás	18.399
Lahisí	17.063
Matacos	14.375
Bermejo	14.046
Ramón Lista	13.754

La Figura N° 2.3 representa el mapa de distribución de la población por departamento según Censo 2010.

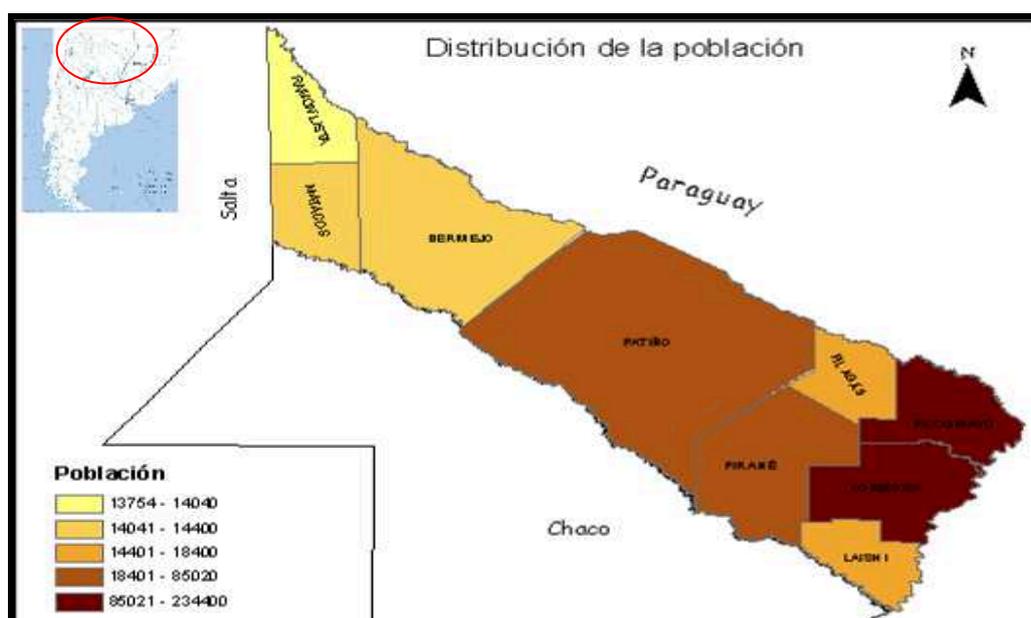


Figura N° 2.3. Mapa distribución de la población en la provincia de Formosa

### 2.3. Características climáticas

La provincia de Formosa presenta características climáticas tropicales a subtropicales. La diferenciación climática está más marcada de este a oeste que de norte a sur (<https://www.formosa.gob.ar/miprovincia/aspectosgenerales/climaytemperaturas>).

De acuerdo a la posición geográfica se divide en dos tipos de clima (<https://www.formosa.gob.ar/miprovincia/aspectosgenerales/climaytemperaturas>):

- Cálido con estación seca (oeste); con temperaturas medias anuales superiores a los 23 °C, con balance hídrico marcadamente deficitario
- Cálido subtropical húmedo (este); con temperaturas ligeramente inferiores y precipitaciones abundantes durante todo el año.

Entre ambos extremos se ubica una franja de orientación meridiana de este a oeste donde existe una disminución gradual de las lluvias de 1.000 mm a 650 mm, anuales, lo que indica un importante gradiente de lluvia, con valores aproximados de 400mm en 200 km. (<https://www.formosa.gob.ar/miprovincia/aspectosgenerales/climaytemperaturas>)

La provincia de Formosa y su región circundante están directamente influenciadas por el centro anticiclónico semi-estacional del Atlántico, y en menor grado por el centro de Baja térmica del noroeste Argentino.

No se producen cambios climáticos bruscos al no existir barreras orográficas que lo originen. Es notable una gradual continentalización hacia el oeste, con disminución de precipitaciones y mayor grado de aridez. (Bobadilla de Gane y Silva, 2004).

En cuanto a la temperatura la provincia de Formosa presenta un régimen térmico de altas temperaturas, la media anual oscila entre los 21,9 °C y los 23,6 °C.

Las máximas temperaturas se registran en los meses de diciembre y enero, con máximas que llegan hasta los 45°C. Las características tropicales son alteradas por irrupciones de masas de aire frío austral que originan bajas térmicas pronunciadas, se evidencia en esto el carácter continental del centro y oeste de la provincia, con mínimos registrados en Las Lomitas e Ingeniero Juárez de -7 °C y -5 °C respectivamente. (Bobadilla de Gane y Silva, 2004).

El régimen de heladas, factor de gran importancia para la vida vegetal, se expresa como período libre de heladas. A medida que se aleja de la influencia del río Paraguay el período de heladas se va haciendo cada vez menor, el período con mayor frecuencia de heladas se produce entre los meses de mayo a agosto (Bobadilla de Gane y Silva, 2004).

La Figura N° 2.4 y la Tabla N° 2.2 representan las diferentes zonas climáticas de la provincia de Formosa.

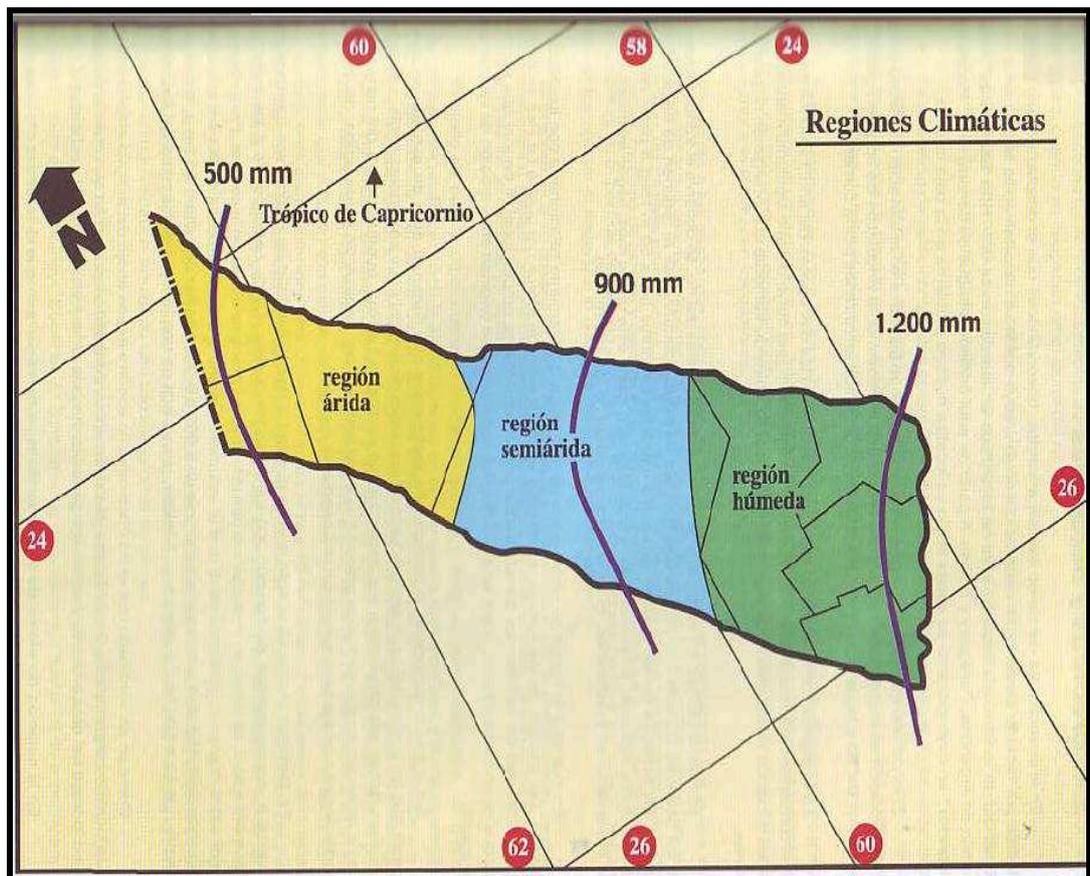


Figura N° 2.4. Mapa regiones climáticas (Fuente: Lagranja, 2004)

Tabla N° 2.2. Zonas Climáticas provincia de Formosa (Fuente: Bobadilla de Gane y Silva, 2004)

Zonas Climáticas			
	Zona Húmeda	Zona Semiárida	Zona Árida
Temperatura (°C)			
Media invierno	15/18	16/17	16/17
Extremos jun/jul	- 3 / -5	- 4 / -6	- 3 / -6
Media verano	26/27	27/28	26/28
Extremos dic/ene	40/43	42/44	43/46
Heladas			
Período medio libre de heladas (días)	300-400	290-310	290-330
Meses extremos de probabilidad de ocurrencia	sept/feb	oct/abr	oct/abr
Precipitación (mm)			
Media Anual	900 a 1.200	700 a 900	500 a 700
Media meses de verano	140 a 170	100 a 140	100 a 130
Media meses de invierno	30 a 50	10 a 40	8 a 10
Necesidad anual de agua (mm)	1.000 a 1.200	1.100 a 1.250	1.100 a 1.250
Deficiencia anual de agua (mm)	ago/set 50 a 100	ago/mar 300 a 600	set/feb 400 a 600
Exceso anual de agua (mm)	jun/oct 150 a 300	No significativo	-----

Los valores de humedad son elevados debido a la influencia de masas de aire marítimas cálidas y húmedas. El mes de menor promedio de humedad es diciembre (70%) y los de mayor promedio abril y junio (82%). En general los meses de invierno son los más húmedos, período en el cual son frecuentes las nieblas y neblinas matinales (Gorleri, 2005).

El viento predominante oscila entre el norte (cálido y húmedo), el sudeste y sur, con menor frecuencia se registran vientos de direcciones noreste y este. Los meses con mayor

frecuencia (más ventosos) son julio, agosto, septiembre y octubre, predominando las direcciones norte y sur.

El viento actúa como un generador de las tormentas de polvo (conocido como viento norte) que se desplazan sobre las áreas urbanas, especialmente entre los meses de agosto a diciembre, siendo de mayor frecuencia entre los meses de noviembre y diciembre (Gorleri, 2005).

## **2.4. Pluviometría**

En cuanto a las precipitaciones, éstas presentan un gradiente negativo de este a oeste. Las precipitaciones en el este son más abundantes del orden de los 1.200 mm y distribuidas de manera uniforme durante los meses de verano y otoño, mientras que en el oeste tienen una mayor concentración en la época estival con valores cercanos a los 600 mm (Bobadilla de Gane y Silva, 2004). (Figura N° 2.5, período 1979 – 1998)

## **2.5. Evapotranspiración**

Las características tropicales del régimen térmico dan las condiciones necesarias para que los valores de evapotranspiración potencial sean lo suficientemente elevados para contrarrestar los volúmenes de agua precipitada.

Es conocido ya en la literatura clásica (Burgos y Vidal, 1951) que las zonas de mayor evapotranspiración potencial de país se encuentran en la provincia de Formosa y noroeste de Salta, zonas donde se alcanzan los 1.300 mm de evapotranspiración potencial media anual.

Si se comparan los valores de precipitaciones y evapotranspiración potencial se observa una variación de este a oeste. Así, se distinguen dos zonas en el territorio provincial (Bobadilla de Gane y Silva, 2004):

- El sector este (departamentos de Laishí, Formosa y Pilcomayo) donde las precipitaciones medias anuales superan la evapotranspiración potencial media anual, esto indicaría en primera instancia un exceso de agua. Sin embargo analizando la marcha anual de los valores específicos se observa que las precipitaciones medias anuales superan la evapotranspiración potencial media anual durante ocho meses al año, con un máximo en octubre y un mínimo en agosto. El déficit de agua se produce en los meses de verano, con

valores más acusados en los meses de diciembre y enero. Se infiere así, que el déficit se genera por coincidir las épocas de máxima precipitación con las de máxima evapotranspiración potencial. (Figura N° 2.6)

Los valores positivos más altos se registran en primavera cuando se inicia la temporada pluvial y aún se mantienen bajas las temperaturas, lo que implica una baja evapotranspiración potencial media anual. Otro tanto se corresponde para la estación otoñal, donde llegan remanentes pluviales de la temporada estival y las temperaturas ya han disminuido. En la estación invernal, corresponde un bajo entre los dos picos del balance, por ser de menor precipitación y de menor evapotranspiración potencial.

- El sector central (departamentos Pilagás, Pirané y Patiño) la diferencia entre la precipitación media anual y la evapotranspiración potencial media anual es negativa y el balance es deficitario. Como se comprueba en el caso de Las Lomitas (Figura N° 2.6) el balance total es negativo, pero en su distribución mensual se observa un exceso de agua en los meses de fin de verano y otoño.

Más al occidente (departamentos de Bermejo, Matacos y Ramón Lista) las diferencias entre las precipitaciones medias anuales y la evapotranspiración potencial media anual es negativa y no llega a valores positivos, sin alcanzar una compensación de déficit.

De no producirse el ingreso de las aguas del río Pilcomayo al bañado La Estrella y del río Bermejo al embalse de Laguna Yema, no habría agua almacenada por lo cual se produciría la desertización de las localidades que se abastecen de dichos cuerpos de agua.

La Figura N° 2.5 representa las isohietas medias anuales y los valores de evapotranspiración potencial media anual en la provincia (período 1979-1998).

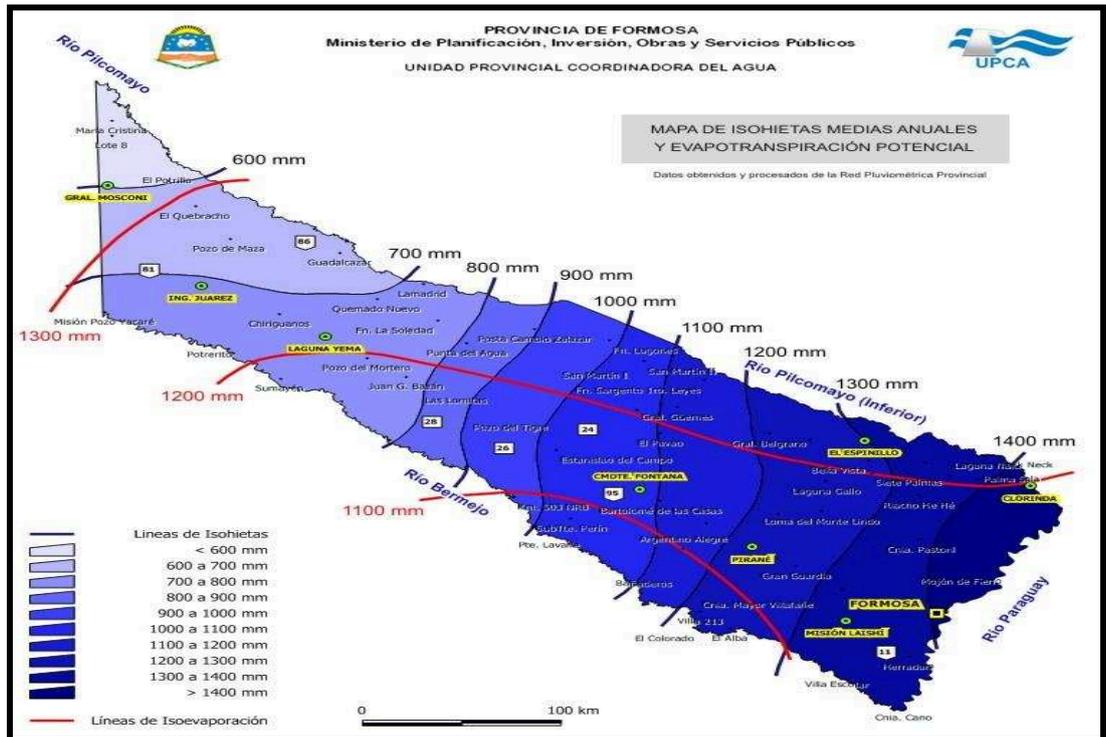


Figura N° 2.5. Mapa de Isohietas medias anuales y Evapotranspiración Potencial  
(Fuente: Unidad Provincial Coordinadora del Agua)

La Figura N° 2.6 representa las distribuciones mensuales de la deficiencia de agua en tres ciudades de la provincia de Formosa.

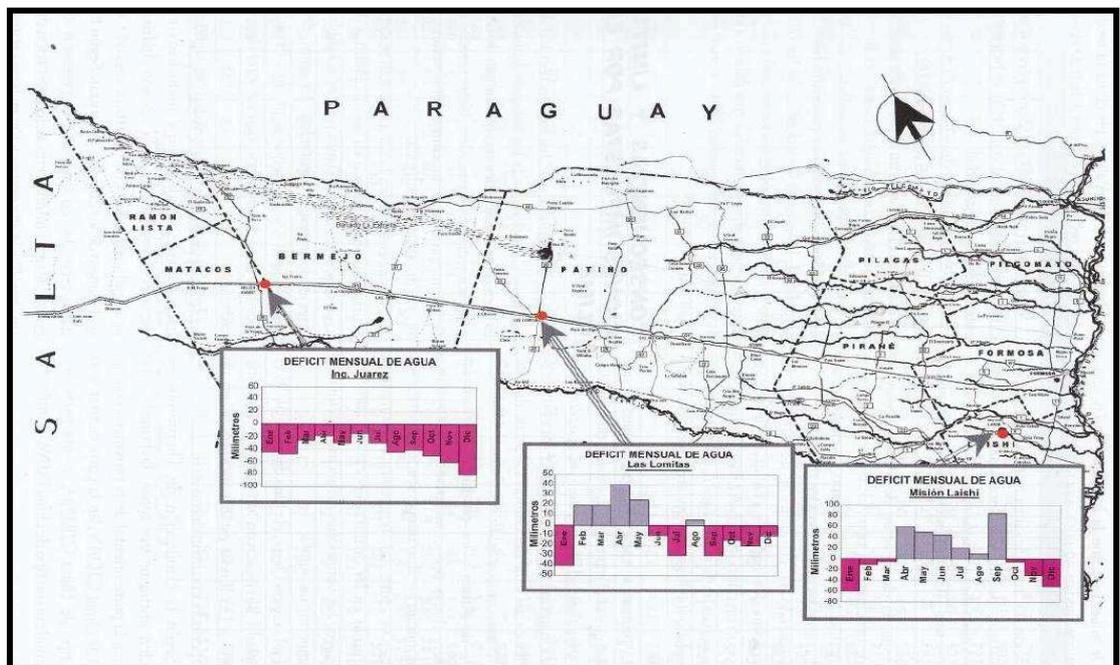


Figura N° 2.6. Mapa de distribuciones de la deficiencia de agua  
(Fuente: Bobadilla de Gane y Silva, 2004)

## 2.6. Hidrografía

El sistema hídrico formoseño forma parte de la cuenca del Plata. Los tres ríos más importantes de la provincia constituyen sus límites naturales y son el río Pilcomayo al norte estableciendo el límite con la República del Paraguay, siendo este límite en lugares indefinido (frontera seca) (Bobadilla de Gane y Silva, 2004). Al sur el río Bermejo, que establece el límite con la provincia del Chaco, y al este el río Paraguay que limita con el país del mismo nombre. El caudal módulo del río Pilcomayo es de 210 m<sup>3</sup>/s, (Cristanchi, 2013), en el caso del río Bermejo es de 457 m<sup>3</sup>/s en Juntas de San Francisco (COREBE-Castellano-Borsellino, 2010) y en el caso del río Paraguay es de 3.000 m<sup>3</sup>/s (Monte Domecq et al., 2000)

La mitad oriental de la provincia está surcada por riachos y arroyos de escasa importancia que discurren de oeste a este casi paralelos entre sí, son temporarios de bajo caudal y sus altos albardones sumados a la baja pendiente del terreno impiden el libre drenaje y encauzamiento de las aguas, lo que origina la formación de grandes esteros y lagunas en las zonas más bajas, de carácter casi permanente.

La existencia de meandros y cauces abandonados, permiten la formación de ríos de carácter irregular y temporario, y los denominados “madrejones” o “pozos”, que son acumulaciones permanentes de agua que cobran vital importancia en las épocas de sequías prolongadas, ya que sirven para abastecer a la población cuando no cuentan con agua almacenada en sus respectivos embalses, o los cuerpos de agua que alimentan dichos embalses no tienen suficiente volumen de agua para ser utilizado. Entre los más conocidos se tienen Madrejón Las Lomitas, Pozo de Maza y Pozo del Quebracho (Bobadilla de Gane y Silva, 2004).

La Figura N° 2.7 representa el mapa hidrográfico y la ubicación de la provincia de Formosa dentro del Gran Chaco (línea amarilla) y de la cuenca del Plata (línea naranja).



Figura N° 2.7. Mapa Hidrográfico (Fuente: Federico González Brizzio/Blue Marble NASA-Fundación Proteger,2009)

La Figura N° 2.8. Representa la red hidrográfica de la provincia de Formosa. En amarillo se corresponden las localidades cabecera de los departamentos, en naranja los afluentes del río Bermejo y en verde los afluentes del río Pilcomayo.

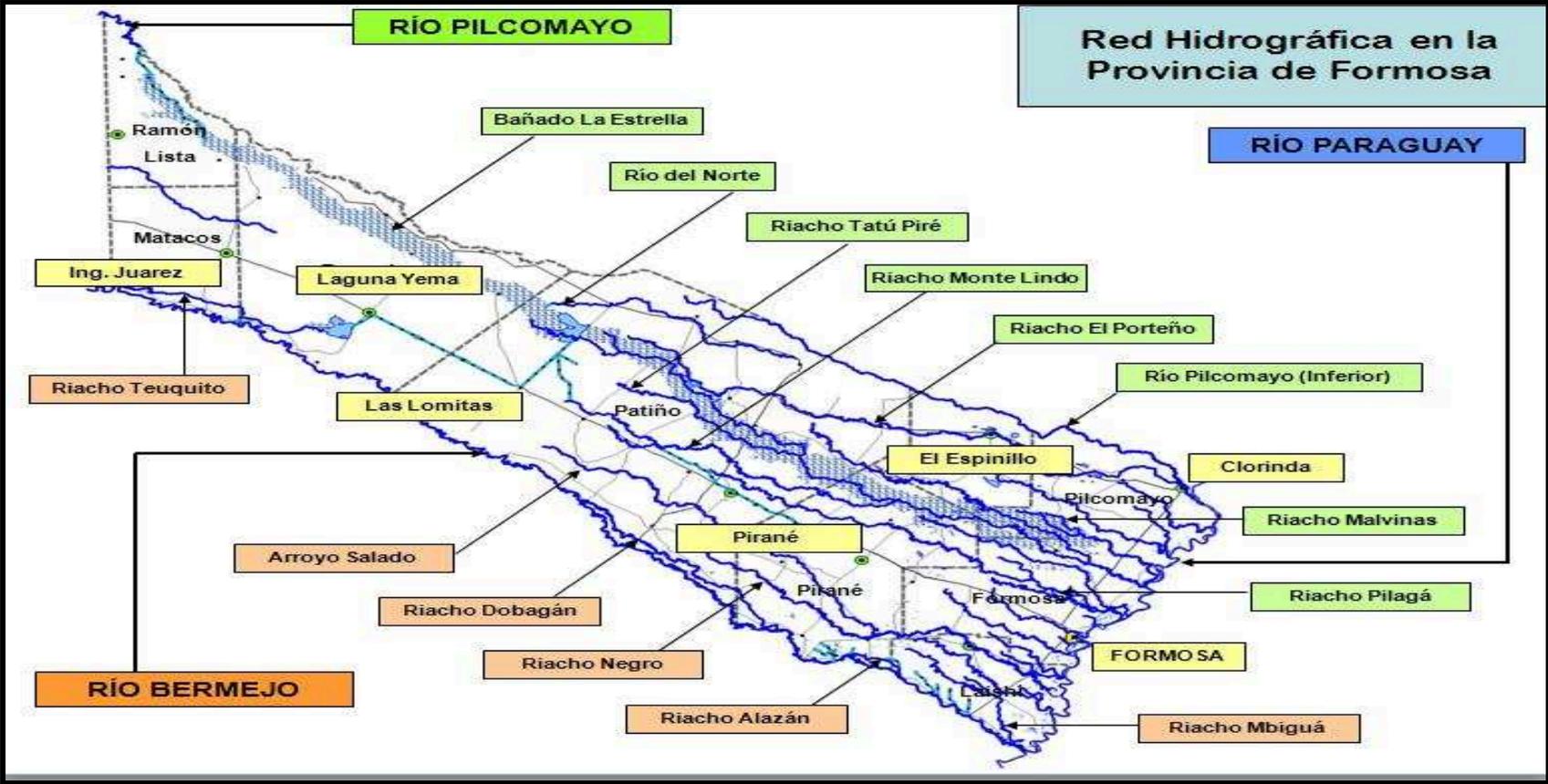


Figura N° 2.8. Mapa red hidrográfica de la provincia de Formosa (Fuente: Unidad Provincial Coordinadora del Agua)

## 2.7. Suelos

La provincia de Formosa se encuentra ubicada en la provincia geológica Chaco Pampeana, específicamente en la región fisiográfica Chaqueña. Es una planicie suavemente ondulada, cubierta por sedimentos de la era Cuaternaria.

La topografía natural del terreno es casi plana, con pendientes exiguas que van del 0,03% en sentido noreste-sudeste y del 0,16% en sentido norte-sur. Las cotas altimétricas son de 55 m s.n.m. en el este y de 210 m s.n.m. en el oeste (Bobadilla de Gane y Silva, 2004).

Los sedimentos, según Bobadilla de Gane y Silva, 2004, que recubren el ámbito provincial y de acuerdo al medio que los transportó se dividen en:

- Aluviales generales: son las deposiciones que están en relación con el accionar de los grandes ríos (Bermejo, Pilcomayo y Paraguay).
- Aluviales locales modernos: relacionados con deposiciones en los cauces internos (por ejemplo riacho Porteño, Salado).
- Aluviales locales fósiles: dieron origen a los antiguos albardones de paleocauces.
- Arcillas y limos: han sido removidos de otros sitios y llevados en suspensión por las aguas de escorrentía para ser decantados finalmente en depresiones naturales: esteros y bañados.

Los suelos de la provincia de Formosa se dividen en 6 regiones fisiográficas (Bobadilla de Gane y Silva, 2004), las características de las mismas son las siguientes:

- Antigua Planicie Chaqueña: corresponde a un amplio interfluvio que separa las planicies aluviales de los ríos Pilcomayo y Bermejo. Abarca una superficie de 1.696.410 has. Esta llanura ha recibido en un principio el aporte de materiales eólicos y con posterioridad ha tenido lugar a un modelado aluvial. Las principales formas de relieve que presentan son paleocauces que alternan con interfluvios y planicies disectadas por cauces. Hay predominancia de ambientes con vegetación leñosa, en los paleocauces se encuentran pajonales (espartillo) y bosques altos, las tierras se destinan a pastoreo extensivo.

- Planicie Aluvial del río Bermejo: abarca una superficie de 193.000 has sobre el extremo sur de los departamentos de Maticos y Bermejo. Las fisonomías de peladal se presentan en las medias lomas y pie de lomas que descienden hacia las vías de

escurrimiento. Predominan algarrobales e itines. Las tierras se dedican en general a pastoreo extensivo.

- Planicie Aluvial del río Pilcomayo: comprende el norte, centro y sureste del departamento Ramón Lista, noroeste, centro norte del departamento Bermejo y cubre una superficie de 602.800 has. De iguales características a la planicie aluvial del río Bermejo.

- Pilcomayo Viejo: se trata de una llanura aluvial de relieve suavemente ondulado que constituye el Antiguo Delta del río Pilcomayo que con su aporte de sedimentos conformó a lo largo de los cauces numerosos albardones que se introdujeron en la Depresión Oriental hasta desembocar en el río Paraguay. Abarca una superficie de 795.800 has, que comprende el centro-norte y noreste del departamento Bermejo, el norte de los departamentos Patiño, Pilagás y Pilcomayo. En la región se alternan bosques en galera, sobre los albardones de ríos y riachos activos, con el pajonal semi-inundable de los interfluvios. Las tierras se aprovechan para los pastizales naturales y la agricultura en la zona central de la región.

- Antiguo Delta del río Bermejo: es una llanura de origen aluvial que se caracteriza por presentar alternancia de albardones, interfluvios anegables, planicies disectadas por paleocuaces con cauces divagantes. Abarca una superficie de 1.748.300 has, comprende el sudeste del departamento Bermejo, el centro-sur y sur de los departamentos Patiño y Pirané y el extremo oeste del departamento Formosa. Las tierras se dedican en su mayor parte a la agricultura y en menor proporción a la ganadería sobre pastizales naturales.

- Depresión Oriental: es una amplia planicie de origen lacustre y aluvial, relieve subnormal a cóncavo. Abarca una superficie de 2.119.600 has. Es la región fisiográfica más deprimida, a través del mismo escurre toda el agua superficial del territorio provincial para finalmente verter los excedentes en el río Paraguay. Es la región más afectada por las inundaciones, se caracteriza por la alternancia de estrechos albardones de riachos con amplios interfluvios deprimidos, en estos se presentan riachos de drenaje pobre, anegables y en algunos casos afectados con sales y sodio. La vegetación de los albardones es de selva en galería y en los interfluvios se presentan pajonales y sabanas. Comprende el centro-este del departamento Patiño, el extremo norte del departamento Pirané, sur de los departamentos Pilagás y Pilcomayo, y casi la totalidad de los departamentos de Formosa y Laishí.

La Figura N° 2.9 representa las regiones fisiográficas de la provincia de Formosa.

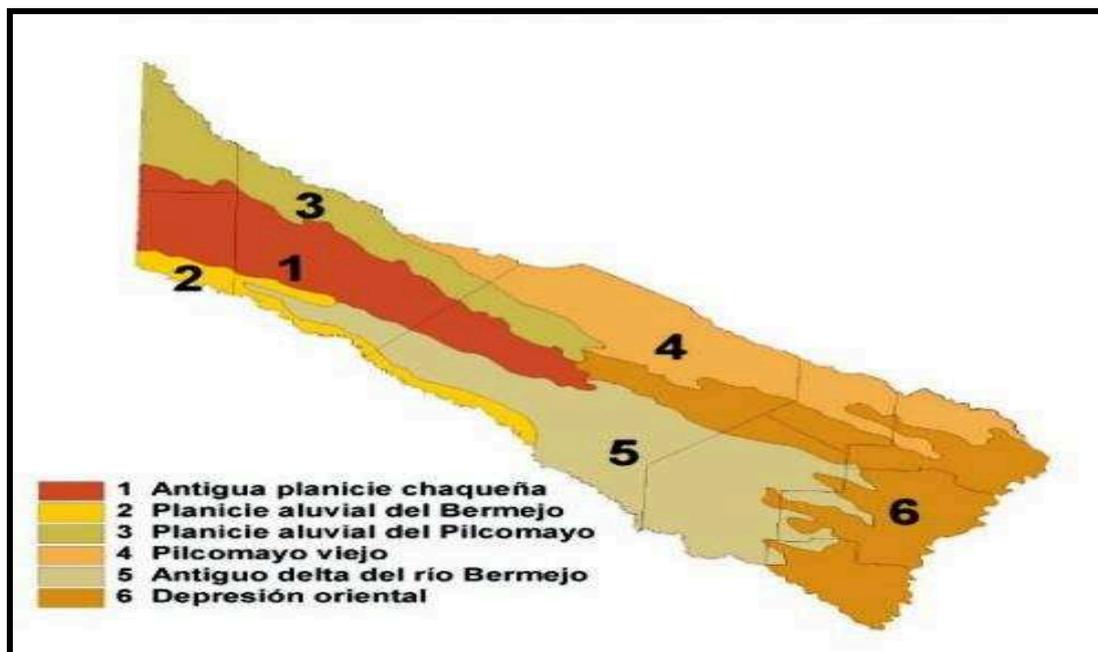


Figura N° 2.9. Mapa regiones fisiográficas (Fuente: Atlas de Suelo de la Rep. Argentina- INTA-SAGPyA. Proyecto Arg 85/019-1990)

## 2.8. Zona de estudio: descripción del sistema

La zona elegida para llevar a cabo el desarrollo de la Tesis es de interés social, económico y en el manejo de los recursos hídricos ya que constituye una de las reservas más importante de agua superficial con que cuenta la provincia de Formosa.

En esta tesis se analiza, en particular para la modelación, el Embalse RP N°28, canal derivador sur, obra partidora, canales Monte Lindo y Las Lomitas y las localidades Las Lomitas, Pozo del Tigre, Estanislao del Campo, Ibarreta y Comandante Fontana beneficiarias directas de las aguas del bañado a través de los canales mencionados.

El bañado La Estrella, tercer humedal más grande de Sudamérica, junto al gran Pantanal y los esteros del Iberá (Fundación ProYungas, 2010), representa la continuidad del río Pilcomayo en la República Argentina, en especial en la provincia de Formosa, desde su zona de atarquinamiento en las proximidades de Misión La Paz (Salta) hasta las cercanías de su desembocadura en el río Paraguay a través de distintos riachos, esteros y canales (riacho El Porteño, Hé-Hé, canal Monte Lindo).

Se encuentra en el sector centro-norte de la provincia de Formosa a 50 km de la localidad de Las Lomitas. Tiene una longitud de 350 km, con un ancho medio de 10 a 12 km, su extensión geográfica de 400.000 has aproximadamente, la velocidad de escurrimiento es de 4 a 8 km/día (Lagranja, 2004). Este ámbito geográfico constituye la principal fuente de agua superficial ocupando un 60% del territorio provincial. (Figura N° 2.10).

Dentro del bañado La Estrella, se encuentra el Complejo Hidrovial de la Ruta Provincial (RP) N° 28, el objetivo principal de la construcción de este gran embalse de llanura fue el de generar un reservorio que almacene parte de los excesos del bañado que se producen cíclicamente todos los años a través de los pulsos hídricos en el escurrimiento y proporcionar una fuente de abastecimiento artificial a poblaciones y emprendimientos locales en momentos en que los aportes del bañado cesan, ya sea por la interrupción o disminución de los caudales que trae el río Pilcomayo (principal aporte hídrico al sistema) desde Bolivia.

Según Lagranja, 2004, de no producirse el ingreso de las aguas del río Pilcomayo al territorio provincial, no se dispondría de la cantidad suficiente de agua en el bañado La Estrella para ser distribuida a la población, esto produciría la desertización de las zonas que se abastecen de este sistema hídrico. Esto se debe a que la evapotranspiración del bañado La Estrella es mayor que los valores de precipitación, siendo una evapotranspiración diaria promedio de 4 mm por día (5.840 hm<sup>3</sup> al año).

El Complejo Hidrovial cuenta con un sistema de obras hidráulicas como alcantarillas, vertederos y canales derivadores que alimentan a localidades y colonias de productores a través de la reactivación de algunos cauces antiguos de ríos y riachos. Entre las localidades que hoy son abastecidas en forma directa por las aguas de este embalse se encuentran Las Lomitas (12.399 habitantes), Pozo del Tigre (4.517 habitantes), Estanislao del Campo (4.523 habitantes), Ibarreta (9.429 habitantes), Comandante Fontana (6.615 habitantes). En las colonias vecinas el total de la población es de 15.230 habitantes. (Figura N° 2.10).

Las localidades cuentan con lagunas y/o embalses donde se almacena el agua proveniente del bañado La Estrella. El uso principal de estas aguas es para consumo humano, y en segundo lugar para agricultura y ganadería. La condiciones de la calidad de

agua no varían en las diferentes estaciones del año, además no existen industrias que contaminen sus aguas, ni pules de siembras que utilicen algún tipo de contaminante o efluente que altere la calidad del agua. Los sedimentos son insignificantes en el bañado La Estrella, el mayor volumen de ellos se ha ido depositando en cercanías de las localidades de El Potrillo y Quebracho.

El bañado La Estrella en cuanto al ambiente fluvio-lacustre permite la formación de un microclima propio que se inserta como cuña subtropical en el clima semiárido de la región centro oeste de la provincia, generando en su extenso territorio una vegetación característica de las zonas subtropicales húmedas, con bosques de alisos que colonizan bancos de arena o áreas de derrame fluvial. (Gobierno de la provincia de Formosa, 2000)

En lo que respecta a la flora y fauna, se destaca la existencia de bosques altos y bajos. El primero está conformado por algarrobo blanco y negro, quebracho colorado, mistol y palo blanco, en cuanto al bosque bajo se forma con chañar, duraznillo, vinal, itín. También es característica la presencia de vegetación acuática como totora, pirí, repollito del agua. Los exponentes más significativos en la fauna son garza blanca, cigüeña, ñandú, chajá, oso hormiguero, yacaré, carpincho, nutria, guazunchos, entre muchas especies (Fundación ProYungas, 2010).

Las funciones ecológicas que cumple el bañado le otorgan un carácter de elevada productividad, generando muchos beneficios para el hombre; siendo las principales actividades que se desarrollan en la zona la ganadería, agricultura, explotación forestal, pesca y caza. ([www.banadolaestrella.org.ar](http://www.banadolaestrella.org.ar)).

Desde el punto de vista turístico, se pueden realizar travesías náuticas, safaris fotográficos y avitaje de aves. La localidad de Las Lomitas cuenta con infraestructura hotelera para hospedar a los visitantes.

La Figura N° 2.10 muestra la ubicación del bañado La Estrella en el territorio provincial y detalle del Complejo Hidrovial RP N° 28.



## CAPÍTULO 3: ESTADO DEL ARTE

Las últimas décadas vieron nacer y prosperar una metodología de ayuda a la toma de decisiones basada en la utilización de base de datos, modelos matemáticos y también en la facilidad con la que interactúa el usuario con la computadora. Esta metodología conocida como Sistema de Soporte de Decisión (SSD) viene siendo aplicada exitosamente en diversos campos de la actividad humana, en problemas complejos como es el caso de la gestión y planificación de los recursos hídricos (La Laina Porto et al., 1997).

El término “Sistema de Soporte de Decisión” (SSD) ha sido objeto de discusiones y recibió diferentes interpretaciones en los últimos años, principalmente en el área de administración de empresas e ingeniería de sistemas. En un sentido más amplio “*cualquier herramienta*” que ayude o apoye a la toma de decisión puede ser considerada un SSD (La Laina Porto et al., 1997).

Los SSD reúnen conocimientos provenientes de tres disciplinas, la tecnología informática, la ingeniería y el gerenciamiento. La evolución de la aplicación de modelos a la resolución de problemas de recursos naturales e hídricos en particular, muestra un cambio en los objetivos de los modelos desde lo científico a lo técnico y más recientemente a la gestión y administración de los sistemas ambientales, así como un cambio paralelo en las dimensiones del análisis, de aspectos puramente técnicos a la inclusión de aspectos sociales y económicos (Bereciartua, 2003).

Según La Laina Porto et al., 1997, varios autores como Sprague y Carlson (1982), Klein y Methle (1990), Sprague y Watson (1993) Sage (1991), Guariso (1984) y Turban (1993), definen que “SSD son sistemas informáticos que tienen por objetivo ayudar a los individuos que toman decisiones en la solución de problemas no estructurales (o parcialmente estructurales)”.

Según Pilar et al., 2002, elegir una sola opción entre varias posibles y teniendo en cuenta criterios simultáneamente es, además de una tarea difícil, una fuente de potenciales conflictos.

Este tipo de situaciones viene siendo estudiado en el último cuarto de siglo por la Investigación de Operaciones, y las técnicas desarrolladas para abordar estos problemas

son conocidos como “Técnicas de análisis multiobjetivo” (Barbosa, 1997; Cohon 1978, Eppen et al., 2000). Ellas son una importante herramienta de apoyo a la decisión, en especial en problemas de interés público.

La formulación objetiva de un problema de toma de decisión es complicada por la imprecisión e incertidumbre inherentes, que crean un ambiente difuso para el decisor. Los conceptos y definiciones asociados a la optimización multiobjetivo, acertados o equivocados, buscan objetivar de alguna manera el subjetivo proceso de decisión, rompiendo con el mito de la decisión óptima en el más puro y abstracto sentido matemático. Algunos autores definen a estos métodos como una tercera alternativa a la eterna dicotomía entre el pragmatismo y el purismo académico (Barredo Cano, 1996).

A diferencia de la optimización tradicional, con una función objetivo a maximizar o minimizar, en la multiobjetivo se debe optimizar un vector y ello es imposible en teoría: en realidad, no existe una única solución óptima, sino un conjunto de soluciones que satisfacen en grado y forma diferentes los objetivos escogidos (Andreu Álvarez, 1993b; Pilar, 2011).

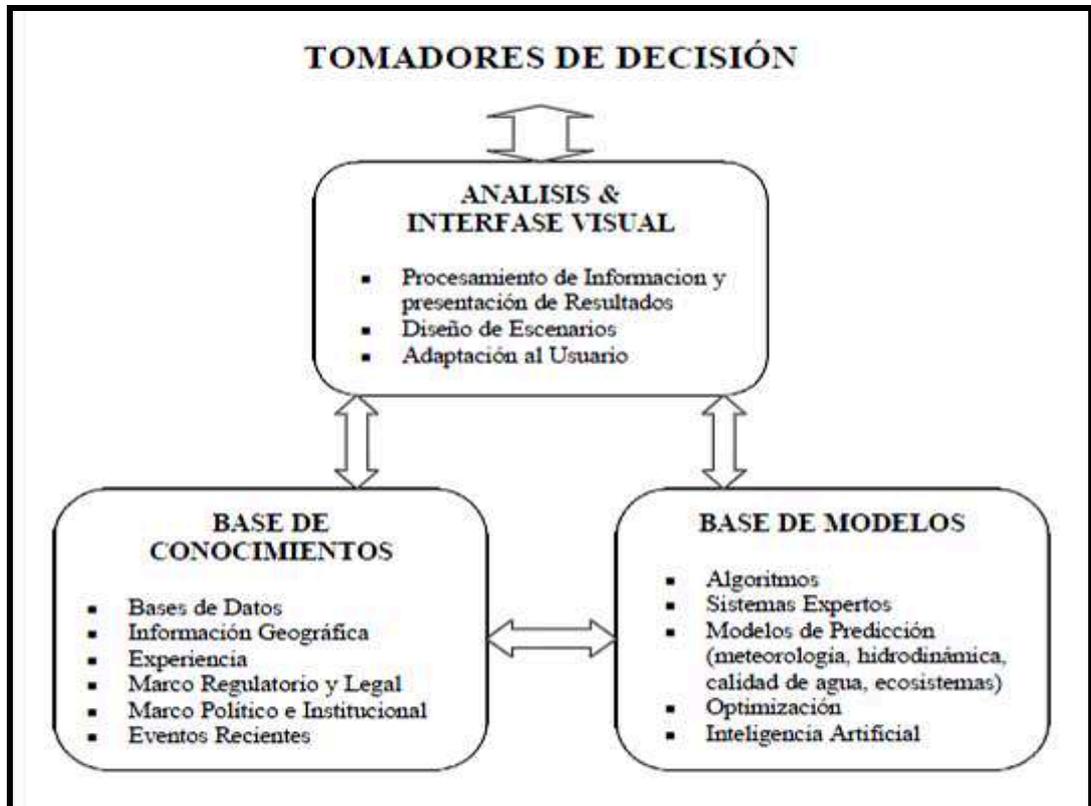


Figura Nº 3.1. Esquema conceptual de un Sistema de Soporte de Decisión (SSD) para la gestión de recursos hídricos (Fuente: Bereciartua, 2003)

La Figura N° 3.1 representa el esquema conceptual de un SSD para la gestión de los recursos hídricos (Bereciartua, 2003), agrupándose en:

- Base de conocimiento: reúne datos, información (experiencia, conocimiento) de posible utilidad para posterior análisis.

- Base de modelos: consta de una colección de modelos de simulación, sistemas expertos y algoritmos de optimización con el fin de administrar eficientemente información y generar conclusiones que sean de utilidad para la toma de decisión y la gestión eficiente de sistemas ambientales.

- Sistema de análisis e interfaz visual: concentra toda la actividad de interacción entre el usuario y el sistema, sirve para diseñar y evaluar estrategias de gerenciamiento, escenarios a futuro, realizar análisis de riesgo y evaluar costos de alternativas. Debe tener los medios para representar en forma clara y fácil de entender desde simples datos hasta resultados de sofisticados modelos matemáticos.

Según Ontiveros, 2007:

Las características de un SSD son:

- Se enfocan en procesos de decisión y no en un procesamiento de base de datos.
- Son de rápida implementación y modificación.
- Suelen ser contruidos por los propios usuarios, utilizando herramientas conocidas como por ejemplo planilla Excel.
- Aportan información valiosa y útil para la toma de decisiones.

Las capacidades de un SSD son:

- Proveer apoyo en problemas semi-estructurales y no estructurales, incluyendo decisión del usuario e información computarizada.
- Sirven de apoyo a grupos administrativos, comunales y también para el caso individual.
- Tiene una interfaz amigable con el usuario, son de fácil adaptabilidad.
- Su meta es mejorar la eficiencia de la elaboración de una decisión, a través de la utilización de modelos.
- Permite el acceso a una variedad de datos e información para mejorar las decisiones.

El proceso de desarrollo de un SSD consta de las siguientes etapas:

- Etapa 1 Necesidad: se define la visión del sistema, se establece el alcance del proyecto.
- Etapa 2 Planificación: es abordado de acuerdo a las experiencias dentro de la problemática de la gestión integral de los recursos hídricos, basados en principios de institucionalidad, gobernabilidad del agua, viabilidad técnica-económica, legislación y participación pública.
- Etapa 3 Análisis: en primer lugar el propósito es analizar el sistema en busca de una solución, definiendo la estructura preliminar del sistema, identificando los factores de riesgo del proyecto y como segundo y último propósito es elaborar un plan detallado del sistema considerando atributos y posibilidades de eficiencia, costos de instalación, infraestructura humana y material necesaria.
- Etapa 4 Diseño del SSD: consiste en elaborar los componentes básicos como ser base de datos, sistema de administración de modelos, el generador de diálogo (la interfaz) y la herramienta para la toma de decisiones. En esta etapa se define la estructura del sistema y sus especificaciones técnicas.
- Etapa 5 Implementación: se consideran las motivaciones de implementar el SSD, las ventajas y desventajas, riesgos de implementación, atributos y posibilidad de eficiencia, costos de instalación y requerimiento humano y material.
- Etapa 6 Prototipo: es la etapa en la cual el SSD diseñado y consolidado se entrega a los usuarios, incluye actividades de instalación, configuración, capacitación de usuarios, pruebas, ajustes y correcciones. Finaliza la etapa con la aceptación de los usuarios al SSD.

La implementación y puesta en funcionamiento del SSD se realiza a través de las siguientes tareas principales:

- Recolección de la información que sea útil para identificar y seleccionar los procesos.
- Disponer de una visión detallada de la cuenca, en cuanto a su funcionamiento hidrológico, sus diferentes problemáticas y las posibles soluciones para la gestión de los recursos que se encuentran en ella.
- Desarrollar un modelo conceptual de gerencia de datos, ya sea desde un sencillo análisis utilizando herramientas simple como Excel, hasta modelos matemáticos complejos, la utilización de estos modelos dependerá del tomador de decisiones.

- Definir los modelos, desde el punto de vista de almacenamiento de los datos (modelos de actualización y validación de datos) y modelos con módulos como simulación de procesos precipitación-escorrentía y transporte, de gestión integrada y de análisis económico.

- Establecer el generado de diálogo (interfaz con el usuario)

Las ventajas de un SSD son:

- Son sistemas probados, lo cual brinda seguridad en cuanto a su funcionamiento.
- Son sistemas actualizados constantemente.
- Existe una red de soporte de proveedores y consultores disponibles en caso de alguna necesidad por parte del usuario.
- Están integrados, pero a la vez formados por módulos que permiten ajustarse a la necesidad de cada problema y usuario.

Las desventajas de un SSD son:

- Requieren de una compleja tarea de personalización del software según la problemática y necesidad del usuario.
- Se genera importante dependencia del proveedor.
- No todos los módulos son satisfactorios.
- Las actualizaciones no siempre son una continuidad de los sistemas anteriores, esto obliga al usuario a adquirir las nuevas actualizaciones generando un costo al mismo.

La implementación de un SSD genera grandes beneficios, pero estos beneficios implican riesgos. Los riesgos vienen asociados a la mala evaluación y selección del modelo a implementar, de la calidad y cantidad de la información, como así también de la correcta toma de decisión por parte de los usuarios

La implementación de un SSD, es más costoso que el producto propiamente dicho. Los costos de implementación incluyen una variedad de factores, tales como escasez de personal con experiencia en el tema, el costo de encarar un proyecto enfocado hacia la reingeniería (tradicionalmente adoptado por las organizaciones implementadores) y la necesidad de las organizaciones de incrementar la infraestructura tecnológica para satisfacer la demanda de estos sistemas (Saroka, 2002).

El objetivo último de un SSD debe ser el de mejorar los procesos de planeamiento y decisión mediante la provisión de información útil y científicamente válida a los actores involucrados en la gestión del sistema, tales como gobernantes, científicos y población en general (Bereciartua, 2003).

El trabajo de científicos y expertos relacionados con la aplicación de herramientas informáticas destinadas a resolver problemas del área de la hidrología y de la gestión de los sistemas hídricos se incrementó en la última década. Prueba de ello son los numerosos sistemas computacionales desarrollados para ayudar a los hidrólogos en el diseño, planificación y explotación de un sistema hídrico (Dölling, 2001)

Algunos sistemas computacionales operativos en relación a los recursos hídricos son: ARIANE (Bakonyi P., 1993), SID (WMS) (Palmer y Tull, 1987; Palmer y Holmes, 1988), REZES (Simonovic y Savic, 1989), MHOES (Nagy et al, 1989), OASIS (Floris Vinio, Goforth, Gary F, 1990), RAISON (Lam D.C.L., Swayne D.A., 1993), ILWIS (Meijerink A.M.J, Mannaerts C.M, De Brower H.A. y Valenzuela C.R., 1993), Smallworld GIS (Ruland P, Arnaold U, Rouvé G, 1993), AQUARIUS (Diaz G y Brown T., 1997), IRAS (Interactive River and Acuífer Simulation) (Taylor M, Loucks D y French P, 1995), AQUATOOL (Andreu et al, 1996), MIKE SHE, MIKE BASIN, MIKE 11, MIKE FLOOD, MIKE 21C (DHI), SARH (Dölling Oscar, 2007) (Dölling, 2001- Ontiveros, 2007).

Otros autores como Simonovic, Slodoban, Venema, Henry D, Burn, Donald H (1992) desarrollaron una metodología que permite determinar el horizonte de operación óptimo de embalses a corto plazo. El procedimiento de operación incluye: un algoritmo de pronóstico estable, un modelo de operación de embalse a tiempo real y un algoritmo de programación multi-objetivo (Dölling, 2001).

También en el año 1993, Simonovic S.P (1993) presenta un prototipo de apoyo a las decisiones sustentables (SSD), éste permite asistir en la determinación de planes óptimos y decisiones de operación de un sistema de control de crecidas urbano. Para el mismo año, Drosen W. J. Y Geelen L. (1993) desarrollaron un modelo de lógica difusa para ecohidrología. FürstJ., Girstmair y Nachtnebel H.P., desarrollaron un sistema de apoyo a las decisiones (SSD) de manejo de aguas subterráneas en el entorno de un sistema de información geográfica (GIS) (Dölling, 2001).

A continuación se detallan algunos trabajos más relevantes a nivel internacional, regional y nacional donde se aplicaron SSD en relación a los recursos hídricos:

### **Internacionales**

En el año 1994, Andreu, Capilla y Cabezas analizaron la planificación y gestión racional de los recursos hídricos de la cuenca del Segura (España) a través del Sistema Soporte de Decisión AQUATOOL (desarrollado en la Universidad Politécnica de Valencia). Este sistema incluye módulos de optimización de cuencas (OPTIGES) y de simulación de cuencas (SIMGES).

Por su parte, Louise Korsgaard (2006) desarrolló a través del modelo MIKE BASIN y MS Excel una herramienta operativa que permite cuantificar los caudales ambientales en el contexto de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. Esto permite aplicar una simple toma de decisión a un sistema de apoyo para evaluar los diversos flujos ambientales y llegar a una distribución negociada de los mismos.

### **América del Norte**

Ortega et al. (2009), aplicó un modelo de optimización al distrito 005, localizado en Delicias (Chihuahua- México), esto permitió estimar la superficie regable y el patrón de cultivos óptimo para diferentes niveles de disponibilidad de agua que maximizaron los beneficios netos de los productores de la zona.

### **América del Sur**

En el año 2002 Aléan, presentó los procedimientos de optimización técnico-económica de los recursos hídricos en la cuenca del río Bogotá a través de la implementación de un modelo determinístico de programación lineal que utiliza la herramienta computacional MODSIM. Los resultados del modelo muestran las bondades de optimización como soporte a la toma de decisiones técnicas y económicamente factibles.

El Comité para la Gestión Integral del Agua en Bolivia (CGIAB) y el Instituto de Hidráulica e Hidrología de la Universidad Mayor de San Andrés (ihh), presentaron en el año 2005 el proyecto de regulación de derechos de agua en Bolivia. Para llevar a cabo esta investigación se utilizó el modelo MIKE BASIN, el objetivo de la investigación fue

identificar y proponer formas de regulación de los derechos de agua para el futuro marco normativo del sector hídrico en Bolivia.

En el año 2007, dentro del proyecto de manejo integrado y sustentable de los recursos hídricos transfronterizos de la cuenca del río Amazonas considerando la variabilidad climática y el cambio climático para los países de Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, Perú, Surinam y Venezuela, se elabora el informe final que contiene los términos de referencia para la elaboración y la implementación del Sistema de Apoyo a la Decisión- SAD en cada país y para el OTCA (Organización del Tratado de Cooperación Amazónica) a cargo del Dr. Miguel Ontiveros. El objetivo principal del trabajo se basó en las prioridades y necesidades de los países que comparten la cuenca amazónica, los que destacaron conjuntamente la necesidad de establecer un marco de acción común en la cuenca del río Amazonas para lidiar cooperativamente con los principales problemas ambientales que alcanzan la cuenca y afectan a los países que forman parte de ella. Las actividades planteadas incluyeron la identificación e implementación de acciones y programas para proteger y conservar el agua del río y sus ecosistemas asociados, el manejo integrado y participativo para que oportunidades y alternativas para futuras generaciones sean garantizadas.

Por su parte en el año 2008, los Ingenieros Jorge Molina Carpio y Rodolfo Cruz Flores, presentan el Informe Final acerca de los “Escenarios de uso y asignación del agua en la cuenca de los ríos Mauri y Desagüadero”, en el cual el objetivo principal del trabajo fue la de aplicar un modelo de gestión de agua en la cuenca, en este caso el modelo de gestión empleado fue el MIKE BASIN, modelo que permitiera conocer las implicaciones ambientales y sociales (derechos de agua) de las actuales y futuras obras proyectadas para el aprovechamiento hídrico en la cuenca del río Mauri. (Bolivia)

La Universidad Católica de Chile, el Centro de Cambio Global y el Stockholm Environment Institute en el año 2009, aplicaron el modelo WEAP como una herramienta de apoyo a la planificación de los recursos hídricos balanceando la oferta (generada a través de módulos físico de tipo hidrológico a escala de cuenca) con la demanda (caracterizada por un sistema de distribución de variabilidad espacial y temporal con diferencias en las prioridades de demanda y oferta) y utiliza diferentes escenarios para

evaluar diferentes esquemas de distribución del recurso. Caso de estudio río Paute (Ecuador).

En el año 2011, Rodolfo Cruz Flores aplica el modelo de gestión MIKE BASIN a la cuenca del Pucara (Cochabamba-Bolivia). El principal objetivo de la aplicación del modelo a la cuenca fue la de establecer un modelo de asignación del agua, con el fin de valorar algunos aspectos como ser la distribución de agua, el potencial y el balance hídrico. Se determinó dentro de la cuenca cual es la zona con más fuentes de agua y con menor déficit hídrico.

### **Argentina**

Dölling en el año 2000, aplicó el Modelo SARH (Sistema de Apoyo a la Gestión de los Recursos Hídricos) a la cuenca del río San Juan, permitiendo de esta manera resolver los problemas de distribución a nivel operativo (escala de tiempo horaria), táctico (escala de tiempo diaria o semanal) y de planificación (escala de tiempo mensual o anual) de un sistema hídrico complejo.

Jensen et al., presentan en el año 2000 el informe final sobre el “Diagnóstico de inundación en la región noreste de la provincia de La Pampa, Argentina”. El modelo utilizado para realizar el trabajo fue el modelo hidrológico MIKE SHE, el cual permitió evaluar las medidas de alivio propuestas. También se simuló hidrológicamente el impacto de los diferentes escenarios de mitigación propuestos. Las medidas de alivio se contrastaron entre sí mediante un análisis económico con el objeto de evaluar a nivel de prefactibilidad la intervención con mejor relación costo-beneficio.

En el año 2002, Vives et al., presentan una metodología para la gestión de información hidrológica a través de un Sistema Soporte de Decisión (SSD) que permite almacenar toda la información de una cuenca hidrográfica y ser consultada o ampliada de forma remota, como una herramienta fundamental para uso de todos los organismos o personas involucradas en el estudio de los recursos hídricos o en la gestión sustentable del mismo. La aplicación se emplea exitosamente en la cuenca del arroyo del Azul, y han propuesto extenderla al Sistema del Acuífero Guaraní SAG.

Badano en el año 2010, presenta como Tesis de grado: “Modelación integrada de grandes cuencas de llanura con énfasis en la evaluación de inundaciones” caso de estudio

cuenca del río Salado del Sur (provincia de Buenos Aires), implementó el software comercial MIKE SHE para el desarrollo del modelo hidrológico distribuido en la región noroeste de la cuenca del río Salado, en particular la sub-cuenca cuyo emisario resulta el río Salado a la altura de la ciudad de Junín. El objetivo fundamental del trabajo fue el desarrollo de una herramienta que permita avanzar en la comprensión de la dinámica de la cuenca de estudio, fundamentalmente en la relación existente entre la dinámica del agua subterránea, superficial y la aparición de inundaciones. El desarrollo de este tipo de herramienta de modelación es importante para la gestión hídrica, permitiendo evaluar el efecto de distintas estrategias de manejo, el de posibles obras hidráulicas y el de estimar la respuesta hidrológicas a variaciones en condiciones naturales o antrópicas.

El Instituto Nacional del Agua (Laboratorio de Hidráulica) presenta en el año 2012 la “Evaluación de las inundaciones y las obras de drenaje en la cuenca del Salado (prov. Buenos Aires) mediante modelación numérica”. El proyecto estuvo a cargo del Dr. Menéndez, se utilizó el sistema de modelación MIKE SHE. La aplicación del modelo permitió diagnosticar problemas de inundación pasados y presentes y también analizar la efectividad de las obras de drenaje ejecutadas y previstas. El modelo matemático Hidrológico-Hidráulico de la cuenca del Salado, permitió obtener importantes conclusiones relativas a la gestión de cuenca y ha puesto en evidencia el funcionamiento hidráulico de la misma. Se destaca que las crecidas extraordinarias evidencian la baja capacidad de drenaje de la cuenca, el agua de las precipitaciones se acumula en los bajos y sólo al llegar a su capacidad de almacenamiento el agua drena buscando depresiones. La limitación de la estrategia de drenaje basada en canalizaciones ha hecho que en la práctica los esfuerzos de control de inundaciones se hayan dirigido en su mayoría a la defensa de pueblos y ciudades, y en menor medida a las inundaciones en campos productivos.

En el Congreso Nacional del Agua del año 2013, Cardini et al., presentan los resultados de la “Modelación hidrológica de la cuenca del río Areco”, en este caso se implementó un sistema de modelación que integra módulos MIKE SHE y MIKE 11. El objetivo principal del trabajo fue de estudiar el funcionamiento de la cuenca hídrica del río Areco, para finalmente poder evaluar la influencia que las canalizaciones y profundizaciones de vías de escurrimiento naturales pueden tener en los eventos de crecida, así como el impacto de posibles obras de infraestructura a realizarse como medida para minimizar la extensión y duración de inundaciones.

## **CAPÍTULO 4: PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN Y DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA**

Las etapas para obtener la información básica fueron de recopilación, análisis, depuración y procesamiento. La recopilación se realizó en organismos públicos y privados entre los que se encuentran:

- Unidad Provincial Coordinadora del Agua (Formosa)
- Ministerios de la Comunidad, de Producción y Ambiente (Formosa)
- Servicio Provincial de Agua Potable (Formosa),
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC)
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)
- Instituto Geográfico Nacional (IGN)
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI Bolivia)
- Comisión Trinacional de la cuenca del río Pilcomayo

La información utilizada en el desarrollo de la Tesis comprende 4 ítems que se detallan a continuación:

• Información social y ambiental: indicadores de calidad de vida de los habitantes de la zona de estudio y cantidad de habitantes (Censo 2010).

• Información planialtimétrica e imágenes satelitales: relevamientos topográficos, curvas de nivel del bañado La Estrella (escala 1:100, equidistancia 0,25m) y perfiles topográficos de los canales Monte Lindo y Las Lomitas. Imágenes satelitales.

• Información de las obras existentes: cantidad y capacidad de almacenamiento de las mismas. Red de canales derivadores, obras de toma, alcantarillas, compuertas y reservorios en zonas urbanas y rurales.

• Información meteorológica e hidrométrica: aforos Embocadura y bañado La Estrella. Caudales diarios estación Misión La Paz. Niveles diarios de las escalas de las estaciones Misión La Paz, Fortín Soledad, Punta del Agua, vertedero RP N° 28, progresiva 35,500 km (inicio canal Embalse RP N° 28-obra partidora). Precipitaciones diarias de las estaciones meteorológicas ubicadas dentro del bañado La Estrella.

## 4.1. Información social y ambiental

La población, según datos del Censo 2010, en las diferentes localidades dentro de la zona de estudio se detalla a continuación en la siguiente tabla.

La información complementaria a la población se encuentra en el Anexo II Tablas.

La Tabla N° 4.1 muestra la variación poblacional de las localidades de la zona de estudio, según datos del Censo 2010.

Tabla N° 4.1. Habitantes localidades de la zona de estudio (Fuente: INDEC: Censo 2010)

<b>Municipio-Localidad</b>	<b>Varón</b>	<b>Mujer</b>	<b>Población</b>
Comandante Fontana	3.231	3.384	6.615
Estanislao del Campo	2.186	2.337	4.523
Ibarreta	4.639	4.790	9.429
Las Lomitas	61.42	6.257	12.399
Pozo del Tigre	2.274	2.243	4.517
<b>Total</b>			<b>37.483 habitantes</b>

## 4.2. Información planialtimétrica e imágenes satelitales

La información planialtimétrica proporcionada por las diferentes instituciones para el período de estudio, constan de:

- Perfiles longitudinales y transversales de los canales Monte Lindo y Las Lomitas.
- Curvas de nivel bañado La Estrella.
- Las imágenes se visualizaron a través del sitio web <http://landsatlook.usgs.gov/viewer.html>, las imágenes utilizadas fueron Landsat 4-5TM (1982-2011).

## 4.3. Información de las obras existentes

La Figura N° 4.1 muestra el programa de manejo de los recursos hídricos de la provincia de Formosa, destacando los objetivos de las diferentes obras.

Por su parte la Figura N° 4.2 muestra el detalle de las obras del bañado La Estrella.

La Figura N° 4.3 representa el esquema del funcionamiento del bañado La Estrella, utilizado en la modelación y que sirve de base para la comprensión del mismo.



Figura N° 4.1. Programa provincial de manejo de los recursos hídricos-sistema río Pilcomayo-bañado La Estrella (línea punteada roja) (Fuente: Unidad Provincial Coordinadora del Agua)

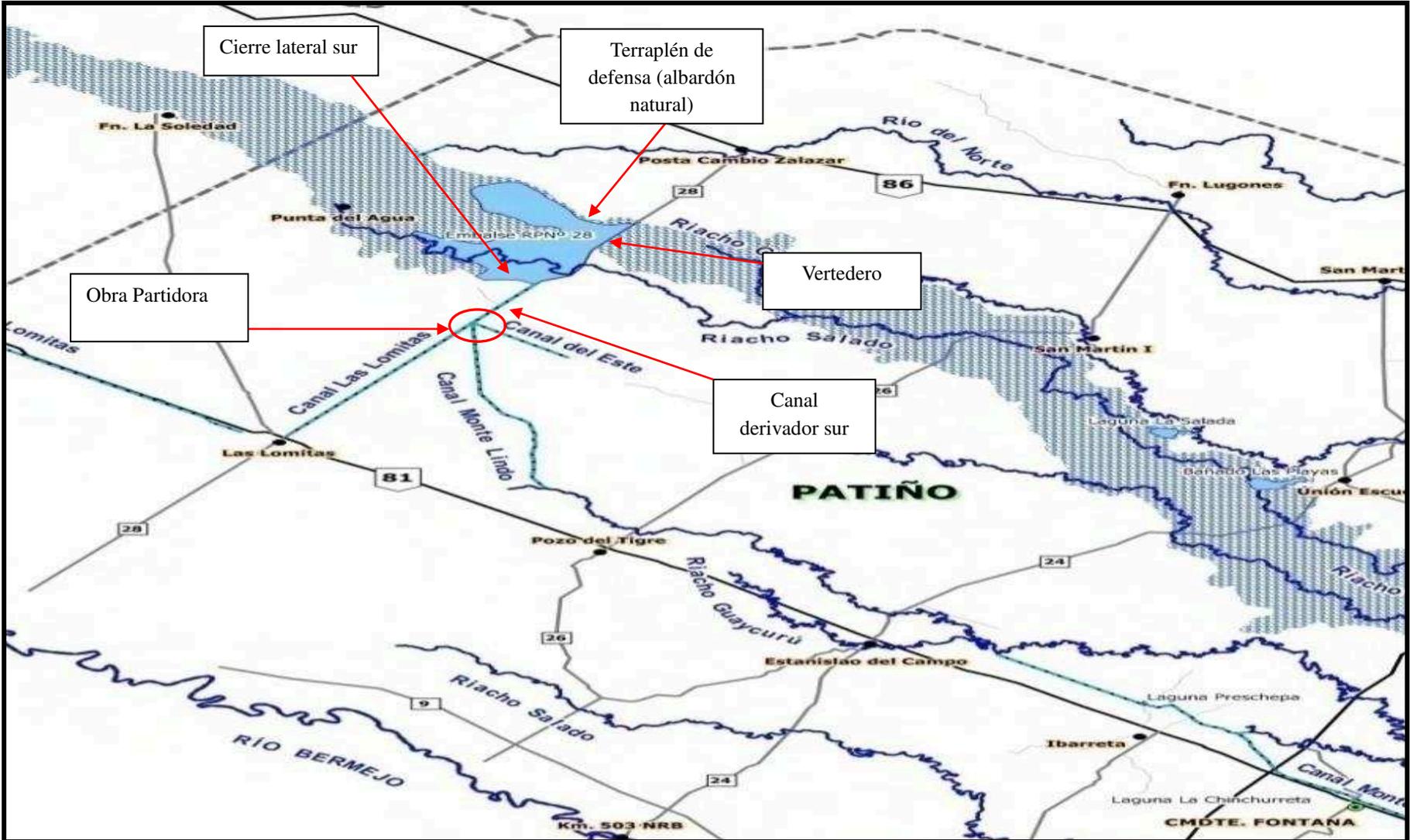


Figura N° 4.2. Obras Complejo Hidrovia RP N° 28 (Fuente: Unidad Provincial Coordinadora del Agua)

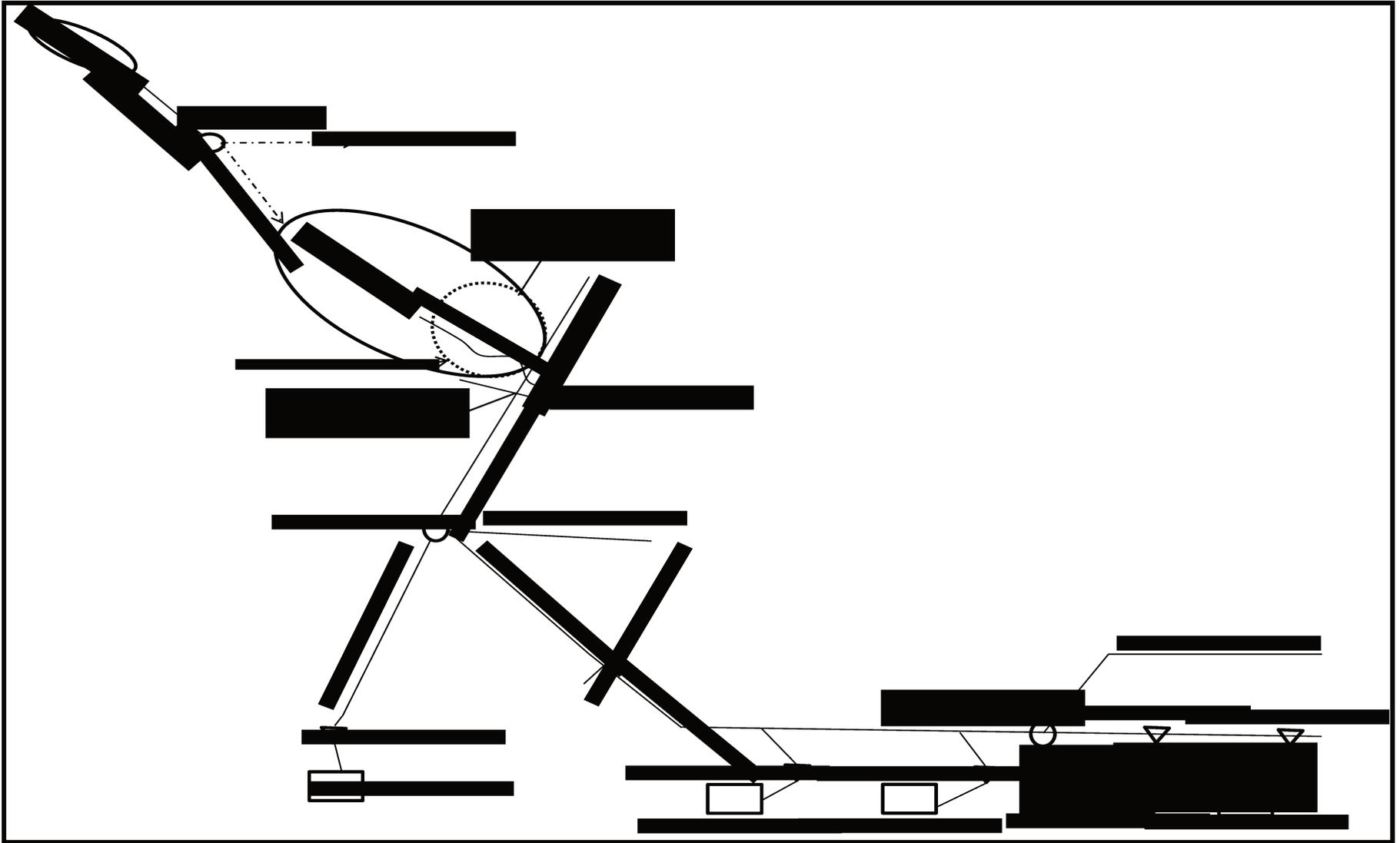


Figura N° 4.3. Esquema de funcionamiento bañado La Estrella (Elaboración propia)

## Obras Complejo Hidroviál RP N° 28

Como se explicó anteriormente el Complejo Hidroviál RP N° 28 cuenta con obras hidráulicas que permiten almacenar y distribuir el agua del bañado La Estrella, como así también la transitabilidad de la RP N° 28.

A continuación se describen las principales características de las obras como o así también su función (Gobierno de la provincia de Formosa, 2000):

**Terraplén de defensa norte (albardón natural):** este terraplén cumple dos funciones, una es la embalsar agua en el Embalse RP N° 28, y la otra es que sirve como defensa para evitar el desborde del Embalse RP N° 28 e inunde las localidades aledañas al mismo. Está formado por un albardón natural cuyo nivel altimétrico es superior a los niveles máximos de embalse.

**Cierre lateral Sur:** el rol fundamental para el cual fue ejecutado este cierre es contener los desbordes en el sector sur del embalse. Este cierre lateral es sentido este-oeste y se inicia en la progresiva 35,500 km del cierre frontal. Tiene una longitud aproximada de 10 km.

1.Cota de coronamiento de la presa=	132,30 m
2.Ancho de coronamiento de la presa=	6 m
3.Talud aguas arriba y abajo =	1:2

Parámetros de diseño- cierre Frontal (de Prog. 35,500 a Prog. 51,700)

1.Cota de coronamiento de la presa:	
De Prog. 35,500 a Prog. 43,000 =	132,30 m
De Prog. 43,000 a Prog. 51,700 =	132,00 m
2.Cota rasante de camino =	131,00 m
3.Ancho de coronamiento de la presa=	4,00 m
4.Ancho calzada del camino =	8,00 m
5.Talud aguas arriba =	1:2,5
6.Talud aguas abajo =	1:2

**Vertedero:** el diseño adoptado es vertedero tipo trapecial, resultando ser más seguro ante cualquier accidente vial. Este diseño se debe a que anterior a la construcción del puente, el vertedero estaba emplazado sobre la traza de la RP N° 28, es decir el tránsito circulaba sobre el vertedero. Se encuentra ubicado entre el terraplén de defensa norte y el riacho salado, a 50 km de la localidad de Las Lomitas. La finalidad del mismo es la de evacuar el caudal excedente cuando el Embalse RP N° 28 llega a su máxima capacidad de almacenamiento y también para realizar aforos.

**Obras complementarias de evacuación:** el objetivo de estas obras es permitir la descarga de los excedentes hídricos del bañado La Estrella, las mismas se encuentran emplazadas en las progresivas 38,800 km, 42,026 km y 47,300 km.

La descarga de las alcantarillas de las progresivas 42,026 km y 47,300 km, se producirá de forma directa al valle del bañado La Estrella, en el caso de la primera la función es conducir los caudales evacuados hacia el riacho Salado.

**Obras de derivación Sector Sur:** consisten en un conjunto de obras con los siguientes elementos:

- a) Canal de aporte y obra de toma emplazada en el cierre lateral sur.
- b) Canal derivador sur.
- c) Obra partidora o distribuidor de caudales.
- d) Canales distribuidores hacia el sur (canal Las Lomitas y Monte Lindo) y hacia el este (canal del Este).

**a) Canal de aporte (dentro del embalse) y obra de toma emplazada en el cierre lateral sur:** consiste en un canal de aporte dentro del Embalse RP N° 28 que une el cauce del riacho Salado con la obra de toma, su longitud es aproximadamente de 3 km. La obra de toma consiste en una alcantarilla (progresiva 35,500 km) que permite conducir las aguas desde el Embalse RP N° 28 hacia la obra partidora.

Parámetros hidráulicos de diseño- canal de Aporte

1. Caudal mínimo=	4,35 m <sup>3</sup> /s
2. Caudal máximo=	15 m <sup>3</sup> /s
3. Ancho de solera=	20 m
4. Pendiente longitudinal=	5 ‰
5. Talud de las paredes=	1: 1,5
6. Coeficiente de rugosidad=	0,025
de Manning	

**b) Canal derivador sur:** este canal tiene la finalidad de conducir los volúmenes embalsados en el Embalse RP N° 28 hacia la obra partidora de caudales, su traza es paralela a la RP N° 28 y su longitud aproximada de 10 km.

Parámetros hidráulicos de diseño- canal Derivador Sur

1. Caudal máximo de conducción=	15 m <sup>3</sup> /s
2. Ancho de solera=	15 m
3. Pendiente =	0,10‰
4. Talud de las paredes=	1: 1,5
5. Coeficiente de rugosidad=	0,025
de Manning	
6. Tirante máximo =	1,70 m
7. Ancho de coronamiento=	4,00 m

**c) Distribuidor de caudales (obra partidora):** esta obra tiene la doble finalidad de distribuir los caudales transportados por el canal derivador hacia los canales Monte Lindo, del Este y Las Lomitas, permitiendo también el tránsito vehicular en la RP N° 28.

La obra consiste en una embocadura de sección transversal rectangular de 15 m de solera, desarrollada en un cuarto de sección de círculo con un radio de 25,5 m de su eje longitudinal, una alcantarilla de luces múltiples compuesta de 5 vanos de 3,00 m cada uno, de los cuales 4 de ellos alimentaran el canal Monte Lindo y el restante al canal del Este y un canal de unión entre el primero y la alcantarilla, de sección rectangular de 12,00 m de ancho que se desarrollara en planta en un cuarto de círculo con radio de 21,00 m en su eje longitudinal. En el caso del canal a Las Lomitas, la cantidad de vanos es de 4, y de dimensiones similares a la descripta para los otros canales.

Las paredes de los canales de embocadura y de unión están conformadas por muros de sostenimientos de hormigón armado y la solera revestida con un revestimiento compuesto por geo-celdas rellenas con hormigón simple.

**d) Canales distribuidores Monte Lindo, del Este y Las Lomitas:** a partir de la obra distribuidora nacen los canales que alimentan las áreas de explotación del proyecto. El canal Monte Lindo tiene una traza de 33 km de longitud en sentido sureste, desde obra partidora hasta el cauce del riacho Monte Lindo, y conduce las aguas provenientes del Embalse RP N° 28 hacia las localidades de Pozo del Tigre, Estanislao del Campo, Ibarreta y Comandante Fontana. El canal del Este tiene una longitud de 10.000 m con dirección oeste-este y tiene la finalidad de conducir los volúmenes líquidos en su correspondiente área de desarrollo situada aguas abajo de la RP N° 28.

El canal a Las Lomitas, es un canal cuya traza es paralela a la RP N° 28, tiene una longitud aproximada de 26,3 km. Este canal fue construido para abastecer de agua del Embalse RP N° 28 a la localidad de Las Lomitas, su capacidad de conducción es de 1m<sup>3</sup>/s.

Los canales proyectados de tierra y sección transversal trapecial han sido diseñados con los siguientes parámetros hidráulicos:

Parámetro	Canal aporte Monte Lindo	Canal aporte Este
1. Caudal de diseño	9,00 a 12,00 m <sup>3</sup> /s	3,00 m <sup>3</sup> /s
2. Tirante de diseño	1,25 m	1,10 m
3. Ancho de solera	15,00 m	4,00 m
4. Pendiente longitudinal	0,10‰	0,20‰
5. Talud de las paredes	1:1,5	1:1,5
6. Coeficiente de rugosidad de Manning	0,025	0,025

A continuación se muestran figuras de las obras descritas precedentemente con la finalidad de una mejor comprensión.

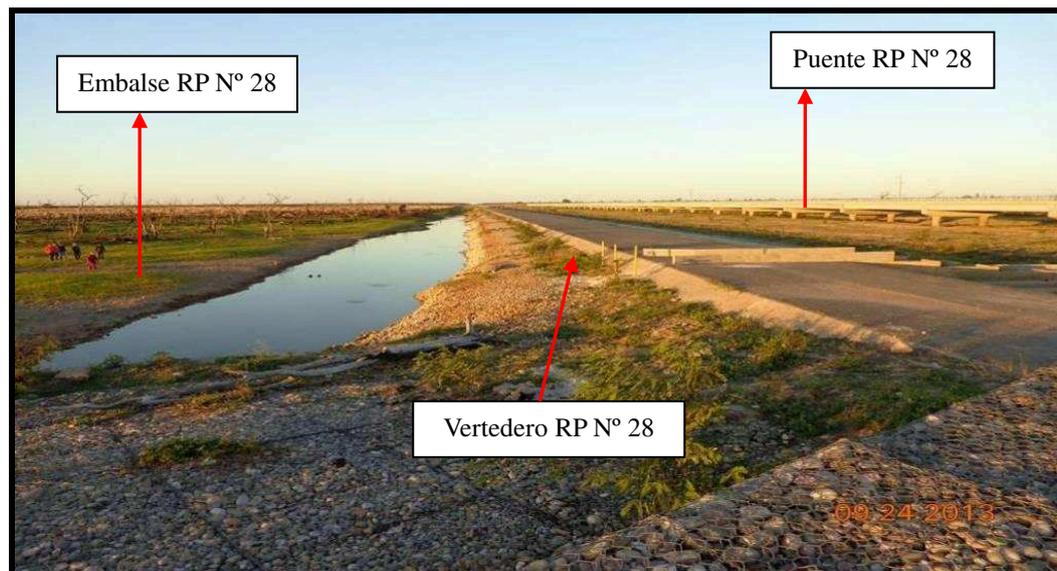


Figura N° 4.4. Complejo Hidrovia RP N° 28- zona de Embalse- vertedero y puente RP N° 28

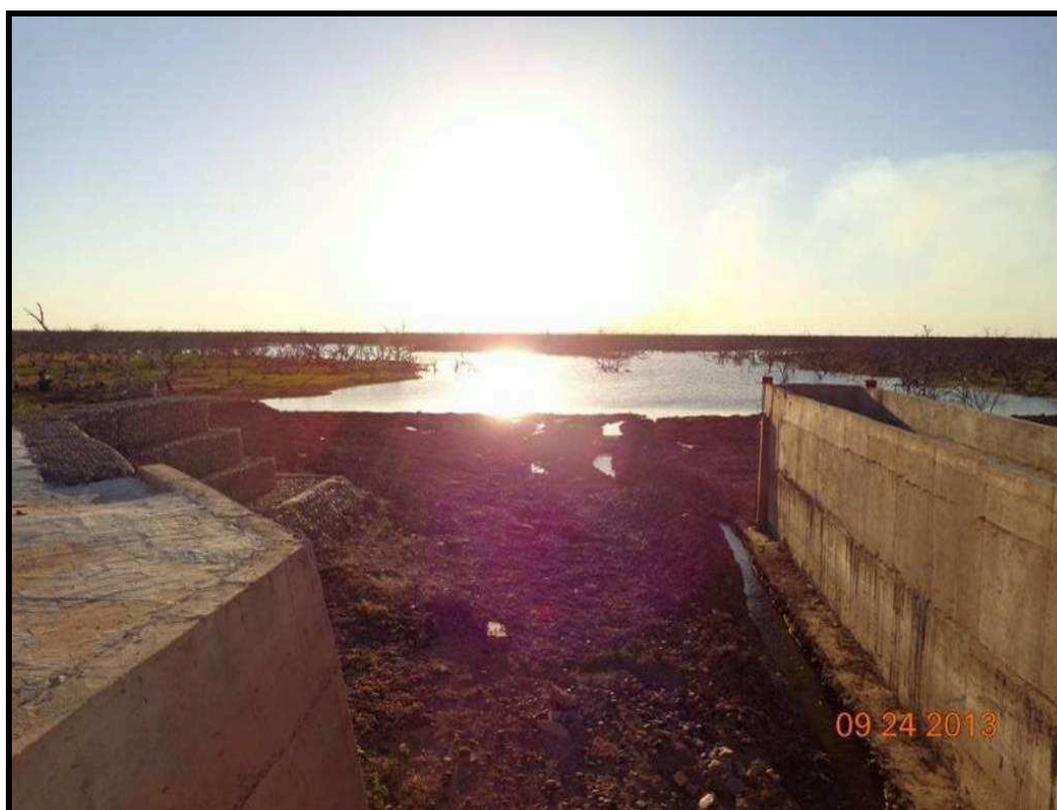


Figura N° 4.5. Riacho Salado (vista hacia aguas arriba)



Figura N° 4.6.Compuertas riacho Salado



Figura N° 4.7.Canal Embalse RP N° 28-obra partidora (vista hacia aguas arriba)

(Fuente: Schneider-Ferreira)

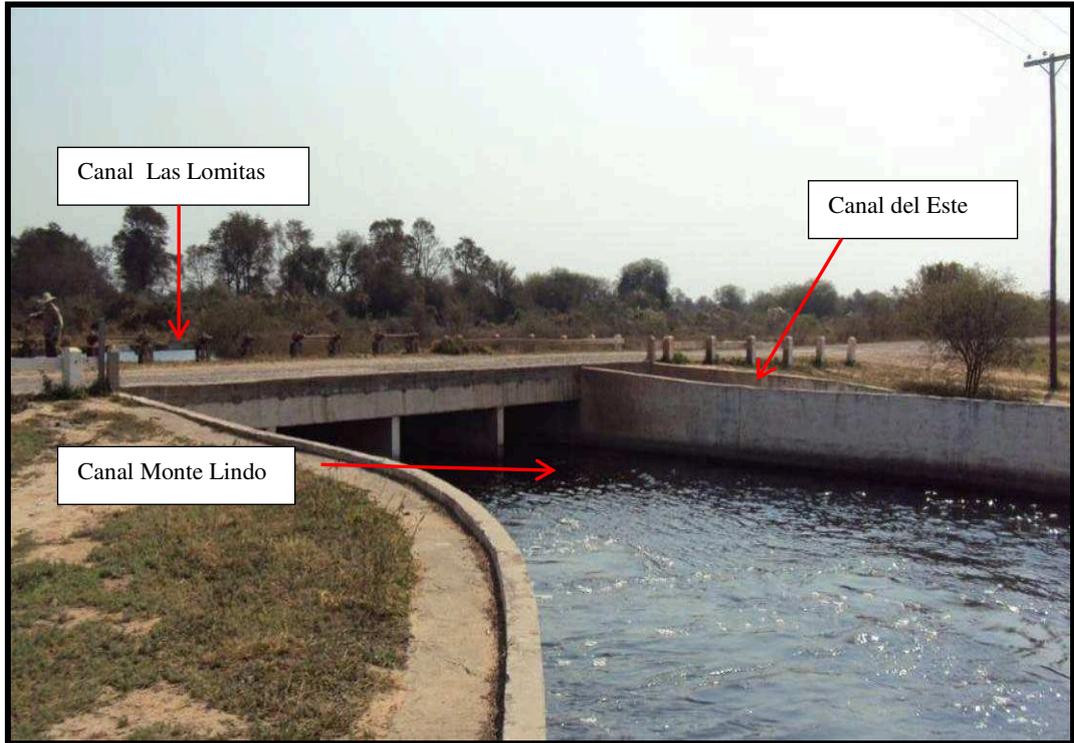


Figura N° 4.8. Obra partidora (canal Monte Lindo, del Este y Las Lomitas)



Figura N° 4.9. Obra partidora (canal Monte Lindo, del Este-vista hacia aguas abajo)



Figura N° 4.10. Compuertas canal Las Lomitas



Figura N° 4.11. Canal Las Lomitas (vista hacia aguas abajo)

Dentro de las localidades beneficiadas directamente con las aguas del bañado La Estrella mediante las obras del Complejo Hidrovial RP N° 28, se tienen:

- Las Lomitas
- Pozo del Tigre
- Estanislao del Campo
- Ibarreta
- Comandante Fontana

Una breve descripción de las mismas se realiza a continuación.

### **Las Lomitas**

Características generales: se encuentra situada en el centro oeste de la provincia de Formosa, en el departamento Patiño a 300 km de la capital provincial, junto a la localidad de Ingeniero Juárez son los principales centros de asentamientos del oeste de la provincia.

Se caracteriza por su legendario “Madrejón” y además se tiene a 40 km el bañado La Estrella.

La población según datos del Censo 2010 es de 12.399 habitantes, representando esto un incremento del 20% frente a los 10.354 habitantes para el año 2001, situándola esta cifra como la sexta ciudad más grande a nivel provincial.<sup>1</sup>

Recursos hídricos: la planta de agua potable se alimenta de dos canales uno proveniente de Laguna Yema (canal de hormigón) y otro canal del bañado La Estrella (canal de tierra).

La planta funciona hace 32 años y la capacidad de la bomba es de 100 m<sup>3</sup>/h, en épocas de estiaje se suministra a la población agua potable una vez a la mañana y otra a la tarde. Tiene una cisterna de 300.000 L. La capacidad de almacenamiento actual del embalse (o reservorio) y del madrejón es aproximadamente de 0,206 hm<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> [https://es.wikipedia.org/wiki/Las\\_Lomitas](https://es.wikipedia.org/wiki/Las_Lomitas) - <http://www.laslomitas.gob.ar/>

En la visita a la planta en el mes de julio de 2013, el encargado manifestó que hacía tres semanas que la planta no se alimentaba del agua proveniente del bañado La Estrella, contaban con cinco perforaciones funcionando las 24 horas, de las cuales se suministraba agua a la población.

Los encargados de la planta son Ramón Ángel Sayago y Simón Rojas.

La Figura N° 4.12 muestra la ubicación dentro del territorio provincial, de la localidad de Las Lomitas y su sistema de aprovechamiento de las aguas del bañado La Estrella.



Figura N° 4.12. Mapa ubicación local de Las Lomitas

(Fuente: Google Earth, 2013)



Figura N° 4.13. Planta de agua potable Las Lomitas (tanque de distribución)

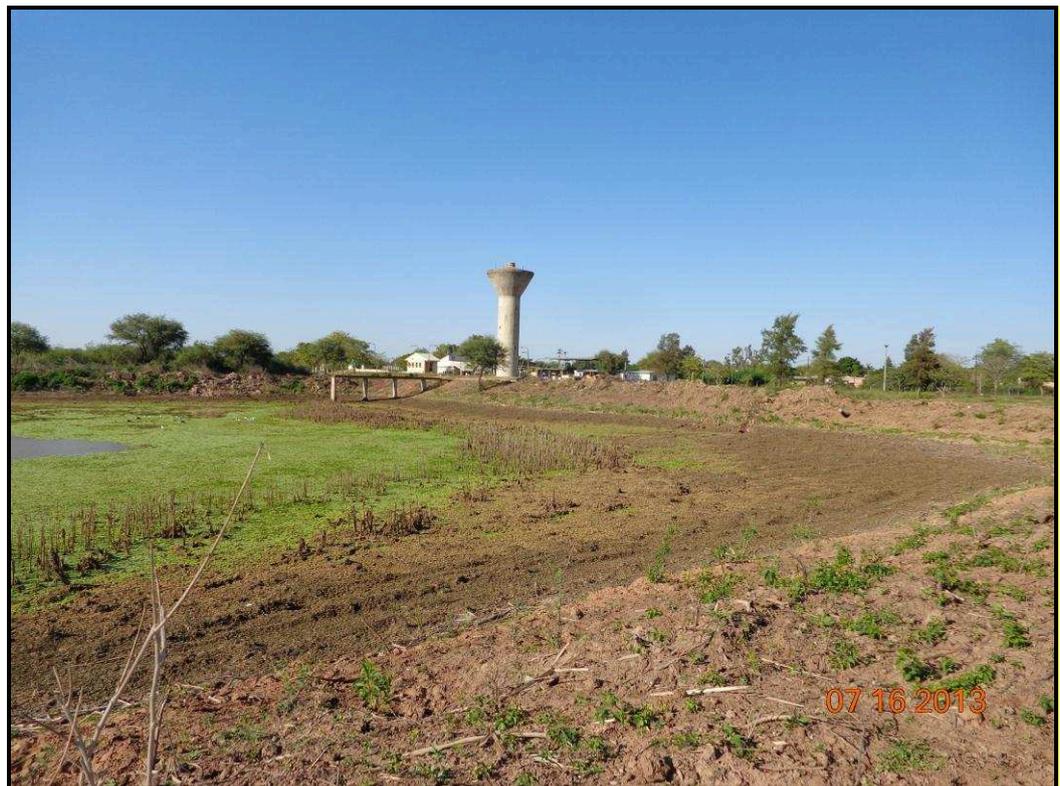


Figura N° 4.14. Embalse y planta de agua potable Las Lomitas



Figura N° 4.15. Embalse Las Lomitas



Figura N° 4.16. Madrejón Las Lomitas (vista desde RN N° 81 hacia aguas arriba)

## **Pozo del Tigre**

Características generales: se encuentra situada sobre la RN N° 81 a 263 km de la capital provincial.<sup>2</sup>

La población según datos del Censo 2010 es de 4.517 habitantes.

Recursos hídricos: la planta de agua potable se alimenta de las aguas del bañado La Estrella inicialmente a través del canal Monte Lindo, este canal va desde la obra partidora hasta La Alcoba (aguas arriba de Pozo del Tigre), desde La Alcoba hacia agua abajo el Monte Lindo sigue su curso natural como riacho. Se bombea desde dicho canal el agua y se la conduce a través de caños de 250 mm de diámetro hasta el embalse, el acueducto que transporta las aguas desde el riacho Monte Lindo a la planta potable tiene una longitud de 5 km. Se aprovecha el agua pluvial la cual es almacenada en una represa contigua a la de la planta.

La capacidad de almacenamiento actual del embalse es aproximadamente de 0,35 hm<sup>3</sup>. La cisterna tienen una capacidad de 460.000 L, la bomba genera 80 m<sup>3</sup>/h.

No existen perforaciones que permitan tener agua en época de estiaje. En época de crecida y de mucho almacenamiento dotaron a la población de agua potable durante 18 horas corridas.

La planta de agua potable funciona hace 30 años, fue reformada en los años 1994 y 2010 de ésta última aún no se inauguró. El encargado es Miguel Palomo.

En la visita de julio de 2013 se pudo comprobar que traían agua de Las Lomitas en camiones cisternas de capacidad de 30.000 L, los cuales realizaban hasta cinco viajes al día. Y además que hacía cuatro días que no proveían a la población de agua potable.

La Figura N° 4.17 muestra la ubicación dentro del territorio provincial de la localidad de Pozo del Tigre y su sistema de aprovechamiento de las aguas del bañado La Estrella.

---

<sup>2</sup> [https://es.wikipedia.org/wiki/Pozo\\_del\\_Tigre](https://es.wikipedia.org/wiki/Pozo_del_Tigre)

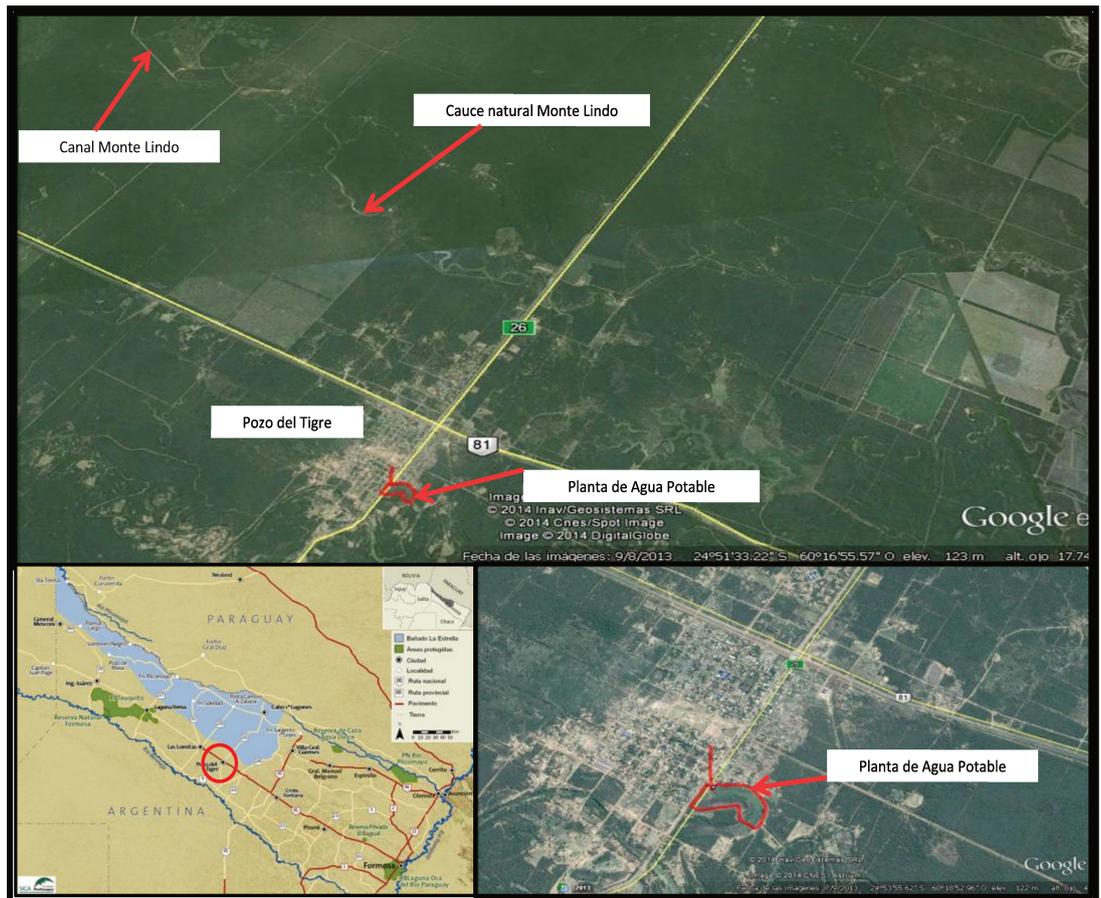


Figura N° 4.17. Mapa ubicación localidad de Pozo del Tigre  
(Fuente: Google Earth)

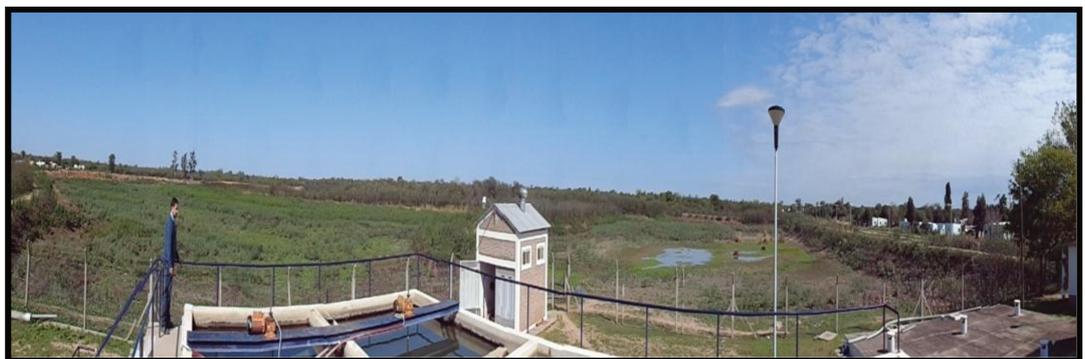


Figura N° 4.18. Vista panorámica planta de agua potable y embalse Pozo del Tigre



Figura N° 4.19. Planta de agua potable Pozo del Tigre (tanque de distribución)



Figura N° 4.20. Vista panorámica embalse Pozo del Tigre



Figura N° 4.21. Caños (conducen el agua desde el riacho Monte Lindo al embalse Pozo del Tigre)

## **Estanislao del Campo**

Características generales: se ubica a 234 km de la ciudad capital, sobre la RN N° 81.

La población según datos del Censo 2010 es de 4.523 habitantes.

Es una población forestal y productiva en el rubro carpinterías y fabricación de muebles de algarrobo, asentadas en adyacencias al Ferrocarril General Belgrano, factor que le dio vida en sus orígenes.<sup>3</sup>

Recursos hídricos: la planta de agua potable funciona desde el año 1974, con la última refacción realizada en el año 2008. El funcionamiento de la planta es de 18 horas diarias, dotando a la población de agua potable durante 2 ½ horas una sola vez al día.

La capacidad de la bomba es de 100.000 L/h, el tanque es de 80.000 L y la cisterna tiene una capacidad de 750.000 L.

El embalse se encuentra a 1.5 km de la planta, el agua proviene desde el riacho Monte Lindo a través de un canal a cielo abierto hasta el embalse, desde dicho embalse a la planta es conducida el agua a través de un acueducto. La capacidad de almacenamiento actual del embalse es aproximadamente de 0,102 hm<sup>3</sup>.

Posterior al año 2011 se realizaron trabajos en el embalse, estos trabajos consistieron en incrementar la capacidad de almacenamiento, pero sin aumentar el porcentaje de ingreso de agua al mismo. La capacidad de almacenamiento aumentó 2,10 veces respecto a la capacidad para el período 2005/2006-2010/2011.

Al momento de la visita en julio de 2013, traían agua de la ciudad de Las Lomitas, en ocho camiones cisternas cuyas capacidades variaban entre 20.000 L y 30.000 L, realizando dos a tres viajes al día.

Proveen de agua a la comunidad aborigen Juan Bautista Alberdi, donde el agua se deposita en aljibes comunitarios.

---

<sup>3</sup> <http://www.estanislaodelcampo.gob.ar/> - [https://es.wikipedia.org/wiki/Estanislao\\_del\\_Campo\\_%28Formosa%29](https://es.wikipedia.org/wiki/Estanislao_del_Campo_%28Formosa%29)

La Figura N° 4.22 muestra la ubicación dentro del territorio provincial, de la localidad de Estanislao del Campo y su sistema de aprovechamiento de las aguas del bañado La Estrella.

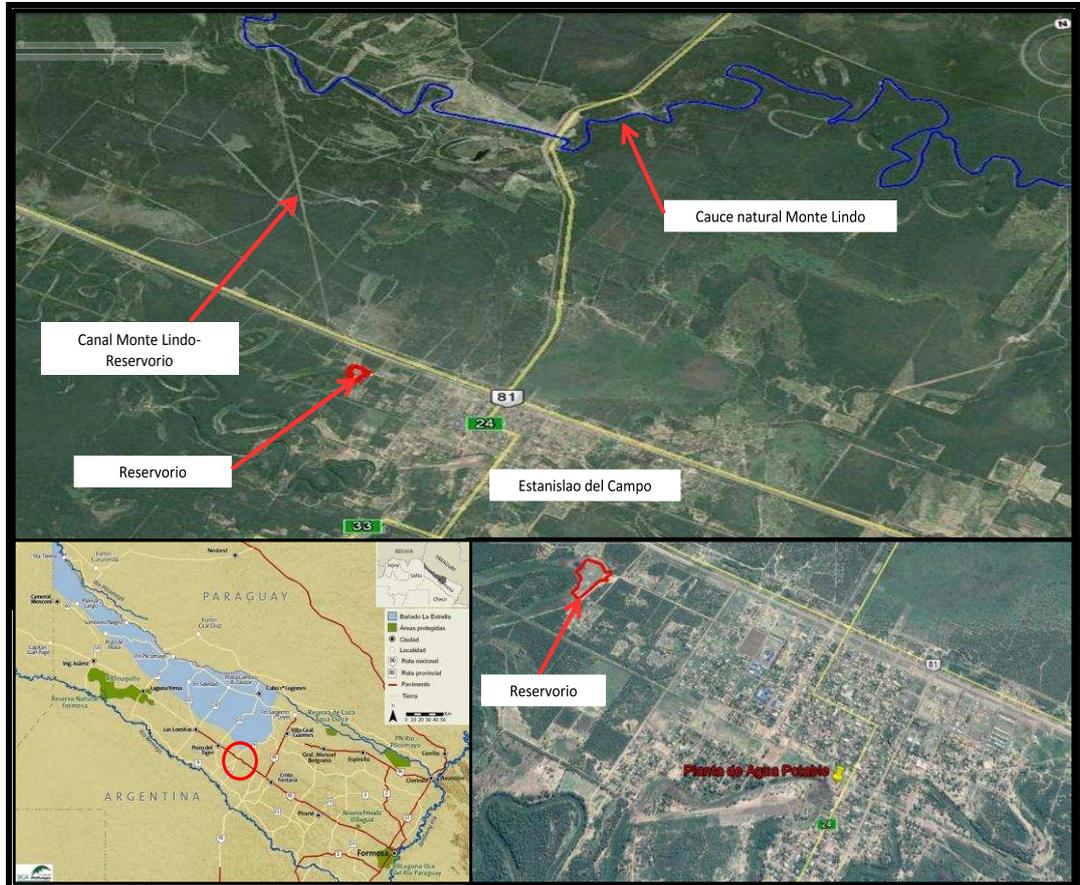


Figura N° 4.22. Mapa ubicación local de Estanislao del Campo  
(Fuente: Google Earth)



Figura N° 4.23. Planta de agua potable Estanislao del Campo



Figuras N° 4.24. Canal de entrada al embalse Estanislao del Campo



Figura N° 4.25. Vista panorámica embalse Estanislao del Campo

## **Ibarreta**

Características generales: la localidad de Ibarreta, está ubicada en la región central sur del departamento Patiño, a 204 km de la ciudad capital. Asentada sobre la RN N° 81 y atravesada por la RP N° 27 que conecta la ciudad con Puerto Lavalle (Chaco).

La población según datos del Censo 2010 es de 9.429 habitantes.

En la zona se desarrollan diferentes actividades productivas como ser agricultura, ganadería, apicultura, carpintería, carbonería y ladrillería. Toda la producción tiene un volumen de consideración lo que la hace económicamente activa. <sup>4</sup>

Recursos Hídricos: la localidad de Ibarreta se abastece de las aguas del bañado La Estrella, las cuales son conducidas por el cauce natural del riacho Monte Lindo hasta la bifurcación ubicada aguas arriba de Ibarreta, desde dicha bifurcación al embalse de Ibarreta el agua es conducida a través de un canal a cielo abierto. El embalse se encuentra a 5 km de la ciudad, el agua es conducida a través de canales hasta la planta de agua potable. La capacidad de almacenamiento actual del embalse es aproximadamente de 1,539 hm<sup>3</sup>.

Posterior al año 2011 se realizaron trabajos en el embalse, estos trabajos consistieron en incrementar la capacidad de almacenamiento, pero sin aumentar el porcentaje de ingreso de agua al mismo. La capacidad de almacenamiento aumentó 2,28 veces respecto a la capacidad para el período 2005/2006-2010/2011.

En la recorrida realizada en julio de 2013, el embalse se encontraba seco. Las condiciones de la planta de agua potable no se conocieron ya que no tuvimos acceso a la misma por problemas con técnicos del SPAP (Servicio Provincial de Agua Potable).

La Figura N° 4.26 muestra la ubicación dentro del territorio provincial, de la localidad de Ibarreta y su sistema de aprovechamiento de las aguas del bañado La Estrella.

---

<sup>4</sup> <http://www.ibarreta.gob.ar/>

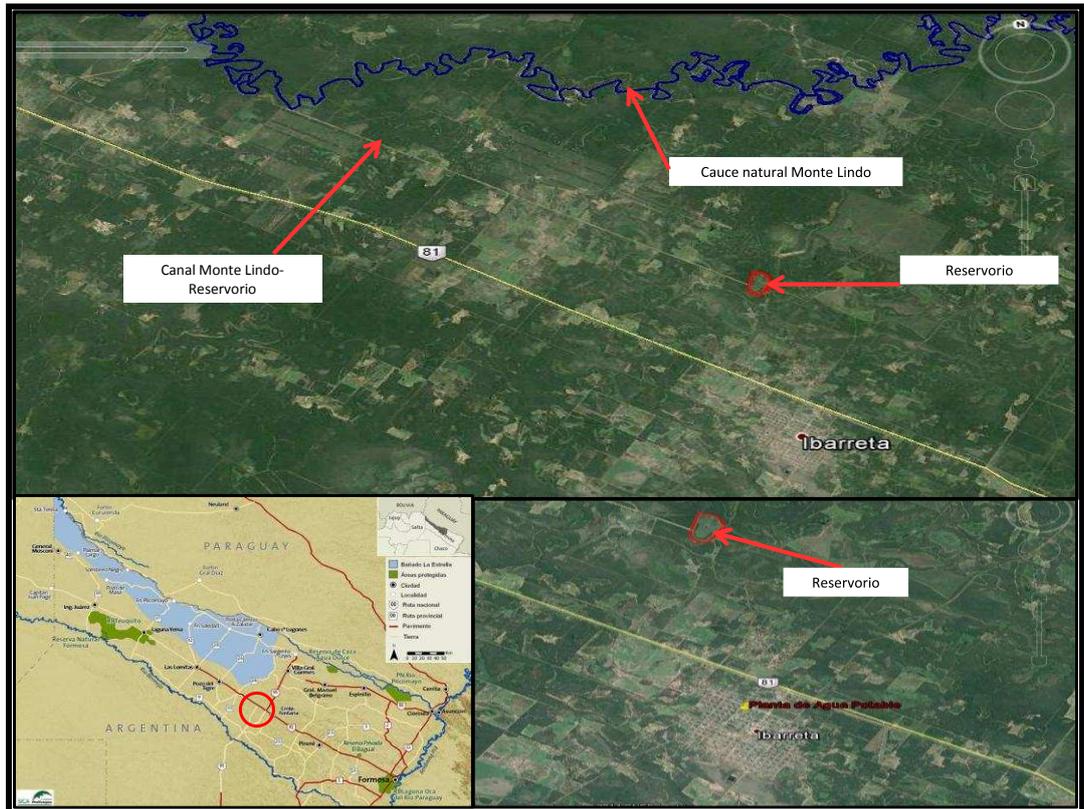


Figura N° 4.26. Mapa ubicación localidad de Ibarreta  
(Fuente: Google Earth)



Figura N° 4.27. Canal Monte Lindo-embalse Ibarreta (vista hacia aguas abajo)



Figura N° 4.28. Canal Monte Lindo-embalse Ibarreta (vista hacia aguas arriba)



Figura N° 4.29. Casilla bombeo embalse Ibarreta

### **Comandante Fontana**

Características generales: la localidad de Comandante Fontana, está ubicada en la región central sur del departamento Patiño, a 180 km de la ciudad capital. Asentada sobre la RN N° 81.

La población según datos del Censo 2010 es de 6.615 habitantes.

En la zona se desarrollan diferentes actividades productivas como ser agricultura, ganadería, apicultura, carpintería, carbonería y ladrillería. Su vegetación se caracteriza por sus montes bajos y espinosos donde predomina el vinal. El terreno en general es llano y cuenta con amplios sectores bajos y anegadizos en épocas de lluvia.<sup>5</sup>

Recursos Hídricos: la localidad de Comandante Fontana se abastece de las aguas del bañado La Estrella a través de un canal a cielo abierto proveniente desde el embalse Ibarreta hasta el embalse de Comandante Fontana. El embalse se encuentra a 2,5 km aguas arriba de la ciudad, el agua es conducida a través de canales hasta planta de agua potable.

En la recorrida del mes de julio 2013 el embalse se encontraba prácticamente seco, sin capacidad de agua para distribuir agua a la población.

Existen cuatro represas en el pueblo donde almacena el agua proveniente del embalse, en el año 2012/2013 se hicieron nueve perforaciones para abastecer a la población, las perforaciones debieron realizarse ya que para dicho período el ingreso de las aguas del río Pilcomayo al territorio provincial fueron escasas. El agua era tratada en plantas de osmosis inversa instaladas en la misma planta de agua potable, por el alto contenido de sal no era apta para consumo humano.

La planta de agua potable tiene un tanque con capacidad de 225.000 L, y cuenta con dos bombas de elevación de 40 m<sup>3</sup>/s y una bomba de toma de 80 m<sup>3</sup>/s. La capacidad de almacenamiento actual del reservorio es aproximadamente de 0,735 hm<sup>3</sup>.

Posterior al año 2011 se realizaron trabajos en el embalse, estos trabajos consistieron en incrementar la capacidad de almacenamiento, pero sin aumentar el porcentaje de ingreso de agua al mismo. La capacidad de almacenamiento aumentó 2,5 veces respecto a la capacidad para el período 2005/2006-2010/2011.

La provisión de agua a la población es de cinco horas en la mañana y cinco horas por la tarde. En horario nocturno proveen de agua a la Comunidad Aborigen Bartolomé de las Casas que se encuentra a 10 km de la planta.

---

<sup>5</sup> <http://www.comandantefontana.gob.ar/>

La Figura N° 4.30 muestra la ubicación dentro del territorio provincial, de la localidad de Comandante Fontana y su sistema de aprovechamiento de las aguas del bañado La Estrella.

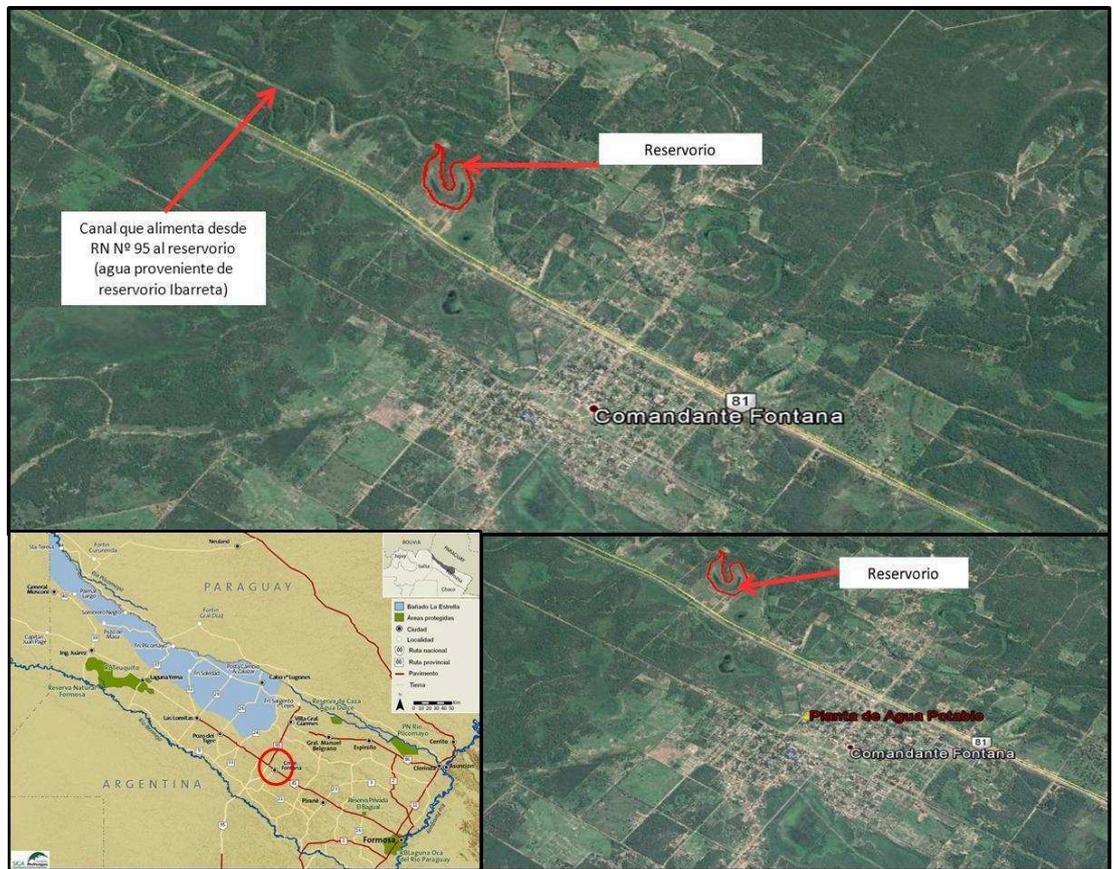


Figura N° 4.30. Mapa ubicación local de Comandante Fontana  
(Fuente: Google Earth)



Figura N° 4.31. Alcantarilla y canal (RN N° 95) que alimenta embalse Comandante Fontana



Figura N° 4.32. Alcantarilla entrada de agua al embalse Comandante Fontana



Figuras N° 4.33. Embalse Comandante Fontana



Figura N° 4.34. Estación de bombeo embalse Comandante Fontana



Figura N° 4.35. Muestra una de las perforaciones realizadas en Comandante Fontana

#### 4.4. Información meteorológica e hidrométrica

La información hidrométrica y meteorológica proporcionada por las diferentes instituciones para el período de estudio, constan en:

- Caudales diarios de la estación Misión La Paz, estación que proporciona los caudales de ingreso de las aguas del río Pilcomayo al bañado La Estrella. Período de información disponible 2005 a 2011.

- Niveles diarios de escalas ubicadas estación Misión La Paz y en el bañado La Estrella: Fortín Soledad, Punta del Agua, vertedero RP N° 28, progresiva 35,500 km (inicio canal Embalse RP N° 28-obra partidora). Período de información disponible 2008 a 2011.

- Aforos realizados en Embocadura (zona de ingreso de las aguas del río Pilcomayo al bañado La Estrella) y en el vertedero de la RP N° 28. En el caso de los aforos es escasa la información disponible, para el primer sitio se tienen pares de valores para el período 2013/2014 y sobre el vertedero de la RP N° 28 se realizaron aforos en el año 2009.

- Precipitaciones diarias de las estaciones ubicadas dentro del bañado La Estrella. Período de información disponible 2005 a 2011.

Como se describió anteriormente el período de estudio es 2005/2006 – 2010/2011.

En el caso de los aforos en Embocadura para el período 2013/2014, se consideraron para estimar los caudales de ingreso en época de estiaje en el canal argentino.

Las Figuras N° 4.36 y N° 4.37 muestran la ubicación de las estaciones hidrométricas y pluviométricas, respectivamente.

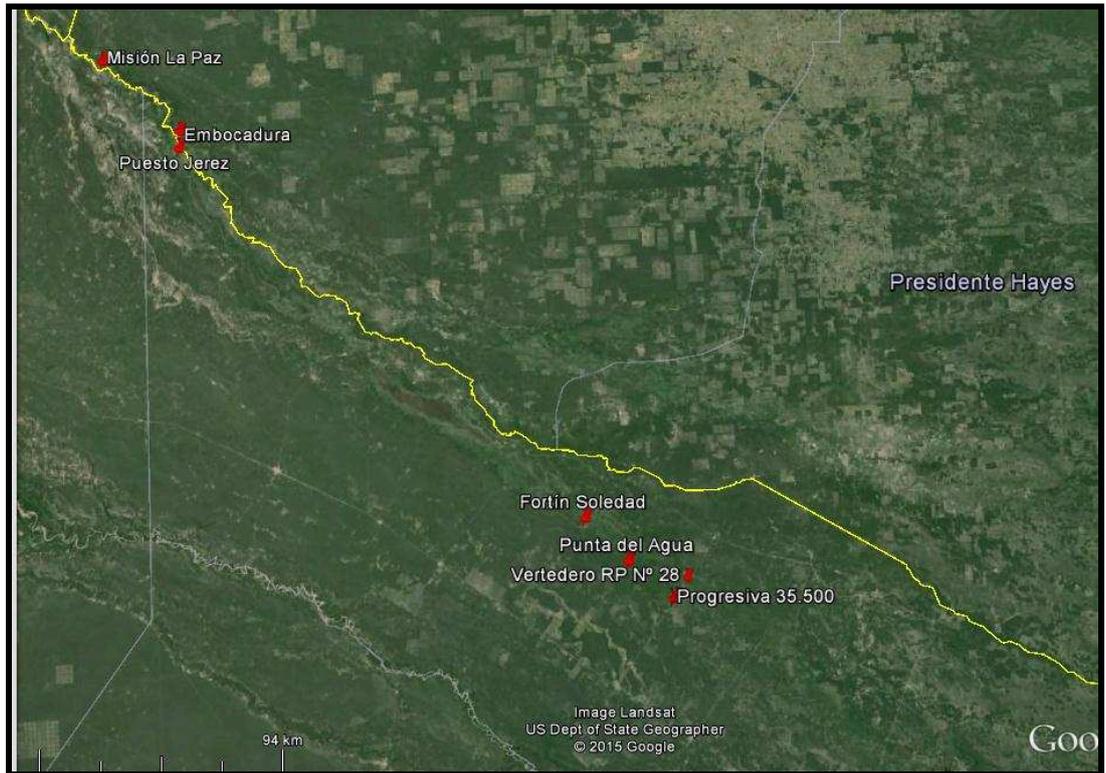


Figura N° 4.36. Estaciones hidrométricas (Fuente: Google Earth)

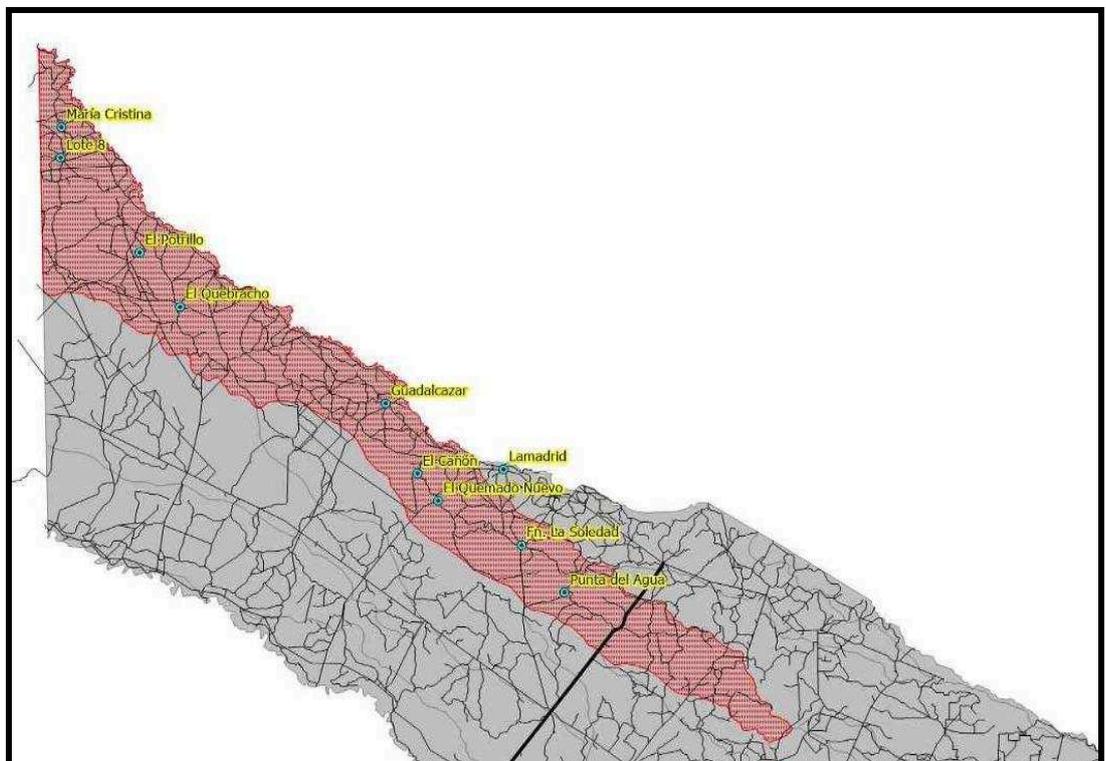


Figura N° 4.37. Estaciones pluviométricas

## CAPÍTULO 5: METODOLOGÍA APLICADA

La metodología empleada consiste en la implementación del modelo MIKE BASIN para la evaluación de tres escenarios posibles. Para cada uno de estos escenarios el objetivo fue optimizar los recursos hídricos del bañado La Estrella. Mediante el análisis de los resultados se establecieron políticas de operación del sistema.

### 5.1. Escenarios implementados

En relación a las modelaciones se combinaron para cada escenario, demandas con sistemas de funcionamiento. En este sentido las combinaciones posibles resultaron en tres escenarios:

1- Demanda actual con el sistema de obras existentes.

2- Demanda actual con un sistema donde se proponen nuevas obras de corto plazo de ejecución, como máximo 2 años y baja inversión.

3- Demanda futura con un sistema donde se proponen obras que alcancen a cubrir la demanda futura. En este sentido serán obras con un plazo de ejecución de 10 años ya que las mismas serán de mayor envergadura y por ende mayor inversión a las propuestas para la demanda actual a corto plazo.

Los escenarios resultantes de estas combinaciones se explican a continuación:

**Escenario actual:** este escenario contempla el sistema de obras de regulación existente y demandas actuales, para el período de referencia mencionado. Se analizaron en este escenario la capacidad que tiene el sistema de obras en funcionamiento de satisfacer la demanda actual. El mismo se corresponde con el presentado en la Figura N° 6.1.

**Escenario optimizado a corto plazo:** al escenario se lo denomina optimizado en el sentido del sistema de obras, ya que se mejora el sistema actual proponiendo nuevas obras de regulación para las condiciones hidrológicas del período de referencia y considerando la demanda de agua actual. Se realizaron corridas de optimización del modelo con los nuevos esquemas propuestos.

Las nuevas obras son propuestas donde la demanda no alcanza a ser cubierta por la oferta actual. Estas consisten en nuevas obras o la ampliación de las ya existentes, las mismas se detallan en el capítulo 6. (Figura N° 6.93)

**Escenario optimizado a largo plazo:** también aquí se considera optimizado desde el punto de vista del sistema de obras propuesto. Se consideró en este escenario una demanda con un incremento de la población a 20 años, y con ello nuevas obras para satisfacer esta demanda futura. El plazo de ejecución y la inversión económica será mayor al escenario anterior.

Las obras propuestas consideradas en la simulación se detallan en el capítulo 6.

## 5.2. Descripción general del modelo

El modelo MIKE BASIN (DHI 2008), desarrollado por el Instituto Hidráulico Danés en Hørsholm Dinamarca es un modelo de gestión integrada de los recursos hídricos y permite la representación matemática de la cuenca donde existen aprovechamientos hídricos. Esa representación incluye los ríos principales y sus tributarios, la hidrología de la cuenca en espacio y tiempo y la demanda de agua de los usuarios de la cuenca. A continuación la Figura N° 5.1 presenta una esquematización de las principales componentes del modelo.

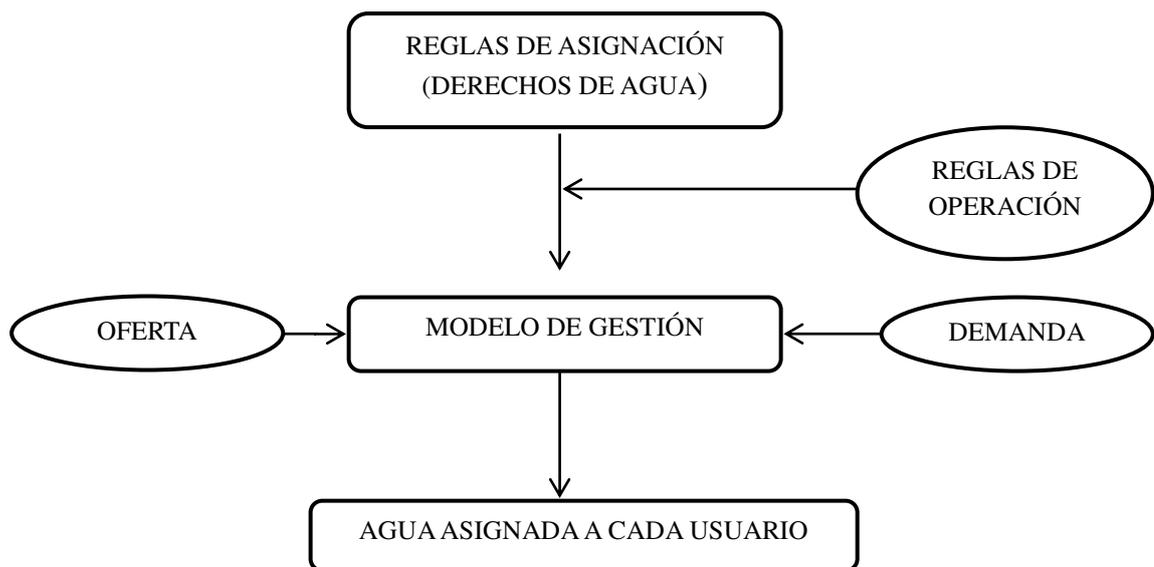


Figura N° 5.1. Representación simplificada del trabajo de un modelo matemático de gestión (Fuente: Molina Carpio, Cruz Flores, 2008)

El modelo representa el sistema hídrico como una red formada por ramas y nodos, las ramas representan tramos individuales de ríos o canales, mientras que los nodos representan confluencias y puntos donde existen actividades hídricas (poblaciones, hidroelectricidad, centrales de riegos). La red es digitalizada en ArcGIS, del que MIKE BASIN actúa como una extensión.

La topología del modelo permite incorporar: red de flujo en ríos y canales, nodos de ríos cuencas, nodos de usuarios de agua, reservorios, hidroelectricidad, y proyectos de riego. En cada uno de ellos es necesario determinar sus características hidráulicas referente a capacidades o las ofertas y demandas existentes en función del tiempo según corresponda.

Las reglas de operación en la red de flujo en ríos son: reservorio lineal, Muskingum, traslación de onda. En el caso de reservorios las reglas de operación se definen para incluir no sólo los niveles de almacenamiento sino también zonas de asignación de almacenamiento que son: zona de control de inundaciones, zona normal de operaciones, reducción de la zona de operaciones, zona de conservación. De acuerdo a estas zonas las reglas de tiempo son: control de inundaciones, nivel mínimo de operación, liberación mínima y máxima del agua.

Una de las principales características del modelo a utilizar radica en la posibilidad de ejecutar no sólo tareas de simulación (muy habituales en la mayoría de los modelos matemáticos de aplicación en recursos hídricos), sino que además permite realizar desarrollos de optimización dirigidos a alcanzar una función objetivo que dependerá del esquema planteado en la aplicación a un determinado caso.

El modelo está concebido para hallar soluciones estacionarias a cada paso de tiempo, dando como resultado la cantidad de agua requerida para satisfacer la demanda de los usuarios. En cada paso de tiempo realiza un balance de entrada y salida en cada nodo de la red de acuerdo a las reglas fijadas por el proyectista.

El proceso de optimización en MIKE BASIN es flexible ya que cualquier resultado del modelo generado a través de una simulación puede ser incluido en la búsqueda de algún objetivo planteado. Las posibilidades de optimización en este modelo no están limitadas exclusivamente a la resolución de funciones objetivos a través de programación

lineal sino que además incorpora algoritmos no lineales de programación que tienen en cuenta las características intrínsecas de respuestas no lineales de algún determinado fenómeno hidrológico a simular, en el caso que sea necesario.

El panel de optimización en el modelo permite formular cualquier tipo de combinación de objetivos en busca de minimizar, maximizar o simplemente encontrar una meta propuesta. Además de ello y en caso de ser requerido un algoritmo particular para la optimización, el usuario tiene la posibilidad de utilizar estas herramientas externas a través de un módulo especial del programa en donde se habilita la programación utilizando lenguajes como Visual C++, Delphi, C#, Visual Basic, .Net.

A modo de referencia, se citan algunos proyectos en los que fue utilizado el modelo MIKE BASIN en la región:

- Primeras experiencias con MIKE BASIN en la Planificación Hídrica en la provincia de Formosa (Valiente, M.,2010)
- Plan Maestro de Infraestructura Hídrica, para la recuperación de tierras productivas y control de inundaciones (provincia de Formosa) (Latinoconsult ingenieros consultores - Estudios y Proyectos S.R.L.,2011)

La Figura N° 5.2 representa la interfaz entorno ArcGIS y la barra de herramientas del modelo MIKE BASIN.

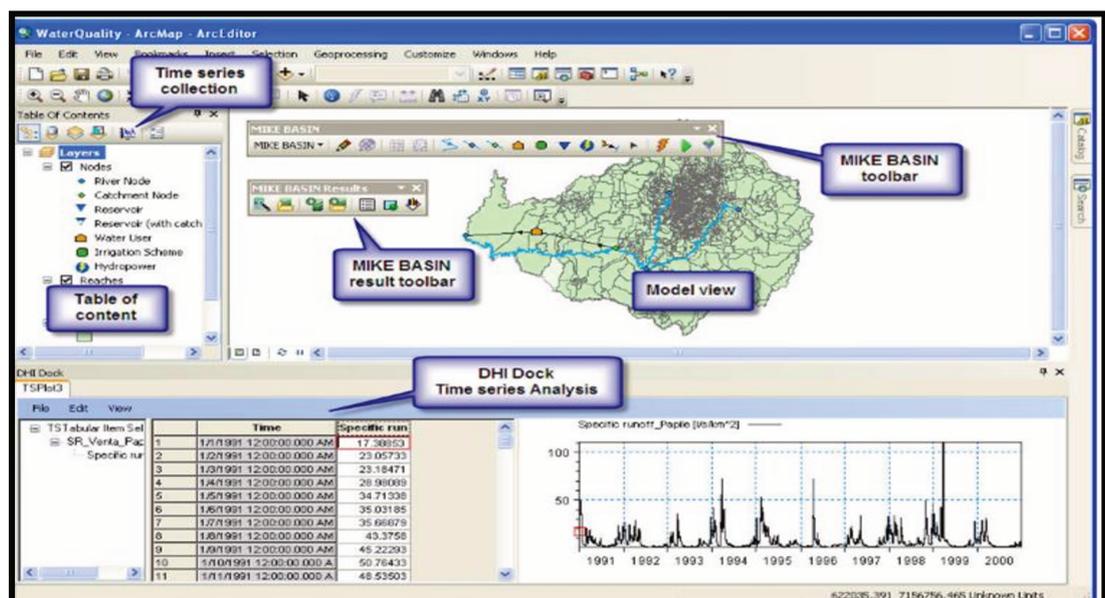


Figura N° 5.2. Interfaz entorno ArcGIS y barra de herramientas MIKE BASIN  
(Fuente: DHI Software, MIKE BASIN User's Guide, 2012)

## 5.3. Componentes del modelo

### 5.3.1. Cuencas (Catchments)

Las cuencas proporcionan los caudales de entrada a los ríos. Se agregan al modelo mediante la importación de un archivo shapefile<sup>6</sup> existente o directamente con la herramienta “catchment node”<sup>7</sup>.

El dato obligatorio a ingresar en las propiedades de las cuencas es la “escorrentía”. La misma puede ser específica como “escorrentía específica” (volumen por unidad de tiempo por unidad de área) o “descarga” (volumen por unidad de tiempo). También dentro de las propiedades pueden especificarse el área de la cuenca, y como opcionales procesos de aguas subterráneas y de calidad de agua.

### 5.3.2. Red de drenaje fluvial (River network)

La red drenaje fluvial está hecha de segmentos llamados “tramos”. La red alcanza, conecta, empieza y termina en los nodos de ríos.

La red de drenaje fluvial puede crearse de tres maneras: digitalizando la red con el botón “reach/branch”; importando una red de río y derivando de un modelo de elevación digital (DEM).

Las propiedades generales de la red de drenaje fluvial, se asignan a tramos individuales y canales. Las propiedades se dividen en: generales, hidráulicas y de calidad de agua.

Dentro de la pestaña de propiedades generales se incluye el nombre del tramo y pérdidas opcionales de flujo y de capacidad de flujo a través de una serie de tiempo.

---

<sup>6</sup> es un formato vectorial de almacenamiento digital donde se guarda la localización de los elementos geográficos y atributos asociados a ellos. Carece de capacidad para almacenar información topológica. Es un formato multiarchivo, generado por varios ficheros informáticos que tiene las extensiones .shp (archivo que almacena entidades geométricas de los objetos), .shx (archivo que almacena el índice de las entidades geométricas), .dbf (base de datos, donde se almacena la información de los atributos de los objetos). (ESRI Shapefile Technical Description, 1998)

<sup>7</sup> grafica la cuenca en el tramo de río entre dos nodos, de río (aguas arriba) y de cuenca (aguas abajo) fijados por el usuario manualmente.

Las pérdidas de flujo se dividen en infiltración y evaporación, son expresadas como una fracción de la corriente real (sin dimensiones) o como flujo (volumen por unidad de tiempo).

La capacidad de flujo es la capacidad del tramo de río que no puede ser superada, es especificada como volumen por unidad de tiempo. La misma representa el máximo caudal que puede conducir el tramo. Por ejemplo si un usuario requiere 5 m<sup>3</sup>/s, y la capacidad de flujo es de 4 m<sup>3</sup>/s, el usuario solo recibirá 4 m<sup>3</sup>/s por lo tanto habrá déficit a pesar que puede existir más agua en la cuenca o la fuente que alimenta a ese tramo.

Las cuatro opciones de propagación o tránsito de crecida disponibles en el modelo para la red de ríos son:

- Sin propagación
- Reservorio lineal: distribuye el flujo desde el nodo de aguas arriba sobre todos los pasos de tiempo después de un flujo de entrada.

El caudal de salida es calculado con la siguiente fórmula (User Guide MIKE BASIN, 2012)

$$q_{qs} = \left(1 - \frac{x}{((dt)/K)}\right) \cdot q_i + x \cdot s \quad (5.1)$$

Donde

$$x = 1 - e^{-(Ks/dt)}$$

q<sub>o</sub>: caudal de salida del nodo, dt: longitud de tiempo de paso, q<sub>i</sub>: caudal de entrada al nodo, s: almacenamiento en el subsuelo, K: parámetro de retardo o tiempo de propagación

$$T = 1 - e^{-(Ks/dt)} \quad (5.2)$$

$$O_s = \left(1 - \frac{T}{K}\right) \cdot I_s + T \cdot S \quad (5.3)$$

O<sub>s</sub>: volumen de salida, I<sub>s</sub>: volumen de entrada, S: almacenamiento

$$\Delta S = I_s \cdot T \quad (5.4)$$

ΔS: variación almacenamiento

• Muskingum: es un método de tránsito hidrológico que se usa comúnmente para manejar relaciones caudal-almacenamiento variable. Modela el almacenamiento volumétrico de creciente en un canal de un río mediante la combinación de almacenamiento en cuña y prisma. (Ven Te Chow, Hidrología aplicada, Tema 8.4, Página 264)

El almacenamiento total es:

$$S = KQ + KX(I - Q) \quad (5.5)$$

El cambio de almacenamiento se expresa:

$$S_{j+1} - S_j = \frac{(I_j + I_{j+1})}{2} \Delta t - \frac{(Q_j + Q_{j+1})}{2} \Delta t \quad (5.6)$$

K: constante de almacenamiento, definida como el tiempo de viaje promedio de la onda de crecida a través del tramo,  $\Delta t$  intervalo de tiempo,  $\frac{(I_j + I_{j+1})}{2}$  caudal promedio de entrada,  $\frac{(Q_j + Q_{j+1})}{2}$  caudal promedio de salida,  $S_{j+1} - S_j$  cambio de almacenamiento

Traslación de onda: el algoritmo de traslación de onda básicamente utiliza búfer cíclicos con “slots” para cada paso de tiempo. El flujo de entrada en un paso de tiempo se ingresa al tramo de río y reemplaza al flujo que estaba almacenado en dicho tramo, es decir lo desplaza hacia la salida. El número de slots se calcula como  $\Delta T/K$ ; donde  $\Delta T$  [tiempo] y K es el tiempo de traslado del pico del hidrograma (User Guide MIKE BASIN, 2012).

### • 5.3.3. Nodos de ríos (River nodes)

Los nodos de ríos se insertan automáticamente en cada extremo de un tramo de río, o en los puntos donde se interceptan los tramos de ríos. Se digitalizan manualmente con la opción “river node”.

Existen dos tipos de nodos de río, los nodos simples y la bifurcación o nodo de desvío.

Los nodos simples pueden ser nodos de abastecimiento o puntos de retorno de flujo para la extracción de agua por los usuarios. Varios usuarios pueden compartir el mismo nodo de extracción.

Cuando más de un usuario está conectado al mismo nodo, se especifican reglas de extracción de agua. Las opciones que ofrece el modelo son:

- Suministro por prioridad: cada usuario del agua está recibiendo su demanda, las demandas se cumplen de acuerdo a las reglas asignadas.
- Suministro por fracción de flujo: a cada usuario se le asigna una fracción del agua disponible. La suma de las fracciones asignadas no debe superar el valor 1.

Los nodos de bifurcación o nodos de desvío, se pueden especificar dos opciones:

- A través de una serie de tiempo, donde se especifica un flujo que debe ir hacia los usuarios de aguas abajo y siempre satisfacer esta demanda.
- A través de una curva de bifurcación, donde se especifican los caudales y el porcentaje destinado a cada usuario de aguas abajo.

#### **5.3.4. Nodos de usuarios (Water user nodes)**

Los nodos de los usuarios se digitalizan manualmente con la opción “water user”, pueden ser usuarios tipo municipal, industrial o cualquier otro tipo de usuario, la excepción son los nodos de riego que tienen su propio nodo y propiedades.

En las propiedades generales de los usuarios se especifican: la demanda de los usuarios, es decir a través de una serie de tiempo se especifica la demanda necesaria a satisfacer en el usuario. Como así también se especifican las reglas de extracción del agua, existiendo dos tipos de reglas:

- Por prioridad: el agua se extrae de acuerdo al orden de prioridad asignado a los usuarios. El número 1 tiene la prioridad máxima de extracción. El usuario extraerá toda el agua necesaria para satisfacer su demanda.
- Por fracción de la demanda: es de utilidad en varios casos prácticos. El agua es extraída según una fracción de la demanda requerida en el nodo. Si el nodo no puede cubrir esa fracción de la demanda no se realiza ningún intento de extraer agua de otro nodo.

### 5.3.5. Embalses – Reservorios (Reservoir)

El modelo permite múltiples sistemas de reservorios, donde la simulación de cada uno de ellos está en función de las reglas de operación asociadas a los mismos. Las reglas de operación definen volumen de almacenamiento, niveles de agua, demanda de usuarios.

Los tipos de almacenamientos que se pueden modelar son tres:

- Embalses-reglas curvas: considera al depósito como un almacenamiento físico y único donde todos los usuarios sacan agua del mismo almacenamiento. Las normas de funcionamiento para cada usuario se aplican al mismo almacenamiento y los usuarios compiten entre sí para cumplir con sus derechos de extracción de agua.

- Depósito de asignación: es un almacenamiento físico pero a diferencia del anterior en este caso se les asigna a los usuarios derechos de extracción del agua dentro de la zona de almacenamiento.

- Lagos: son depósito específicos para los cuales no se aplican reglas de operación. La salida de un lago está restringida para una relación vertedero.

Las características del embalse, las normas de funcionamiento, las conexiones aguas arriba y aguas abajo a los usuarios y nodos de control están especificados en el cuadro de diálogo de “propiedades del embalse”. Dentro de las propiedades a definir se tienen:

- Tabla nivel-área-volumen: esta tabla es necesaria para calcular los niveles de agua dentro del embalse-reservorio. Se parte de la planimetría o curvas de nivel del embalse.

- Serie de tiempo de niveles característicos: se describen tres tipos de niveles:

- Nivel inferior: parte inferior del embalse-reservorio

- Almacenamiento muerto: nivel mínimo de agua que puede ser utilizado.

- Nivel de la cresta del embalse-reservorio: nivel de agua máximo que se puede alcanzar antes que ocurra el derrame.

También se consideran como datos opcionales pérdidas y ganancias, como son las precipitaciones, la evaporación potencial y la infiltración.

Las reglas de operación de embalse-reservorios se dividen en “reglas obligatorias” y “reglas opcionales”.

Dentro de las “reglas obligatorias” se tiene:

- Reglas de operación o funcionamiento: se definen para incluir no solamente niveles objetivos sino también las diversas zonas de asignación de almacenamiento. Varían en función del tiempo.

Se consideran:

- Zona de control de inundaciones (Flood Control Zone): esta zona sirve como tapón de almacenamiento para disminuir los impactos de inundaciones. En condiciones normales el nivel del embalse-reservorio se mantiene en este nivel.

- Zona normal de operaciones (Normal Operating Zone): en esta zona se cumplen todas las exigencias. La extensión de esta zona puede variar para los usuarios individuales.

- Zona de funcionamiento reducida (Reduced Operating Zone): si el nivel se encuentra en esta zona, la demanda se cumple parcialmente.

- Zona de conservación (Conservation Zone): si el nivel se encuentra en esta zona, solo existe una liberación mínima de conservación.

La Figura N° 5.3 muestra las zonas de operación dentro del embalse.

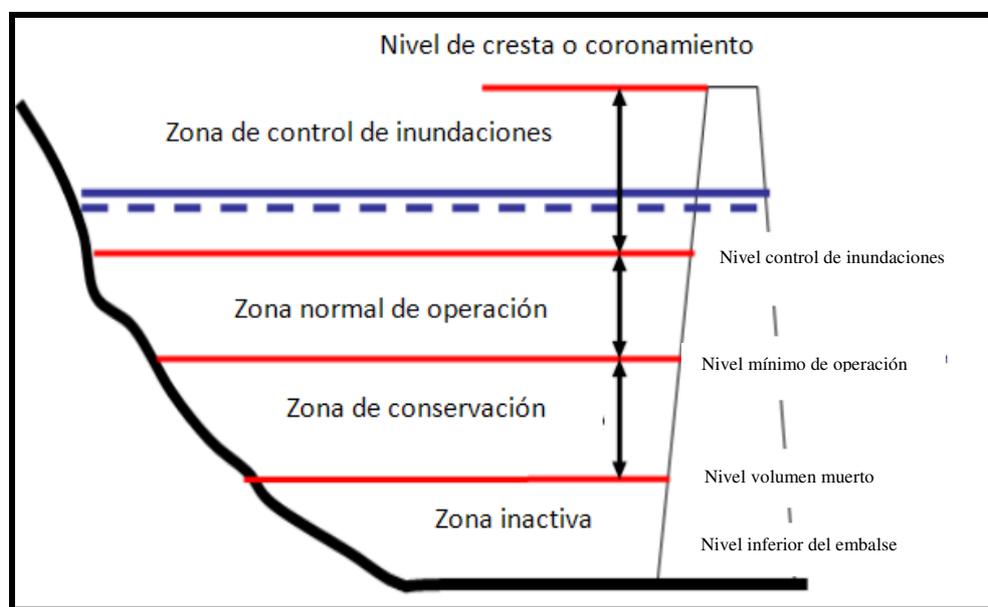


Figura N° 5.3. Zonas de operación del embalse

(Fuente: DHI Software, MIKE BASIN User’s Guide, 2012)

- Prioridad de los usuarios aguas abajo: es posible conectar usuarios de agua o energía eléctrica a un embalse-reservorio. La asignación de prioridades está en función de

la demanda a satisfacer, siendo el número 1 el de mayor prioridad, el número 2 con la segunda prioridad y así sucesivamente.

Dentro de las “reglas opcionales” se tiene:

- Control de flujo remoto: son relaciones de flujo para nodos que se encuentran lejos el uno del otro. Durante el cálculo el modelo tratará de ajustar la liberación de agua para mantener el control de flujo, consumo y las demoras del flujo debido a la propagación del caudal.

- Demanda de almacenamiento: es un modo de funcionamiento de dos embalses en serie o paralelo. Si dos embalses están situados en el mismo río o rama de debe mantener agua en el embalse de aguas arriba para garantizar la liberación y así mantener un nivel mínimo en el embalse de aguas abajo.

Los “vertederos” también forman parte de las “reglas opcionales”, en este caso se especifica a través de una tabla H-Q la liberación máxima de agua posible.

## **5.4. Simulación- Resultados**

La simulación se hace para el período de tiempo considerado. El resultado de la simulación es la cantidad de agua que recibe cada usuario y su variación en el tiempo.

Las otras salidas que proporciona el modelo son el flujo para cada paso de tiempo en la red de ríos, flujo observado en cada nodo, probabilidad de excedencia del déficit de la demanda, del volumen almacenado.

En el caso de los usuarios de agua se estima el caudal asignado, el déficit de agua, balance de masa a nivel diario y mensual.

Para el caso de embalses se puede observar la variación del tiempo del agua entregada a los usuarios aguas abajo, el volumen almacenado y la variación de nivel.

La opción “statistics” permite tener un análisis estadístico de los resultados de la simulación. Los resultados también pueden verse en forma gráfica a través de la ventana ArcGIS.

## 5.5. Coeficientes de evaluación de la performance del modelo

Los indicadores de ajuste propuestos para la evaluación de la performance del modelo se detallan a continuación:

- **Eficiencia de Nash-Sutcliffe (Ef):**

Ese indicador relaciona la diferencia entre valores de caudales observados y simulados con la varianza de los valores simulados (Nash J.E., Sutcliffe J.V., 1970), como muestra la siguiente fórmula:

$$E_f = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Q_t^o - Q_t^s)^2}{\sum_{t=1}^n (Q_t^s - \bar{Q}^o)^2} \quad (5.7)$$

$E_f$ : Coeficiente de eficiencia (Nash-Sutcliffe, 1971),  $Q_t^o$ : caudal observado al tiempo  $t$ ,  $Q_t^s$ : caudal simulado al tiempo  $t$ ,  $\bar{Q}^o$ : caudal observado medio

Este coeficiente puede variar entre  $-\infty$  y 1. Una eficiencia de 1 ( $E_f=1$ ) corresponde a un ajuste perfecto entre caudales calculados y observados. Una eficiencia de 0 ( $E_f=0$ ) indica que las predicciones del modelo son tan precisas como la media de los datos observados, mientras que una eficiencia negativa ( $-\infty < E_f < 0$ ) ocurre cuando la media observada es mejor que la predicción del modelo. En definitiva, cuando ocurra el coeficiente  $E_f$  más cerca a la unidad, mejor es la concordancia entre valores calculados y observados.

- **Error relativo de volumen ( $E_{rv}$ ):**

Calculándose como el cociente entre el error y el valor medido, según la siguiente fórmula:

$$E_{rv} = \frac{V^s - V^o}{V^o} \times 100\% \quad (5.8)$$

$E_{rv}$ : Error relativo de volumen,  $V^s$ : Volumen simulado,  $V^o$ : Volumen observado

Si este error es 0 ( $E_{rv}=0$ ) indica que no existe diferencia entre lo medido y lo calculado, o que las diferencias de diferentes signos se han compensado, un valor alto de este coeficiente indica un error alto, pudiendo ser por exceso o por defecto. Se expresa en porcentajes.

• **Error relativo de caudal ( $E_{rQM}$ ):**

Es el mismo concepto del error anterior, pero considerando la variable de caudal máximo. Se expresa en porcentaje.

Calculándose el error relativo de caudal con la siguiente fórmula:

$$E_{rQM} = \frac{Q_{M}^{S} - Q_{M}^{O}}{Q_{M}^{O}} \cdot 100 \quad (5.9)$$

$E_{rQM}$ : Error relativo del caudal máximo,  $Q_{M}^{S}$ : caudal máximo simulado,  $Q_{M}^{O}$ : caudal máximo observado.

## **CAPÍTULO 6: APLICACIÓN DEL MODELO MIKE BASIN**

Sobre la base del conocimiento del funcionamiento del sistema físico, la información recopilada y previamente procesada y los escenarios que se pretenden analizar, se procede a la implementación del modelo.

La información de entrada al modelo consiste en una serie de tiempo de oferta y demanda para cada fuente de acuerdo a sus correspondientes asignaciones. La simulación será para un período plurianual de referencia comprendido entre los años 2005/2006 - 2010/2011. El inicio de la simulación coincidirá con el inicio del año hidrológico en el bañado La Estrella, dicho año hidrológico va desde el 1 de septiembre al 31 de agosto.

La oferta y demanda como así también las diferentes fuentes (obras existentes que se encuentran en la zona de estudio) se presentan en el punto **6.3 Presentación y análisis de los resultados**, donde se analiza cada localidad individualmente con referencia a sus fuentes de agua (embalses), incluyendo este análisis la oferta y demanda y las diferentes prioridades de extracción que se les asigna a los usuarios.

### **6.1. Esquema de funcionamiento bañado La Estrella**

La Tabla N° 6.1 muestra las obras y elementos con su correspondiente numeración con referencia al esquema topológico actual. La misma se corresponde con el esquema de funcionamiento del bañado La Estrella presentado en la Figura N° 4.3.

Tabla N° 6.1. Funcionamiento bañado La Estrella

<b>Obra u elemento</b>	<b>Denominación en el modelo</b>	<b>Se corresponde en el esquema topológico actual</b>	<b>Observaciones</b>
Cuenca de aportes aguas arriba	DHI_ID 1-3	1-3	
Embocadura	DHI_ID 4	4	Bifurcación de caudal (canal hacia Argentina y Paraguay)
Tramo Embocadura-Embalse RP N°28	DHI_ID 5-8	5-8	
Embalse RP N° 28	DHI_ID 9	9	Está conformado por el terraplén de defensa (natural), el cierre lateral sur y el cierre frontal RP N° 28
Usuario aguas abajo Embalse RP N° 28	DHI_ID 10-11	10	Progresiva 35,500 km. Inicio del canal entre Embalse RP N° 28 y la obra partidora (canal derivador sur)
Progresiva 35,500 km (inicio canal Embalse RP N° 28-obra partidora)	DHI_ID 11-13		
Obra partidora	DHI_ID 13	13	Distribución caudales canal Monte Lindo, del Este y Las Lomitas.
Canal Las Lomitas	DHI_ID 13-12	13-12	Tramo entre la obra partidora y el embalse Las Lomitas
Embalse Las Lomitas	DHI_ID 18	18	
Población Las Lomitas	DHI_ID 19	19	
Obra partidora Canal Monte Lindo	DHI_ID 15-21	15-21	Tramo entre la obra partidora y la toma de Pozo del Tigre
Embalse Pozo del Tigre	DHI_ID 24	24	
Población Pozo del Tigre	DHI_ID 25	25	
Embalse Estanislao del Campo	DHI_ID 29	29	
Población Estanislao del Campo	DHI_ID 30	30	
Bifurcación riacho Monte Lindo-canal Ibarreta-Cmte. Fontana	DHI_ID 31	31	
Canal bifurcación-embalse Ibarreta	DHI_ID 31-34	31-34	
Embalse Ibarreta	DHI_ID 34	34	
Población Ibarreta	DHI_ID 35	35	
Canal Ibarreta-Comandante Fontana	DHI_ID 34-37	34-37	
Embalse Comandante Fontana	DHI_ID 37	37	
Población Cmte. Fontana	DHI_ID 38	38	

Se tienen en cuenta en la modelación los canales Las Lomitas y Monte Lindo, canales que abastecen de agua a la mayor población del centro provincial. En el caso del canal del Este se lo esquematiza ya que forma parte del funcionamiento de la obra partidora, pero no se lo modela, este canal alimenta a riachos como el Pavao, Tatú Piré y a pequeñas comunidades ubicadas a la vera de dichos riachos.

## **6.2. Esquema topológico**

La elaboración del esquema topológico para la aplicación del modelo es una representación simplificada del sistema físico. Se digitalizaron los diferentes componentes del sistema como ser cuencas, embalses, poblaciones, canales principales y secundarios. (Figura N° 6.1)

El esquema topológico responde al funcionamiento del bañado La Estrella explicado en el capítulo 2, ítem 2.8 y en el capítulo 4, ítem 4.1.3, donde se describen la zona de estudio y las obras existentes, respectivamente.

Las partes del mismo se relacionan con el esquema de funcionamiento de la Figura N° 4.3.

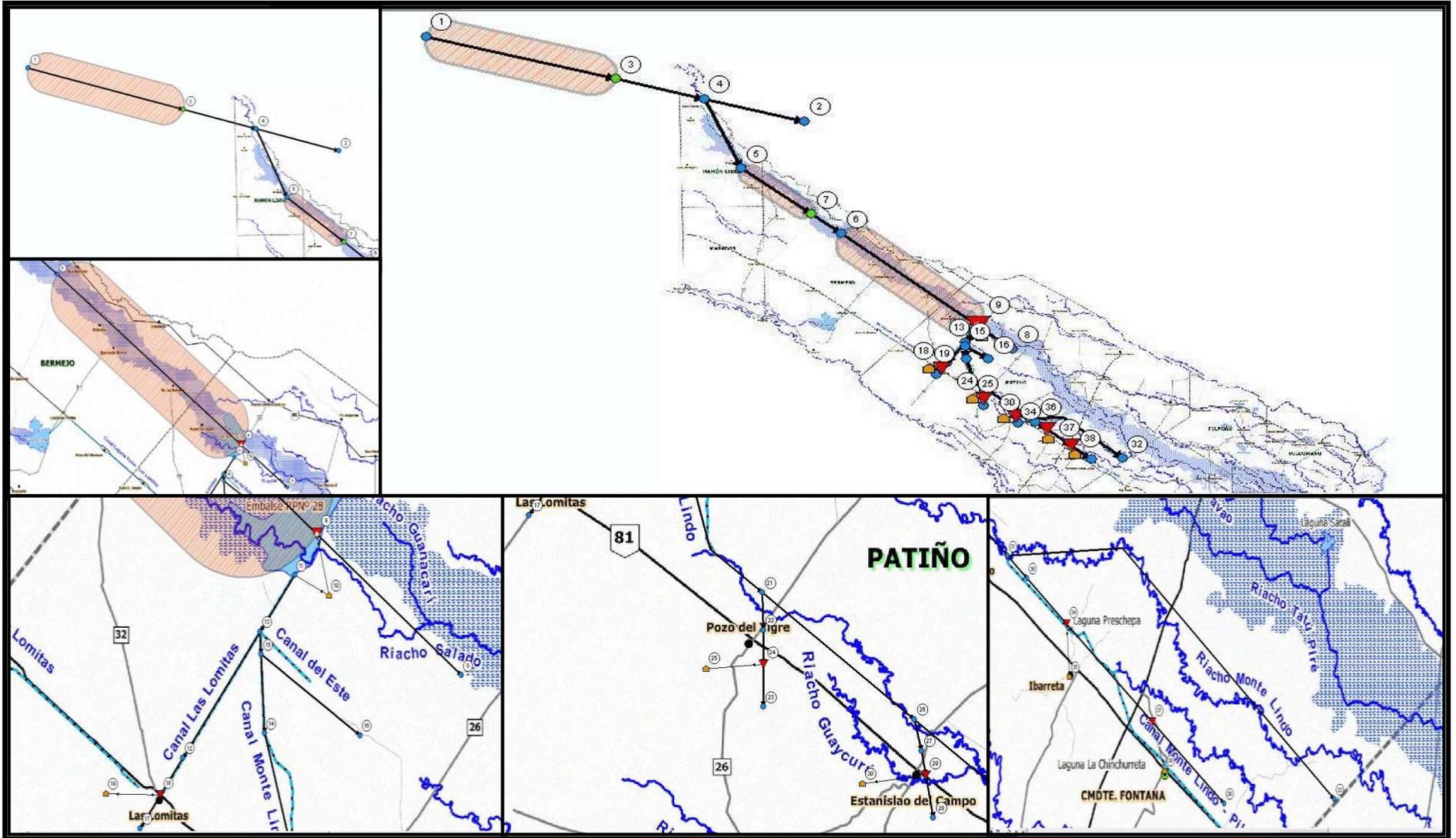


Figura N° 6.1. Esquema topológico escenario actual

### **6.3. Presentación y análisis de los resultados**

A continuación se presentan los resultados obtenidos del modelo para cada uno de los escenarios planteados.

El orden de presentación de los resultados es de acuerdo al funcionamiento hídrico del bañado La Estrella, desde su alimentación en la estación Misión La Paz, el ingreso de las aguas del río Pilcomayo a Argentina (por el canal argentino), la distribución del agua almacenada en el Embalse RP N° 28 a través de sus obras y la distribución a las localidades de estudio de acuerdo a sus demandas. El mismo se corresponde con la Tabla N° 6.1.

El período de estudio es 2005/2006 a 2010/2011.

#### **6.3.1. Escenario actual**

##### **1- Cuenca de aporte: (DHI\_ID 1-3) <sup>8</sup>**

Como se describió anteriormente el principal aporte al bañado La Estrella es el río Pilcomayo.

El cauce del río Pilcomayo desde sus nacientes hasta Embocadura es único. Embocadura (o comúnmente también llamado Pantalón), se ubica a unos 40 km del límite entre Formosa y Salta. En esta zona Argentina y Paraguay realizaron canales para que las aguas del río Pilcomayo ingresen a sus territorios y alimenten los diferentes sistemas hídricos. En el caso de Argentina el agua que ingresa alimenta al bañado La Estrella.

En este elemento se calculan los caudales diarios de la cuenca de aporte, la distribución acumulada y la curva de duración para dichos caudales. Luego se realiza el tránsito de hidrograma desde la estación Misión La Paz a Embocadura.

La Figura N° 6.2 muestra el mapa de ubicación de Misión La Paz y la zona de Embocadura (divide las aguas del río Pilcomayo hacia Argentina y Paraguay).

---

<sup>8</sup> Número de identificación de la componente del modelo

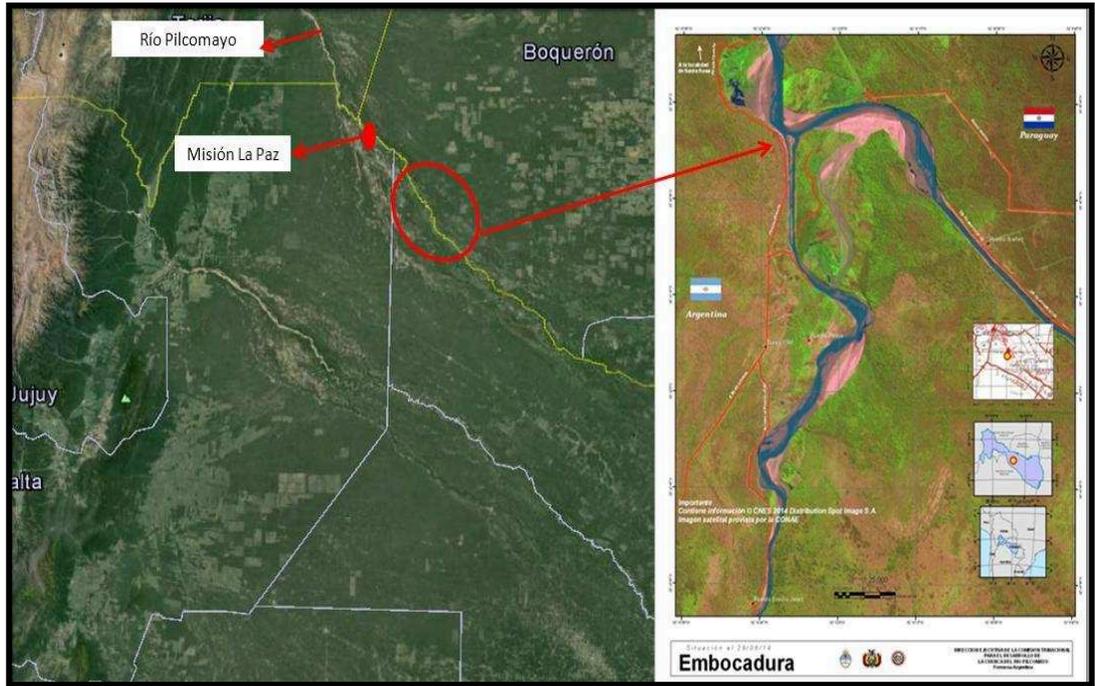


Figura N° 6.2. Mapa ubicación Misión La Paz-Embocadura  
(Fuente: Google Earth- [www.pilcomayo.net](http://www.pilcomayo.net))

### **Caudales cuenca de aporte**

Como no se cuenta con registros hidrométricos en cantidad y calidad para el período de estudio en Embocadura se consideraron para los caudales de ingreso los datos de la estación más cercana, en este caso Misión La Paz (MLP).

La estación Misión La Paz, es la última estación hidrométrica, meteorológica y de calidad de agua ubicada sobre el cauce río Pilcomayo, es operada por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación Argentina a través de EVARSA S.A.

Los caudales diarios de ingreso fueron calculados con las curvas H-Q para cada año hidrológico y tomando como altura el nivel promedio diario, de un total de ocho lecturas diarias de la escala ubicada en Misión La Paz, curvas trazadas a partir de los aforos realizados.

Los caudales máximos y mínimos observados por año hidrológico<sup>9</sup> para el período de estudio se presentan en la siguiente tabla:

En la Tabla N° 6.2 se presentan los caudales máximos y mínimos observados para cada año hidrológico del período de estudio, en la estación Misión La Paz.

Tabla N° 6.2. Caudales máximos y mínimos observados

Año hidrológico	Fecha	Caudal Máximo (m <sup>3</sup> /s)	Fecha	Caudal Mínimo (m <sup>3</sup> /s)
2005-2006	24/01/2006	2369	05/10/2005	4
2006-2007	18/01/2007	2850	01/10/2006	9
2007-2008	27/01/2008	2700	01/11/2007	9
2008-2009	07/03/2009	2100	24/10/2008	6
2009-2010	27/02/2010	1931	22/10/2009	7
2010-2011	01/03/2011	1970	15/10/2010	6

Como se observa en la Tabla N° 6.2, el período de crecida o de máximos caudales en la estación Misión La Paz se registra entre los meses de enero a marzo, mientras que los mínimos se presentan en octubre y noviembre.

La Figura N° 6.3 representa los hidrogramas de caudales diarios observados en la estación Misión La Paz.

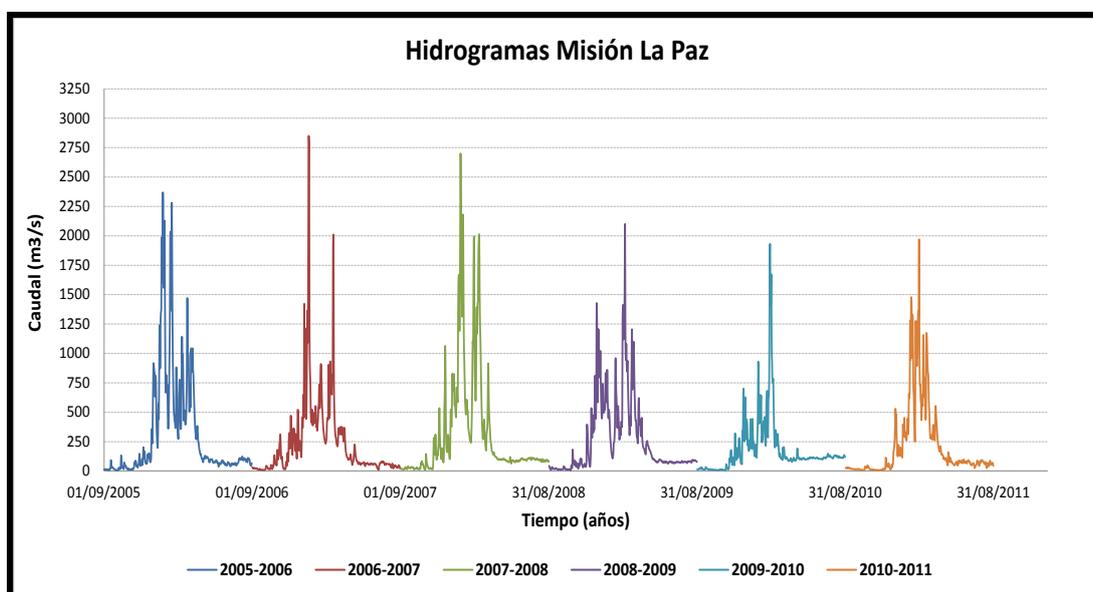


Figura N° 6.3. Caudales diarios observados (m<sup>3</sup>/s) (estación Misión La Paz)

<sup>9</sup> se considera año hidrológico desde el 1° de agosto al 31 de julio-cuenca río Pilcomayo

La Tabla N° 6.3 muestra los valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar de caudales diarios observados estación Misión La Paz, para el período 2005/2006 – 2010/2011.

Tabla N° 6.3. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios observados estación Misión La Paz ( $m^3/s$ )

ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
1	Specific runoff	3.9	248.9319	248.8304	2850	366.094	1

La Figura N° 6.4 representa la curva de distribución acumulada de caudales diarios observados estación Misión La Paz, para período 2005/2006 - 2010/2011. Se grafica en el eje de abscisas los caudales diarios observados ( $m^3/s$ ) y en el eje de ordenadas la distribución acumulada de probabilidad.

La curva de distribución acumulada describe la probabilidad que una variable “X” toma un valor menor o igual a un valor dado.

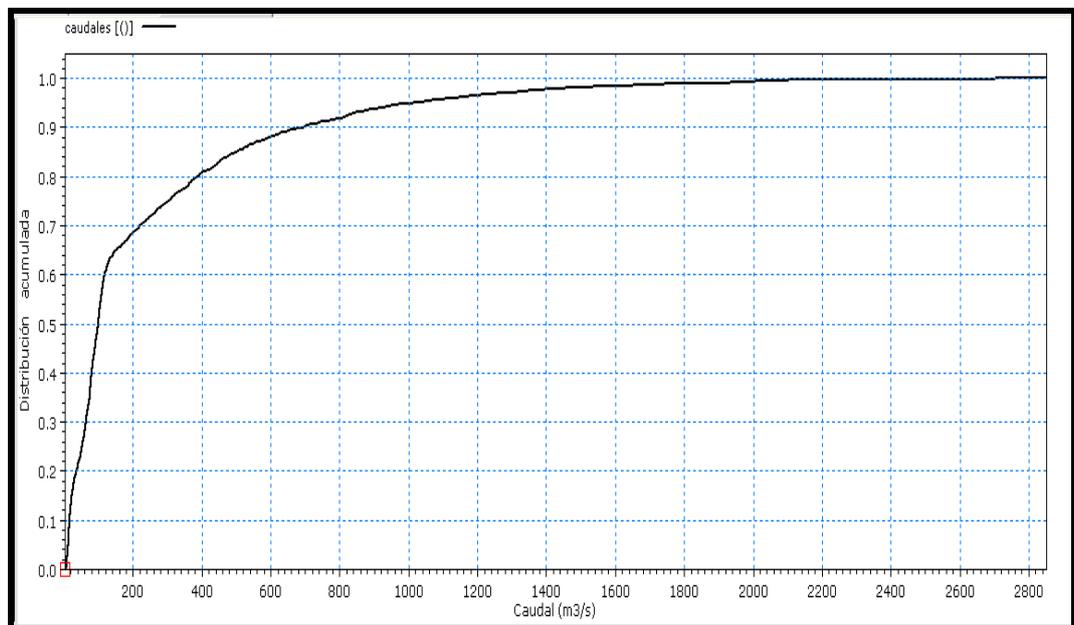


Figura N° 6.4. Distribución acumulada de caudales diarios observados estación Misión La Paz (2005/2006-2010/2011)

La Figura N° 6.5, representa la curva de duración de caudales diarios observados estación Misión La Paz, para el período 2005/2006 - 2010/2011. Se grafica en el eje de abscisas la probabilidad de excedencia y en el eje de ordenadas los caudales diarios observados ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

La curva de duración se basa en la probabilidad de excedencia calculada para el intervalo de valores que se encuentran en la serie de tiempo que se estudia. Una curva de duración muestra el rango de valores de datos que se encuentran en la serie temporal como una función de probabilidad y de excedencia. Una probabilidad de excedencia de cero significa que el valor se excede en todo momento y un valor de uno indica que el valor no excede el período de tiempo cubierto por la serie de tiempo.

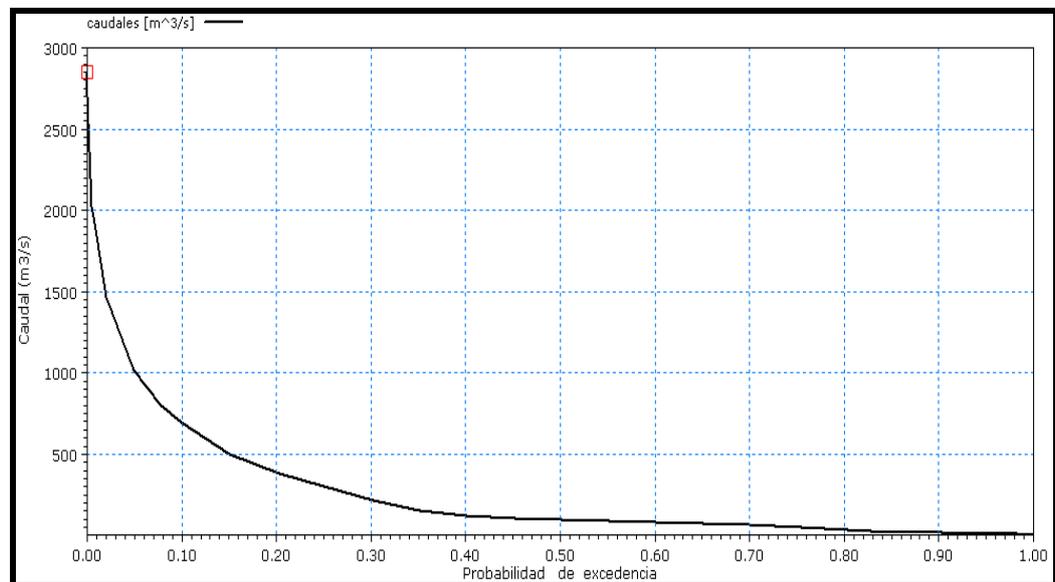


Figura N° 6.5. Curva duración de caudales diarios observados estación Misión La Paz (2005/2006 - 2010/2011)

La Figura N° 6.5 muestra la curva de duración de caudales diarios observados en la estación Misión La Paz, la cual refleja que solo el 10% (0,10) del tiempo los caudales son mayores a **500  $\text{m}^3/\text{s}$** , y el 50% (0,50) del tiempo los caudales son menores a **100  $\text{m}^3/\text{s}$** .

### Tránsito del hidrograma

Para el tránsito del hidrograma se utilizó el método “reservorio lineal”, el tiempo de tránsito del hidrograma desde Misión La Paz a Embocadura se estableció en **2 días**.

Lamentablemente por la falta de registros se tuvo que determinar dicho tiempo en función del conocimiento y experiencia de los pobladores de la zona. El tiempo de tránsito del hidrograma se encuentra dentro del rango de tiempo calculado para otras estaciones ubicadas en el río Pilcomayo, variando el mismo entre **36 – 48 hs** para la crecida 2013 - 2014 (Cristanchi et al. 2013)<sup>10</sup>.

En el tramo Misión La Paz - Embocadura en época de crecida se producen desbordes, los mismos hasta la fecha no están cuantificados, es por ello que se consideraron dichos desbordes dentro del porcentaje de pérdida por evaporación, debido a que el destino de esta agua es evaporarse desde la superficie del suelo.

Los porcentajes de pérdidas por evaporación se consideraron para época de estiaje (abril a diciembre) del **5%**, y para época de crecida (enero a marzo) del **15 %**.

Se presentan a continuación los coeficientes de evaluación de la performance del modelo entre los valores observados vs simulados, en el tramo Misión La Paz – Embocadura para el período 2005/2006 – 2010/2011.

Coeficiente de eficiencia  $E_f$ , de Nash-Sutcliffe (1970)= **0,98**.

Error relativo de volumen  $E_{rV}$  = **-12%**. Volumen de entrada (Misión La Paz) = **47.102 hm<sup>3</sup>**. Volumen de salida (Embocadura) = **41.555 hm<sup>3</sup>**.

Error relativo de caudal máximo  $E_{rQM}$ = **-38%**. Caudal máximo (Misión La Paz) = **2.850 m<sup>3</sup>/s**. Caudal máximo (Embocadura)= **1.775 m<sup>3</sup>/s**.

La Tabla N° 6.4 muestra los valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar de los caudales diarios tramo Misión La Paz - Embocadura<sup>11</sup>, para el período 2005/2006 – 2010/2011.

---

<sup>10</sup> tiempo calculado según los registros de los sensores automáticos Kalesto ubicados en las estaciones de Villa Montes (Bolivia) y Misión La Paz (Argentina)

<sup>11</sup> los caudales en el tramo se refieren a caudales **propagados** entre estaciones, Misión La Paz-Embocadura

Tabla N° 6.4. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios tramo Misión La Paz – Embocadura (m<sup>3</sup>/s)

ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missin
25778	N4Inflow from: River Node 3	2.287213	219.6058	219.5165	1774.935	289.101	1

Las Figuras N° 6.6 y N° 6.7 muestran la ubicación de la estación Misión La Paz, la zona de Embocadura, y los desbordes que se producen entre ambas estaciones. Desbordes de mayor magnitud en la zona de Las Vertientes.

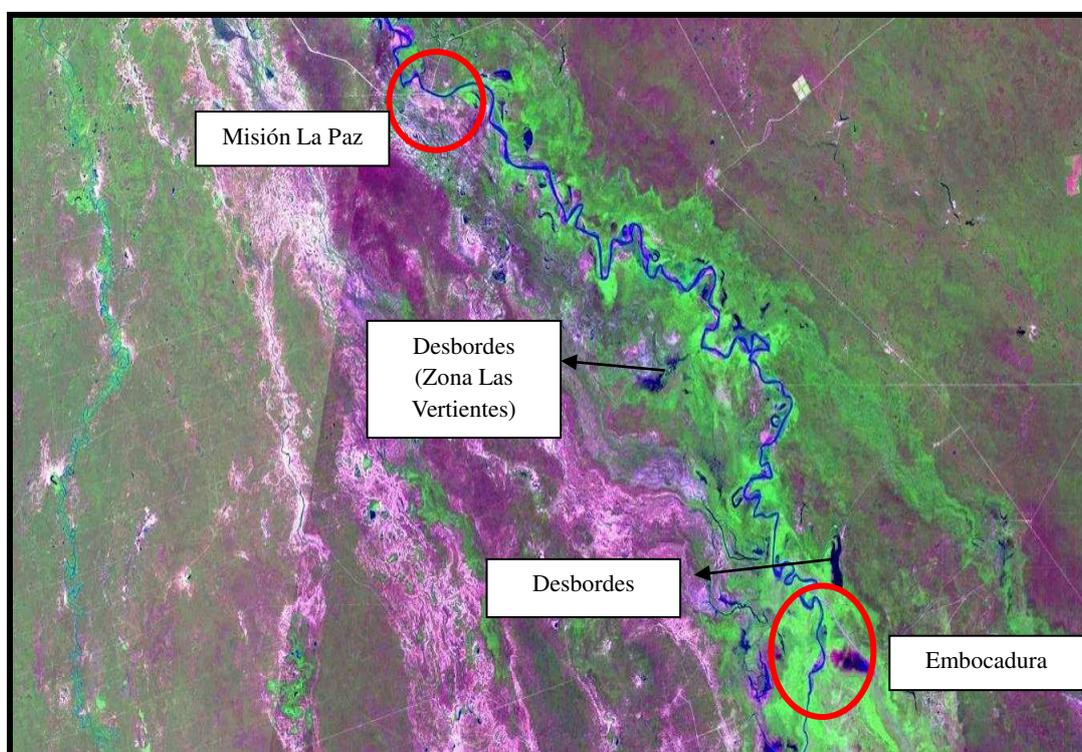


Figura N° 6.6. Imagen satelital 22-03-2007- se observan los desbordes entre Misión La Paz y Embocadura (Fuente: <http://landsatlook.usgs.gov/viewer.html>)

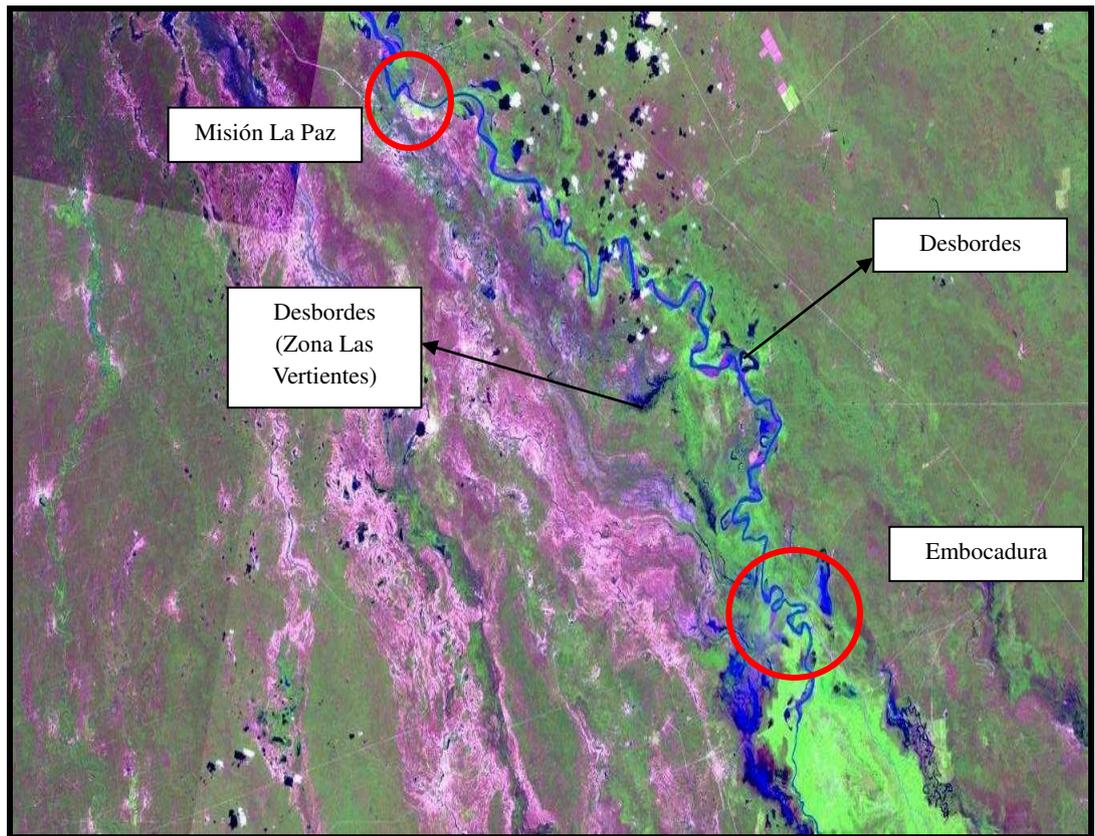


Figura N° 6.7. Imagen satelital 14-02-2008- se observan los desbordes entre Misión La Paz y Embocadura (Fuente: <http://landsatlook.usgs.gov/viewer.html>)

Las Figuras N° 6.8 y N° 6.9 representan los hidrogramas de caudales diarios observados en la estación de Misión La Paz (línea negra) y los caudales diarios tramo Misión La Paz –Embocadura (línea verde), período 2005/2006 – 2010/2011 y detalle de los años 2006/2007 respectivamente. Puede observarse en las mismas que los caudales simulados son menores a los observados, lo que se corresponde con los desbordes producidos en el tramo Misión La Paz – Embocadura.

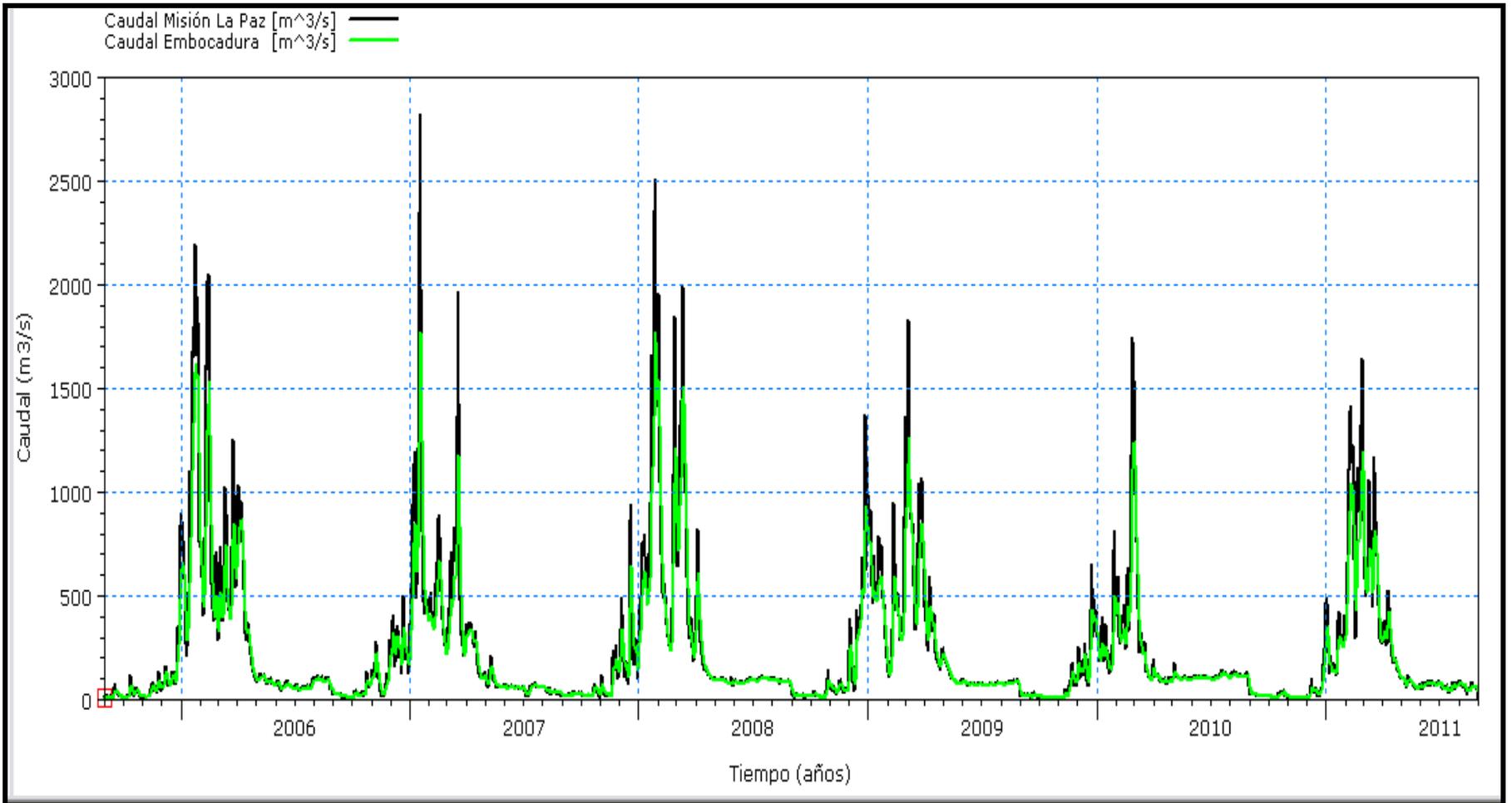


Figura N° 6.8. Caudales diarios observados Misión La Paz – caudales diarios tramo Misión La Paz – Embocadura (2005/2006 - 2010/2011)

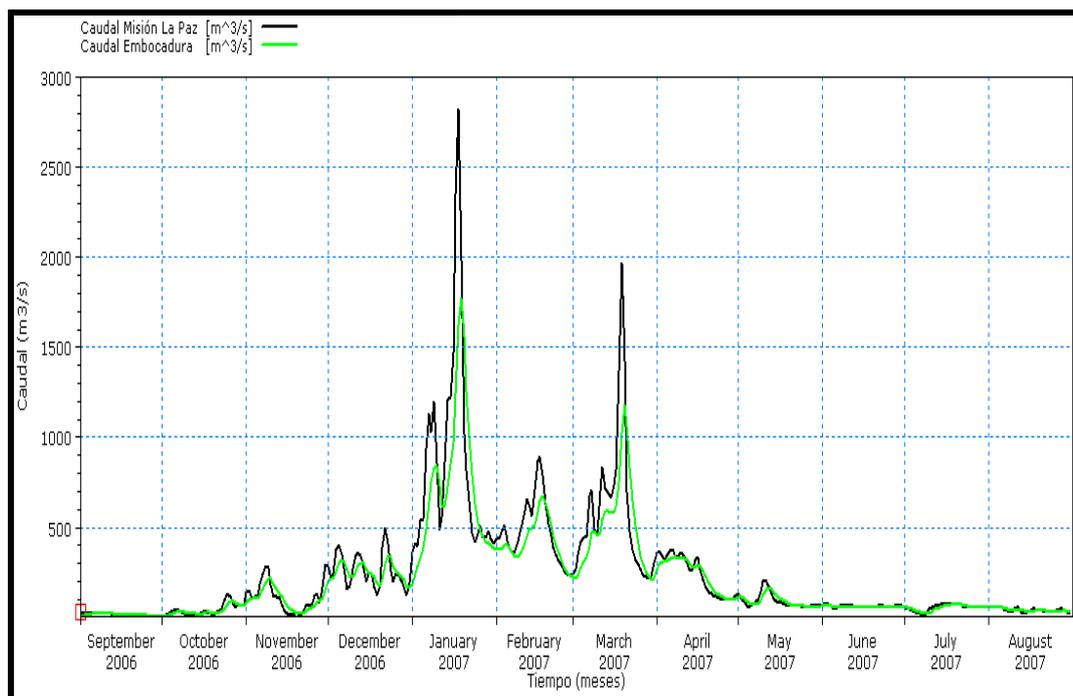


Figura N° 6.9. Caudales diarios observados Misión La Paz – caudales diarios tramo Misión La Paz-Embocadura (2006/2007)

## 2- Embocadura: distribución de caudales Argentina-Paraguay (DHI\_ID 4)

La Embocadura fue representada por un “nodo de bifurcación”, donde se adoptó para el período de estudio una distribución de caudal **70% (Argentina) y 30% (Paraguay)**.

El porcentaje de repartición de agua hacia ambos países surge del análisis de imágenes satelitales para el período de estudio en el cual se estimaron dichos porcentajes y también se consideró el estudio realizado por la Consultora AC&A para el diseño hidráulico del vertedero y viaducto de la RP N° 28, donde se implementó en primera medida el modelo HEC-RAS para el traslado de la onda de crecida desde Misión La Paz y la zona de ingreso al Embalse RP N° 28, posteriormente se evaluó el comportamiento del embalse mediante un modelo matemático bidimensional, tomándose la crecida de diseño 1983/1984 (recurrencia de 100 años) y calibrándose con la crecida 2005/2006.

Este nodo es un elemento donde se distribuyen los caudales que provienen desde la cuenca de aporte hacia Argentina y Paraguay. Se calcula distribución acumulada y la curva de duración de los caudales diarios que ingresan a Argentina.

Las Figuras N° 6.10 y N° 6.11 representan los hidrogramas de caudales diarios tramo Misión La Paz – Embocadura (línea negra) y la distribución de caudales diarios a Argentina (70%) (línea roja) y Paraguay (30%) (línea verde) para el período 2005/2006-2010/2011 y detalle de los años 2006/2007 respectivamente.

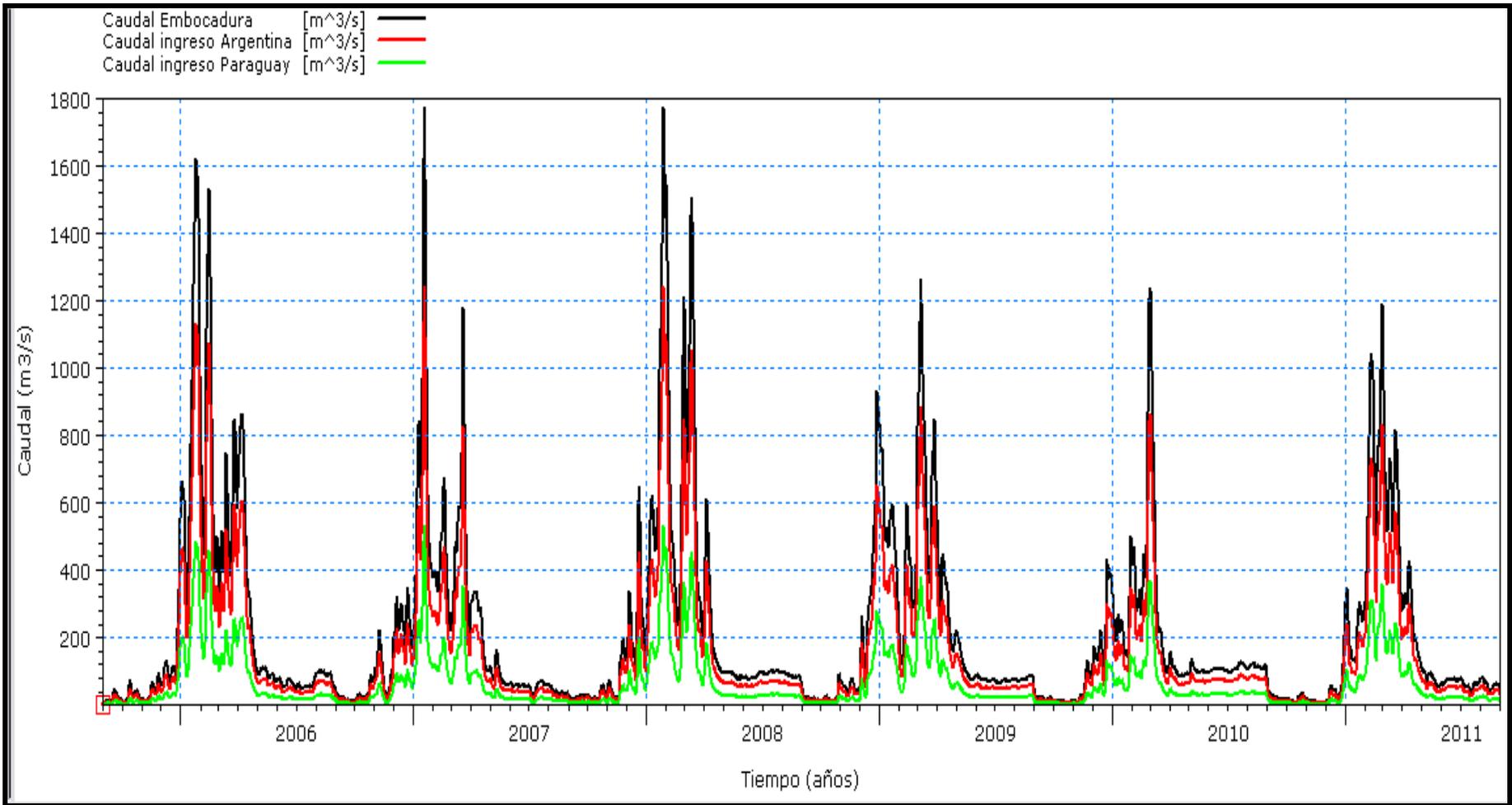


Figura N° 6.10. Distribución de caudales diarios (Embocadura-Argentina-Paraguay) (2005/2006-2010/2011)

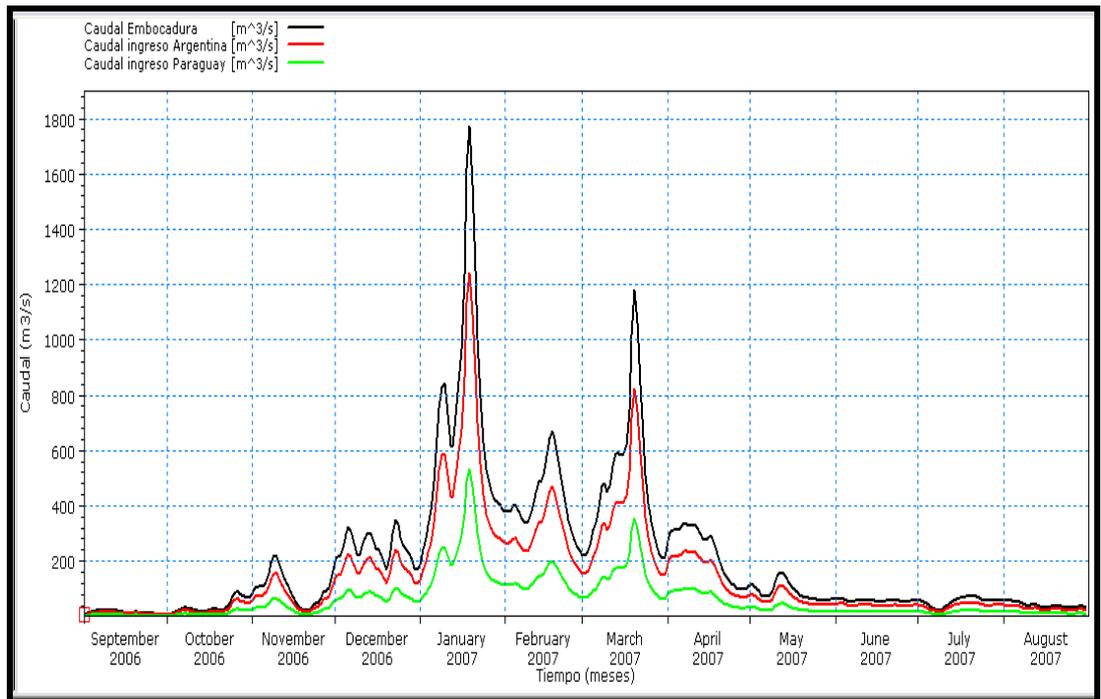


Figura N° 6.11. Distribución de caudales diarios (Embocadura-Argentina-Paraguay) (2006/2007)

La Figura N° 6.12 representa la distribución acumulada de caudales diarios que ingresan a Argentina, para el período 2005/2006-2010/2011.

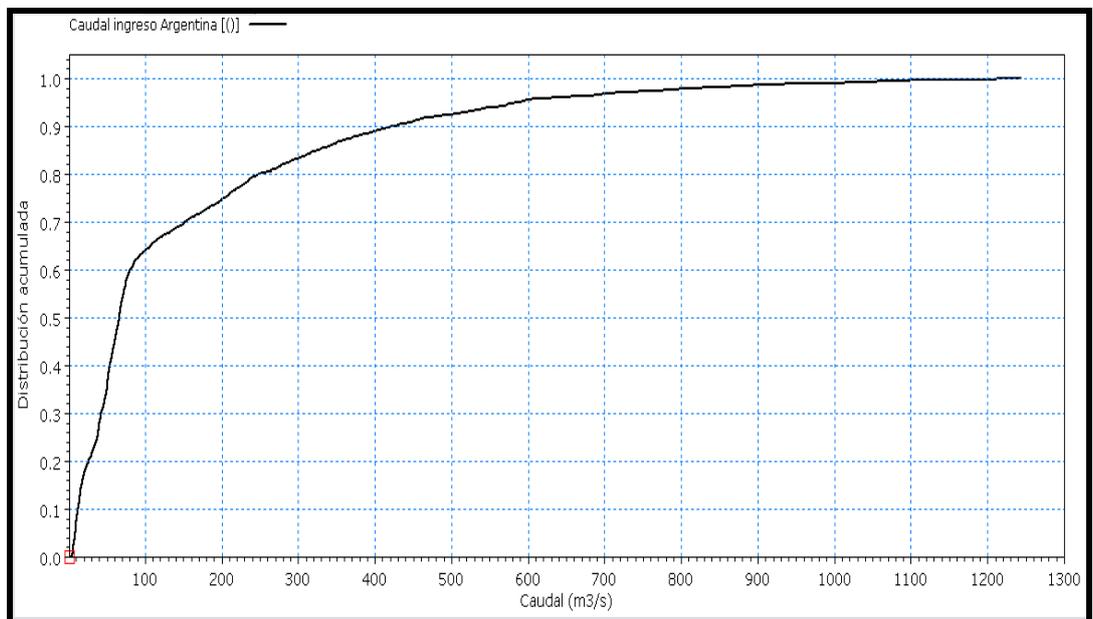


Figura N° 6.12. Distribución acumulada caudales diarios ingreso Argentina (2005/2006 – 2010/2011)

La Figura N° 6.13 representa la curva de duración de caudales diarios que ingresan a Argentina, para el período 2005/2006 - 2010/2011.

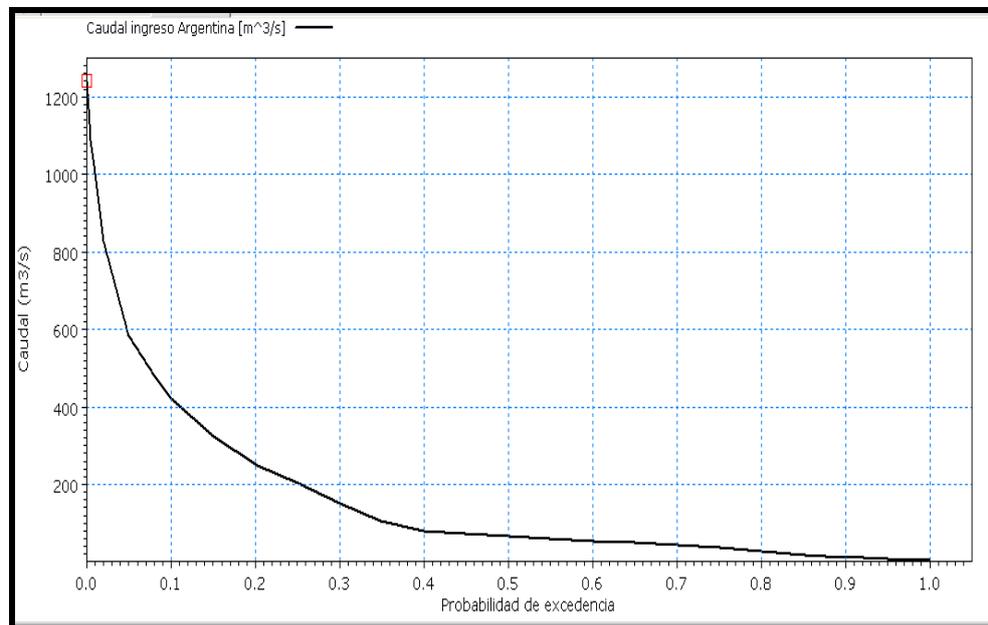


Figura N° 6.13. Curva de duración de caudales diarios ingreso Argentina (2005/2006-2010/2011)

La Figura N° 6.13 muestra la curva de duración de caudales diarios que ingresan desde Embocadura a Argentina, la cual refleja que el 10% (0,10) del tiempo los caudales son mayores a **400 m³/s**, y el 50% (0,50) del tiempo los caudales son menores a **100 m³/s**.

### 3- Tramo Embocadura – Embalse RP N° 28 (DHI\_ID 5-8)

En este elemento se realiza la transformación lluvia-escorrentía y el tránsito de hidrograma desde Embocadura al Embalse RP N° 28.

#### Transformación lluvia-escorrentía

La alimentación de agua al Embalse RP N° 28 se genera principalmente en los escurrimientos provenientes de los desbordes del río Pilcomayo que ingresan a territorio formoseño a través de los canales y correderas construidos en el extremo noroeste de la provincia y que forman el inicio del bañado La Estrella. Sin embargo, existe una porción de superficie que también aporta agua al embalse y que se trata de la cuenca propia del bañado en la provincia de Formosa (8.711 Km<sup>2</sup>) a través de las precipitaciones que se

producen en esta zona.

Es interés en este trabajo reconocer la existencia de esta segunda fuente de aporte de agua razón por la cual se desarrolla a continuación la modelación lluvia caudal a través de un sistema de modelado hidrológico LLUVIA-CAUDAL de amplio uso en el mundo entero cual es el Hydrologic Modelling System (HMS) del Hydrologic Engineering Center (HEC) de los Estados Unidos, en su versión 4.0. Este software de distribución y uso gratuitos permite la simulación de eventos hidrológicos de precipitación sobre cuencas y la generación del escurrimiento superficial según varios métodos disponibles.

El objetivo de este apartado es intentar representar la hidrología de la cuenca propia del bañado La Estrella hasta el Embalse RP N° 28 en base a la información, recursos y sugerencias disponibles, con la meta de estimar los hidrogramas de caudales para la modelación completa (2005/2006 a 2010/2011), que se generan en esta zona producto de las precipitaciones que se desarrollan allí y que indudablemente juegan un papel relevante en la incorporación de agua al Embalse RP N° 28.

Es importante comentar que la información de las características fisiográficas de esta zona y las estaciones de medición de precipitaciones es muy escasa, que no existe siquiera una estación de medición de caudales en el área y sólo diez pluviómetros con registros diarios tomados por personal de la Policía de la Provincia.

Estas singularidades conllevan a que los resultados que se obtienen en una simulación matemática son difíciles de calibrar y que necesariamente deberán ser ajustados en la medida que en el futuro se realicen campañas de topografía y aforos. Sin embargo, se considera razonable este primer intento de modelación lluvia caudal para esta zona de interés provincial por sus características ambientales, turísticas, sociales y económicas ya que se trata nada más y nada menos de la zona de aporte del Embalse RP N° 28, fuente de innumerables aprovechamientos ya mencionados anteriormente.

El área en cuestión tiene una superficie de 8.711 Km<sup>2</sup> y para ser modelada adecuadamente necesita en primera instancia, ser subdivida en subcuencas con áreas acordes a las metodologías y recomendaciones sobre el tópico de hidrograma unitario en la bibliografía disponible.

En el trabajo se utiliza la técnica propuesta por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos tanto para la evaluación de las abstracciones o pérdidas de las precipitaciones totales como para la materialización del hidrograma resultante, de amplio uso en la República Argentina y el mundo entero.

Según varios autores y en sentido general, la técnica del hidrograma unitario es aplicable en cuencas de hasta 5.000 km<sup>2</sup> (Linsley et al., 1990), o de hasta 8.000 km<sup>2</sup> según el mismo Sherman lo afirma (Ponce, 1994), mientras que otros autores sugieren no sobrepasar una superficie de 3.000 km<sup>2</sup> (Remenieras, 1971).

En sentido estricto, la técnica del hidrograma unitario del SCS no debería ser utilizada en cuencas mayores a 250 km<sup>2</sup> (Ponce, 1994), o de hasta 500 km<sup>2</sup> (Maidment, 1992), ya que se trata de aplicación en cuencas de mediano tamaño. Autores argentinos sin embargo van un poco más allá y hablan de la aplicabilidad del método en cuencas de hasta 2.000 km<sup>2</sup> (Orsolini, Zimmermann y Basile, 2008). Fatorelli y Fernández (2007) manifiestan que además la técnica de hidrograma unitario es aplicable a unidades de respuesta hidrológica (cuencas) con lluvias regionales de hasta 5.000 km<sup>2</sup> y de 1.000 km<sup>2</sup> para el caso de lluvias convectivas. El Dr. Ponce en una entrevista personal con Victor Mockus (autor de la metodología) afirma que el método fue desarrollado en base a experiencias en cuencas de hasta 1.000 km<sup>2</sup> ([http://ponce.sdsu.edu/mockus\\_conversacion.html](http://ponce.sdsu.edu/mockus_conversacion.html)).

Todas estas consideraciones preliminares demuestran una disparidad en las recomendaciones sobre los límites de superficie para lo cual es aplicable y confiable el método de hidrograma unitario. Sumado a este inconveniente, resurge la realidad que no se poseen datos e información en cantidad y calidad necesarios y suficientes en la zona de estudio como para aseverar que la modelación matemática de la simulación hidrológica no tendrá ítems para corregir, mejorar, modificar, adaptar.

Por ello es que se decidió tratar de respetar el tamaño máximo de las subcuencas a representar en la topología del modelo como para que no sobrepase los 2.000 Km<sup>2</sup>, lo que generó una discretización de los 8.711 km<sup>2</sup> en siete subcuencas cuyos parámetros principales se adjuntan en la figura y tabla siguientes.

La Figura N° 6.14 muestra las subcuencas del bañado La Estrella que se consideraron para el análisis lluvia-caudal.

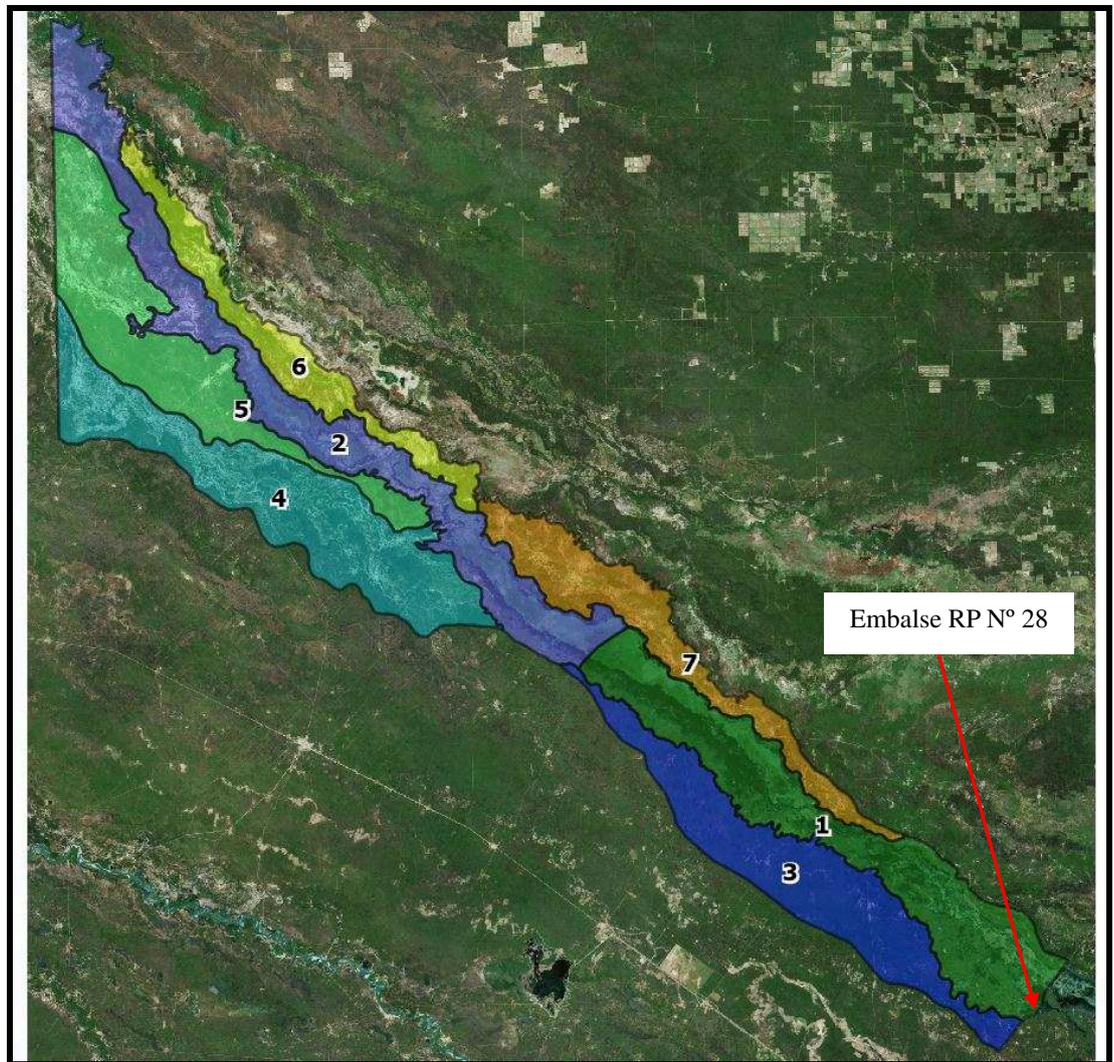


Figura N° 6.14. Subcuencas bañado La Estrella

La Figura N° 6.15 muestra la ubicación y distribución de las estaciones pluviométricas dentro del bañado La Estrella.

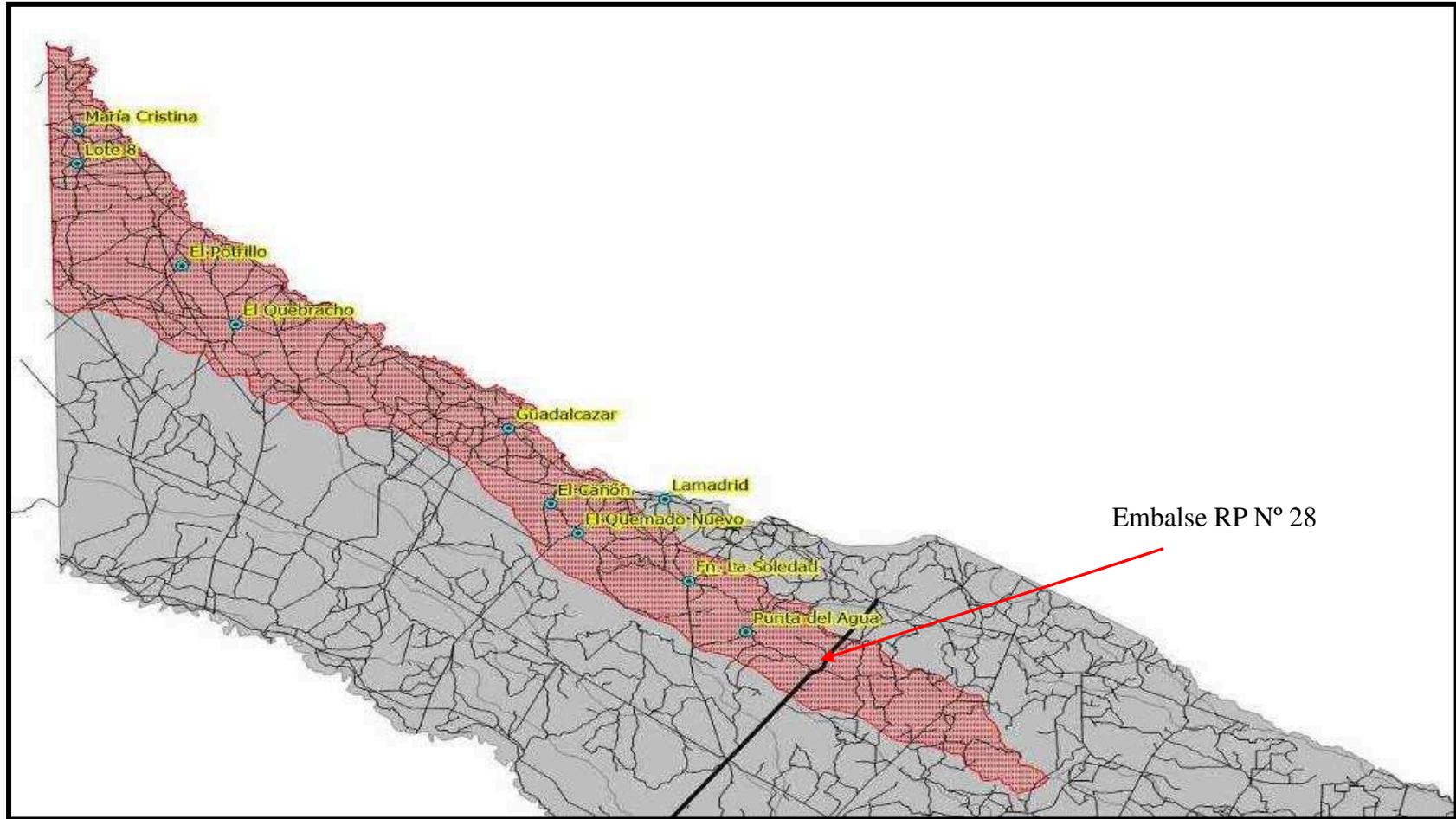


Figura N° 6.15. Ubicación estaciones pluviométricas

La Tabla N° 6.5 muestra las características de las subcuencas del bañado La Estrella.

Tabla N° 6.5. Características subcuencas bañado La Estrella

Subcuenca	Pluviómetro	Sup_Km2	Coef_Thiessen	
1	Guadalcazar	199	0.126	
1	El Cañón	258	0.163	
1	El Quemado Nuevo	239	0.151	
1	Lamadrid	37	0.023	
1	Fortín La Soledad	277	0.175	
1	Punta del Agua	572	0.362	1.000
2	Lote 8	162	0.101	
2	María Cristina	318	0.198	
2	El Potrillo	275	0.172	
2	El Quebracho	432	0.269	
2	Guadalcazar	417	0.260	1.000
3	Guadalcazar	34	0.028	
3	El Cañón	168	0.142	
3	El Quemado Nuevo	308	0.258	
3	Fortín La Soledad	399	0.334	
3	Punta del Agua	284	0.238	1.000
4	Lote 8	48	0.031	
4	El Potrillo	407	0.264	
4	El Quebracho	978	0.634	
4	Guadalcazar	110	0.071	1.000
5	Lote 8	488	0.372	
5	María Cristina	96	0.073	
5	El Potrillo	540	0.412	
5	El Quebracho	187	0.143	1.000
6	Lote 8	122	0.183	
6	María Cristina	48	0.073	
6	El Potrillo	240	0.363	
6	El Quebracho	252	0.381	1.000
7	El Quebracho	4	0.005	
7	Guadalcazar	575	0.705	
7	El Cañón	77	0.094	
7	El Quemado Nuevo	2	0.002	
7	Lamadrid	120	0.147	
7	Fortín La Soledad	38	0.047	1.000

La topología final del modelo se presenta en la Figura N° 6.16.

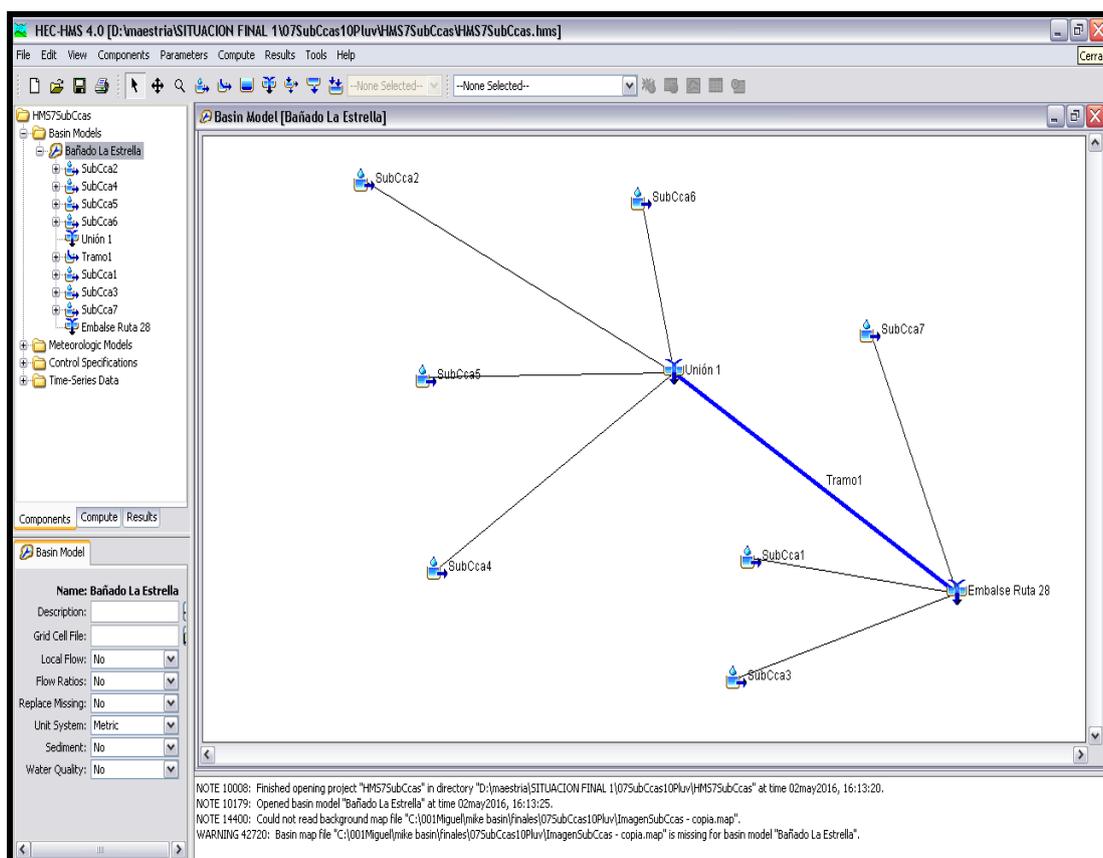


Figura N° 6.16. Topología modelo HEC-HMS

El método de las abstracciones propuesto por la metodología del SCS en la técnica del hidrograma unitario y su materialización en el hidrograma de escurrimiento directo requiere la obtención de algunos parámetros como ser el CN (número de curva), Lag Time (tiempo de retardo), el área de cada subcuenca, entre otros.

El número de curva para cada una de las 7 subcuencas fue obtenido en base a superposición de tres capas temáticas procesadas en un SIG y que son:

1. Tipos de suelos: obtenida de la información provista por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), a través de la publicación del Atlas de Suelos en escala 1:500.00 para toda la República Argentina, la cual fue utilizada para obtener en principio la textura superficial de los suelos principales para que posteriormente sea asignado a un Grupo Hidrológico de los cuatro posibles en el método (A, B, C y D), ya que el tipo de suelo indica de alguna manera, su capacidad de infiltración, dato relevante para estimar el CN.

2.Cobertura de suelos: obtenida en base a la información en formato SIG publicada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN – ex IGM) en su página web donde presenta una diversidad de capas temáticas del SIG 250 a partir de la cual se obtuvo el layer “cobertura de suelos” en formato vectorial y a escala 1:250.000.

3.Subcuencas del área de estudio: capa determinada en base a la subdelimitación de los 8.711 Km<sup>2</sup> en cada una de las subcuencas, generadas con las premisas descriptas

Esta superposición a modo de intersección georreferenciada permitió obtener por cada subcuenca, el porcentaje de tipo de suelo (y por ende de su grupo hidrológico) y el porcentaje de cobertura de suelo. Teniendo en cuenta estos resultados y la consulta con la bibliografía afín al tema, se estimaron los valores de CN para cada grupo hidrológico de suelo en combinación con la cobertura para luego obtener en forma ponderada, el valor de CN final único para cada subcuenca.

La observación que merece ser comentada es que los números de curva adoptados por grupo de suelo y cobertura no se encuentran explícitamente en las tablas de CN publicadas por lo que se aproximó ese valor a coberturas ligeramente similares.

La Tabla N° 6.6 muestra los valores de CN para cada una de la subcuencas del bañado La Estrella.

En el Anexo II Tablas se muestra el detalle del cálculo de CN para cada subcuenca de acuerdo al grupo hidrológico y cobertura.

Tabla N° 6.6. Valores CN subcuencas bañado La Estrella

<b>Sub Cuenca</b>	<b>Area Km2</b>	<b>CN</b>
<b>1</b>	1582	37.4
<b>2</b>	1604	36.3
<b>3</b>	1193	38.9
<b>4</b>	1543	35.6
<b>5</b>	1311	35.4
<b>6</b>	662	34.5
<b>7</b>	816	40.8
<b>Total</b>	<b>8711</b>	

El tiempo de retardo, parámetro crucial en la transformación del volumen de escurrimiento directo en el hidrograma triangular por cada una de las subcuencas, fue determinado teniendo en cuenta la publicación del ASCE (American Society of Civil

Engineering) en el Journal of Irrigation and Drainage Engineering, cuyo título es “Time of Concentration Estimated Using Watershed Parameters Determined by Automated and Manual Methods” (Xing Fang et al., 2008). Esta publicación presenta la comparación de fórmulas del tiempo de concentración y tiempo de retardo en base a metodologías que se sustentan en algunos parámetros físicos de las cuencas.

Para este trabajo se compararon los resultados obtenidos en base a las fórmulas empíricas de Williams (1922), Kirpich (1940), Johnstone-Cross (1949) y Haktanir-Sezen (1990) que presenta este documento del cálculo de tiempos de concentración y tiempo de retardo en base a datos característicos de las cuencas como son la longitud del cauce principal, el diámetro equivalente de la cuenca, el área, la pendiente del canal principal y la pendiente de la cuenca.

La Figura N° 6.17 muestra las fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración según los diferentes autores (Xing Fang et al., 2008).

Method	Equation in SI units	Equation in English units
Williams (1922)	$T_c = 16.32L_c A^{0.4} / (DS_c^{0.2})$	$T_c = 23.89L_c A^{0.4} / (DS_c^{0.2})$
Kirpich (1940)	$T_c = 3.978L_c^{0.77} S_c^{-0.385}$	$T_c = 5.735L_c^{0.77} S_c^{-0.385}$
Johnstone-Cross (1949)	$T_c = 3.258(L_c / S_c)^{0.5}$	$T_c = 4.129(L_c / S_c)^{0.5}$
Haktanir-Sezen (1990)	$T_L = 26.85L_c^{0.841}$	$T_L = 40.06L_c^{0.841}$
Simas-Hawkins (2002)	$T_L = 53.14 \times W^{0.594} \times S_B^{-0.150} \times S_{nat}^{0.313}$	$T_L = 70.5 \times W^{0.594} \times S_B^{-0.150} \times S_{nat}^{0.313}$

Note: For SI units, channel length  $L_c$ , watershed equivalent diameter  $D$ , and watershed width  $W$  are in km, area  $A$  is in km<sup>2</sup>, and  $S_c$  (channel slope) and  $S_B$  (basin slope) are in m/m. For English units,  $L_c$ ,  $D$ , and  $W$  are in mi.  $A$  is in mi<sup>2</sup>, and  $S_c$  and  $S_B$  is in ft/ft.  $S_{nat}$  is in in. for both units.

Figura N° 6.17. Fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración

La Tabla N° 6.7 muestra los valores del tiempo de concentración por subcuenca y por autor.

Tabla N° 6.7. Tiempo de concentración por subcuenca y por autor

Sub Cuenca	Area Km2	CN	D. equiv. (km2)	Lc Channel Length	Sc Channel Slope	SB Basin Slope	TC1 minutos Williams	TC2 minutos Kirpich	TC3 minutos Johnstone-Cross
1	1582	37.4	44.88	114.83	0.0002	0.0002	4367	4074	2469
2	1604	36.3	45.19	168.41	0.0002	0.0002	6396	5471	2990
3	1193	38.9	38.97	105.7	0.0002	0.0002	4135	3822	2369
4	1543	35.6	44.32	91.55	0.0002	0.0002	3490	3422	2204
5	1311	35.4	40.86	99.32	0.0002	0.0002	3849	3643	2296
6	662	34.5	29.03	106.03	0.0002	0.0002	4399	3831	2372
7	816	40.8	32.23	103.71	0.0002	0.0002	4214	3767	2346

Se adopta una pendiente de canal igual a 20 cm/km.

La Tabla N° 6.8 muestra los valores del tiempo de retardo por subcuenca y por autor.

Tabla N° 6.8. Tiempo de retardo por subcuenca y por autor

Sub Cuenca	Area Km2	CN	D. equiv. (km2)	Lc	Sc	SB	LagTime1	LagTime2	LagTime3	LagTime4
				Channel Length	Channel Slope	Basin Slope	Williams	Kirpich	Johnstone-Cross	Haktanir-Sezen
1	1582	37.4	44.88	114.83	0.0002	0.0002	2620	2444	1481	1450
2	1604	36.3	45.19	168.41	0.0002	0.0002	3838	3283	1794	2001
3	1193	38.9	38.97	105.7	0.0002	0.0002	2481	2293	1421	1353
4	1543	35.6	44.32	91.55	0.0002	0.0002	2094	2053	1323	1199
5	1311	35.4	40.86	99.32	0.0002	0.0002	2309	2186	1378	1284
6	662	34.5	29.03	106.03	0.0002	0.0002	2640	2299	1423	1356
7	816	40.8	32.23	103.71	0.0002	0.0002	2528	2260	1408	1331

De todos los valores obtenidos por subcuencas, se decidió utilizar la propuesta sugerida por **Johnstone-Cross** ya que fue desarrollada en experiencias realizadas en cuencas de hasta 4.000 km<sup>2</sup>. Sin embargo es de destacar que todas ellas arrojan valores no muy disímiles entre sí.

La topología modelada requirió la incorporación de un tramo o trecho de cauce que vincula la parte superior (aguas arriba, subcuencas 2, 4, 5,6) de la cuenca con el Embalse RP N° 28. Este tramo de cauce fue simulado en base a la propagación por el método de Muskingum para lo cual se adoptaron valores de la constante de almacenamiento (K) y del almacenamiento en cuña (x) ya que a la fecha es inviable contar con hidrogramas observados a la entrada y salida del tramo que permitan obtener estos parámetros. **Resulta claro que estos parámetros deberán ser revisados en tanto y en cuanto se disponga de información que lo permita.**

La Figura N° 6.18 representa el hidrograma Embalse RP N° 28 y Tabla resumen de la corrida efectuada para el período 2005/2006. Se presenta en el Anexo III Figuras los resultados de las otras cinco corridas, correspondiente a los períodos restantes.

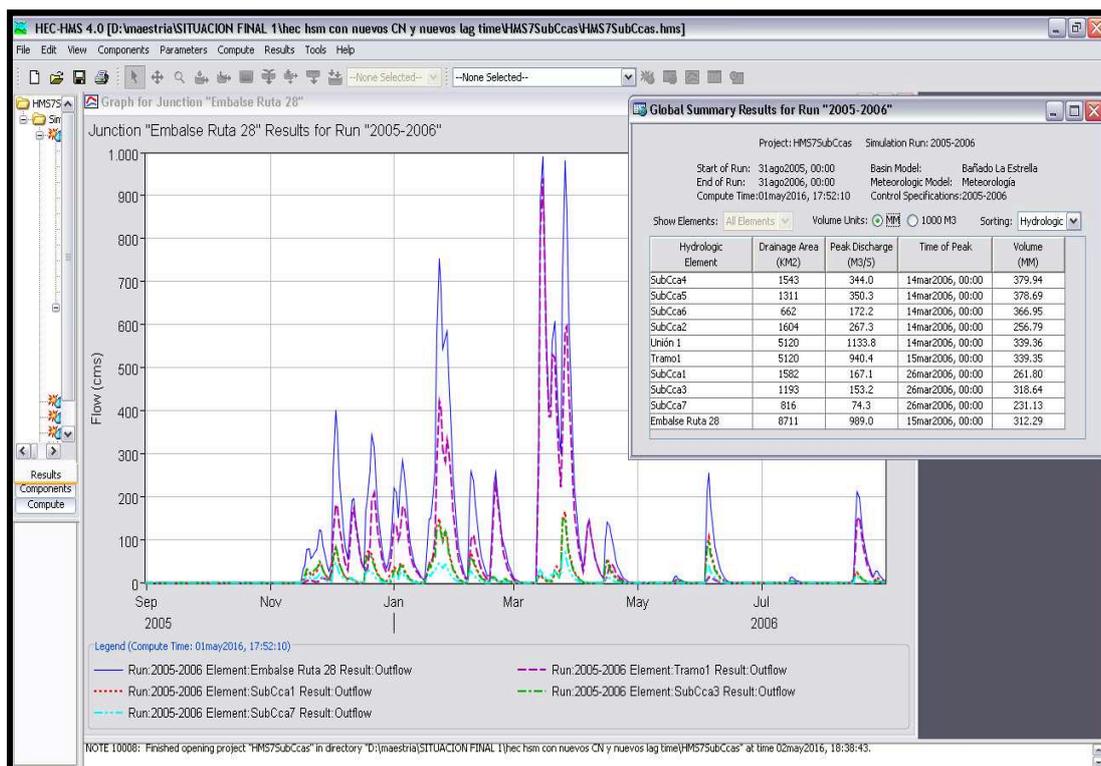


Figura N° 6.18. Hidrograma Embalse RP N° 28 - tabla resumen (2005/2006)

Se consideró en base al conocimiento del sistema que el **20 %** del caudal generado por las precipitaciones se propaga con el caudal de ingreso a la Argentina, y el **80%** restante de caudal aportan directamente al Embalse RP N° 28 por la proximidad de las estaciones al mismo.

En el bañado existe déficit hídrico, es decir las precipitaciones que se generan sobre la superficie del mismo son menores a la evaporación. De no producirse ingresos de caudales en Embocadura no se almacenaría agua, por lo tanto se produciría la desertización total (Lagranja, 2004).

### Tránsito del hidrograma

Al igual que en el tramo Misión La Paz-Embocadura, en el tramo Embocadura-Embalse- RP N° 28 se utilizó el método de “reservorio lineal” para el tránsito del hidrograma.

El tiempo de tránsito considerado entre ambos puntos fue de **75 días**.<sup>12</sup>

<sup>12</sup> Monitoreo de avance de inundaciones fluviales en áreas de llanura con sensores remotos-Valiente et al., 2009

Con ayuda de los registros hidrométricos de las estaciones ubicadas en el bañado La Estrella, las imágenes satelitales y el trabajo realizado por Valiente et al. (2009) (ver Figura N° 6.30 y Anexo III Figuras N° AIII.1 y N° AIII.2) puede considerarse que la recarga al bañado La Estrella por los aportes del río Pilcomayo comienza a producirse a fines del mes de enero, llegando entre los meses de febrero y marzo a operar el Embalse RP N° 28, manteniéndose operable hasta el mes de septiembre.

Las Figuras N° 6.19 y N° 6.20 representan los hidrogramas de caudales diarios que ingresan a Argentina más los caudales diarios que generan el 20% de las precipitaciones en cercanías a Embocadura (línea negra) y los caudales diarios tramo Embocadura-Embalse RP N° 28<sup>13</sup> (línea roja), para el período 2005/2006-2010/2011 y detalle de los años 2006/2007 y 2007/2008, respectivamente.

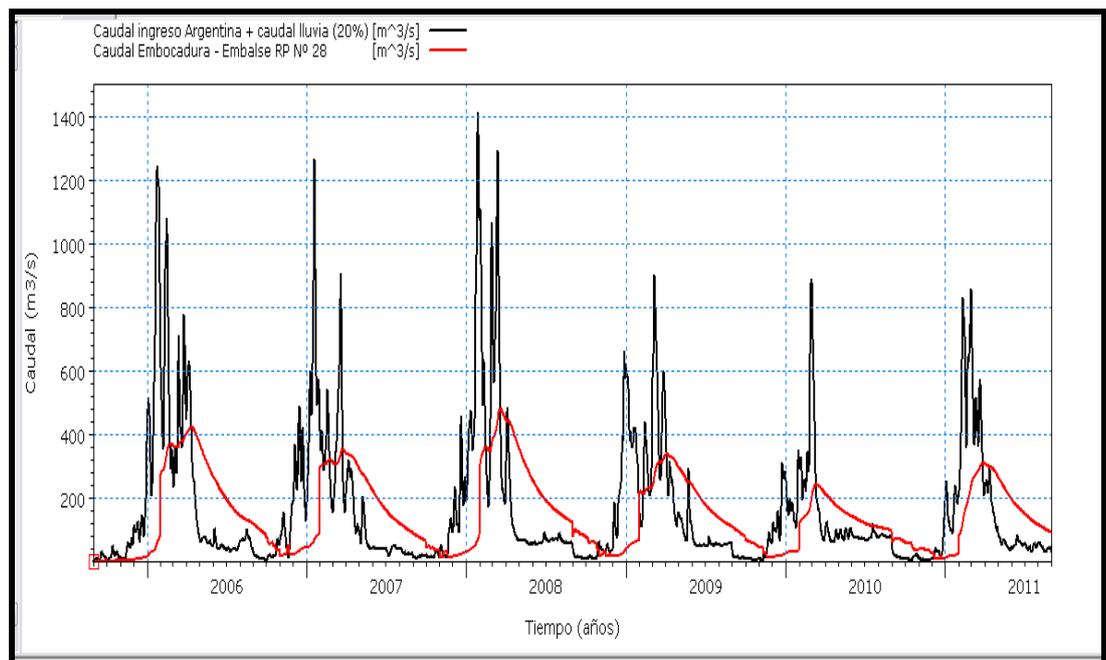


Figura N° 6.19. Caudales diarios que ingresan a Argentina + caudales diarios de lluvia (20%) – caudales diarios tramo Embocadura-Embalse RP N° 28 (2005/2006-2010/2011)

<sup>13</sup> los caudales en el tramo se refieren a caudales **propagados** entre estaciones, Embocadura-Embalse RP N° 28

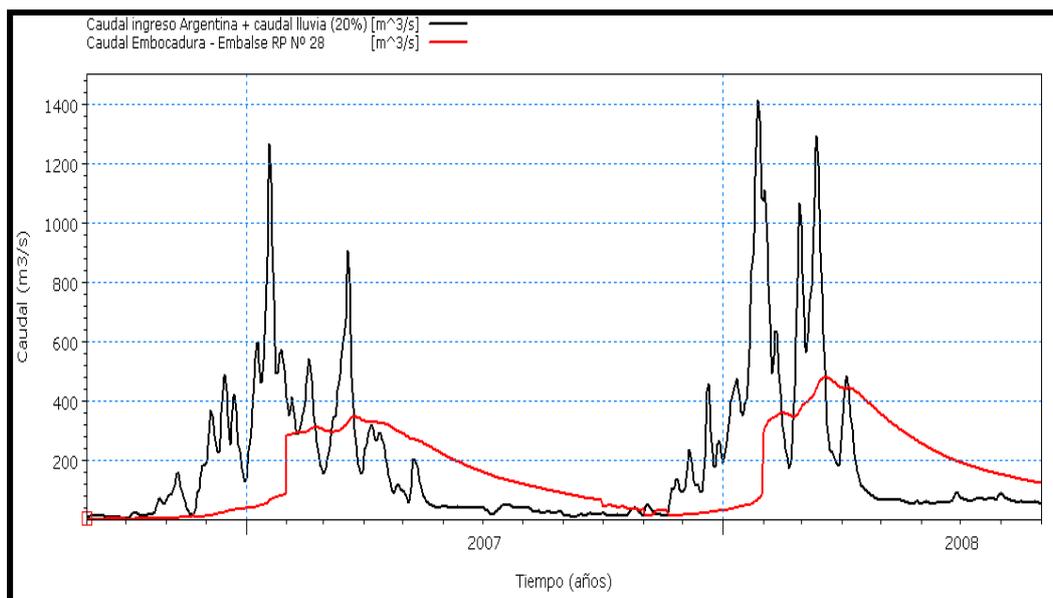


Figura N° 6.20. Caudales diarios que ingresan a Argentina + caudales diarios de lluvia (20%) – caudales diarios tramo Embocadura- Embalse RP N° 28 (2006/2007 - 2007/2008)

Las Tablas N° 6.9 y N° 6.10 muestran los valores mínimos, medios, promedios, máximos y desvío estándar de los caudales diarios ingreso a Argentina + caudales diarios de lluvia (20%), y de los caudales diarios tramo Embocadura - Embalse RP N° 28 para el período 2005/2006-2010/2011, respectivamente.

Tabla N° 6.9. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios ingreso Argentina + caudales diarios lluvia (20%) (m³/s)

ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
333	Caudal ingreso Argentina ...	1.601049	170.0257	169.9559	1410.995	222.01	1

Tabla N° 6.10. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios tramo Embocadura-Embalse RP N° 28 (m³/s)

ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
377	Caudal Embocadura - Em...	0.006907148	150.86	150.812	480.3882	120.201	1

Las pérdidas por infiltración y evaporación en el tramo de río se expresan como porcentajes de caudal que pasa en el tramo. En este caso se consideró que durante los meses de octubre a enero las pérdidas por evaporación, en el tramo Embocadura - Embalse RP N° 28, varían entre **35 y 70%**. Con estos porcentajes de pérdidas se asume que los caudales durante los meses de octubre a enero se mantienen por debajo de **50 m<sup>3</sup>/s**, y que dichos caudales como tienen que recorrer una distancia aproximada de **250 km** con una pendiente de **20 cm/km** (tramo Embocadura - Embalse RP N° 28) no generan aumento de volumen ni de nivel en el Embalse RP N° 28.

La consideración de caudales menores a **50 m<sup>3</sup>/s**, surge de promediar (octubre-enero) los escasos valores de caudales que se tienen para el período 2013 - 2014 en el canal argentino (aguas abajo de Embocadura), además que el período octubre-enero es de estiaje por lo cual los caudales de ingresos son mínimos.

La Figura N° 6.21 representa los hidrogramas de caudales diarios tramo Embocadura - Embalse RP N° 28 (línea negra) y los caudales diarios pérdidas por evaporación (línea roja) en dicho tramo, para el período 2005/2006-2010/2011.

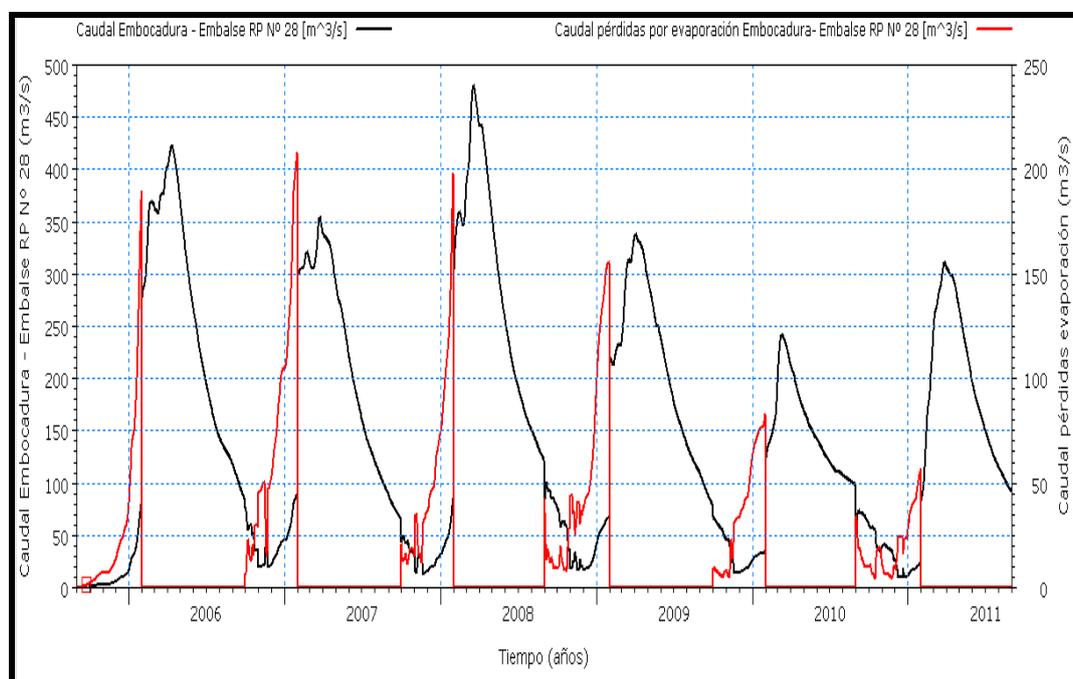


Figura N° 6.21. Caudales diarios tramo Embocadura - Embalse RP N° 28 – caudales diarios pérdida por evaporación (tramo Embocadura - Embalse RP N° 28) (2005/2006-2010/2011)

#### 4- Embalse RP N° 28 (DHI\_ID 9)

El Embalse o reservorio de la RP N° 28 tiene la función de almacenar el agua que entra al bañado La Estrella desde Embocadura, y a través de sus diferentes obras distribuir el agua al sector centro –norte de la provincia de Formosa.

En este elemento se calculan la capacidad de almacenamiento y niveles característicos del Embalse RP N° 28 (a partir de las curvas de nivel), las pérdidas por infiltración y evapotranspiración, caudales y niveles diarios que pasan por vertedero, caudal de conducción del canal Embalse RP N° 28 – obra partidora. Como así también la distribución acumulada y la curva de duración del volumen almacenado.

La capacidad de almacenamiento del Embalse RP N° 28 se calculó a partir de las curvas de nivel. Para cada cota se determinó la superficie inundada y su correspondiente volumen almacenado.

La Figura N° 6.22 muestra las curvas de nivel y la tabla nivel-área-volumen del Embalse RP N° 28.

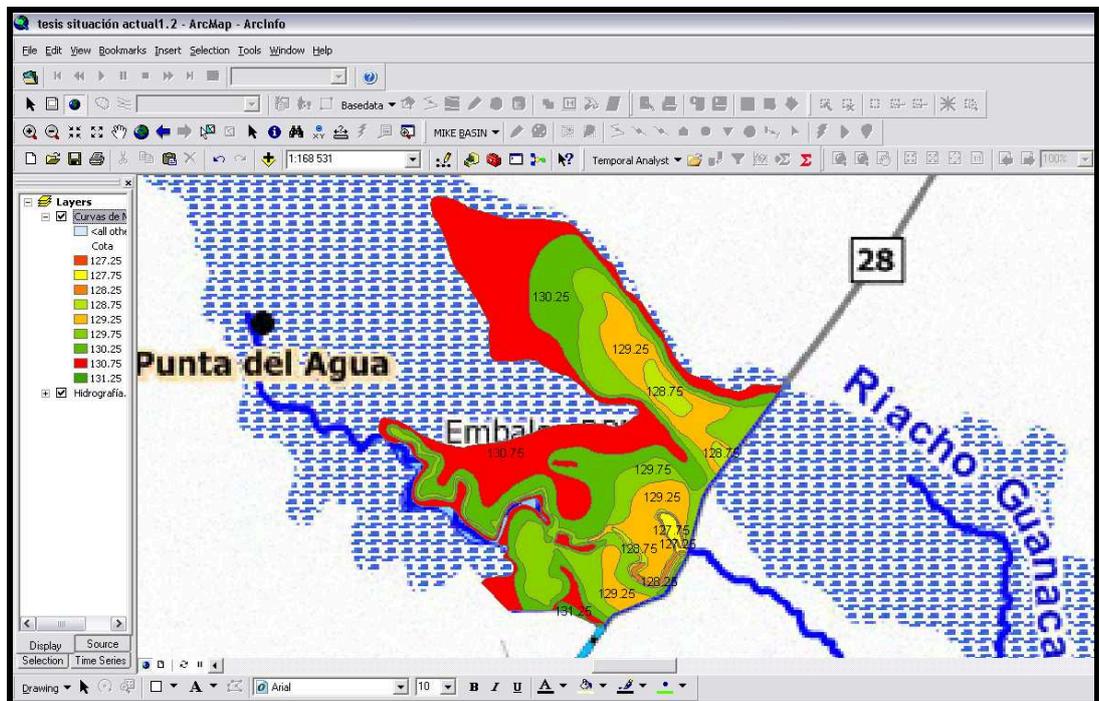


Figura N° 6.22. Curvas de nivel Embalse RP N° 28

La Tabla N° 6.11 representa los valores de cota, superficie inundada y volumen almacenado del Embalse RP N° 28.

Tabla N° 6.11. Valores de cota, superficie inundada y volumen almacenado Embalse RP N° 28.

Cota	Superficie inundada	Volumen almacenado total
m	Km2	Hm3
127.25	0.05	
127.50	0.05	0.013
127.75	0.40	0.062
128.00	1.02	0.233
128.25	1.41	0.536
128.50	2.01	0.961
128.75	4.32	1.734
129.00	10.47	3.527
129.25	19.28	7.190
129.50	31.39	13.463
129.75	47.01	23.197
130.00	66.23	37.284
130.25	89.04	56.622
130.50	115.31	82.096
130.75	144.80	114.539
131.00	177.16	154.716
131.25	211.92	203.287
131.50	248.49	260.777
131.75	286.18	327.556
<b>132.00</b>	<b>324.19</b>	<b>403.802</b>

Con las curvas de nivel y la información de las obras existentes en el Complejo Hidrovial RP N° 28 (capítulo 4, ítem 4.1.3), se calcularon los niveles característicos del Embalse RP N° 28 como ser nivel inicial de agua, nivel inferior, nivel de almacenamiento muerto, nivel de control de inundaciones y nivel de la cota del terraplén, datos necesarios a ser ingresados en el modelo.

Siendo los valores de dichos niveles:

- Cota cresta terraplén de cierre (dam crest level)= **132,00 m**
- Cota vertedero (flood control level)<sup>14</sup> = **130,51 m**
- Nivel inicial de agua (initial water level)<sup>15</sup> = **129,00 m**
- Nivel inferior del embalse (bottom level)= **128,00 m**
- Nivel volumen muerto (top of dead storage)= **128,75 m**
- Nivel mínimo de embalse operable (reduction level)= **129,25 m**

La Figura N° 6.23 representa la curva nivel-área-volumen y los niveles característicos del Embalse RP N° 28.

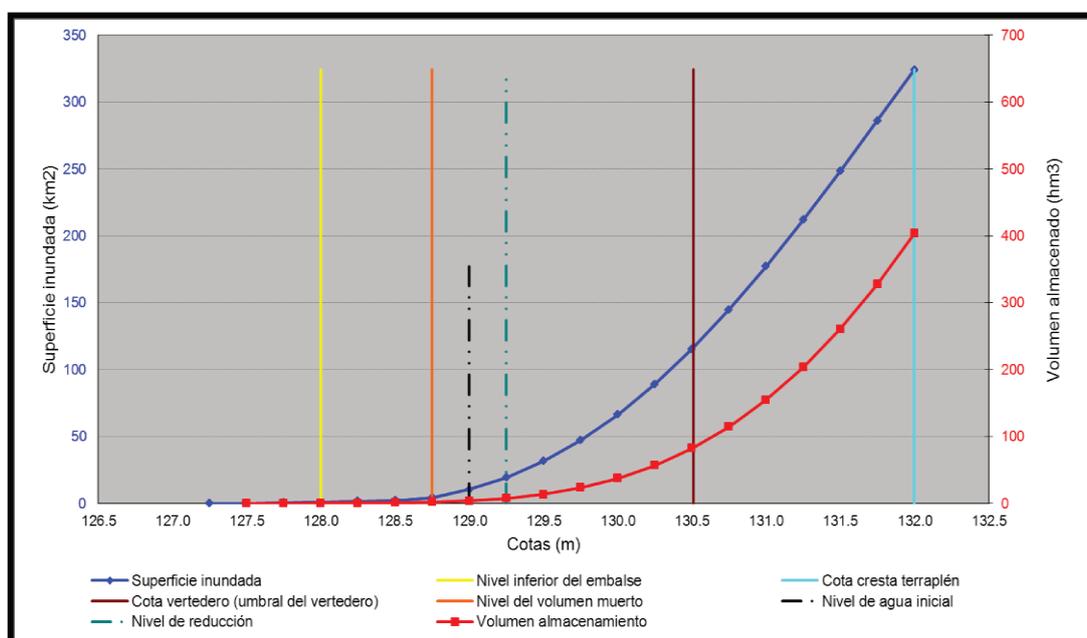


Figura N° 6.23. Curva de nivel – área - volumen y niveles característicos  
Embalse RP N° 28

Como se mencionó anteriormente se consideró que el **80%** restante de caudales generados por las precipitaciones no se propagan, ya que la ubicación de las estaciones pluviométricas es cercana al Embalse RP N° 28, es decir la esorrentía generada por estas estaciones incide directamente en dicho embalse.

<sup>14</sup> Nivel a partir del cual se produce el rebase del Embalse RP N° 28 y pasa agua sobre el vertedero

<sup>15</sup> A partir de esta cota el Bañado y el sistema del riacho Salado actúan independientemente, superada la misma los volúmenes abarca los dos valles produciéndose desborde desde el bañado hacia la cuenca del riacho Salado actuando como una unidad hídrica.

Las precipitaciones registradas entre los meses de noviembre hasta finales de enero no generan variaciones en los niveles del Embalse RP N° 28, siendo estos meses los de mayores precipitaciones durante el período de estudio. En estos meses las escalas hidrométricas ubicadas en el bañado no tienen registro, entonces puede suponerse que las precipitaciones caídas durante dichos meses se pierden casi en su totalidad por **infiltración**. (Figura N° 6.25)

La **evapotranspiración** tiene mayor incidencia durante la segunda mitad del mes de febrero hasta septiembre, meses donde el bañado La Estrella comienza a recargarse con caudales provenientes de Embocadura, durante estos meses las pérdidas por infiltración son mínimas o nulas por las condiciones de humedad del suelo.

### **Infiltración**

Los valores que se tuvieron en cuenta para las pérdidas por infiltración son los calculados en el modelo HEC-HMS.

Los valores incorporados al modelo MIKE BASIN se mantuvieron dentro de los rangos para el tipo de suelo, variando desde **< 8 mm/h (suelo arcilloso) hasta 25 mm/h (suelo muy arenoso)**

En la Tabla N° 6.12 se presentan los rangos de velocidad de infiltración para los diferentes tipos de suelos.

Tabla N° 6.12. Valores velocidad de infiltración (Fuente: NutriTierra [www.nutritierra.com.ar/images/PDF/Info%20Tecnica/valores\\_suelos.pdf](http://www.nutritierra.com.ar/images/PDF/Info%20Tecnica/valores_suelos.pdf))

<b>VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN</b>	
MUY ARENOSO	20-25 mm/h
ARENOSO	15-20 mm/h
LIMO-ARENOSO	10-15 mm/h
LIMO-ARCILLOSO	8-10 mm/h
ARCILLOSO	< 8 mm/h

## Evapotranspiración

La evapotranspiración se tuvo en cuenta por las dimensiones y condiciones del Embalse RP N° 28, siendo un gran espejo de agua con vegetación típica de bañados (totoras, camalotes, enredaderas).

Para el cálculo de la evapotranspiración se utilizó el método de Thornthwaite. Los cálculos de Thornthwaite (1948) están basados en la determinación de la evapotranspiración en función de la temperatura media con una corrección en función de las horas del sol del día y el número de días del mes.

$$i = \left( \frac{t}{5} \right)^{1.5} \quad (6.1)$$

i: índice de calor mensual, t: temperatura media mensual del mes (°C)

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad (6.2)$$

I: índice de calor anual

$$ETP_{\text{sincorr.}} = 16 \cdot \left( \frac{10 \cdot t}{I} \right)^{1.5} \quad (6.3)$$

$ETP_{\text{sincorr.}}$ : evapotranspiración potencial mensual no ajustada, t: temperatura media mensual (°C)

$$a = 671 \cdot 10^{-9} \cdot I^2 - 771 \cdot 10^{-7} \cdot I^2 + 1792 \cdot 10^{-5} \cdot I + 0.49229 \quad (6.4)$$

$$ETP = \frac{ETP_{\text{sincorr.}} \cdot N \cdot d}{12 \cdot 30} \quad (6.5)$$

ETP: evapotranspiración ajustada, N: número máximo de horas de sol dependiendo del mes y de la latitud, d: número de días del mes

En la Tabla N° 6.13 se presentan los valores de evapotranspiración mensual y diaria, para el escenario actual.

Tabla N° 6.13. Valores de evapotranspiración mensual y diaria

días	meses	temperatura media mensual (°C)	N	ETP(mm/mes)	ETP mm/día
30	septiembre	21.20	12.0	76	3
31	octubre	23.30	12.7	107	3
30	noviembre	25.30	13.3	133	4
31	diciembre	26.70	13.7	163	5
31	enero	26.10	13.5	152	5
28	febrero	28.50	13.0	165	6
31	marzo	24.60	12.3	119	4
30	abril	20.70	11.6	69	2
31	mayo	17.90	10.9	46	1
30	junio	17.00	10.6	38	1
31	julio	15.70	10.7	32	1
31	agosto	18.40	11.3	52	2

La Figura N° 6.24 muestra una vista aérea del Embalse RP N° 28 y del vertedero. Se observa el Embalse RP N° 28 cubierto de vegetación.



Figura N° 6.24. Vertedero y Embalse RP N° 28, vista área.

Como se observa en la Figura N° 6.25 donde se muestra una secuencia de imágenes satelitales, durante los meses de noviembre a enero a pesar de las mayores precipitaciones registradas en el bañado La Estrella, estas no generan variaciones (nivel, almacenamiento) en el mismo, dichas variaciones comienzan en el mes de febrero donde a las precipitaciones se le suma el caudal proveniente del río Pilcomayo que ingresa a territorio argentino por Embocadura.

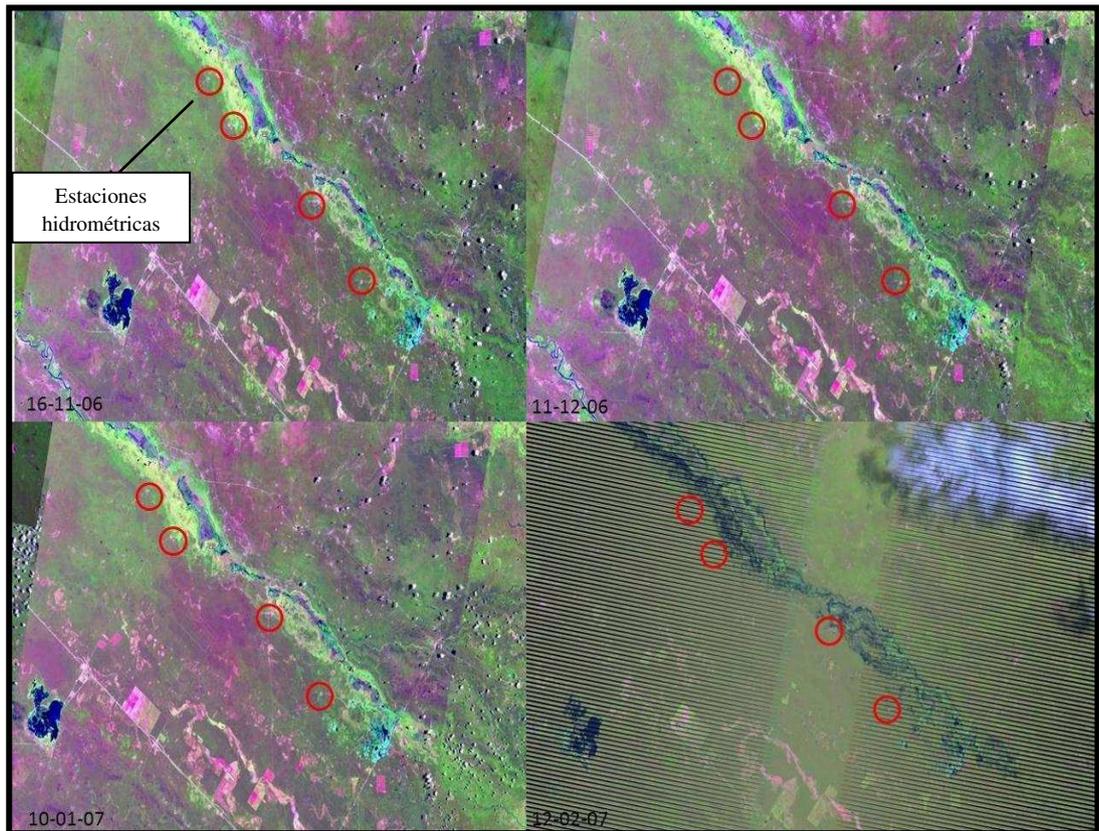


Figura N° 6.25. Imágenes satelitales (Landsat 7 ETM y Landsat 4-5 TM- Fuente <http://landsatlook.usgs.gov/viewer.html>)

### **Usuario aguas abajo Embalse RP N° 28 (DHI\_ID 10)**

La implementación de este usuario se debe a que el modelo no permite realizar una extracción de agua directa desde el embalse a un nodo de río y/o canal, siempre debe hacerse hacia un usuario o a una central hidroeléctrica. Toda la demanda del usuario es conducida hacia la progresiva 35,500 km (inicio canal Embalse RP N° 28-obra partidora) mediante la opción de flujo de retorno, es decir este usuario dejará pasar el caudal sin consumir hacia aguas abajo.

La demanda del usuario en el modelo es considerada como caudal ( $m^3/s$ ). Dicho caudal fue calculado en función de los niveles registrados en la compuerta de la progresiva 35,500 km (inicio del canal Embalse RP N° 28-obra partidora) y de los datos de la sección del canal, que como no se tiene la topografía del mismo se utilizaron los datos de proyecto. Se utilizó la fórmula de Manning para el cálculo del caudal.

Debido a la falta de registros de niveles y de aforos en el canal Embalse RP N° 28-obra partidora para el período de estudio, se calcularon los caudales para los años con registros de niveles (2008, 2010 y 2011), y se promediaron los caudales para los períodos con datos, dichos valores de caudales calculados fueron considerados iguales para cada año hidrológico (período 2005/2006 - 2010/2011). Los registros del año 2009 no se tuvieron en cuenta para el cálculo de caudal, debido a que los niveles máximos estuvieron cercanos a los **3 m**, cuando el tirante máximo de diseño del canal fue de **1,70 m**, además de esto los niveles pasaron de **0,10 m (17-01-09) a 0,90 m (19-01-09)**.

Características del canal:

- Sección trapecial
- Ancho de solera= 15 m
- Talud= 1:1,5
- Pendiente= 0,1‰
- Longitud aproximada= 10 km
- Coeficiente de rugosidad (adoptado)= 0,040

Fórmula de Manning

$$A = (b + zy) * y \quad (6.6)$$

A: área mojada (m<sup>2</sup>), b: ancho de solera (m), z: talud, y: profundidad de flujo (m)

$$P = b + 2y * \sqrt{1 + z^2} \quad (6.7)$$

P: perímetro mojado (m)

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * \sqrt{S} \quad (6.8)$$

V: velocidad (m/seg), n: coeficiente de rugosidad, R: radio hidráulico (A/P), S: pendiente canal (m/m)

$$Q = V * A \quad (6.9)$$

Q: caudal (m<sup>3</sup>/s)

En la Tabla N° 6.14 se presenta la demanda mensual del usuario aguas abajo del Embalse RP N° 28, para el escenario actual.

Tabla N° 6.14. Demanda mensual usuario (caudal que conduce canal Embalse RP N° 28-obra partidora) (m<sup>3</sup>/s)

Mes	Demanda (caudal m <sup>3</sup> /s)
septiembre	2.4
octubre	1.3
noviembre	0.5
diciembre	0.0
enero	0.0
febrero	0.0
marzo	3.1
abril	11.1
mayo	9.4
junio	7.3
julio	6.6
agosto	6.3

### Vertedero

El vertedero ubicado sobre la RP N° 28 actúa como un derivador de excedentes cuando el Embalse RP N° 28 llega a su máxima capacidad de almacenamiento. Las aguas que desbordan por vertedero son conducidas y alimentan otros sistemas hídricos dentro del territorio formoseño.

A continuación se presenta una tabla con los aforos realizados para el período de estudio. Si bien los registros son escasos, con los pares de valores se trazó a curva H-Q para determinar cuál fue el caudal que pasó por el vertedero con el nivel máximo registrado sobre el mismo.

La curva H-Q, a pesar de los escasos datos con las que se trazó, puede considerarse válida ya que las condiciones del vertedero se mantienen estables, es decir, no sufre variaciones de sección.

En la Tabla N° 6.15 se presentan los valores de caudales aforados y calculados en el vertedero.

Tabla N° 6.15. Caudales aforados y calculados a partir de la curva H-Q (m<sup>3</sup>/s)

Fecha	Altura vertedero m	Caudal m <sup>3</sup> /s	Observación
	0,00	0	
02/02/2009	0,20	157	caudal aforado
11/02/2009	0,42	322	caudal aforado
19/02/2009	0,45	343	caudal aforado
07/04/2009	0,60	581	caudal aforado
	0,75	895	caudal estimado
<b>08/04/2008</b>	<b>0,90</b>	<b>1.296</b>	<b>caudal estimado- nivel máximo sobre vertedero</b>
	1,00	1.610	caudal estimado

La Figura N° 6.26 representa la curva H-Q para el vertedero RP N° 28.

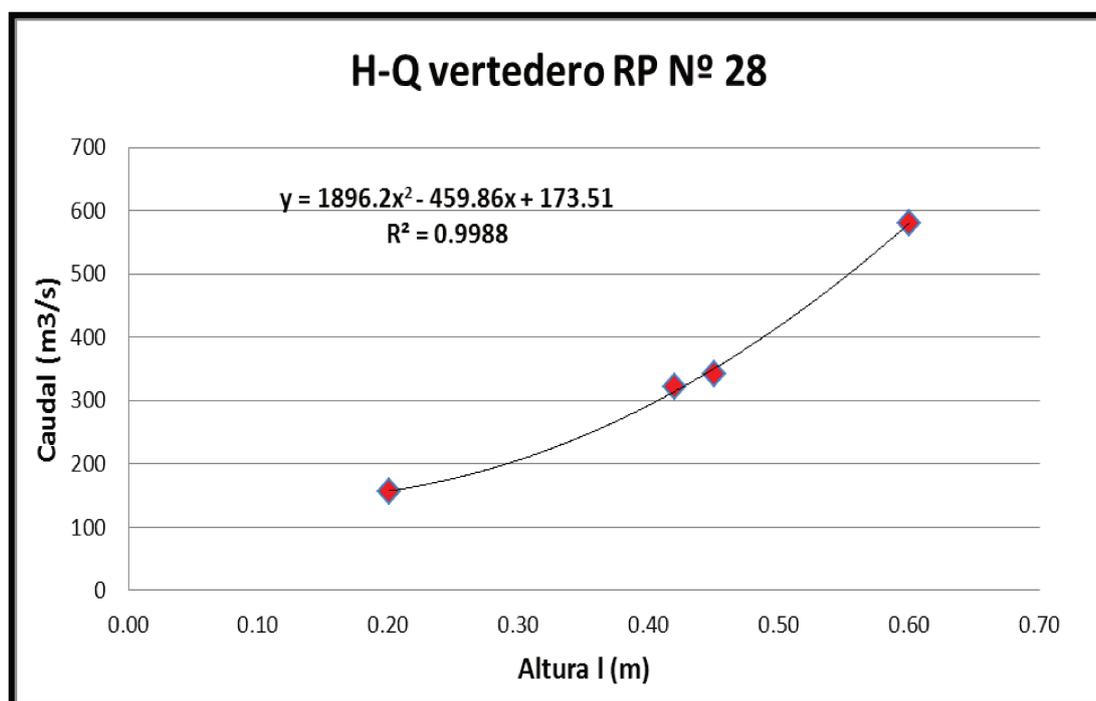


Figura N° 6.26. Curva H-Q vertedero RP N° 28

Como no se cuenta con la cantidad y calidad de registros de niveles suficientes sobre el vertedero que permitan calcular caudales para el período de estudio, se consideró tomar como **caudales observados** la suma de caudales diarios tramo Embocadura-Embalse RP N° 28 y los caudales diarios generados por las precipitaciones (80%) que inciden

directamente en el Embalse RP N° 28. Si se consideran estos valores, calculados por el modelo, y se comparan (misma fecha) con los escasos registros medidos sobre vertedero la diferencia entre ambos es del **9%**, por lo cual es satisfactorio considerar como **caudales observados** los caudales tramo Embocadura-Embalse RP N° 28 más los caudales generados por las precipitaciones (80%), con esto además se logra cubrir con datos el período de estudio.

Con las consideraciones anteriores se tiene:

Coeficiente de eficiencia  $E_f$ , de Nash-Sutcliffe (1970) = **0,97**.

Error relativo de volumen  $E_{rv}$  = **-28,5%**. Volumen de entrada (llega al Embalse RP N° 28) = **40.887 hm<sup>3</sup>**. Volumen de salida (pasa por vertedero)= **29.248 hm<sup>3</sup>**.

Error relativo de caudal máximo  $E_{rQM}$ = **-6,4%**. Caudal máximo (llega a Embalse RP N° 28)= **1.464 m<sup>3</sup>/s**. Caudal máximo (pasa por vertedero) = **1.370 m<sup>3</sup>/s**.

Error relativo de caudal máximo  $E_{rQM}$ = **5,7%**. Caudal máximo (calculado sobre vertedero)= **1.296 m<sup>3</sup>/s**. Caudal máximo (simulado sobre vertedero) = **1.370 m<sup>3</sup>/s**.

La Tabla N° 6.16 muestra los valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar de los caudales diarios (simulados) que pasan sobre vertedero para el escenario actual.

Tabla N° 6.16. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios (simulados) que pasan sobre vertedero (m<sup>3</sup>/s)

ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
1175	E12 Flow	0	154.5046	154.5047	1369.886	190.649	1

Como se observa en la Figura N° 6.27 los caudales diarios simulados tienen buen ajuste con los caudales diarios observados. Incluso también tienen buen ajuste con los caudales diarios calculados sobre el vertedero con la curva H-Q, para el período escenario actual.

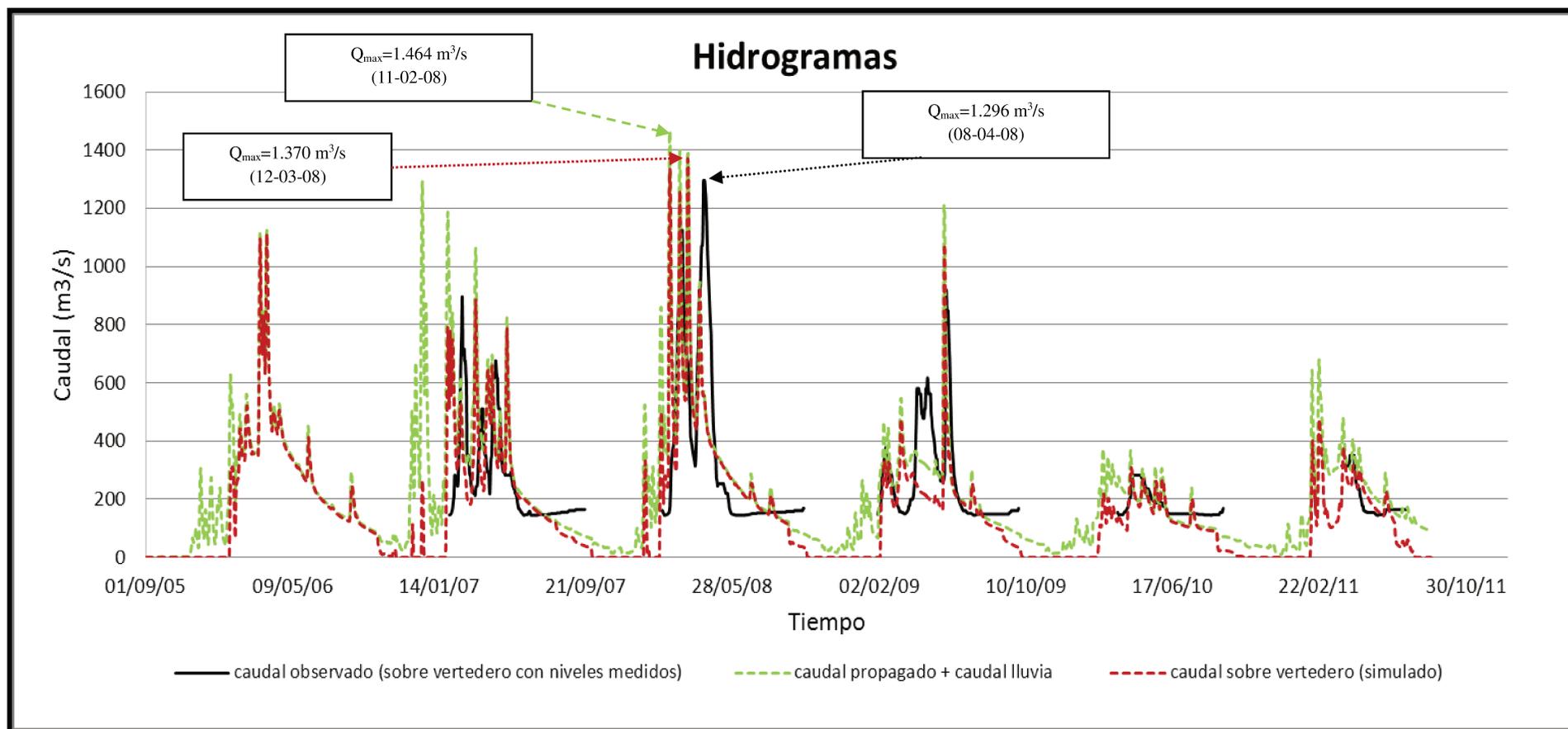


Figura N° 6.27. Caudales diarios observados (con niveles medidos sobre vertedero) - caudales diarios observados (propagado + caudal lluvia-80%)- caudales diarios simulados sobre vertedero (escenario actual)

La Figura N° 6.28, representa los hidrogramas de caudales diarios observados y los caudales diarios por pérdidas de evapotranspiración e infiltración, Embalse RP N° 28, para el escenario actual.

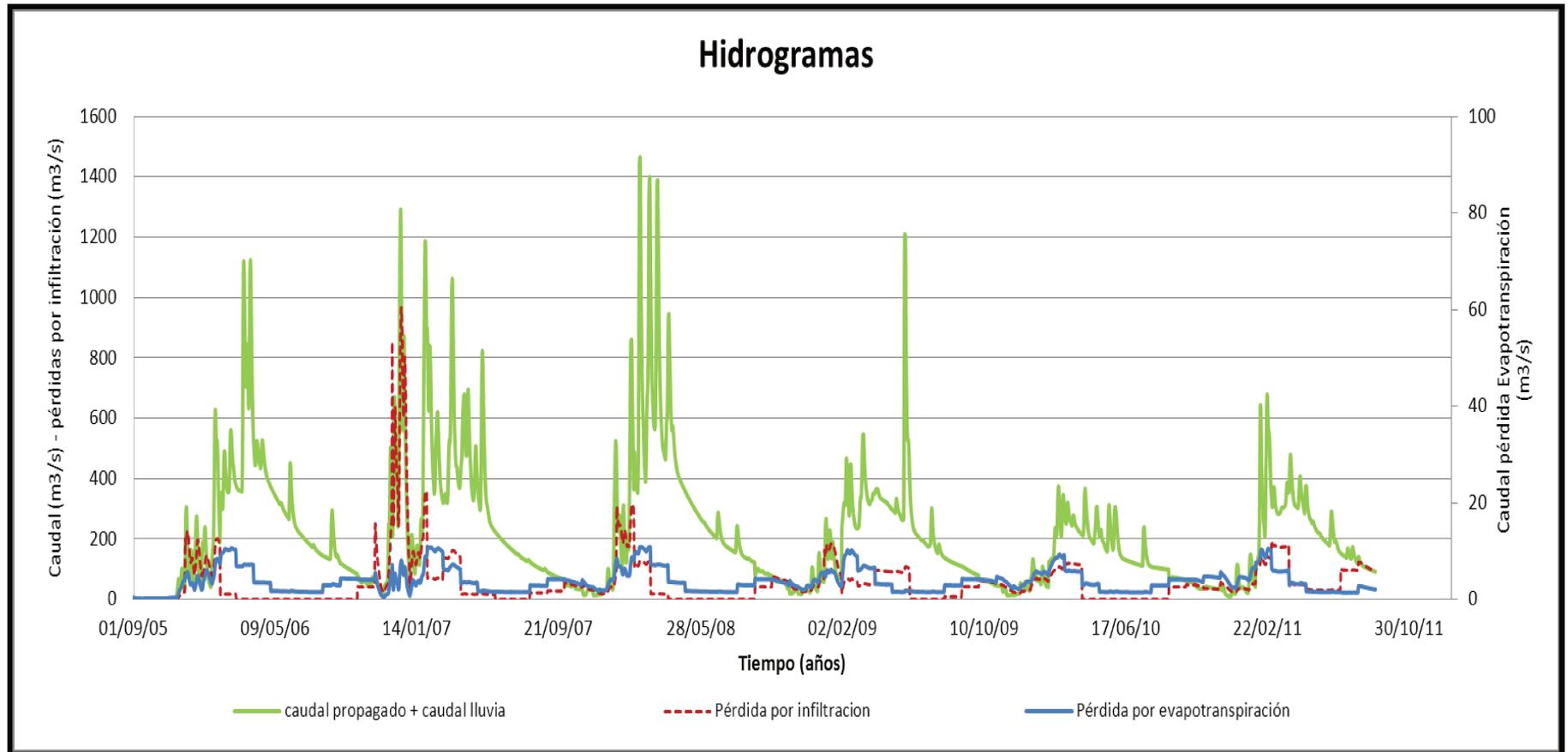


Figura N° 6.28. Caudales diarios observados - caudales diarios pérdidas por evapotranspiración e infiltración (escenario actual)

La Figura N° 6.29 representa la variación diaria del almacenamiento relativo (línea negra) y el volumen almacenado (línea roja), del Embalse RP N° 28, para el escenario actual.

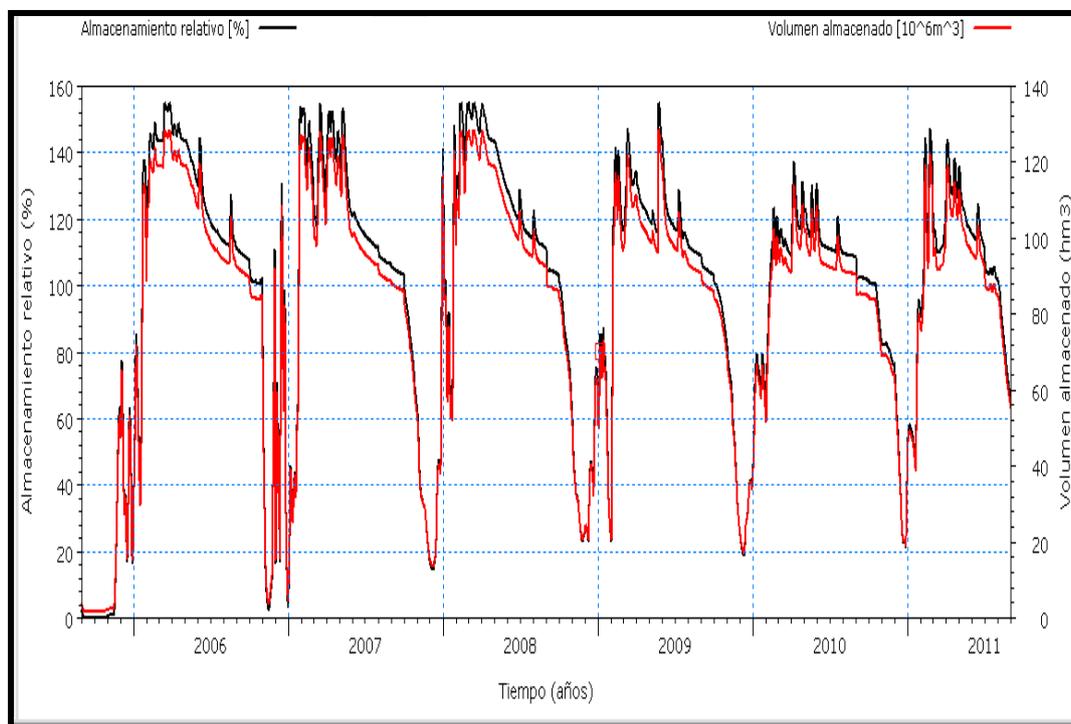


Figura N° 6.29. Almacenamiento relativo - volumen almacenado, diario, Embalse RP N° 28 (escenario actual)

Como se observa en la Figura N° 6.29 el día **23-01-2006** el Embalse RP N° 28 llega al **100%** de su capacidad de almacenamiento, es decir a partir de esta fecha comienza a pasar agua por el vertedero.

De acuerdo al trabajo de Valiente et al. (2009) para el año 2006 (Figura N° 6.30) el Embalse RP N° 28 llega al **100%** de su capacidad la segunda quincena del mes de febrero, existiendo un diferencia aceptable aproximadamente de **15 a 25 días** con el modelo. Esta diferencia se debe a que posiblemente en la zona de Embocadura el caudal de ingreso no haya sido del **70%**.

El volumen de **98 hm<sup>3</sup>** es equivalente para la cota de umbral de vertedero de **130,51m**, condiciones de máxima capacidad de almacenamiento del Embalse RP N° 28.

Puede observarse también en la Figura N° 6.29 que durante los meses de noviembre hasta mediados de enero, el volumen almacenado en el Embalse RP N° 28 disminuye, esto

se debe a lo mencionado anteriormente que la recarga al bañado La Estrella comienza a fines de enero con los aportes del río Pilcomayo, el Embalse RP N° 28 se encuentra operable desde finales del mes de enero hasta septiembre.

La Figura N° 6.30 muestra el monitoreo de crecida del bañado La Estrella para el año 2006.

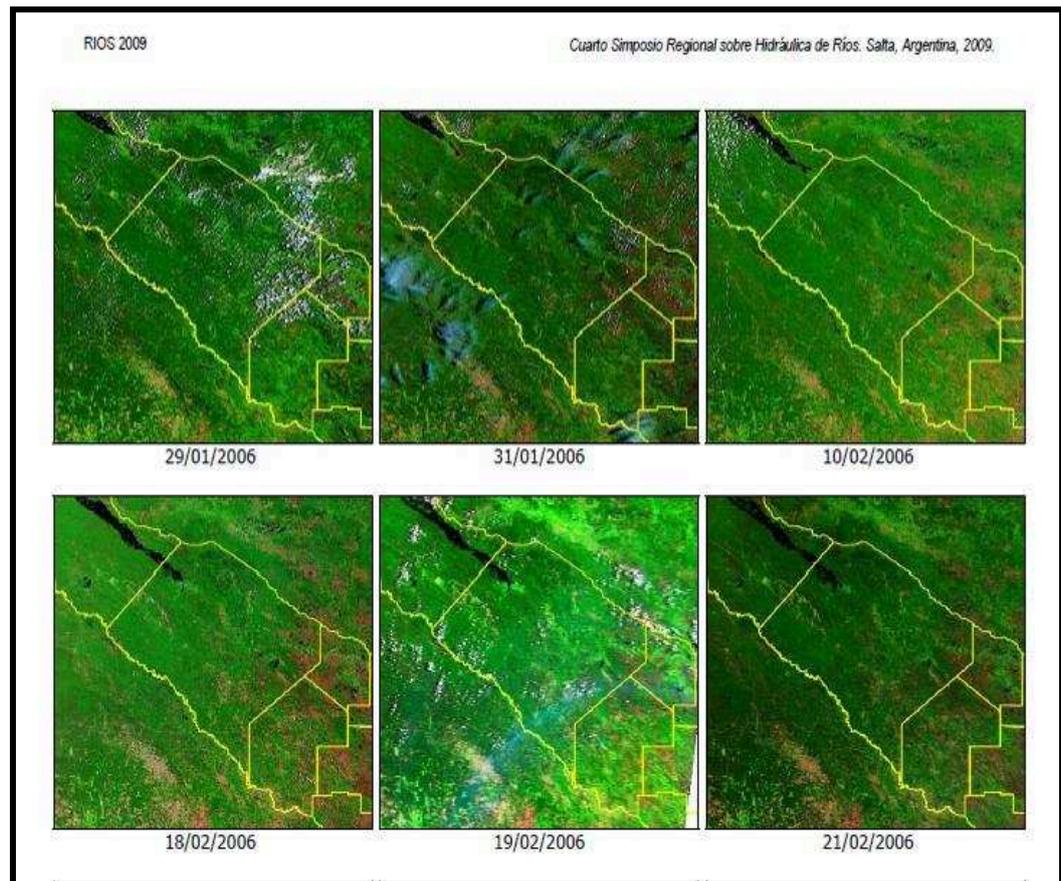


Figura N° 6.30. Monitoreo de crecida bañado La Estrella

(Fuente Valiente et al., 2009)

Como complemento de la Figura N° 6.29, la Figura N° 6.31 representa los hidrogramas de los caudales (línea negra) y niveles diarios (línea roja) que pasan sobre el vertedero, para el escenario actual.

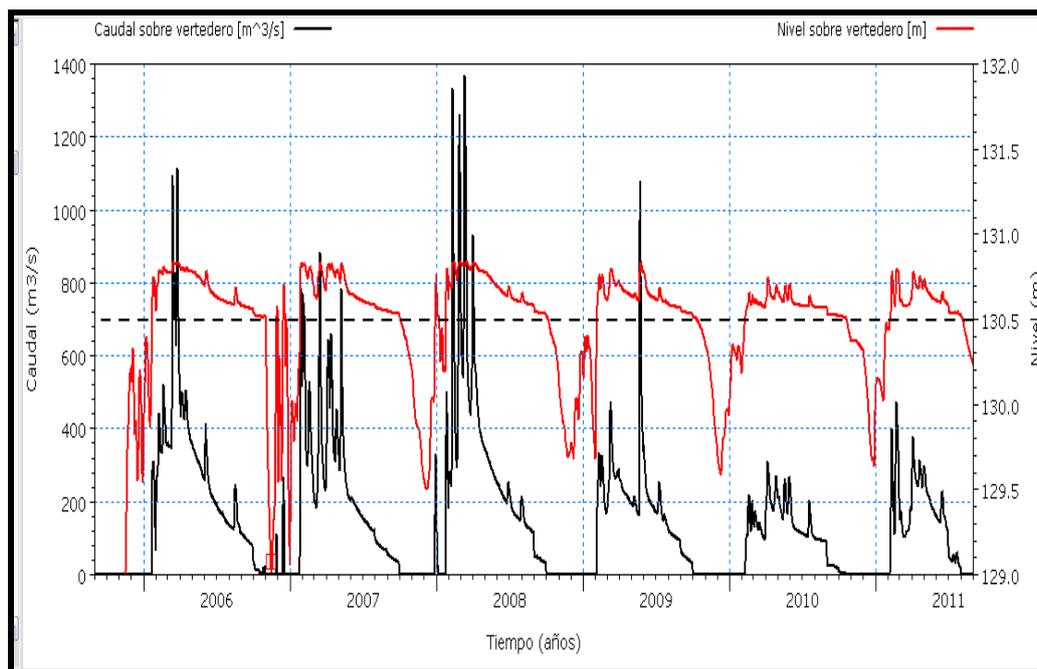


Figura N° 6.31. Caudales y niveles diarios que pasan sobre vertedero (escenario actual)

Puede observarse en la Figura N° 6.31 que durante los meses de noviembre hasta finales de enero no se registran caudales y niveles sobre el vertedero. Los niveles en el Embalse RP N° 28 se mantienen por debajo de la cota de umbral de vertedero que es **130,51 m** (línea punteada negra).

La Tabla N° 6.17 muestra los valores mínimos, medios, promedios, máximos y desvío estándar de los niveles diarios que pasan sobre vertedero, para el escenario actual.

Tabla N° 6.17. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar niveles en Embalse RP N° 28 (m)

ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
1122	Nivel sobre vertedero	128.6891	130.4202	130.4201	130.8354	0.446687	0

Como se observa en la siguiente secuencia de imágenes de la Figura N° 6.32 y en la Figura N° 6.31, por ejemplo durante el mes de enero no se cuenta con niveles sobre vertedero, no ocurre lo mismo en el mes de abril donde por los aportes del río Pilcomayo se registran niveles y caudales sobre vertedero como así también aumenta el volumen de almacenamiento del Embalse RP N° 28.

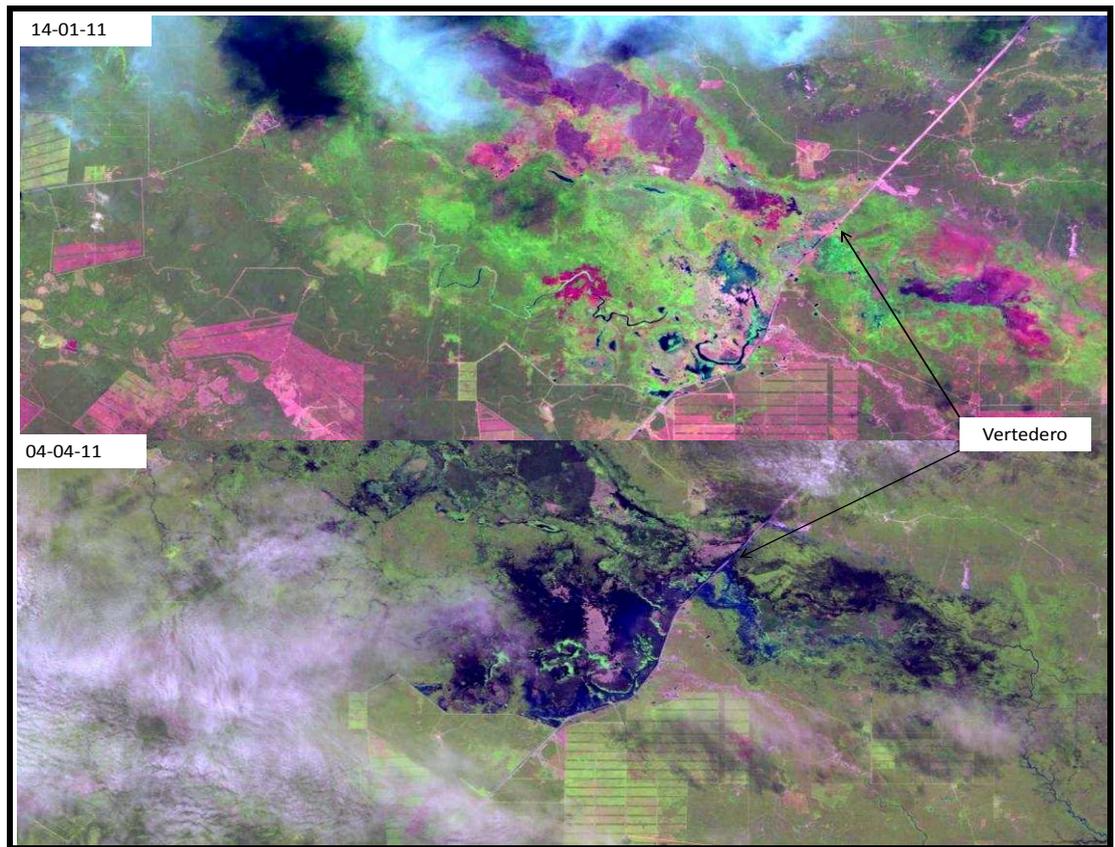


Figura N° 6.32. Imágenes satelitales (14-01-2011 y 04-04-2011)  
 (Landsat 4-5 TM- Fuente <http://landsatlook.usgs.gov/viewer.html>)

Las Figuras N° 6.33 y N° 6.34 representan la distribución acumulada y la curva de duración del volumen almacenado en el Embalse RP N° 28, diario, para el escenario actual.

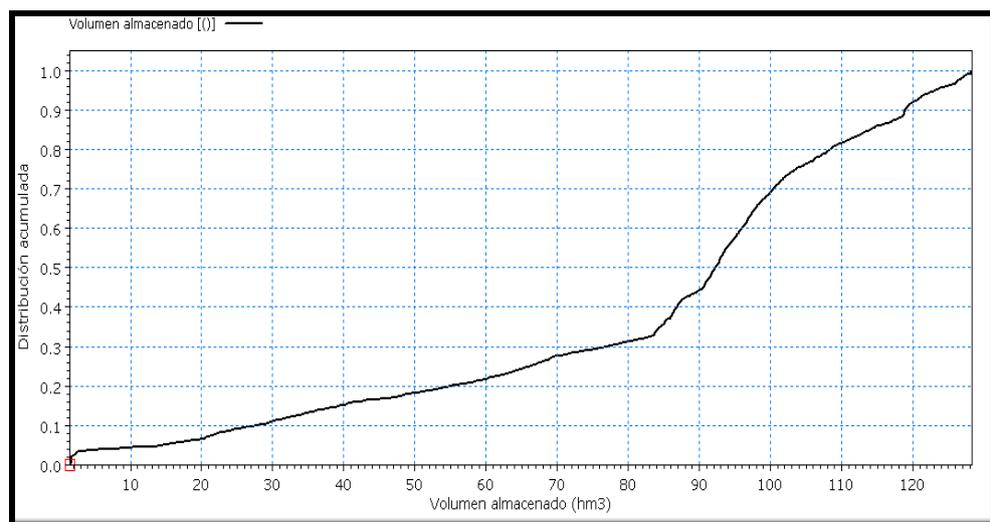


Figura N° 6.33. Distribución acumulada volumen almacenado, diario,  
 Embalse RP N° 28 (escenario actual)

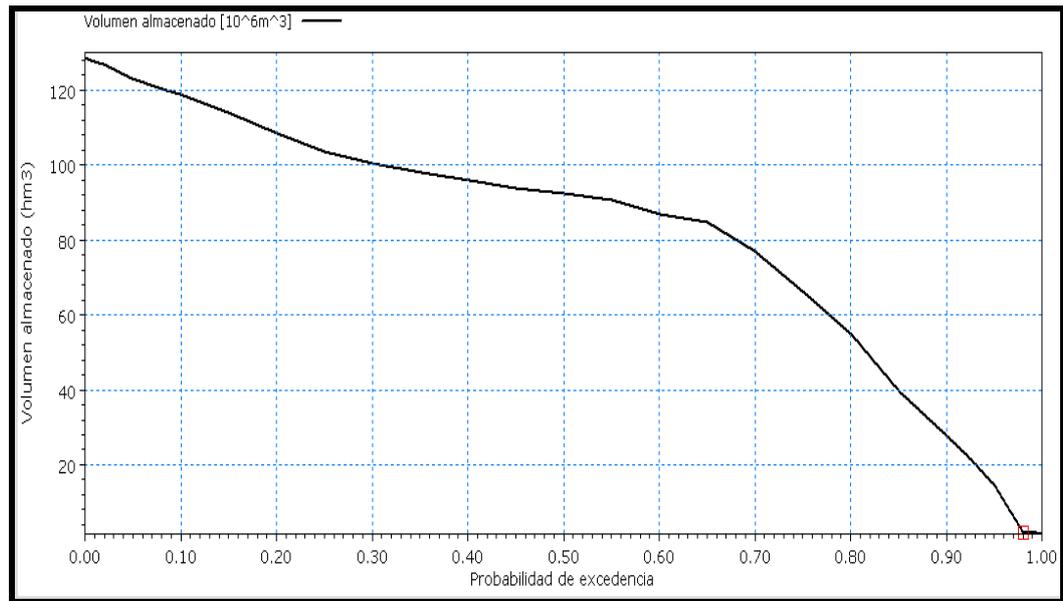


Figura N° 6.34. Curva duración volumen almacenado, diario, Embalse RP N° 28 (escenario actual)

La Figura N° 6.34 muestra la curva de duración de volumen almacenado en Embalse RP N° 28, la cual refleja que el 10% (0,10) del tiempo el volumen almacenado es mayor a **120 hm³**, y el 90% (0,90) del tiempo el volumen almacenado es menor a **35 hm³**. La curva de duración pone en evidencia que en algunos meses el volumen almacenado es mínimo, llegando a valores entre **10 y 1 hm³**.

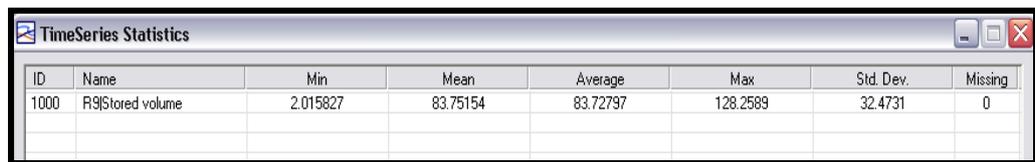
Con el usuario aguas abajo del Embalse RP N° 28, el error relativo de volumen  $E_{rV} = -28,5\%$ . Volumen de entrada (llega a Embalse RP N° 28)= **40.887 hm³**. Volumen de salida (pasa por vertedero)= **29.248 hm³**.

Sin el usuario aguas abajo del Embalse RP N° 28, el error relativo de volumen es  $E_{rV} = -26\%$ . Volumen de entrada (llega al Embalse RP N° 28)= **40.887 hm³**. Volumen de salida (pasa por vertedero)= **30.184 hm³**, es decir que:

**La demanda del usuario y/o caudal que conduce el canal desde Embalse RP N° 28 a la obra partidora solamente representa el 2,5% del volumen total del Embalse RP N° 28. Es decir el 97,5% restante pasa por el vertedero y alimenta otros sistemas dentro del territorio formoseño.**

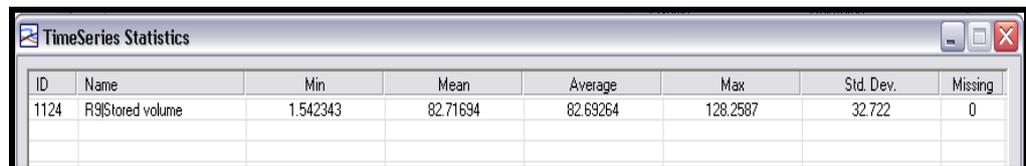
Las Tablas N° 6.18 y N° 6.19 muestra los valores mínimos, medios, promedios, máximos y desvío estándar de los volúmenes almacenados en el Embalse RP N° 28 antes y después del usuario aguas abajo Embalse RP N° 28, para el escenario actual.

Tabla N° 6.18 Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar volumen almacenado Embalse RP N° 28 (hm<sup>3</sup>), antes del usuario aguas abajo



ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
1000	R9 Stored volume	2.015827	83.75154	83.72797	128.2589	32.4731	0

Tabla N° 6.19. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar almacenamiento Embalse RP N° 28 (hm<sup>3</sup>), después del usuario aguas abajo



ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
1124	R9 Stored volume	1.542343	82.71694	82.69264	128.2587	32.722	0

Como se observa en las Tablas N° 6.18 y N° 6.19 las variaciones en los valores de almacenamiento son mínimas. Es decir el caudal que es conducido desde el Embalse RP N° 28 hasta el inicio del canal progresiva 35,500 km (inicio del canal Embalse RP N° 28-obra partidora) no genera grandes cambios dentro del Embalse RP N° 28, ya sea en volúmenes, niveles y caudales de salida por vertedero.

## 5- Obra partidora (DHI\_ID 13)

Esta obra tiene la función de distribuir el agua, proveniente a través del canal que conecta el Embalse RP N° 28 con la obra partidora, a las diferentes comunidades a través de 3 canales: Monte Lindo, del Este y Las Lomitas. Fue representada en el modelo como un nodo de bifurcación, permitiendo esta opción realizar una distribución de acuerdo a los porcentajes asignados de agua hacia los nodos ubicados aguas debajo de dicha obra.

Debido a la falta de registros de caudales y niveles en la obra para el período de estudio nuevamente se recurrió a los pobladores como así también a profesionales que trabajaron en la zona, para conocer los porcentajes de distribución de agua para los citados canales. También se les consultó por el tiempo que tarda en llegar el agua desde el Embalse

RP N° 28 a la obra partidora, informándonos que el tiempo de tránsito del hidrograma es de aproximadamente **10 días**, una vez que pasa agua por vertedero y de **2 días** si el riacho Salado está con suficiente caudal y nivel para derivar agua hacia la obra partidora. En el tramo progresiva 35,500 km – obra partidora, las pérdidas por evaporación fueron del **5%** para los meses con agua en el canal (marzo-noviembre).

En este elemento se calcula con los porcentajes asignados, la distribución de caudales desde la obra partidora a los canales Monte Lindo, de Este y Las Lomitas.

A continuación se presenta el porcentaje de distribución para cada canal:

- Canal Monte Lindo= 70%
- Canal del Este= 28%
- Canal Las Lomitas= 2%

Con las consideraciones anteriores se tiene:

Error relativo de volumen  $E_{rv} = -5,7\%$ . Volumen de entrada (progresiva 35,500 km, inicio canal Embalse RP N° 28-obra partidora)= **756 hm<sup>3</sup>**. Volumen de salida (obra partidora) = **713 hm<sup>3</sup>**.

Error relativo de caudal máximo  $E_{rQM} = -8,7\%$ . Caudal máximo (progresiva 35,500 km, inicio canal Embalse RP N° 28-obra partidora)= **11,1 m<sup>3</sup>/s**. Caudal máximo obra partidora= **10,14 m<sup>3</sup>/s**.

Las Tablas N° 6.20 y N° 6.21 muestran los valores mínimos, medios, promedios, máximos y desvío estándar de los caudales diarios progresiva 35,500 km (inicio canal Embalse RP N° 28-obra partidora) y los caudales diarios que llegan obra partidora (caudales a ser distribuidos en los 3 canales: Monte Lindo, Las Lomitas y del Este), respectivamente, para el escenario actual.

Tabla N° 6.20. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios progresiva 35,500 km (inicio canal Embalse RP N° 28-obra partidora) (m<sup>3</sup>/s)

ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
1572	N111Inflow from: Water U...	0	3.991093	3.991091	11.1	3.81257	1

Tabla N° 6.21. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios obra partidora (m<sup>3</sup>/s)

ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
40302	Caudal obra partidora	6.373865E-05	3.765373	3.765048	10.14011	3.45395	1

La Figura N° 6.35 representa los hidrogramas de caudales diarios desde progresiva 35,500 km (inicio canal Embalse RP N° 28-obra partidora) (línea negra) y de los caudales diarios que llegan a la obra partidora (línea roja), para el escenario actual.

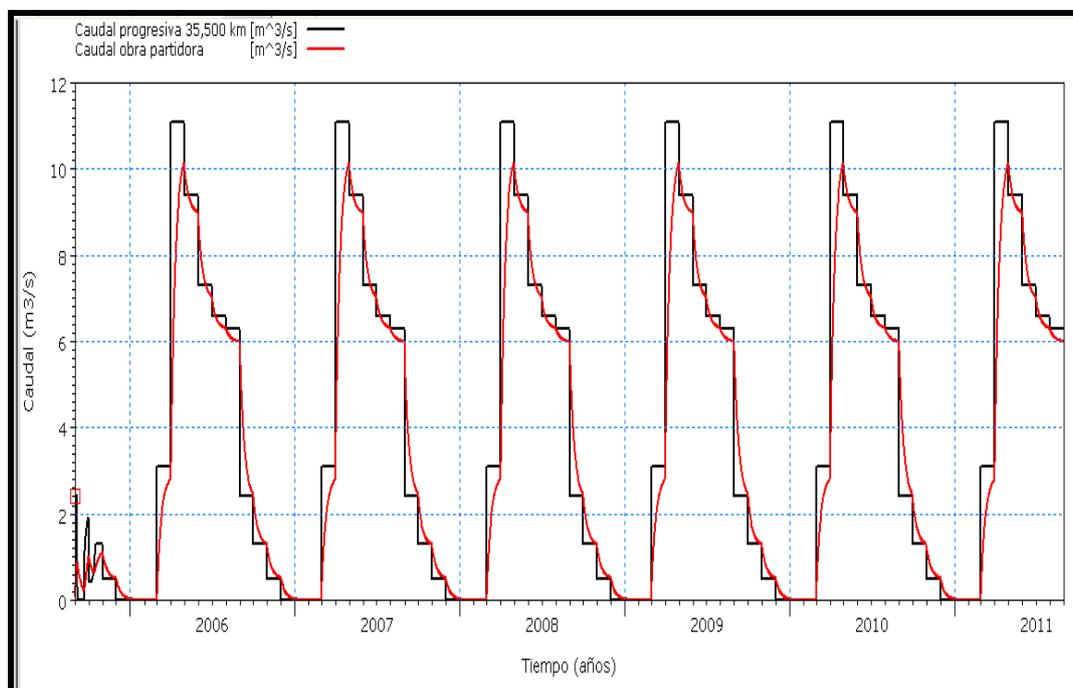


Figura N° 6.35. Caudales diarios progresiva 35,500 km (inicio canal Embalse RP N° 28 - obra partidora) - caudales diarios obra partidora (escenario actual)

La Figura N° 6.36 representa los hidrogramas de caudales diarios que se distribuyen desde la obra partidora (100%) (línea negra) hacia los canales Las Lomitas (2%) (línea verde) , Monte Lindo + del Este (98%) (línea roja), para el escenario actual.

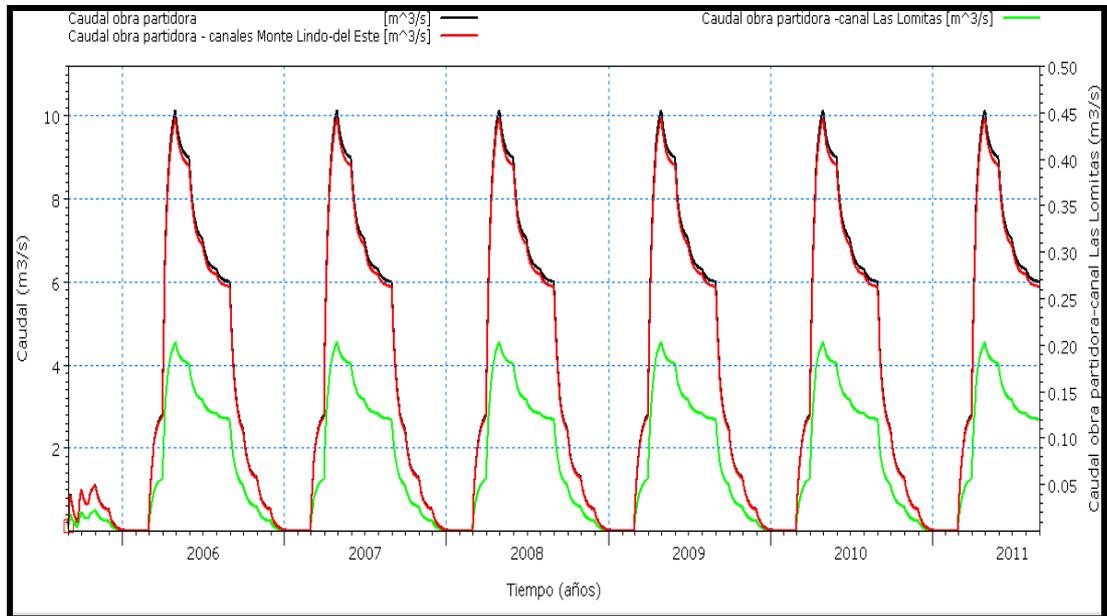


Figura N° 6.36. Distribución de caudales diarios: obra partidora - canal Monte Lindo+ canal del Este - canal Las Lomitas (escenario actual)

La Figura N° 6.37 representa los hidrogramas de caudales diarios que se distribuyen desde la obra partidora (línea negra) hacia los canales Monte Lindo (línea roja) y del Este (línea verde), para el escenario actual.

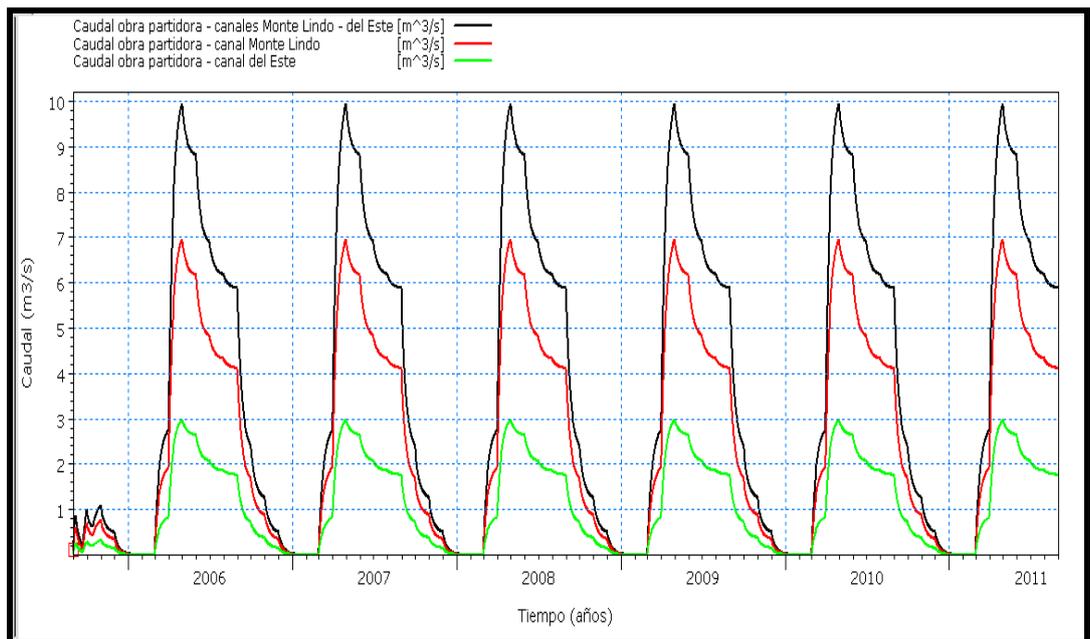


Figura N° 6.37. Distribución de caudales diarios: obra partidora - canal Monte Lindo - canal del Este (escenario actual)

## Demanda de la población de las localidades de estudio

Como no se cuenta con la estimación de la demanda diaria por habitante de las localidades de estudio, se calculó dicha demanda en función al nivel de calidad de vida en cada localidad y a la cantidad de habitantes de las mismas. Se tuvo en cuenta un **40%** más al consumo diario, esto se debe a pérdidas que se originan en la distribución de agua potable a la población.

Si bien no se desconoce la normativa y reglamentación del Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENOHSA) donde las dotaciones diarias se consideran entre 250 L/hab.día y 300 L/hab.día, los valores considerados en el trabajo para la dotación diaria son para un cálculo de máxima, hay que considerar que aparte de las pérdidas mencionadas anteriormente en ninguna de las localidades se reacondicionó el sistema de distribución de agua potable, posiblemente esa pérdida aún pueda ser mayor y la dotación considerada no es la que llega al habitante en su domicilio.

El consumo diario podrá ser ajustado cuando se cuente con valores reales de dotación por parte del Servicio Provincial de Agua Potable (SPAP).

La Tabla N° 6.22, representa la demanda diaria y mensual de la población para las diferentes localidades a lo largo del año hidrológico.

Tabla N° 6.22. Demanda diaria (L/hab.día) y mensual (m<sup>3</sup>/s) de la población por localidad (escenario actual)

				Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
				380 lts/hab.día			450 lts/hab.día			400 lts/hab.día			320 lts/hab.día		
Water Users	Pob. 2010	% Abastec.	Pob. Abast.	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Las Lomitas	12399 hab.	50%	6200 hab.	0.038	0.038	0.038	0.045	0.045	0.045	0.040	0.040	0.040	0.032	0.032	0.032
Pozo del Tigre	4517 hab.	100%	4517 hab.	0.028	0.028	0.028	0.033	0.033	0.033	0.029	0.029	0.029	0.023	0.023	0.023
Estanislao del Campo	4523 hab.	100%	4523 hab.	0.028	0.028	0.028	0.033	0.033	0.033	0.029	0.029	0.029	0.023	0.023	0.023
Ibarreta	9429 hab.	100%	9429 hab.	0.058	0.058	0.058	0.069	0.069	0.069	0.061	0.061	0.061	0.049	0.049	0.049
Cmdte. Fontana	6615 hab.	100%	6615 hab.	0.041	0.041	0.041	0.048	0.048	0.048	0.043	0.043	0.043	0.034	0.034	0.034

Como se observa en la Tabla N° 6.22 la localidad de Las Lomitas abastece solamente el **50%** de su población con agua del bañado La Estrella, el otro **50%** abastece de la obra Laguna Yema.

El consumo diario varía de acuerdo a la época del año.

## 6- Canal Las Lomitas (DHI\_ID13-12)

Este canal tiene la función de conducir agua desde la obra partidora hasta la localidad de Las Lomitas, su traza es paralela a la RP N° 28, tiene una longitud aproximada de 26,3 km, cuenta con obras de arte como puentes y alcantarillas, es de tierra con una sección trapezoidal irregular, las profundidades varían de 1 m a 3 m.

En este elemento se calcula el tránsito de hidrograma desde la obra partidora hasta la localidad de Las Lomitas.

El porcentaje de distribución desde la obra partidora se debe a su baja pendiente, lo cual hace que en dicha obra los niveles se mantengan lo suficientemente altos para generar caudal y que pueda ser conducido a través del canal Las Lomitas. Se consideró que el tiempo de tránsito de hidrograma desde obra partidora al embalse de Las Lomitas es de **15 días**, en el tramo las pérdidas por evaporación fueron del **5%** para los meses con agua en el canal (marzo a noviembre).

La Figura N° 6.38 muestra los perfiles transversales del canal Las Lomitas.

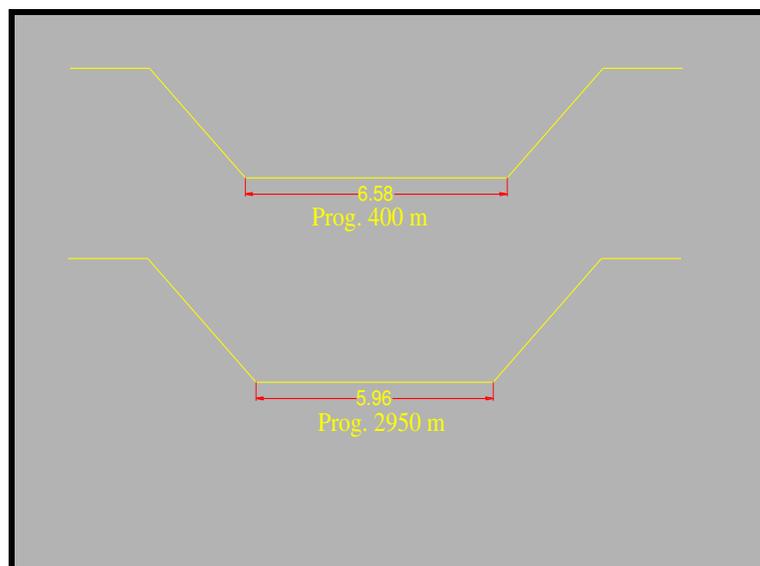


Figura N° 6.38. Perfiles transversales, canal Las Lomitas (Fuente: Jorge Ferreira)



Como se observa en la Figura N° 6.39 la cota de inicio del canal está más baja que la cota de final, otro inconveniente que presenta el canal es la irregularidad en la sección; esto hace que se necesite un nivel de agua suficientemente alto en la obra partidora para que se inicie la recarga al canal Las Lomitas y el agua llegue hasta el embalse de dicha localidad.

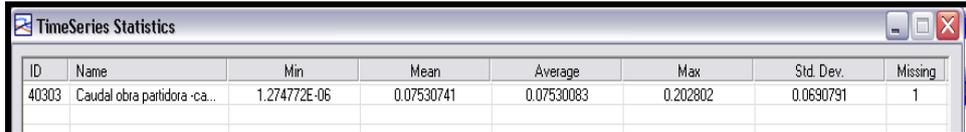
Con las consideraciones anteriores se tiene:

Error relativo de volumen  $E_{rV} = -6,3\%$ . Volumen de entrada (obra partidora- inicio canal Las Lomitas)= **14,3 hm<sup>3</sup>**. Volumen de salida (Las Lomitas-embalse)= **13,4 hm<sup>3</sup>**.

Error relativo de caudal máximo  $E_{rQM} = -15\%$ . Caudal máximo (obra partidora- inicio canal Las Lomitas)= **0,20 m<sup>3</sup>/s**. Caudal máximo (llega a Las Lomitas-embalse)= **0,17 m<sup>3</sup>/s**.

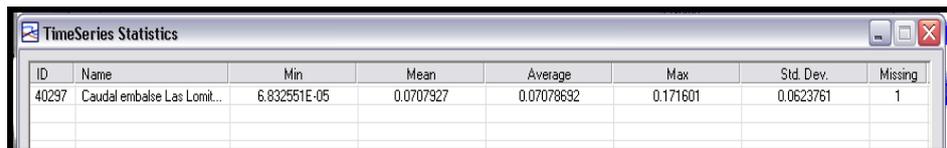
Las Tablas N° 6.23 y N° 6.24 muestran los valores mínimos, medios, promedios, máximos y desvío estándar de los caudales diarios obra partidora y los caudales diarios que llegan a Las Lomitas (embalse), respectivamente, para el escenario actual.

Tabla N° 6.23. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios obra partidora- inicio canal Las Lomitas (m<sup>3</sup>/s)



ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
40303	Caudal obra partidora -ca...	1.274772E-06	0.07530741	0.07530083	0.202802	0.0690791	1

Tabla N° 6.24. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios que llegan a Las Lomitas (embalse) (m<sup>3</sup>/s)



ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
40297	Caudal embalse Las Lomit...	6.832551E-05	0.0707927	0.07078692	0.171601	0.0623761	1

La Figura N° 6.40 representa los hidrogramas de caudales diarios que salen de la obra partidora hacia Las Lomitas (línea negra) y los caudales diarios que llegan a Las Lomitas (embalse) (línea roja), para el escenario actual.

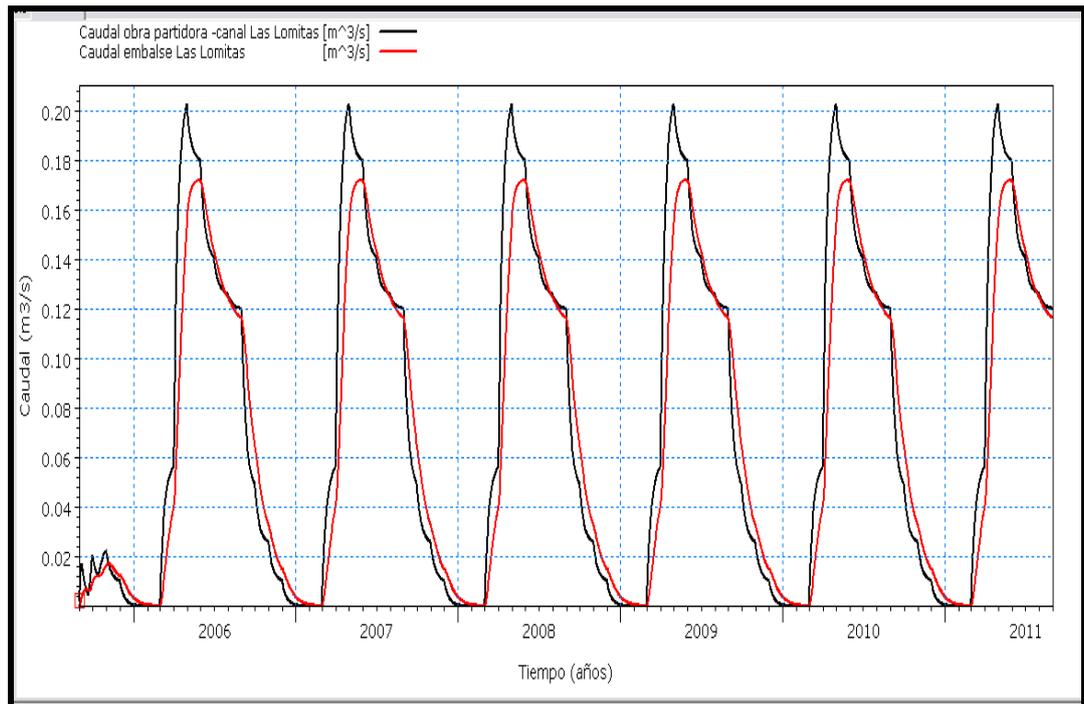


Figura N° 6.40. Caudales diarios obra partidora - inicio canal Las Lomitas – caudales diarios Las Lomitas (embalse) (escenario actual)

## 7- Las Lomitas

En este elemento se calculan:

- Embalse: capacidad de almacenamiento y niveles característicos en función a su curva nivel-área-volumen, el almacenamiento relativo y volumen almacenado, la variación de nivel, la distribución acumulada y curva de duración del volumen almacenado.
- Población: caudal a distribuir desde el embalse a la población, déficit de la demanda y la curva de duración del déficit relativo. Se determinan los meses más críticos.

### Embalse (DHI\_ID 18)

Para el cálculo de la curva nivel-área-volumen del embalse se tuvo en cuenta las dimensiones obtenidas de imágenes satelitales y Google Earth, las cuales se verificaron in situ con la recorrida realizada en julio/2013, en el caso del embalse Las Lomitas las dimensiones para el período 2005/2006 - 2010/2011 se mantienen sin modificaciones hasta la fecha. Actualmente el área o superficie de almacenamiento es de **0,051 km<sup>2</sup>**, y su capacidad máxima de almacenamiento de **0,206 hm<sup>3</sup>**

Los niveles característicos (2005/2006 - 2010/2011) del embalse Las Lomitas son:

- Cota cresta máxima (dam crest level)= **4,00 m**
- Cota vertedero o de control de inundaciones (flood control level)= **4,00 m**
- Nivel inicial de agua (initial water level)= **0,60 m**
- Nivel inferior del embalse (bottom level)= **0,00 m**
- Nivel volumen muerto (top of dead storage)= **0,30 m**
- Nivel mínimo de embalse operable (reduction level)= **0,30 m**
- Área o superficie del almacenamiento= **0,051 km<sup>2</sup>**
- Capacidad máxima de almacenamiento= **0,206 hm<sup>3</sup>**

En este caso se consideró que la cota cresta máxima y la cota del vertedero o cota control de inundaciones son iguales y estas coincidentes con la profundidad máxima del embalse. A diferencia del Embalse RP N° 28 los embalses de las localidades no cuentan con vertedero de excedencia.

Se consideró que el **5%** total de la precipitación caída en la localidad incide directamente en el embalse.

Las pérdidas por evapotranspiración en el embalse son iguales a las del Embalse RP N° 28, ya que las condiciones climáticas se mantienen entre ambos puntos, sin variación significativa.

La Figura N° 6.41 representa la curva nivel-área-volumen del embalse Las Lomitas, para el escenario actual.

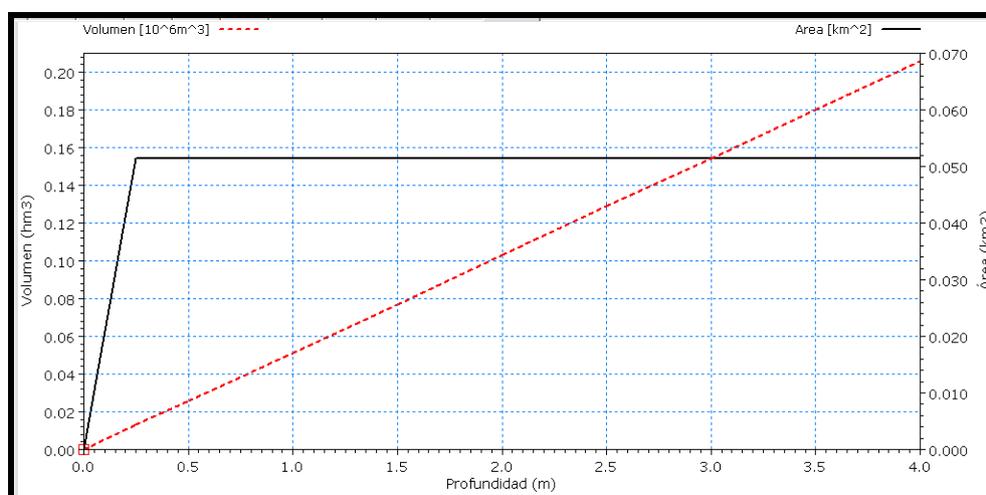


Figura N° 6.41. Curva nivel – área - volumen embalse Las Lomitas (escenario actual)

La Figura N° 6.42 representa la variación del almacenamiento relativo (línea negra) y el volumen almacenado (línea roja), mensual, del embalse Las Lomitas, para el escenario actual.

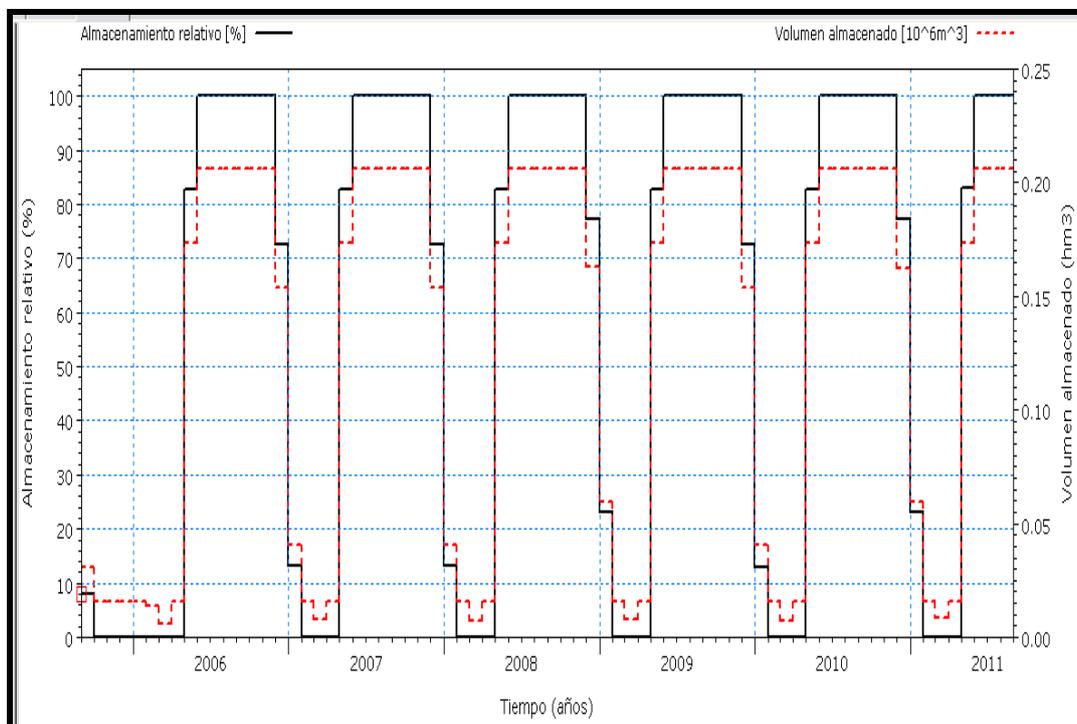


Figura N° 6.42. Almacenamiento relativo - volumen almacenado, mensual, embalse Las Lomitas (escenario actual)

Como se observa en la Figura N° 6.42 durante los meses de junio a noviembre el embalse se encuentra trabajando a su máxima capacidad de almacenamiento. Pero dicho almacenamiento no se mantiene al **100%** en el resto del año, desde los meses de diciembre a abril disminuye, llegando a los meses entre febrero y fines de marzo donde el volumen almacenado coincide con nivel mínimo de almacenamiento, y el almacenamiento relativo es del **0%**, es decir el embalse no tiene el volumen suficiente de agua para ser extraída y distribuida a la población.

La disminución de volumen almacenado en el embalse Las Lomitas, se debe a que de acuerdo a la Figura N° 6.36 durante los meses de diciembre, enero y febrero el canal que conecta el Embalse RP N° 28 con la obra partidora no tiene agua. Iniciándose la recarga del mismo a partir del mes de marzo, si bien en el mes de abril aparece con almacenamiento relativo de **0%**, a partir de este mes comienza la recarga del embalse, por lo cual este porcentaje solo se presenta en los primeros días del mes.

Las Figuras N° 6.43 y N° 6.44 representan la distribución acumulada y la curva de duración del volumen almacenado en el embalse Las Lomitas, mensual, para el escenario actual.

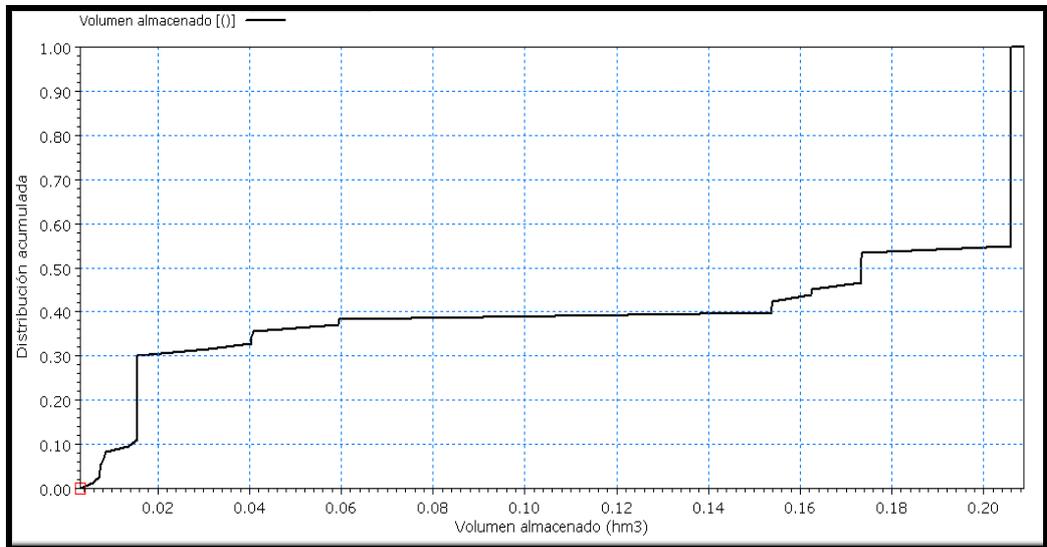


Figura N° 6.43. Distribución acumulada volumen almacenado, mensual, embalse Las Lomitas (escenario actual)

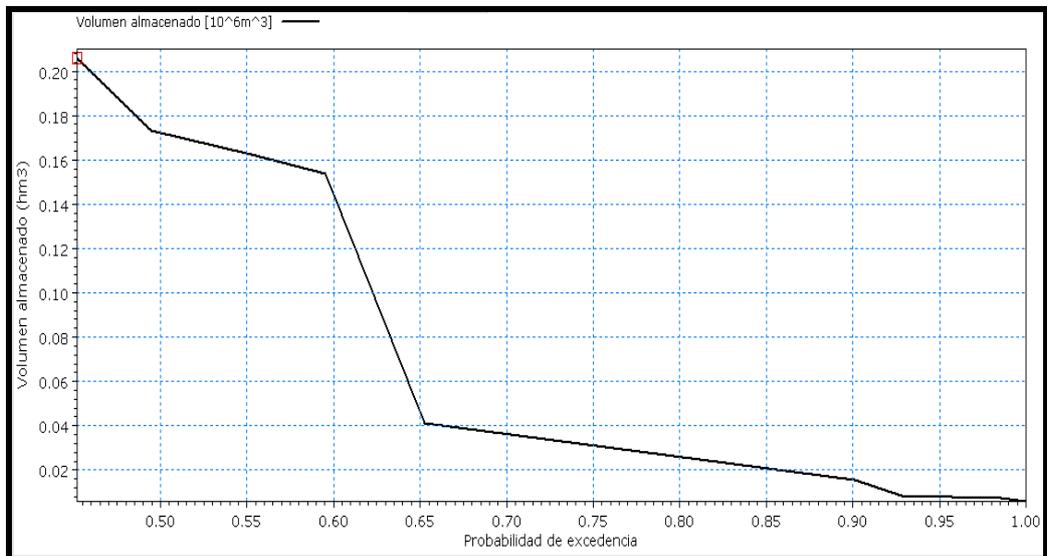


Figura N° 6.44. Curva duración volumen almacenado, mensual, embalse Las Lomitas (escenario actual)

La Figura N° 6.44 muestra la curva de duración de volumen almacenado en Embalse Las Lomitas, la cual refleja que el 50% (0,50) del tiempo el volumen almacenado es mayor a **0,18 hm³**, y el 90% (0,90) del tiempo el volumen almacenado es menor a **0,02 hm³**. La curva de duración pone en evidencia que en algunos meses el volumen almacenado es mínimo, llegando a valores iguales a cero.

La Figura N° 6.45 representa la variación de niveles mensuales del embalse Las Lomitas, para el escenario actual.

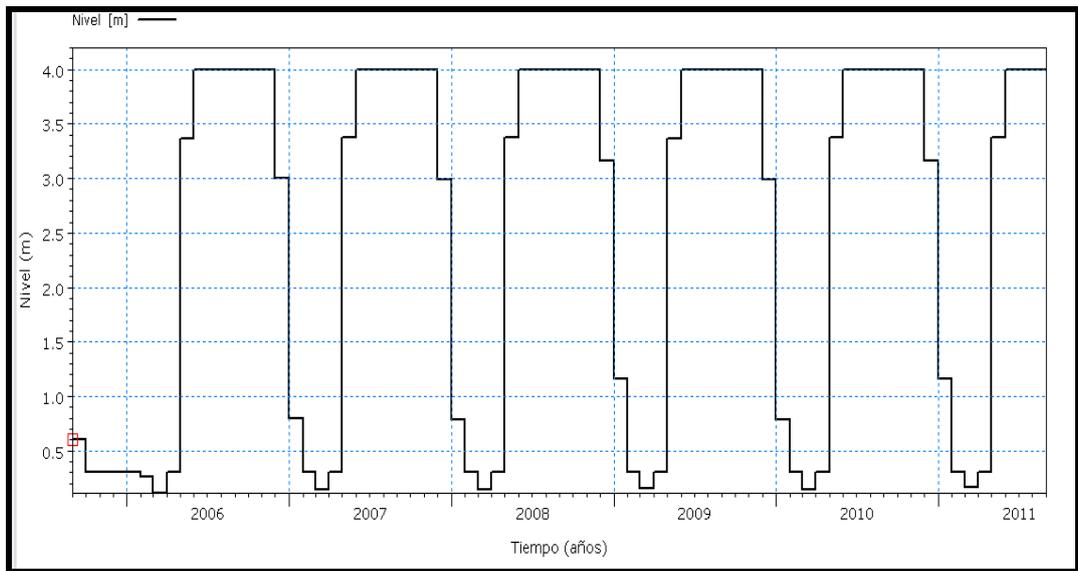


Figura N° 6.45. Variación de niveles mensuales embalse Las Lomitas (escenario actual)

Como se observa en la Figura N° 6.45 la variación de nivel en el embalse comienza en el mes de diciembre, llegando al nivel mínimo operable entre los meses de enero hasta mediados de abril.

La Figura N° 6.46 representa la distribución de caudales mensuales (demanda) desde el embalse a la población de Las Lomitas, para el escenario actual.

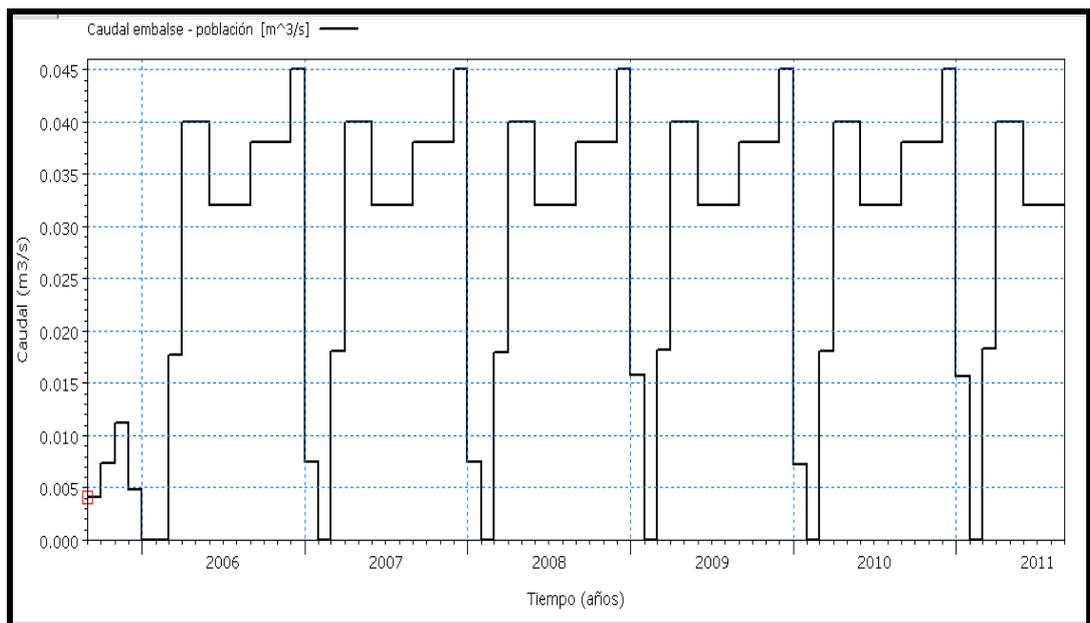


Figura N° 6.46. Caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos en la población de Las Lomitas (escenario actual)

Como se observa en la Figura N° 6.46 los caudales mensuales (demanda) a distribuir desde el embalse a la población de Las Lomitas son mayores durante los meses de abril a diciembre. A partir del mes de enero hasta marzo los caudales disminuyen y no son suficientes para abastecer a la demanda, existiendo en estos meses déficit de la demanda. Esto se debe que a partir de diciembre hasta febrero el canal Embalse RP N° 28-obra partidora no tiene agua, la recarga se inicia a partir del mes de marzo.

### Población (DHI\_ID 19)

Las Figuras N° 6.47 y N° 6.48 representan la demanda<sup>16</sup> mensual de la población (línea negra) y el déficit mensual de la demanda de Las Lomitas (línea roja), para el escenario actual y detalle de los años 2005/2006 - 2006/2007, respectivamente.

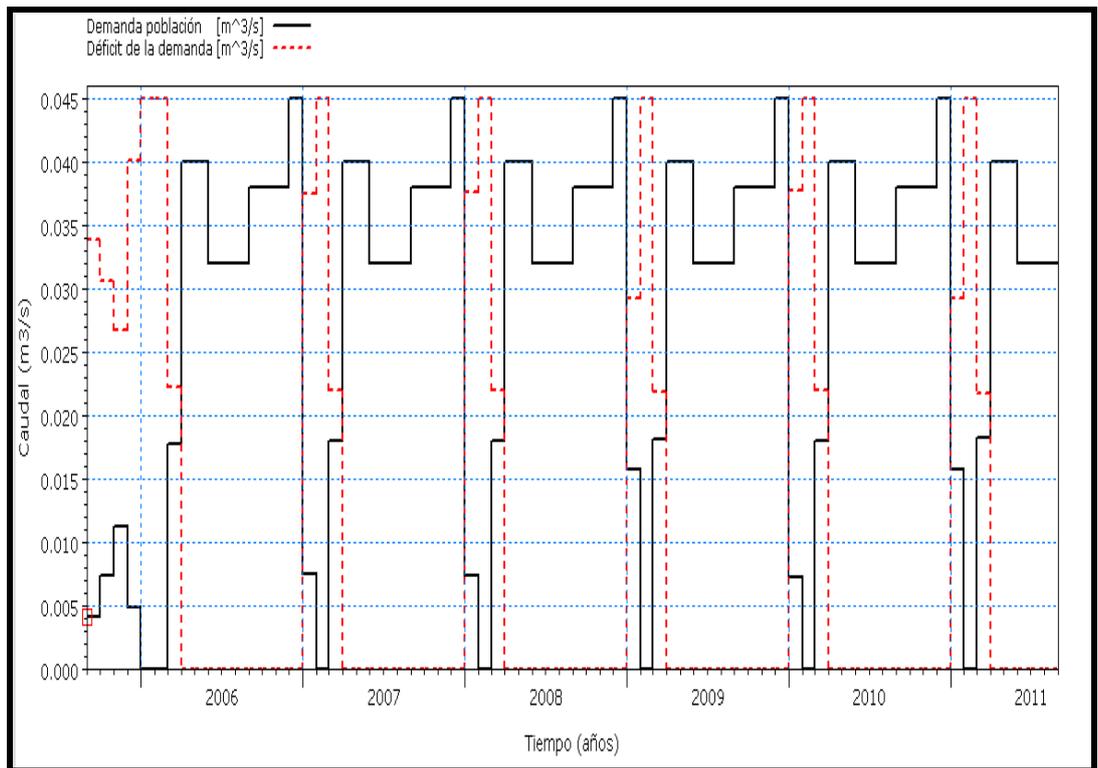


Figura N° 6.47. Demanda mensual de la población (usuario) - déficit mensual de la demanda, Las Lomitas (escenario actual)

<sup>16</sup> Agua usada o extraída del embalse para satisfacer la necesidad o demanda de la población (demanda población + déficit demanda = demanda total que necesita el usuario diaria o mensualmente)

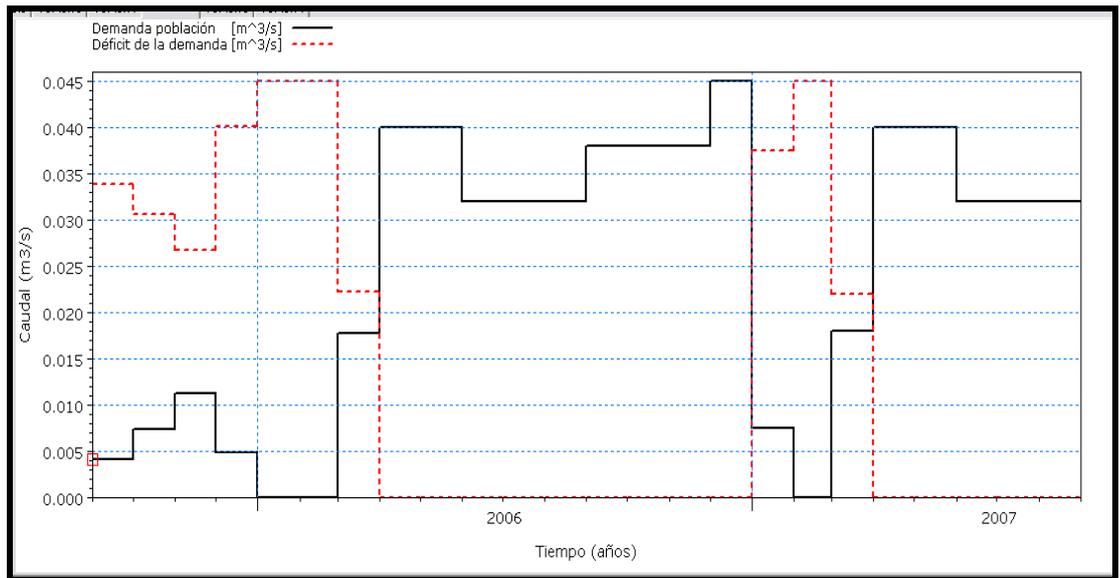


Figura N° 6.48. Demanda mensual de la población (usuario) - déficit mensual de la demanda (2005/2006 - 2006/2007), Las Lomitas

Como se observa en las Figuras N° 6.47 y N° 6.48 con las condiciones del embalse Las Lomitas, del canal y caudal desde la obra partidora hacia Las Lomitas, no se satisface durante todo el año la demanda de la población, existiendo déficit de la demanda durante los meses de enero a marzo, meses en donde el nivel y el volumen almacenado del embalse Las Lomitas disminuyen hasta valores mínimos.

La Figura N° 6.49 representa la curva de duración de déficit relativo de Las Lomitas, mensual, para el escenario actual.

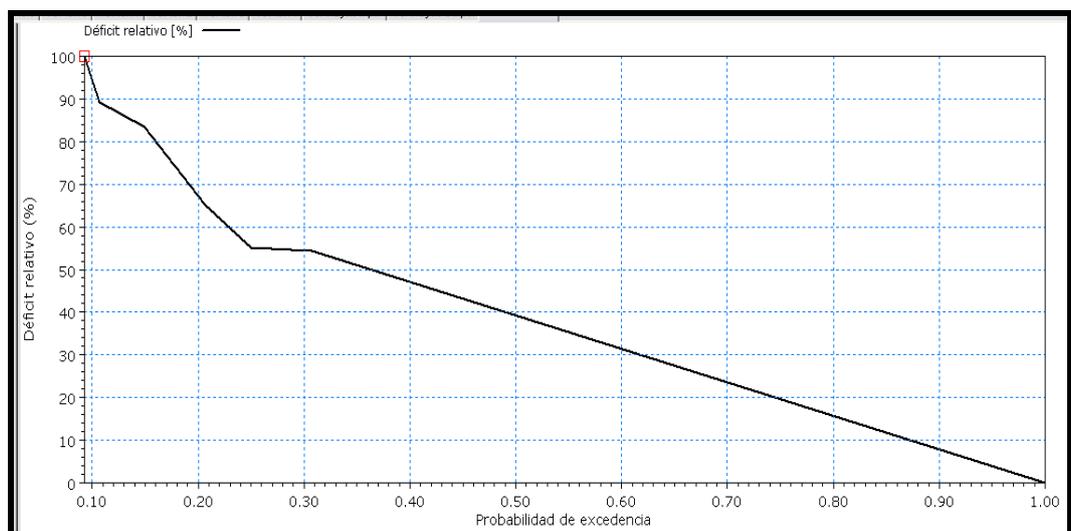


Figura N° 6.49. Curva duración déficit relativo, mensual, Las Lomitas (escenario actual)

La Figura N° 6.49 muestra la curva de duración de déficit relativo de la población de Las Lomitas, la cual refleja que el 20% (0,20) del tiempo el déficit relativo es igual o mayor al **65%** y el 90% (0,90) del tiempo el déficit relativo es menor al **10%**. La curva duración déficit relativo pone en evidencia que en algunos meses no hubo agua para abastecer a la demanda.

**Los meses más críticos son desde enero a marzo.**

#### **8- Obra partidora-canal Monte Lindo-toma Pozo del Tigre (DHI\_ID 15-21)**

Este canal conduce las aguas provenientes del bañado La Estrella hacia las localidades ubicadas al este de Las Lomitas, a la vera de la RN N° 81. Dentro de las localidades se encuentran Pozo del Tigre, Estanislao del Campo, Ibarreta y Comandante Fontana.

Las características del canal:

- Longitud = 33 km (desde la obra partidora sobre la RP N° 28 hasta La Alcoba)
  - Sección trapecial
  - 6 obras de cruce de 4 vanos de 3,60 m x 1,75 m
  - 6 obras de cruce de 3 vanos de 1,50 m x 1,50 m
  - Pendientes= 0,010‰ desde obra partidora hasta la progresiva 12.296 m. y 0,28‰ desde la progresiva 12.296 m hasta el final del canal
  - Ancho de solera =15 m
  - Talud = 1:1,5
  - Terraplenes de guardia en ambas márgenes: Talud interno 1:1,5, talud externo 1:3.
- Ancho de solera margen derecha 6 m, ancho de solera margen izquierda 3,50 m

En este elemento se calculan los hidrogramas de caudales que ingresan desde la obra partidora (inicio canal Monte Lindo) hasta la toma de Pozo del Tigre.

En el tramo de canal desde la obra partidora hasta La Alcoba (fin canal Monte Lindo) se producen pérdidas, ya sea por desborde o bien porque los pobladores de la zona realizan trabajos de canalizaciones desde el canal hacia sus chacras. Es por ello que se consideró (de acuerdo a lo informado por los pobladores) el tiempo de tránsito de

hidrograma (desde obra partidora hasta la toma de la localidad de Pozo del Tigre) de **4 días** y las pérdidas (por evaporación) en este caso se consideraron mayores durante los meses de marzo a noviembre, de **5%**, meses donde el canal tiene agua y trabajaba a su máxima capacidad, el resto del año niveles y caudales mínimos en el canal, las pérdidas por evaporación son prácticamente nulas.

Una vez que el canal abandona La Alcoba (fin de canal Monte Lindo), los caudales que vienen desde la obra partidora son conducidos por el cauce natural del riacho Monte Lindo, generando una importante pérdida de volumen de agua que no es aprovechado para abastecer a las poblaciones ubicadas a la vera de la RN N° 81 (Pozo del Tigre, Estanislao del Campo, Ibarreta y Comandante Fontana). Esto hace necesario realizar canales o acueductos para conducir las aguas del riacho Monte Lindo a los embalses de las localidades mencionadas anteriormente.

El gran inconveniente que presenta este canal son sus obras de arte (alcantarillas) en particular las de sección 1,50 m x 1,50 m, estas dimensiones en un ancho de solera de 15 m generan estrangulamiento, esto hace que cuando se tenga buen caudal en el canal trabajen ahogadas sin permitir un adecuado escurrimiento. Además de toda la vegetación que existe en el mismo.

La Figura N° 6.50 muestra la problemática que presenta el canal Monte Lindo con sus obras de arte.

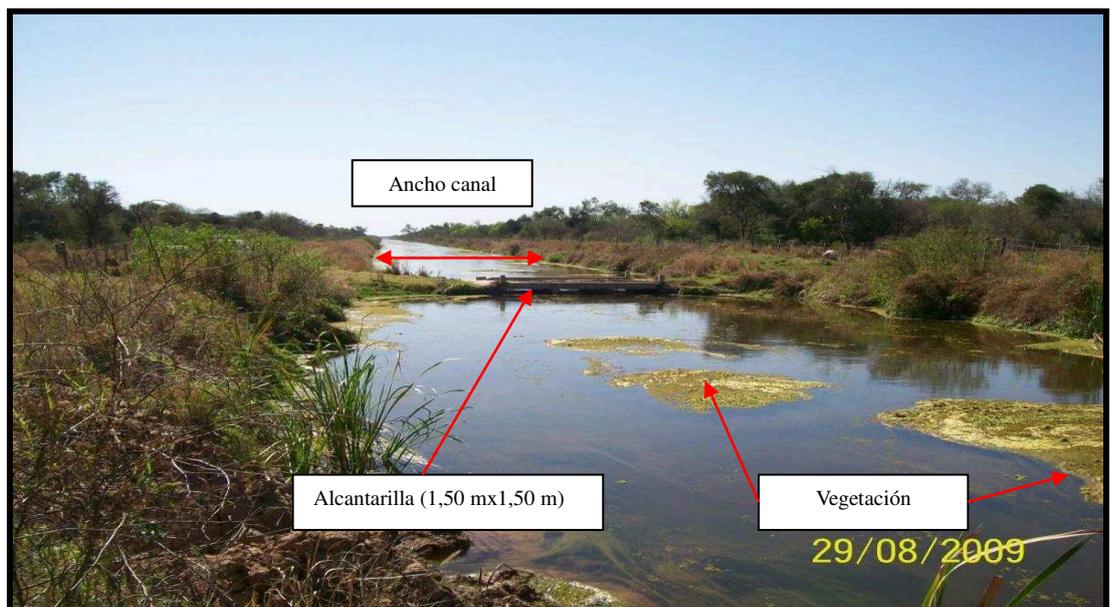


Figura N° 6.50. Canal Monte Lindo-alcantarilla (Fuente: Schneider-Ferreira)

La Figura N° 6.51 representa los hidrogramas de caudales diarios que ingresan al canal Monte Lindo (desde la obra partidora) (línea negra) y los caudales diarios que llegan a la toma de Pozo del Tigre (línea roja), para el escenario actual.

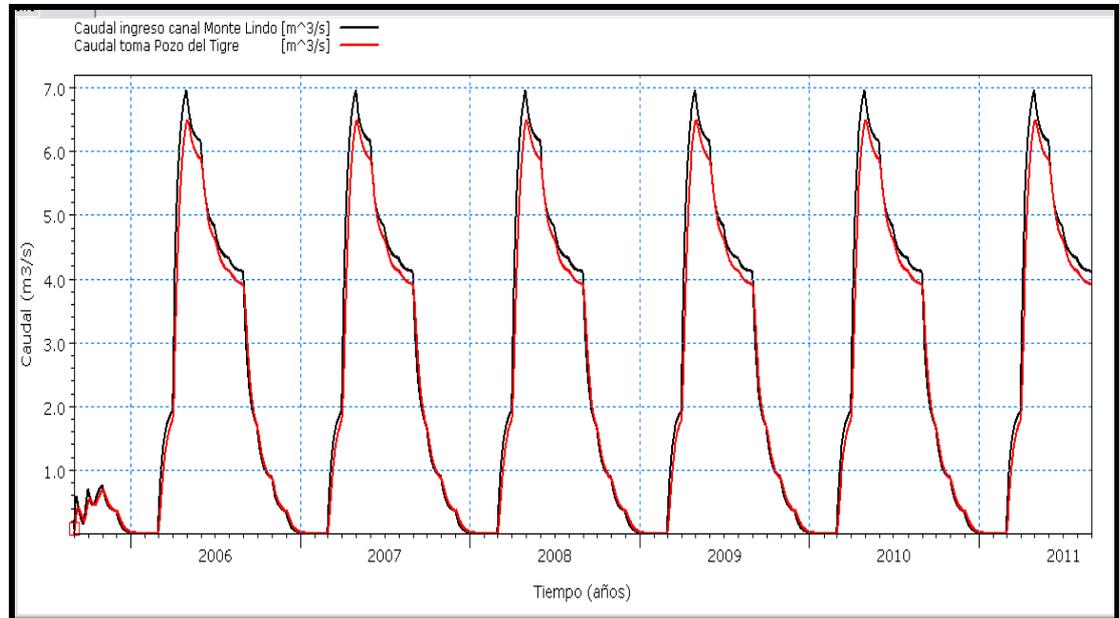


Figura N° 6.51. Caudales diarios ingreso canal Monte Lindo - caudales diarios toma de Pozo del Tigre (escenario actual)

Con las consideraciones mencionadas anteriormente se tiene:

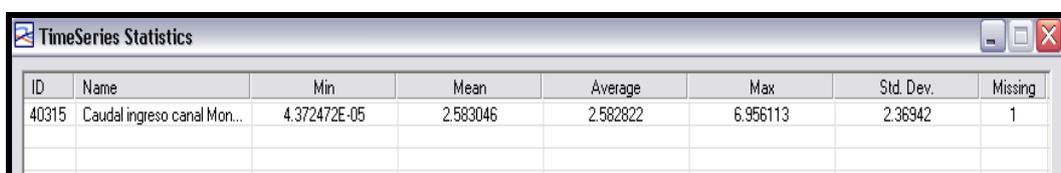
Coeficiente de eficiencia  $E_f$ , de Nash-Sutcliffe (1970), de **0,99**.

Error relativo de volumen  $E_{rV} = -5,3\%$ . Volumen de entrada (ingreso canal Monte Lindo)= **489 hm<sup>3</sup>**. Volumen de salida (toma Pozo del Tigre)= **463 hm<sup>3</sup>**.

Error relativo de caudal máximo  $E_{rQM} = -6,9\%$ . Caudal máximo (ingreso canal Monte Lindo)= **6,96 m<sup>3</sup>/s**. Caudal máximo (toma Pozo del Tigre)= **6,48 m<sup>3</sup>/s**.

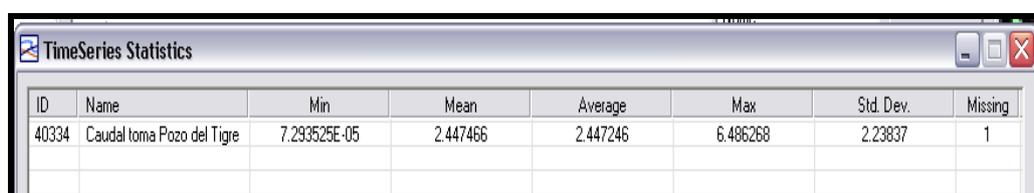
Las Tablas N° 6.22 y N° 6.23 muestran los valores mínimos, medios, promedios, máximos y desvío estándar de los caudales diarios que ingresan al canal Monte Lindo (desde la obra partidora) y los caudales diarios que llegan a la toma de Pozo del Tigre, respectivamente, para el escenario actual.

Tabla N° 6.25. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios que ingresan al canal Monte Lindo (desde obra partidora) (m<sup>3</sup>/s)



ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
40315	Caudal ingreso canal Mon...	4.372472E-05	2.583046	2.582822	6.956113	2.36942	1

Tabla N° 6.26. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios que llegan a toma Pozo del Tigre (m<sup>3</sup>/s)



ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
40334	Caudal toma Pozo del Tigre	7.293525E-05	2.447466	2.447246	6.486268	2.23837	1

## 9- Pozo del Tigre

En este elemento se calculan:

- Embalse: capacidad de almacenamiento y niveles característicos en función a su curva nivel-área-volumen, el almacenamiento relativo y volumen almacenado, la variación de nivel, la distribución acumulada y curva de duración del volumen almacenado.
- Población: caudal a distribuir desde el embalse a la población, déficit de la demanda y la curva de duración del déficit relativo. Se determinan los meses más críticos.

### Embalse (DHI\_ID 24)

Para el cálculo de la curva nivel-área-volumen del embalse, se tuvo en cuenta las dimensiones obtenidas de imágenes satelitales y Google Earth, las cuales se verificaron in situ con la recorrida realizada en julio/2013, en el caso del embalse Pozo del Tigre las dimensiones para el período 2005/2006 - 2010/2011 se mantienen hasta la fecha sin modificaciones. Actualmente el área o superficie de almacenamiento es de **0,1 km<sup>2</sup>**, y su capacidad máxima de almacenamiento de **0,35 hm<sup>3</sup>**.

Los niveles característicos (2005/2006 - 2010/2011) del embalse Pozo del Tigre son:

- Cota cresta máxima (dam crest level)= **3,50 m**
- Cota vertedero o de control de inundaciones (flood control level)= **3,50 m**
- Nivel inicial de agua (initial water level)= **0,60 m**
- Nivel inferior del embalse (bottom level)= **0,00 m**
- Nivel volumen muerto (top of dead storage)= **0,30 m**
- Nivel mínimo de embalse operable (reduction level)= **0,30 m**
- Área o superficie del almacenamiento= **0,1 km<sup>2</sup>**
- Capacidad máxima de almacenamiento= **0,35 hm<sup>3</sup>**

En este caso se consideró que la cota cresta máxima y la cota del vertedero o cota control de inundaciones son iguales y estas coincidentes con la profundidad máxima del embalse. A diferencia del Embalse RP N° 28 los embalses de las localidades no cuentan con vertedero de excedencia.

Se consideró que el **5%** total de la precipitación caída en la localidad incide directamente en el embalse. Y el caudal de ingreso al embalse es del **2%** del caudal total que pasa por el riacho Monte Lindo.

Las pérdidas por evapotranspiración en el embalse son iguales a las del Embalse RP N° 28, ya que las condiciones climáticas se mantienen entre ambos puntos, sin variación significativa.

La Figura N° 6.52 representa la curva nivel-área-volumen del embalse Pozo del Tigre, para el escenario actual.

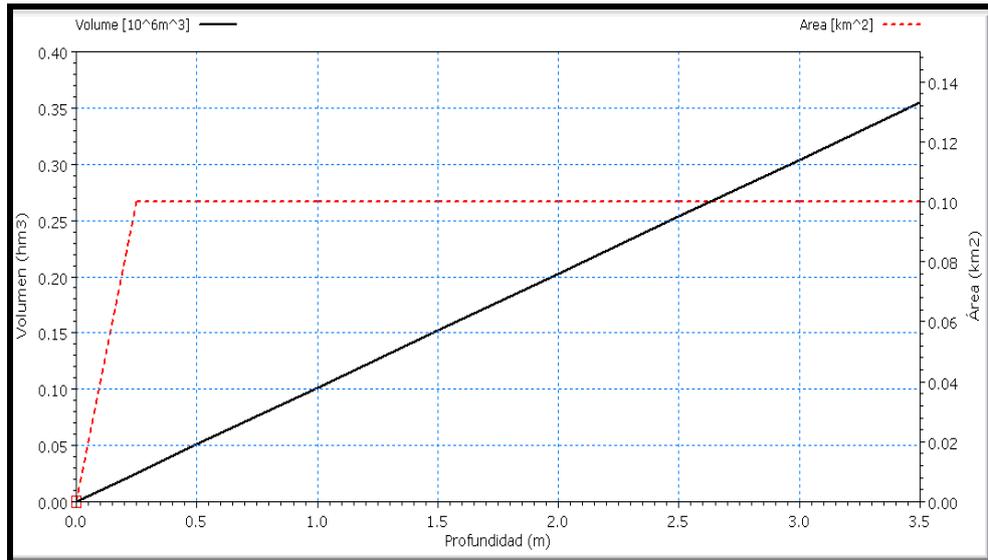


Figura N° 6.52. Curva nivel – área - volumen embalse Pozo del Tigre  
(escenario actual)

La Figura N° 6.53 representa los hidrogramas de distribución de caudales diarios que llegan desde la obra partidora a la toma de Pozo del Tigre (línea negra), los caudales diarios que son conducidos desde dicha toma hacia el embalse de Pozo del Tigre (línea verde) y los caudales diarios que siguen hacia aguas abajo de Pozo del Tigre (tramo Pozo del Tigre-Estanislao del Campo) (línea roja), para el escenario actual.

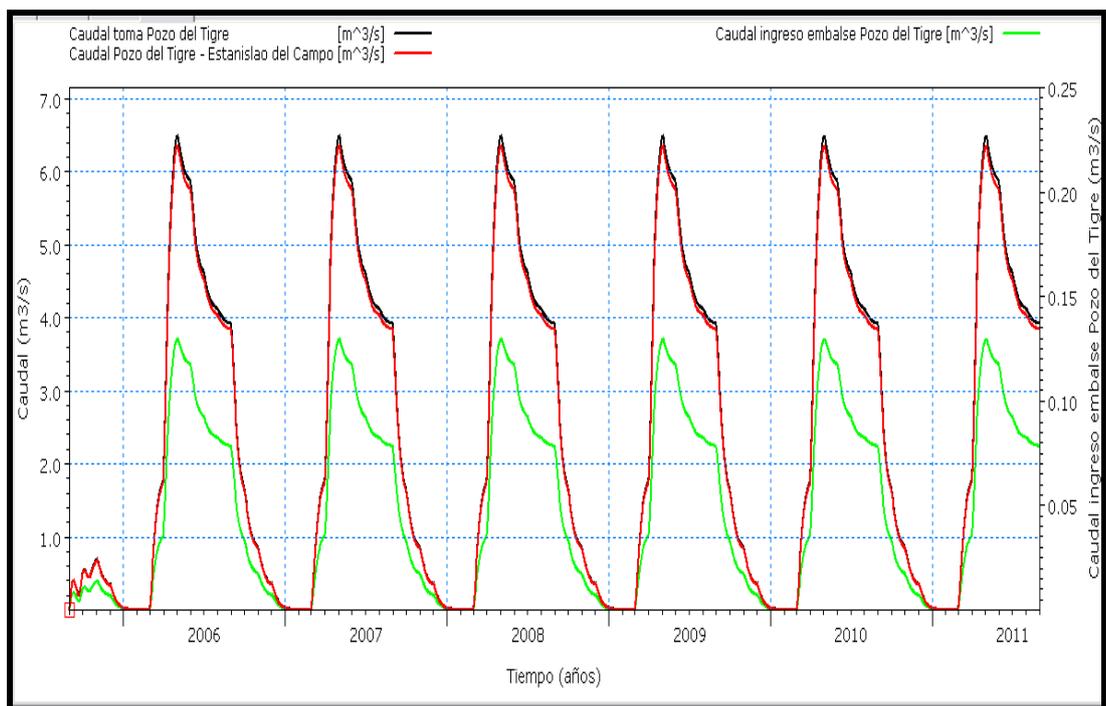


Figura N° 6.53. Distribución de caudales diarios toma Pozo del Tigre  
(escenario actual)

La Figura N° 6.54 representa la variación del almacenamiento relativo (línea negra) y volumen almacenado (línea roja), mensual, del embalse Pozo del Tigre, para el escenario actual.

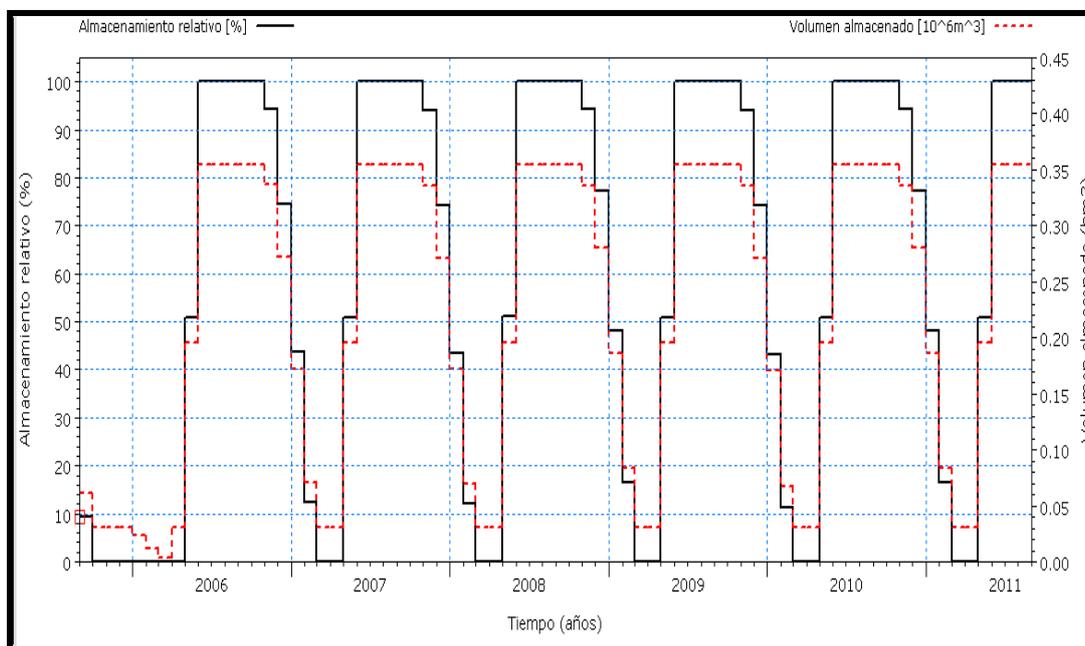


Figura N° 6.54. Almacenamiento relativo - volumen almacenado, mensual, embalse Pozo del Tigre (escenario actual)

Como se observa en la Figura N° 6.54 durante los meses de junio a octubre el embalse se encuentra trabajando a su máxima capacidad de almacenamiento. Pero dicho almacenamiento no se mantiene al **100%** en el resto del año, desde los meses de noviembre a abril disminuye, llegando a ser crítico en los meses de febrero y marzo, en este último mes el volumen almacenado coincide con el nivel mínimo de almacenamiento, y el almacenamiento relativo es del **0%**, es decir el embalse no tiene volumen suficiente de agua para ser extraída y abastecer a la población. Si bien el mes de abril aparece con almacenamiento relativo **0%**, a partir de este mes comienza la recarga al embalse, por lo cual este porcentaje solo se presenta los primeros días del mes.

La disminución de volumen almacenado en el embalse Pozo del Tigre, se debe a que de acuerdo a la Figura N° 6.36 durante los meses de diciembre, enero y febrero el canal que conecta el Embalse RP N° 28 con la obra partidora no tiene agua. Iniciándose la recarga del mismo a partir del mes de marzo, siendo el máximo caudal registrado en el mes de abril, a partir de este último mes comienza a aumentar el volumen almacenado del embalse.

Las Figuras N° 6.55 y N° 6.56 representan la distribución acumulada y la curva de duración del volumen almacenado en el embalse Pozo del Tigre, mensual, para el escenario actual.

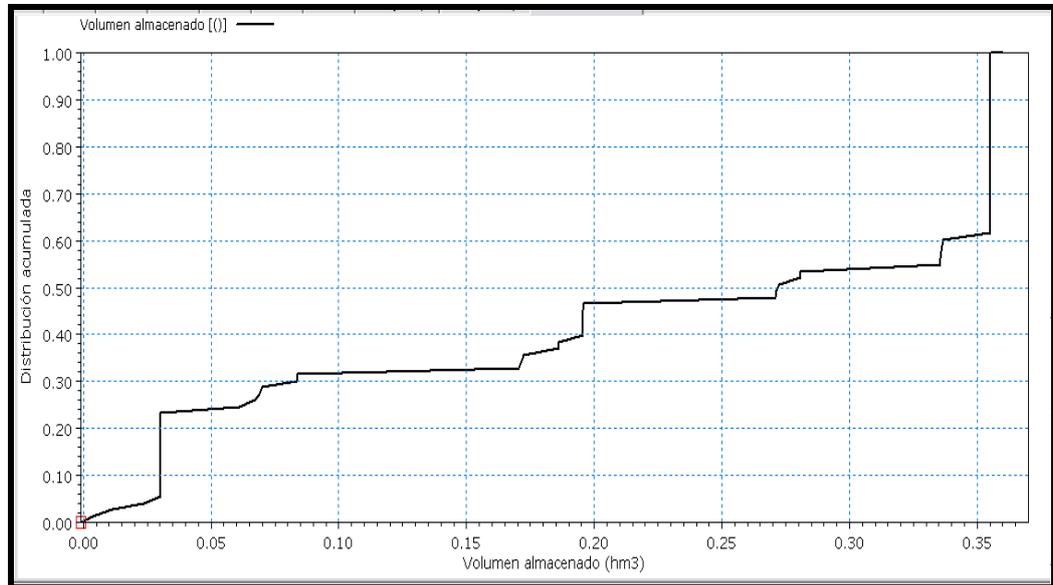


Figura N° 6.55. Distribución acumulada volumen almacenado, mensual, embalse Pozo del Tigre (escenario actual)

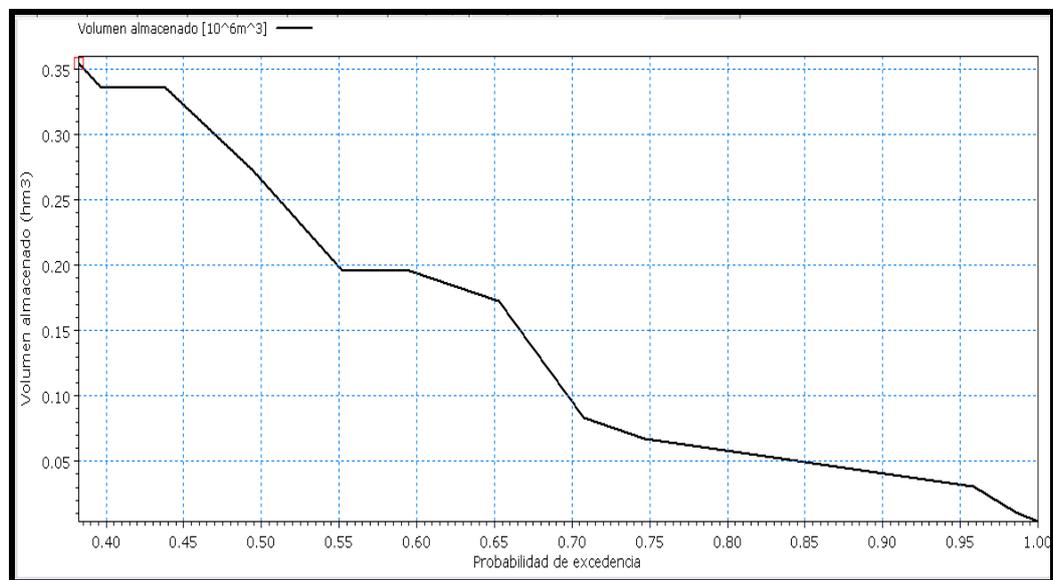


Figura N° 6.56. Curva duración volumen almacenado, mensual, embalse Pozo del Tigre (escenario actual)

La Figura N° 6.56 muestra la curva de duración de volumen almacenado embalse Pozo del Tigre, la cual refleja que el 45% (0,45) del tiempo el volumen almacenado es mayor a **0,30 hm³** y el 90% (0,90) del tiempo el volumen almacenado es menor a

**0,05 hm<sup>3</sup>**. La curva de duración pone en evidencia que en algunos meses el volumen almacenado en el embalse Pozo del Tigre es mínimo, llegando a valores iguales a cero.

La Figura N° 6.57 representa la variación de niveles mensuales, del embalse Pozo del Tigre, para el escenario actual.

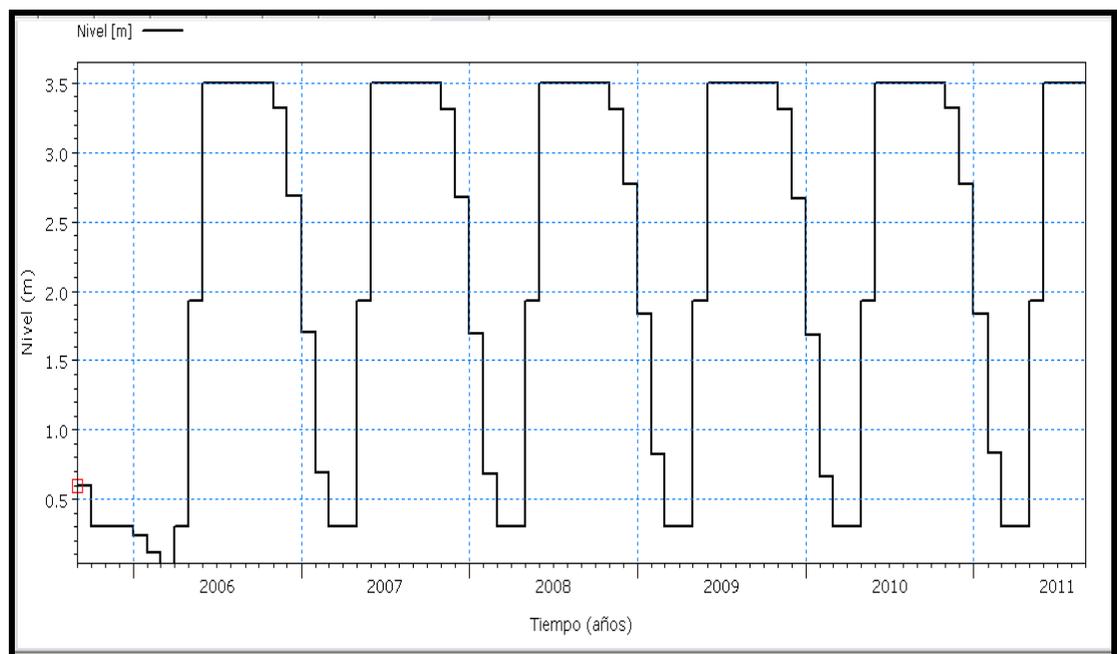


Figura N° 6.57. Variación de niveles mensuales embalse Pozo del Tigre (escenario actual)

Como se observa en la Figura N° 6.57 la variación de nivel en el embalse comienza en el mes de noviembre, llegando al nivel mínimo operable entre los meses de febrero a mediados de abril, siendo el mes más crítico marzo. Si bien en el mes de abril el nivel mínimo coincidente con el de nivel muerto, no se debe considerar como crítica ya que a partir de este mes se produce la recarga del embalse.

La Figura N° 6.58 representa los caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos desde el embalse a la población de Pozo del Tigre, para el escenario actual.

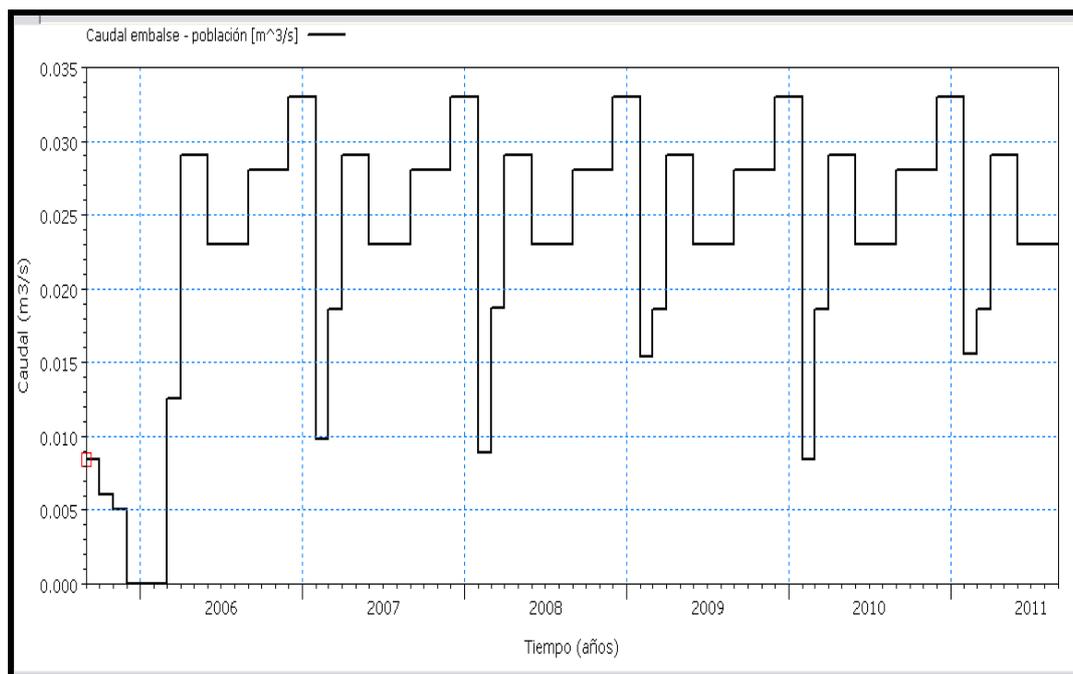


Figura N° 6.58. Caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos en la población de Pozo del Tigre (escenario actual)

Como se observa en la Figura N° 6.58 los caudales mensuales (demanda) a distribuir en la localidad de Pozo del Tigre son mayores durante los meses de abril a enero, el canal desde la obra partidora deja de conducir agua hacia el canal Monte Lindo a partir de fines de noviembre principios de diciembre, se puede decir que el embalse tiene suficiente capacidad de almacenamiento que permite distribuir agua a la población hasta el mes de enero. No ocurre lo mismo durante los meses de febrero y marzo donde los niveles y el volumen de almacenamiento disminuyen generando déficit de la demanda.

### **Población (DHI\_ID 25)**

Las Figuras N° 6.59 y N° 6.60 representan la demanda mensual de la población (línea negra) y el déficit mensual de la demanda (línea roja) de Pozo del Tigre, para el escenario actual y detalle de los años 2005/2006- 2006/2007, respectivamente.

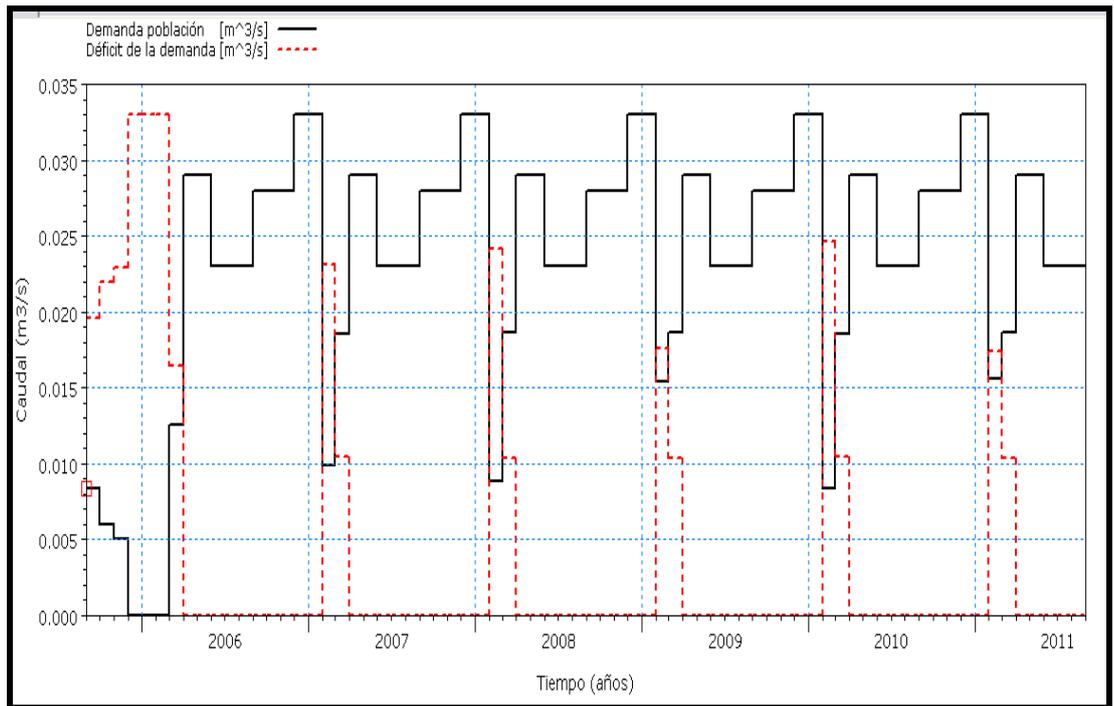


Figura N° 6.59. Demanda mensual de la población (usuario) - déficit mensual de la demanda, Pozo del Tigre (escenario actual)

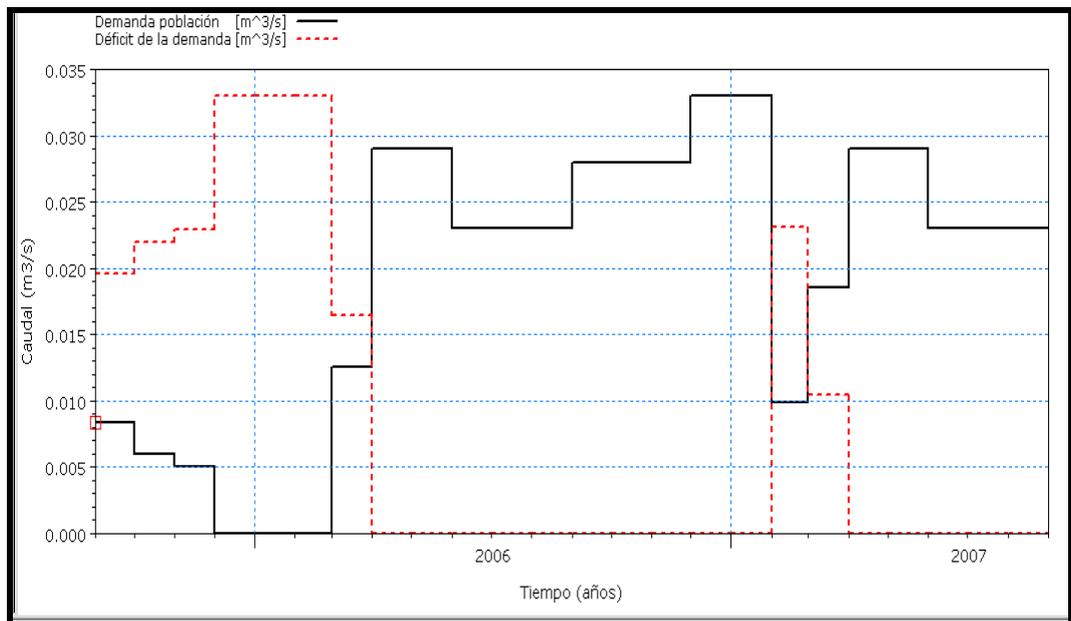


Figura N° 6.60. Demanda mensual de la población (usuario) - déficit mensual de la demanda (2005/2006 - 2006/2007), Pozo del Tigre

Como se observa en las Figuras N° 6.59 y N° 6.60 con las condiciones de embalse Pozo del Tigre, del canal y caudal desde la obra partidora hasta Pozo del Tigre, no satisface durante todo el año la demanda de la población, existiendo déficit de la demanda durante

los meses de febrero y marzo, meses en donde el nivel y el volumen almacenado del embalse disminuyen hasta valores mínimos.

La Figura N° 6.61 representa la curva de duración de déficit relativo para Pozo del Tigre, mensual, para el escenario actual.

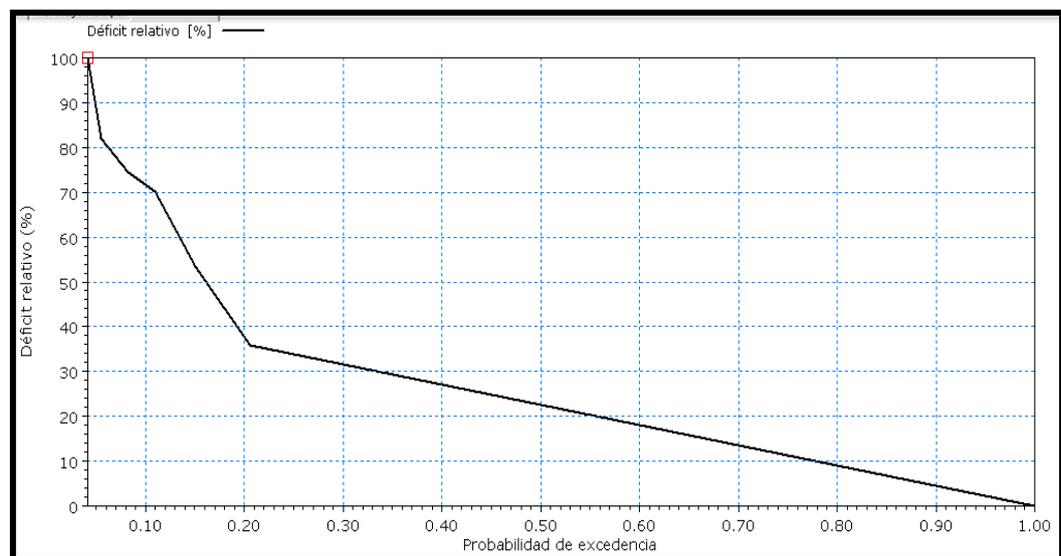


Figura N° 6.61. Curva duración déficit relativo, mensual, Pozo del Tigre (escenario actual)

La Figura N° 6.61 muestra la curva de duración de déficit relativo de la población de Pozo del Tigre, la cual refleja que el 20% (0,20) del tiempo el déficit relativo es mayor al 30% y el 90% (0,90) del tiempo el déficit relativo es menor al 10%. La curva duración déficit relativo pone en evidencia que en algunos meses no hubo agua para abastecer a la demanda.

**Los meses más críticos son febrero y marzo.**

### **10-Estanislao del Campo**

En este elemento se calculan:

- Embalse: capacidad de almacenamiento y niveles característicos en función a su curva nivel-área-volumen, el almacenamiento relativo y volumen almacenado, la variación de nivel, la distribución acumulada y curva de duración del volumen almacenado.

• Población: caudal a distribuir desde el embalse a la población, déficit de la demanda y la curva de duración del déficit relativo. Se determinan los meses más críticos.

### **Embalse (DHI\_ID 29)**

Para el cálculo de la curva nivel-área-volumen del embalse, se tuvo en cuenta las dimensiones obtenidas de imágenes satelitales y Google Earth, las cuales se verificaron in situ con la recorrida realizadas en julio/2013. En el caso del embalse Estanislao del Campo pudo comprobarse que las dimensiones respecto al período 2005/2006 - 2010/2011 fueron modificadas, es decir se realizaron en la zona de embalse trabajos que permitieran aumentar la capacidad de almacenamiento. Estas modificaciones de las dimensiones serán tenidas en cuenta para modelar en un escenario optimizado a corto plazo. Actualmente el área o superficie de almacenamiento es de **0,04 km<sup>2</sup>**, y su capacidad máxima de almacenamiento de **0,102 hm<sup>3</sup>**.

Los niveles característicos (2005/2006 - 2010/2011) del embalse Estanislao del Campo son:

- Cota cresta máxima (dam crest level): **1,50 m**
- Cota vertedero o de control de inundaciones (flood control level): **1,50 m**
- Nivel inicial de agua (initial water level): **0,60 m**
- Nivel inferior del embalse (bottom level): **0,00 m**
- Nivel volumen muerto (top of dead storage): **0,30 m**
- Nivel mínimo de embalse operable (reduction level): **0,30 m**
- Área o superficie del almacenamiento: **0,0326 km<sup>2</sup>**
- Capacidad máxima de almacenamiento: **0,049 hm<sup>3</sup>**

En este caso se consideró que la cota cresta máxima y la cota del vertedero o cota control de inundaciones son iguales y estas coincidentes con la profundidad máxima del embalse. A diferencia del Embalse RP N° 28 los embalses de las localidades no cuentan con vertedero de excedencia.

Se consideró que el **5%** total de la precipitación caída en la localidad incide directamente en el embalse. Como así también un tiempo de tránsito de hidrograma de **4 días** entre Pozo del Tigre y Estanislao del Campo, en el tramo las pérdidas por evaporación

fueron del **5%** para los meses con agua en el canal (marzo a noviembre). Y el caudal de ingreso al embalse es del **2%** del caudal total que pasa por el riacho Monte Lindo.

Las pérdidas por evapotranspiración en el embalse son iguales a las del Embalse RP N° 28, ya que las condiciones climáticas se mantienen entre ambos puntos, sin variación significativa.

La Figura N° 6.62 representa la curva nivel-área-volumen del embalse Estanislao del Campo, para el escenario actual.

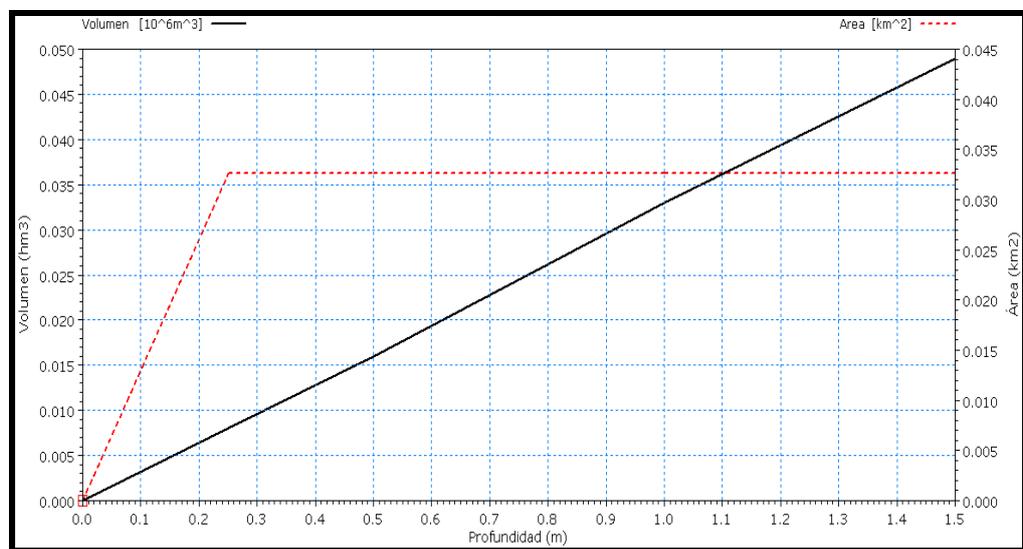


Figura N° 6.62. Curva nivel – área - volumen embalse Estanislao del Campo (escenario actual)

La Figura N° 6.63 representa los hidrogramas de distribución de caudales diarios que llegan desde Pozo del Tigre a la toma de Estanislao del Campo (toma Estanislao del Campo) (línea negra), los caudales diarios ingreso al embalse de Estanislao del Campo (línea verde), y los caudales diarios que siguen aguas abajo de Estanislao del Campo (tramo Estanislao del Campo-bifurcación riacho Monte Lindo-canal Ibarreta) (línea roja), para el escenario actual.

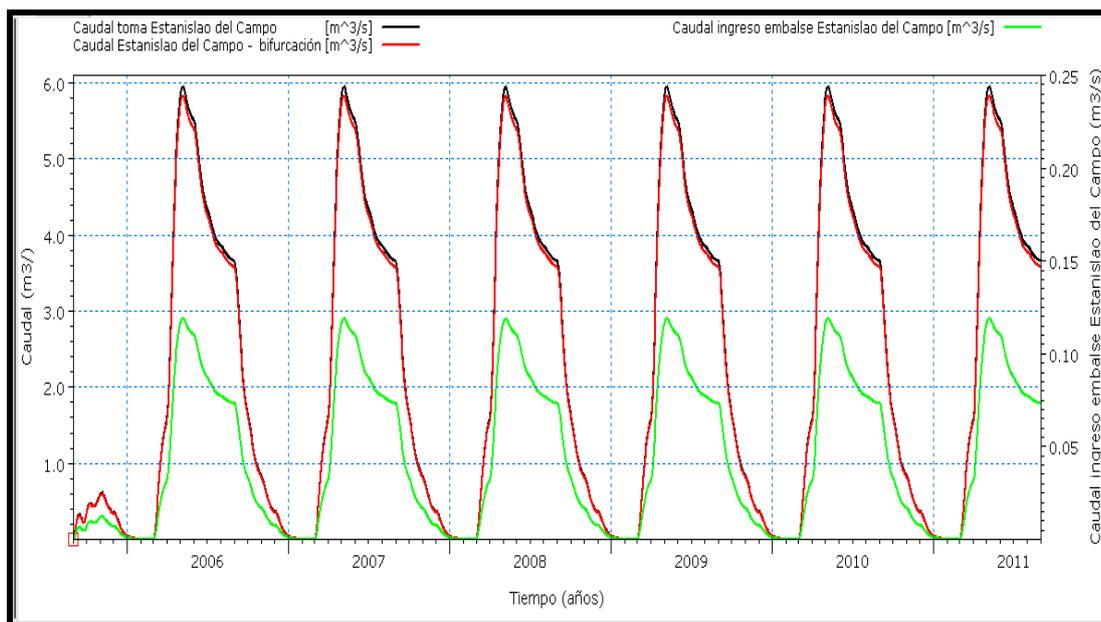


Figura N° 6.63. Distribución de caudales diarios toma Estanislao del Campo (escenario actual)

Con las consideraciones mencionadas anteriormente se tiene:

Coeficiente de eficiencia  $E_f$ , de Nash-Sutcliffe (1970), de **0,98**.

Error relativo de volumen  $E_{rv} = -5,3\%$ . Volumen de entrada (Pozo del Tigre)= **454 hm<sup>3</sup>**. Volumen de salida (toma Estanislao del Campo)= **430 hm<sup>3</sup>**.

Error relativo de caudal máximo  $E_{rQM} = -6,4\%$ . Caudal máximo (Pozo del Tigre)= **6,36 m<sup>3</sup>/s**. Caudal máximo (toma Estanislao del Campo)= **5,95 m<sup>3</sup>/s**.

Las Tablas N° 6.27 y N° 6.28 muestran los valores mínimos, medios, promedios, máximos y desvío estándar de los caudales diarios Pozo del Tigre-Estanislao del Campo y los caudales diarios que llegan a la toma de Estanislao del Campo, respectivamente, para el escenario actual.

Tabla N° 6.27. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios Pozo del Tigre-Estanislao del Campo (m<sup>3</sup>/s)

ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std.Dev.	Missing
40336	Caudal salida tigre	7.147655E-05	2.398517	2.3983	6.356543	2.19361	1

Tabla N° 6.28. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios que llegan a la toma Estanislao del Campo (m<sup>3</sup>/s)

ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
40350	Caudal toma Estanislao d...	0.000119226	2.272815	2.272614	5.950695	2.07361	1

La Figura N° 6.64 representa la variación de almacenamiento relativo (línea negra) y el volumen almacenado (línea roja), mensual, del embalse Estanislao del Campo, escenario actual.

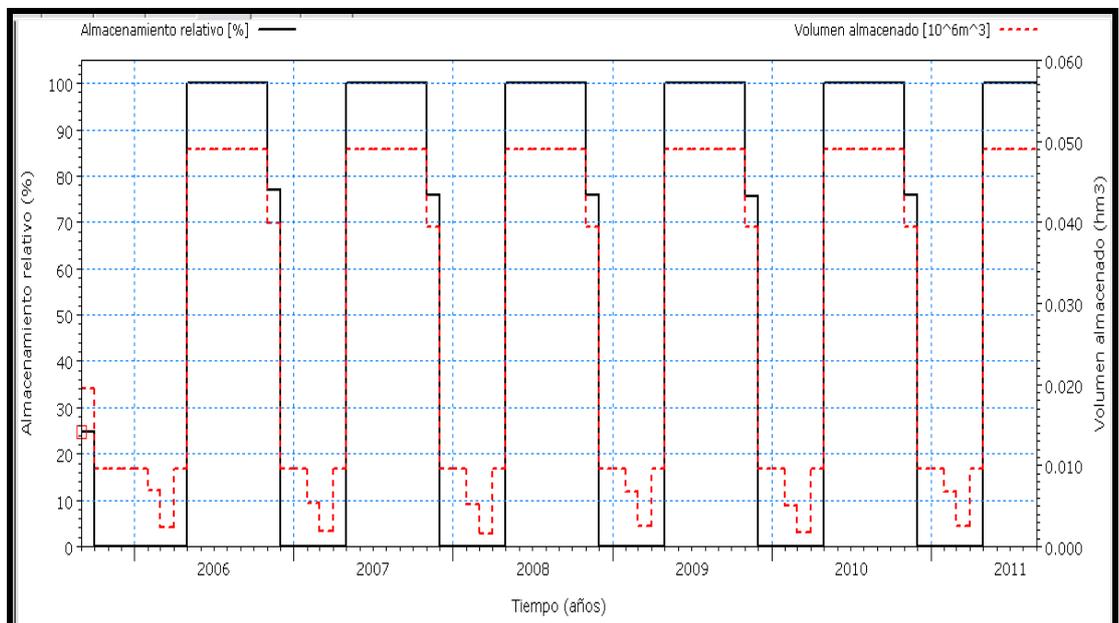


Figura N° 6.64. Almacenamiento relativo - volumen almacenado, mensual, embalse Estanislao del Campo (escenario actual)

Como se observa en la Figura N° 6.64 durante los meses de mayo a octubre el embalse se encuentra trabajando a su máxima capacidad de almacenamiento. Pero dicho almacenamiento no se mantiene al **100%** en el resto del año, desde los meses de noviembre a abril disminuye, llegando a ser crítica entre los meses de diciembre hasta mediados de abril, el volumen almacenado coincide con el nivel mínimo de almacenamiento, y el almacenamiento relativo es del **0%**, es decir el embalse no tienen volumen suficiente de agua para ser extraída y abastecer a la población. Si bien el mes de abril aparece con almacenamiento relativo **0%**, a partir de este mes comienza la recarga al embalse, por lo cual este porcentaje solo se presenta los primeros días del mes.

La disminución de volumen almacenado en el embalse Estanislao del Campo, se debe a que de acuerdo a la Figura N° 6.36 durante los meses de diciembre, enero y febrero el canal que conecta el Embalse RP N°28 con la obra partidora no tiene agua. Iniciándose la recarga del mismo a partir del mes de marzo, siendo el máximo caudal registrado en el mes de abril, a partir de este último mes comienza a aumentar el volumen almacenado del embalse.

Las Figuras N° 6.65 y N° 6.66 representan la distribución acumulada y la curva de duración del volumen almacenado en el embalse Estanislao del Campo, mensual, para el escenario actual.

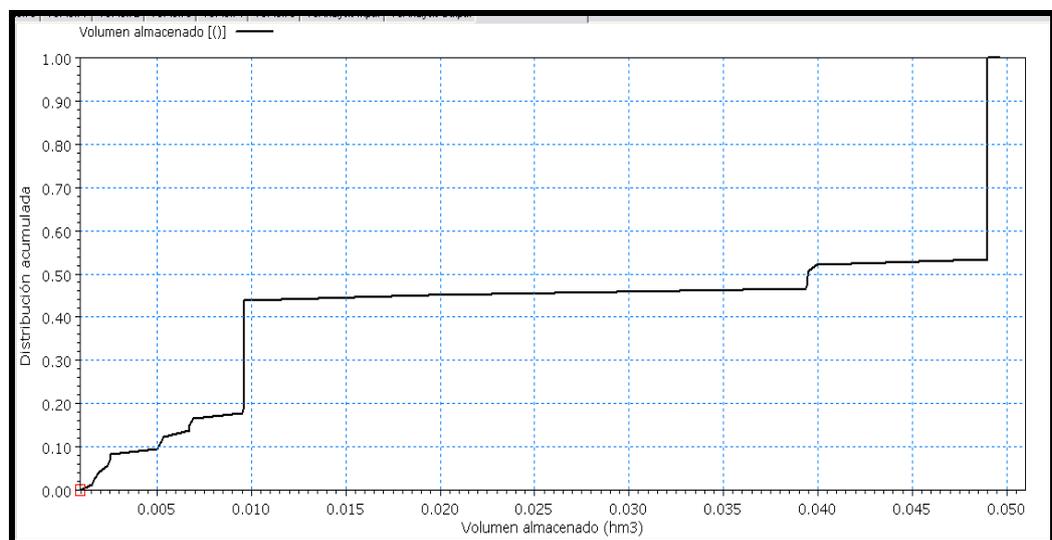


Figura N° 6.65. Distribución acumulada volumen almacenado, mensual, embalse Estanislao del Campo (escenario actual)

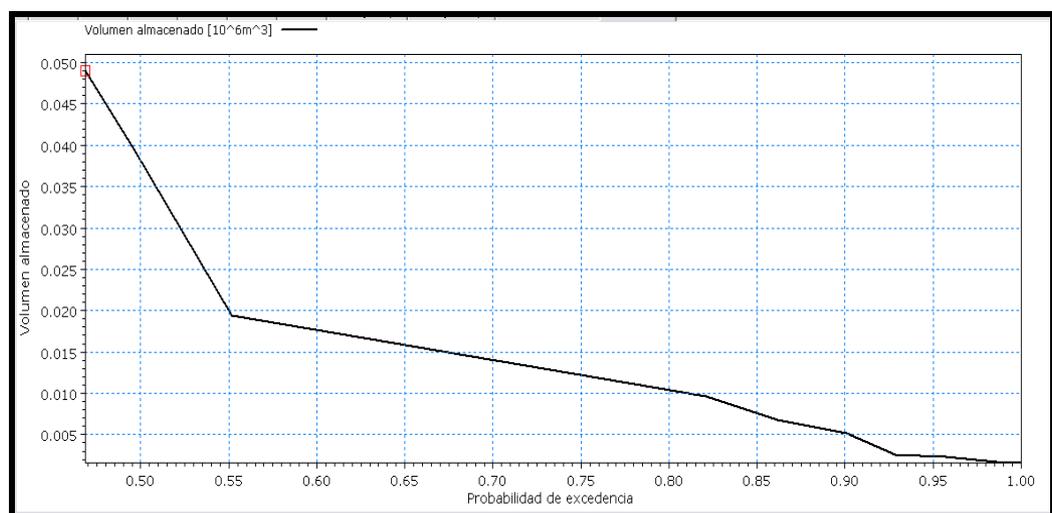


Figura N° 6.66. Curva duración volumen almacenado, mensual, embalse Estanislao del Campo (escenario actual)

La Figura N° 6.66 muestra la curva de duración de volumen almacenado embalse Estanislao del Campo, la cual refleja que el 50% (0,50) del tiempo el volumen almacenado es mayor a **0,040 hm<sup>3</sup>** y el 90% (0,90) del tiempo el volumen almacenado es menor a **0,005 hm<sup>3</sup>**. La curva de duración pone en evidencia que en algunos meses el volumen almacenado en el embalse Estanislao del Campo es mínimo, llegando a valores iguales a cero.

La Figura N° 6.67 representa la variación de niveles mensuales, del embalse Estanislao del Campo, para el escenario actual.

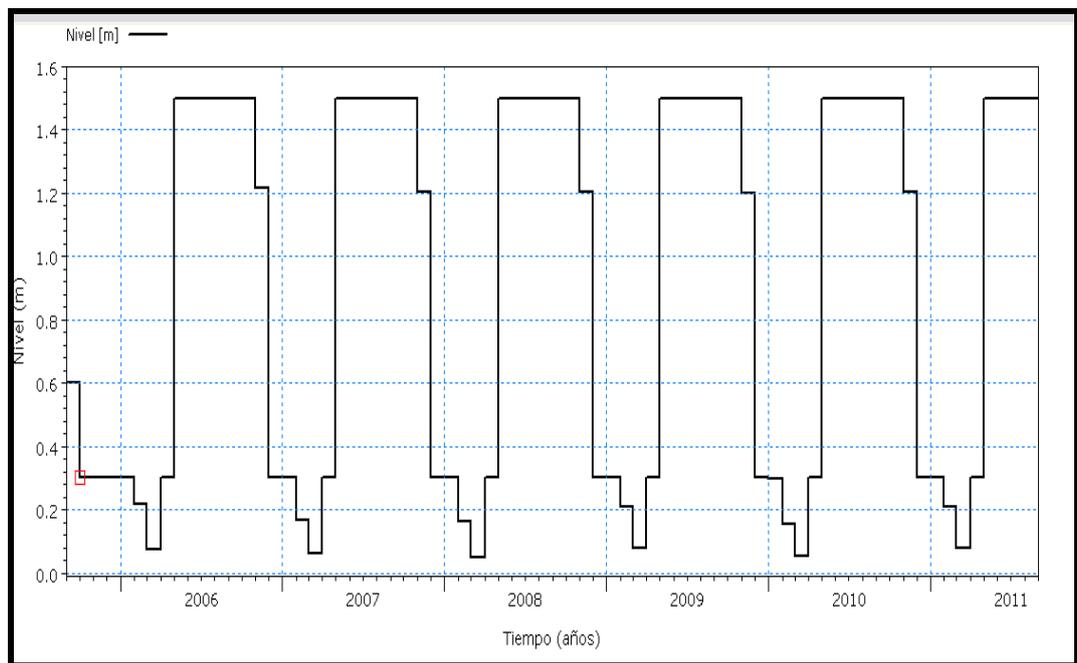


Figura N° 6.67. Variación de niveles mensuales embalse Estanislao del Campo (escenario actual)

Como se observa en la Figura N° 6.67 la variación de nivel en el embalse comienza en el mes de noviembre, llegando al nivel mínimo operable entre los meses de enero a mediados de abril.

La Figura N° 6.68 representa la distribución de caudales mensuales (demanda) desde el embalse a la población de Estanislao del Campo, para el escenario actual.

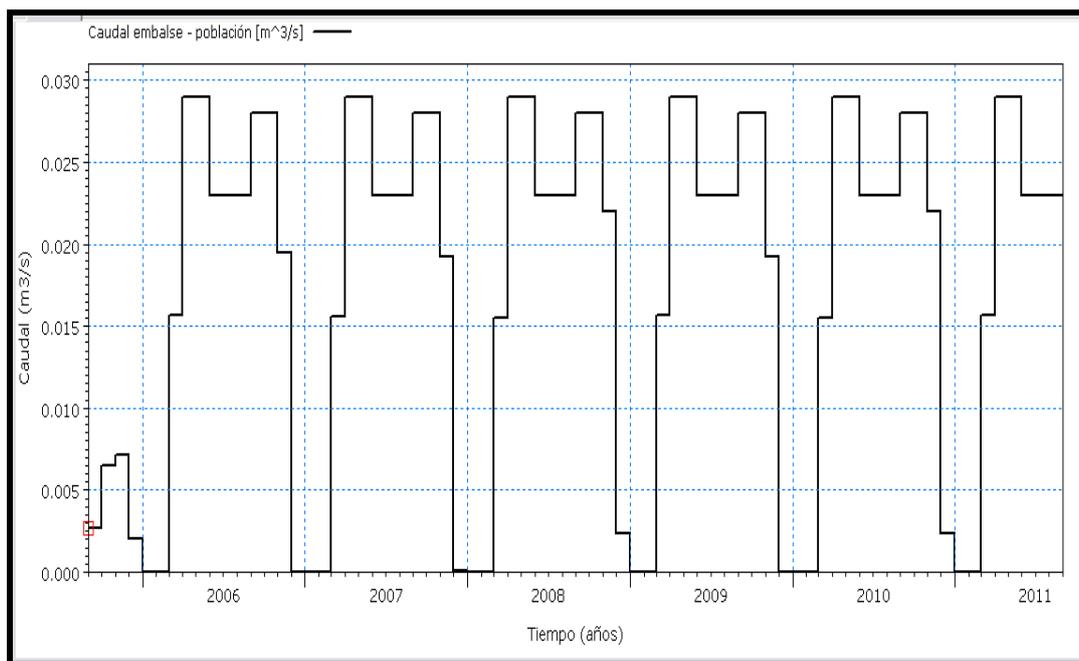


Figura N° 6.68. Caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos en la población de Estanislao del Campo (escenario actual)

Como se observa en la Figura N° 6.68 los caudales mensuales (demanda) a distribuir en la localidad de Estanislao del Campo son mayores durante los meses de abril a octubre, y pasado estos meses el canal desde la obra partidora deja de aportar caudales, por lo cual los niveles en el embalse como así también su volumen almacenado comienzan a disminuir generando déficit de la demanda.

### **Población (DHI\_ID 30)**

Las Figuras N° 6.69 y N° 6.70 representan la demanda mensual de la población (línea negra) y el déficit mensual de la demanda (línea roja) de Estanislao del Campo, para el escenario actual y detalle de los años 2005/2006 - 2006/2007, respectivamente.

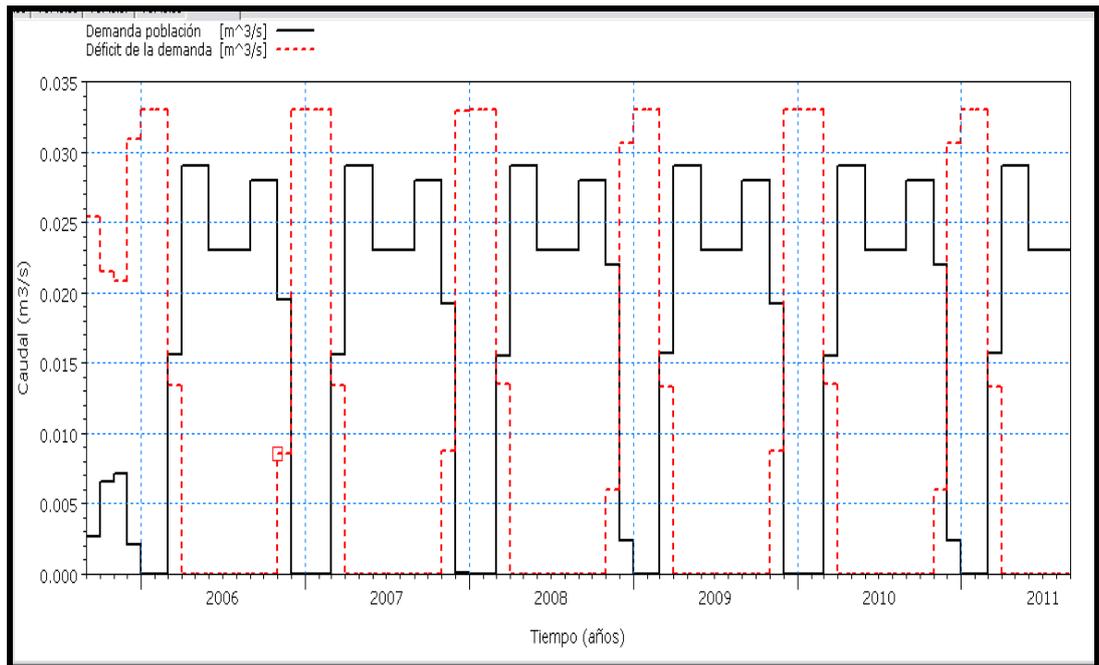


Figura N° 6.69. Demanda mensual de la población (usuario) - déficit mensual de la demanda, Estanislao del Campo (escenario actual)

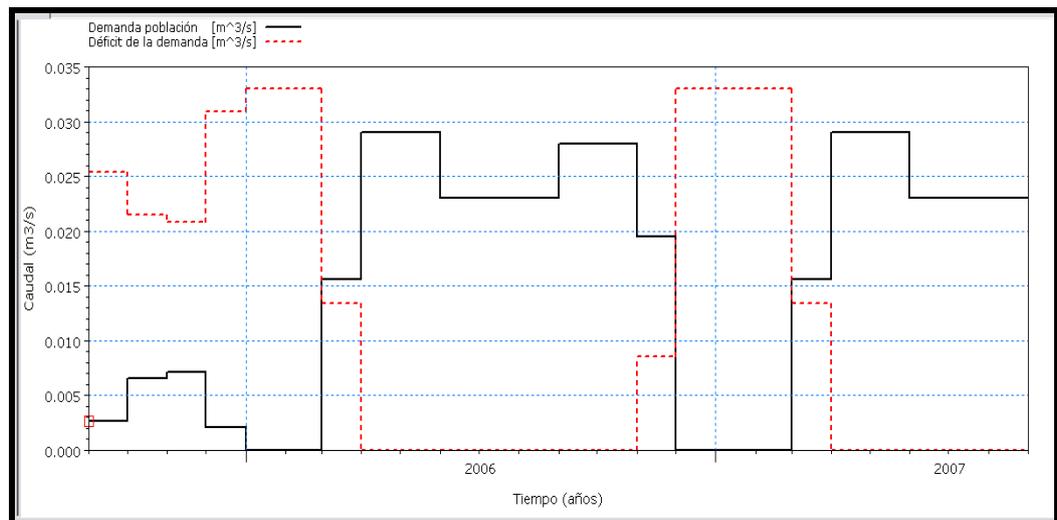


Figura N° 6.70. Demanda mensual de la población (usuario) - déficit mensual de la demanda (2005/2006 - 2006/2007), Estanislao del Campo

Como se observa en las Figuras 6.69 y N° 6.70 con las condiciones de embalse Estanislao del Campo, del canal y caudal conducido desde Pozo del Tigre a Estanislao del Campo, no se satisface durante todo el año la demanda de la población, existiendo déficit de la demanda durante los meses de diciembre a marzo, meses en donde el nivel y el volumen almacenado del embalse disminuyen hasta valores mínimos.

La Figura N° 6.71 representa la curva de duración de déficit relativo de Estanislao del Campo, mensual, para el escenario actual.

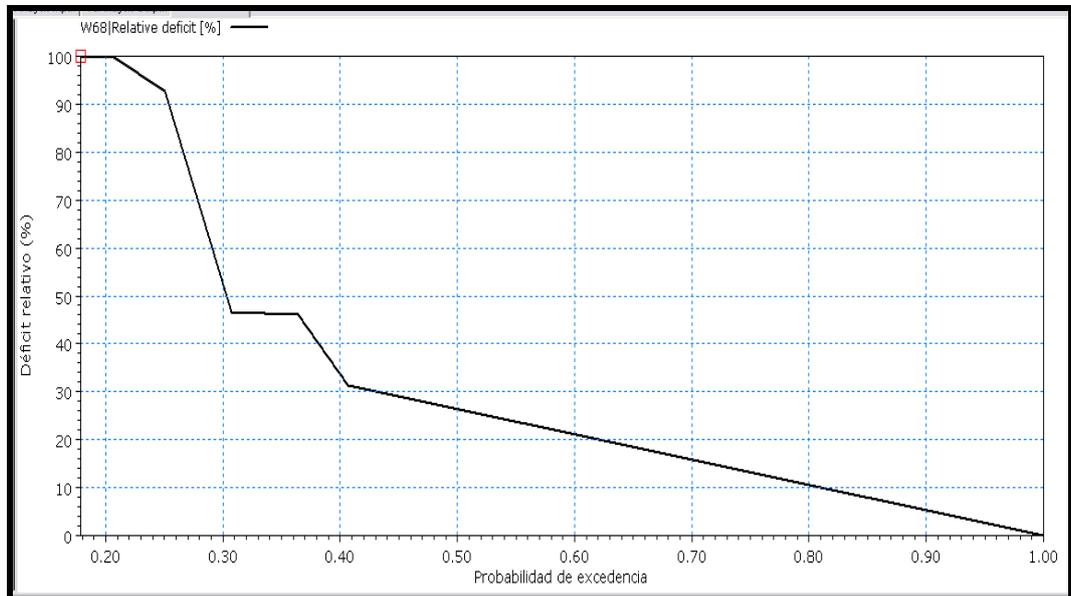


Figura N° 6.71. Curva duración déficit relativo, mensual, Estanislao del Campo (escenario actual)

La Figura N° 6.71 muestra la curva de duración de déficit relativo de la población de Estanislao del Campo, la cual refleja que el 30% (0,30) del tiempo el déficit relativo es mayor al **50%** y el 90% (0,90) del tiempo el déficit relativo es menor al **10%**. La curva duración déficit relativo pone en evidencia que en algunos meses no hubo agua para abastecer a la demanda.

**Los meses más críticos son desde diciembre a marzo.**

### 11-Ibarreta

En este elemento se calculan:

- Embalse: capacidad de almacenamiento y niveles característicos en función a su curva nivel-área-volumen, el almacenamiento relativo y volumen almacenado, la variación de nivel, la distribución acumulada y curva de duración del volumen almacenado.
- Población: caudal a distribuir desde el embalse a la población, déficit de la demanda y la curva de duración del déficit relativo. Se determinan los meses más críticos.

### **Embalse (DHI\_ID 34)**

Para el cálculo de la curva nivel-área-volumen del embalse, se tuvo en cuenta las dimensiones obtenidas de imágenes satelitales y Google Earth, las cuales se verificaron in situ con la recorrida realizadas en julio/2013. En el caso del embalse Ibarreta pudo comprobarse que las dimensiones respecto al período 2005/2006 – 2010/2011 fueron modificadas, es decir se realizaron en la zona de embalse trabajos que permitieran aumentar la capacidad de almacenamiento. Estas modificaciones de las dimensiones serán tenidas en cuenta para modelar en un escenario optimizado a corto plazo. Actualmente el área o superficie de almacenamiento actual es de **0,38 km<sup>2</sup>**, y su capacidad máxima actual de almacenamiento de **1,539 hm<sup>3</sup>**.

Los niveles característicos (2005/2006 – 2010/2011) del embalse Ibarreta son:

- Cota cresta máxima (dam crest level)= **2,50 m**
- Cota vertedero o de control de inundaciones (flood control level)= **2,50 m**
- Nivel inicial de agua (initial water level)= **0,60 m**
- Nivel inferior del embalse (bottom level)= **0,00 m**
- Nivel volumen muerto (top of dead storage)= **0,30 m**
- Nivel mínimo de embalse operable (reduction level)= **0,30 m**
- Área o superficie del almacenamiento= **0,269 km<sup>2</sup>**
- Capacidad máxima de almacenamiento= **0,673 hm<sup>3</sup>**

En este caso se consideró que la cota cresta máxima y la cota del vertedero o cota control de inundaciones son iguales y estas coincidentes con la profundidad máxima del embalse. A diferencia del Embalse RP N° 28 los embalses de las localidades no cuentan con vertedero de excedencia.

Se consideró que el **5%** total de la precipitación caída en la localidad incide directamente en el embalse. Como así también un tiempo de tránsito de hidrograma de **4 días**, tiempo que tarda desde la bifurcación al embalse de Ibarreta, en el tramo las pérdidas por evaporación fueron para los meses con caudal (marzo a noviembre), del **5%**. Y el caudal de ingreso desde el inicio del canal con el riacho Monte Lindo al embalse Ibarreta es de **5%** del caudal total que llega desde Estanislao del Campo a la bifurcación.

Las pérdidas por evapotranspiración en el embalse son iguales a las del Embalse RP N° 28, ya que las condiciones climáticas se mantienen entre ambos puntos, sin variación significativa.

La Figura N° 6.72 representa la curva nivel-área-volumen del embalse Ibarreta, para el escenario actual.

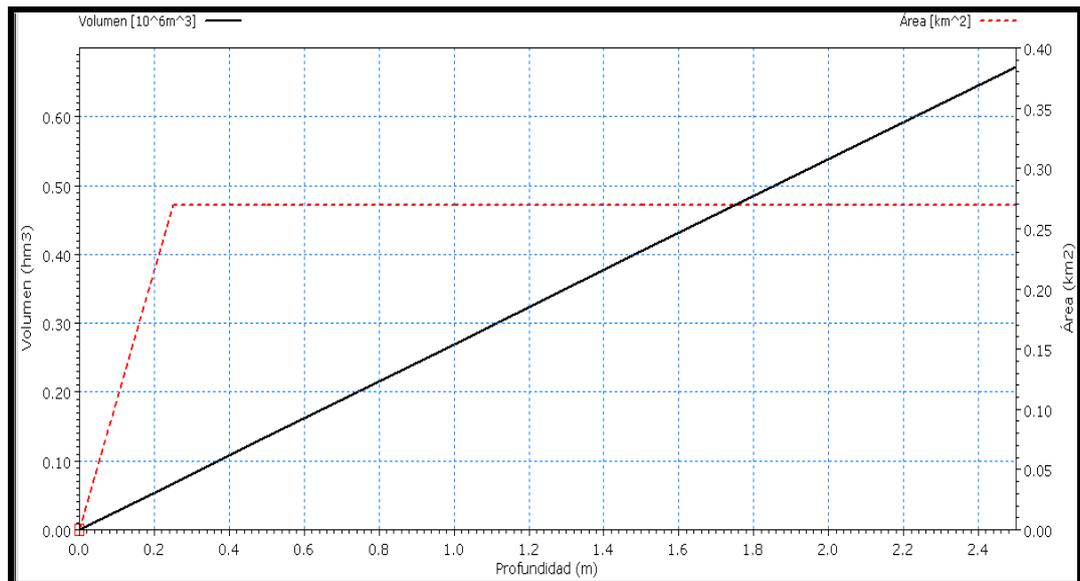


Figura N° 6.72. Curva nivel – área - volumen embalse Ibarreta (escenario actual)

La Figura N° 6.73 representa los hidrogramas de la distribución de caudales diarios que llegan desde Estanislao del Campo a la bifurcación (riacho Monte Lindo-canal embalse Ibarreta) (línea negra), los caudales que siguen por el cauce natural del riacho Monte Lindo (línea roja) y los caudales desde bifurcación al embalse de Ibarreta (línea verde), para el escenario actual.

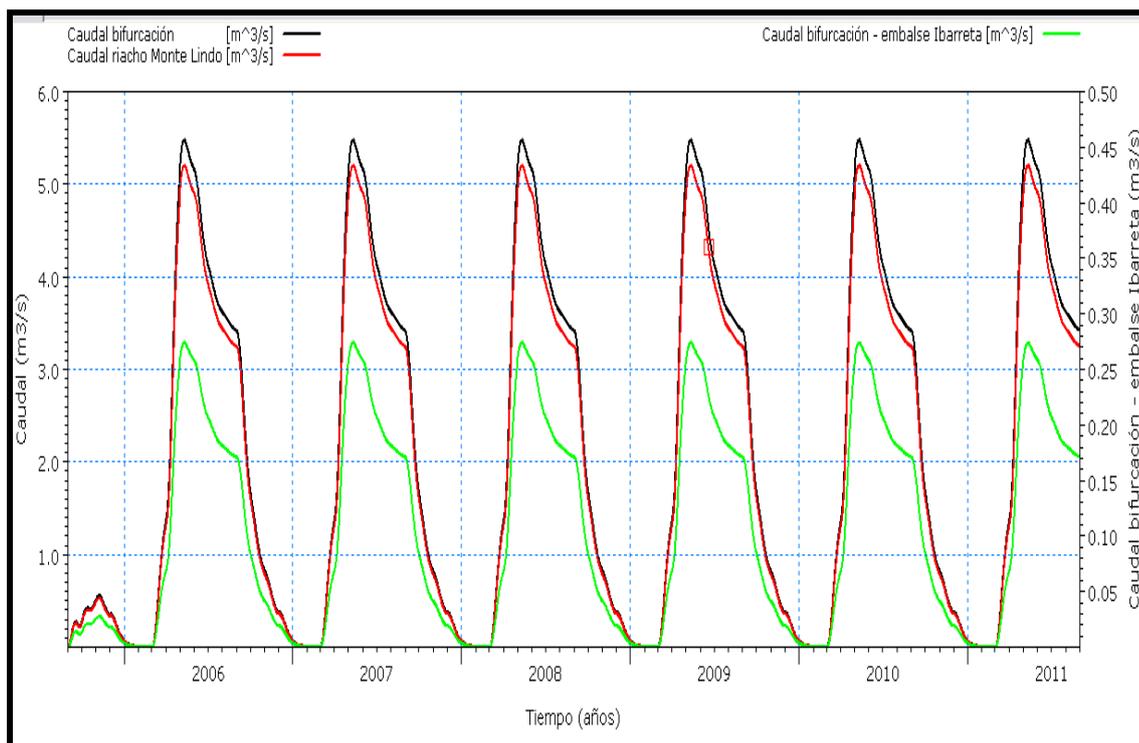


Figura N° 6.73. Distribución de caudales diarios: bifurcación - riacho Monte Lindo - canal embalse Ibarreta (escenario actual)

Con las consideraciones mencionadas anteriormente se tiene:

Coefficiente de eficiencia  $E_f$ , de Nash-Sutcliffe (1970), de **0,99**.

Error relativo de volumen  $E_{rV} = -5,2\%$ . Volumen de entrada (Estanislao del Campo) = **422 hm<sup>3</sup>**. Volumen de salida (bifurcación riacho Monte Lindo-canal embalse Ibarreta) = **400 hm<sup>3</sup>**.

Error relativo de caudal máximo  $E_{rQM} = -6\%$ . Caudal máximo (Estanislao del Campo) = **5,83 m<sup>3</sup>/s**. Caudal máximo (bifurcación riacho Monte Lindo-canal embalse Ibarreta) = **5,48 m<sup>3</sup>/s**.

Las Tablas N° 6.29 y N° 6.30 muestran los valores mínimos, medios, promedios, máximos y desvío estándar de los caudales diarios desde Estanislao del Campo a bifurcación riacho Monte Lindo-canal embalse Ibarreta y los caudales diarios desde la bifurcación riacho Monte Lindo – canal embalse Ibarreta, respectivamente, para el escenario actual.

Tabla N° 6.29. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios Estanislao del Campo-bifurcación riacho Monte Lindo-canal embalse Ibarreta (m<sup>3</sup>/s)

ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
40352	Caudal Estanislao del Ca...	0.0001168415	2.227359	2.227161	5.831681	2.03214	1

Tabla N° 6.30. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios bifurcación riacho Monte Lindo-canal embalse Ibarreta (m<sup>3</sup>/s)

ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
40366	Caudal bifurcación	9.525514E-05	2.110841	2.110657	5.4778	1.92155	1

La Figura N° 6.74 representa los hidrogramas de la distribución de caudales diarios desde bifurcación (riacho Monte Lindo-canal embalse Ibarreta) (línea negra) y los caudales que llegan al embalse de Ibarreta (línea verde), para el escenario actual.

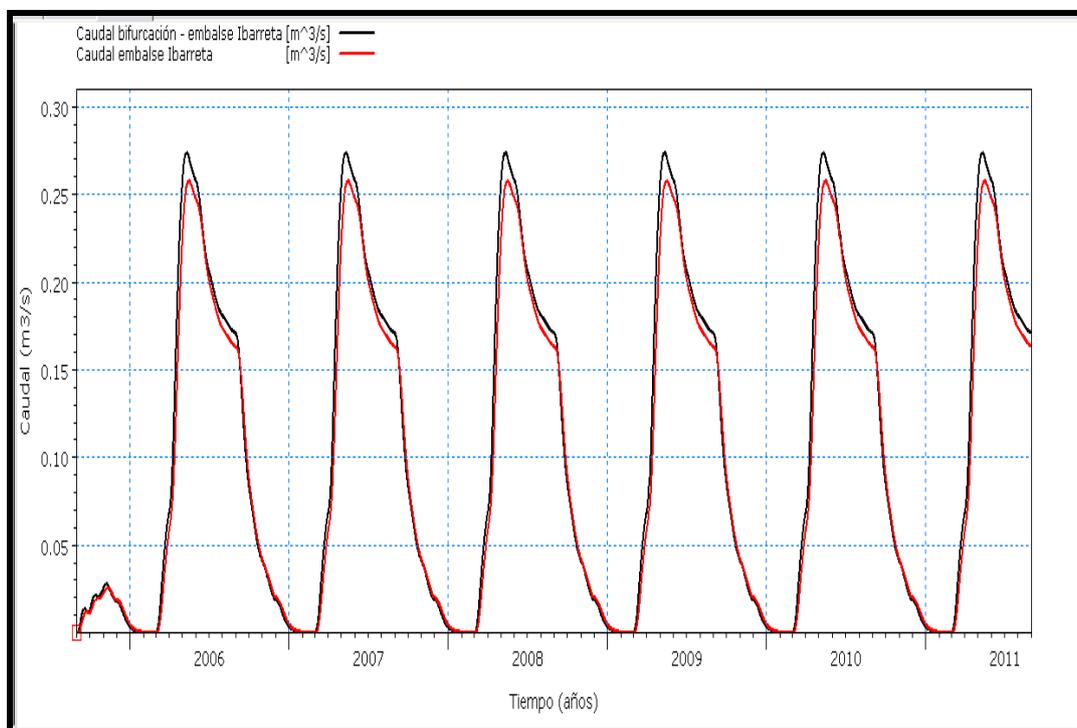


Figura N° 6.74. Distribución de caudales diarios: bifurcación riacho Monte Lindo - canal embalse Ibarreta (escenario actual)

Con las consideraciones mencionadas anteriormente se tiene:

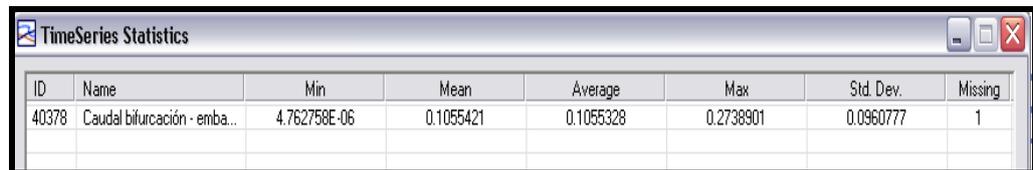
Coefficiente de eficiencia  $E_f$ , de Nash-Sutcliffe (1970), de **0,97**.

Error relativo de volumen  $E_{rV} = -5\%$ . Volumen de entrada (bifurcación) = **20 hm<sup>3</sup>**.  
Volumen de salida (embalse Ibarreta) = **19 hm<sup>3</sup>**.

Error relativo de caudal máximo  $E_{rQM} = -3,7\%$ . Caudal máximo (bifurcación) = **0,27 m<sup>3</sup>/s**. Caudal máximo (embalse Ibarreta) = **0,26 m<sup>3</sup>/s**.

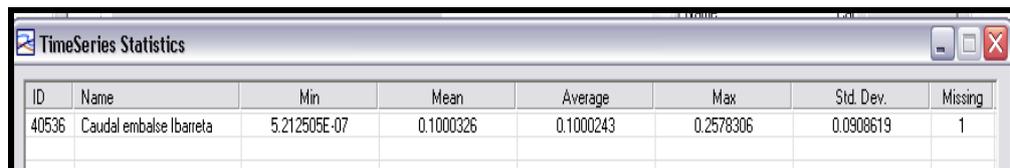
Las Tablas N° 6.31 y N° 6.32 muestran los valores mínimos, medios, promedios, máximos y desvío estándar de diarios bifurcación – embalse Ibarreta y de los caudales diarios que llegan al embalse Ibarreta, para el escenario actual.

Tabla N° 6.31. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios bifurcación – embalse Ibarreta (m<sup>3</sup>/s)



ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
40378	Caudal bifurcación - emba...	4.762758E-06	0.1055421	0.1055328	0.2738901	0.0960777	1

Tabla N° 6.32. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios que llegan al embalse Ibarreta (m<sup>3</sup>/s)



ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
40536	Caudal embalse Ibarreta	5.212505E-07	0.1000326	0.1000243	0.2578306	0.0908619	1

La Figura N° 6.75 representa la variación de almacenamiento relativo (línea negra) y volumen almacenado (línea roja), mensual, embalse Ibarreta, para el escenario actual.

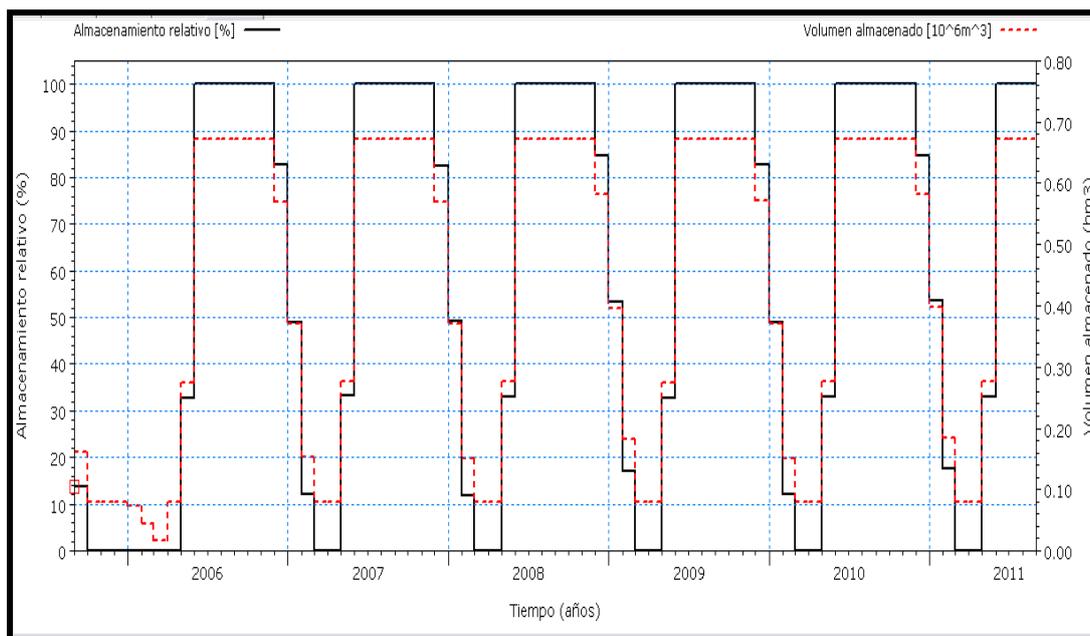


Figura N° 6.75. Almacenamiento relativo - volumen almacenado, mensual, embalse Ibarreta (escenario actual)

Como se observa en la Figura N° 6.75 durante los meses de junio a noviembre el embalse se encuentra trabajando a su máxima capacidad de almacenamiento. Pero dicho almacenamiento no se mantiene al **100%** en el resto del año, desde los meses de diciembre a abril disminuye, llegando a ser crítica en los meses de febrero y marzo, en este último mes el volumen almacenado coincide con el nivel mínimo de almacenamiento y el almacenamiento relativo es del **0%**, es decir, el embalse no tiene volumen suficiente de agua para ser extraída y abastecer a la población. Si bien el mes de abril aparece con almacenamiento relativo **0%**, a partir de este mes comienza la recarga al embalse, por lo cual este porcentaje solo se presenta los primeros días del mes.

La disminución de volumen almacenado en el embalse Ibarreta se debe a que de acuerdo a la Figura N° 6.36 durante los meses de diciembre, enero y febrero el canal que conecta el Embalse RP N° 28 con la obra partidora no tiene agua. Iniciándose la recarga del mismo a partir del mes de marzo, siendo el máximo caudal registrado en el mes de abril, a partir de este último mes comienza a aumentar el volumen almacenado del embalse.

Las Figuras N° 6.76 y N° 6.77 representan la distribución acumulada y la curva de duración del volumen almacenado en el embalse Ibarreta, mensual, para el escenario actual

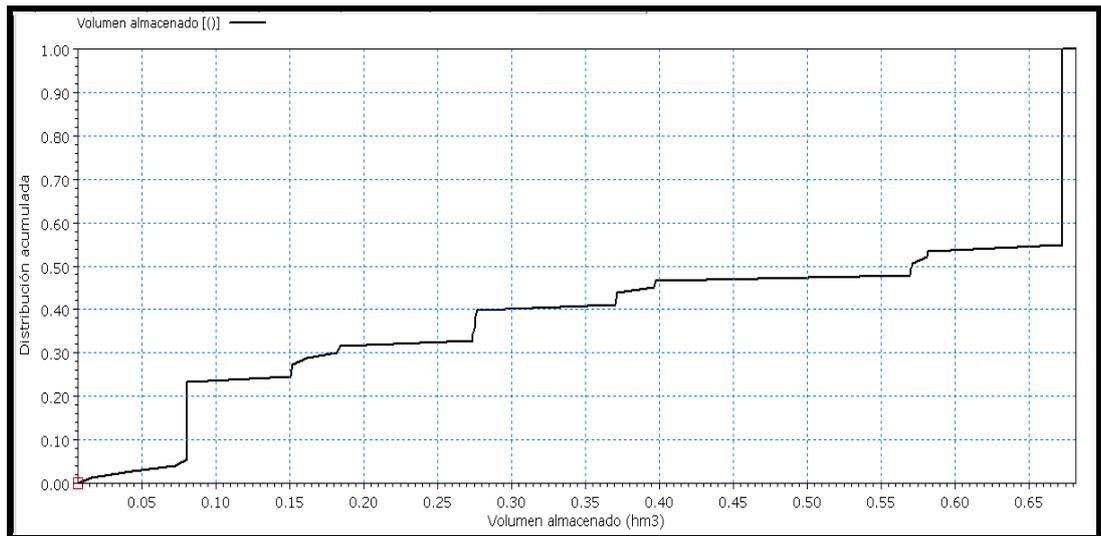


Figura N° 6.76. Distribución acumulada volumen almacenado, mensual, embalse Ibarreta (escenario actual)

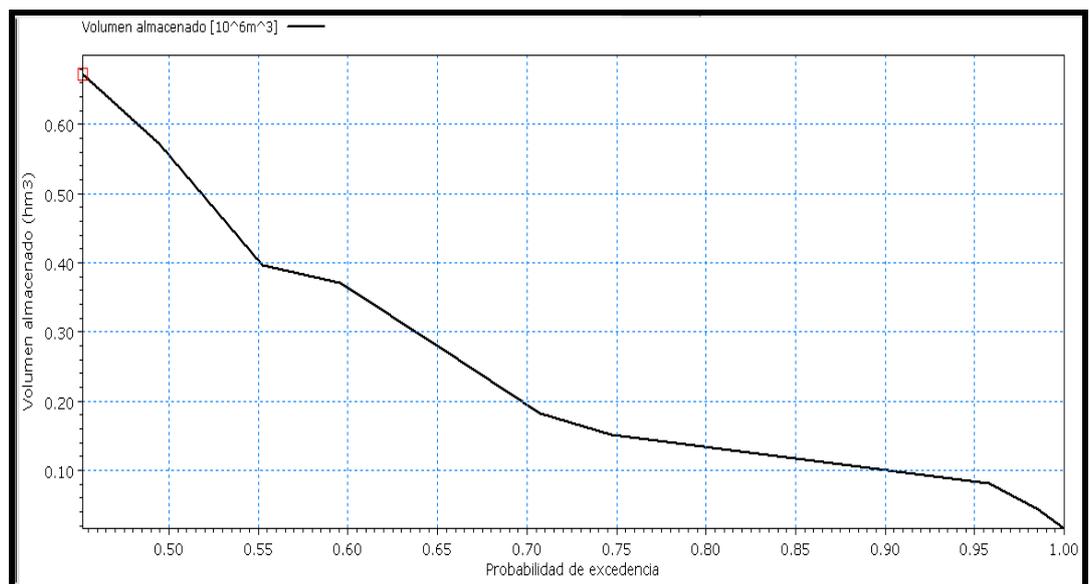


Figura N° 6.77. Curva duración volumen almacenado, mensual, embalse Ibarreta (escenario actual)

La Figura N° 6.77 muestra la curva de duración de volumen almacenado en Embalse Ibarreta, la cual refleja que el 50% (0,50) del tiempo el volumen almacenado es mayor a **0,55 hm³**, y el 90% (0,90) del tiempo el volumen almacenado es menor a **0,10 hm³**. La curva de duración pone en evidencia que en algunos meses el volumen almacenado es mínimo, llegando a valores cercanos a cero.

La Figura N° 6.78 representa la variación de niveles mensuales del embalse Ibarreta, para el escenario actual.

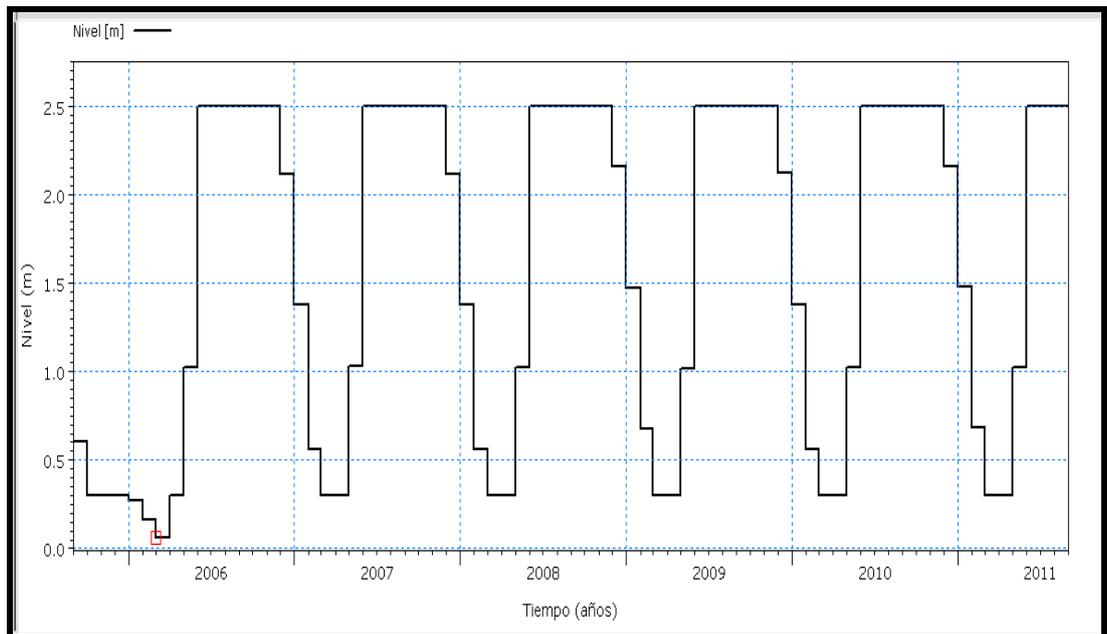


Figura N° 6.78. Variación de niveles mensuales embalse Ibarreta (escenario actual)

Como se observa en la Figura N° 6.78 la variación de nivel en el embalse comienza en el mes de diciembre, llegando al nivel mínimo operable entre los meses de febrero, marzo hasta los primeros días del mes de abril.

La Figura N° 6.79 representa la distribución de caudales mensuales (demanda) desde el embalse a la población de Ibarreta, para el escenario actual.

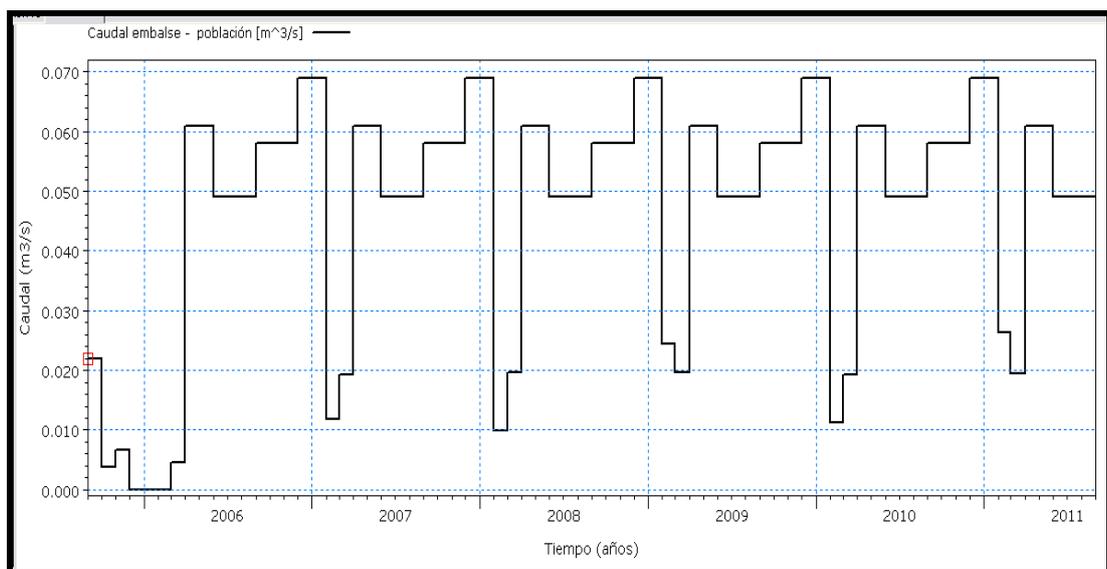


Figura N° 6.79. Caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos en la población de Ibarreta (escenario actual)

Como se observa en la Figura N° 6.79 los caudales mensuales (demanda) a distribuir en la localidad de Ibarreta son suficientes para satisfacer a la demanda en casi todos los meses del año, excepto en los meses de febrero y marzo donde el caudal a distribuir es mínimo y no satisface la demanda de la población, produciéndose en estos meses déficit de demanda.

### **Población (DHI\_ID 35)**

Las Figuras N° 6.80 y N° 6.81 representan la demanda mensual de la población y el déficit mensual de la demanda de Ibarreta, para el escenario actual y detalle de los años 2005/2006 – 2006/2007, respectivamente.

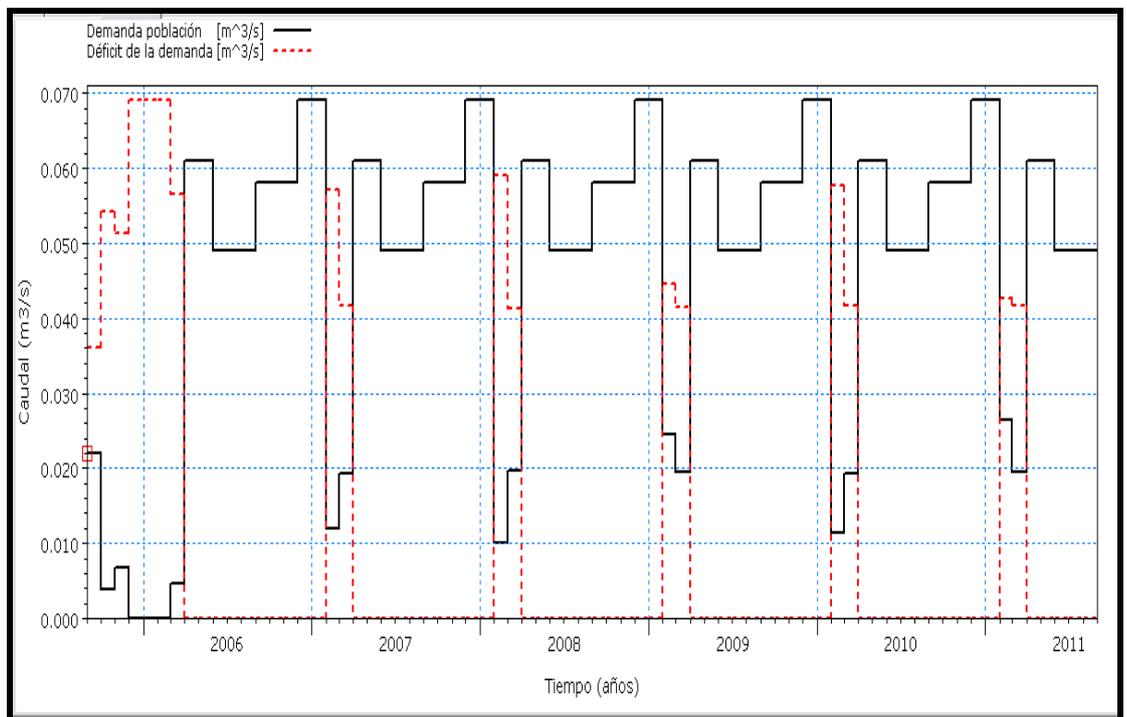


Figura N° 6.80. Demanda mensual de la población (usuario) - déficit mensual de la demanda, Ibarreta (escenario actual)

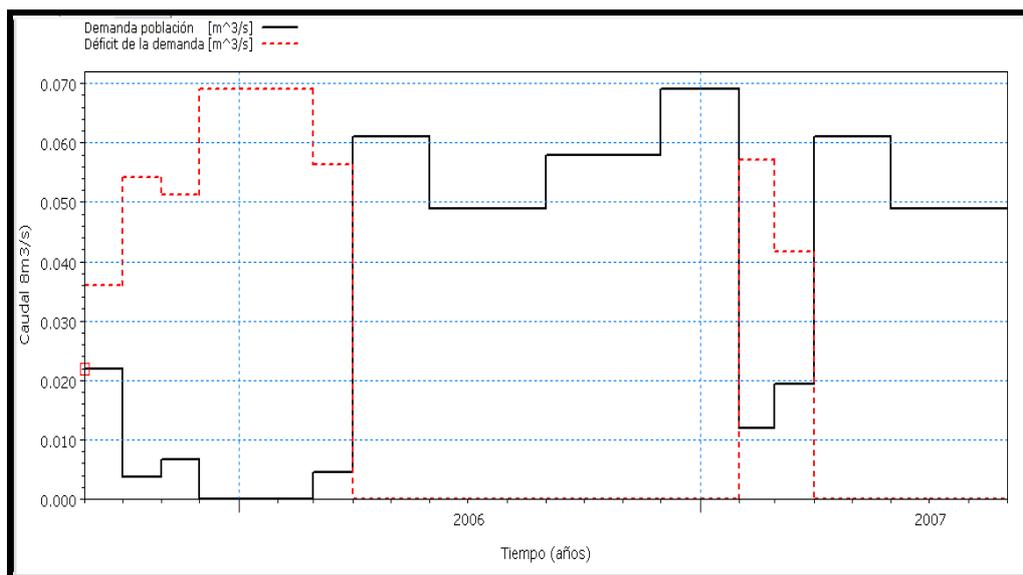


Figura N° 6.81. Demanda mensual de la población (usuario) - déficit mensual de la demanda (2005/2006 - 2006/2007), Ibarreta

Como se observa en las Figuras N° 6.80 y N° 6.81 con las condiciones de embalse Ibarreta, del canal y caudal que es conducido desde la bifurcación del riacho Monte Lindo al embalse Ibarreta, la demanda de la población se satisface casi en todo el año, exceptuando los meses de febrero y marzo donde existe un pequeño déficit de la demanda, se debe garantizar el ingreso continuo de agua a través del canal que conecta el embalse con el riacho Monte Lindo.

La Figura N° 6.82 representa la curva de duración de déficit relativo de Ibarreta, mensual, para el escenario actual.

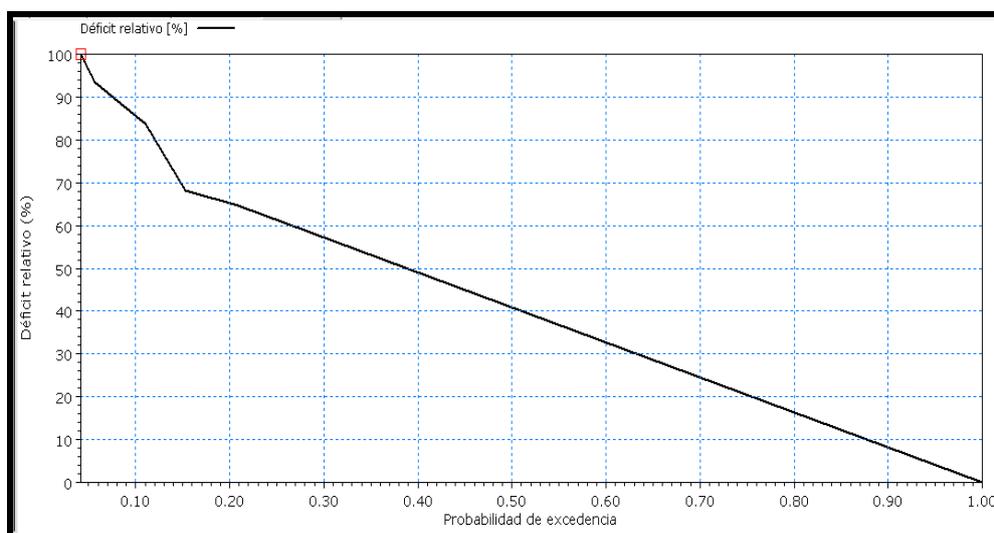


Figura N° 6.82. Curva duración déficit relativo, mensual, Ibarreta (escenario actual)

La Figura N° 6.82 muestra la curva de duración de déficit relativo de la población de Ibarreta, la cual refleja que el 20% (0,20) del tiempo el déficit relativo es mayor al **60%** y el 90% (0,90) del tiempo el déficit relativo es menor al **10%**. La curva duración déficit relativo pone en evidencia que en algunos meses no hubo agua para abastecer a la demanda.

**Los meses más críticos son febrero y marzo.**

## **12-Comandante Fontana**

En este elemento se calculan:

- Embalse: capacidad de almacenamiento y niveles característicos en función a su curva nivel-área-volumen, el almacenamiento relativo y volumen almacenado, la variación de nivel, la distribución acumulada y curva de duración del volumen almacenado.

- Población: caudal a distribuir desde el embalse a la población, déficit de la demanda y la curva de duración del déficit relativo. Se determinan los meses más críticos.

### **Embalse (DHI\_ID 37)**

Para el cálculo de la curva nivel-área-volumen del embalse, se tuvo en cuenta las dimensiones obtenidas de imágenes satelitales y Google Earth, las cuales se verificaron in situ con la recorrida realizadas en julio/2013. En el caso del embalse Comandante Fontana pudo comprobarse que las dimensiones respecto al período 2005/2006 - 2010/2011 fueron modificadas, es decir se realizaron en la zona de embalse trabajos que permitieran aumentar la capacidad de almacenamiento. Estas modificaciones de las dimensiones serán tenidas en cuenta para modelar en un escenario optimizado a corto plazo. Actualmente el área o superficie de almacenamiento actual es de **0,21 km<sup>2</sup>** y su capacidad máxima de almacenamiento es de **0,735 hm<sup>3</sup>**.

Los niveles característicos (2005/2006 - 2010/2011) del embalse Comandante Fontana son:

- Cota cresta máxima (dam crest level)= **2,00 m**
- Cota vertedero o de control de inundaciones (flood control level)= **2,00 m**
- Nivel inicial de agua (initial water level)= **0,60 m**
- Nivel inferior del embalse (bottom level)= **0,00 m**
- Nivel volumen muerto (top of dead storage)= **0,30 m**
- Nivel mínimo de embalse operable (reduction level)= **0,30 m**
- Área o superficie del almacenamiento= **0,15 km<sup>2</sup>**
- Capacidad máxima de almacenamiento= **0,294 hm<sup>3</sup>**

En este caso se consideró que la cota cresta máxima y la cota del vertedero o cota control de inundaciones son iguales y estas coincidentes con la profundidad máxima del embalse. A diferencia del Embalse RP N° 28 los embalses de las localidades no cuentan con vertedero de excedencia.

Se consideró que el **5%** total de la precipitación caída en la localidad incide directamente en el embalse. Como así también un tiempo de tránsito de hidrograma de **4 días** entre la salida del embalse de Ibarreta y la llegada al embalse Comandante Fontana, en este tramo se producen pérdidas significativas, no sólo por no tener un canal en óptimas condiciones sino también porque los usuarios intermedios entre ambos embalses realizan presas, lo cual muchas veces dificultó o fue mínima la llegada de caudal al embalse Comandante Fontana, estas pérdidas son de alrededor del **10%**.

Las pérdidas por evapotranspiración en el embalse son iguales a las del Embalse RP N° 28, ya que condiciones climáticas se mantienen entre ambos puntos, sin variación significativa.

La Figura N° 6.83 representa la curva nivel-área-volumen del embalse Comandante Fontana, para el escenario actual.

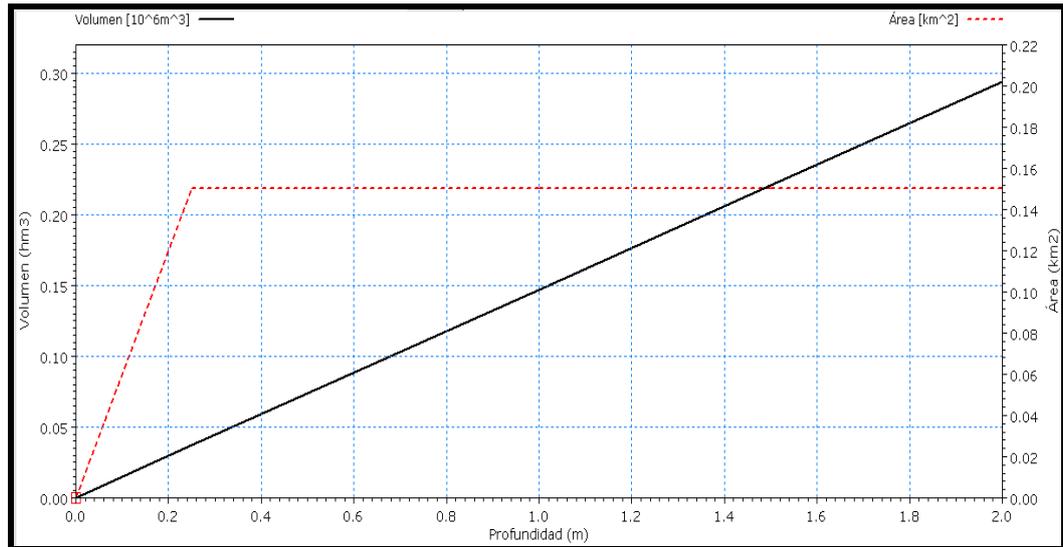


Figura N° 6.83. Curva nivel – área - volumen embalse Comandante Fontana (escenario actual)

La Figura N° 6.84 representa los hidrogramas de los caudales diarios que salen desde embalse Ibarreta (línea negra) y los caudales diarios que llegan al embalse Comandante Fontana (línea roja), para el escenario actual.

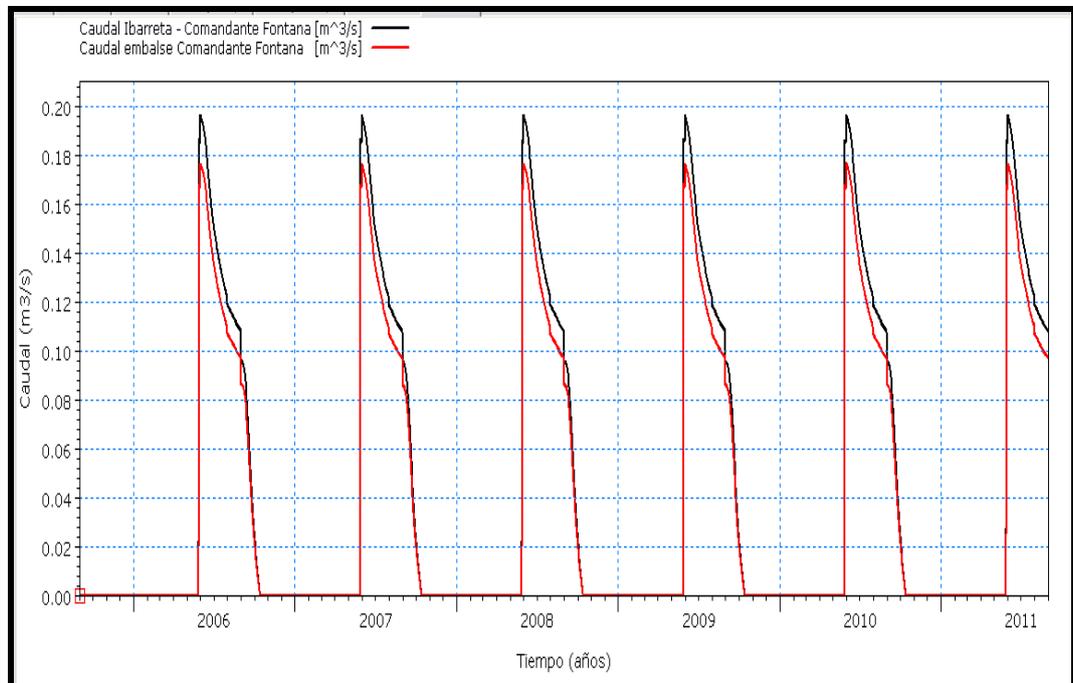


Figura N° 6.84. Caudales diarios Ibarreta - Comandante Fontana - caudales diarios embalse Comandante Fontana (escenario actual)

Con las consideraciones mencionadas anteriormente se tiene:

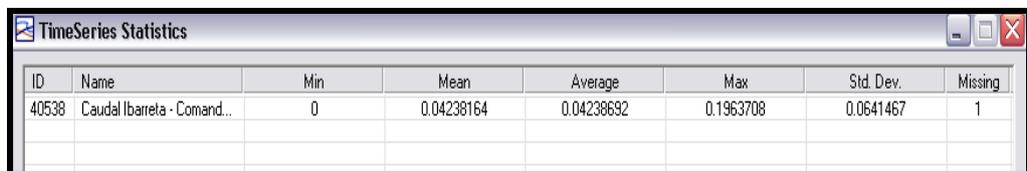
Coefficiente de eficiencia  $E_f$ , de Nash-Sutcliffe (1970), de **0,98**.

Error relativo de volumen  $E_{rV} = -10\%$ . Volumen de entrada (salida embalse Ibarreta) = **8 hm<sup>3</sup>**. Volumen de salida (llega a embalse Comandante Fontana)= **7,2 hm<sup>3</sup>**.

Error relativo de caudal máximo  $E_{rQM} = -10\%$ . Caudal máximo (salida embalse Ibarreta)= **0,20 m<sup>3</sup>/s**. Caudal máximo (llega a embalse Comandante Fontana)= **0,18 m<sup>3</sup>/s**.

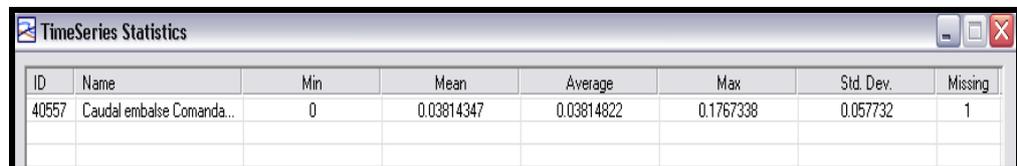
Las Tablas N° 6.33 y N° 6.34 muestran los valores mínimos, medios, promedios, máximos y desvío estándar de los caudales diarios que salen del embalse Ibarreta hacia el embalse Comandante Fontana (a través del canal Ibarreta-Comandante Fontana) y los caudales diarios que llegan al embalse Comandante Fontana, respectivamente, para el escenario actual.

Tabla N° 6.33. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios salida embalse Ibarreta (m<sup>3</sup>/s)



ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
40538	Caudal Ibarreta - Comand...	0	0.04238164	0.04238692	0.1963708	0.0641467	1

Tabla N° 6.34. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios que llegan al embalse Comandante Fontana (m<sup>3</sup>/s)



ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
40557	Caudal embalse Comanda...	0	0.03814347	0.03814822	0.1767338	0.057732	1

La Figura N° 6.85 representa el almacenamiento relativo (línea negra) y volumen almacenado (línea roja), mensual, del embalse Comandante Fontana, para el escenario actual.

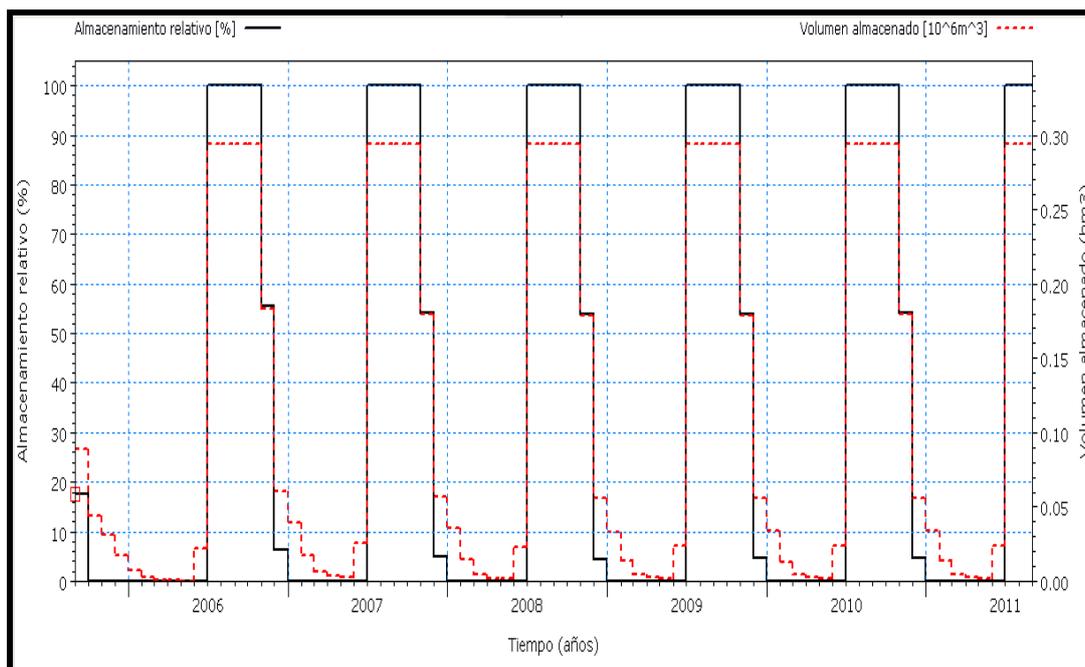


Figura N° 6.85. Almacenamiento relativo - volumen almacenado, mensual, embalse Comandante Fontana (escenario actual)

Como se observa en la Figura N° 6.85 durante los meses de julio a octubre el embalse se encuentra trabajando a su máxima capacidad de almacenamiento. Pero dicho almacenamiento no se mantiene al **100%** en el resto del año, desde los meses de noviembre hasta mediados de mayo disminuye, llegando a ser crítica desde diciembre a mayo, en estos meses el volumen almacenado coincide con el nivel mínimo de almacenamiento y el almacenamiento relativo es del **0%**, es decir, el embalse no tiene volumen suficiente de agua para ser extraída y abastecer a la población. Si bien el mes de junio aparece con almacenamiento relativo **0%**, a partir del mes de mayo comienza la recarga al embalse, por lo cual este porcentaje solo se presenta los primeros días del mes.

La disminución de volumen almacenado en el embalse Comandante Fontana, se debe a que de acuerdo a la Figura N° 6.36 durante los meses de diciembre, enero y febrero el canal que conecta el Embalse RP N° 28 con la obra partidora no tiene agua. Iniciándose la recarga del mismo a partir del mes de marzo, siendo el máximo caudal registrado en el mes de abril, a partir de este último mes comienza a aumentar el volumen almacenado del embalse, como así también a las pérdidas que existen en el tramo que hacen que gran parte del caudal no pueda ser aprovechado.

Las Figuras N° 6.86 y N° 6.87 representan la distribución acumulada y la curva de duración del volumen almacenado en el embalse Comandante Fontana, mensual, para el escenario actual.

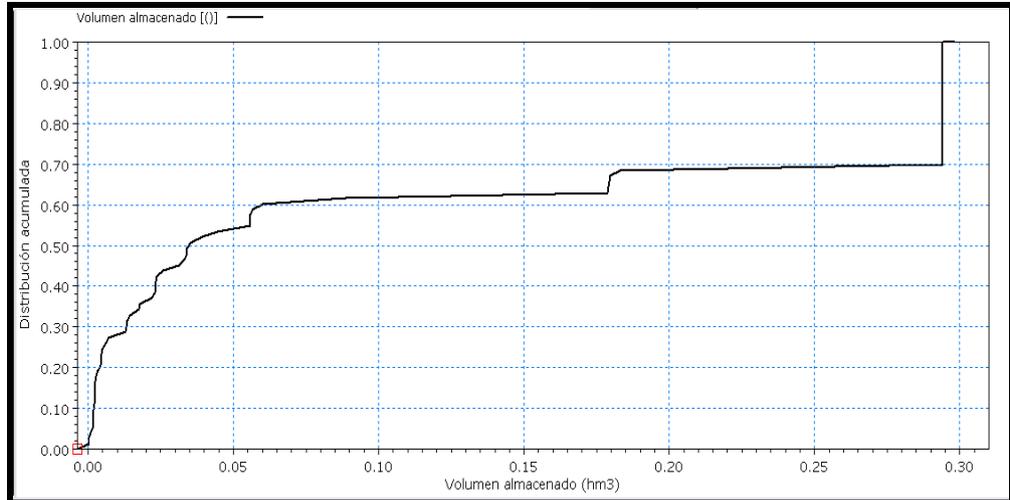


Figura N° 6.86. Distribución acumulada volumen almacenado, mensual, embalse Comandante Fontana (escenario actual)

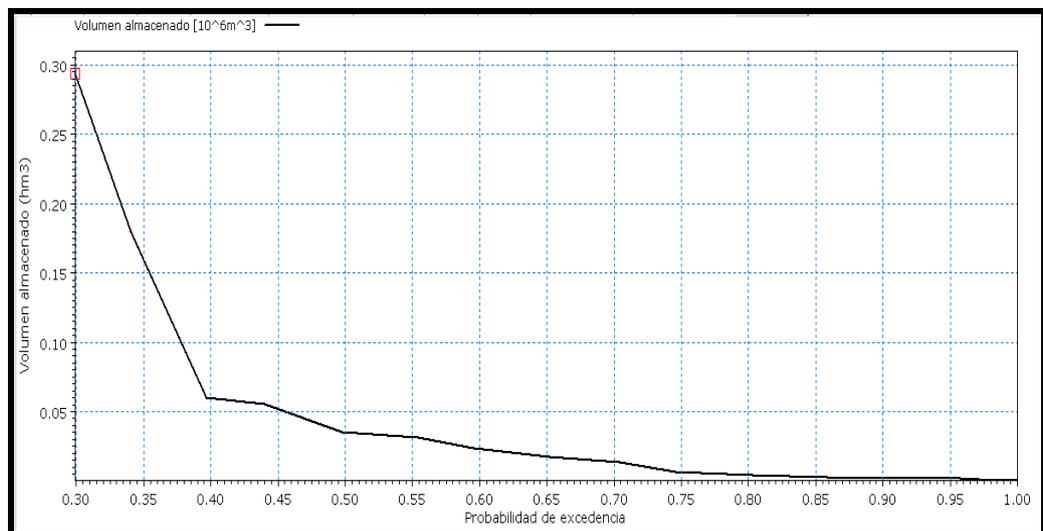


Figura N° 6.87. Curva duración volumen almacenado, mensual, embalse Comandante Fontana (escenario actual)

La Figura N° 6.87 muestra la curva de duración de volumen almacenado en Embalse Comandante Fontana, la cual refleja que el 35% (0,35) del tiempo el volumen almacenado es mayor a **0,15 hm³**, y el 90% (0,90) del tiempo el volumen almacenado es menor a **0,05 hm³**. La curva de duración pone en evidencia que en algunos meses el volumen almacenado es mínimo, llegando a valores iguales a cero.

La Figura N° 6.88 representa la variación de niveles mensuales del embalse Comandante Fontana, para el escenario actual.

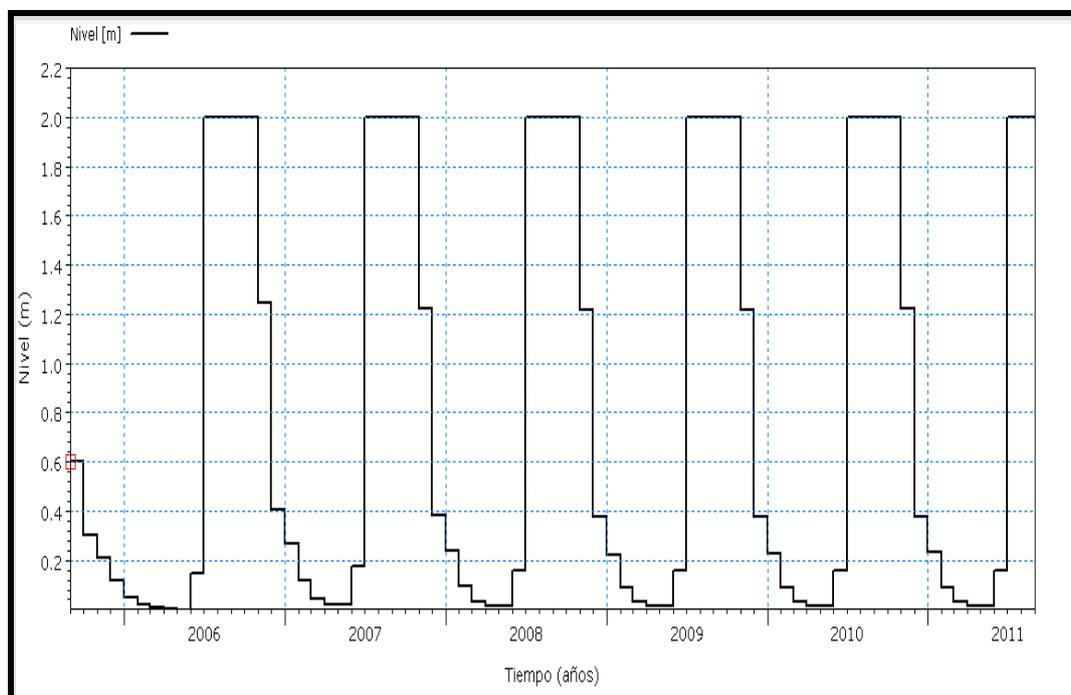


Figura N° 6.88. Variación de niveles mensuales embalse Comandante Fontana (escenario actual)

Como se observa en la Figura N° 6.88 la variación de nivel en el embalse comienza en el mes de noviembre, llegando al nivel mínimo operable entre los meses de febrero, marzo, abril y hasta mediados de mayo.

La Figura N° 6.89 representa los caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos desde el embalse a la población de Comandante Fontana, para el escenario actual.

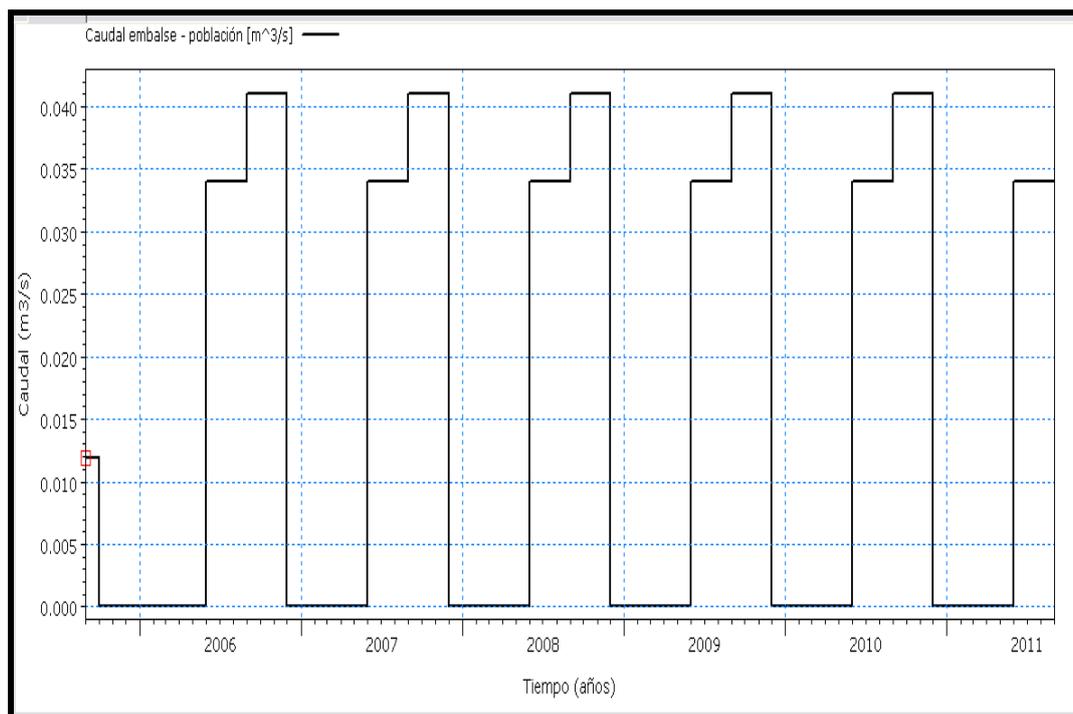


Figura N° 6.89. Caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos en la población de Comandante Fontana (escenario actual)

Como se observa en la Figura N° 6.89 los caudales mensuales (demanda) a distribuir en la localidad de Comandante Fontana son mayores o satisfacen la demanda durante los meses de mayo a noviembre. A partir del mes de noviembre no hay volumen almacenado en el embalse, lo cual hace crítica la situación que se extiende hasta el mes de abril.

### **Población (DHI\_ID 38)**

Las Figuras N° 6.90 y N° 6.91 representan la demanda mensual de la población (línea negra) y el déficit mensual de la demanda (línea roja) de Comandante Fontana, para el escenario actual y detalle de los años 2005/2006 - 2006/2007, respectivamente.

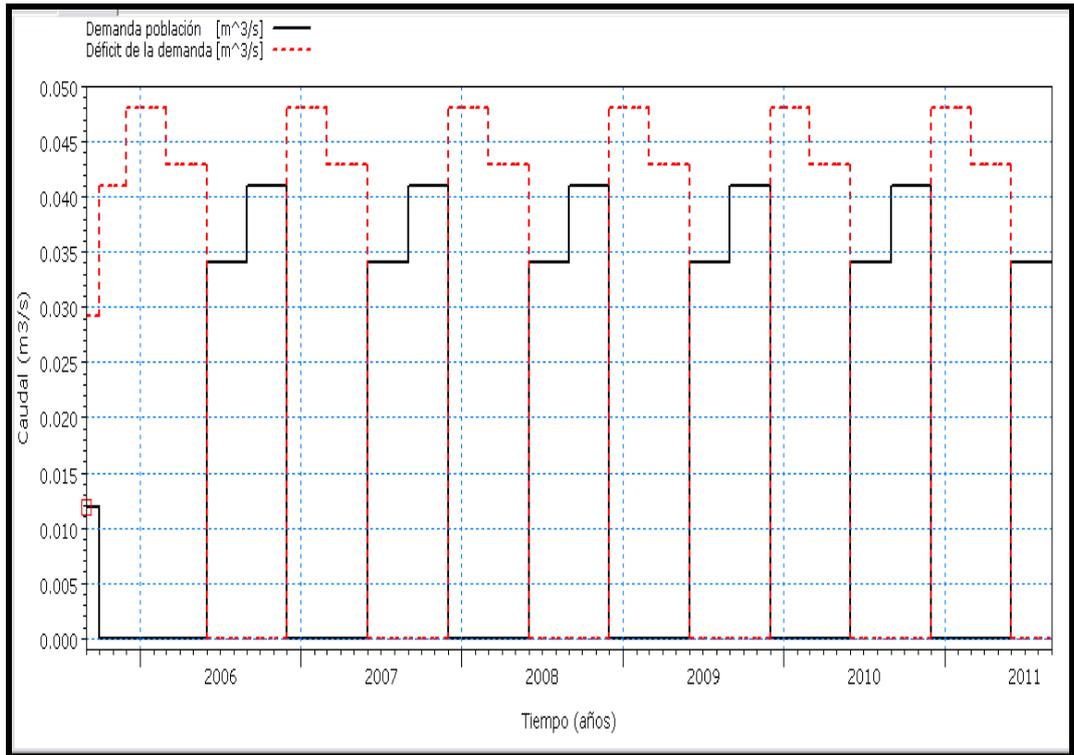


Figura N° 6.90. Demanda mensual de la población (usuario) - déficit mensual de la demanda, Comandante Fontana (escenario actual)

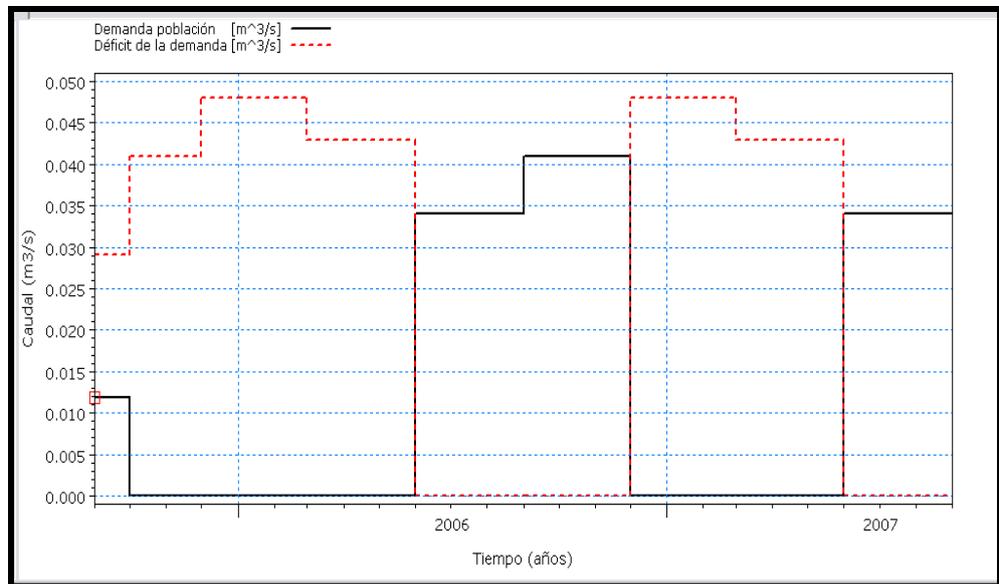


Figura N° 6.91. Demanda mensual de la población (usuario) - déficit mensual de la demanda, (2005/2006-2006/2007) Comandante Fontana

Como se observa en las Figuras N° 6.90 y N° 6.91 con las condiciones de embalse Comandante Fontana, del canal y caudal que es liberado desde el embalse Ibarreta hacia Comandante Fontana, la demanda de la población solamente se satisface desde fines de

mayo (parcial) hasta noviembre, siendo desde diciembre hasta la segunda mitad de mayo una situación crítica ya que el déficit es igual a la demanda de la población.

La Figura N° 6.92 representa la curva de duración de déficit relativo para Comandante Fontana, mensual, para el escenario actual.

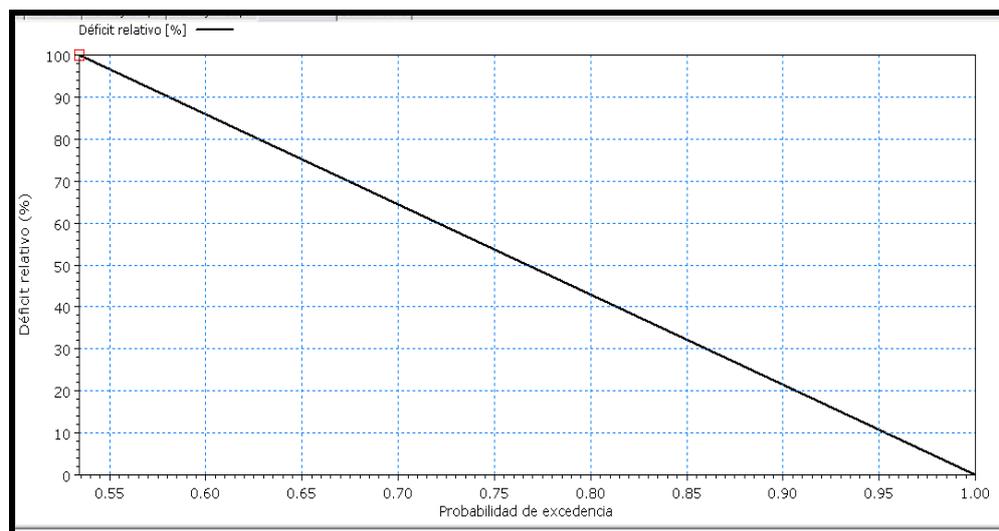


Figura N° 6.92. Curva duración déficit relativo, mensual, Comandante Fontana (escenario actual)

La Figura N° 6.92 muestra la curva de duración de déficit relativo de la población de Comandante Fontana, la cual refleja que el 60% (0,60) del tiempo el déficit relativo es mayor al **80%** y el 90% (0,90) del tiempo el déficit relativo es menor al **20%**. La curva duración déficit relativo pone en evidencia que en algunos meses no hubo agua para abastecer a la demanda.

**Los meses más críticos son desde diciembre a mayo.**

### **6.3.2. Escenario optimizado a corto plazo**

Con la implementación de este escenario el principal objetivo es satisfacer las demandas actuales de las poblaciones aprovechando, para la recarga y almacenamiento de los embalses, los meses desde marzo hasta noviembre, meses en que los canales Embalse RP N° 28-obra partidora, Las Lomitas y Monte Lindo tienen agua.

Para la operación de este escenario se proponen obras básicas necesarias, como canales de conexión desde canal Las Lomitas y riacho Monte Lindo hasta las plantas de agua potable de las localidades. Esto permitirá abastecer de agua a la población durante los meses de abril a noviembre, y en los meses en que cesa el aporte del bañado La Estrella, la población se abastecerá del agua almacenada en los embalses de cada localidad. Se considera la realización de las obras propuestas en un plazo máximo de 2 años.

Las localidades donde se proponen estas obras son:

- Las Lomitas, canal de conexión entre el canal Las Lomitas y la planta de agua potable.
- Pozo del Tigre, Estanislao del Campo y Comandante Fontana, canales de conexión entre el riacho Monte Lindo y las plantas de agua potable de cada localidad.

En el caso de la localidad de Ibarreta no fue necesario proponer un canal de conexión, ya que con las nuevas dimensiones del embalse, a partir de la ampliación realizada en 2011 son suficientes para abastecer a la población.

Se mantienen las condiciones hidrológicas e hidráulicas en:

- Tramo Misión La Paz-Embocadura: caudales diarios de la cuenca de aporte, pérdidas por evaporación y tiempo de tránsito del hidrograma.
- Tramo Embocadura-Embalse RP N° 28: distribución de caudales desde Embocadura hacia Argentina y Paraguay, caudales generados por las precipitaciones en la zona de Embocadura, tiempo de tránsito del hidrograma, las pérdidas por evaporación e infiltración.

- Embalse RP N° 28: niveles característicos, capacidad de almacenamiento, pérdidas por infiltración y evapotranspiración, aporte de los caudales generados por las estaciones pluviométricas cercanas, caudales de extracción del usuario aguas abajo del embalse.

- Obra partidora-canal Las Lomitas-canal Monte Lindo-canal del Este: la distribución de caudales, el tiempo de tránsito de los hidrogramas, pérdidas por evaporación.

- Localidades: aporte de las precipitaciones a los embalses, pérdidas por evapotranspiración en los embalse, tiempo de tránsito de los hidrogramas entre las localidades y pérdidas por evaporación entre localidades, porcentaje de ingreso de agua a los embalses.

La Figura N° 6.93, muestra el esquema topológico para los escenarios optimizado a corto y largo plazo.

El esquema para dichos escenarios es el mismo, variando las dimensiones en el modelo para el escenario optimizado a largo plazo.

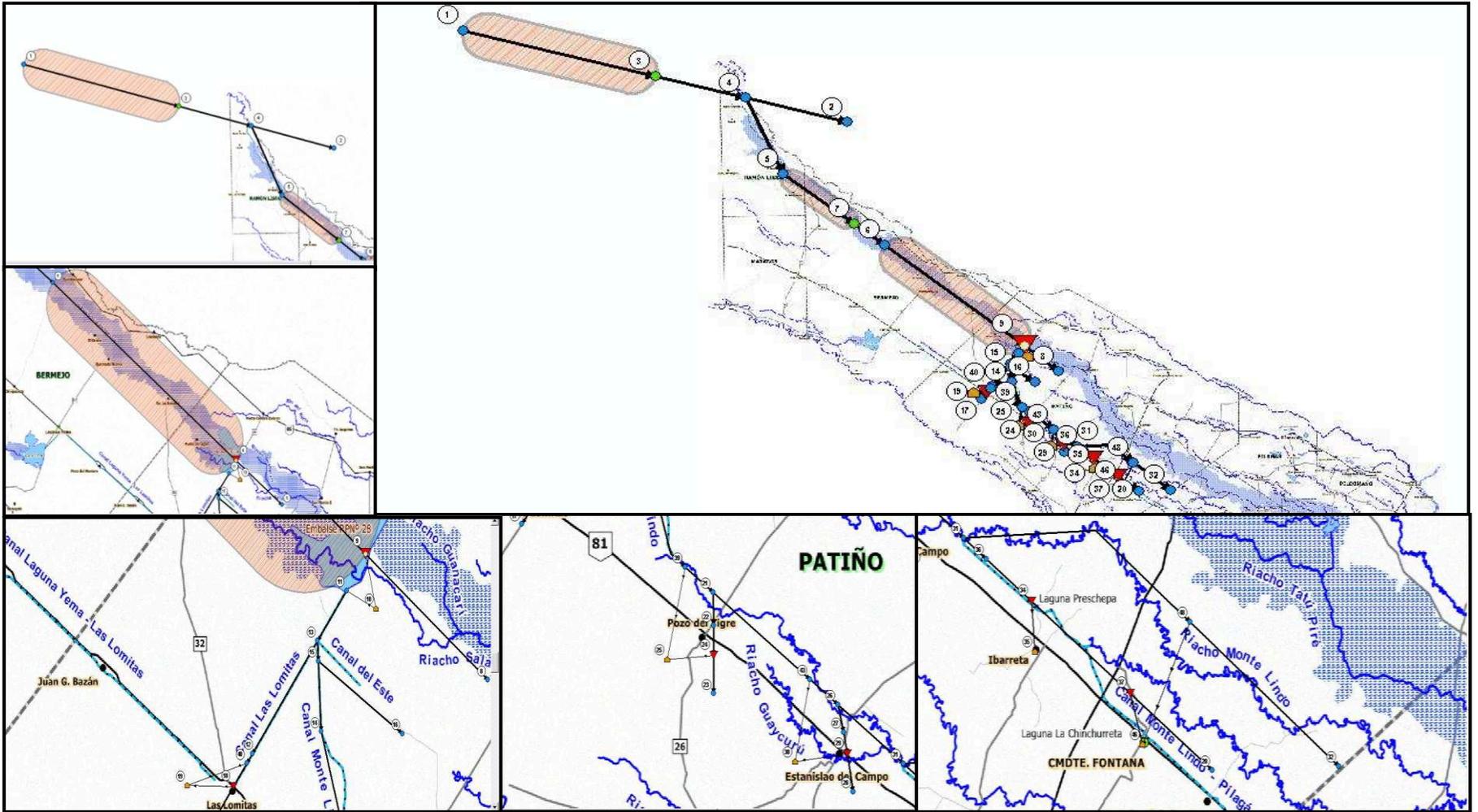


Figura N° 6.93. Esquema topológico escenario optimizado a corto y largo plazo

## 1-Las Lomitas

En este elemento se calcula el déficit de la demanda.

La Figura N° 6.94 representa la comparación del déficit mensual de la demanda para el escenario actual (línea negra) y para el escenario optimizado a corto plazo (línea roja).

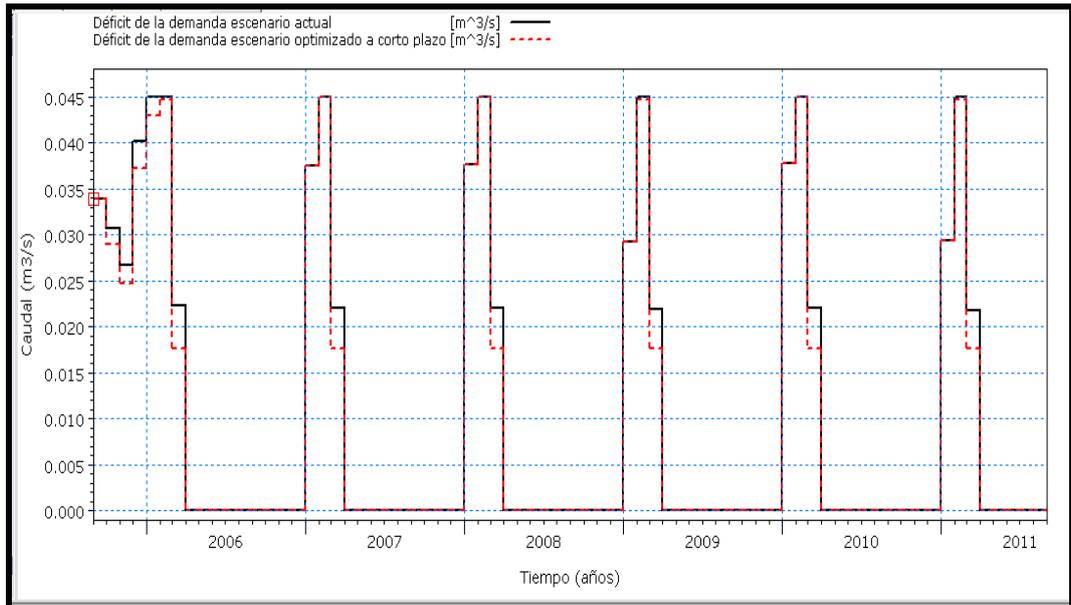


Figura N° 6.94. Déficit, mensual, de la demanda Las Lomitas (escenario actual - escenario optimizado a corto plazo)

Como se observa en la Figura N° 6.94 la conexión directa canal Las Lomitas a la planta de agua potable abastece, sin déficit, a la población en los meses en que el canal tiene agua.

Puede observarse que los meses (enero a marzo) en que se abastece a la población desde el embalse no es suficiente, sigue existiendo déficit de la demanda al igual que en el escenario actual.

Se deberá pensar en una alternativa de obras para el escenario optimizado a largo plazo.

Una solución a corto plazo podría ser optimizar la entrada de agua de Laguna Yema.

## 2-Pozo del Tigre

En este elemento se calcula el déficit de la demanda, el almacenamiento relativo del embalse y el caudal a distribuir desde el embalse a la población.

La Figura N° 6.95 representa la comparación del déficit mensual de la demanda para el escenario actual (línea negra) y para el escenario optimizado a corto plazo (línea roja).

El déficit mensual de la demanda en los primeros meses del período considerado se debe a que para la modelación no se consideran caudales de aportes antes del 1 de septiembre de 2005.<sup>17</sup>

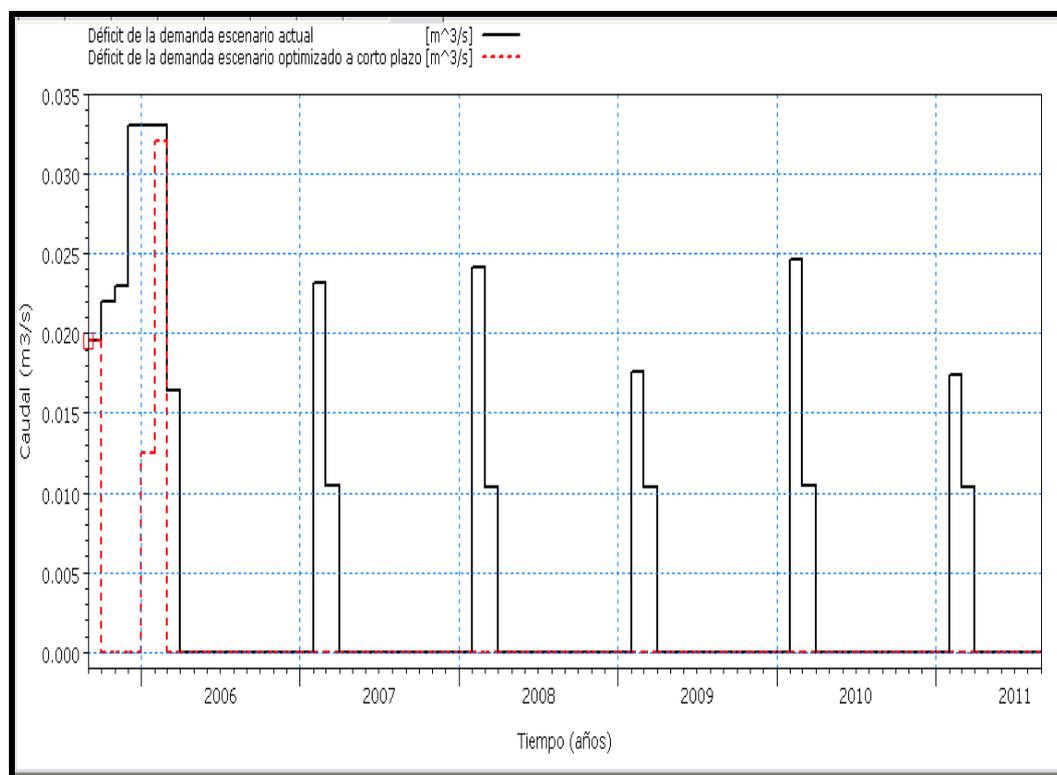


Figura N° 6.95. Déficit, mensual, de la demanda Pozo del Tigre  
(escenario actual – escenario optimizado a corto plazo)

La Figura N° 6.96 representa el almacenamiento relativo mensual del embalse Pozo del Tigre para el escenario actual (línea negra) y escenario optimizado a corto plazo (línea roja).

<sup>17</sup> Período de simulación 1-09-05 al 31-08-11

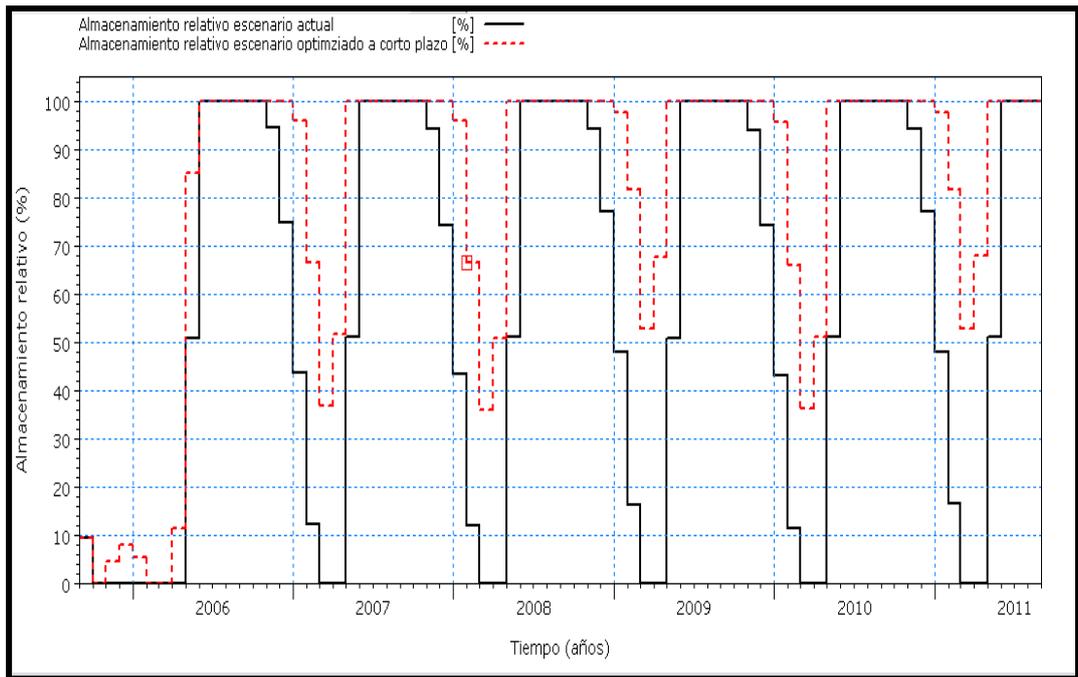


Figura N° 6.96. Almacenamiento relativo, mensual, embalse Pozo del Tigre (escenario actual – escenario optimizado a corto plazo)

La Figura N° 6.97 representa los caudales mensuales a ser distribuidos desde el embalse a la población de Pozo del Tigre para el escenario actual (línea negra) y escenario optimizado a corto plazo (línea roja).

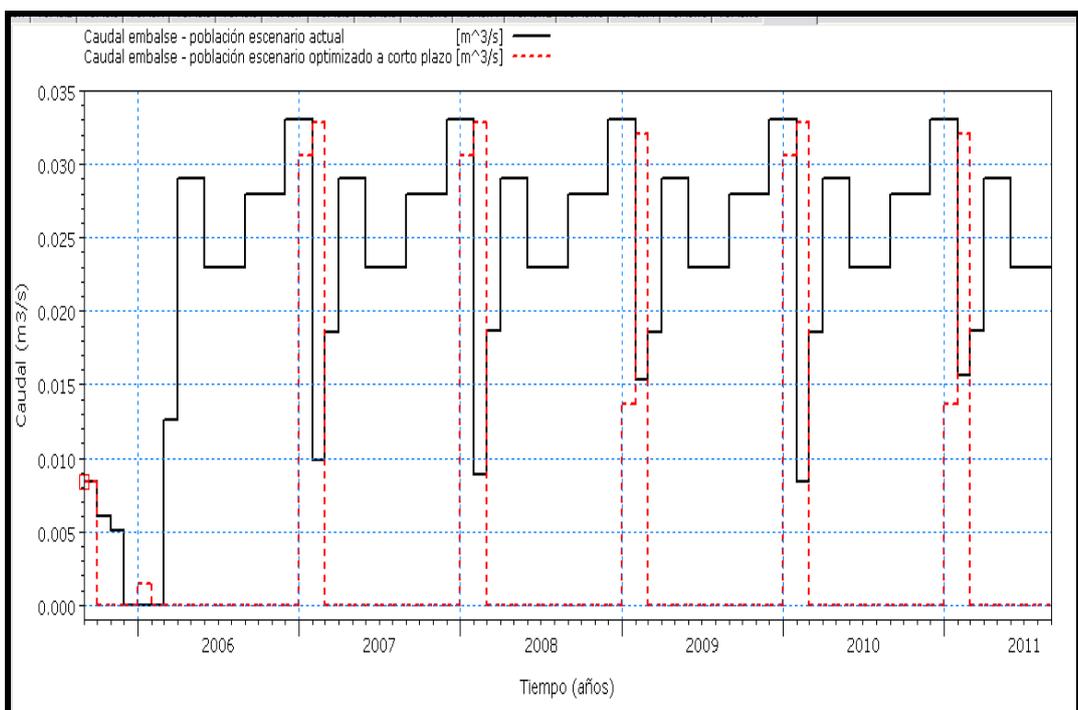


Figura N° 6.97. Caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos en la población de Pozo del Tigre (escenario actual – escenario optimizado a corto plazo)

Como se observa en las Figuras N° 6.95, N° 6.96 y N° 6.97 la construcción del canal que conecta el riacho Monte Lindo con la planta de agua potable de Pozo del Tigre, resulta más eficiente y en conclusión:

- Que no exista déficit de la demanda de la población, es decir durante los **365 días** del año la población de Pozo del Tigre tiene agua para ser abastecida.

- Que se incrementen los meses en que el embalse se encuentra a su máxima capacidad de almacenamiento, que no existan meses de mínima capacidad de almacenamiento o nivel mínimo operable de embalse. En el escenario actual los meses de máxima capacidad de almacenamiento eran desde junio a octubre (**5 meses**), en el escenario optimizado a corto plazo los meses van desde mayo a diciembre (**8 meses**).

- Que solamente durante los meses de enero y febrero se abastezca a la población con agua del embalse. El resto del año la población se abastece directamente con el agua del riacho Monte Lindo a través del canal de conexión riacho Monte Lindo-planta de agua potable.

### **3-Estanislao del Campo**

En este elemento se calcula el nuevo volumen y área de embalse, el déficit de la demanda, el almacenamiento relativo del embalse.

En este caso se incorporaron las nuevas dimensiones del embalse, las cuales son:

- Cota cresta máxima (dam crest level)= **2,50 m**
- Cota vertedero o de control de inundaciones (flood control level)= **2,50 m**
- Nivel inicial de agua (initial water level)= **0,60 m**
- Nivel inferior del embalse (bottom level)= **0,00 m**
- Nivel volumen muerto (top of dead storage)= **0,30 m**
- Nivel mínimo de embalse operable (reduction level)= **0,30 m**
- Área o superficie de almacenamiento= **0,04 km<sup>2</sup>**
- Capacidad máxima de almacenamiento= **0,102 hm<sup>3</sup>**

La Figura N° 6.98 representa la curva nivel – área - volumen del embalse Estanislao del Campo para el escenario actual (línea negra) y escenario optimizado a corto plazo (línea roja).

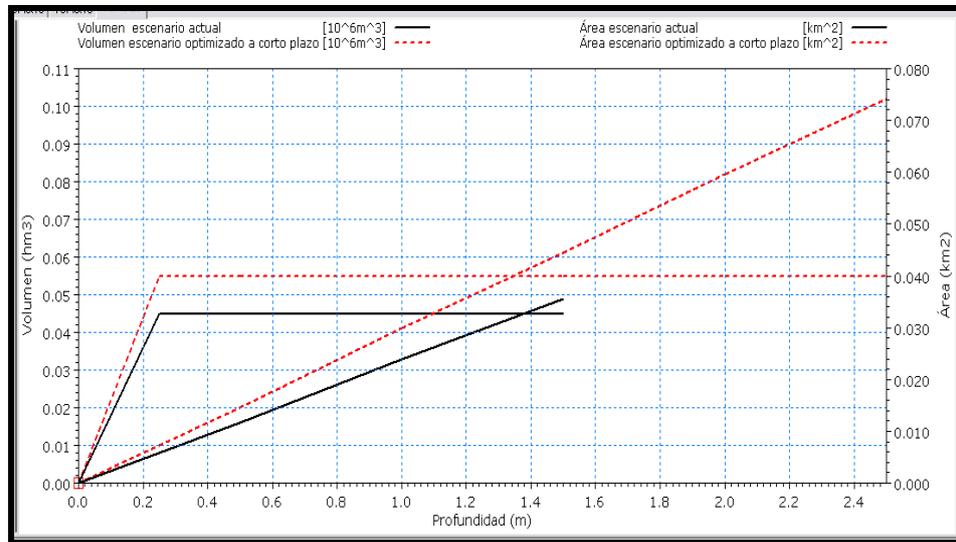


Figura N° 6.98. Curva nivel – área - volumen embalse Estanislao del Campo (escenario actual – escenario optimizado a corto plazo)

La Figura N° 6.99 representa la comparación del déficit mensual de la demanda para el escenario actual (línea negra) y para el escenario optimizado a corto plazo (línea roja) con las nuevas dimensiones del embalse Estanislao del Campo y el canal de conexión riacho Monte Lindo-planta de agua potable Estanislao del Campo.

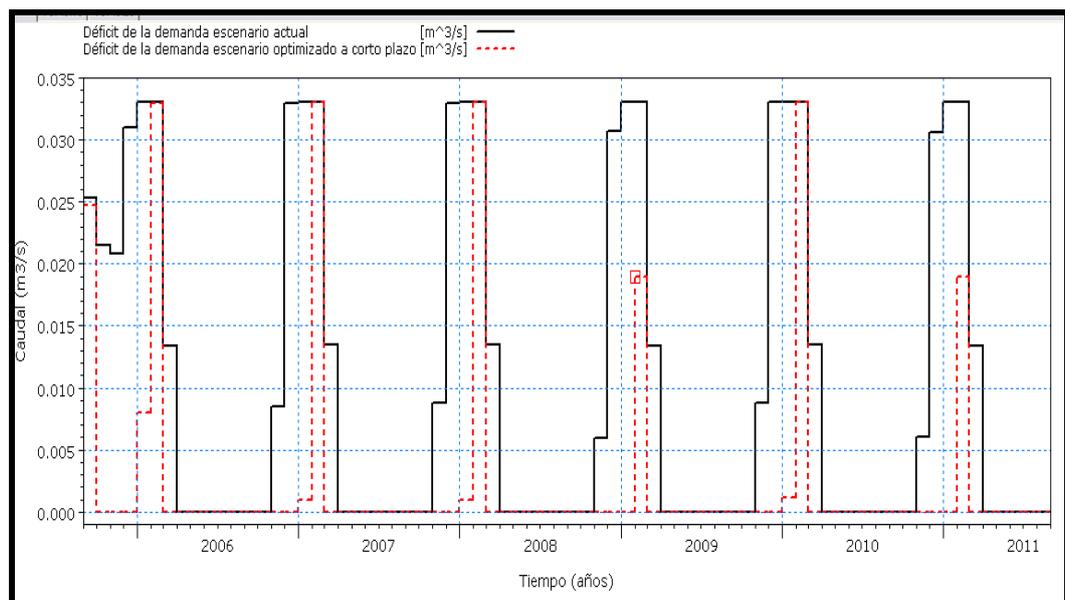


Figura N° 6.99. Déficit, mensual, de la demanda Estanislao del Campo (escenario actual – escenario optimizado a corto plazo)

Como se observa en la Figura N° 6.99 las nuevas dimensiones del embalse Estanislao del Campo y el canal de conexión riacho Monte Lindo-planta de agua potable Estanislao del Campo no satisfacen la demanda de la población.

Se deberá pensar en una alternativa de obras para el escenario optimizado a largo plazo.

#### **4- Ibarreta**

En este elemento se calcula el nuevo volumen y área del embalse, el déficit de la demanda, el almacenamiento relativo del embalse.

En este caso se incorporaron las nuevas dimensiones del embalse, las cuales son:

- Cota cresta máxima (dam crest level)= **4,00 m**
- Cota vertedero o de control de inundaciones (flood control level)= **4,00 m**
- Nivel inicial de agua (initial water level)= **0,60 m**
- Nivel inferior del embalse (bottom level)= **0,00 m**
- Nivel volumen muerto (top of dead storage)= **0,30 m**
- Nivel mínimo de embalse operable (reduction level)= **0,30 m**
- Área o superficie de almacenamiento= **0,38 km<sup>2</sup>**
- Capacidad máxima de almacenamiento= **1,539 hm<sup>3</sup>**

La Figura N° 6.100 representa la curva nivel-área-volumen del embalse Ibarreta para el escenario actual (línea negra) y escenario optimizado a corto plazo (línea roja).

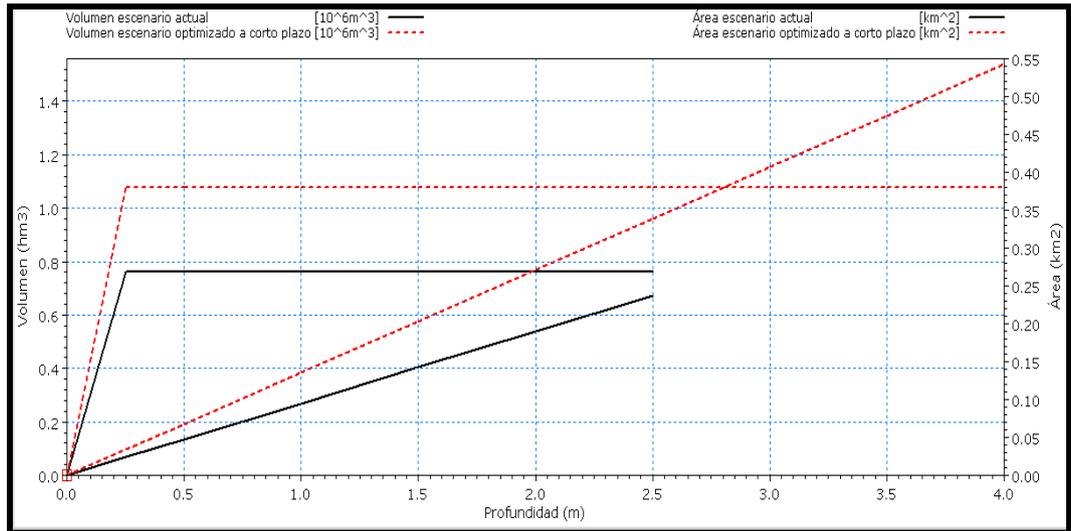


Figura N° 6.100. Curva nivel – área – volumen embalse Ibarreta (escenario actual – escenario optimizado a corto plazo)

La Figura N° 6.101 representa la comparación del déficit mensual de la demanda para el escenario actual (línea negra) y para el escenario optimizado a corto plazo (línea roja) con las nuevas dimensiones del embalse Ibarreta.

El déficit mensual de la demanda en los primeros meses del período considerado se debe a que para la modelación no se consideran caudales de aportes antes del 1 de septiembre de 2005.

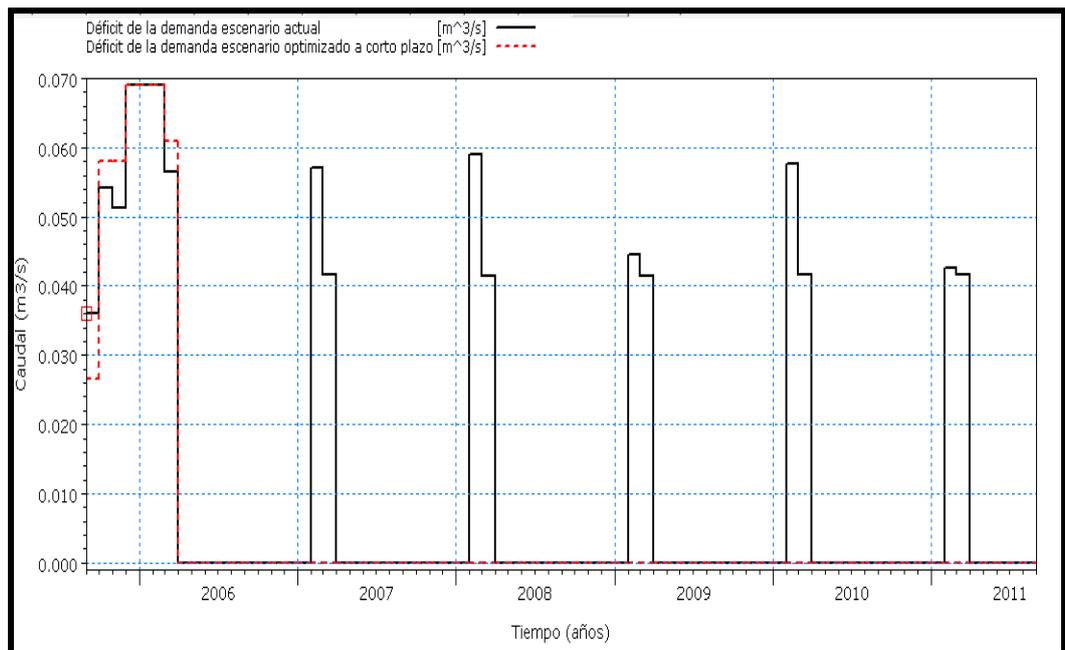


Figura N° 6.101. Déficit, mensual, de la demanda Ibarreta (escenario actual – escenario optimizado a corto plazo)

La Figura N° 6.102 representa el almacenamiento relativo mensual del embalse Ibarreta para el escenario actual (línea negra) y escenario optimizado a corto plazo (línea roja)

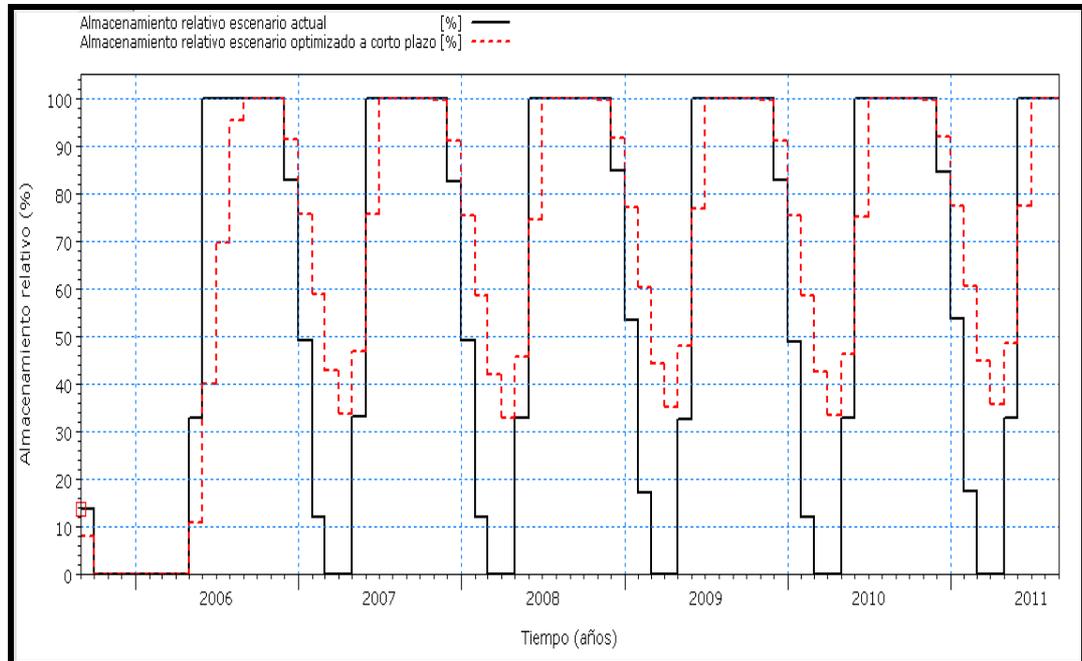


Figura N° 6.102. Almacenamiento relativo, mensual, embalse Ibarreta (escenario actual – escenario optimizado a corto plazo)

Como se observa en las Figuras N° 6.101 y N° 6.102 las nuevas dimensiones del embalse Ibarreta resultan más eficientes y en conclusión:

- Que no exista déficit de la demanda de la población, es decir, durante los **365 días** del año la población de Ibarreta tiene agua para ser abastecida.
- Si bien disminuye en uno la cantidad de meses con capacidad máxima de almacenamiento, se obtuvo con las nuevas dimensiones del embalse que en ningún mes se tenga la condición de mínimo almacenamiento o nivel mínimo operable de embalse. En el escenario actual los meses de máxima capacidad de almacenamiento eran desde junio a noviembre (**6 meses**), en el escenario optimizado a corto plazo los meses van desde julio a noviembre (**5 meses**).

## 5-Comandante Fontana

En este elemento se calcula el nuevo volumen y área del embalse, el déficit de la demanda, el almacenamiento relativo y el caudal a distribuir desde el embalse a la población.

En este caso se incorporaron las nuevas dimensiones del embalse, las cuales son:

- Cota cresta máxima (dam crest level)= **3,50 m**
- Cota vertedero o de control de inundaciones (flood control level)= **3,50 m**
- Nivel inicial de agua (initial water level)= **0,60 m**
- Nivel inferior del embalse (bottom level)= **0,00 m**
- Nivel volumen muerto (top of dead storage)= **0,30 m**
- Nivel mínimo de embalse operable (reduction level)= **0,30 m**
- Área o superficie de almacenamiento= **0,21 km<sup>2</sup>**
- Capacidad máxima de almacenamiento= **0,735 hm<sup>3</sup>**

La Figura N° 6.103 representa la curva nivel-área-volumen del embalse Comandante Fontana para el escenario actual (línea negra) y escenario optimizado a corto plazo (línea roja).

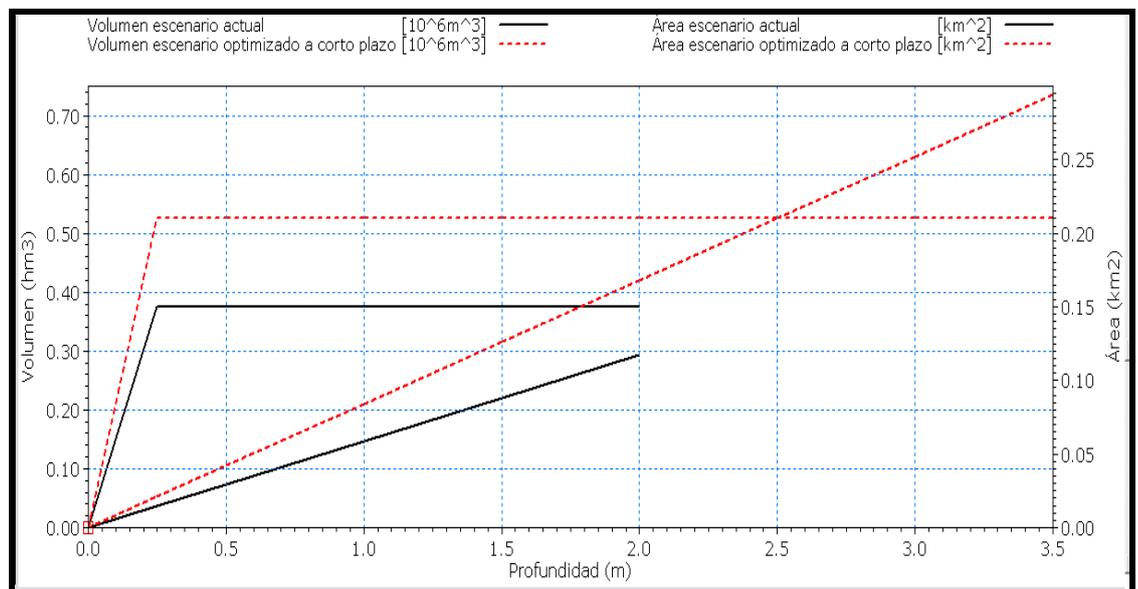


Figura N° 6.103. Curva nivel – área - volumen embalse Comandante Fontana (escenario actual – escenario optimizado a corto plazo)

La Figura N° 6.104 representa la comparación del déficit mensual de la demanda para el escenario actual (línea negra) y para el escenario optimizado a corto plazo (línea roja) con las nuevas dimensiones del embalse Comandante Fontana y el canal de conexión riacho Monte Lindo –planta de agua potable Comandante Fontana.

El déficit mensual de la demanda en los primeros meses del período considerado se debe a que para la modelación no se consideran caudales de aportes antes del 1 de septiembre de 2005.

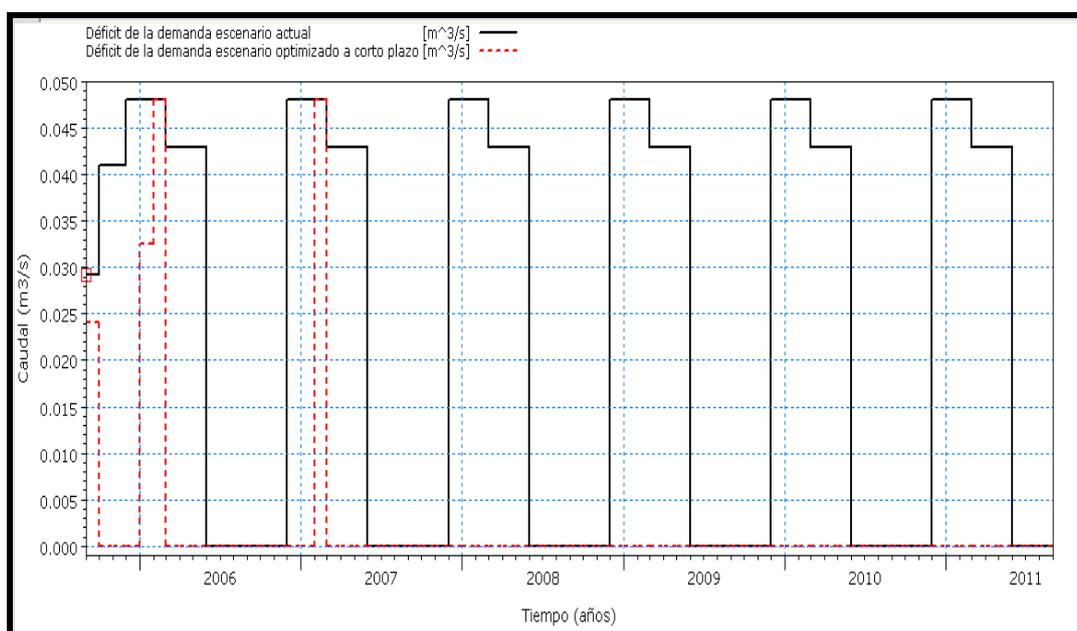


Figura N° 6.104. Déficit, mensual, de la demanda Comandante Fontana (escenario actual – escenario optimizado a corto plazo)

Como se observa en la Figura N° 6.104 con las nuevas dimensiones del embalse Comandante Fontana y la conexión riacho Monte Lindo – planta de agua potable Comandante Fontana se satisface la demanda de los usuarios para la mayor parte del período de estudio, solamente en febrero de 2007 no se puede satisfacer a la demanda de la población.

La Figura N° 6.105 representa el almacenamiento relativo del embalse Comandante Fontana para el escenario actual (línea negra) y escenario optimizado a corto plazo (línea roja).

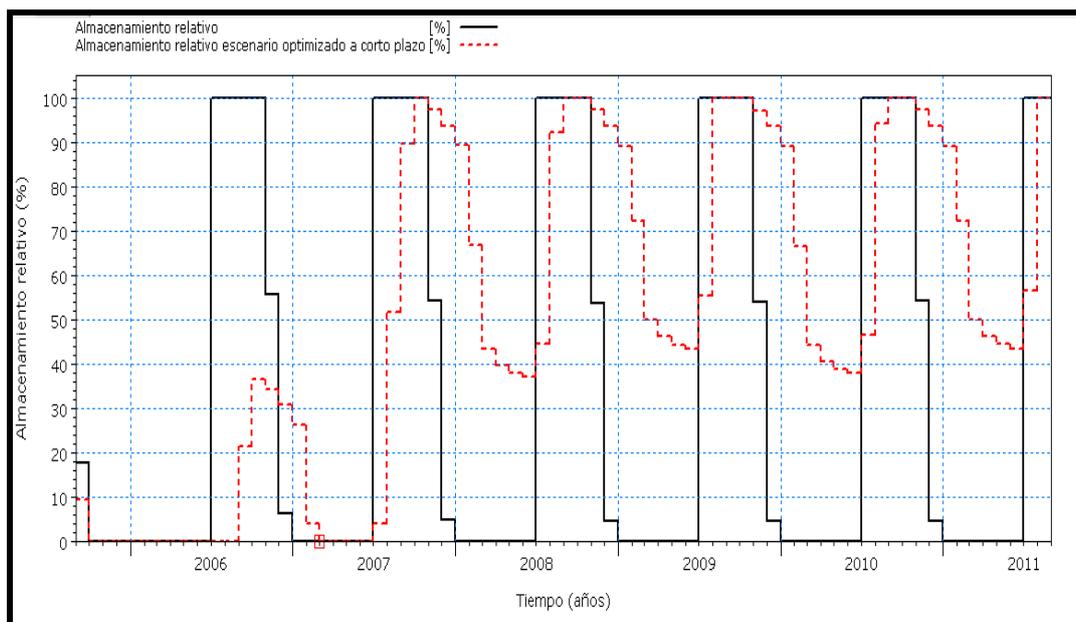


Figura N° 6.105. Almacenamiento relativo, mensual, embalse Comandante Fontana (escenario actual – escenario optimizado a corto plazo)

La Figura N° 6.106 representa los caudales mensuales a ser distribuidos desde el embalse a la población de Comandante Fontana para el escenario actual (línea negra) y escenario optimizado a corto plazo (línea roja).

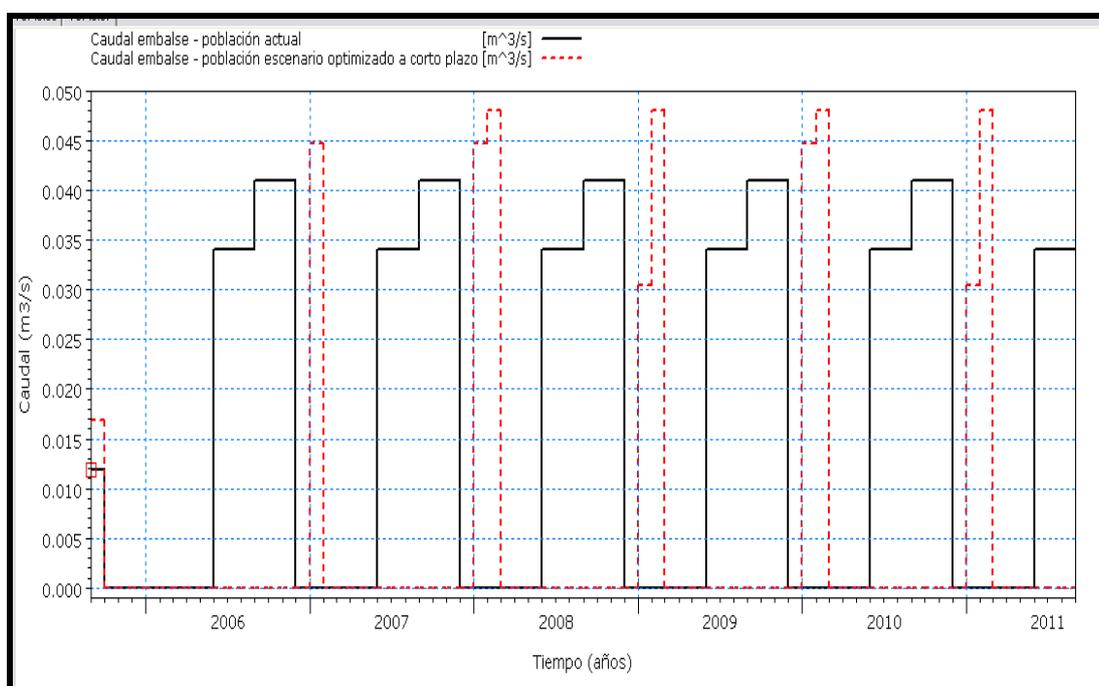


Figura N° 6.106. Caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos población de Comandante Fontana (escenario actual – escenario optimizado a corto plazo)

Como se observa en las Figuras N° 6.104, N° 6.105 y N° 6.106 las nuevas dimensiones del embalse Comandante Fontana y el canal de conexión riacho Monte Lindo-planta de agua potable Comandante Fontana, resultan más eficientes y en conclusión:

- Se podría decir que en la mayor parte del período de estudio satisface a la demanda de la población de Comandante Fontana durante los **365 días**. Una solución para el mes de febrero donde existe déficit, es una alternativa de obra a largo plazo.

- Para esta situación el tiempo que tarda en llegar a la máxima capacidad el embalse de Comandante Fontana es mayor ya que primero se satisface la demanda de aguas arriba (Ibarreta) y después el caudal es liberado hacia aguas abajo (Comandante Fontana), y también hay que considerar la influencia de las obras de captación que realizan los usuarios intermedios. En el escenario actual los meses de máxima capacidad de almacenamiento eran desde julio a octubre (**4 meses**), en el escenario optimizado a corto plazo los meses van desde septiembre a octubre (**2 meses**).

- Que solamente durante los meses de enero y febrero se abastezca a la población con agua del embalse. El resto del año la población se abastece directamente con el agua del riacho Monte Lindo a través del canal de conexión riacho Monte Lindo-planta de agua potable.

Después de haber simulado las 5 localidades en la condición de escenario optimizado a corto plazo puede resumirse que tres de las cinco pueden abastecer su demanda los 365 días del año con mínimas obras. No ocurre lo mismo con las localidades de Las Lomitas, que es la localidad de condiciones más crítica de las cinco, y con Estanislao del Campo. Por lo cual se plantean en el siguiente escenario nuevas obras de mayor envergadura que puedan satisfacer la demanda actual y a un futuro de 20 años.

### 6.3.3. Escenario optimizado a largo plazo

Con la implementación de este escenario el principal objetivo es considerar un sistema con obras de mayor envergadura que permitan aprovechar un mayor volumen de agua ofrecido por el bañado La Estrella. Las obras propuestas para optimizar el sistema de funcionamiento del bañado son:

- Mejorar la capacidad de conducción de los canales (Embalse RP N° 28-obra partidora<sup>18</sup>, Las Lomitas y Monte Lindo) modificando la sección, pendiente, como así también en el caso del canal Monte Lindo reemplazar las obras de arte existentes las cuales generan estrangulamiento y no permiten un escurrimiento adecuado.

- Se proponen en las localidades las siguientes obras, las mismas se ejecutarán en un plazo máximo de 10 años:

- Las Lomitas: se mantiene el canal de conexión canal Las Lomitas-planta de agua potable y se incrementan las dimensiones del embalse.

- Estanislao del Campo: se mantiene el canal de conexión riacho Monte Lindo-planta de agua potable, y se incrementan las dimensiones del embalse, ya que las nuevas dimensiones planteadas en el escenario optimizado a corto plazo no eran suficientes para abastecer a la demanda.

- Pozo del Tigre y Comandante Fontana: se mantienen los canales de conexión riacho Monte Lindo-planta de agua potable, como así también las dimensiones de los embalses planteadas en el escenario optimizado a corto plazo.

- Ibarreta: se mantienen las dimensiones del embalse como en el escenario optimizado a corto plazo.

Estas nuevas modificaciones deberán satisfacer la demanda para un incremento de la población a 20 años.

Se mantienen las condiciones hidrológicas e hidráulicas en:

- Tramo Misión La Paz-Embocadura: caudales diarios de la cuenca de aporte, pérdidas por evaporación y tiempo de tránsito del hidrograma.

---

<sup>18</sup> Canal derivador sur

- Tramo Embocadura – Embalse RP N° 28: distribución de caudales desde Embocadura hacia Argentina y Paraguay, caudales generados por las precipitaciones en la zona de Embocadura, tiempo de tránsito del hidrograma, las pérdidas por evaporación e infiltración.

- Embalse RP N° 28: niveles características, capacidad de almacenamiento, pérdidas por infiltración y evapotranspiración, aporte de los caudales generados por las estaciones pluviométricas cercanas.

- Localidades: aporte de las precipitaciones a los embalses, pérdidas por evapotranspiración en los embalse, tiempo de tránsito de los hidrogramas entre las localidades y pérdidas por evaporación en los canales de conexión entre localidades, porcentaje de ingreso de agua a los embalses.

### **1-Embalse RP N° 28 (DHI\_ID 5-8)**

En este elemento considerando un incremento de la población a 20 años se calcula el caudal de conducción del canal, que se corresponde con la demanda, que une el Embalse RP N° 28 con la obra partidora (ídem escenario actual), el almacenamiento relativo y volumen almacenado del embalse.

### **Usuario aguas abajo Embalse RP N° 28 (DHI\_ID 10):**

En la Tabla N° 6.35 se presenta la demanda mensual del usuario aguas abajo del Embalse RP N° 28 para el escenario optimizado a largo plazo

Tabla N° 6.35. Demanda mensual usuarios escenario optimizado a largo plazo- 20 años (m<sup>3</sup>/s)

Mes	Demanda (caudal m <sup>3</sup> /s)
septiembre	30.0
octubre	20.0
noviembre	10.0
diciembre	0.0
enero	0.0
febrero	0.0
marzo	10.0
abril	30.0
mayo	30.0
junio	30.0
julio	30.0
agosto	30.0

La Figura N° 6.107 representa los hidrogramas de los caudales diarios observado (sobre vertedero con niveles medidos), caudales diarios sobre vertedero (simulado), caudales diarios propagados+ caudales diarios lluvia y caudales diarios sobre vertedero (escenario optimizado a largo plazo).

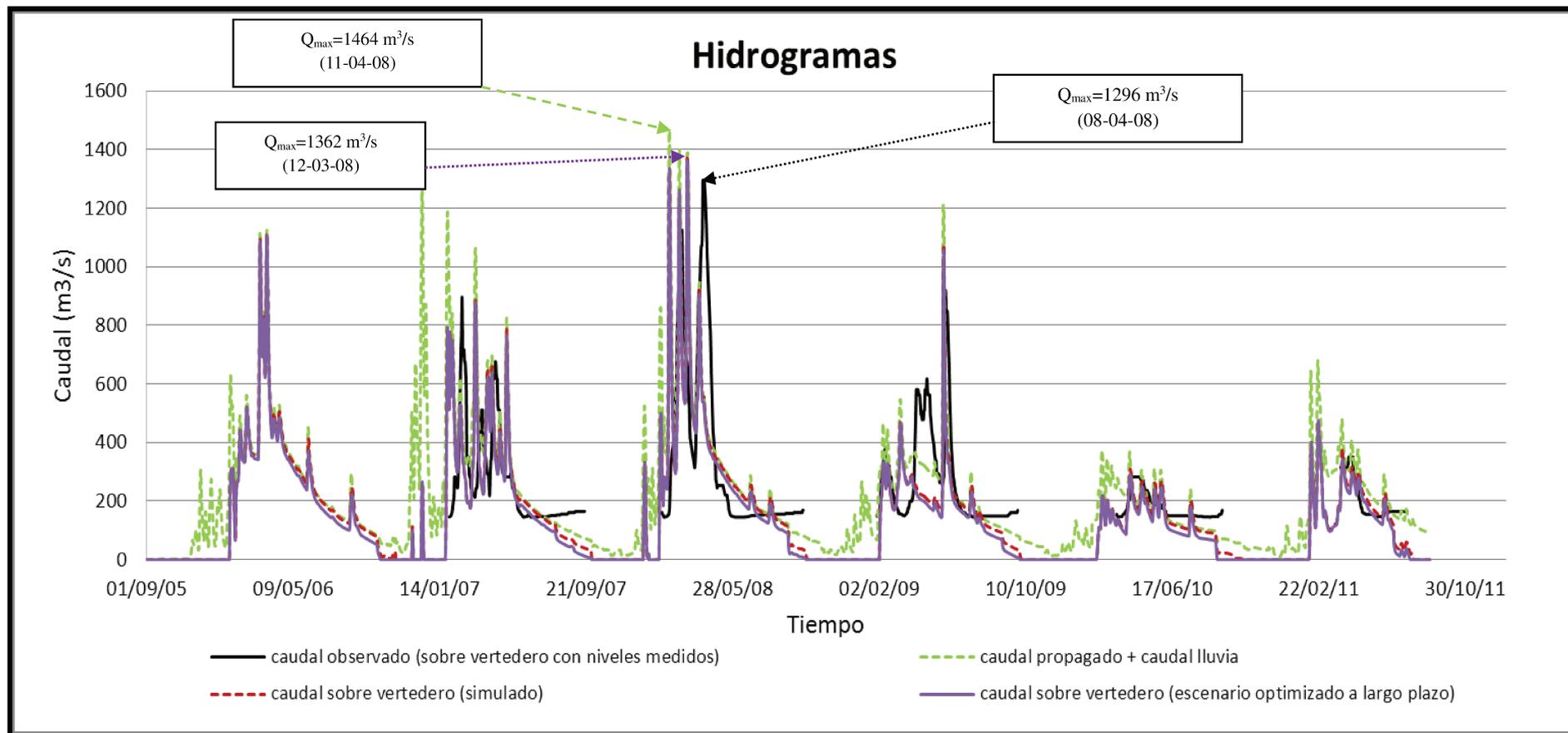


Figura N° 6.107. Caudales diarios observados (sobre vertedero) - caudales diarios observados (propagado + caudal lluvia) - caudales diarios simulados (escenario optimizado a largo plazo)

Como puede observarse en la Figura N° 6.107, los caudales simulados para escenario optimizado a largo plazo, tienen buen ajuste con los caudales observados. Incluso también tienen buen ajuste con los caudales calculados sobre el vertedero con la curva H-Q.

La Figura N° 6.108 representa el volumen almacenado diario del Embalse RP N° 28 para el escenario actual (línea negra) y escenario optimizado a largo plazo (línea roja).

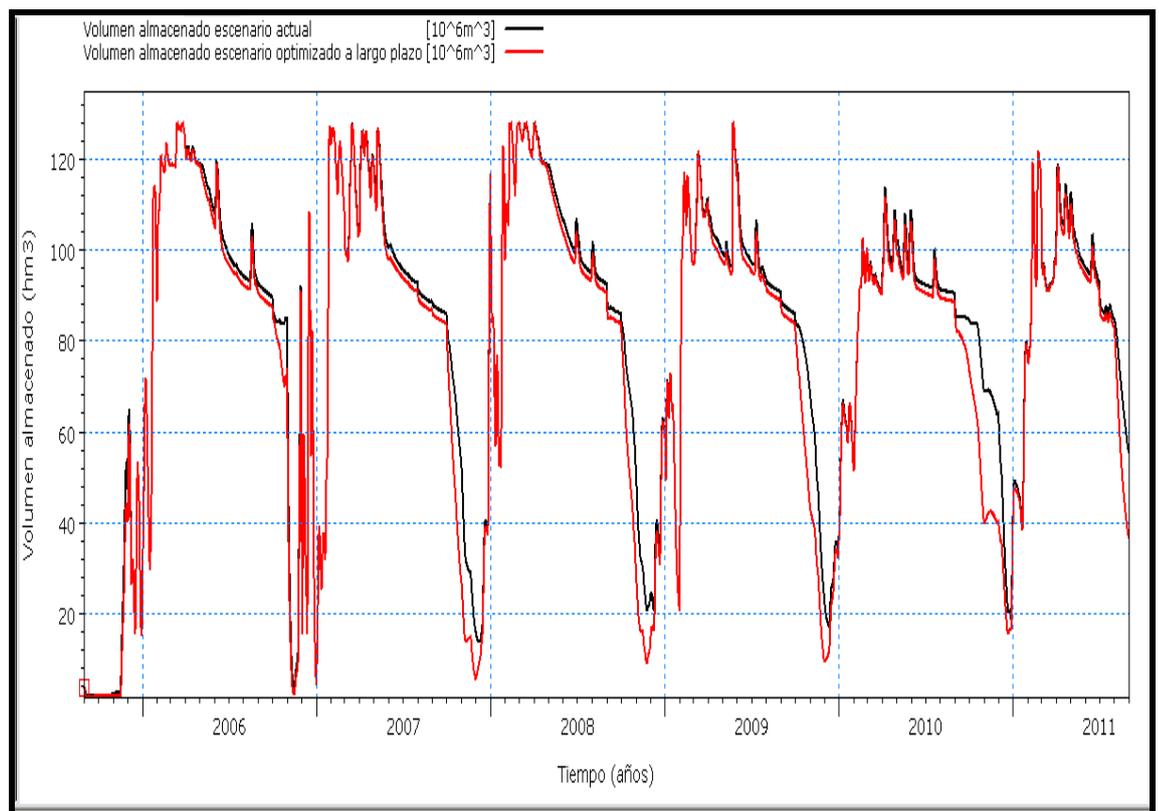


Figura N° 6.108. Volumen almacenado, diario, Embalse RP N° 28  
(escenario actual - escenario optimizado a largo plazo)

La Figura N° 6.109 representa el almacenamiento relativo, diario, del Embalse RP N° 28 para el escenario actual (línea negra) y escenario optimizado a largo plazo (línea roja).

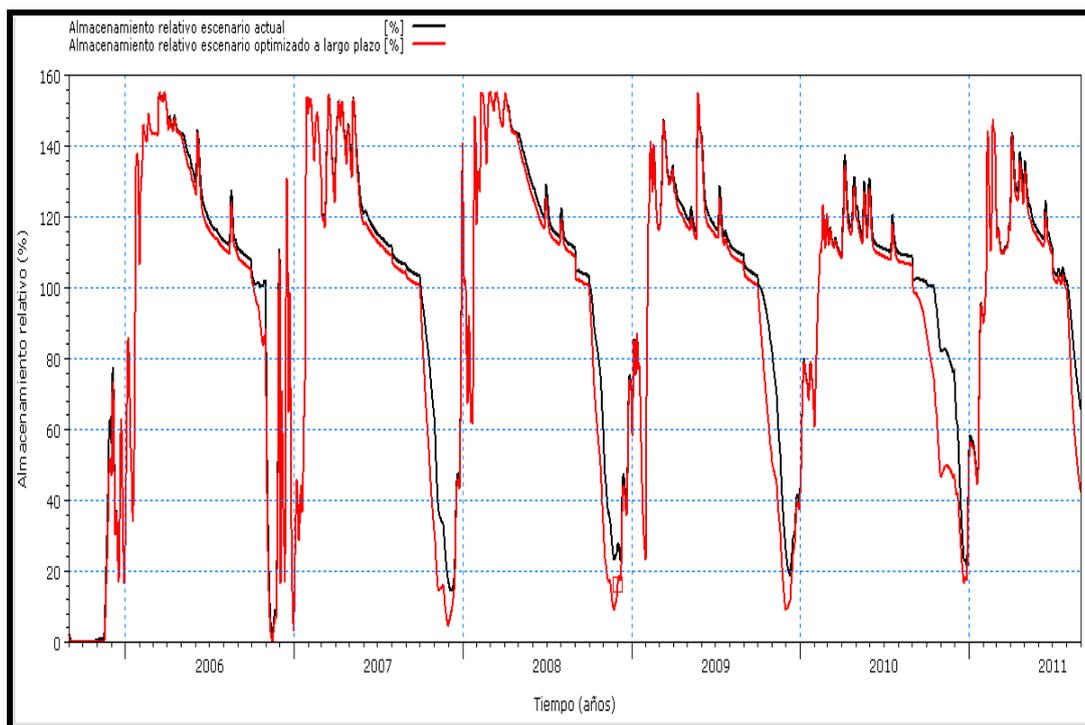


Figura N° 6.109. Almacenamiento relativo, diario, Embalse RP N° 28  
(escenario actual - escenario optimizado a largo plazo)

Como se observa en la Figuras N° 6.108 y N° 6.109 no existe variación significativa del almacenamiento relativo ni del volumen almacenado en Embalse RP N° 28, al igual que en el escenario actual el día **23-01-2006** el Embalse RP N° 28 llega al **100%** de su capacidad de almacenamiento, es decir a partir de esta fecha comienza a pasar agua por el vertedero.

Con las consideraciones mencionadas anteriormente se tiene:

Coeficiente de eficiencia  $E_f$ , de Nash-Sutcliffe (1970),=**0,89**.

Error relativo de volumen  $E_{rv} = -34\%$ . Volumen de entrada (llega a Embalse RP N° 28) = **40.887 hm<sup>3</sup>**. Volumen de salida (pasa por vertedero) = **27.109 hm<sup>3</sup>**.

Sin el usuario aguas abajo del Embalse RP N° 28, el Error relativo de volumen es de **-26%**. Es decir en este caso el **8%** del volumen del bañado La Estrella se utiliza para satisfacer la demanda de las localidades. Volumen que sigue siendo bajo comparado con el volumen total que llega y almacena el Embalse RP N° 28.

Error relativo de caudal máximo  $E_{rQM} = -7\%$ . Caudal máximo (que llega a Embalse RP N° 28) = **1.464 m<sup>3</sup>/s**. Caudal máximo (salida que pasa por vertedero) = **1.362 m<sup>3</sup>/s**.

## 2- Obra partidora (DHI\_ID 13)

En este elemento se calcula en función a los nuevos porcentajes asignados la distribución de caudales desde obra partidora hacia los canales Las Lomitas y Monte Lindo.

La nueva distribución desde la obra partidora se ajusta de acuerdo al caudal óptimo que puede conducir el canal Monte Lindo (20 m<sup>3</sup>/s, Cristanchi et al., 2011) y considerando la readecuación del canal Las Lomitas, los nuevos porcentajes de distribución son:

- Canal Monte Lindo= 70%
- Canal del Este= 25%
- Canal Las Lomitas= 5%

Se consideró que el tiempo de tránsito del hidrograma desde Embalse RP N° 28 a la obra partidora es de **5 días**. En el tramo progresiva 35,500 km – obra partidora, las pérdidas por evaporación fueron del **5%** para los meses con agua en el canal (marzo-noviembre).

Con las consideraciones mencionadas anteriormente se tiene:

Error relativo de volumen  $E_{rV} = -5,32\%$ . Volumen de entrada (progresiva 35,500 km, inicio canal Embalse RP N° 28-obra partidora) = **3.347 hm<sup>3</sup>**. Volumen de salida (obra partidora) = **3.169 hm<sup>3</sup>**.

Error relativo de caudal máximo  $E_{rQM} = -5\%$ . Caudal máximo progresiva 35,500 km, inicio canal Embalse RP N° 28-obra partidora) = **30 m<sup>3</sup>/s**. Caudal máximo (obra partidora)= **28,5 m<sup>3</sup>/s**.

Las Tablas N° 6.36 y N° 6.37 muestran los valores mínimos, medios, promedios, máximos y desvío estándar caudales diarios progresiva 35,500 km (inicio del canal

Embalse RP N° 28-obra partidora) y los caudales diarios que llegan a la obra partidora, respectivamente, para el escenario optimizado a largo plazo.

Tabla N° 6.36. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios progresiva 35,500 km (inicio canal Embalse RP N° 28 - obra partidora) (m<sup>3</sup>/s)

ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
45677	Caudal progresiva 35,500 ...	0	17.67931	17.68235	30	13.0631	1

Tabla N° 6.37. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios que llegan a obra partidora (m<sup>3</sup>/s)

ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
45686	Caudal obra partidora	1.383792E-07	16.74114	16.74038	28.5	12.2146	1

La Figura N° 6.110 representa los hidrogramas de caudales diarios de la progresiva 35,500 km (inicio del canal Embalse RP N° 28-obra partidora) (línea negra) y de caudales diarios que llegan obra partidora (línea roja), para el escenario optimizado a largo plazo.

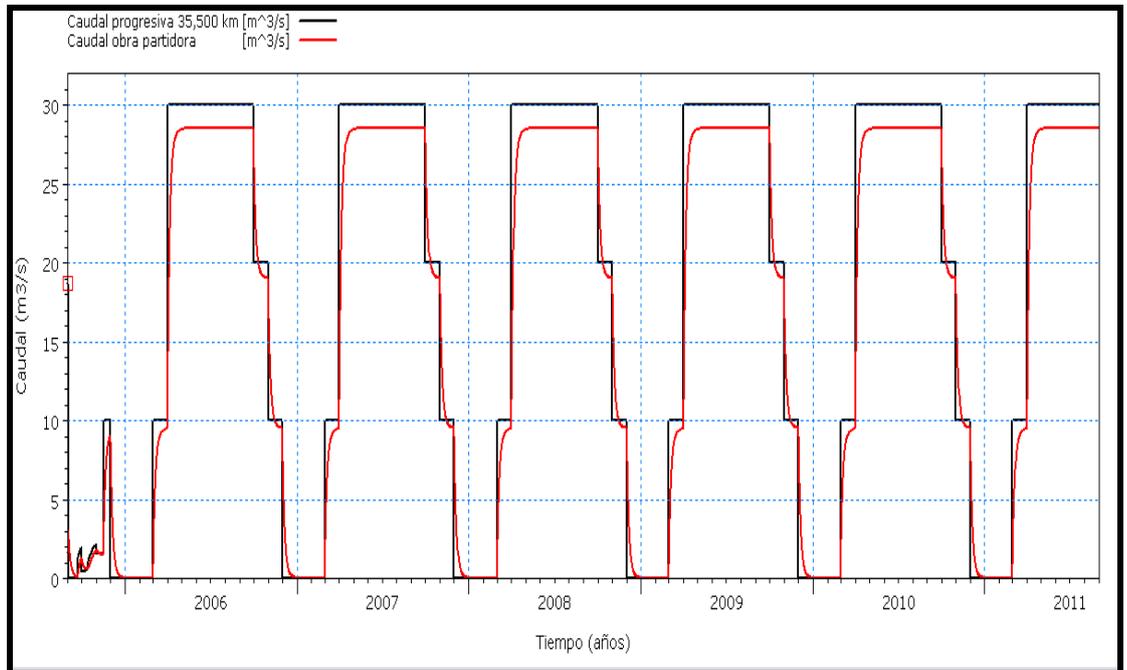


Figura N° 6.110. Caudales diarios progresiva 35,500 km (inicio canal Embalse RP N° 28 - obra partidora) - caudales diarios obra partidora (escenario optimizado a largo plazo)

La Figura N° 6.111 representa los hidrogramas de la distribución de caudales diarios obra partidora (línea negra), obra partidora-canal Monte Lindo + del Este (línea roja) y obra partidora-canal Las Lomitas (línea verde), para el escenario optimizado a largo plazo.

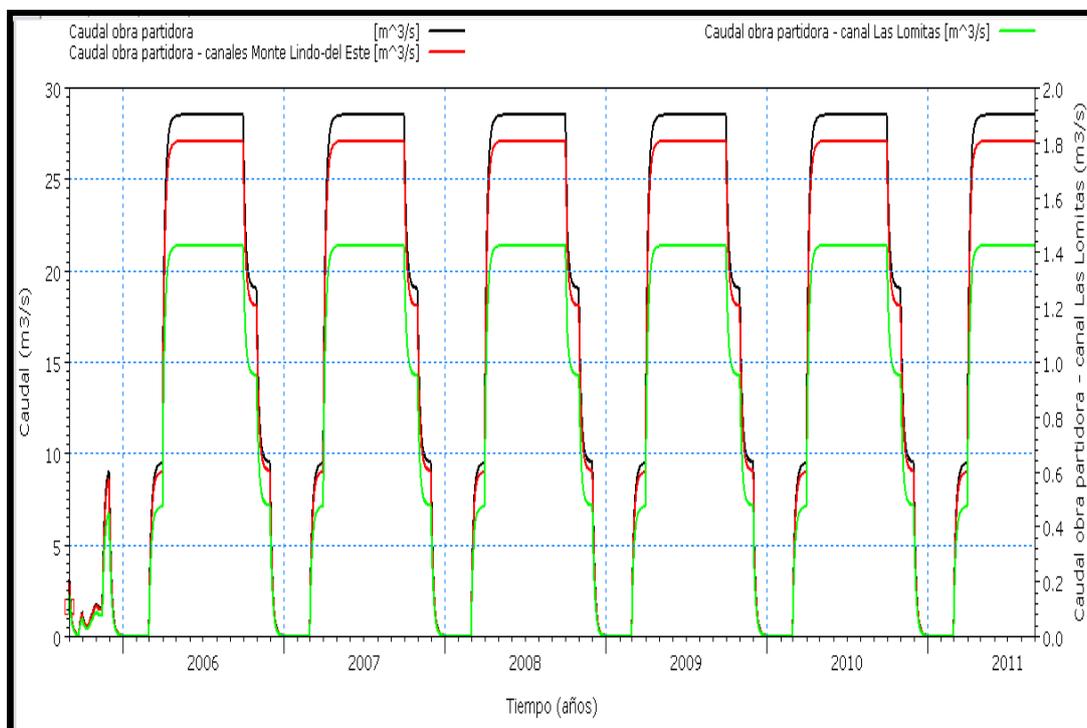


Figura N° 6.111. Distribución de caudales diarios: obra partidora - canal Monte Lindo + canal del Este - canal Las Lomitas (escenario optimizado a largo plazo)

### **Demanda de la Población**

Para el escenario optimizado a largo plazo, se calculó la demanda en función a los promedios de incrementos de la población entre Censos Nacionales (1991-2001-2010). Los consumos diarios se mantuvieron iguales al escenario actual.

En la Tabla N° 6.38 se presenta la demanda diaria y mensual de los usuarios de las localidades, incremento de la población a 20 años, para el escenario optimizado a largo plazo.

Tabla N° 6.38. Demanda diaria (L/hab.día) y mensual (m<sup>3</sup>/s) de los usuarios para las distintas localidades (escenario optimizado a largo plazo)

Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
380 lts/hab.día			450 lts/hab.día			400 lts/hab.día			320 lts/hab.día		

Water Users	Pob. 2010	Pob. 2035	Incremento población (*)	% Abastec.	Pob. Abast.	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Las Lomitas	12399 hab.	15251 hab.	23%	50%	7625 hab.	0.047	0.047	0.047	0.056	0.056	0.056	0.049	0.049	0.049	0.040	0.040	0.040
Pozo del Tigre	4517 hab.	6188 hab.	37%	100%	6188 hab.	0.038	0.038	0.038	0.045	0.045	0.045	0.040	0.040	0.040	0.032	0.032	0.032
Estanislao del Campo	4523 hab.	5247 hab.	16%	100%	5247 hab.	0.032	0.032	0.032	0.038	0.038	0.038	0.034	0.034	0.034	0.027	0.027	0.027
Ibarreta	9429 hab.	11503 hab.	22%	100%	11503 hab.	0.071	0.071	0.071	0.084	0.084	0.084	0.075	0.075	0.075	0.060	0.060	0.060
Comdte. Fontana	6615 hab.	7740 hab.	17%	100%	7740 hab.	0.048	0.048	0.048	0.056	0.056	0.056	0.050	0.050	0.050	0.040	0.040	0.040

(\*) promedio del incremento poblacional entre 1991-2001 y 2010, años de Censo

### 3-Canal Las Lomitas (DHI\_ID13-12)

En este elemento se calcula el tránsito del hidrograma desde la obra partidora hasta Las Lomitas (embalse).

En este escenario se planteó que la capacidad de conducción del canal sea del **5%** del total de caudal que llega a la obra partidora desde Embalse RP N° 28. El canal deberá tener las dimensiones adecuadas para poder conducir dicho caudal. El tiempo de tránsito del hidrograma desde obra partidora a Las Lomitas se consideró de **4 días**. En el tramo las pérdidas por evaporación fueron del **5%** para los meses con agua en el canal (marzo-noviembre).

La Figura N° 6.112 representa los hidrogramas de los caudales diarios desde obra partidora-canal Las Lomitas para el escenario actual (línea negra) y escenario optimizado a largo plazo (línea roja).

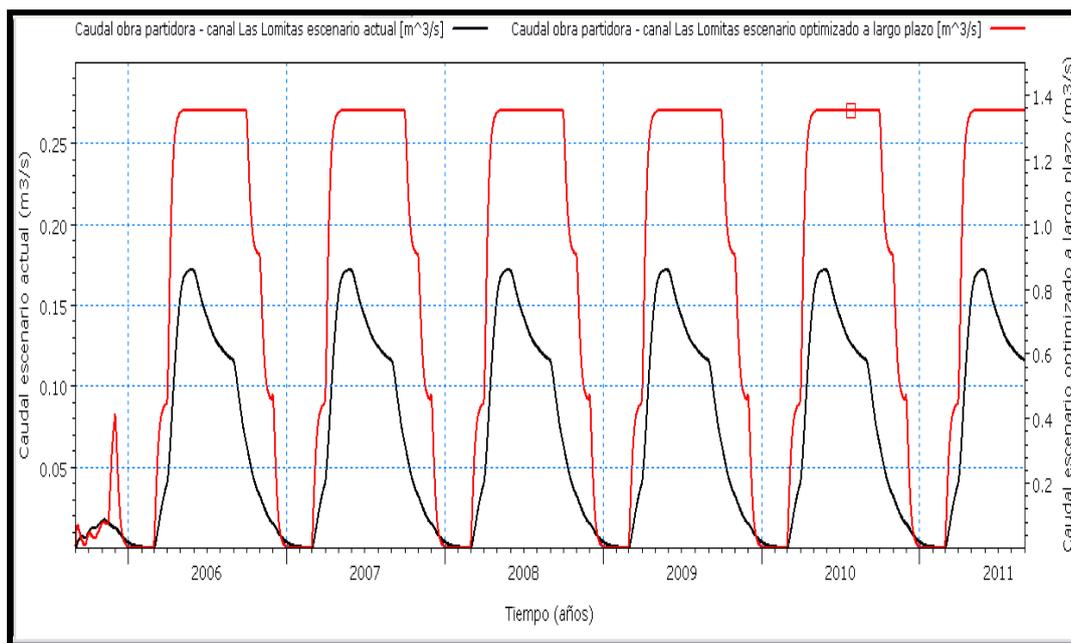


Figura N° 6.112. Caudales diarios obra partidora - canal Las Lomitas (escenario actual-escenario optimizado a largo plazo)

Las Tablas N° 6.39 y N° 6.40 muestran los valores mínimos, medios, promedios, máximos y desvío estándar de los caudales diarios obra partidora-canal Las Lomitas para el escenario actual y el escenario optimizado a largo plazo, respectivamente.

Tabla N° 6.39. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios canal Las Lomitas (m³/s)

ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
46562	Caudal obra partidora - ca...	6.832551E-05	0.0707927	0.07079692	0.171601	0.0623761	1

Tabla N° 6.40. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios canal Las Lomitas (m³/s)

ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
46023	Caudal obra partidora - ca...	3.440541E-08	0.7933449	0.7932937	1.35375	0.576794	1

Como se observa en la Figura N° 6.112 y en las Tablas N° 6.39 y N° 6.40 el caudal desde obra partidora a Las Lomitas se incrementó en **8 veces** respecto al escenario actual, este incremento se debe al reacondicionamiento del canal y al nuevo porcentaje de

distribución de caudales desde la obra partidora, propuestos en el escenario optimizado a largo plazo.

La Figura N° 6.113 representa los hidrogramas de los caudales diarios obra partidora –canal Las Lomitas (línea negra) y de los caudales diarios que llegan a Las Lomitas (embalse) (línea roja), para el escenario optimizado a largo plazo.

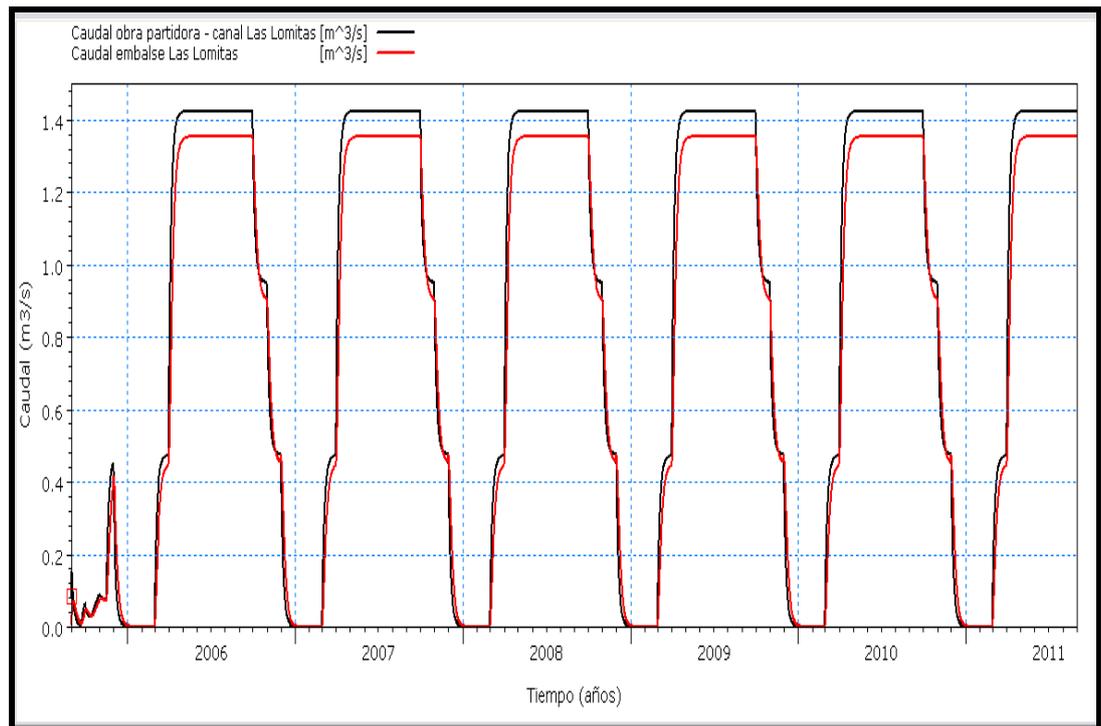


Figura N° 6.113. Caudales diarios obra partidora - canal Las Lomitas – caudales diarios Las Lomitas (embalse) (escenario optimizado a largo plazo)

Con las consideraciones mencionadas anteriormente se tiene:

Coeficiente de eficiencia  $E_f$ , de Nash-Sutcliffe (1970), = **0,99**.

Error relativo de volumen  $E_{rV} = -5,1\%$ . Volumen de entrada (obra partidora) = **158 hm<sup>3</sup>**. Volumen de salida (Las Lomitas-embalse) = **150 hm<sup>3</sup>**.

Error relativo de caudal máximo  $E_{rQM} = -3,6\%$ . Caudal máximo (obra partidora) = **1,40 m<sup>3</sup>/s**. Caudal máximo (Las Lomitas-embalse) = **1,35 m<sup>3</sup>/s**.

## 4-Las Lomitas

En este elemento se calculan:

- Embalse: la nueva capacidad de almacenamiento con las nuevas medidas adoptadas, el almacenamiento relativo y volumen almacenado para las nuevas condiciones de embalse.

- Población: el caudal a distribuir desde el embalse a la población y el déficit de la demanda.

Se aumentan las dimensiones del embalse existente en **4,3**<sup>19</sup> veces más, es decir se incrementa **4,3** veces más la capacidad de almacenamiento, esto se debe a que en el escenario optimizado a corto plazo con el canal y las dimensiones del embalse existente, no eran suficientes para abastecer la demanda de la población.

Se mantiene la conexión canal Las Lomitas-planta de agua potable.

### Embalse (DHI\_ID 18)

La Figura N° 6.114 representa la curva nivel – área - volumen del embalse Las Lomitas para el escenario actual (línea negra) y escenario optimizado a largo plazo (línea roja).

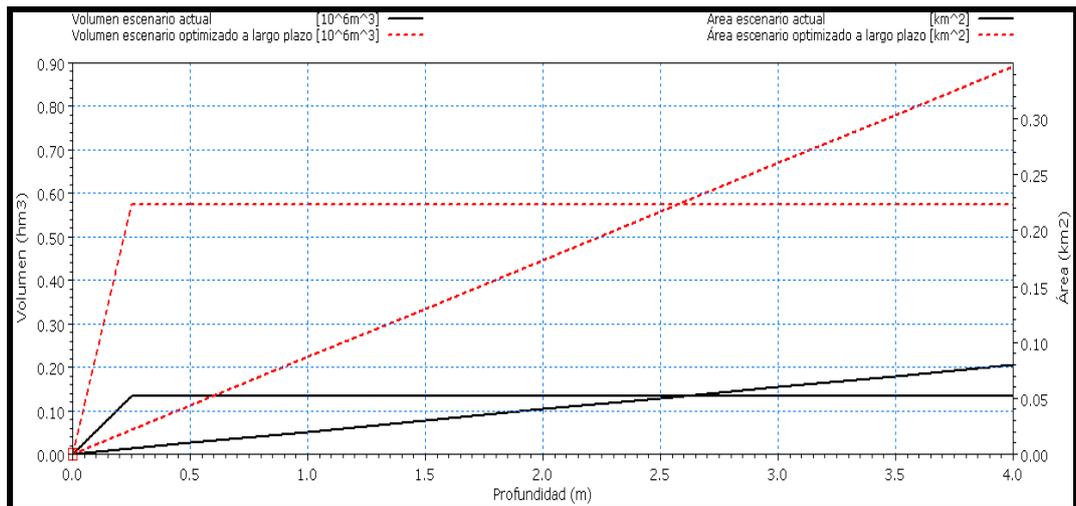


Figura N° 6.114. Curva nivel – área - volumen embalse Las Lomitas  
(escenario actual - escenario optimizado a largo plazo)

<sup>19</sup> las nuevas dimensiones surgen de varias simulaciones hasta satisfacer la demanda actual y futura con incremento de la población a 20 años

Las Figuras N° 6.115 y N° 6.116 representan el volumen almacenado y el almacenamiento relativo, mensual, del embalse Las Lomitas para el escenario actual (línea negra), escenario optimizado a corto plazo (línea verde) y escenario optimizado a largo plazo (línea roja).

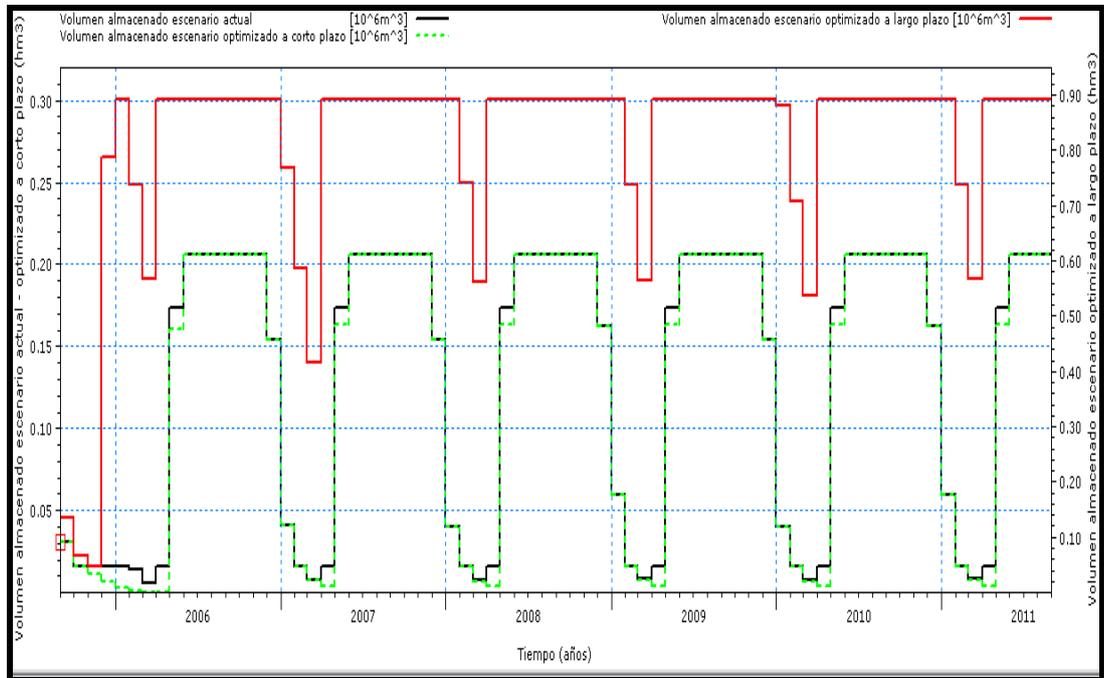


Figura N° 6.115. Volumen almacenado, mensual, embalse Las Lomitas  
(escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo)

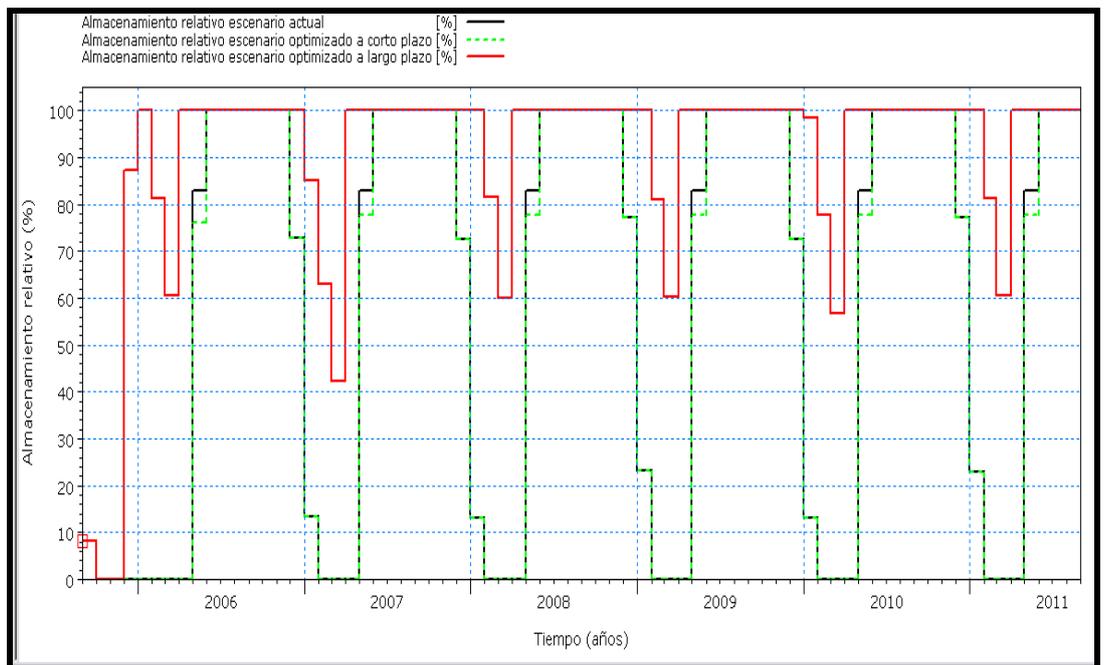


Figura N° 6.116. Almacenamiento relativo, mensual, embalse Las Lomitas  
(escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo)

Como se observa en las Figuras N° 6.115 y N° 6.116 el almacenamiento relativo y el volumen almacenado, mensual, aumentan con las nuevas consideraciones de escenario optimizado a largo plazo. Para este escenario se tienen **9 meses**, de abril a diciembre, con el embalse a su máxima capacidad de almacenamiento, en el escenario actual solamente **6 meses**, de junio a noviembre el embalse se mantiene su máxima capacidad de almacenamiento. Para el escenario optimizado a largo plazo la capacidad del embalse nunca llegaría a ser igual a la mínima capacidad operable.

La Figura N° 6.117 representa los caudales mensuales (demanda) a distribuir desde el embalse a la población de Las Lomitas para el escenario actual (línea negra), escenario optimizado a corto plazo (línea verde) y escenario optimizado a largo plazo (línea roja).

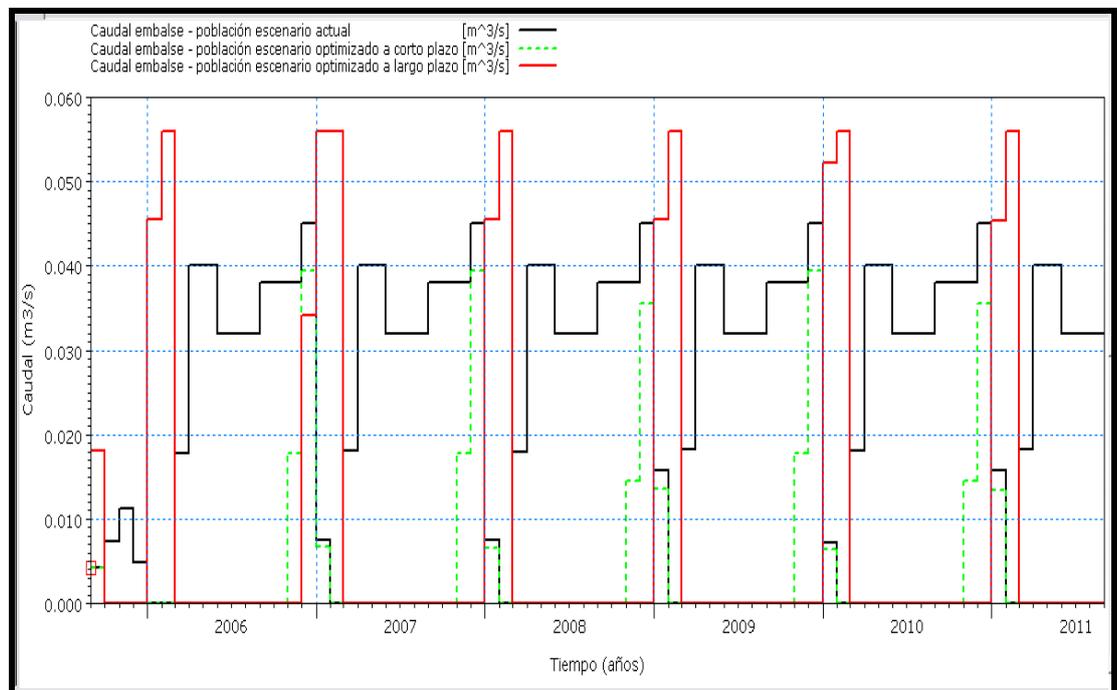


Figura N° 6.117. Caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos en la población de Las Lomitas

(escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo)

Como se observa en las Figura N° 6.117 para el escenario optimizado a largo plazo, la demanda mensual de la población, a diferencia del escenario actual, se satisface desde marzo a noviembre con el agua del canal Las Lomitas-planta de agua potable.

El abastecimiento desde el embalse a la población comienza en la segunda mitad del mes de diciembre, hasta finales de febrero. Esto produce una variación del volumen almacenado del embalse a partir del mes de enero hasta marzo, en este último mes se inicia

la recarga al embalse y la población se abastece directamente del agua del canal Las Lomitas-plantas de agua potable.

### Población (DHI\_ID 19)

La Figura N° 6.118 representa el déficit mensual de la demanda de la población de Las Lomitas para el escenario actual (línea negra), escenario optimizado a corto plazo (línea verde) y escenario optimizado a largo plazo (línea roja).

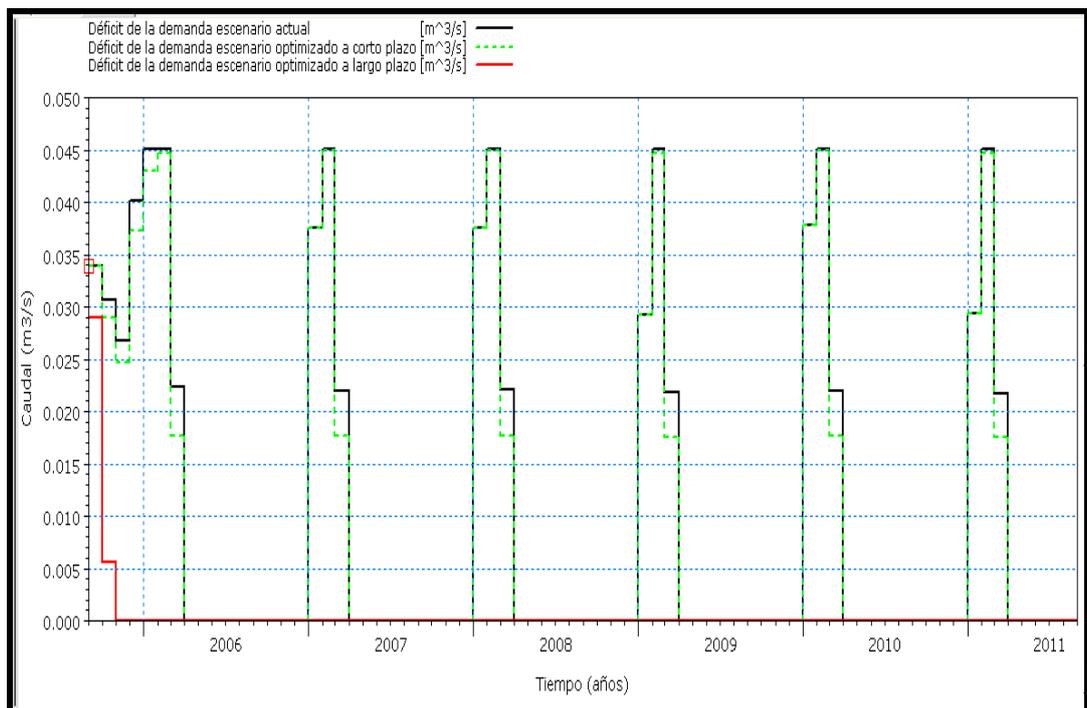


Figura N° 6.118. Déficit, mensual, de la demanda Las Lomitas (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo)

Como se observa en la Figura N° 6.118 para el escenario optimizado a largo plazo, el déficit mensual de la demanda es **cero**, es decir con los nuevos caudales obra partidora-Las Lomitas, la nueva sección del canal a Las Lomitas y nuevas dimensiones del embalse son suficiente para satisfacer la demanda actual y con un incremento de la población a **20 años**.

## 5-Obra Partidora-Canal Monte Lindo-toma Pozo del Tigre (DHI\_ID 15-21)

En este elemento se calculan los hidrogramas de distribución de caudales desde la obra partidora al canal Monte Lindo.

Para el caso de la obra partidora-canal Monte Lindo, se tiene que su caudal óptimo es igual a **20 m<sup>3</sup>/s**, esto surge del trabajo “Modelación hidráulica: caso de estudio canal Monte Lindo. Provincia de Formosa” (Cristanchi et al., 2011), donde el resultado de la modelación contemplaba realizar obras de terraplenado en ambas márgenes del canal, como así también reemplazar todas las alcantarillas existentes por alcantarillas tipo, con dimensiones de 2 vanos de 7,34 m (ancho) x 2,50 m (alto).

Lo descripto anteriormente es una solución fácil para lograr ese caudal óptimo de conducción, como se dijo anteriormente el canal Montes Lindo a la altura de La Alcoba se transforma en cauce natural, por lo cual canalizarlo resultaría más difícil. Se consideró que el tiempo de tránsito del hidrograma desde la obra partidora a la toma de Pozo del Tigre es de **2 días** y entre localidades de **4 días**.

La Figura N° 6.119 representa los hidrogramas de caudales diarios obra partidora-canal Monte Lindo, para el escenario actual (línea negra) y escenario optimizado a largo plazo (línea roja).

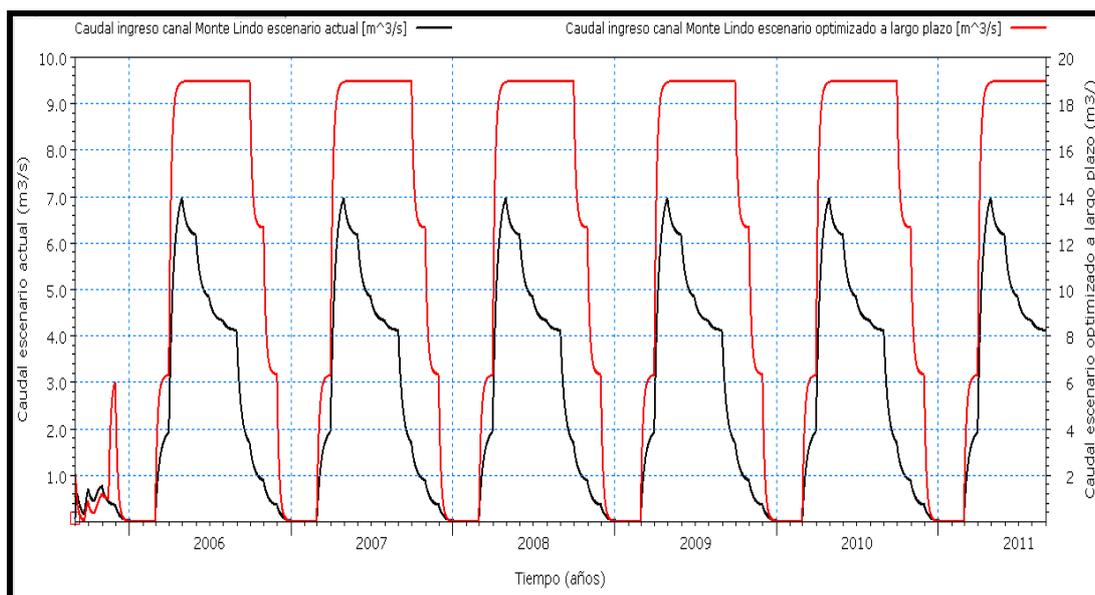
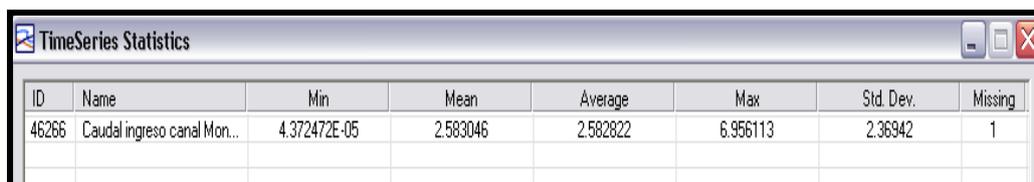


Figura N° 6.119. Caudales diarios obra partidora - canal Monte Lindo (escenario actual - escenario optimizado largo plazo)

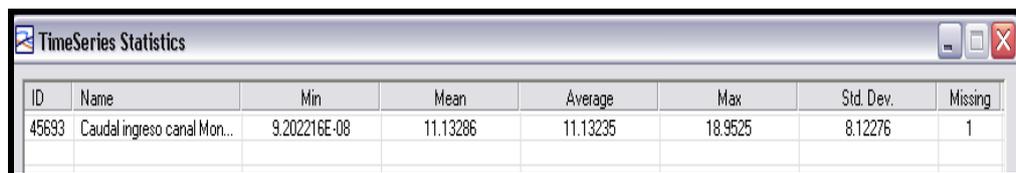
Las Tablas N° 6.41 y N° 6.42 muestran los valores mínimos, medios, promedios, máximos y desvío estándar caudales diarios obra partidora-canal Monte Lindo para el escenario actual y el escenario optimizado a largo plazo, respectivamente.

Tabla N° 6.41. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios canal Monte Lindo (m<sup>3</sup>/s)



ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
46266	Caudal ingreso canal Mon...	4.372472E-05	2.583046	2.582822	6.956113	2.36942	1

Tabla N° 6.42. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios canal Monte Lindo (m<sup>3</sup>/s)



ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
45693	Caudal ingreso canal Mon...	9.202216E-08	11.13286	11.13235	18.9525	8.12276	1

Como se observa en la Figura N° 6.119 y en las Tablas N° 6.41 y N° 6.42 el caudal desde obra partidora a canal Monte Lindo aumentó **2,7 veces más** respecto al escenario actual, este incremento se debe al reacondicionamiento del canal, propuesto en el escenario optimizado a largo plazo.

La Figura N° 6.120 representa los hidrogramas de caudales diarios que ingresan al canal Monte Lindo y los caudales diarios que llegan a la toma de Pozo del Tigre, para el escenario optimizado a largo plazo.

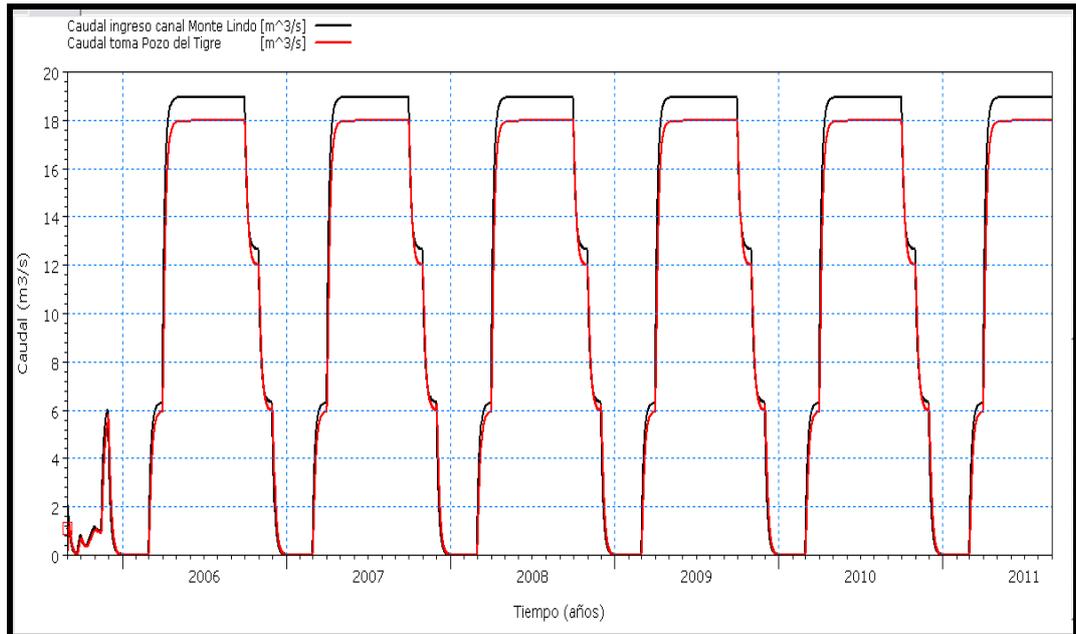


Figura N° 6.120. Caudales diarios ingreso canal Monte Lindo – caudales diarios toma Pozo del Tigre (escenario optimizado a largo plazo)

Con las consideraciones mencionadas anteriormente se tiene:

Coefficiente de eficiencia  $E_f$ , de Nash-Sutcliffe (1970), = **0,99**.

Error relativo de volumen  $E_{rV} = -5,4\%$ . Volumen de entrada (ingreso canal Monte Lindo) = **2.107 hm<sup>3</sup>**. Volumen de salida (toma Pozo del Tigre) = **1.994 hm<sup>3</sup>**.

Error relativo de caudal máximo  $E_{rQM} = -5,2\%$ . Caudal máximo (ingreso canal Monte Lindo) = **18,95 m<sup>3</sup>/s**. Caudal máximo (toma Pozo del Tigre) = **17,97 m<sup>3</sup>/s**.

Las Tablas N° 6.43 y N° 6.44 muestran los valores mínimos, medios, promedios, máximos y desvío estándar caudales diarios que ingresan al canal Monte Lindo y los caudales que llegan a la toma de Pozo del Tigre, para el escenario optimizado a largo plazo.

Tabla N° 6.43. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios ingreso canal Monte Lindo (m<sup>3</sup>/s)

ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
45699	N53 Outflow to: River No...	9.202216E-08	11.13235	11.13235	18.9525	8.12276	1

Tabla N° 6.44. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios toma Pozo del Tigre (m<sup>3</sup>/s)

ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
45718	N59Inflow from: River No...	0	10.53393	10.53392	17.97288	7.69341	1

La Figura N° 6.121 representa los hidrogramas de distribución de caudales diarios que llegan desde la obra partidora a la toma de Pozo del Tigre (línea negra), los caudales diarios Pozo del Tigre-Estanislao del Campo (línea roja) y los caudales diarios que ingresan desde la toma al embalse de Pozo del Tigre (línea verde), para el escenario optimizado a largo plazo.

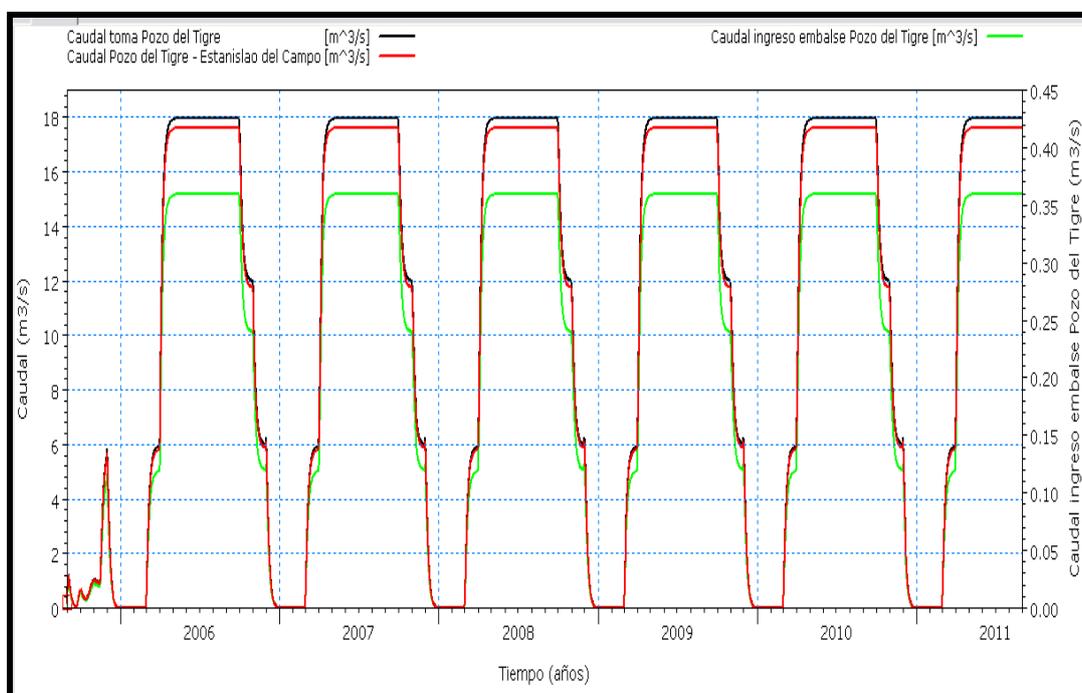


Figura N° 6.121. Distribución de caudales diarios toma Pozo del Tigre (escenario optimizado a largo plazo)

## 6-Pozo del Tigre

Al igual que en Las Lomitas, se mantiene el canal de conexión riacho Monte Lindo-planta de agua potable.

En este elemento se mantienen las condiciones de área y volumen de almacenamiento del embalse como en el escenario actual, estas dimensiones son

suficientes para abastecer la demanda actual y futura con un incremento de la población a 20 años. Se calcula para el escenario optimizado a largo plazo el almacenamiento relativo y volumen almacenado del embalse.

También se calcula teniendo en cuenta un incremento de la población a 20 años el caudal a distribuir desde el embalse a la población y el déficit de la demanda.

### Embalse (DHI\_ID 24)

Para el caso del Pozo del Tigre no fue necesario aumentar las dimensiones del embalse existente, las mismas son suficientes para abastecer a la demanda futura con un incremento de la población a **20 años**.

La Figura N° 6.122 representa la curva nivel – área - volumen del embalse Pozo del Tigre, para el escenario optimizado a largo plazo.

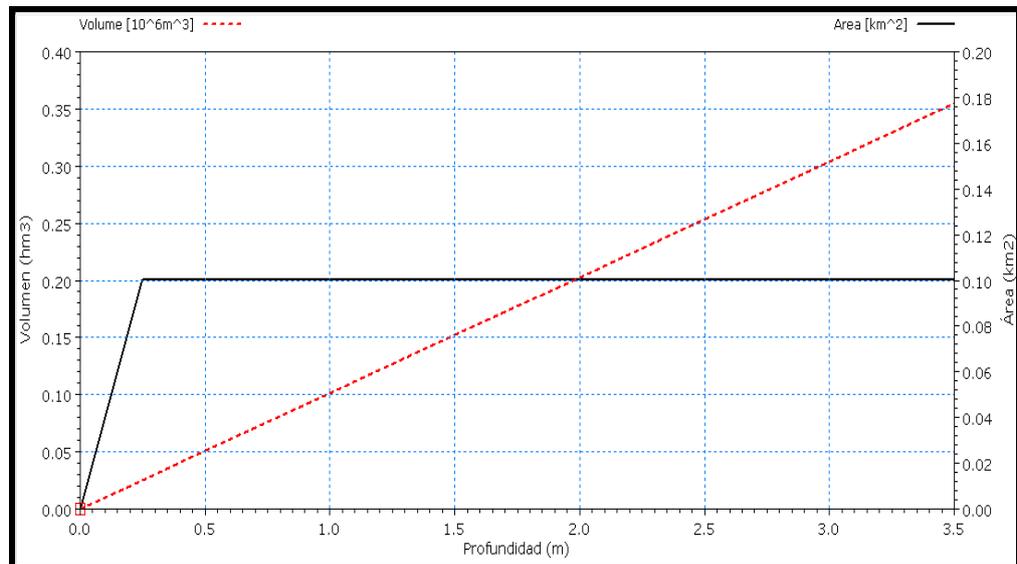


Figura N° 6.122. Curva nivel – área - volumen embalse Pozo del Tigre (escenario optimizado a largo plazo)

Las Figuras N° 6.123 y N° 6.124 representan el volumen almacenado y el almacenamiento relativo, mensual, del embalse Pozo del Tigre, para el escenario actual (línea negra), escenario optimizado a corto plazo (línea verde) y escenario optimizado a largo plazo (línea roja).

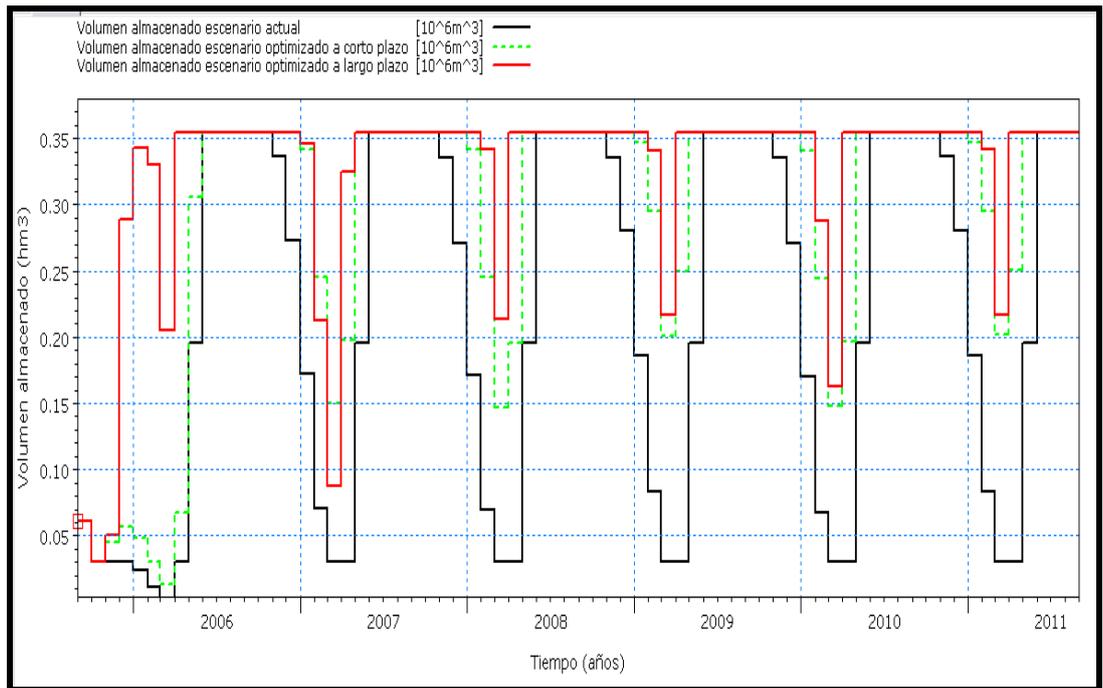


Figura N° 6.123. Volumen almacenado, mensual, embalse Pozo del Tigre (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo)

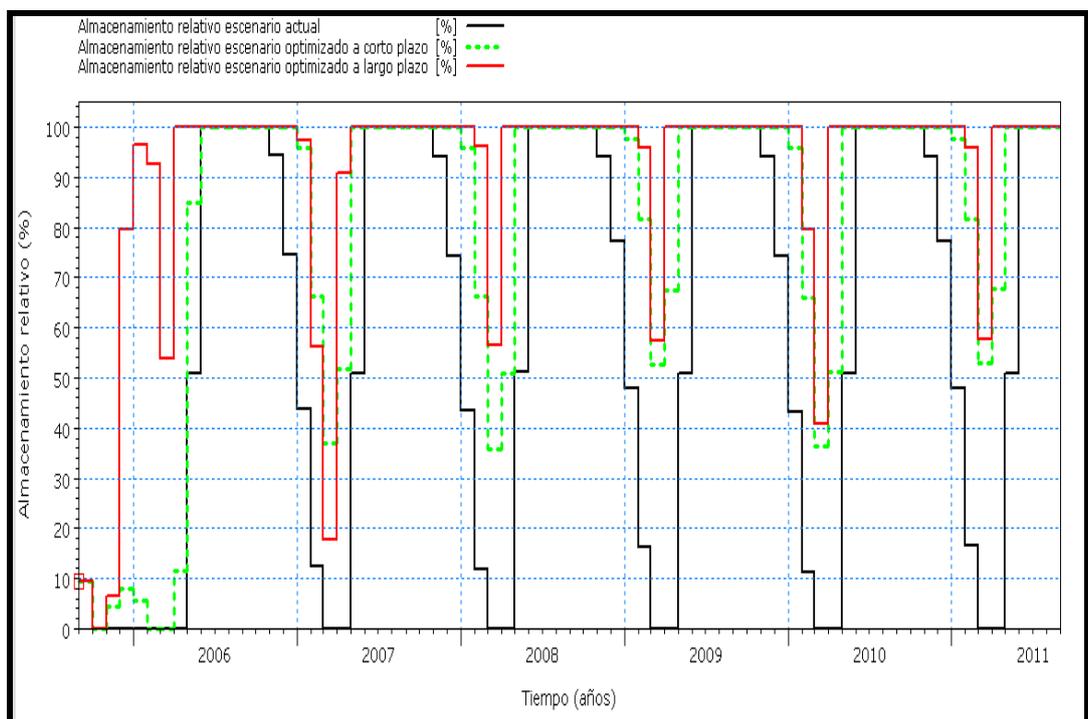


Figura N° 6.124. Almacenamiento relativo, mensual, embalse Pozo del Tigre (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo)

Como se observa en las Figuras N° 6.123 y N° 6.124 el almacenamiento relativo y el volumen almacenado aumentan con las nuevas consideraciones de escenario optimizado

a largo plazo. Para este escenario se tienen **9 meses**, de abril a diciembre con el embalse a su máxima capacidad de almacenamiento, en el escenario actual solamente **5 meses**, de junio a octubre el embalse se mantiene a su máxima capacidad de almacenamiento, en el escenario optimizado a corto plazo solamente **7 meses**, junio a diciembre el embalse se mantiene a su máxima capacidad de almacenamiento. Para el escenario optimizado a largo plazo la capacidad del embalse nunca llegaría a ser igual a la mínima capacidad operable.

La Figura N° 6.125 representa los caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos desde el embalse a población de Pozo del Tigre para el escenario actual (línea negra), escenario optimizado a corto plazo (línea verde) y escenario optimizado a largo plazo (línea roja).

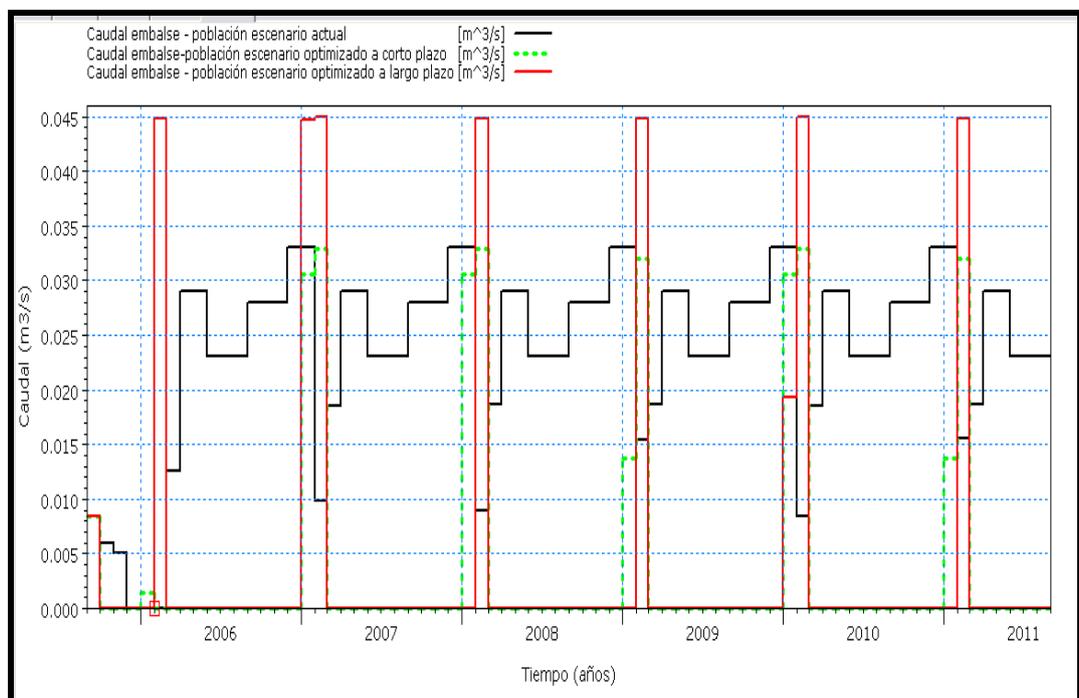


Figura N° 6.125. Caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos en la población de Pozo del Tigre (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo)

Como se observa en las Figura N° 6.125 para el escenario optimizado a largo plazo, la demanda mensual de la población, a diferencia del escenario optimizado a corto plazo, se satisface desde marzo a diciembre con el agua del canal de conexión riacho Monte Lindo-planta de agua potable.

El abastecimiento desde el embalse a la población comienza en el mes de enero hasta febrero. Esto produce una variación del volumen almacenado del embalse a partir del mes de enero (mínima) hasta abril, a partir del mes de marzo se abastece a la población con el agua del canal de conexión riacho Monte Lindo-planta de agua potable y se inicia la recarga del embalse.

### Población (DHI\_ID 25)

La Figura N° 6.126 representa el déficit mensual de la demanda de la población de Pozo del Tigre para el escenario actual (línea negra), escenario optimizado a corto plazo (línea verde) y escenario optimizado a largo plazo (línea roja).

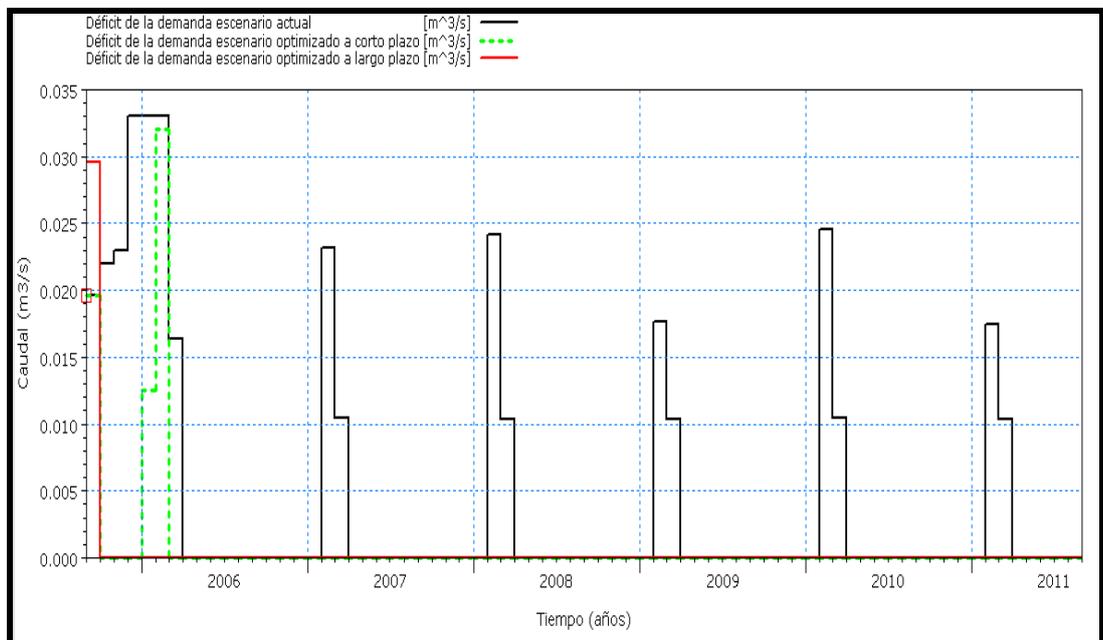


Figura N° 6.126. Déficit, mensual, de la demanda Pozo del Tigre (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo)

Como se observa en la Figura N° 6.126 el déficit mensual de la demanda para el escenario optimizado a largo plazo es **cerro**, es decir con los nuevos caudales obra partidora - canal Monte Lindo y manteniendo el canal de conexión riacho Monte Lindo-planta de agua potable se satisface la demanda futura para un incremento de la población a **20 años**.

## 7-Estanislao del Campo

En este elemento se calculan:

- Embalse: la nueva capacidad de almacenamiento con las nuevas medidas adoptadas, el almacenamiento relativo y volumen almacenado para las nuevas condiciones de embalse.
- Población: el caudal a distribuir desde el embalse a la población y el déficit de la demanda.

Al igual que las localidades anteriores, se mantiene el canal de conexión riacho Monte Lindo-planta de agua potable.

En este caso las dimensiones del embalse respecto al escenario optimizado a corto plazo (dimensiones actuales) se incrementan **2,48** veces, es decir se incrementa **2,48** veces la capacidad de almacenamiento.

### Embalse (DHI\_ID 29)

La Figura N° 6.127 representa la curva nivel – área - volumen del embalse Estanislao del campo escenario optimizado a corto plazo (actual) (línea negra) y escenario optimizado a largo plazo (línea roja).

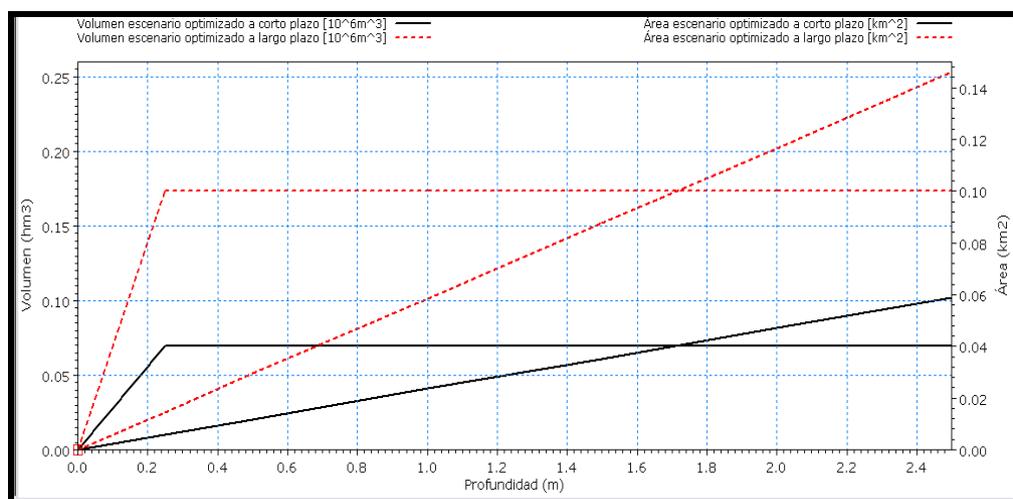


Figura N° 6.127. Curva nivel – área - volumen embalse Estanislao del Campo (escenario optimizado a corto plazo - escenario optimizado a largo plazo)

La Figura N° 6.128 representa los hidrogramas de distribución de caudales diarios que llegan desde Pozo del Tigre a la toma de Estanislao del Campo (línea negra), los caudales diarios que siguen desde Estanislao del Campo a la bifurcación (riacho Monte Lindo-canal embalse Ibarreta) (línea roja) y los caudales diarios que ingresan desde la toma al embalse de Estanislao del Campo (línea verde), para el escenario optimizado a largo plazo.

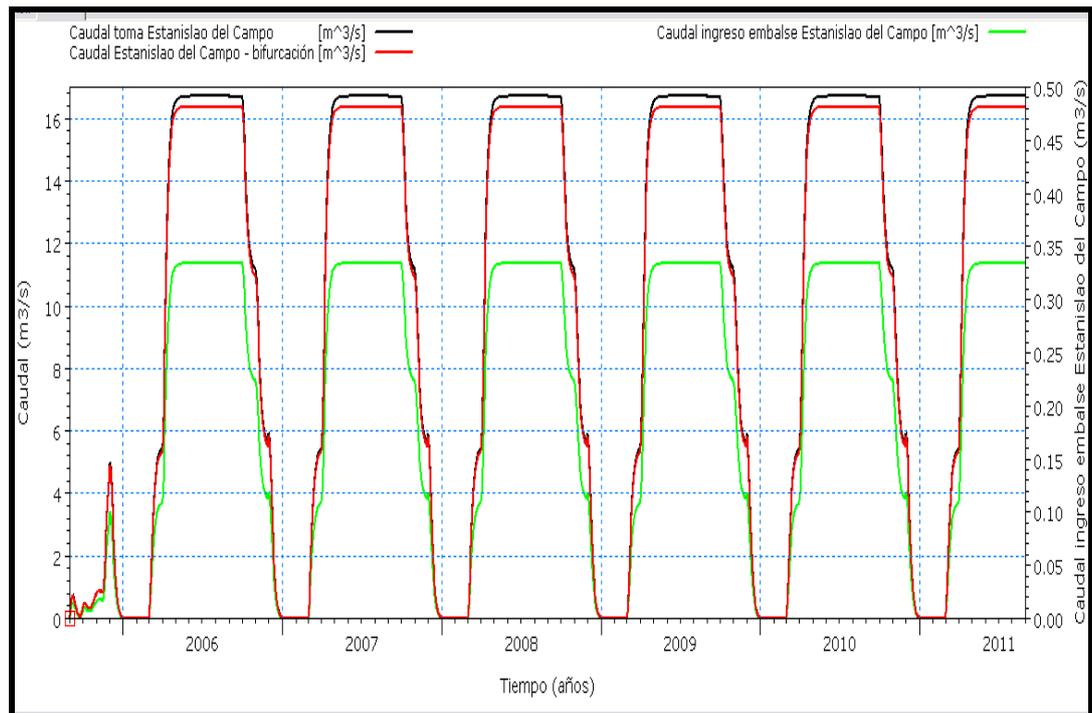


Figura N° 6.128. Distribución de caudales diarios toma Estanislao del Campo (escenario optimizado a largo plazo)

Con las consideraciones mencionadas anteriormente se tiene:

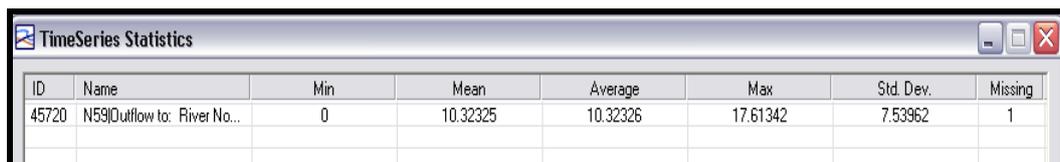
Coeficiente de eficiencia  $E_f$ , de Nash-Sutcliffe (1970), de **0,98**.

Error relativo de volumen  $E_{rV} = -5,5\%$ . Volumen de entrada (Pozo del Tigre)= **1.954 hm<sup>3</sup>**. Volumen de salida (toma Estanislao del Campo)= **1.847 hm<sup>3</sup>**.

Error relativo de caudal máximo  $E_{rQM} = -5,2\%$ . Caudal máximo (Pozo del Tigre)= **17,61 m<sup>3</sup>/s**. Caudal máximo (toma Estanislao del Campo)= **16,70 m<sup>3</sup>/s**.

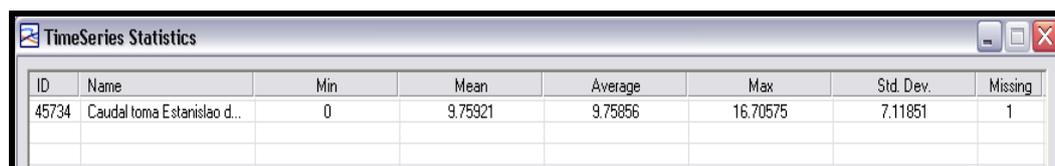
Las Tablas N° 6.45 y N° 6.46 muestran los valores mínimos, medios, promedios, máximos y desvío estándar caudales diarios Pozo del Tigre-Estanislao del Campo y el caudal que llega a la toma de Estanislao del Campo, respectivamente, para el escenario optimizado a largo plazo.

Tabla N° 6.45. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios Pozo del Tigre-Estanislao del Campo (m<sup>3</sup>/s)



ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
45720	N59 Outflow to: River No...	0	10.32325	10.32326	17.61342	7.53962	1

Tabla N° 6.46. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios que llegan a la toma de Estanislao del Campo (m<sup>3</sup>/s)



ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
45734	Caudal toma Estanislao d...	0	9.75921	9.75856	16.70575	7.11851	1

Las Figuras N° 6.129 y N° 6.130 representan el volumen almacenado y el almacenamiento relativo, mensual, del embalse Estanislao del Campo para el escenario actual (línea negra), escenario optimizado a corto plazo (línea verde) y escenario optimizado a largo plazo (línea roja).

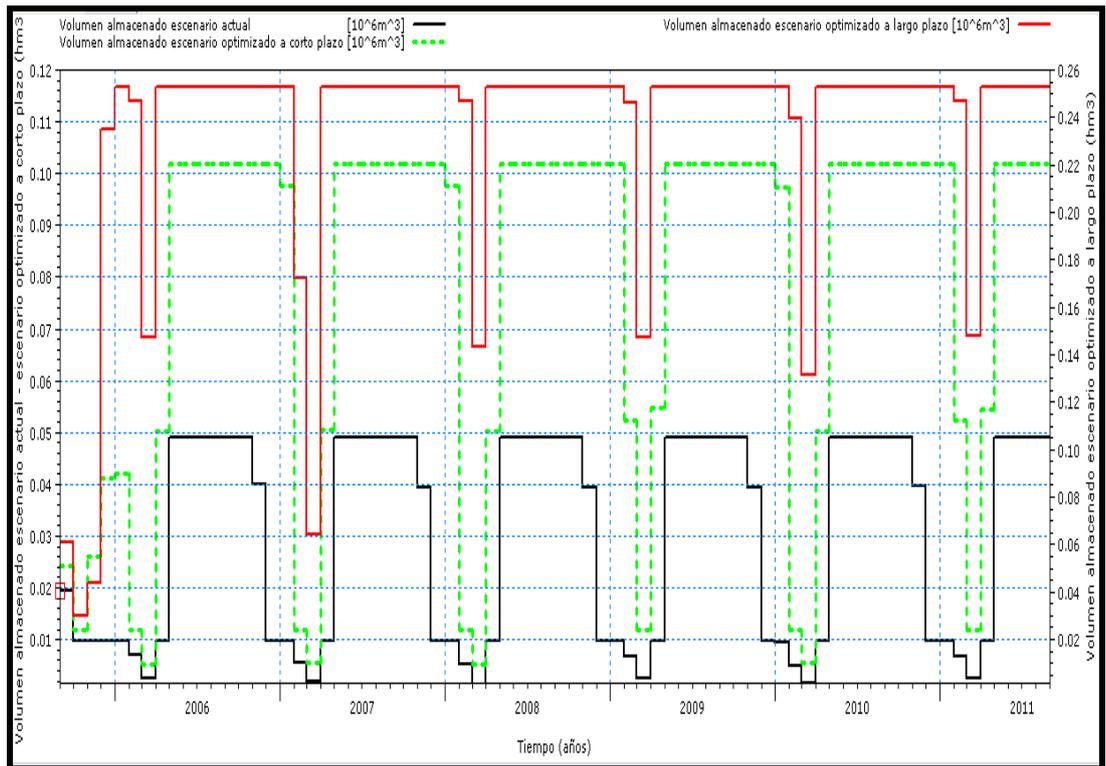


Figura N° 6.129. Volumen almacenado, mensual, embalse Estanislao del Campo (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo)

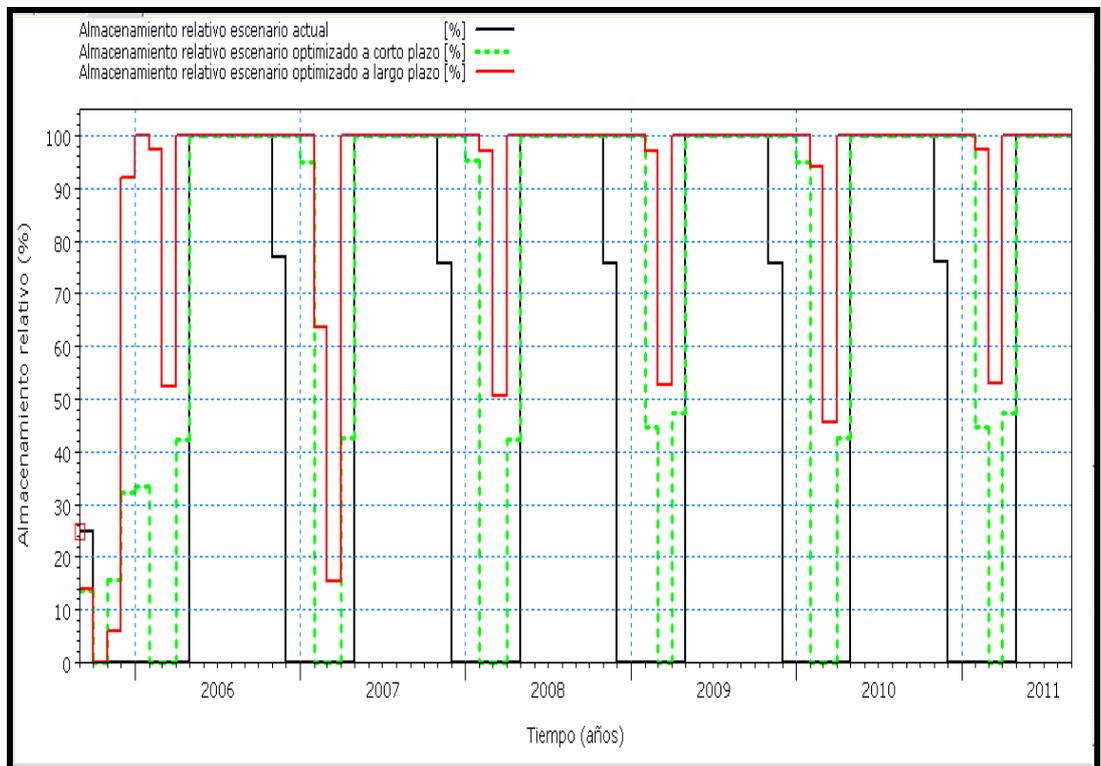


Figura N° 6.130. Almacenamiento relativo, mensual, embalse Estanislao del Campo (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo)

Como se observa en las Figuras N° 6.129 y N° 6.130 el almacenamiento relativo y el volumen almacenado, mensual, aumentan con las nuevas consideraciones de escenario optimizado a largo plazo. Para este escenario se tienen **10 meses**, de abril a enero, con el embalse a su máxima capacidad de almacenamiento, en el escenario actual solamente **6 meses**, de mayo a octubre el embalse se mantiene a su máxima capacidad de almacenamiento, en el escenario optimizado a corto plazo solamente **8 meses**, de mayo a diciembre el embalse se mantiene a su máxima capacidad de almacenamiento. Para el escenario optimizado a largo plazo la capacidad del embalse nunca llegaría a ser igual a la mínima capacidad operable.

La Figura N° 6.131 representa los caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos desde embalse a la población de Estanislao del Campo para el escenario actual (línea negra), escenario optimizado a corto plazo (línea verde) y escenario optimizado a largo plazo (línea roja).

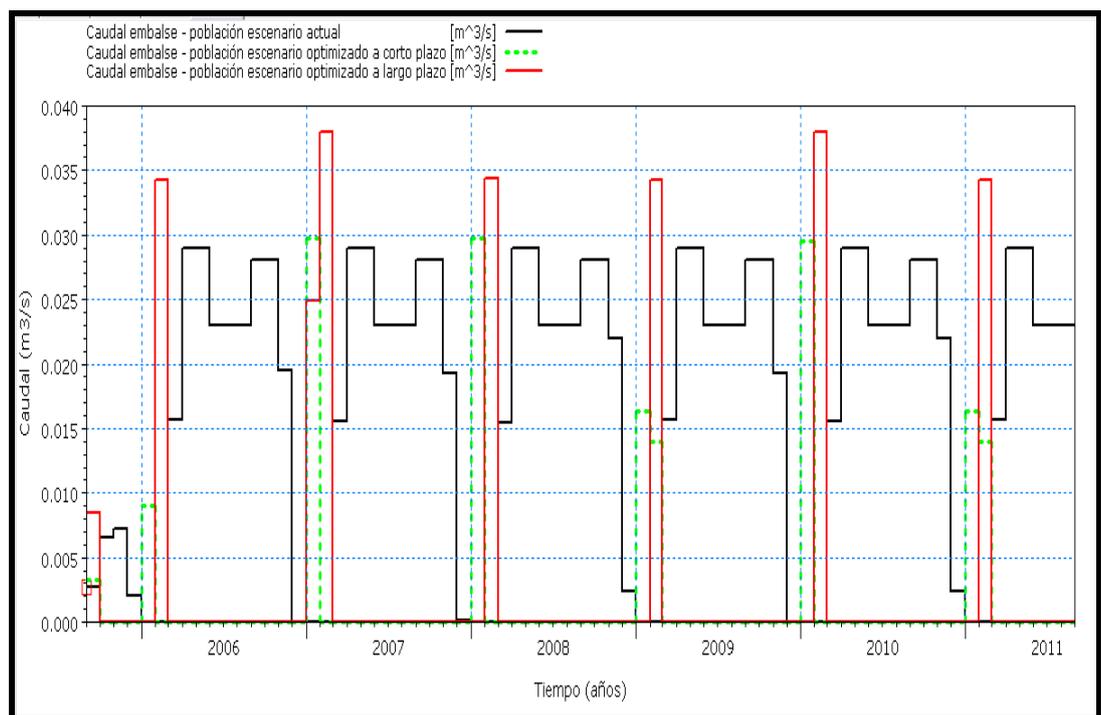


Figura N° 6.131. Caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos en la población de Estanislao del Campo (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo)

Como se observa en las Figura N° 6.131 la demanda mensual de la población, a diferencia del escenario optimizado a corto plazo, se satisface desde marzo a enero con el agua del canal de conexión riacho Monte Lindo -planta de agua potable.

El abastecimiento desde el embalse a la población comienza en el mes de febrero. Esto produce una variación del volumen almacenado del embalse a partir del mes de febrero (mínima) hasta marzo, a partir de este mes se abastece a la población con el agua del canal de conexión riacho Monte Lindo - planta de agua potable y se inicia la recarga del embalse.

### Población (DHI\_ID 30)

La Figura N° 6.132 representa el déficit de la demanda de la población de Estanislao del Campo para el escenario actual (línea negra), escenario optimizado a corto plazo (línea verde) y escenario optimizado a largo plazo (línea roja).

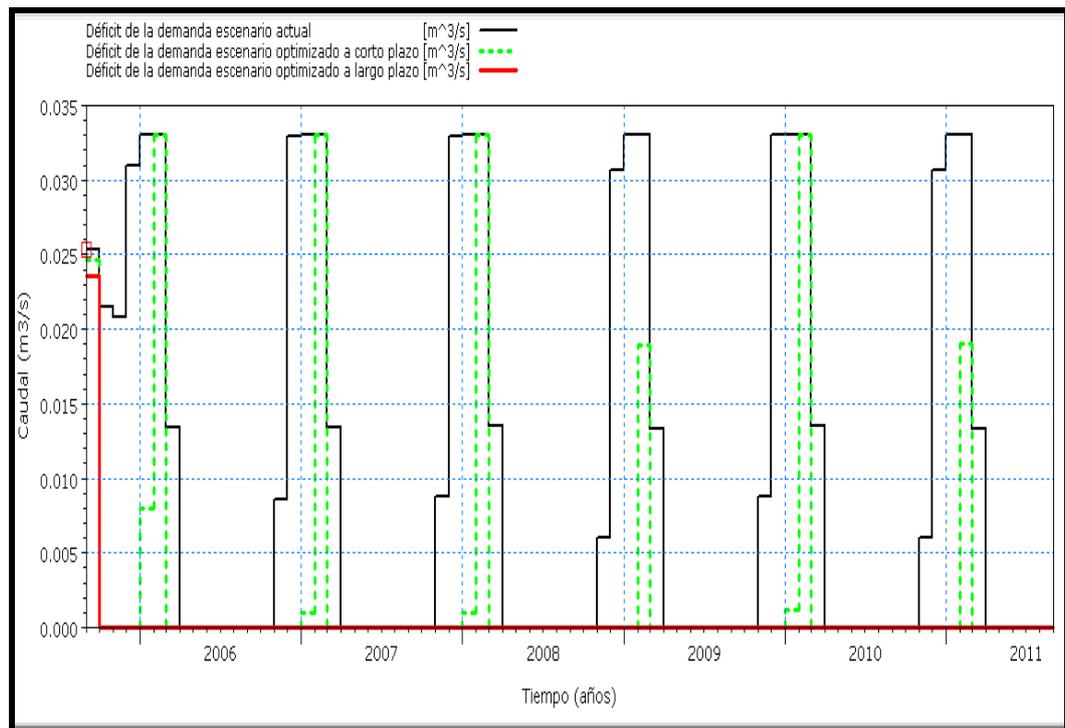


Figura N° 6.132. Déficit, mensual, de la demanda Estanislao del Campo (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo)

Como se observa en la Figura N° 6.132 el déficit mensual de la demanda para el escenario optimizado a largo plazo es **cero**, es decir con los nuevos caudales obra partidora-canal Monte Lindo y las nuevas dimensiones del embalse Estanislao del Campo

son suficiente para satisfacer la demanda actual y con un incremento de la población a **20 años**.

## 8-Ibarreta

En este elemento se mantienen las condiciones de área y volumen de almacenamiento del embalse como en el escenario optimizado a corto plazo. Se calcula para el escenario optimizado a largo plazo el almacenamiento relativo y volumen almacenado del embalse.

También se calcula teniendo en cuenta un incremento de la población a 20 años el caudal a distribuir desde el embalse a la población y el déficit de la demanda.

### Embalse (DHI\_ID 34)

La Figura N° 6.133 representa la curva nivel – área - volumen del embalse Ibarreta para el escenario optimizado a largo plazo.

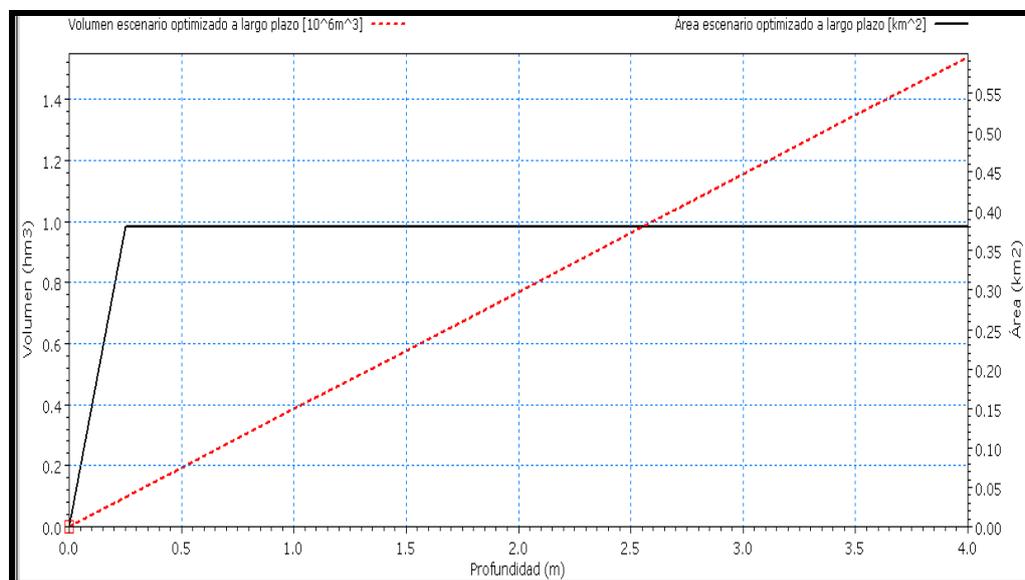


Figura N° 6.133. Curva nivel – área - volumen embalse Ibarreta  
(escenario optimizado a largo plazo)

La Figura N° 6.134 representa los hidrogramas de distribución de caudales diarios que llegan desde Estanislao del Campo a la bifurcación (línea negra), los caudales diarios bifurcación-riacho Monte Lindo (línea roja) y los caudales diarios bifurcación-embalse Ibarreta (línea verde), para el escenario optimizado a largo plazo.

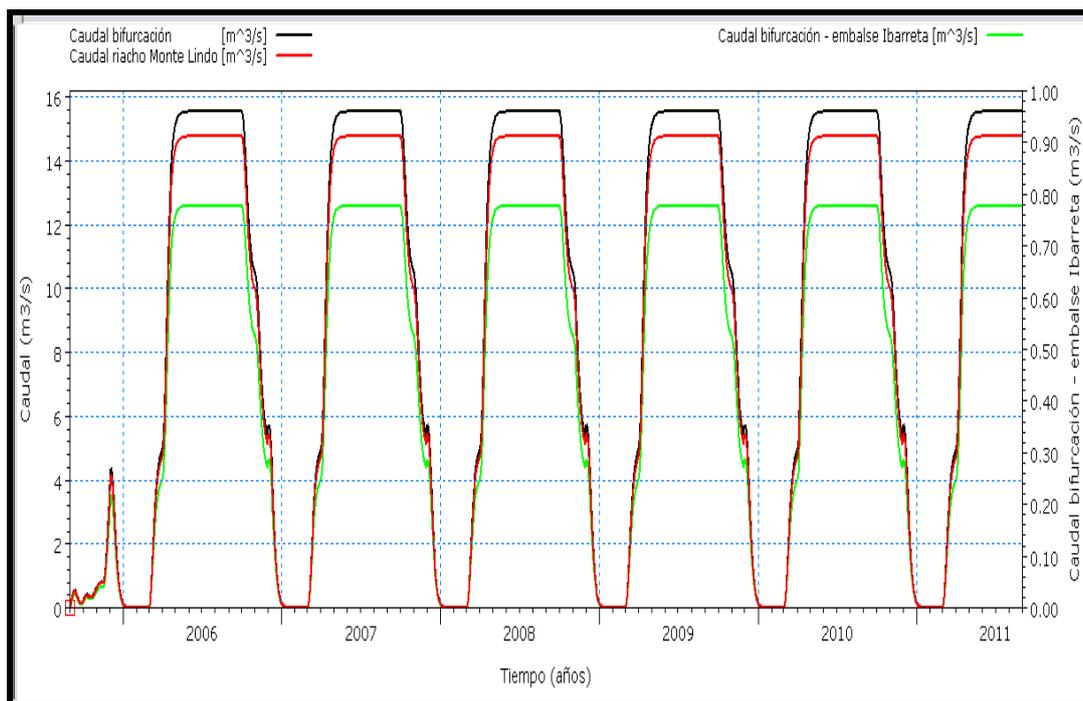


Figura N° 6.134. Distribución de caudales diarios bifurcación riacho Monte Lindo - canal embalse Ibarreta (escenario optimizado a largo plazo)

Con las consideraciones mencionadas anteriormente se tiene:

Coefficiente de eficiencia  $E_f$ , de Nash-Sutcliffe (1970), de **0,97**.

Error relativo de volumen  $E_{RV} = -5,2\%$ . Volumen de entrada (Estanislao del Campo)= **1.810 hm<sup>3</sup>**. Volumen de salida (bifurcación)= **1.717 hm<sup>3</sup>**.

Error relativo de caudal máximo  $E_{RQM} = -5\%$ . Caudal máximo (Estanislao del Campo)= **16,37 m<sup>3</sup>/s**. Caudal máximo (bifurcación)= **15,55 m<sup>3</sup>/s**.

Las Tablas N° 6.47 y N° 6.48 muestran los valores mínimos, medios, promedios, máximos y desvío estándar caudales diarios Estanislao del Campo –bifurcación (riacho Monte Lindo-canal embalse Ibarreta) y los caudales diarios que llegan a la bifurcación, respectivamente, para el escenario optimizado a largo plazo.

Tabla N° 6.47. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios Estanislao del Campo –bifurcación (m<sup>3</sup>/s)

ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
45736	Caudal Estanislao del Ca...	0	9.564027	9.563389	16.37163	6.97612	1

Tabla N° 6.48. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios que llegan a la bifurcación (m<sup>3</sup>/s)

ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
45750	Caudal bifurcación	0	9.069028	9.068441	15.55305	6.59458	1

La Figura N° 6.135 representa los hidrogramas de la distribución de caudales diarios desde bifurcación (riacho Monte Lindo-canal embalse Ibarreta) (línea negra) y los caudales que llegan al embalse de Ibarreta (línea roja), para el escenario optimizado a largo plazo.

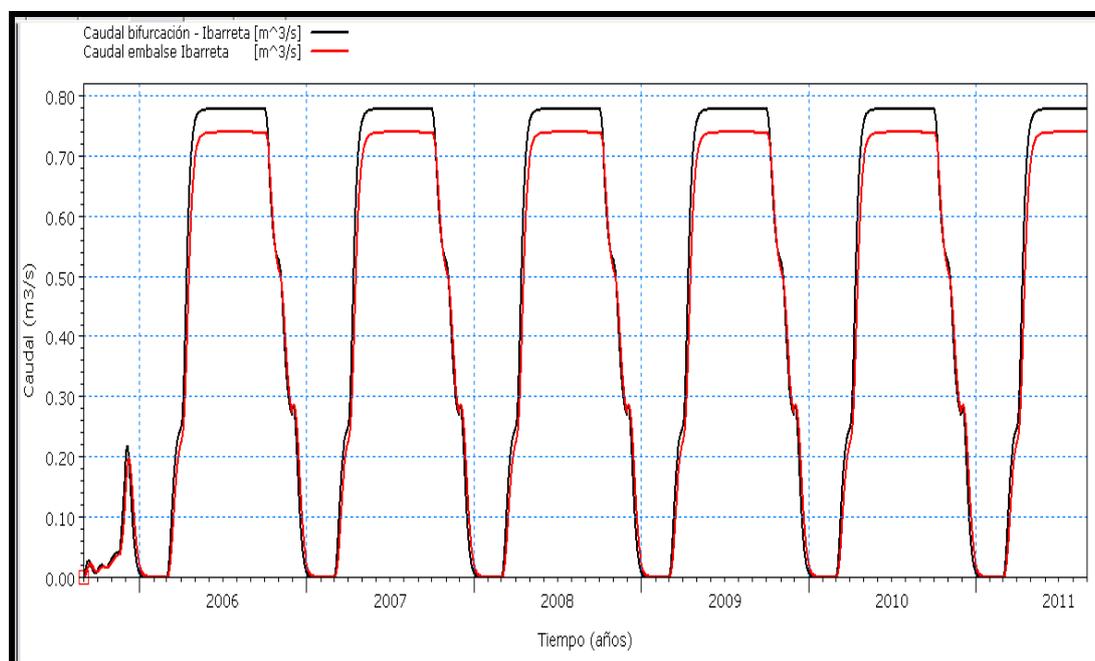


Figura N° 6.135. Distribución de caudales diarios: inicio bifurcación riacho Monte Lindo - canal embalse Ibarreta (escenario optimizado a largo plazo)

Con las consideraciones mencionadas anteriormente se tiene:

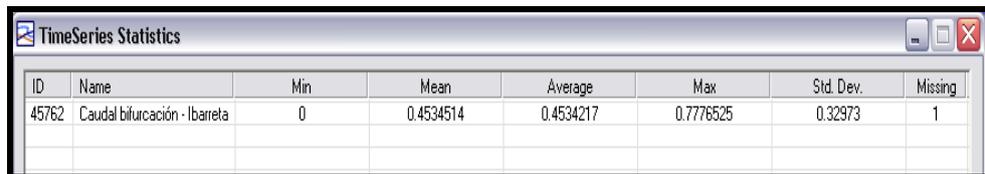
Coeficiente de eficiencia  $E_f$ , de Nash-Sutcliffe (1970), de **0,97**.

Error relativo de volumen  $E_{rV} = -5,8\%$ . Volumen de entrada (bifurcación) = **86 hm<sup>3</sup>**. Volumen de salida (embalse Ibarreta) = **81 hm<sup>3</sup>**.

Error relativo de caudal máximo  $E_{rQM} = -5,1\%$ . Caudal máximo (bifurcación) = **0,78 m<sup>3</sup>/s**. Caudal máximo (embalse Ibarreta) = **0,74 m<sup>3</sup>/s**.

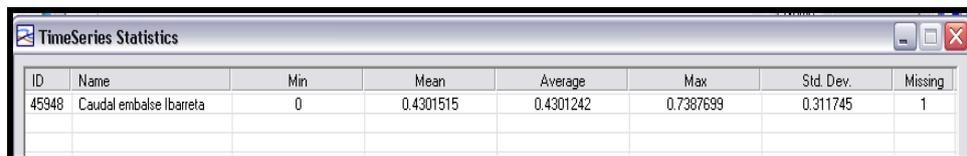
Las Tablas N° 6.49 y N° 6.50 muestran los valores mínimos, medios, promedios, máximos y desvío estándar de diarios bifurcación – canal embalse Ibarreta y de los caudales diarios que llegan al embalse Ibarreta, para el escenario optimizado a largo plazo.

Tabla N° 6.49. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios bifurcación – canal embalse Ibarreta (m<sup>3</sup>/s)



ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
45762	Caudal bifurcación - Ibarreta	0	0.4534514	0.4534217	0.7776525	0.32973	1

Tabla N° 6.50. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios que llegan embalse Ibarreta (m<sup>3</sup>/s)



ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
45948	Caudal embalse Ibarreta	0	0.4301515	0.4301242	0.7387699	0.311745	1

Las Figuras N° 6.136 y N° 6.137 representan el volumen almacenado y el almacenamiento relativo, mensual, del embalse Ibarreta para el escenario actual (línea negra), escenario optimizado a corto plazo (línea verde) y escenario optimizado a largo plazo (línea roja).

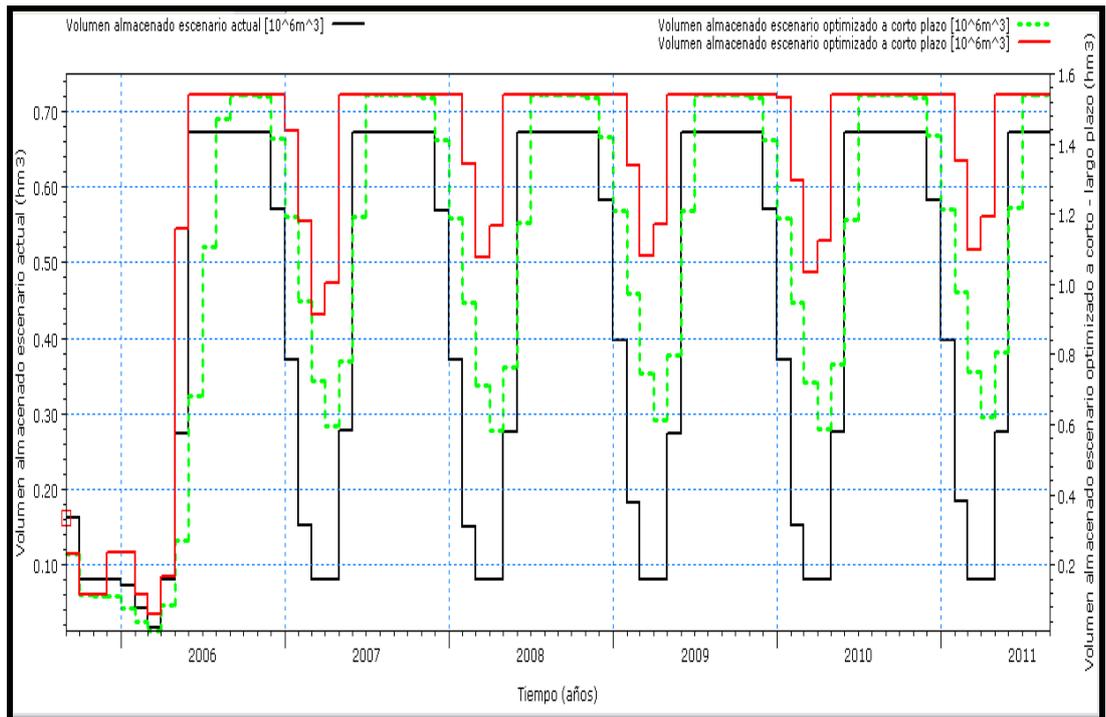


Figura N° 6.136. Volumen almacenado mensual embalse Ibarreta  
(escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo)

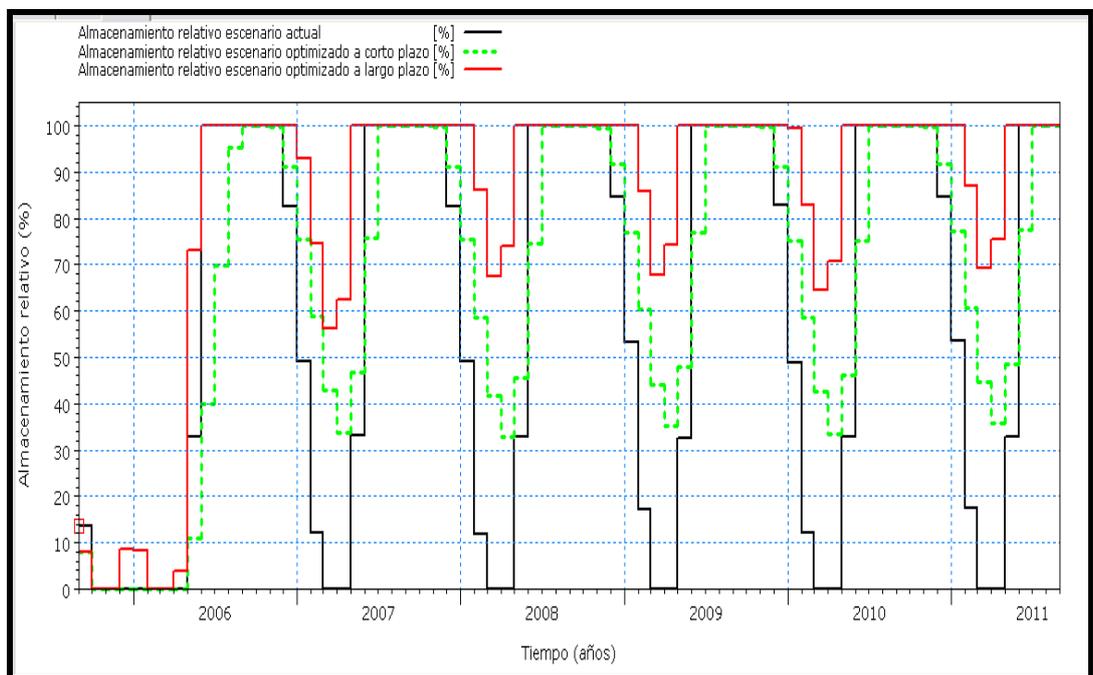


Figura N° 6.137. Almacenamiento relativo, mensual, embalse Ibarreta  
(escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo)

Como se observa en las Figuras N° 6.136 y N° 6.137 el almacenamiento relativo y el volumen almacenado, mensual, aumentan con las nuevas consideraciones de escenario

optimizado a largo plazo. Para este escenario se tienen **9 meses**, de mayo a enero, con el embalse a su máxima capacidad de almacenamiento, en el escenario actual solamente **6 meses**, de junio a noviembre el embalse se mantiene a su máxima capacidad de almacenamiento, para el escenario optimizado a corto plazo durante **5 meses**, julio a noviembre, es embalse se mantiene a su máxima capacidad de almacenamiento. Para el escenario optimizado a largo plazo la capacidad del embalse nunca llegaría a ser igual a la mínima capacidad operable.

La Figura N° 6.138 representa los caudales mensuales (demanda) a distribuir desde embalse a la población de Ibarreta para el escenario actual (línea negra), escenario optimizado a corto plazo (línea verde) y escenario optimizado a largo plazo (línea roja).

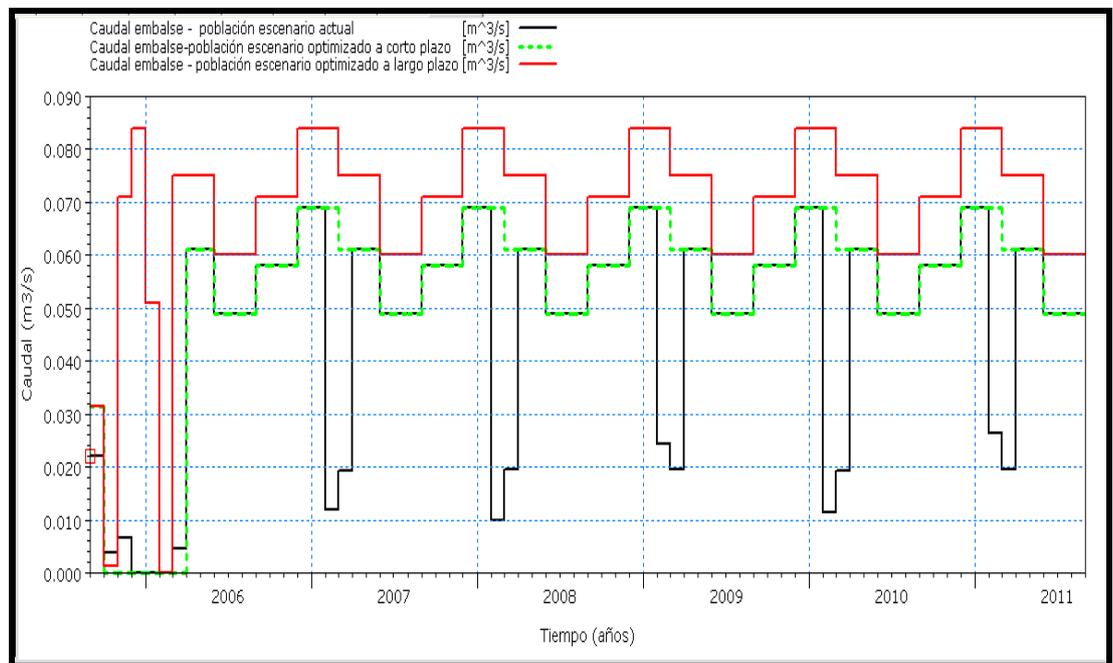


Figura N° 6.138. Caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos en la población de Ibarreta (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo)

Como se observa en la Figura N° 6.138 la demanda de la población se satisface en todos los meses desde el embalse, es decir hay suficiente agua en el canal para mantener un óptimo volumen almacenado, y las dimensiones del embalse son suficiente para satisfacer la demanda futura con un incremento de la población a **20 años**.

## Población (DHI\_ID 35)

La Figura N° 6.139 representa el déficit mensual de la demanda de la población de Ibarreta para el escenario actual (línea negra), escenario optimizado a corto plazo (línea verde) y escenario optimizado a largo plazo (línea roja).

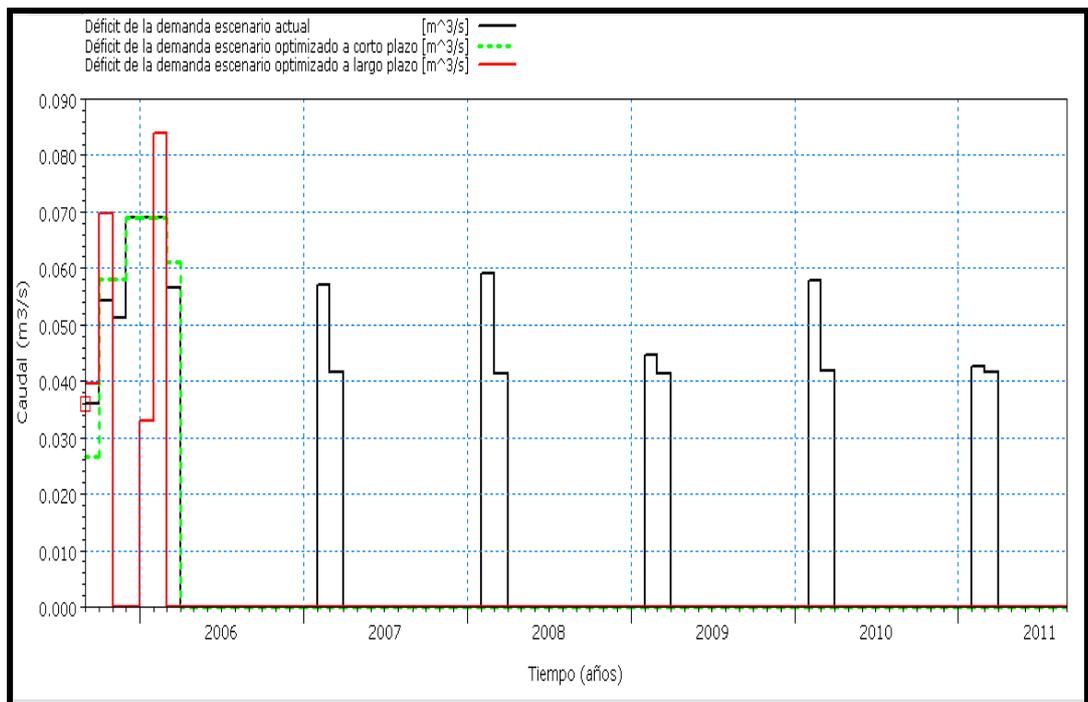


Figura N° 6.139. Déficit mensual de la demanda, Ibarreta  
(escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo)

Como se observa en la Figura N° 6.139 el déficit mensual de la demanda para el escenario optimizado a largo plazo es **cero**, es decir con los nuevos caudales obra partidora-canal Monte Lindo es suficiente para mantener un óptimo volumen almacenado, y las dimensiones del embalse son suficiente para satisfacer la demanda futura con un incremento de la población a 20 años. Los valores de déficit en los meses de enero y febrero, pueden deberse al tiempo que tarda en llenarse el embalse, ya que en el caso de Ibarreta solamente se satisface la demanda desde el embalse.

## 9-Comandante Fontana

En este elemento se mantienen las condiciones de área y volumen de almacenamiento del embalse como en el escenario optimizado a corto plazo. Se calcula para el escenario optimizado a largo plazo el almacenamiento relativo y volumen almacenado del embalse.

También se calcula teniendo en cuenta un incremento de la población a 20 años el caudal a distribuir desde el embalse a la población, y el déficit de la demanda.

Al igual que las localidades anteriores se mantiene el canal de conexión riacho Monte Lindo – planta de agua potable.

### Embalse (DHI\_ID 37)

La Figura N° 6.140 representa la curva nivel – área - volumen del embalse Comandante Fontana para el escenario optimizado.

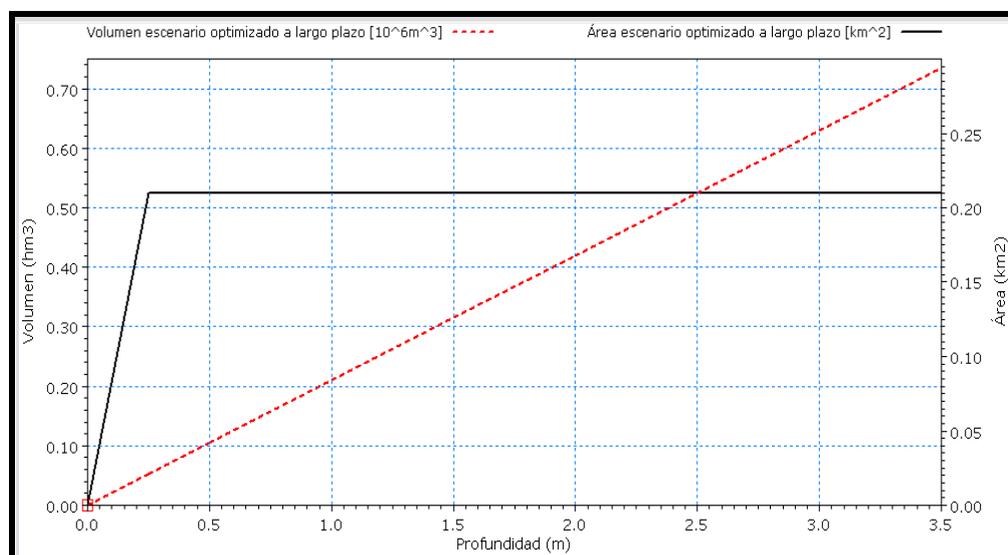


Figura N° 6.140. Curva nivel – área - volumen embalse Comandante Fontana (escenario optimizado a largo plazo)

La Figura N° 6.141 representa los hidrogramas de los caudales diarios que salen desde embalse Ibarreta (línea negra) y los caudales diarios que llegan al embalse Comandante Fontana (línea roja), para el escenario optimizado a largo plazo.

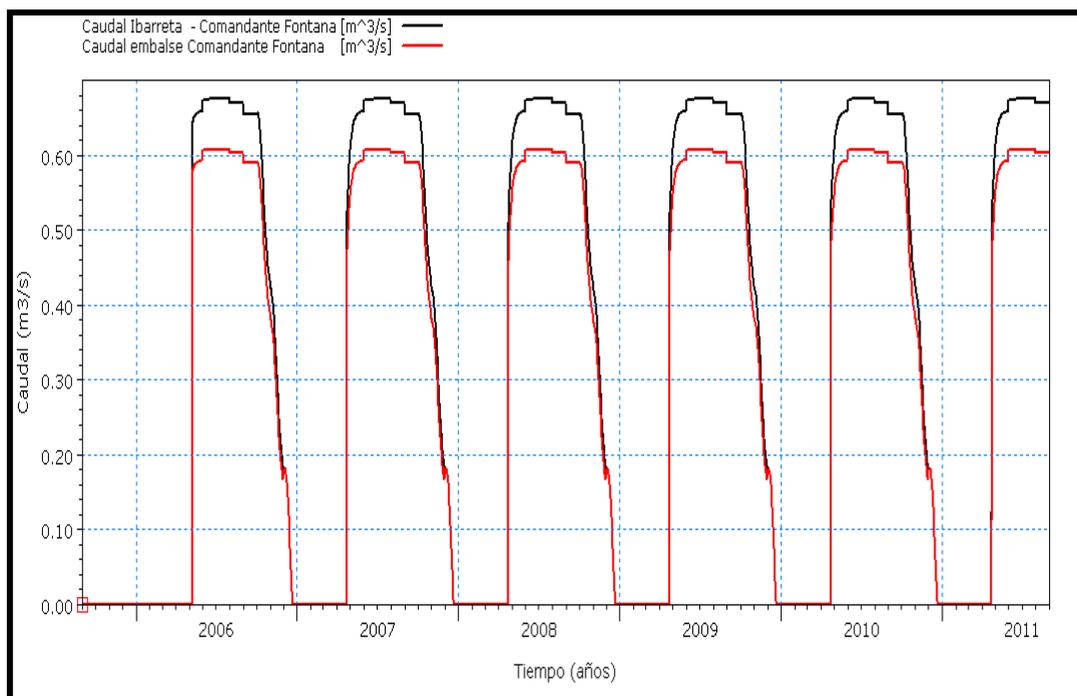


Figura N° 6.141. Caudales diarios Ibarreta - Comandante Fontana - caudales diarios Comandante Fontana (embalse) (escenario optimizado a largo plazo)

Con las consideraciones mencionadas anteriormente se tiene:

Coefficiente de eficiencia  $E_f$ , de Nash-Sutcliffe (1970), de **0,97**.

Error relativo de volumen  $E_{rv}$ = **-10,8%**. Volumen de entrada (salida embalse Ibarreta) = **65 hm<sup>3</sup>**. Volumen de salida (llega a embalse Comandante Fontana)= **58 hm<sup>3</sup>**.

Error relativo de caudal máximo  $E_{rQM}$ = **-9%**. Caudal máximo (salida embalse Ibarreta)= **0,67 m<sup>3</sup>/s**. Caudal máximo (llega embalse Comandante Fontana)= **0,61 m<sup>3</sup>/s**.

Las Tablas N° 6.51 y N° 6.52 muestran los valores mínimos, medios, promedios, máximos y desvío estándar de los caudales diarios que salen del embalse Ibarreta hacia el embalse Comandante Fontana (a través del canal Ibarreta-Comandante Fontana) y los caudales diarios que llegan al embalse Comandante Fontana, respectivamente, para el escenario optimizado a largo plazo.

Tabla N° 6.51. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios salida embalse Ibarreta (m<sup>3</sup>/s)

ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
45950	Caudal Ibarreta - Comand...	0	0.3426601	0.3426566	0.6748013	0.30907	1

Tabla N° 6.52. Valores mínimo, medio, promedio, máximo y desvío estándar caudales diarios que llegan al embalse Comandante Fontana (m<sup>3</sup>/s)

ID	Name	Min	Mean	Average	Max	Std. Dev.	Missing
45969	Caudal embalse Comanda...	0	0.308982	0.3089783	0.6073212	0.277814	1

La Figura N° 6.142 representa el volumen almacenado mensual del embalse Comandante Fontana para el escenario actual (línea negra), escenario optimizado a corto plazo (línea verde) y escenario optimizado a largo plazo (línea roja).

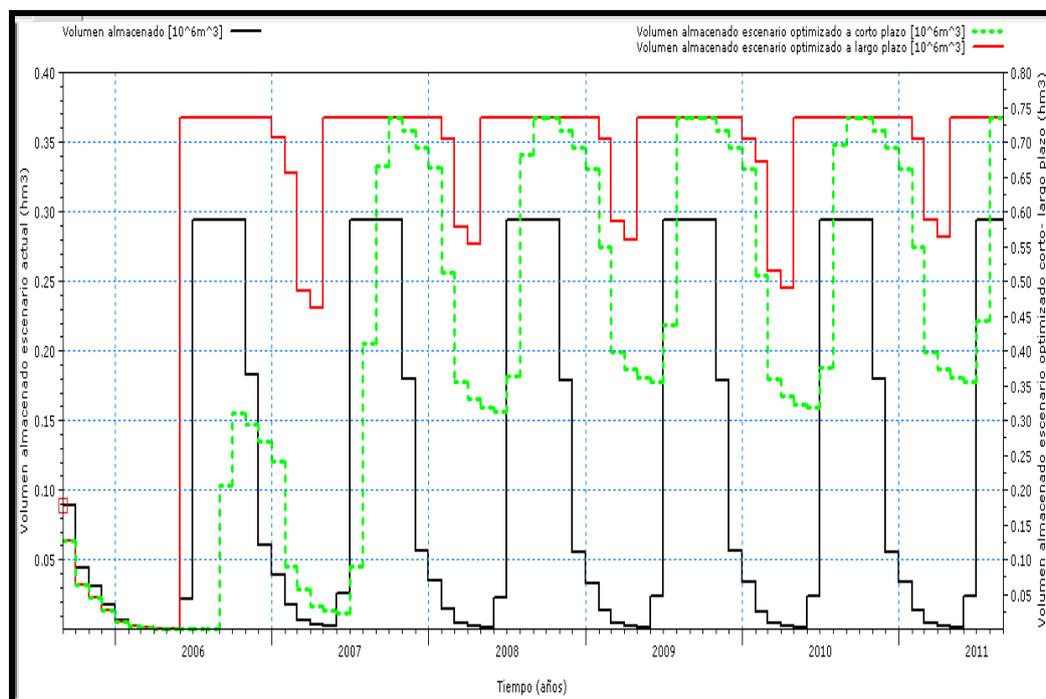


Figura N° 6.142. Volumen almacenado, mensual, embalse Comandante Fontana (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo)

La Figura N° 6.143 representa el almacenamiento relativo mensual del embalse Comandante Fontana para el escenario actual (línea negra), escenario optimizado a corto plazo (línea verde) y escenario optimizado a largo plazo (línea roja).

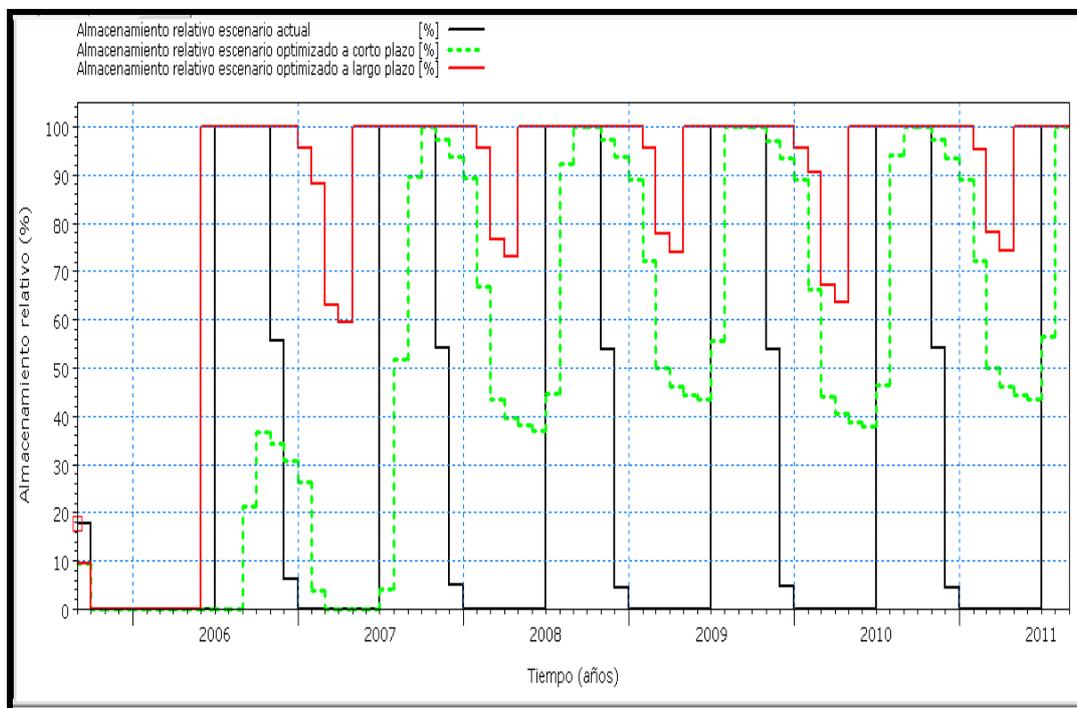


Figura N° 6.143. Almacenamiento relativo, mensual, embalse Comandante Fontana (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo)

Como se observa en las Figuras N° 6.142 y N° 6.143 el almacenamiento relativo y el volumen almacenado, mensual, aumentan con las nuevas consideraciones de escenario optimizado a largo plazo. Para este escenario se tienen **9 meses**, de mayo a enero, con el embalse a su máxima capacidad de almacenamiento, en el escenario actual solamente **4 meses**, de julio a octubre el embalse se mantiene a su máxima capacidad de almacenamiento, en el escenario optimizado a corto plazo solamente **2 meses**, septiembre a octubre, el embalse se mantiene a su máxima capacidad de almacenamiento. Para el escenario optimizado a largo plazo la capacidad del embalse nunca llegaría a ser igual a la mínima capacidad operable.

### **Población (DHI\_ID 46)**

La Figura N° 6.144 representa los caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos desde el embalse a la población de Comandante Fontana para el escenario actual (línea

negra), escenario optimizado a corto plazo (línea verde) y escenario optimizado a largo plazo (línea roja).

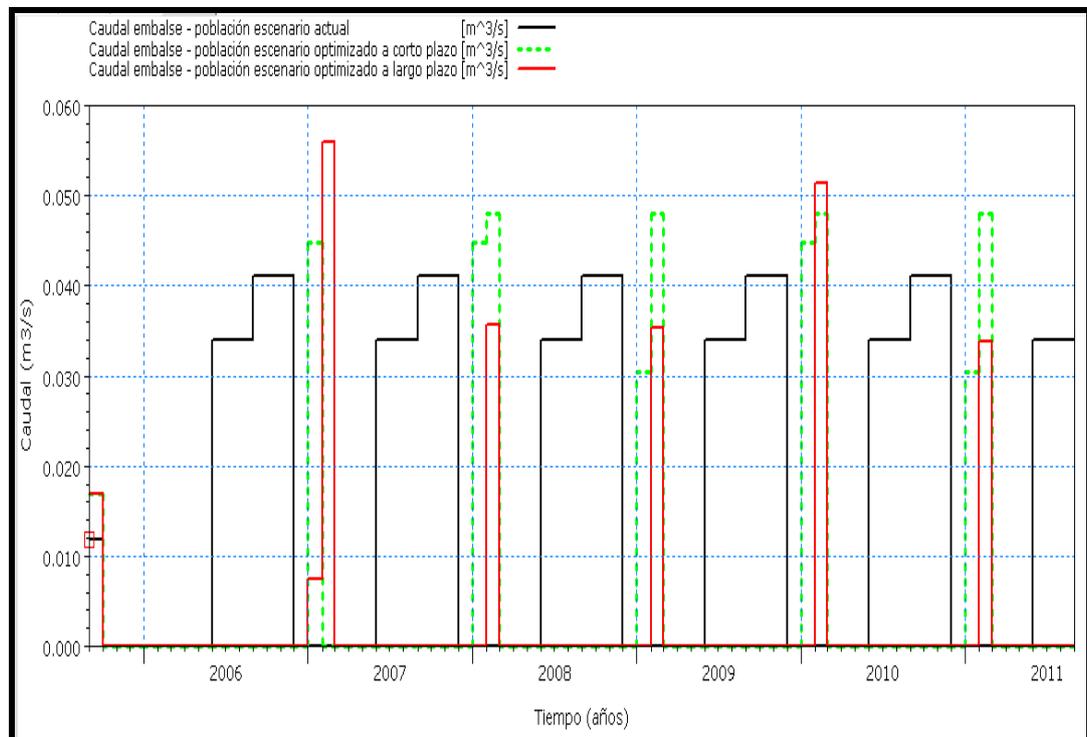


Figura N° 6.144. Caudales mensuales (demanda) a ser distribuidos en la población de Comandante Fontana (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo)

Como se observa en la Figura N° 6.144 la demanda de la población, a diferencia del escenario optimizado a corto plazo, se satisface desde marzo a enero con el agua del canal riacho Monte Lindo – planta de agua potable y en febrero con el agua del embalse, es decir hay suficiente agua en el canal para mantener un óptimo volumen almacenado, y las dimensiones del embalse son suficiente para satisfacer la demanda futura con un incremento de la población a **20 años**.

La Figura N° 6.145 representa el déficit mensual de la demanda de la población de Comandante Fontana para el escenario actual (línea negra), escenario optimizado a corto plazo (línea verde) y escenario optimizado a largo plazo (línea roja).

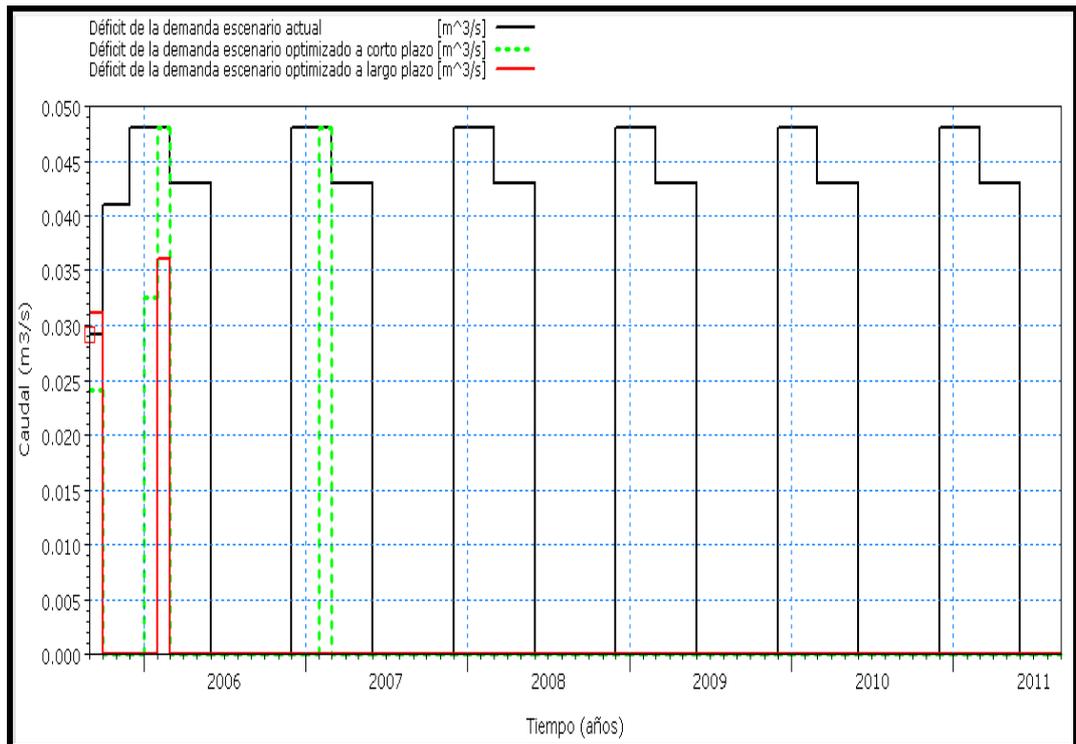


Figura N° 6.145. Déficit, mensual, de la demanda Comandante Fontana (escenario actual - escenario optimizado a corto y largo plazo)

Como se observa en la Figura N° 6.145 el déficit mensual de la demanda para el escenario optimizado a largo plazo es **cero**, es decir con los nuevos caudales obra partidora-canal Monte Lindo es suficiente para mantener un óptimo volumen almacenado, y las dimensiones del embalse son suficiente para satisfacer la demanda futura con un incremento de la población a **20 años**. Los valores de déficit en el mes de febrero, puede deberse al tiempo que tarda en llenarse el embalse.

Las Figuras N° 6.146 y N° 6.147 muestran el mapa de la demanda máxima de la población y el mapa del déficit de la demanda, respectivamente, para el escenario actual.

Las Figuras N° 6.148 y N° 6.149 muestran el mapa de la demanda máxima de la población y el mapa del déficit de la demanda, respectivamente, para el escenario optimizado a largo plazo.

**Como se observan en las Figuras N° 6.148 y N° 6.149, si bien aparecen caudales de déficit, hay que recordar que con las medidas adoptadas para el escenario optimizado a largo plazo, ese déficit solamente corresponde al mes de inicio de simulación, es decir hasta que llega agua al embalse de cada localidad y empieza a operar.**

**No ocurre lo mismo en el escenario actual, donde en algunas localidades existe déficit crítico es decir el déficit es igual a la demanda de la población, sobre todo en los meses de diciembre a enero, meses en que el Embalse RP N° 28 tampoco tiene la suficiente cantidad de agua para distribuir.**

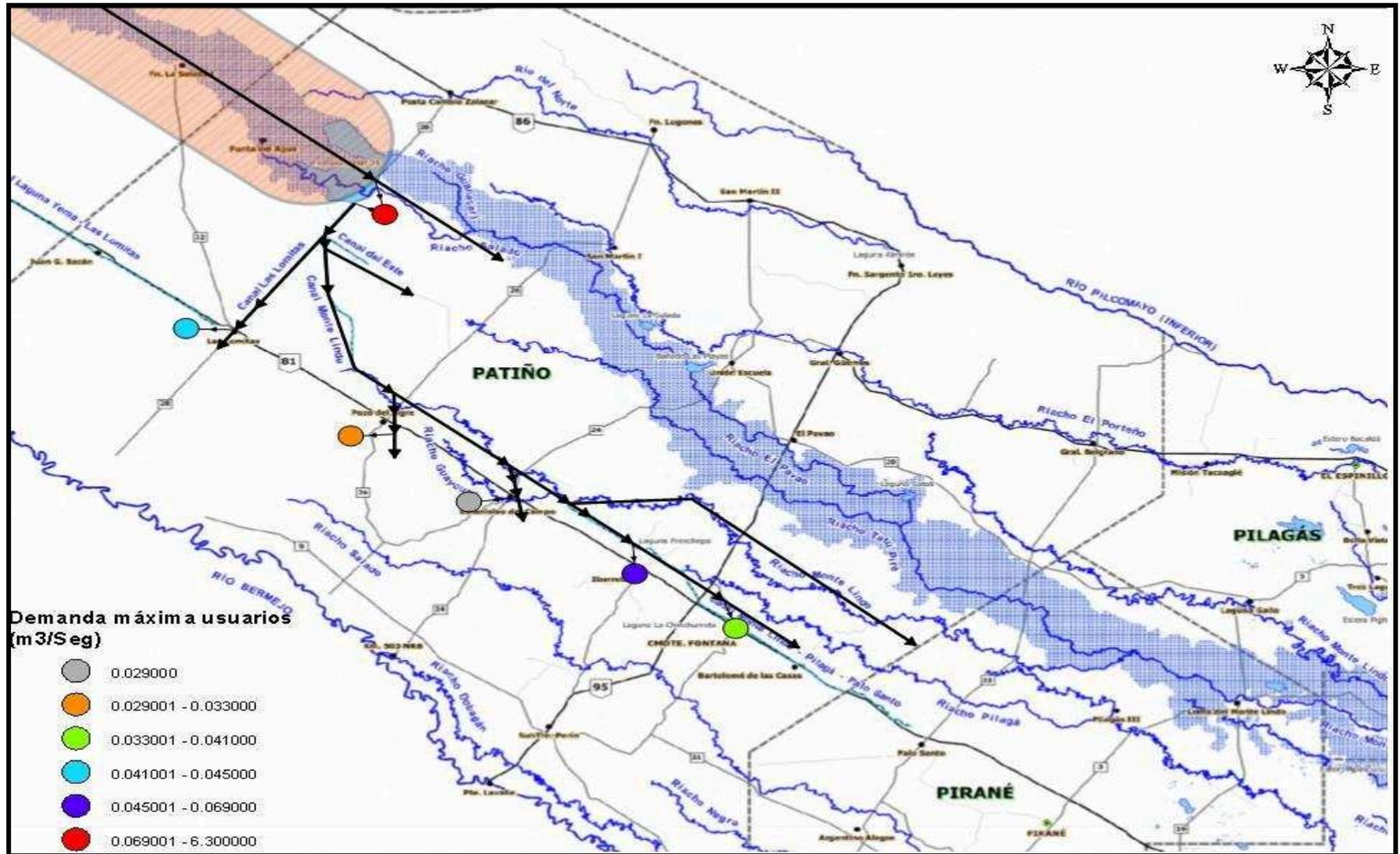


Figura N° 6.146. Mapa de demanda máxima de la población escenario actual

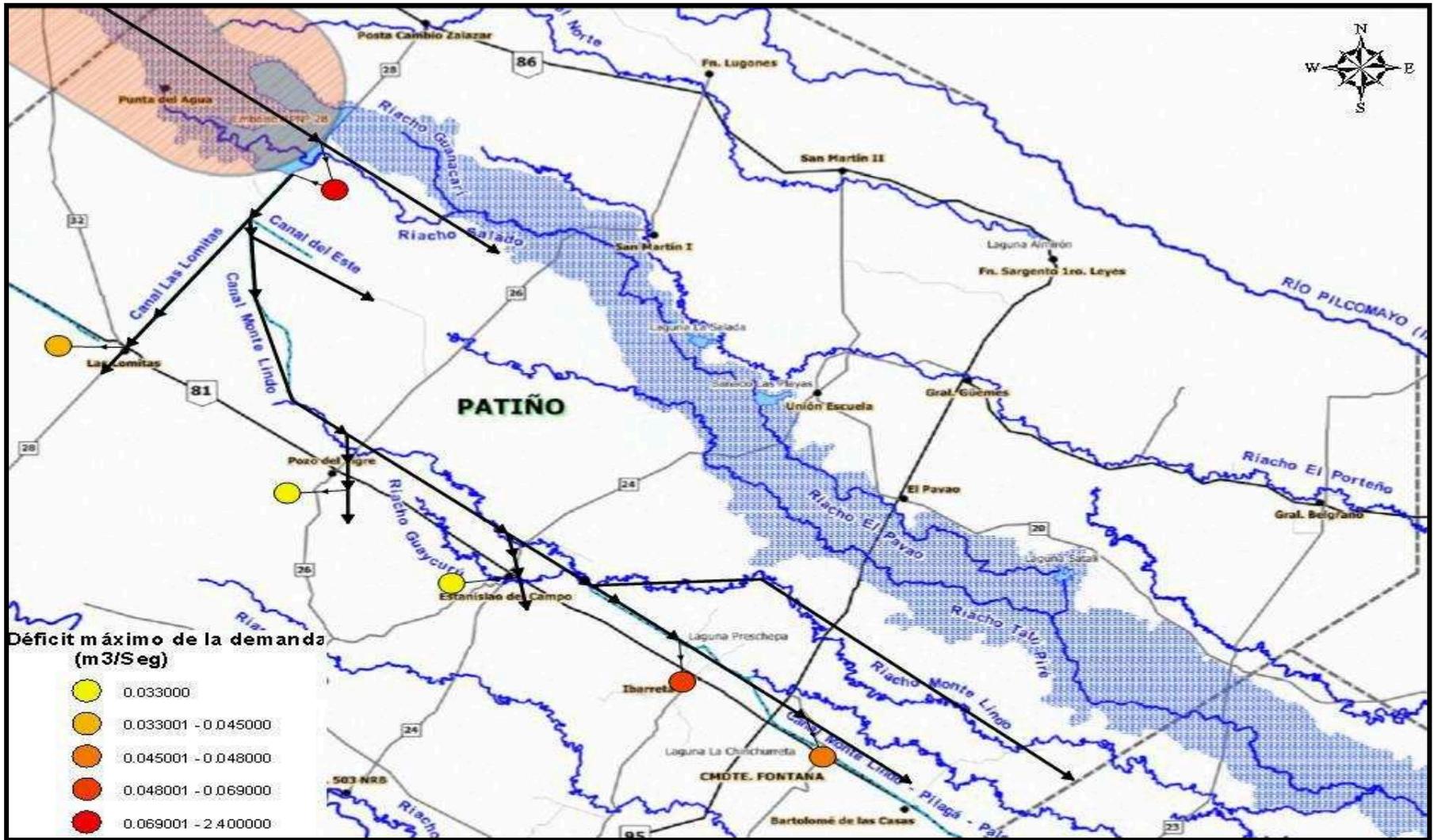


Figura N° 6.147. Mapa de déficit máximo de la demanda escenario actual

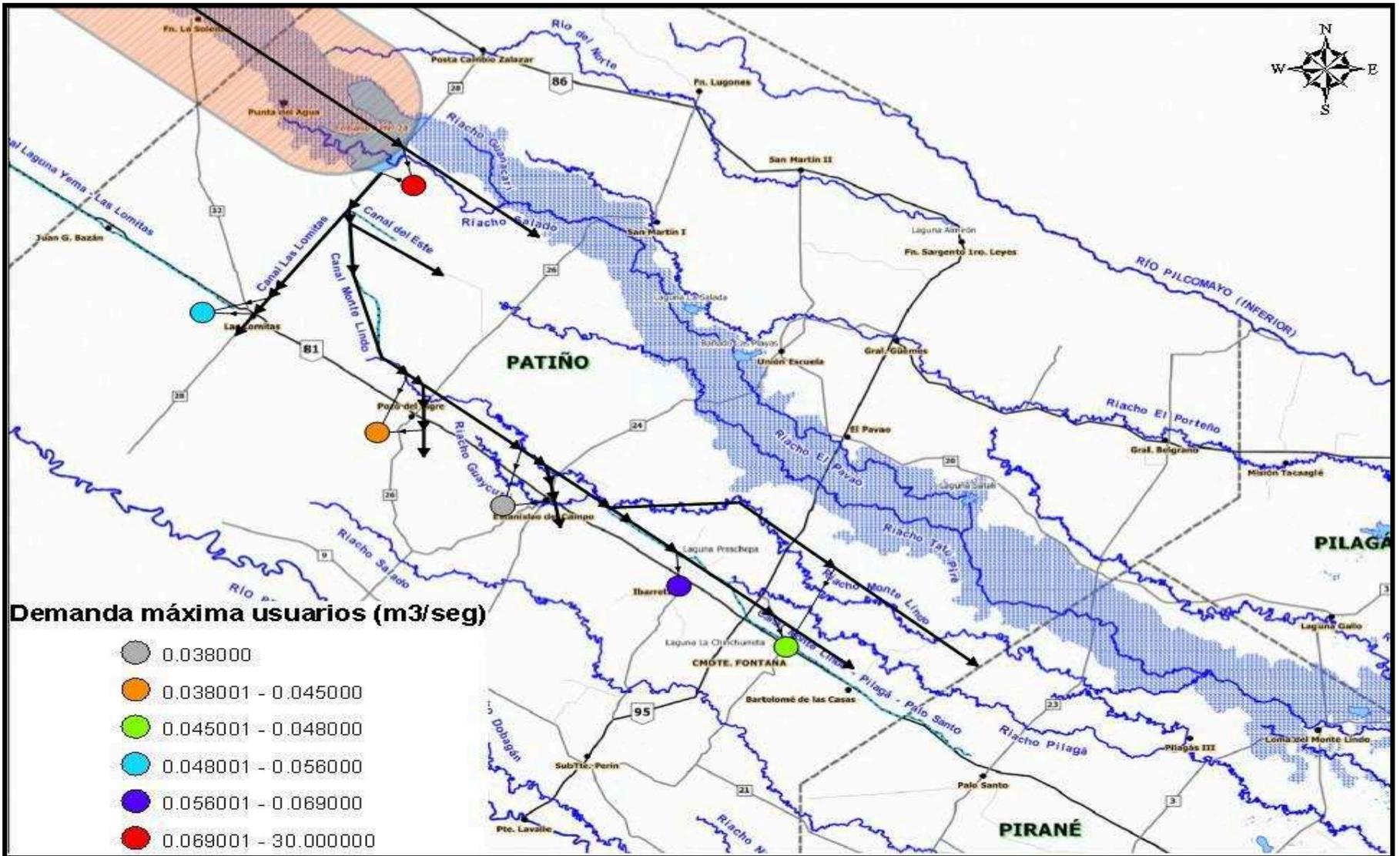


Figura N° 6.148. Mapa de demanda máxima de la población escenario optimizado a largo plazo

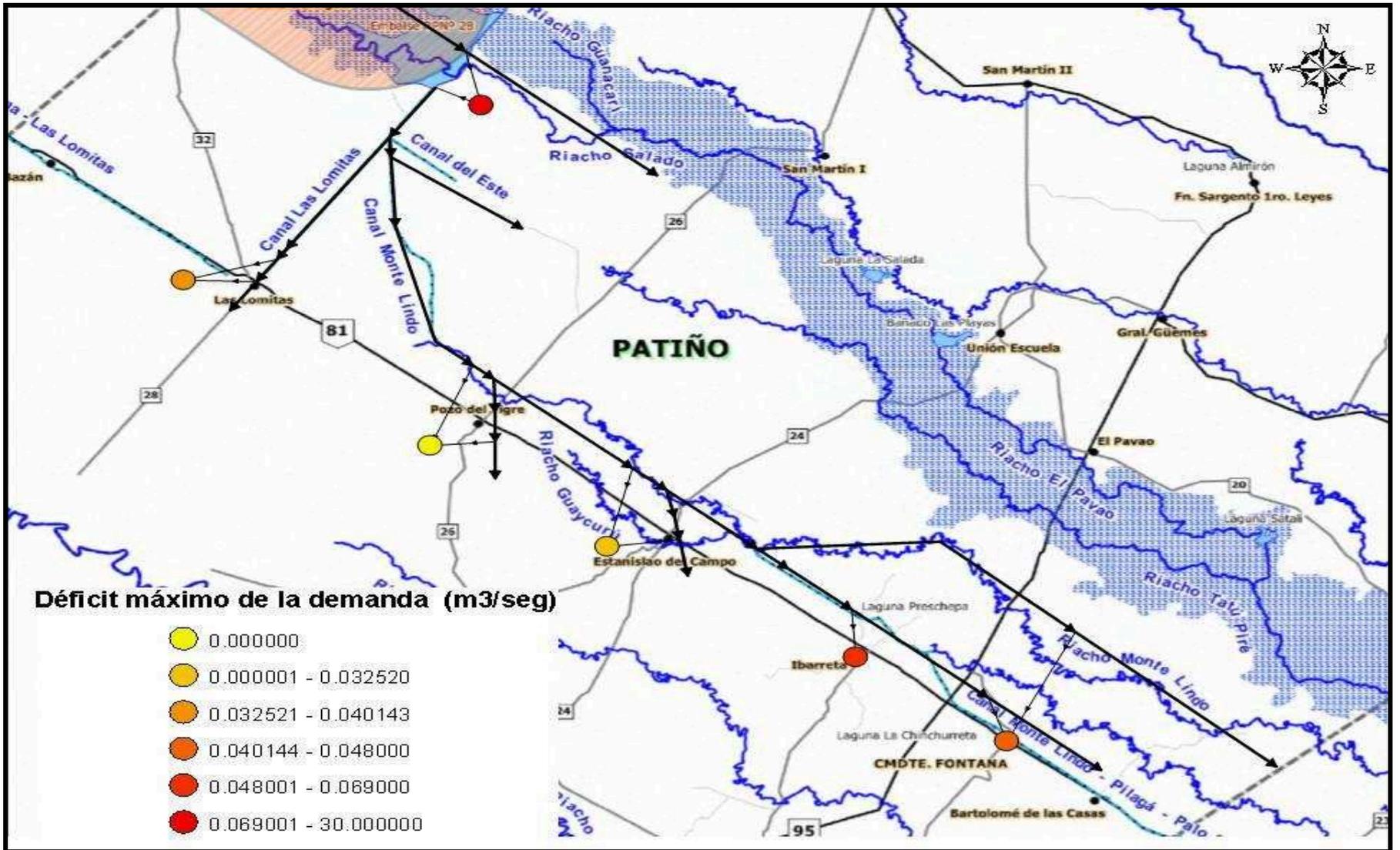


Figura N° 6.149. Mapa de déficit máximo de la demanda escenario optimizado a largo plazo

## CAPÍTULO 7: RESULTADOS DEL MODELO

Los principales resultados a los que se arriba en el desarrollo de la Tesis son presentados en este capítulo a modo de resumen y con una visión netamente práctica, en el sentido de sintetizar lo realizado lo realizado en la Tesis, pero su correcta comprensión se logra previa lectura del documento total.

La planificación de los recursos hídricos requiere siempre evaluar resultados y el planteo de varios escenarios posibles es una herramienta fundamental para ello.

La comparación, para cada obra y elemento modelado, entre los tres escenarios planteados permite identificar cual es la mejor alternativa a adoptar para la optimización de los recursos hídricos del bañado La Estrella en la provincia de Formosa.

A continuación se presentan las Tablas N° 7.1 a N° 7.13, donde se resumen los escenarios analizados para las obras y elementos modelados y esquematizados en la Figura N° 4.3. Esquema de funcionamiento bañado La Estrella.

La Tabla N° 7.1 muestra los resultados de la cuenca de aporte para los tres escenarios analizados.

Tabla N° 7.1. Cuenca de aporte

	Escenario actual	Escenario optimizado a corto plazo	Escenario optimizado a largo plazo
Tiempo de tránsito del hidrograma	2 días (desde Misión La Paz hasta Embocadura)	Ídem escenario actual	Ídem escenario actual
Coefficiente de eficiencia ( $E_f$ )	0,98	Ídem escenario actual	Ídem escenario actual
Volumen Misión La Paz	47.102 hm <sup>3</sup>	Ídem escenario actual	Ídem escenario actual
Volumen Embocadura	41.555 hm <sup>3</sup>	Ídem escenario actual	Ídem escenario actual

Error relativo de volumen ( $E_{rV}$ )	-12%	Ídem escenario actual	Ídem escenario actual
Caudal máximo Misión La Paz	2.850 m <sup>3</sup> /s	Ídem escenario actual	Ídem escenario actual
Caudal máximo Embocadura	1.775 m <sup>3</sup> /s	Ídem escenario actual	Ídem escenario actual
Error relativo de caudal máximo ( $E_{rQM}$ )	-38%	Ídem escenario actual	Ídem escenario actual
Duración de caudales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10% del tiempo caudales mayores a 500 m<sup>3</sup>/s.</li> <li>• 50% del tiempo caudales menores a 100 m<sup>3</sup>/s.</li> </ul>	Ídem escenario actual	Ídem escenario actual

La Tabla N° 7.2 muestra los resultados de Embocadura: distribución de caudales Argentina - Paraguay para los tres escenarios analizados.

Tabla N° 7.2. Embocadura

	Escenario actual	Escenario optimizado a corto plazo	Escenario optimizado a largo plazo
Porcentaje de distribución de caudales	Argentina = 70% Paraguay = 30%	Ídem escenario actual	Ídem escenario actual
Duración de caudales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 10% del tiempo caudales mayores a 400 m<sup>3</sup>/s.</li> <li>• 50% del tiempo caudales menores a 100 m<sup>3</sup>/s.</li> </ul>	Ídem escenario actual	Ídem escenario actual

La Tabla N° 7.3 muestra los resultados del tramo Embocadura – Embalse RP N° 28 para los tres escenarios analizados.

Tabla N° 7.3. Tramo Embocadura – Embalse RP N° 28

	Escenario actual	Escenario optimizado a corto plazo	Escenario optimizado a largo plazo
Transformación lluvia - caudal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo HEC-HMS.</li> <li>• Superficie 8.711 km<sup>2</sup>. Subdivisión en 7 subcuencas.</li> <li>• Cálculo CN.</li> <li>• Tiempo de concentración y de retardo, método de Johnstone-Cross.</li> <li>• Se considera que el 20% del caudal generado por las precipitaciones se propaga con los caudales que ingresan a Argentina.</li> <li>• El 80% de caudal restante, incide directamente en el Embalse RP N° 28 por proximidad de las estaciones al mismo.</li> </ul>	Ídem escenario actual	Ídem escenario actual
Tiempo de tránsito del hidrograma	75 días (desde Embocadura hasta Embalse RP N° 28)	Ídem escenario actual	Ídem escenario actual

La Tabla N° 7.4 muestra los resultados del Embalse RP N° 28 para los tres escenarios analizados.

Tabla N° 7.4. Embalse RP N° 28

	Escenario actual	Escenario optimizado a corto plazo	Escenario optimizado a largo plazo
Infiltración	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor incidencia desde noviembre hasta fines de enero.</li> <li>• Valores de pérdidas de infiltración calculados con el modelo HEC-HMS. &lt;8 mm/h (suelo arcilloso) hasta 25 mm/h (suelo muy arenoso).</li> </ul>	Ídem escenario actual	Ídem escenario actual
Evapotranspiración	Mayor incidencia segunda mitad del mes de febrero hasta septiembre, meses de recarga del bañado La Estrella con caudales provenientes de Embocadura.	Ídem escenario actual	Ídem escenario actual
Usuarios aguas abajo Embalse RP N° 28	Cálculo de la demanda. Fórmula de Manning.	Ídem escenario actual	Demanda en función de la capacidad de conducción del canal Monte Lindo
Vertedero	Curva H-Q. Cálculo caudales diarios que pasan por vertedero.	Ídem escenario actual	Ídem escenario actual
Coefficiente de eficiencia ( $E_f$ )	0,97	Ídem escenario actual	0,89

Volumen Embalse RP N° 28	40.887 hm <sup>3</sup>	Ídem escenario actual	40.887 hm <sup>3</sup>
Volumen que pasa por vertedero	29.248 hm <sup>3</sup>	Ídem escenario actual	27.109 hm <sup>3</sup>
Error relativo de volumen (E <sub>rV</sub> )	-28,50%	Ídem escenario actual	-34%
Caudal máximo calculado sobre vertedero	1.296 m <sup>3</sup> /s	Ídem escenario actual	1.296 m <sup>3</sup> /s
Caudal máximo simulado sobre vertedero	1.370 m <sup>3</sup> /s	Ídem escenario actual	1.362 m <sup>3</sup> /s
Error relativo de caudal máximo (E <sub>rQM</sub> )	5,70%	Ídem escenario actual	5,10%
Máxima capacidad de almacenamiento (fecha)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Modelo= 23-01-2006.</li> <li>•Valiente et al. (2009)= segunda quincena del mes de febrero</li> <li>•Diferencia de 15 a 25 días.</li> </ul>	Ídem escenario actual	Ídem escenario actual
Porcentaje de volumen utilizado	Solamente el 2,5% del volumen total del embalse es utilizado para abastecer a las localidades a través del canal Las Lomitas, canal y riacho Monte Lindo.	Ídem escenario actual	Solamente el 8% del volumen total del embalse se utilizará para abastecer a las localidades a través del canal Las Lomitas, canal y riacho Monte Lindo.

La Tabla N° 7.5 muestra los resultados de la obra partidora para los tres escenarios analizados.

Tabla N° 7.5. Obra partidora

	Escenario actual	Escenario optimizado a corto plazo	Escenario optimizado a largo plazo
Tiempo de tránsito del hidrograma	10 días (desde Embalse RP N° 28 hasta la obra partidora)	Ídem escenario actual	5 días (desde Embalse RP N° 28 hasta la obra partidora)
Volumen progresiva 35,500 km (inicio canal Embalse RP N° 28 – obra partidora)	756 hm <sup>3</sup>	Ídem escenario actual	3.347 hm <sup>3</sup>
Volumen obra partidora	713 hm <sup>3</sup>	Ídem escenario actual	3.169 hm <sup>3</sup>
Error relativo de volumen ( $E_{rV}$ )	-5,70%	Ídem escenario actual	-5,32%
Caudal máximo progresiva 35,500 km (inicio canal Embalse RP N° 28 – obra partidora)	11,1 m <sup>3</sup> /s	Ídem escenario actual	30 m <sup>3</sup> /s
Caudal obra partidora	10,14 m <sup>3</sup> /s	Ídem escenario actual	28,5 m <sup>3</sup> /s
Error relativo de caudal máximo ( $E_{rQM}$ )	-8,70%	Ídem escenario actual	-5%
Porcentaje de distribución de caudales	Canal Monte Lindo= 70% Canal del Este= 28% Canal Las Lomitas= 2%	Ídem escenario actual	Canal Monte Lindo= 70% Canal del Este= 25% Canal Las Lomitas= 5%

La Tabla N° 7.6 muestra las medidas (estructurales y no estructurales) propuestas para los escenarios optimizados a corto y largo plazo

Tabla N° 7.6. Medidas (estructurales y no estructurales) propuestas

Medidas	Localización	Escenario optimizado a corto plazo	Escenario optimizado a largo plazo
Estructurales	Las Lomitas	Canal de conexión canal Las Lomitas – planta de agua potable	Se mantiene el canal de conexión y se incrementan las dimensiones del embalse
	Pozo del Tigre	Canal de conexión riacho Monte Lindo – planta de agua potable	Ídem escenario optimizado a corto plazo
	Estanislao del Campo	Canal de conexión riacho Monte Lindo – planta de agua potable	Se mantiene el canal de conexión y se incrementan las dimensiones del embalse
	Ibarreta	En el año 2011 se incrementó la capacidad de almacenamiento del embalse, con estas medidas se satisface la demanda	Ídem escenario optimizado a corto plazo
	Comandante Fontana	Canal de conexión riacho Monte Lindo – planta de agua potable	Ídem escenario optimizado a corto plazo
	Canal derivador sur – Monte Lindo – Las Lomitas		Modificación de sección, pendiente. En el canal Monte Lindo reemplazo de obras de arte existente

No estructurales			<p>Aplicación del Código de Aguas.</p> <p>Cumplimiento de las leyes de dominio público en el bañado La Estrella.</p> <p>Incremento de la población a 20 años en todas las localidades.</p>
------------------	--	--	--

La Tabla N° 7.7 muestra los resultados del canal Las Lomitas para los tres escenarios analizados.

Tabla N° 7.7. Canal Las Lomitas

	Escenario actual	Escenario optimizado a corto plazo	Escenario optimizado a largo plazo
Tiempo de tránsito del hidrograma	15 días (desde obra partidora al embalse Las Lomitas)	Ídem escenario actual	4 días (desde obra partidora al embalse Las Lomitas)
Volumen obra partidora – canal Las Lomitas	14,3 hm <sup>3</sup>	Ídem escenario actual	158 hm <sup>3</sup>
Volumen Las Lomitas	13,4 hm <sup>3</sup>	Ídem escenario actual	150 hm <sup>3</sup>
Error relativo de volumen (E <sub>rV</sub> )	-6,30%	Ídem escenario actual	-5,10%
Caudal máximo obra partidora-canal Las Lomitas	0,20 m <sup>3</sup> /s	Ídem escenario actual	1,40 m <sup>3</sup> /s
Caudal máximo embalse Las Lomitas	0,17 m <sup>3</sup> /s	Ídem escenario actual	1,35 m <sup>3</sup> /s
Error relativo de caudal máximo (E <sub>rQM</sub> )	-15%	Ídem escenario actual	-3,60%

La Tabla N° 7.8 muestra los resultados de la localidad de Las Lomitas para los tres escenarios analizados.

Tabla N° 7.8. Las Lomitas

	Escenario actual	Escenario optimizado a corto plazo	Escenario optimizado a largo plazo
Embalse	Capacidad máxima de almacenamiento = 0,206 hm <sup>3</sup>	Ídem escenario actual	Capacidad máxima de almacenamiento = 0,893 hm <sup>3</sup>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De junio a noviembre trabaja al 100% de su capacidad máxima de almacenamiento.</li> <li>• El almacenamiento disminuye a partir de diciembre hasta mediados de abril. Desde febrero a fines de marzo es 0%.</li> <li>• A partir del mes de abril se reinicia la recarga al embalse.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La conexión canal Las Lomitas-planta de agua potable y la capacidad del embalse no son suficientes para abastecer a la población.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De abril a diciembre trabaja al 100% de su capacidad máxima de almacenamiento.</li> <li>• La capacidad del embalse nunca llegaría a ser igual a la mínima capacidad operable.</li> <li>• Durante la segunda mitad del mes de diciembre hasta finales de febrero se abastece a la población con agua del embalse. El resto del año se abastece a la población con el agua canal Las Lomitas-planta de agua potable.</li> </ul>
Población	Déficit de la demanda o meses más críticos desde enero a marzo.	Déficit de la demanda o meses más críticos desde enero a marzo	No existe déficit de la demanda.

La Tabla N° 7.9 muestra los resultados de obra partidora-canal Monte Lindo- toma Pozo del Tigre para los tres escenarios analizados.

Tabla N° 7.9. Obra partidora-canal Monte Lindo-toma Pozo del Tigre

	Escenario actual	Escenario optimizado a corto plazo	Escenario optimizado a largo plazo
Tiempo de tránsito del hidrograma	4 días (desde obra partidora hasta la toma de Pozo del Tigre)	Ídem escenario actual	2 días (desde obra partidora hasta la toma de Pozo del Tigre)
Volumen obra partidora – canal Monte Lindo	489 hm <sup>3</sup>	Ídem escenario actual	2.107 hm <sup>3</sup>
Volumen toma Pozo del Tigre	463 hm <sup>3</sup>	Ídem escenario actual	1.994 hm <sup>3</sup>
Error relativo de volumen ( $E_{rV}$ )	-5,30%	Ídem escenario actual	-5,40%
Caudal máximo obra partidora-toma Pozo del Tigre	6,96 m <sup>3</sup> /s	Ídem escenario actual	18,95 m <sup>3</sup> /s
Caudal máximo toma de Pozo del Tigre	6,48 m <sup>3</sup> /s	Ídem escenario actual	17,97 m <sup>3</sup> /s
Error relativo de caudal máximo ( $E_{rQM}$ )	-6,90%	Ídem escenario actual	-5,20%

La Tabla N° 7.10 muestra los resultados de la localidad de Pozo del Tigre para los tres escenarios analizados.

Tabla N° 7.10. Pozo del Tigre

	Escenario actual	Escenario optimizado a corto plazo	Escenario optimizado a largo plazo
Embalse	Capacidad máxima de almacenamiento = 0,35 hm <sup>3</sup>	Ídem escenario actual	Ídem escenario actual
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De junio a octubre trabaja al 100% de su capacidad máxima de almacenamiento.</li> <li>• El almacenamiento disminuye a partir de noviembre hasta mediados de abril. Siendo los meses más críticos febrero y marzo, en este último mes el almacenamiento es 0%.</li> <li>• A partir del mes de abril se reinicia la recarga al embalse.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De junio a diciembre trabaja al 100% de su máxima capacidad de almacenamiento.</li> <li>• La capacidad del embalse nunca llegaría a ser igual a la mínima capacidad operable.</li> <li>• Durante los meses de enero y febrero se abastece a la población con agua del embalse. El resto del año la población se abastece directamente con agua del riacho Monte Lindo a través del canal de conexión riacho Monte Lindo-planta de agua potable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De abril a diciembre trabaja al 100% de su capacidad máxima de almacenamiento.</li> <li>• Durante los meses de enero y febrero se abastece a la población con agua del embalse. El resto del año la población se abastece directamente con agua del riacho Monte Lindo a través del canal de conexión riacho Monte Lindo –planta de agua potable.</li> </ul>
Población	Déficit de la demanda o meses más críticos desde febrero a marzo.	No existe déficit de la demanda o meses críticos.	No existe déficit de la demanda o meses críticos.

La Tabla N° 7.11 muestra los resultados de la localidad de Estanislao del Campo para los tres escenarios analizados.

Tabla N° 7.11. Estanislao del Campo

	Escenario actual	Escenario optimizado a corto plazo	Escenario optimizado a largo plazo
Tiempo de tránsito del hidrograma	4 días (desde Pozo del Tigre hasta la toma de Estanislao del Campo)	Ídem escenario actual	Ídem escenario actual
Coefficiente de eficiencia ( $E_f$ )	0,98	No se modeló	0,98
Volumen Pozo del Tigre	452 hm <sup>3</sup>	No se modeló	1.954 hm <sup>3</sup>
Volumen toma Estanislao del Campo	430 hm <sup>3</sup>	No se modeló	1.847 hm <sup>3</sup>
Error relativo de volumen ( $E_{rV}$ )	-5,30%	No se modeló	-5,50%
Caudal máximo Pozo del Tigre	6,36 m <sup>3</sup> /s	No se modeló	17,61 m <sup>3</sup> /s
Caudal máximo toma Estanislao del Campo	5,95 m <sup>3</sup> /s	No se modeló	16,70 m <sup>3</sup> /s
Error relativo de caudal máximo ( $E_{rQM}$ )	-6,40%	No se modeló	-5,20%
Embalse	Capacidad máxima de almacenamiento = 0,049 hm <sup>3</sup>	Capacidad máxima de almacenamiento = 0,102 hm <sup>3</sup>	Capacidad máxima de almacenamiento = 0,253 hm <sup>3</sup>
	• De mayo a octubre trabaja al 100% de su capacidad máxima de	• Las nuevas dimensiones del embalse y el canal de conexión riacho	• De abril a enero trabaja al 100% de su capacidad máxima de

	<p>almacenamiento.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•El almacenamiento disminuye a partir de noviembre hasta mediados de abril siendo los meses más críticos desde diciembre a mediados de abril, meses donde el almacenamiento relativo es 0%.</li> <li>•A partir del mes de abril se reinicia la recarga al embalse.</li> </ul>	<p>Monte Lindo-planta de agua potable no satisfacen la demanda.</p>	<p>almacenamiento.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La capacidad del embalse nunca llegaría a ser igual a la mínima capacidad operable.</li> <li>• Durante el mes de febrero hasta los primeros días de marzo se abastece a la población con agua del embalse. El resto del año la población se abastece directamente con agua del riacho Monte Lindo a través del canal de conexión riacho Monte Lindo-planta de agua potable.</li> </ul>
Población	Déficit de la demanda o meses más críticos de diciembre a marzo.	Déficit de la demanda o meses más críticos de enero a marzo.	No existe déficit de la demanda o meses críticos.

La Tabla N° 7.12 muestra los resultados de la localidad de Ibarreta para los tres escenarios analizados.

Tabla N° 7.12. Ibarreta

	Escenario actual	Escenario optimizado a corto plazo	Escenario optimizado a largo plazo
Tiempo de tránsito del hidrograma	4 días (desde bifurcación riacho Monte Lindo-embalse Ibarreta)	Ídem escenario actual	Ídem escenario actual
Coefficiente de eficiencia ( $E_f$ )	0,99	No se modeló	0,97
Volumen Estanislao del Campo	422 hm <sup>3</sup>	No se modeló	1.810 hm <sup>3</sup>
Volumen bifurcación riacho Monte Lindo – canal embalse Ibarreta	400 hm <sup>3</sup>	No se modeló	1.717 hm <sup>3</sup>
Error relativo de volumen ( $E_{rv}$ )	-5,20%	No se modeló	-5,20%
Caudal máximo Estanislao del Campo	5,83 m <sup>3</sup> /s	No se modeló	16,37 m <sup>3</sup> /s
Caudal máximo bifurcación riacho Monte Lindo – canal embalse Ibarreta	5,48 m <sup>3</sup> /s	No se modeló	15,55 m <sup>3</sup> /s
Error relativo de caudal máximo ( $E_{rQM}$ )	-6%	No se modeló	-5%
Coefficiente de eficiencia ( $E_f$ )	0,97	No se modeló	0,97
Volumen bifurcación riacho Monte Lindo – canal embalse Ibarreta	20 hm <sup>3</sup>	No se modeló	86 hm <sup>3</sup>
Volumen embalse Ibarreta	19 hm <sup>3</sup>	No se modeló	81 hm <sup>3</sup>
Error relativo de volumen ( $E_{rv}$ )	-5%	No se modeló	-5,80%

Caudal máximo bifurcación riacho Monte Lindo- canal embalse Ibarreta	0,27 m <sup>3</sup> /s	No se modeló	0,78 m <sup>3</sup> /s
Caudal máximo embalse Ibarreta	0,26 m <sup>3</sup> /s	No se modeló	0,74 m <sup>3</sup> /s
Error relativo de caudal máximo (E <sub>rQM</sub> )	-3,70%	No se modeló	-5,10%
Embalse	Capacidad máxima de almacenamiento = 0,673 hm <sup>3</sup>	Capacidad máxima de almacenamiento = 1,539 hm <sup>3</sup>	Ídem escenario optimizado a corto plazo
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De junio a noviembre trabaja al 100% de su máxima capacidad de almacenamiento.</li> <li>• El almacenamiento disminuye a partir del mes de diciembre hasta mediados de abril. Siendo los meses más críticos febrero y marzo, en este último mes el almacenamiento es 0%.</li> <li>• A partir del mes de abril se reinicia la recarga al embalse.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De julio a noviembre trabaja al 100% de su capacidad máxima de almacenamiento.</li> <li>• La capacidad del embalse nunca llegaría a ser igual a la mínima capacidad operable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De mayo a enero trabaja al 100% de su capacidad máxima de almacenamiento .</li> <li>• La capacidad del embalse nunca llegaría a ser igual a la mínima capacidad operable.</li> </ul>
Población	Déficit de la demanda o meses más críticos de febrero a marzo.	No existe déficit de la demanda o meses críticos.	No existe déficit de la demanda o meses críticos.

La Tabla N° 7.13 muestra los resultados de la localidad de Comandante Fontana para los tres escenarios analizados.

Tabla N° 7.13.Comandante Fontana

	Escenario actual	Escenario optimizado a corto plazo	Escenario optimizado a largo plazo
Tiempo de tránsito del hidrograma	4 días (desde embalse Ibarreta a embalse Comandante Fontana)	Ídem escenario actual	Ídem escenario actual
Coefficiente de eficiencia ( $E_f$ )	0,98	No se modeló	0,97
Volumen embalse Ibarreta	8 hm <sup>3</sup>	No se modeló	65 hm <sup>3</sup>
Volumen embalse Comandante Fontana	7,2 hm <sup>3</sup>	No se modeló	58 hm <sup>3</sup>
Error relativo de volumen ( $E_{rv}$ )	-10%	No se modeló	-10,80%
Caudal máximo Ibarreta	0,20 m <sup>3</sup> /s	No se modeló	0,67 m <sup>3</sup> /s
Caudal máximo que llega al embalse Comandante Fontana	0,18 m <sup>3</sup> /s	No se modeló	0,61 m <sup>3</sup> /s
Error relativo de caudal máximo ( $E_{rQM}$ )	-10%	No se modeló	-9%
Embalse	Capacidad máxima de almacenamiento = 0,294 hm <sup>3</sup>	Capacidad máxima de almacenamiento = 0,735 hm <sup>3</sup>	Ídem escenario optimizado a corto plazo

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De julio a noviembre trabaja al 100% de su capacidad máxima de almacenamiento.</li> <li>• El almacenamiento disminuye a partir de noviembre hasta mediados de mayo. Siendo los meses más críticos desde diciembre hasta mayo, en estos meses el almacenamiento es 0%.</li> <li>• A fines de mayo se reinicia la recarga del embalse.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De julio a octubre trabaja al 100% su capacidad máxima de almacenamiento.</li> <li>• Durante los meses de enero y febrero se abastece a la población con agua del embalse. El resto del año la población se abastece directamente con agua del riacho Monte Lindo a través del canal de conexión riacho Monte Lindo- planta de agua potable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De mayo a enero trabaja al 100% de su capacidad máxima de almacenamiento.</li> <li>• La capacidad del embalse nunca llegaría a ser igual a la mínima capacidad operable.</li> <li>• Durante el mes de febrero se abastece a la población con agua del embalse. El resto del año la población se abastece directamente con agua del riacho Monte Lindo a través del canal de conexión riacho Monte Lindo – planta de agua potable.</li> </ul>
Población	Déficit de la demanda o meses más críticos son desde diciembre a mayo.	En la mayor parte del tiempo se satisface la demanda. Alternativa de solución a largo plazo para el mes de febrero.	No existe déficit de la demanda o meses críticos.

## **CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES**

A partir de la aplicación del modelo MIKE BASIN al sistema de llanura del bañado La Estrella y con la implementación de los escenarios presentados, se obtuvieron las siguientes conclusiones y consideraciones:

Se ha logrado con este trabajo compatibilizar los diversos conocimientos adquiridos durante el cursado de la Maestría en materias como GIS, Hidrología, Planificación y Gestión de los Recursos Hídricos, Análisis de Frecuencia para el Diseño Hidrológico, Taller de Tesis, fueron importantes y de utilidad para estudiar y aplicar un Sistema Soporte de Decisión al bañado La Estrella, una de las reservas más importante de agua superficial con que cuenta la provincia de Formosa.

Se destaca con este trabajo la relevancia del uso de un modelo matemático para representar un sistema de bañado, implementado diversos escenarios, y cuyos resultados permiten la planificación en el uso y control de los recursos hídricos. El modelo MIKE BASIN fue capaz de representar adecuadamente la complejidad del bañado La Estrella, simulando escenarios que combinaban demandas y obras, para lograr satisfacer los requerimientos de aguas a todas las localidades analizadas a lo largo del año.

Se resalta la eficiencia del manejo de la información a través de una plataforma basada en un Sistema de Información Geográfica (GIS), en este caso ArcGIS, donde MIKE BASIN es una herramienta incorporada. La integración entre el GIS y el modelo hidrológico facilita la operación en la simulación de las variables y fenómenos con rapidez y robustez, necesarias y suficientes, para permitir la simulación de distintos escenarios en pocos minutos. Se documentó para futuras modelaciones con el MIKE BASIN, los procedimientos utilizados en el sistema del bañado La Estrella, esto se debe a la complejidad de entender y aplicar dicho modelo, además que se requiere tener la licencia al día para recibir ayuda y soporte por parte del DHI.

El modelo implementado demostró ser capaz de balancear razonablemente la oferta y demanda hídrica en tiempo y espacio con una versatilidad satisfactoria. En la medida que

se disponga de mayor y mejor información el mismo podrá ofrecer mejores resultados.

En este caso particular, los resultados de los diferentes escenarios ponen de manifiesto la urgente necesidad de realizar una planificación del manejo racional del bañado La Estrella, mediante medidas estructurales y no estructurales. Esto permitirá disminuir el déficit de la demanda, optimizando el uso de una valiosa fuente de agua como lo es dicho sistema.

Se ha incluido en el estudio un cúmulo de valiosa información hidrológica, poblacional, económica, de sensores remotos, de infraestructura, recopilada de organismos gubernamentales provinciales, nacionales e internacionales, entrevistas personales con técnicos de dichos organismos, recorridas de campo para validación y verificación, estudios previos, antecedentes de obras y proyectos ejecutivos. El esfuerzo para la recopilación de toda la información utilizada permitió implementar el modelo para el sistema del bañado La Estrella. Se dispone a partir de este esfuerzo, de una herramienta posible de ser mejorada en la medida que se disponga de información actualizada y también nuevas fuentes. Las mismas resultan de vital importancia para continuar con la tarea de simular nuevos escenarios y mejorar los resultados presentados en esta tesis.

Se destaca la necesidad de mejorar la adquisición de datos del bañado La Estrella para evitar adoptar consideraciones u hipótesis supuestas para la representación del sistema en el modelo. En la medida que se disponga de nuevos aforos, relevamientos de secciones transversales de canales de conducción, batimetrías de cuerpos reservorios de agua, identificación de características técnicas de las obras de compuertas, vertederos, estaciones de bombeo, etc. se podrá enriquecer la calidad de la información disponible y con ello la efectividad del modelo utilizado.

Mediante la simulación lluvia-caudal con el modelo HEC-HMS para el cálculo del aporte de agua producido por las lluvias locales en el sistema del bañado La Estrella, se demostró que en años donde el aporte del río Pilcomayo a la provincia de Formosa es inferior a los valores medios, las precipitaciones juegan un papel relevante en el abastecimiento de agua al embalse RP N° 28. La aplicación del modelo HEC-HMS fue sencilla.

A partir de la implementación del modelo MIKE BASIN al bañado La Estrella, se estimó valiosa información para la asignación del recurso hídrico, la misma se sintetiza a continuación:

- La distribución acumulada y la curva de duración de los caudales de la estación Misión La Paz,
- Los volúmenes embalsados del Embalse RP N° 28,
- Los caudales y niveles que pasan por el vertedero de la RP N° 28,
- Los niveles característicos y la variación de los niveles en los embalses de las localidades de estudio y del Embalse RP N° 28,
- La distribución acumulada y la curva de duración de los embalses,
- La curva de duración de déficit relativo de la demanda de la población para cada localidad,
- Los meses cuando se presenta déficit hídrico con la infraestructura actual,
- Las ineficiencias de las obras existentes que impiden satisfacer la demanda de las poblaciones.

Se demuestra que mediante una ampliación y mejora de la infraestructura existentes se cubre la demanda de agua en las cinco localidades del estudio, logrando su abastecimiento durante todo el año. Se sugiere adoptar las obras propuestas en los escenarios optimizados pudiendo realizarse las mismas de modo gradual y con una inversión escalonada.

Adoptando como políticas de operación del sistema, las obras propuestas para los escenarios optimizados a corto y largo plazo, no solamente se logrará un aprovechamiento óptimo de las aguas del bañado La Estrella satisfaciendo la demanda actual y futura, sino también asegurar la provisión de agua potable y saneamiento a la población (equidad), reducir las inundaciones y sequías (minimización de riesgos), y preservar el medio ambiente (desarrollo sostenible). Además estas políticas contribuirán al cumplimiento a los Artículos N° 38 y 53 de la constitución provincial, como así también lo que respecta al código de aguas.

Se recomienda que la implementación de este modelo sirva de base para futuros estudios en áreas de la provincia de similares características y con datos escasos, como por ejemplo Laguna Yema y laguna La Salada.

Si bien el estudio del trabajo de Tesis se limitó a la utilidad del agua del bañado La Estrella para abastecimiento humano, se podría pensar en otros aprovechamientos como turísticos, agricultura, ganadería y servicios ambientales.

El cambio climático no fue una premisa de investigación en el trabajo de Tesis, ya que para poder comparar los cambios surgidos de las propuestas de obras se consideran las mismas condiciones hidrológicas para los tres escenarios planteados, no obstante, nada impide que sea considerado en futuras simulaciones.

Considerando el cambio climático y futuras simulaciones se deberá estudiar las tendencias en la zona, ya sea al aumento o disminución de precipitaciones y ajustar con estas nuevas consideraciones las simulaciones y obras propuestas en este trabajo.

## CAPÍTULO 9: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AC&A Ingeniero Economistas planificadores-“*Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto RP N° 28-Tramo: Empalme RN N° 81 (Las Lomitas)-Empalme RP N° 86 (Posta Cambio Zalazar)*”.
- Aléan R, I.A- “*Optimización técnico-económica del manejo del recurso hídrico en la sabana de Bogotá*”- (Bogotá-Colombia).
- Andreu, J.; Capilla J.; Cabezas, F.- (1994)- “*Los Sistemas Soporte de Decisión en la planificación y gestión racionales de los recursos hídricos*”- Ingeniería del Agua- Volumen 1 Número 2- Universidad Politécnica de Valencia- (Valencia- España).
- Badano, N. D.- (2010)-“*Modelación integrada de grandes cuencas de llanura con énfasis en la evaluación de inundaciones*”- Tesis de grado en Ingeniería Civil- Facultad de Ingeniería –Universidad de Buenos Aires.
- Barajas Salcedo, J.; Arellano Molina, J. P.; Sánchez Quispe S.; Domínguez Sánchez C.- (2002)- “*Validación y calibración de un Sistema de Apoyo a la Decisión (SAD) como herramienta para la administración de los recursos hídricos de cuencas mexicana*”- XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental - (Cancún-México).
- Bereciartua, P. J.- (2003)- “*Modelos integrados de gestión. Modelos de simulación, sistemas expertos y Sistemas Soporte de Decisión (SSD)*”- Curso Internacional de Postgrado, Gestión integrada de los recursos hídricos- Facultad de Ingeniería- Universidad de Buenos Aires - (Buenos Aires-Argentina).
- Bernalt, M.- (2001)- “*Karakú del Chaco: Territorio Humano del Milenio*”- Editorial CROMOS S.R.L.- (Asunción –Paraguay)
- Bruniard, E.- (1978)- “*El Gran Chaco Argentino. Ensayo de interpretación geográfica*”- Geografía 4- Facultad de Humanidades, UNNE- (Resistencia-Chaco).

- Bobadilla, V.; Silva, R. – (2001)- “*FORMOSA Recursos, Ambiente y Posibilidades para el Desarrollo*” –Editorial El Docente - (Formosa-Argentina).
- Borsellino, M. – (2012)-“*Diseño de escala de peces en el vertedero de la Ruta Provincial N° 28 en el bañado La Estrella-provincia de Formosa (Argentina)*”- Informe Final.
- Burgos, J. J., Vidal, A. L.- (1951)- “*Los climas de la República Argentina, según la nueva clasificación de Thornthwaite*”- Serie agroclimática- Publicación N° 3, 32 páginas-Servicio Meteorológico Nacional- (Buenos Aires-Argentina).
- Cardini, J.; Legal., N.; Campos, M.; Hopwood, J.; Reguero, G.- (2013)- “*Modelación hidrológica de la cuenca del río Areco*”- Congreso Nacional del Agua 2013 - (San Juan –Argentina).
- Castellano, E.; Borsellino, M.- (2010)- “*Aprovechamiento integral de la cuenca del río Bermejo-Argentina*”-COREBE (Comisión Regional del Río Bermejo)-Segundo Coloquio Internacional. Cuencas Sustentables - (México).
- Constitución de la provincia de Formosa- (1957)- Artículos N° 38 y N° 56.
- COHIFE- (2003)- “*Principios rectores de política hídrica de la República Argentina*”.
- Cristanchi, M. A. et al. – (2011)-“*Modelación hidráulica: caso de estudio canal Monte Lindo. Provincia de Formosa*”- Congreso Nacional del Agua -(Resistencia-Chaco).
- Cruz Flores, R.- (2011)- “*Modelo de Gestión del Agua de la cuenca Pucara*”- Centro Agua-Universidad Mayor de San Simón - (Cochabamba-Bolivia).
- Dölling, O. R. -(2001)- “*Sistemas de apoyo a la gestión integral de cuencas hidrográficas*” Tesis de Doctorado - (Santiago de Chile-Chile).
- ESRI Shapefile Technical Description - (1998)

Fattorelli S.; Fernández, P. – (2007)- “Diseño Hidrológico”- 1<sup>ra</sup> Edición- Zeta Editores- (Mendoza- Argentina).

Formosa (2015)- “*El plan de inversiones que conduce a la visión de provincia a largo plazo*”-Gobierno de la provincia de Formosa- Capítulo 4: “*La estrategia productiva*” pp. 51-87 - (Formosa-Argentina).

Ferdkin, M.- (1995)- “*Plan director del sistema hídrico interno de la provincia de Formosa*” –Primer Informe Parcial-Libro HH 078 de la biblioteca de la Comisión Trinacional Río Pilcomayo.

Gobierno de la provincia de Formosa-Ministerio de Economía, Obras y Servicios Públicos-Subsecretaría de Obras y Servicios Públicos- Dirección de Recursos Hídricos- (2000).-“*Reconstrucción y adecuación hidráulica Complejo Hidrovial Ruta N° 28- Bdo. La Estrella*”- Memoria Técnica- Informe Preliminar

Gorleri, M.- (2005)-“*Caracterización climática del chaco húmedo*” -(Formosa-Argentina).

INCYTH-Subsecretaría de Recursos Hídricos-Departamento de Desarrollo Regional de la Organización de los Estados Americanos (OEA)- (1975)- “*Estudio de la cuenca Inferior del río Bermejo y Programación para su desarrollo*” – Informe General

Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo 2015: “*Agua para un mundo sostenible*”- (2015).

Instituto Nacional de Estadísticas y Censo-Censo (2010).

Instituto Nacional del Agua- (2012)- “*Evaluación de las inundaciones y las obras de drenaje en la cuenca del Salado (Prov. Buenos Aires)*”.

INTA “Fuente Atlas de Suelo de la República Argentina- INTA-SAGPyA. Proyecto Arg 85/019-1990”.

Jensen, Roar; Marazzi, Martín; Savioli, Juan C.; Brea, José D.; Tavecchio, H.- (2000)-  
“*Diagnóstico de inundación en la región noreste de la provincia de La Pampa, Argentina*”-Informe Final.

La Laina Porto, R.; Leão Lanna, A. E.; Braga Jr, Benedito P.F; Cirilo, J.A., Filho, Kamel Zahed; Azevedo, L. G; Calvo G, L.; L. de Barros, M. T.; Barbosa, P. S.F.- 1997- “*Técnicas quantitativas para o gerenciamento de Recursos Hídricos*”- 1º Edição- Editora da Universidade- ABRH - (Porto Alegre-Brasil).

Latinoconsult Ingenieros Consultores; Estudios y Proyectos S.R.L – (2011) – “*Plan Maestro de Infraestructura Hídrica, para la recuperación de tierras productivas y el control de inundaciones. Etapa II Modelación Matemática río del Norte*”.

Lagranja, C.- (2004)- “*Pilcomayo río de la vida*” – Gobierno de la provincia de Formosa.

Laqui Vilca, W. F.- (2007)- “*Aplicación del modelo AcquaNet*”- Trabajo Final de Posgrado- Universidad Nacional Agraria La Molina - (Perú).

Ley N° 1246- (1997)- “*Código de aguas*” -provincia de Formosa.

Ley N° 1471- (2005)- “*Aféctese al dominio público del Estado Provincial el bañado La Estrella*” – provincia de Formosa.

Ley N° 1587 – (2012)- “*Aféctese al dominio público del Estado Provincial a todos los reservorios, canales, derivaciones y obras anexas que funcionen como almacenamiento y/o abastecimiento para la producción de agua potable para consumo humano*” – provincia de Formosa.

Linsley, R..; Kohler, M.; Paulhus, J.- (1990)–“*Hidrología para ingenieros*”- McGRAW-HILL- 2º Edición (México D.F.).

Manual básico de HEC-HMS 3.0.0 y HEC-GeoHMS 1.1- (2007)-Granada.

- Maidment, D.- (1992) - "*Handbook of Hydrology* - McGRAW-HILL- (Nueva York- USA)
- Memendi, J.- (2011) - "Recopilación de textos y mapas de la provincia del Chaco. *Sistemas fluviales y normas legislativas ambientales*".- Publicación N° 2 - (Chaco- Argentina).
- Molina Carpio J., Gutiérrez B.- (2012)- "*Análisis de escenarios histórico y actual*"- Subcomisión Técnica Binacional de la cuenca del río Mauri"- (La Paz- Bolivia).
- Molina Carpio, J.; Cruz Flores, R. (2008) - "*Escenarios de uso y asignación del agua en la cuenca de los ríos Mauri y Desaguadero-Informe Final*.- Agua Sustentable- Instituto de Hidráulica e Hidrología (ihh) –International Development Research Centre (IDRC) –Centre de Recherches pour le Développement International (CDRI) - (La Paz- Bolivia).
- Molina Carpio, J.; Cruz Flores, R.- (2011)- "*Modelación del uso y asignación del agua en la cuenca del río Illimani. Modelo de gestión para el escenario histórico, actual y futuro*"- Agua Sustentable- Instituto de Hidráulica e Hidrología (ihh) –International Development Research Centre (IDRC) –Centre de Recherches pour le Développement International (CDRI)- (La Paz- Bolivia).
- Monsalve Sáenz, G.- (1998)- "*Hidrología en la Ingeniería*"- Alfaomega Grupo Editor - Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería- 2° Edición - (Bogotá-Colombia).
- Monte Domecq, R.; Perito, A., Chamorro, L.; Ávila, J. L.; Báez, J.- (2000) - "*Paraguay*"- Capítulo N° 7.
- Ontiveros Mollinedo, M. Á.- (2007)- "*Términos de referencia para la elaboración y la implementación del sistema de apoyo a la decisión-SAD en cada país y para el OTCA*"- Informe Final- Proyecto manejo integrado y sustentable de los recursos hídricos transfronterizos de la cuenca del río Amazonas considerando la variabilidad climática y el cambio climático. Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guyana, Perú,

- Surinam, Venezuela. Proyecto GEF Amazonas-OTCA/PNUMA/OEA- (La Paz-Bolivia).
- Orsolini, H.; Zimmermann, E.; Basile, P. – (2008)- “*Hidrología: proceso y métodos*”- 2º ed.- UNR Editora – (Rosario- Santa Fé- Argentina)
- Pilar, J.- (2011)-“*Herramientas para la Gestión y la Toma de Decisiones*”- 2º ed.- Editorial Hanne – (Salta- Argentina)
- Pilar, J.; Rohrmann, H.; Vargas, R.; Burgos, J. - (2002)-“Selección de la traza de una defensa contra inundaciones fluviales para la ciudad de Resistencia”- <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2002/07-Tecnologicas/T-014.pdf>
- Ponce, V. M.- (1994)-“*Engineering Hydrology: Principles and Practices*”- Prentice Hall
- Revista N° 20 Voces en el Fénix- (2001)- “*La fuente de la vida*”- pp. 8-10.
- Remenieras, G. – (1971)- “*Tratado de hidrología aplicada*”- Editores Técnicos Asociados.
- Saroka, R. H.- (2002)- “*Sistemas de información en la era digital*”- Fundación OSDE –(Argentina).
- Subsecretaría de Recursos Hídricos-COHIFE- (2007)-“*Plan Nacional Federal de los recursos hídricos*”-Versión 16 de mayo de 2007- presentada en CONAGUA 2007 – (San Miguel de Tucumán-Argentina).
- The Nature Conservancy (TNC); Fundación Vida Silvestre Argentina (FVSA); Fundación para el Desarrollo Sustentable del Chaco (desde el Chaco) y Wildlife Conservation Society Bolivia (WCS)- (2005)-“*Evaluación ecorregional del gran Chaco Americano*”- 1º edición – (Buenos Aires- Argentina)

- Tucci, C. – (2000) – “*Hidrología: Ciência e aplicação*” – 2º Edição- Editora da Universidade- ABRH- (Porto Alegre-Brasil).
- Valente Canali, G.; Nunes Correia, F.; Lobato, F.; Souza Machado, E.- (2000)- “*Water Resources Management*”- ABRRH- IWRA- (Porto Alegre-Brasil)
- Valiente, M. Á. et al.- (2009)- ”Monitoreo de avance de inundaciones fluviales en áreas de llanura con sensores remotos”- Cuarto Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos- (Salta-Argentina).
- Ven Te Chow; Maidment, D.; Mays, L.- (1988)- “*Hidrología aplicada*”- McGRAW-HILL- (Bogotá-Colombia).
- Ven Te Chow- (1994)- “*Hidráulica de canales abiertos*” - McGRAW-HILL- (Bogotá-Colombia).
- Vives, L.; Abrile, P.; Bastan, N.; Clause, A.; Lorenzo, J.; Usunoff, E.; Varnil, M.; Vénere, M.; Fernández-Jáuregui, C.- (2002)- “*Una metodología para la gestión de información hidrológica*”- Mecánica Computacional Vol. XXI, pp. 528-540- S.R. Idelsohn, V.E. Sonzogni y A. Cardona (Eds)- (Santa Fé-Paraná-Argentina).
- User Guide-MIKE BASIN by DHI- (2008 - 2012) - Water Resources:” *A modeling system for river basin management and planning*”- Hørsholm.
- User Guide -MIKE BASIN by DHI- (2008-2012) - Temporal Analyst- “*Time series management and analysis in ArcGIS*”- Hørsholm.
- Xing Fang; Thompson D.; Cleveland, T.; Pradhan, P.; Malla, R.- (2008)- “Time of Concentration Estimated Using Watershed Parameters Determined by Automated and Manual Methods”- Journal of Irrigation and Drainage Engineering- ASCE

Sitios de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales:

<http://www.banadolaestrella.org.ar/>

[www.crwr.utexas.edu/gis/gishyd98/dhi/mikebas/Mbasmain.htm](http://www.crwr.utexas.edu/gis/gishyd98/dhi/mikebas/Mbasmain.htm)

<http://www.comandantefontana.gob.ar/>

<http://www.estanisladelcampo.gob.ar/>

<https://www.formosa.gob.ar>

• <https://www.formosa.gob.ar/miprovincia/aspectosgenerales>

• <https://www.formosa.gob.ar/miprovincia/aspectosgenerales/climaytemperaturas>

• [www.formosa.gob.ar/modulos/formosa2015](http://www.formosa.gob.ar/modulos/formosa2015)

• [https://www.formosa.gob.ar/modulos/formosa2015/templates/files/la\\_estrategia\\_productiva.pdf](https://www.formosa.gob.ar/modulos/formosa2015/templates/files/la_estrategia_productiva.pdf)

• [https://www.formosa.gob.ar/modulos/formosa2015/templates/files/infraestructura\\_productiva.pdf](https://www.formosa.gob.ar/modulos/formosa2015/templates/files/infraestructura_productiva.pdf)

• [https://www.formosa.gob.ar/modulos/formosa2015/templates/files/rol\\_sector\\_privado.pdf](https://www.formosa.gob.ar/modulos/formosa2015/templates/files/rol_sector_privado.pdf)

Google Earth

[www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/](http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/)

<http://www.ibarreta.gob.ar/>

<http://landsatlook.usgs.gov/viewer.html>

<http://www.laslomitas.gob.ar/>

[www.mikebydhi.com/Products/WaterResources/MIKEBASIN.aspx](http://www.mikebydhi.com/Products/WaterResources/MIKEBASIN.aspx)

[www.nutritierra.com.ar/images/PDF/Info%20Tecnica/valores\\_suelos.pdf](http://www.nutritierra.com.ar/images/PDF/Info%20Tecnica/valores_suelos.pdf)

[www.pilcomayo.net](http://www.pilcomayo.net)

[http://ponce.sdsu.edu/mockus\\_conversacion.html](http://ponce.sdsu.edu/mockus_conversacion.html)

<http://www.pozodeltigre.gob.ar/>

[https://es.wikipedia.org/wiki/Pozo\\_del\\_Tigre](https://es.wikipedia.org/wiki/Pozo_del_Tigre)

[www.proyungas.org.ar](http://www.proyungas.org.ar)

[www.proteger.org.ar](http://www.proteger.org.ar)

<https://es.wikipedia.org>

## **ANEXOS**

## **ANEXO I: PUBLICACIONES ANTECEDENTES DE LA TESISTA**

Trabajos en los que la Tesista participó como Autora o Co-autora

“Modelación Hidráulica: caso de estudio canal Monte Lindo. Provincia de Formosa”- **Cristanchi A.**, Branchi E., Valiente M., Leonardini N., De Ferrari E.- XXII Congreso Nacional del Agua 2011- Resistencia-Chaco

“Actividades de Monitoreo en la Cuenca Transfronteriza del río Pilcomayo: un aporte técnico a la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos”- **Cristanchi A.**, Laboranti C.- XXVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica 2014- Santiago-Chile

“Hidráulica del río Pilcomayo en el tramo entre Villa Montes y Misión La Paz: caracterización y restricciones”- Testa Tacchino A., Díaz E., Baldissoni M., **Cristanchi A.**, Pagot M., Tarrab L., Herrero H. Corral M., Laboranti C., Rodríguez A.- XXVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica 2014- Santiago- Chile

“Evaluación de tecnologías hidroacústicas para la cuantificación de caudales en el río Pilcomayo”- Szupiany R., García C., Dominguez Rubén L., Patalano A., Latosinski F., Testa Tacchino A., **Cristanchi A.**, Laboranti C., Rodríguez A.- IV Simposio sobre Métodos Experimentales en Hidráulica- 2015- La Plata- Buenos Aires

“Caracterización del sedimento suspendido en el río Pilcomayo. Evaluación de la tecnología acústica para su cuantificación”- Szupiany R., Domínguez Rubén L., Latosinski F., García C., Alvarez A., Testa Tacchino A., **Cristanchi A.**, Laboranti C., Rodríguez A.-IV Simposio sobre Métodos Experimentales en Hidráulica – 2015- La Plata- Buenos Aires

“Actividades de Monitoreo en la Cuenca Transfronteriza del río Pilcomayo: un aporte técnico a la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos”- **Cristanchi A.**, Laboranti C.- XXV Congreso Nacional del Agua 2015- Paraná –Entre Ríos

“Medición de Caudales de crecidas en el río Pilcomayo: estaciones Villa Montes (Bolivia) y Misión La Paz (Argentina)”- **Cristanchi A.**, Laboranti C., Testa Tacchino A., Ortíz Arza D.- XXV Congreso Nacional del Agua 2015- Paraná- Entre Ríos

“Análisis de la crecida del año 2014 del río Pilcomayo en su tramo Villa Montes – Misión La Paz”- Testa Tacchino A., **Cristanchi A.**, Vargas C., Rodríguez A., Laboranti C., Corral M., Pagot M., Hillman G, Farias D- XXV Congreso Nacional del Agua 2015- Paraná – Entre Ríos.

## ANEXO II: TABLAS

Se presenta en las siguientes tablas la información complementaria de información social y ambiental (capítulo 4, ítem 4.1)

Tabla N° AII.1. Hogares por instalación sanitaria, por departamento (Fuente INDEC Censo 2010)

Departamento	Total de viviendas particulares	Instalación sanitaria	
		Con descarga de agua	Sin descarga de agua o sin retrete
<b>Total</b>	<b>130 134</b>	<b>79 122</b>	<b>51 012</b>
Bermejo	3 284	537	2 747
Formosa	56 190	44 348	11 842
Laishi	4 360	2 286	2 074
Matacos	3 202	1 244	1 958
<b>Patiño</b>	<b>17 939</b>	<b>6 732</b>	<b>11 207</b>
Pilagás	4 696	1 972	2 724
Pilcomayo	20 504	12 598	7 906
Pirané	17 294	9 179	8 115
Ramón Lista	2 665	226	2 439

Tabla N° AII. 2. Viviendas particulares habitadas, hogares y población censada por tipo de vivienda, por departamento (Fuente INDEC Censo 2010)

Departamento	Total	Tipo de vivienda							
		Casa	Rancho	Casilla	Departamento	Pieza/s en inquilinato	Pieza/s en hotel o pensión	Local no construido para habitación	Vivienda móvil
<b>Total</b>									
<b>Viviendas</b>	<b>130 134</b>	<b>109 807</b>	<b>12 203</b>	<b>1 514</b>	<b>4 124</b>	<b>2 104</b>	<b>44</b>	<b>229</b>	<b>109</b>
<b>Hogares</b>	<b>140 303</b>	<b>118 131</b>	<b>12 836</b>	<b>1 632</b>	<b>4 473</b>	<b>2 811</b>	<b>52</b>	<b>254</b>	<b>114</b>
<b>Población</b>	<b>526 996</b>	<b>448 573</b>	<b>51 132</b>	<b>6 385</b>	<b>12 848</b>	<b>6 912</b>	<b>121</b>	<b>684</b>	<b>341</b>
Bermejo									
Viviendas	3 284	2 022	1 139	81	-	24	1	9	8
Hogares	3 548	2 178	1 234	86	-	27	1	14	8
Población	13 869	8 329	5 040	355	-	70	1	51	23
Formosa									
Viviendas	56 190	48 295	1 833	626	3 855	1 476	23	59	23
Hogares	62 621	53 596	1 980	694	4 174	2 063	28	61	25
Población	232 726	205 369	7 380	2 659	12 043	5 002	67	129	77
Laishi									
Viviendas	4 360	3 785	476	40	3	37	-	10	9
Hogares	4 538	3 926	496	40	3	50	-	14	9
Población	17 021	14 777	1 890	131	8	166	-	23	26
Matacos									
Viviendas	3 202	2 815	308	29	3	36	2	4	5
Hogares	3 363	2 955	318	30	3	46	2	4	5
Población	14 291	12 635	1 372	154	4	108	4	9	5
<b>Patiño</b>									
<b>Viviendas</b>	<b>17 939</b>	<b>14 925</b>	<b>2 591</b>	<b>131</b>	<b>14</b>	<b>190</b>	<b>8</b>	<b>45</b>	<b>35</b>
<b>Hogares</b>	<b>18 856</b>	<b>15 672</b>	<b>2 728</b>	<b>136</b>	<b>15</b>	<b>212</b>	<b>9</b>	<b>46</b>	<b>38</b>
<b>Población</b>	<b>68 107</b>	<b>56 375</b>	<b>10 453</b>	<b>475</b>	<b>30</b>	<b>525</b>	<b>22</b>	<b>114</b>	<b>113</b>
Pilagás									
Viviendas	4 696	3 643	1 000	7	-	32	-	8	6
Hogares	4 794	3 713	1 021	8	-	36	-	10	6
Población	18 221	13 912	4 145	22	-	85	-	42	15
Pilcomayo									
Viviendas	20 504	17 723	2 081	182	221	223	6	60	8
Hogares	21 932	18 953	2 183	193	247	273	7	68	8
Población	84 743	73 716	8 605	729	708	716	21	224	24
Pirané									
<b>Viviendas</b>	<b>17 294</b>	<b>15 544</b>	<b>1 455</b>	<b>170</b>	<b>24</b>	<b>61</b>	<b>4</b>	<b>27</b>	<b>9</b>
<b>Hogares</b>	<b>17 855</b>	<b>16 034</b>	<b>1 499</b>	<b>175</b>	<b>27</b>	<b>78</b>	<b>5</b>	<b>28</b>	<b>9</b>
<b>Población</b>	<b>64 374</b>	<b>57 774</b>	<b>5 606</b>	<b>673</b>	<b>46</b>	<b>176</b>	<b>6</b>	<b>71</b>	<b>22</b>
Ramón Lista									
Viviendas	2 665	1 055	1 320	248	4	25	-	7	6
Hogares	2 796	1 104	1 377	270	4	26	-	9	6
Población	13 644	5 686	6 641	1 187	9	64	-	21	36

Tabla N° AII. 3. Hogares por disponibilidad de bienes, por departamento (Fuente INDEC Censo 2010)

Departamento	Total de hogares	Disponibilidad de bienes							
		Heladera		Computadora		Teléfono celular		Teléfono de línea	
		Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No
<b>Total</b>	<b>140 303</b>	<b>110 842</b>	<b>29 461</b>	<b>36 426</b>	<b>103 877</b>	<b>113 884</b>	<b>26 419</b>	<b>35 785</b>	<b>104 518</b>
Bermejo	3 548	1 323	2 225	217	3 331	1 495	2 053	48	3 500
Formosa	62 621	56 016	6 605	23 191	39 430	55 939	6 682	20 314	42 307
Laiishi	4 538	3 391	1 147	632	3 906	3 725	813	403	4 135
Matacos	3 363	1 904	1 459	550	2 813	2 160	1 203	326	3 037
<b>Patiño</b>	<b>18 856</b>	<b>12 276</b>	<b>6 580</b>	<b>2 908</b>	<b>15 948</b>	<b>14 438</b>	<b>4 418</b>	<b>1 677</b>	<b>17 179</b>
Pilagás	4 794	3 505	1 289	583	4 211	3 806	988	341	4 453
Pilcomayo	21 932	18 127	3 805	4 803	17 129	17 102	4 830	8 976	12 956
<b>Pirané</b>	<b>17 855</b>	<b>13 573</b>	<b>4 282</b>	<b>3 297</b>	<b>14 558</b>	<b>14 295</b>	<b>3 560</b>	<b>3 690</b>	<b>14 165</b>
Ramón Lista	2 796	727	2 069	245	2 551	924	1 872	10	2 786

Tabla N° AII. 4. Población de 10 años y más por condición de alfabetismo y sexo, por departamento (Fuente INDEC Censo 2010)

Departamento	Población de 10 años y más	Condición de alfabetismo					
		Alfabetos			Analfabetos		
		Total	Varones	Mujeres	Total	Varones	Mujeres
<b>Total</b>	<b>425 344</b>	<b>407 948</b>	<b>200 956</b>	<b>206 992</b>	<b>17 396</b>	<b>7 821</b>	<b>9 575</b>
Bermejo	10 503	9 413	5 199	4 214	1 090	496	594
Formosa	191 997	187 899	89 536	98 363	4 098	1 832	2 266
Laiishi	13 498	12 790	6 612	6 178	708	352	356
Matacos	10 851	10 100	5 019	5 081	751	307	444
<b>Patiño</b>	<b>53 979</b>	<b>50 328</b>	<b>25 931</b>	<b>24 397</b>	<b>3 651</b>	<b>1 709</b>	<b>1 942</b>
Pilagás	14 510	13 725	7 150	6 575	785	382	403
Pilcomayo	68 991	66 785	32 691	34 094	2 206	977	1 229
<b>Pirané</b>	<b>51 524</b>	<b>48 699</b>	<b>24 406</b>	<b>24 293</b>	<b>2 825</b>	<b>1 309</b>	<b>1 516</b>
Ramón Lista	9 491	8 209	4 412	3 797	1 282	457	825

Tabla N° AII. 5. Hogares por presencia de servicios en el segmento, por departamento (Fuente INDEC 2010)

Departamento	Población en viviendas particulares	Presencia de servicios en el segmento											
		Recolección de residuos (1)		Transporte público (2)		Teléfono público, semipúblico o locutorio (3)		Pavimento (4)		Boca de tormenta o alcantarilla (5)		Alumbrado público	
		Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No
<b>Total</b>	<b>526 996</b>	<b>337 483</b>	<b>189 513</b>	<b>301 052</b>	<b>225 944</b>	<b>188 616</b>	<b>338 380</b>	<b>213 342</b>	<b>313 654</b>	<b>224 090</b>	<b>302 906</b>	<b>473 923</b>	<b>53 073</b>
Bermejo	13 869	2 949	10 920	3 535	10 334	1 500	12 369	1 528	12 341	2 128	11 741	6 446	7 423
Formosa	232 726	200 237	32 489	207 774	24 952	127 893	104 833	146 642	86 084	132 146	100 580	218 156	14 570
Laiishi	17 021	8 097	8 924	6 137	10 884	2 723	14 298	3 205	13 816	5 329	11 692	15 976	1 045
Matacos	14 291	4 466	9 825	1 135	13 156	1 742	12 549	2 421	11 870	2 074	12 217	11 402	2 889
<b>Patiño</b>	<b>68 107</b>	<b>32 159</b>	<b>35 948</b>	<b>12 211</b>	<b>55 896</b>	<b>9 958</b>	<b>58 149</b>	<b>7 078</b>	<b>61 029</b>	<b>20 624</b>	<b>47 483</b>	<b>57 720</b>	<b>10 387</b>
Pilagás	18 221	3 411	14 810	4 602	13 619	2 761	15 460	2 167	16 054	6 420	11 801	17 737	484
Pilcomayo	84 743	47 794	36 949	52 683	32 060	31 073	53 670	36 650	48 093	34 948	49 795	80 321	4 422
<b>Pirané</b>	<b>64 374</b>	<b>38 370</b>	<b>26 004</b>	<b>11 571</b>	<b>52 803</b>	<b>10 344</b>	<b>54 030</b>	<b>13 651</b>	<b>50 723</b>	<b>20 204</b>	<b>44 170</b>	<b>57 493</b>	<b>6 881</b>
Ramón Lista	13 644	-	13 644	1 404	12 240	622	13 022	-	13 644	217	13 427	8 672	4 972

Tabla N° AII. 6. Tipo de suelo por subcuenca

Tabla N° AII. 6.1 Características suelo subcuenca 1

CU1	POSI_1D	Textura Superficial	Nombre	Grupo Hidrológico del Suelo	TIPO	Sup_Km2
IV c	Loma alta tendida	Areno Franca	1	A	BAÑADOS.	23.09
III e	Loma alta tendida	Areno Franca	1	A	BAÑADOS.	73.01
IV c	Loma alta tendida	Areno Franca	1	A	BAÑADOS.	0.02
III e	Loma alta tendida	Areno Franca	1	A	BAÑADOS.	11.64
III e	Loma alta tendida	Areno Franca	1	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	92.67
IV c	Loma alta tendida	Areno Franca	1	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	43.91
III e	Loma alta tendida	Areno Franca	1	A	CAÑADAS.	1.9
III e	Loma alta tendida	Areno Franca	1	A	ESTEROS.	31.51
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	1	B	BAÑADOS.	781.93
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	1	B	BAÑADOS.	2.86
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	1	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	26.8
VI s	Media loma tendida	Franco Limosa	1	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	10.52
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	1	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	10.48
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	1	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	61.43
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	1	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	1.34
VI s	Media loma tendida	Franco Limosa	1	B	CAÑADAS.	0.02
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	1	B	ESTEROS.	401.63
VI s	Media loma tendida	Franco Limosa	1	B	ESTEROS.	0.02
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	1	B	ESTEROS.	7.22

Tabla N° AII. 6.2 Características suelo subcuena 2

CUI	POST_ID	Textura Superficial	Nombre	Grupo Hidrológico del Suelo	TIPO	Sup_Km2
VII s	Derrames y microdepressiones	Franco Arenosa	2	A	ARENAL CON RIPIO Y CANTO RODADO.	3.32
VI w	Vias de escurrimiento	Arenosa	2	A	ARENAL CON RIPIO Y CANTO RODADO.	0.33
IV c	Loma alta tendida	Areno Franca	2	A	BAÑADOS.	190.02
III e	Loma alta tendida	Areno Franca	2	A	BAÑADOS.	4.5
IV e	Loma alta tendida	Areno Franca	2	A	BAÑADOS.	2.94
IV c	Loma alta tendida	Areno Franca	2	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	0.3
VII s	Derrames y microdepressiones	Franco Arenosa	2	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	1.07
IV c	Loma alta tendida	Areno Franca	2	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	48.48
IV e	Loma alta tendida	Areno Franca	2	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	7.45
III e	Loma alta tendida	Areno Franca	2	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	12.25
VII s	Derrames y microdepressiones	Franco Arenosa	2	A	CAÑADAS.	3.28
IV c	Loma alta tendida	Areno Franca	2	A	CAÑADAS.	9.02
IV c	Loma alta tendida	Areno Franca	2	A	CAÑADAS.	1.28
VI w	Vias de escurrimiento	Arenosa	2	A	CIENAGA, TREMEDAL, TEMBLADERAL, EMBALSADO, TURBAL, MENUCO.	0.97
IV c	Loma alta tendida	Areno Franca	2	A	ESTEROS.	11.87
IV c	Loma alta tendida	Areno Franca	2	A	ESTEROS.	3.89
IV c	Loma alta tendida	Areno Franca	2	A	ESTEROS.	63.02
III e	Loma alta tendida	Areno Franca	2	A	ESTEROS.	13.69
VII s	Derrames y microdepressiones	Franco Arenosa	2	A	PALEOCAUCE O CAUCE ABANDONADO.	25.4
VI w	Vias de escurrimiento	Arenosa	2	A	PALEOCAUCE O CAUCE ABANDONADO.	39.01
VI w	Vias de escurrimiento	Arenosa	2	A	PALEOCAUCE O CAUCE ABANDONADO.	9.64
VI w	Vias de escurrimiento	Arenosa	2	A	PALEOCAUCE O CAUCE ABANDONADO.	0.43
VI w	Vias de escurrimiento	Arenosa	2	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	60.87
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	2	B	ARENAL CON RIPIO Y CANTO RODADO.	13.35
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	2	B	BAÑADOS.	139.72
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	2	B	BAÑADOS.	301.63
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	2	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	1.46
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	2	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	54.99
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	2	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	1.5
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	2	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	41.98
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	2	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	0.02
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	2	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	2.17
VI s	Media loma tendida	Franco Limosa	2	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	0.56
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	2	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	56.75
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	2	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	0.82
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	2	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	4.82
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	2	B	CAÑADAS.	16.79
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	2	B	CAÑADAS.	11.32
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	2	B	CAÑADAS.	0.82
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	2	B	CIENAGA, TREMEDAL, TEMBLADERAL, EMBALSADO, TURBAL, MENUCO.	6.25
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	2	B	CIENAGA, TREMEDAL, TEMBLADERAL, EMBALSADO, TURBAL, MENUCO.	11.76
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	2	B	ESTEROS.	0.44
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	2	B	ESTEROS.	11.78
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	2	B	ESTEROS.	18.82
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	2	B	ESTEROS.	220.1
VI s	Media loma tendida	Franco Limosa	2	B	ESTEROS.	0.1
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	2	B	PALEOCAUCE O CAUCE ABANDONADO.	122.09
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	2	B	PALEOCAUCE O CAUCE ABANDONADO.	50.93

Tabla N° AII. 6.3 Características suelo subcuena 3

CU1	POSL_ID	Textura Superficial	Nombre	Grupo Hidrológico del Suelo	TIPO	Sup_Km2
III e	Loma alta tendida	Areno Franca	3	A	BAÑADOS.	17.26
III e	Loma alta tendida	Areno Franca	3	A	BAÑADOS.	0.05
III e	Loma alta tendida	Areno Franca	3	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	10.94
III e	Loma alta tendida	Areno Franca	3	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	195.36
III e	Loma alta tendida	Areno Franca	3	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	4.27
III e	Loma alta tendida	Areno Franca	3	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	8.33
III e	Loma alta tendida	Areno Franca	3	A	CAÑADAS.	24.61
III e	Loma alta tendida	Areno Franca	3	A	ESTEROS.	0.16
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	3	B	BAÑADOS.	15.78
VI s	Media loma tendida	Franco Limosa	3	B	BAÑADOS.	2.51
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	3	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	6.98
VI s	Media loma tendida	Franco Limosa	3	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	883.31
VI s	Media loma tendida	Franco Limosa	3	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	5.16
VI s	Media loma tendida	Franco Limosa	3	B	CAÑADAS.	9.6
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	3	B	ESTEROS.	0.11
VI s	Media loma tendida	Franco Limosa	3	B	PALEOCAUCE O CAUCE ABANDONADO.	5.2
VI s	Media loma tendida	Franco Limosa	3	B	PALEOCAUCE O CAUCE ABANDONADO.	3.36

Tabla N° AII. 6.4 Características suelo subcuena 4

CUI	POST_ID	Textura Superficial	Nombre	Grupo Hidrológico del Suelo	TIPO	Sup_Km2
VII s	Derrames y microdepressiones	Franco Arenosa	4	A	BAÑADOS.	4.52
VI w	Vias de escurrimiento	Arenosa	4	A	BAÑADOS.	6.57
III e	Loma alta tendida	Areno Franca	4	A	BAÑADOS.	50.34
III e	Loma alta tendida	Areno Franca	4	A	BAÑADOS.	62.79
IV e	Loma alta tendida	Areno Franca	4	A	BAÑADOS.	47.27
VI w	Vias de escurrimiento	Arenosa	4	A	BAÑADOS.	1.19
VII s	Derrames y microdepressiones	Franco Arenosa	4	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	0.01
III e	Loma alta tendida	Areno Franca	4	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	0.01
IV e	Loma alta tendida	Areno Franca	4	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	49.42
VII s	Derrames y microdepressiones	Franco Arenosa	4	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	11.33
VI w	Vias de escurrimiento	Arenosa	4	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	24.06
III e	Loma alta tendida	Areno Franca	4	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	1.84
III e	Loma alta tendida	Areno Franca	4	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	3.72
III e	Loma alta tendida	Areno Franca	4	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	0.89
III e	Loma alta tendida	Areno Franca	4	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	3.79
IV e	Loma alta tendida	Areno Franca	4	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	5.38
VII s	Derrames y microdepressiones	Franco Arenosa	4	A	CAÑADAS.	13.76
VI w	Vias de escurrimiento	Arenosa	4	A	CAÑADAS.	4.07
IV e	Loma alta tendida	Areno Franca	4	A	CAÑADAS.	0.75
IV e	Loma alta tendida	Areno Franca	4	A	CAÑADAS.	0.34
IV e	Loma alta tendida	Areno Franca	4	A	CAÑADAS.	1.19
III e	Loma alta tendida	Areno Franca	4	A	CAÑADAS.	1.06
IV e	Loma alta tendida	Areno Franca	4	A	CAÑADAS.	3.07
III e	Loma alta tendida	Areno Franca	4	A	PALEOCAUCE O CAUCE ABANDONADO.	12.47
V w		Franco Limosa	4	B	BAÑADOS.	596.7
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	4	B	BAÑADOS.	51.94
VI s	Media loma tendida	Franco Limosa	4	B	BAÑADOS.	103.97
IV c	Loma alta tendida	Franco Limosa	4	B	BAÑADOS.	144.07
V w		Franco Limosa	4	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	6.26
V w		Franco Limosa	4	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	8.04
IV c	Loma alta tendida	Franco Limosa	4	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	48.57
VI s	Media loma tendida	Franco Limosa	4	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	30.39
V w		Franco Limosa	4	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	3.81
IV c	Loma alta tendida	Franco Limosa	4	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	31.05
V w		Franco Limosa	4	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	21.72
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	4	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	6.63
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	4	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	16.09
V w		Franco Limosa	4	B	CAÑADAS.	20.59
V w		Franco Limosa	4	B	CAÑADAS.	62.69
V w		Franco Limosa	4	B	CAÑADAS.	10.78
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	4	B	CAÑADAS.	0.93
V w		Franco Limosa	4	B	PALEOCAUCE O CAUCE ABANDONADO.	28.66
V w		Franco Limosa	4	B	PALEOCAUCE O CAUCE ABANDONADO.	6.68
VI s	Media loma tendida	Franco Limosa	4	B	PALEOCAUCE O CAUCE ABANDONADO.	33.56

Tabla N° AII. 6.5 Características suelo subcuena 5

CU1	POSTL_1D	Textura Superficial	Nombre	Grupo Hidrológico del Suelo	TIPO	Sup_Km2
IV c	Loma alta tendida	Areno Franca	5	A	BAÑADOS.	166.46
IV e	Loma alta tendida	Areno Franca	5	A	BAÑADOS.	40.83
IV e	Loma alta tendida	Areno Franca	5	A	BAÑADOS.	0.11
IV e	Loma alta tendida	Areno Franca	5	A	BAÑADOS.	26.39
VII s	Derrames y microdepressiones	Areno Franca	5	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	3.08
VII s	Derrames y microdepressiones	Franco Arenosa	5	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	0.26
VI w	V?as de escurrimiento	Arenosa	5	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	110.81
IV c	Loma alta tendida	Areno Franca	5	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	25.13
IV e	Loma alta tendida	Areno Franca	5	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	0.08
VII s	Derrames y microdepressiones	Franco Arenosa	5	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	0.1
IV c	Loma alta tendida	Areno Franca	5	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	25.3
IV e	Loma alta tendida	Areno Franca	5	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	620.09
IV e	Loma alta tendida	Areno Franca	5	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	0.01
VII s	Derrames y microdepressiones	Areno Franca	5	A	CAÑADAS.	0.1
VII s	Derrames y microdepressiones	Franco Arenosa	5	A	CAÑADAS.	0.18
IV c	Loma alta tendida	Areno Franca	5	A	CAÑADAS.	33.13
IV e	Loma alta tendida	Areno Franca	5	A	CAÑADAS.	0.24
VI w	Vias de escurrimiento	Arenosa	5	A	CAÑADAS.	4.83
IV c	Loma alta tendida	Areno Franca	5	A	CAÑADAS.	26.26
IV e	Loma alta tendida	Areno Franca	5	A	CAÑADAS.	6.66
III e	Loma alta tendida	Areno Franca	5	A	CAÑADAS.	0.07
IV e	Loma alta tendida	Areno Franca	5	A	CAÑADAS.	5.18
IV c	Loma alta tendida	Areno Franca	5	A	ESTEROS.	0.32
VI w	Vias de escurrimiento	Arenosa	5	A	PALEOCAUCE O CAUCE ABANDONADO.	0.91
VI w	Vias de escurrimiento	Arenosa	5	A	PALEOCAUCE O CAUCE ABANDONADO.	1.94
V w		Franco Limosa	5	B	BAÑADOS.	0
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	5	B	BAÑADOS.	0.52
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	5	B	BAÑADOS.	4.61
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	5	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	132.14
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	5	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	6.7
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	5	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	0.01
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	5	B	CAÑADAS.	3.46
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	5	B	CAÑADAS.	1.45
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	5	B	PALEOCAUCE O CAUCE ABANDONADO.	63.64

Tabla N° AII.6.6 Características suelo subcuena 6

CU1	POS1_ID	Textura Superficial	Nombre	Grupo Hidrológico del Suelo	TIPO	Sup_Km2
VI w	Vias de escurrimiento	Arenosa	6	A	ARENAL CON RIPIO Y CANTO RODADO.	23.11
VI w	Vias de escurrimiento	Arenosa	6	A	BAÑADOS.	44.31
VI w	Vias de escurrimiento	Arenosa	6	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	39.82
VI w	Vias de escurrimiento	Arenosa	6	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	0.65
VI w	Vias de escurrimiento	Arenosa	6	A	CAÑADAS.	2.43
VI w	Vias de escurrimiento	Arenosa	6	A	CIENAGA, TREMEDAL, TEMBLADERAL, EMBALSADO, TURBAL, MENUCO.	56.02
VI w	Vias de escurrimiento	Arenosa	6	A	PALEOCAUCE O CAUCE ABANDONADO.	2.26
VI w	Vias de escurrimiento	Arenosa	6	A	PALEOCAUCE O CAUCE ABANDONADO.	4.94
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	6	B	ARENAL CON RIPIO Y CANTO RODADO.	4.66
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	6	B	BAÑADOS.	202.21
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	6	B	BAÑADOS.	141.16
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	6	B	BAÑADOS.	38.27
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	6	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	3.86
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	6	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	5.84
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	6	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	20.76
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	6	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	0.48
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	6	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	0.19
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	6	B	CAÑADAS.	11.52
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	6	B	CIENAGA, TREMEDAL, TEMBLADERAL, EMBALSADO, TURBAL, MENUCO.	53.96
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	6	B	ESTEROS.	0.14
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	6	B	PALEOCAUCE O CAUCE ABANDONADO.	3.06
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	6	B	PALEOCAUCE O CAUCE ABANDONADO.	2.36

Tabla N° AII. 6.7 Características suelo subcuena 7

CU1	POSL_1D	Textura Superficial	Nombre	Grupo Hidrológico del Suelo	TIPO	Sup_Km2
IV c	Loma alta tendida	Areno Franca	7	A	BAÑADOS.	12.45
IV c	Loma alta tendida	Areno Franca	7	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	19.54
IV c	Loma alta tendida	Areno Franca	7	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL TRANSITABLE.	6.19
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	7	B	BAÑADOS.	0.11
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	7	B	BAÑADOS.	19.04
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	7	B	BAÑADOS.	30.47
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	7	B	BAÑADOS.	28.87
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	7	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	248.29
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	7	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	45.78
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	7	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	11.69
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	7	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	80.28
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	7	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL TRANSITABLE.	0.38
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	7	B	ESTEROS.	179.39
V w	Bajo tendido	Franco Limosa	7	B	ESTEROS.	133.52

Tabla N° AII.7. Cálculo CN

Sub Cca	Grupo Hidrológico	Cobertura	Sup Km2	%	CN	CN Pond.	
1	A	BAÑADOS.	107.76	6.81%	30	2.043	
1	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	136.58	8.63%	36	3.108	
1	A	CAÑADAS.	1.9	0.12%	35	0.042	
1	A	ESTEROS.	31.51	1.99%	32	0.637	
1	B	BAÑADOS.	784.79	49.61%	35	17.363	
1	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	110.57	6.99%	40	2.796	
1	B	CAÑADAS.	0.02	0.00%	42	0.001	
1	B	ESTEROS.	408.87	25.85%	44	11.372	37.4
2	A	ARENAL CON RIPIO Y CANTO RODADO.	3.65	0.23%	27	0.061	
2	A	BAÑADOS.	197.46	12.31%	30	3.693	
2	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	130.42	8.13%	36	2.927	
2	A	CAÑADAS.	13.58	0.85%	35	0.296	
2	A	CIENAGA, TREMEDAL, TEMBLADERAL, EMBALSADO, TURBAL, MENUCO.	0.97	0.06%	29	0.018	
2	A	ESTEROS.	92.47	5.76%	32	1.845	
2	A	PALEOCAUCE O CAUCE ABANDONADO.	74.48	4.64%	33	1.532	
2	B	ARENAL CON RIPIO Y CANTO RODADO.	13.35	0.83%	34	0.283	
2	B	BAÑADOS.	441.35	27.52%	35	9.630	
2	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	165.07	10.29%	40	4.116	
2	B	CAÑADAS.	28.93	1.80%	35	0.631	
2	B	CIENAGA, TREMEDAL, TEMBLADERAL, EMBALSADO, TURBAL, MENUCO.	18.01	1.12%	38	0.427	
2	B	ESTEROS.	251.24	15.66%	44	6.892	
2	B	PALEOCAUCE O CAUCE ABANDONADO.	173.02	10.79%	37	3.991	36.3
3	A	BAÑADOS.	17.31	1.45%	30	0.435	
3	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	218.9	18.35%	36	6.606	
3	A	CAÑADAS.	24.61	2.06%	35	0.722	
3	A	ESTEROS.	0.16	0.01%	32	0.004	
3	B	BAÑADOS.	18.29	1.53%	35	0.537	
3	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	895.45	75.06%	40	30.024	
3	B	CAÑADAS.	9.6	0.80%	42	0.338	
3	B	ESTEROS.	0.11	0.01%	44	0.004	
3	B	PALEOCAUCE O CAUCE ABANDONADO.	8.56	0.72%	37	0.265	38.9
4	A	BAÑADOS.	172.68	11.19%	30	3.357	
4	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	100.45	6.51%	36	2.344	
4	A	CAÑADAS.	24.24	1.57%	35	0.550	
4	A	PALEOCAUCE O CAUCE ABANDONADO.	12.47	0.81%	33	0.267	
4	B	BAÑADOS.	896.68	58.11%	35	20.340	
4	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	172.56	11.18%	40	4.473	
4	B	CAÑADAS.	94.99	6.16%	42	2.586	
4	B	PALEOCAUCE O CAUCE ABANDONADO.	68.9	4.47%	37	1.652	35.6
5	A	BAÑADOS.	233.79	17.83%	30	5.350	
5	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	784.86	59.87%	36	21.552	
5	A	CAÑADAS.	76.65	5.85%	35	2.046	
5	A	ESTEROS.	0.32	0.02%	32	0.008	
5	A	PALEOCAUCE O CAUCE ABANDONADO.	2.85	0.22%	33	0.072	
5	B	BAÑADOS.	5.13	0.39%	35	0.137	
5	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	138.85	10.59%	40	4.236	
5	B	CAÑADAS.	4.91	0.37%	42	0.157	
5	B	PALEOCAUCE O CAUCE ABANDONADO.	63.64	4.85%	37	1.796	35.4
6	A	ARENAL CON RIPIO Y CANTO RODADO.	23.11	3.49%	27	0.943	
6	A	BAÑADOS.	44.31	6.69%	30	2.008	
6	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	40.47	6.11%	36	2.201	
6	A	CAÑADAS.	2.43	0.37%	35	0.128	
6	A	CIENAGA, TREMEDAL, TEMBLADERAL, EMBALSADO, TURBAL, MENUCO.	56.02	8.46%	29	2.454	
6	A	PALEOCAUCE O CAUCE ABANDONADO.	7.2	1.09%	33	0.359	
6	B	ARENAL CON RIPIO Y CANTO RODADO.	4.66	0.70%	34	0.239	
6	B	BAÑADOS.	381.64	57.65%	35	20.177	
6	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	31.13	4.70%	40	1.881	
6	B	CAÑADAS.	11.52	1.74%	42	0.731	
6	B	CIENAGA, TREMEDAL, TEMBLADERAL, EMBALSADO, TURBAL, MENUCO.	53.96	8.15%	38	3.097	
6	B	ESTEROS.	0.14	0.02%	44	0.009	
6	B	PALEOCAUCE O CAUCE ABANDONADO.	5.42	0.82%	37	0.303	34.5
7	A	BAÑADOS.	12.45	1.53%	30	0.458	
7	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	19.54	2.39%	36	0.862	
7	A	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL TRANSITABLE.	6.19	0.76%	38	0.288	
7	B	BAÑADOS.	78.49	9.62%	35	3.367	
7	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL INTRANSITABLE.	386.04	47.31%	40	18.924	
7	B	BOSQUE, SELVA, FORESTA, PARQUE NATURAL TRANSITABLE.	0.38	0.05%	36	0.017	
7	B	ESTEROS.	312.91	38.35%	44	16.873	40.8

## ANEXO III: FIGURAS

Se presentan a continuación las figuras del seguimiento de crecida del bañado La Estrella para los años 2007 y 2008.

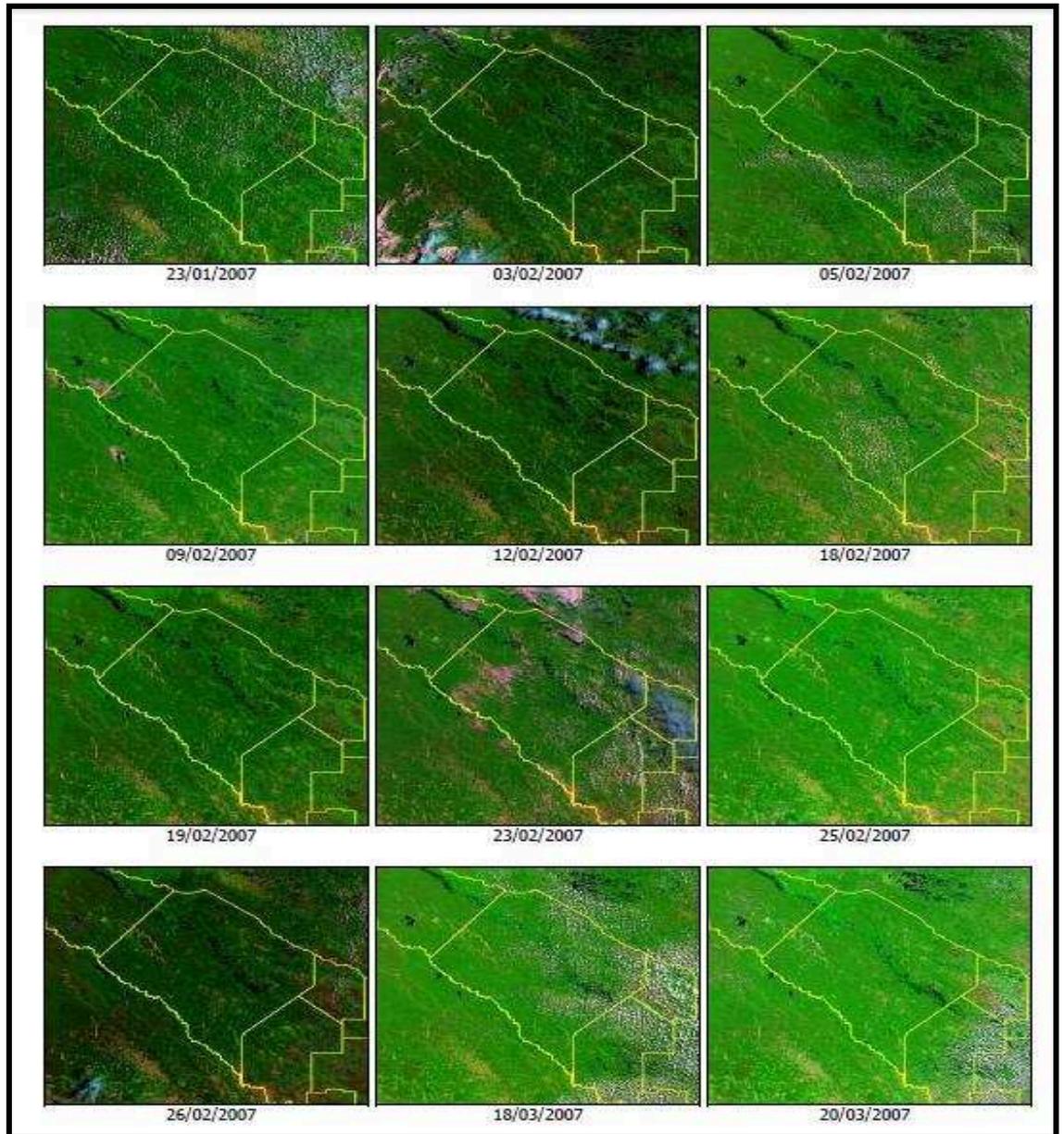


Figura N° AIII.1. Monitoreo de crecida bañado La Estrella año 2007 (Fuente Valiente et al., 2009)

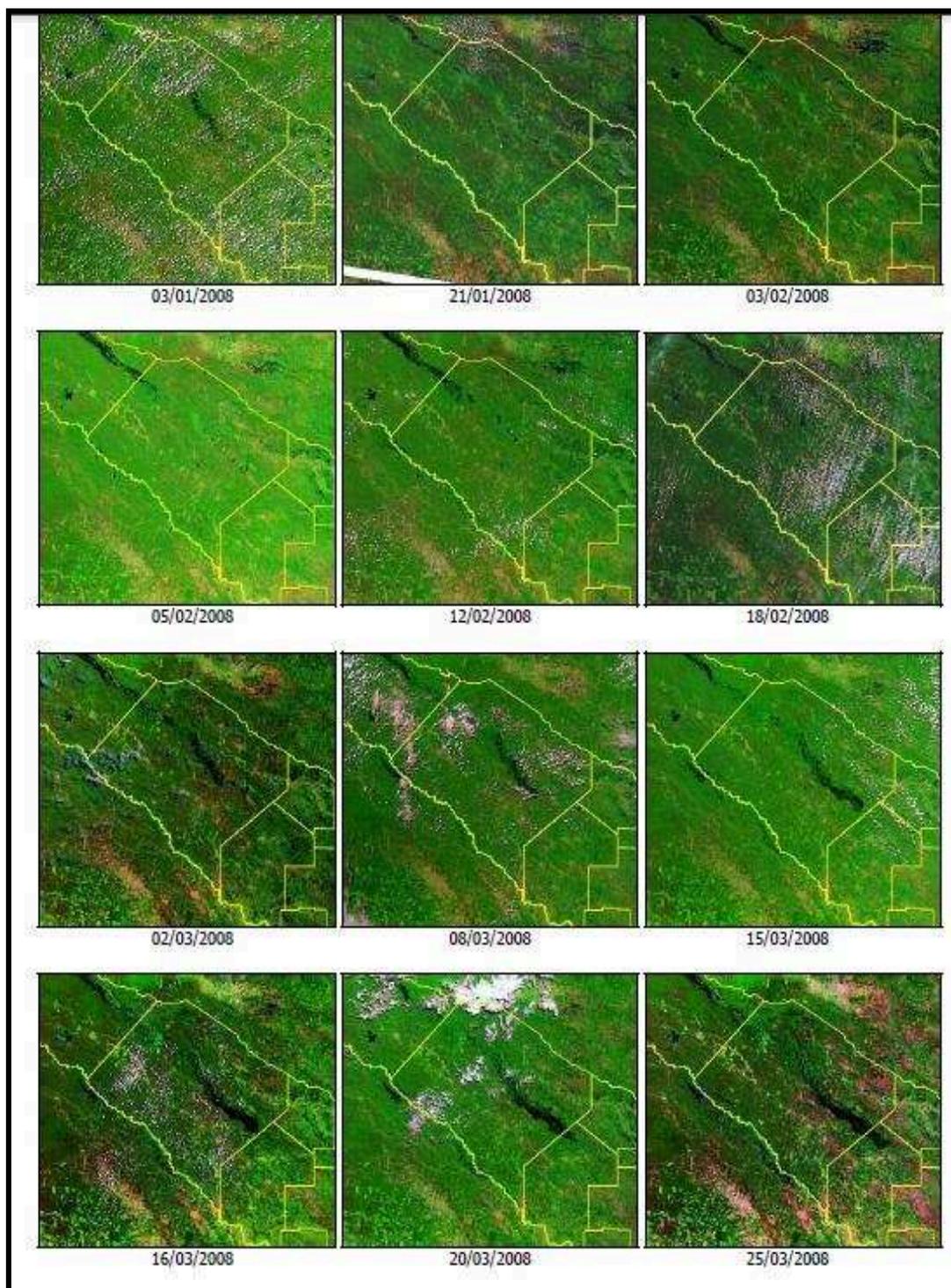


Figura N° AIII.2. Monitoreo de crecida bañado La Estrella año 2008 (Fuente Valiente et al., 2009)

Se presentan a continuación las otras 5 salidas de la simulación lluvia –escorrentías efectuadas con el modelo HEC-HMS 4.0.

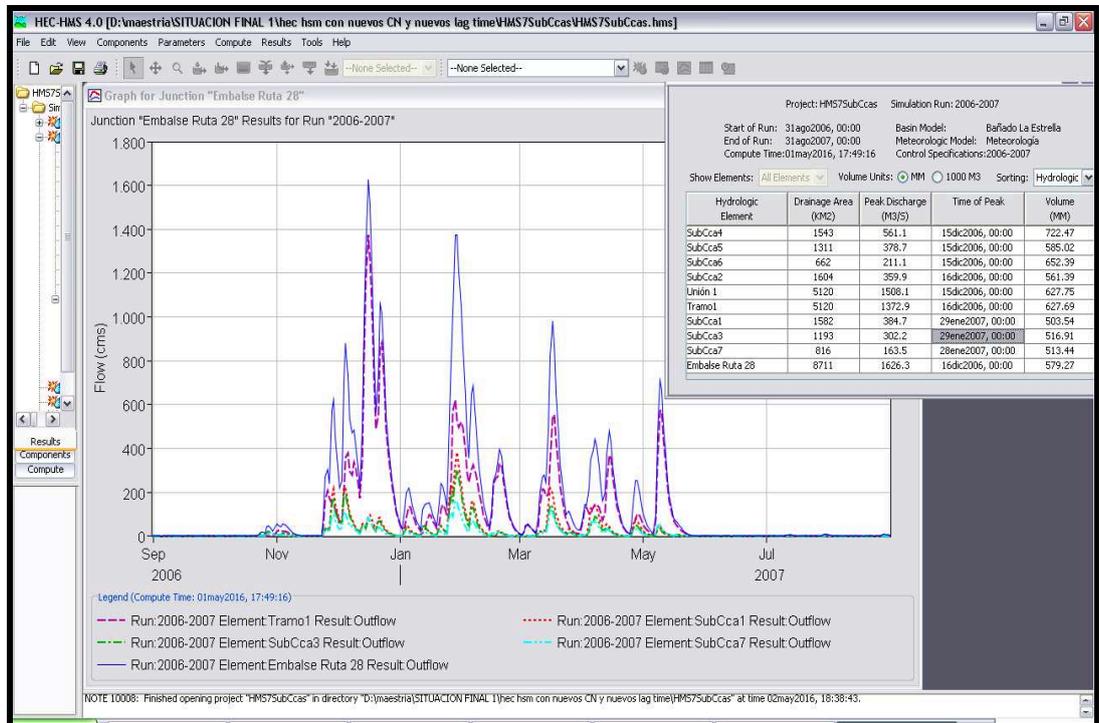


Figura N° AIII.3. Hidrograma Embalse RP N° 28 - tabla resumen (2006/2007)

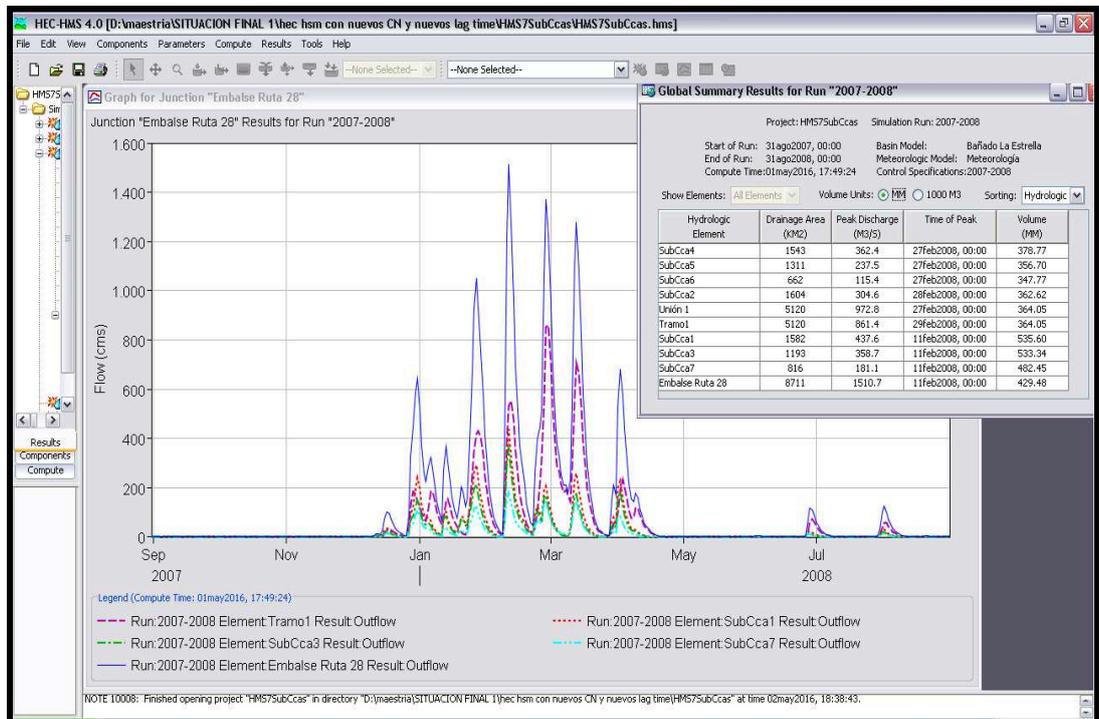


Figura N° AIII.4. Hidrograma Embalse RP N° 28 - tabla resumen (2007/2008)

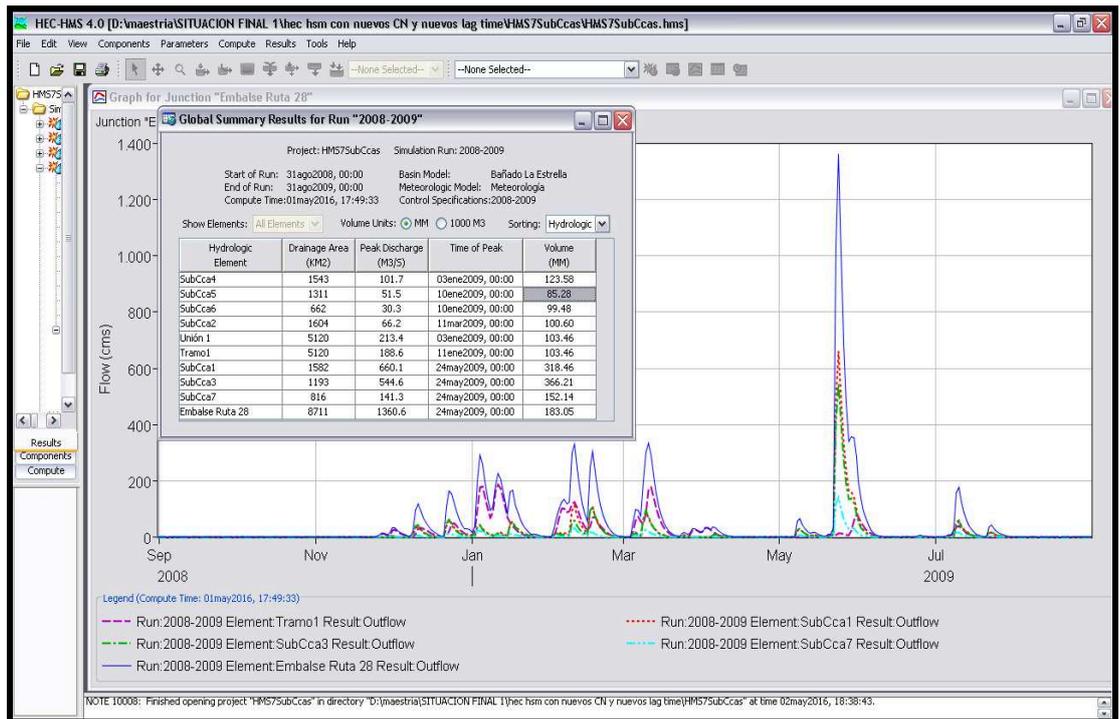


Figura N° AIII.5. Hidrograma Embalse RP N° 28 -tabla resumen (2008/2009)

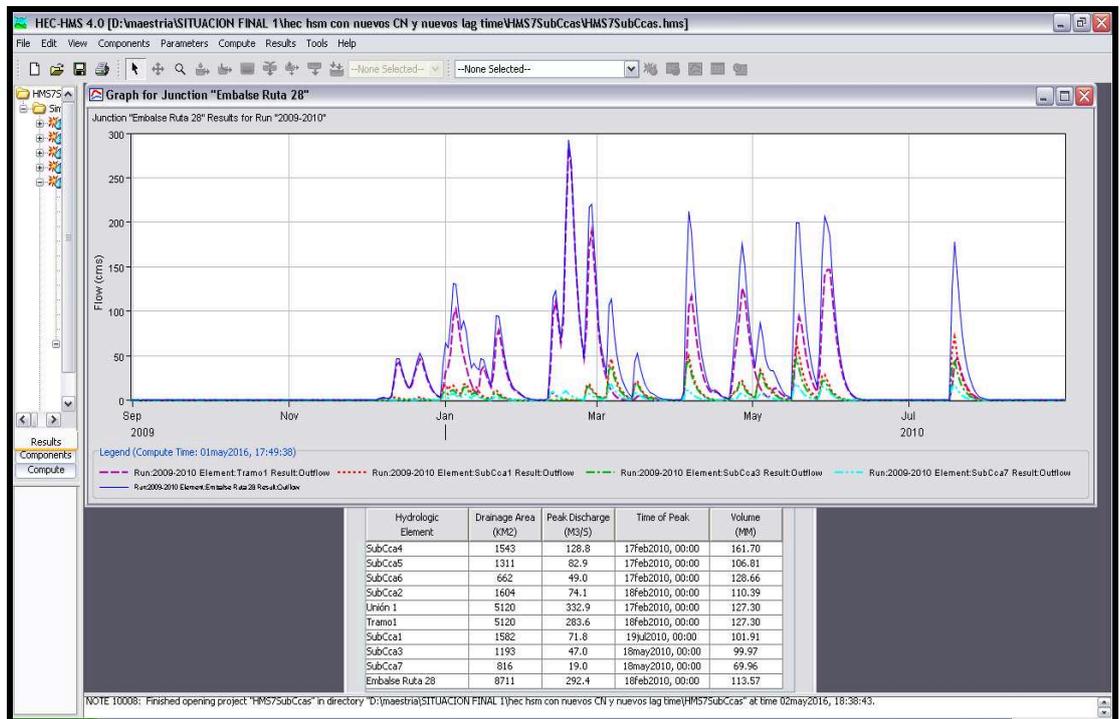


Figura N° AIII.6. Hidrograma Embalse RP N° 28 -tabla resumen (2009/2010)

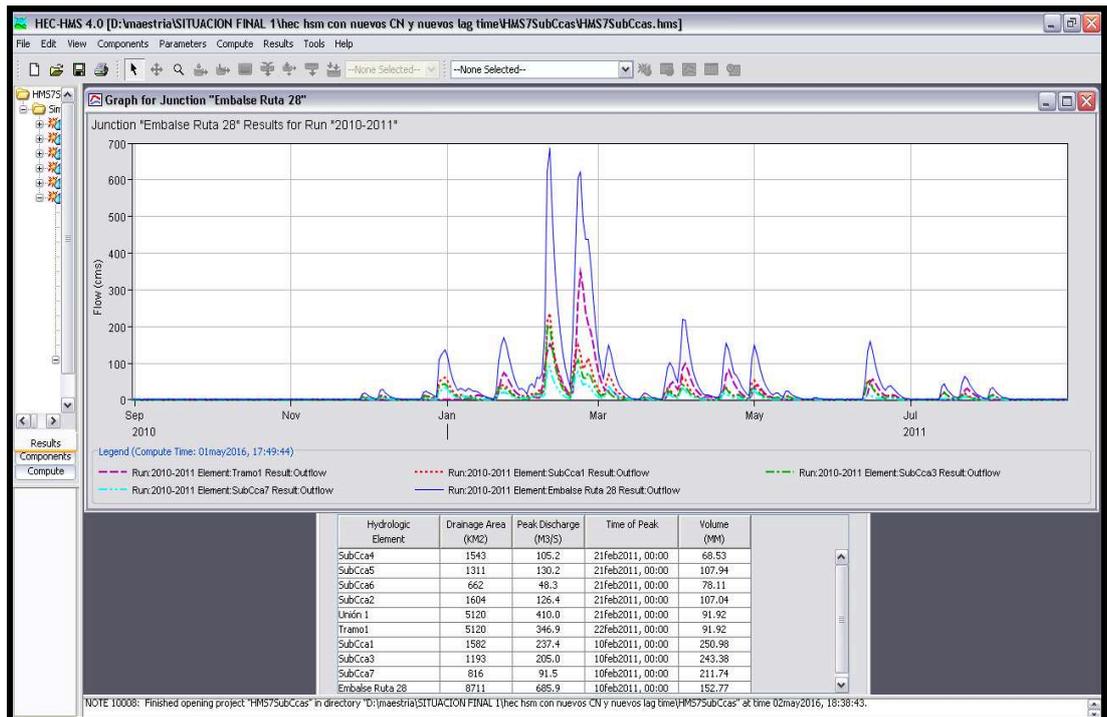


Figura N° AIII.7. Hidrograma Embalse RP N° 28 - tabla resumen (2010/2011)