

TESIS DE MAESTRÍA EN CIENCIAS HIDRICAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

TITULO

**ANÁLISIS Y MODELACIÓN DEL COMPORTAMIENTO
HIDROLÓGICO DE LAS LAGUNAS DON TOMÁS Y BAJO GIULIANI
SANTA ROSA, LA PAMPA**

TESISTA

Ing. Juan Carlos MECCA

DIRECTOR

Dr. Erik Daniel ZIMMERMANN

Febrero 2008

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi agradecimiento a las personas e instituciones que colaboraron para que pudiera alcanzar las metas fijadas:

Dirección de Informática y Dirección de Hidráulica Municipalidad de Santa Rosa, Subsecretaría de Ecología y Dirección de Aguas de la Provincia de La Pampa, INTA de Santa Rosa y Anguil y Dirección Nacional de Vialidad.

Mi especial reconocimiento al Dr. Erik Daniel ZIMMERMANN, quien puso a disposición su talento, dedicación y apoyo incondicional, para superar con éxito las exigencias del presente estudio.

Ing. Juan Carlos MECCA

ÍNDICE

RESUMEN	4
Capítulo 1: Introducción	5
1.1 Presentación de la Problemática	5
1.2 Objetivos	6
1.3 Organización de la Tesis	7
Capítulo 1: Introducción	7
Capítulo 2: Marco teórico	7
Capítulo 3: Recopilación de Datos – Metodología	7
Capítulo 4: Caracterización del Área de Estudio	7
Capítulo 5: Procesamiento e Interpretación de los Datos	7
Capítulo 6: Resultados y Discusión	8
Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones	8
Anexo 1: Tablas y Gráficos	8
Capítulo 2: Marco Teórico	10
2.1 Nociones de Hidrología - Ciclo Hidrológico	10
2.1.1 Componentes del balance hidrológico	11
2.2 Hidrología de Llanuras	12
2.3 Efectos Ambientales	13
2.4 Modelos Matemáticos en Hidrología	15
2.4.1 Análisis Sistémico Hidrológico	15
2.4.2 Objetivos del Análisis Sistémico Hidrológico	16
2.4.3 Modelos determinísticos y estocásticos	17
2.4.4 Procesos de análisis y de síntesis	18
2.4.5 Selección del modelo	20
2.4.6. Modelos de simulación hidrológica	21
2.4.6.1 Modelo Hidrológico HYMO-10 (1984)	21
2.4.6.2 Modelo Hidrológico ARHYMO	23
2.4.6.3 Modelo Hidrológico HEC-HMS	24
2.5 Modelo seleccionado para las simulaciones. Modelo SHALL3	25
2.5.1 Descripción del Modelo	25
2.5.2 Utilización de Sistemas de Información Geográfica en Hidrología	32
Capítulo 3: Recopilación de Datos – Metodología	34
3.1 Recopilación de Datos	34
3.2 Metodología	34
Capítulo 4: Caracterización del Área de Estudio	39
4.1 Descripción General de los Cuerpos Receptores	41
4.1.1 Bajo Giuliani	41
4.1.2 Laguna Don Tomás	41
4.2 Síntesis Geomorfológica	44
4.3 Síntesis Climática	45
4.4 Síntesis Hidrogeológica	46
4.5 Índices de Población	46
4.6 Proyecto de Descarga Cloacal en el Bajo Giuliani	47
Capítulo 5: Procesamiento de los Datos	49
5.1 Utilización de Curvas de Nivel IGM	49
5.1.1 Cálculo de curvas cota-volumen	51
5.2 Análisis de Imágenes de Satélite - Estimación de Coberturas	54
5.2.1 Cobertura vegetal mediante clasificación de imágenes	65
5.3 Tratamiento Estadístico de la Serie de Precipitaciones (1911-2006)	70
5.4 Determinación de Áreas de Influencia de Pluviómetros	71
5.5 Digitalización de Curvas Isopiécicas, Georeferenciación de Pozos y Delimitación de la Cuenca Subterránea	73

5.6 Censo de Pozos ubicados dentro del Área Subterránea	75
5.7 Trabajos de Campo	75
5.7.1 Ensayos de campo para estimar parámetros de Infiltración	76
5.8 Procesamiento de Información para la Implementación del Modelo SHALL 3	79
5.8.1 Discretización del Área de Estudio	79
5.8.2 Submodelo de la Zona Saturada - Modelo conceptual del acuífero freático	81
5.8.3 Submodelo de la Zona no Saturada	86
5.8.4 Submodelo de Celdas Superficiales - Coberturas y almacenamientos en superficie	87
Capítulo 6: Resultados y Discusión	92
6.1 Calibración del Modelo SHALL3	92
6.2 Balance Hidrológico de las Lagunas	92
6.2.1 Estimación de los componentes del balance	93
Variación de niveles de las Lagunas	93
Precipitaciones (P)	94
Caudales de Plantas de Tratamiento de Líquidos Cloacales (Q_{PT})	95
Caudal Subterráneo (Q_{Subt})	95
Caudal de Bombeo desde laguna Don Tomás (Q_{Bomb})	98
Evaporación (E_v)	99
Infiltración	100
Esguerrimiento superficial (E_s)	101
6.3 Corridas de Simulación en el Período 2005-2007	102
6.3.1 Datos de entrada	102
Evapotranspiración potencial	102
Precipitaciones horarias	103
6.3.2 Corridas del modelo	104
6.4 Simulación del Período 2007-2030	106
Caudales de las plantas de tratamiento	106
Precipitaciones	107
Evapotranspiración	107
Esguerrimientos en las cuencas	107
Caudal de Bombeo de la Laguna Don Tomás	107
Balances Hidrológicos de Lagunas	107
Análisis de resultados	108
Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones	110
Referencias Bibliográficas	114
Bibliografía Consultada	117
Anexo 1 - Tablas y Gráficos	118
Tabla A.4.1 Temperatura Media mensual (°C)	118
Tabla A.4.2 Precipitación mensual (milímetros) en Santa Rosa período 1911-2006	118
Tabla A.5.1 Pozos de Captación de Agua: Parámetros y Ubicación en la Cuenca Subterránea	120
Tabla A.5.2 Uso Consuntivo de Cada Celda Superficial	121
Tabla A.6.1 Cotas Medidas Lagunas Giuliani y Don Tomás	131
Tabla A.6.2 Profundidad Niveles Estáticos Pozos de Exploración Bajo Giuliani (metros)	132
Tabla A.6.3 Variación Niveles Estáticos Pozos de Exploración (m) y Precipitaciones (mm)	133
Tabla A.6.4 Pendiente Media Subterránea Bajo Giuliani	133
Tabla A.6.5 Déficit de Saturación y Velocidad del Viento (UNLPam)	134
Tabla A.6.6 Evaporación calculada mediante Fórmula de Meyer	134
Tabla A.6.7 Concentración de Sales Lagunas Don Tomás y Giuliani	135
Tabla A.6.8 ETP Penmann INTA – UNLPam	135
Tabla A.6.9 Simulación mensual 2007-2030 Laguna Don Tomás	136
Tabla A.6.10 Simulación mensual 2007-2030 Laguna Bajo Giuliani	140
Gráfico A.6.1 Niveles medidos Laguna Bajo Giuliani (período 1985-2007)	145

RESUMEN

El objetivo de esta tesis fue analizar y simular el comportamiento hidrológico correspondiente a las cuencas de las Lagunas Don Tomás y Giuliani (provincia de La Pampa, Argentina), mediante la constitución y calibración de un modelo matemático hidrológico apto para tal fin. Se emplea en este trabajo el modelo hidrológico-hidráulico SHALL3 (Simulación Hidrológica de Áreas de Llanura) capaz de reproducir tanto la hidrología de superficie como la subterránea. Es hidrodinámico continuo, físicamente basado y presenta alta resolución, tanto en la dimensión temporal como en la espacial.

El modelo fue enteramente desarrollado en el ámbito de la Universidad Nacional de Rosario, es de características inéditas y fue aplicado en la cuenca del arroyo Ludueña (provincia de Santa Fe). La constitución del mismo en un ámbito diferente al originario representa una ocasión inmejorable para demostrar sus capacidades.

En la ciudad de Santa Rosa, existen dos grandes cuencas naturales cerradas, donde deriva sus aguas el sistema de desagües pluviales: la Laguna Don Tomás y el Bajo Giuliani. La primera recibe descargas pluviales de la cuenca urbana. La laguna del Bajo Giuliani recibe aguas del escurrimiento de su propia cuenca, del trasvase por bombeo de la Laguna Don Tomás (cuando el nivel de ésta se halla desbordado), del sistema de desagües pluviales sudeste de la ciudad, de los líquidos cloacales depurados en las Plantas de Tratamiento Norte y Sur y además, funciona como descarga subterránea de los acuíferos que llegan a su cuenca. Al ser un sistema hidrológicamente cerrado, las salidas naturales están constituidas por la evaporación y la infiltración.

Con el aumento de la población, el caudal de estos líquidos se ha ido acrecentando, en virtud del mayor consumo de agua potable y, consecuentemente, ha generado un aumento paulatino del nivel de la laguna Giuliani. La incorporación del acueducto del Río Colorado al sistema hídrico de la ciudad, producirá un incremento de los líquidos cloacales que derivan al Bajo, y una mayor contribución a la recarga del acuífero por riego y posibles pérdidas en la red de distribución de agua potable.

Estudios existentes, indican que la capacidad del Bajo Giuliani para servir de descarga a los líquidos señalados podría resultar insuficiente para la condición del año 2030.

En esta tesis, considerada como primera fase del abordaje, se puso énfasis en la calibración del modelo. Para ello se realizaron mediciones mensuales de niveles, como también de las entradas y salidas en ambas lagunas, durante los años 2006 y 2007, estimándose los escurrimientos superficiales mensuales para cada laguna. Se incorporó y procesó información hidrometeorológica, hidrológica e hidrogeológica y se realizaron numerosas corridas del SHALL3, hasta tanto los valores de escurrimientos superficiales arrojados por el mismo, fueron similares a los medidos.

Posteriormente, se realizaron corridas de simulación en el período 2007-2030, partiendo de las condiciones alcanzadas en el año 2007 durante el proceso de calibración, suponiendo un escenario futuro respecto a las variables de entrada y de estado de los componentes considerados en el modelo.

Los resultados alcanzados indican que considerando incrementos de precipitaciones y escurrimientos debido al calentamiento global, en el año 2030 se arribará a la cota 167,054 IGM en la Laguna Don Tomás y a la cota 146,298 IGM, en la Laguna del Bajo Giuliani. El aumento del nivel de la laguna Don Tomás sería regulado por bombeo y no afectaría su área de influencia, en virtud que los excesos serían adecuadamente bombeados hacia el Bajo Giuliani. El nivel que alcanzaría la laguna Giuliani, haría superar la cota mínima de calzada en la Ruta Nacional N° 35, aproximadamente en el año 2011 y la cota mínima de calzada en la Ruta provincial N° 14, aproximadamente en el año 2009.

Al margen de los resultados en sí mismos, se considera que el empleo de herramientas tecnológicas de alto nivel de detalle y desarrolladas localmente, para la evaluación de impactos generados por la actividad del hombre a través de la problemática presentada, constituye un avance metodológico importante en pos de la protección del medio ambiente.

Capítulo 1: Introducción

El presente trabajo se corresponde con la Tesis Final de la Carrera de Maestría en Ciencias Hídricas, dictada por la Universidad Nacional de La Pampa.

1.1 Presentación de la Problemática

El presente trabajo tiene por objeto conocer y analizar el funcionamiento hidrológico de una región, entendiendo que es de suma importancia para el correcto manejo y aprovechamiento de sus recursos hídricos. Conocer los volúmenes de agua existentes en una región y su funcionamiento hidrológico, puede aplicarse a la producción de energía eléctrica, abastecimiento de agua, disposición de aguas residuales, riego, control de inundaciones, diseño de estructuras hidráulicas y drenajes, entre otras funciones.

La hidrología de una región está regida por su clima, vegetación, topografía y geología, aunque las actividades antrópicas modifican el medio ambiente, alterando el funcionamiento natural del ciclo hidrológico y su dinámico equilibrio. Si bien, el volumen total de agua en movimiento permanece constante, su distribución cambia continuamente en continentes, regiones y cuencas locales de escurrimiento.

El aumento del nivel medio del mar, basado en registros históricos de 100 a 150 años, ha sido de 2,1 milímetros por año. Los fenómenos de El Niño, por ejemplo, ocasionaron desastres e inundaciones en distintas regiones, con pérdidas económicas y humanas.

En abril de 2007, en el Congreso Mundial realizado en Bruselas, científicos del Centro de Información de la ONU pronosticaron cambios climáticos en Argentina, con aumento de hasta 1,2°C en las temperaturas para el año 2020, lluvias que provocarán inundaciones en todo el país, cambios en el nivel del mar y tornados desde la zona de La Pampa hacia el norte del país.

La Provincia de La Pampa sufrió inundaciones en distintas ciudades durante el año 2001, incluyendo a la ciudad de Santa Rosa, situación que podría repetirse de acuerdo a las previsiones climáticas mencionadas.

En la ciudad de Santa Rosa, existen dos grandes cuencas naturales cerradas: la Laguna Don Tomás y el Bajo Giuliani.

La laguna Don Tomás recibe el aporte del sistema de desagües pluviales de la ciudad y aguas de precipitaciones de su cuenca de aporte, que en términos generales nunca ha cambiado de tamaño. Sí, ha cambiado el escurrimiento, como consecuencia de actividad antrópica, principalmente la urbanización de la ciudad de Santa Rosa. Al ser un sistema hidrológicamente cerrado, las salidas naturales están constituidas por evaporación e infiltración. Asimismo, cuando el nivel de la misma es tal que impide el correcto desagüe de los canales pluviales, sus excedentes son bombeados hacia la laguna del Bajo Giuliani.

La laguna del Bajo Giuliani recibe aguas del escurrimiento de su propia cuenca, del trasvase por bombeo de la Laguna Don Tomás (cuando el nivel de ésta se haya desbordado), del sistema de desagües pluviales sudeste de la ciudad, de los líquidos cloacales depurados en las Plantas de Tratamiento Norte y Sur y además, funciona como descarga subterránea de los acuíferos que llegan a su cuenca. Al ser un sistema hidrológicamente cerrado, las salidas naturales están constituidas por evaporación e infiltración.

Con el aumento de la población, el caudal de los líquidos cloacales se ha ido acrecentando, en virtud del mayor consumo de agua potable y, consecuentemente, ha generado un aumento paulatino del nivel de la laguna Giuliani. Es decir, que ésta no se encuentra en equilibrio dinámico.

Debe tenerse en cuenta que, el crecimiento vegetativo de la población generará mayor demanda de agua potable, que podrá ser satisfecha debido a la incorporación del acueducto del Río Colorado al sistema hídrico de la ciudad. Ello, debería producir un incremento de los líquidos cloacales tratados y crudos que derivan al Bajo, y ó bien una mayor contribución a la recarga del acuífero por pérdidas en la red de distribución de agua potable y por riego.

De acuerdo a estudios existentes, utilizados en la elaboración del Plan Director de la ciudad, la capacidad del Bajo Giuliani para servir de descarga a los líquidos señalados podría resultar insuficiente para la condición del año 2030. (Consorcio EIH, 1986a).

En consecuencia, es de suma importancia conocer el funcionamiento hidrológico de la ciudad de Santa Rosa y estimar, con la mayor exactitud posible, el volumen de agua que aporta cada componente del ciclo hidrológico, realizando balances en las lagunas Don Tomás y Giuliani.

Asimismo, cabe analizar eventuales escenarios climáticos que puedan producir modificaciones en la distribución de las variables hidrológicas y realizar estimaciones futuras, a efectos de determinar políticas a adoptar.

Respecto a las técnicas actuales de modelación hidrológica puede mencionarse que existe una amplia gama de modelos que operan por eventos, es decir, simulando el comportamiento de un sistema hidrológico en el rango temporal de una tormenta, y una mediana cantidad de modelos continuos, es decir que operan en intervalos temporales mayores y en forma ininterrumpida.

En este trabajo de tesis se propone constituir en el sistema de estudio el modelo hidrológico-hidráulico SHALL3 (Simulación Hidrológica de Áreas de Llanura, versión 3), desarrollado completamente en el Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (Universidad Nacional de Rosario). Hasta la fecha sólo se lo ha implementado en el lugar donde se ha desarrollado, esto es, sistema del Arroyo Ludueña (provincia de Santa Fe) por lo que se lo puede considerar casi inédito.

El modelo es especialmente apto para analizar impactos en el largo plazo, ya que es de operación continua en el tiempo, y permite estimar variables de estado y de salida con una resolución temporal y espacial con mucho detalle. Simula conjuntamente la hidrología superficial y la subterránea, pasando por intercambios de flujo y almacenamiento en la zona no saturada (véase Capítulo 2). Las ecuaciones empleadas por el modelo matemático están basadas en principios de la física, lo que representa un ventaja considerable a la hora de la calibración del mismo.

Al ser un modelo de alto detalle, su operación demanda un voluminoso procesamiento de información pluviográfica, pluviométrica, hidrométrica, evaporimétrica, hidrológica, satelital, hidrogeológica, etc. como se verá expuesto en esta tesis. Esta información puede ser procesada mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), siendo este tratamiento de carácter original ya que no han sido utilizado SIG previamente con este modelo.

Debe resaltarse además que nunca fue empleado en sistemas hidrológicamente cerrados, lo cual representa un desafío desde el punto de vista de una posible reformulación parcial del modelo. Por todas estas razones el empleo del modelo SHALL3 en el sistema hidrológico presentado, resulta de gran interés en el marco de la investigación propuesta para esta tesis.

No es tampoco despreciable, desde un punto de vista científico, el resultado del trabajo (aunque sea preliminar), esto es el impacto de las descargas de Santa Rosa en el Bajo Giuliani para escenarios futuros, ya que de su conocimiento se desprenderán las medidas de mitigación ó corrección que se deberán adoptar en los próximos años.

1.2 Objetivos

A) Formular conceptualmente el comportamiento hidrológico de los sistemas de las Lagunas Don Tomás y Giuliani, basado en la recopilación de datos existentes, toma de nuevos datos y su interpretación.

B) Simular el comportamiento hidrológico correspondiente a las cuencas de las Lagunas Don Tomás y Giuliani, mediante constitución y calibración del modelo matemático hidrológico-hidráulico SHALL3.

C) Procesar la información con base cartográfica y satelitaria para este modelo, empleando Sistemas de Información Geográfica (SIG).

D) Analizar posibles reformulaciones parciales del modelo, atendiendo al hecho que no ha sido desarrollado para sistemas hidrológicos como el que se estudiará.

E) Proponer un escenario futuro (considerando precipitación, evaporación, infiltración, escurrimientos y vertido de líquidos cloacales tratados) estimando la evolución de los niveles en la laguna del Bajo Giuliani y área de influencia, mediante modelación matemática hidrológica.

1.3 Organización de la Tesis

La organización de esta tesis se presenta en siete capítulos y un anexo, que se describen a continuación:

Capítulo 1: Introducción

Corresponde al presente capítulo.

Capítulo 2: Marco teórico

En este capítulo, se exponen nociones de hidrología y el funcionamiento del ciclo hidrológico.

Se explica el distinto comportamiento de cuencas en pendiente y en llanuras, así como efectos ambientales, consecuencia de acciones antrópicas sobre los sistemas naturales (excesivo laboreo y erosión provocada, que pueden producir anegamientos e inundaciones).

Posteriormente, se realiza un análisis general de modelos matemáticos aplicados en hidrología.

Por último, se describe el funcionamiento de distintos modelos de simulación hidrológica, estructura conceptual y forma de selección, especificando el modelo desarrollado para sistemas de llanuras SHALL3.

Capítulo 3: Recopilación de Datos - Metodología

En este capítulo, se detalla la información y revisión bibliográfica solicitada a distintos organismos, relativa al tema y área de estudio. Luego, se describen las tareas a realizar utilizando los datos e información recopilada, la forma de llevarlas a cabo y los fines perseguidos en cada una de ellas.

Capítulo 4: Caracterización del Área de Estudio

En este capítulo, se referencia geográficamente el área de estudio y se exponen, sucesivamente, una síntesis geomorfológica, una climática y una hidrológica de la misma.

Asimismo, se georeferencian las lagunas Don Tomás y del Bajo Giuliani dentro del área de estudio, y se describen las características de las mismas.

Por último, se analiza el proyecto de descarga cloacal en el Bajo Giuliani y se consignan índices de crecimiento poblacional, esperados para la ciudad de Santa Rosa.

Capítulo 5: Procesamiento de los Datos

En este capítulo, se procesa la información recopilada, constituida por datos climatológicos, geológicos, hidráulicos e hidrológicos, que se ha integrado a fin de plantear el modelo hidrológico general del funcionamiento del sistema.

Inicialmente, con curvas de nivel correspondientes al área de estudio digitalizadas, se calculan las curvas cota-volumen de ambas lagunas y se delimitan las cuencas superficiales de aporte hacia ellas.

Con imágenes de satélites correspondientes a los años 2001 a 2006, que comprenden el área de estudio, se analiza la evolución del nivel de la laguna ubicada en el bajo Giuliani. Asimismo, se determina la cobertura vegetal de las cuencas superficiales, mediante clasificación supervisada de imágenes de satélite correspondientes al año 2006.

Se analiza estadísticamente la serie de precipitaciones mensuales histórica registradas en Santa Rosa, desde el año 1911.

Utilizando polígonos de Thiessen, se determinan áreas de influencia de tres pluviómetros instalados en la sede del Servicio Meteorológico Nacional (Aeropuerto), Centro de Abastecimiento Sur de agua potable (Circunvalación y Alfredo Palacios) y Plantas de Tratamiento Sur (Bajo Giuliani).

Se georeferencian pozos de agua potable registrados en la Dirección de Aguas Provincial, ubicados dentro de la cuenca subterránea. En función de ellos, se describen las propiedades del acuífero.

Se detallan las tareas de campo realizadas, dentro de las cuales, se expone un ensayo de infiltración para cada cuenca.

Por último, se describe el procesamiento de información realizado para la implementación del modelo utilizado para las simulaciones: SHALL3.

Capítulo 6: Resultados y Discusión

Modelado el funcionamiento del sistema hidrológico y las variables que intervienen en el mismo, se realizan balances hidrológicos mensuales de los sistemas estudiados en las Lagunas Don Tomás y del Bajo Giuliani, comenzando en septiembre de 2006.

Se estiman cada uno de los componentes del balance hidrológico: precipitación, escurrimientos superficiales, caudales de plantas de tratamiento de líquidos cloacales, caudales subterráneos, caudal bombeado desde laguna Don Tomás al bajo Giuliani, evaporación, infiltración y variación de niveles en ambas lagunas.

Se determinan los volúmenes acumulados de escurrimientos superficiales mensuales en cada laguna, mediante balances hidrológicos efectuados con mediciones y mediante la aplicación del Modelo Matemático SHALL3. Luego se comparan, con objeto de calibrar el modelo aplicado.

Por último, se efectúan simulaciones para el período 2007-2030, en ambas lagunas.

Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones

Una vez realizados balances hidrológicos actuales y futuros en las lagunas Don Tomás y Giuliani, se analizan los niveles obtenidos, relacionándolos con las estimaciones previstas en el Plan Director de la Ciudad de Santa Rosa, con las cotas mínimas de calzada de la Ruta Nacional N° 35 y con la Provincial N° 14, y con el mínimo nivel proyectado para la construcción del autódromo en cercanías del Bajo Giuliani.

Se analiza la distinta incidencia de las variables que intervienen en el Balance Hidrológico, en ambas lagunas, y su funcionamiento en relación con el acuífero.

Se analiza el impacto ambiental que podrían producir las acciones en la laguna del Bajo Giuliani, para el ecosistema en la zona de estudio.

Se analiza la aptitud del Modelo SHALL3 para simular la hidrología total del sistema, como también su interpolación a regiones similares a la analizada.

Se resalta el beneficio que confiere la utilización de imágenes satelitales y la utilización de herramientas SIG para el procesamiento y clasificación de las mismas.

Se incluyen en el capítulo las recomendaciones del caso y los estudios a realizar en el futuro con el fin de mejorar el pronóstico de la situación problematizante.

Anexo 1: Tablas y Gráficos

Se presentan tablas de temperatura media mensual; precipitación mensual registrada en Santa Rosa durante el período 1911-2006; pozos de captación de agua, con sus parámetros y ubicación en la cuenca subterránea; uso consuntivo de cada celda superficial; cotas medidas lagunas Giuliani y Don Tomás; profundidad niveles estáticos de pozos de exploración Bajo Giuliani; variación niveles estáticos pozos de exploración y precipitaciones; pendiente media subterránea Bajo Giuliani; déficit de saturación y velocidad del viento (UNLPam); evaporación calculada mediante Fórmula de Meyer;

concentración de sales Lagunas Don Tomás y Giuliani; evapotranspiración potencial Penmann INTA y UNLPam; simulación mensual período 2007-2030 Lagunas Don Tomás y del Bajo Giuliani;

Capítulo 2: Marco Teórico

2.1 Nociones de Hidrología - Ciclo Hidrológico

La mayoría de textos que se desarrollan a continuación, fueron extraídos del libro “Hidrología: Procesos y Métodos” (Orsolini, et al 2000).

El agua es la sustancia más abundante en la tierra y es el principal constituyente de todos los seres vivos. Cumple una función clave en la climatización de nuestro planeta y en el progreso de la civilización.

Existe en un espacio llamado hidrósfera, que se extiende desde unos quince kilómetros arriba en la atmósfera hasta un kilómetro por debajo de la corteza terrestre. Los caminos por donde circula el agua constituyen el “ciclo hidrológico”, que no tiene principio ni fin y sus diversos procesos ocurren en forma continua.

La hidrología estudia el ciclo hidrológico, es decir la circulación ininterrumpida del agua entre la tierra y la atmósfera y cubre todas las fases del agua en la tierra.

Si bien, el concepto de ciclo hidrológico es simple, el fenómeno es enormemente complejo y, aunque el volumen total de agua en el ciclo es constante, la distribución de ésta cambia continuamente en continentes, regiones y cuencas locales de drenaje. La hidrología de una región está determinada por su clima, topografía, geología y vegetación.

Asimismo, las actividades humanas invaden gradualmente el medioambiente natural, alterando el equilibrio dinámico del ciclo hidrológico. Los seres humanos aran el suelo, irrigan cultivos, fertilizan tierras, bombean aguas subterráneas, arrojan desechos en ríos y lagos, etc., afectando la circulación y calidad del agua en la naturaleza.

La hidrología estudia los procesos hidrológicos influenciados por el clima, superficie y subsuperficie del suelo. La comprensión de las interacciones entre la hidrología y el ecosistema, permite transferir predicciones hidrológicas de una zona a otra, aunque la escala espacial juega un rol muy importante en la comparación de los procesos hidrológicos.

La hidrología es aplicada en la resolución de los problemas hidrológicos de cada región, proveyendo una guía para el planeamiento y el manejo de los recursos hidráulicos. Se la aplica en el análisis de problemas relacionados con el diseño y operación de estructuras hidráulicas, abastecimiento de aguas, tratamiento y disposición de aguas residuales, irrigación, drenaje, generación hidroeléctrica, control de inundaciones, disminución de contaminación, uso recreativo del agua y protección de la vida terrestre.

Europa y América del Norte desarrollaron un concepto clásico de la hidrología. La estrategia actual para resolver problemas hidrológicos debe utilizar los conocimientos existentes sobre hidrología y los sistemas de recursos hídricos, y especialmente de las teorías generalizables.

El conocimiento de la hidrología local es fundamental, para poder adaptar los conocimientos generales a las condiciones locales. En consecuencia, es necesario realizar estudios de los sistemas de recursos hídricos locales, que contribuirán a una gestión eficaz del suelo y del agua. (Orsolini, et al 2000).

Debe analizarse hasta qué punto tiene validez la forma tradicional de cálculo del Balance Hídrico en condiciones semiáridas, de agua subterránea profunda y de divisorias de aguas poco desarrolladas, así como, en qué medida son aplicables los modelos de precipitación-escorrentía desarrollados para zonas templado-húmedas, en condiciones climáticas y fisiográficas diferentes.

Las diferencias hidrológicas son muy importantes, en virtud que sus resultados determinan distintos planteamientos sobre la gestión hídrica.

2.1.1 Componentes del balance hidrológico

Para la mayor parte de las aplicaciones prácticas, sólo se consideran algunos procesos del ciclo hidrológico en un determinado momento, y únicamente se tiene en cuenta una pequeña porción de la superficie de la tierra. (Orsolini, et al 2000).

El ciclo hidrológico puede descomponerse en los siguientes términos:

El fenómeno de precipitación (P) es la variable que actúa sobre el sistema y ante la cual reacciona el resto. Una parte de ella se evapora antes de alcanzar la superficie terrestre.

El primer nivel de almacenamiento lo constituye la cubierta vegetal y se denomina intercepción por el follaje (F). Parte del almacenamiento gotea desde las hojas llegando luego al suelo y el resto se evapora. El agua que desde la precipitación directa y desde la intercepción por el follaje llega al suelo, se llama precipitación efectiva (P_e). La P_e que llega al suelo constituye el segundo nivel de almacenamiento llamado superficial (S). (Ver gráfico 2.1).

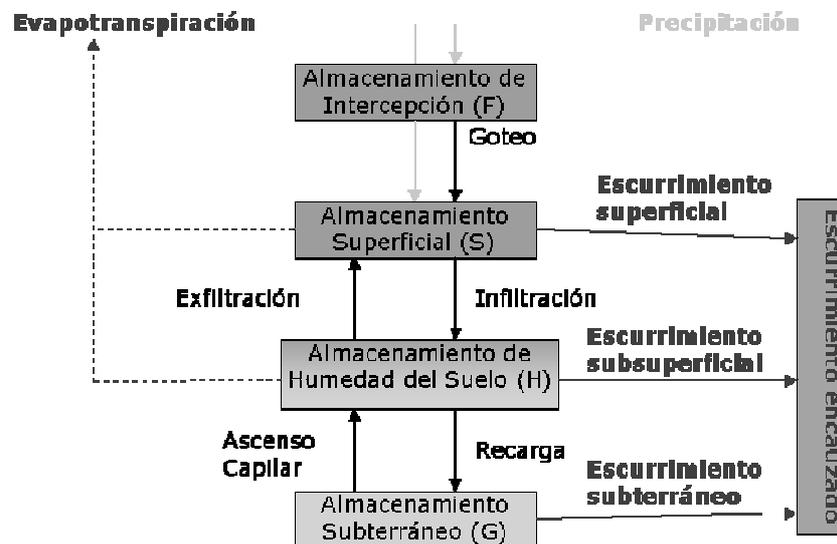


Gráfico 2.1 Enfoque sistémico del ciclo hidrológico (Fuente: Orsolini, et al 2000)

La infiltración (I) es la cantidad de agua que se introduce desde la superficie hacia el interior del suelo. Una vez superada la capacidad de infiltración del suelo, el agua comienza a escurrir denominándose escurrimiento ó flujo superficial (E_s). Los factores que influyen en la infiltración son: la condición de la superficie del suelo y su cubierta vegetal, la porosidad, conductividad hidráulica y contenido de humedad del suelo. En virtud de las grandes variaciones espaciales y temporales de las propiedades físicas de los suelos en distintos estratos, resulta muy difícil describir un proceso tan heterogéneo.

Se mide la tasa de infiltración en milímetros ó centímetros por hora, que representa la velocidad con que el agua entra al suelo en la superficie. Cuando el agua encharca la superficie, la tasa de infiltración se dice potencial. Cuando el suministro de agua en superficie es menor que la tasa potencial, la infiltración es real. Generalmente, las ecuaciones describen la tasa potencial. El exceso de agua que penetra en un suelo y alcanza el nivel freático, depende del clima y de la conductividad hidráulica del suelo.

La hidrología clásica ha sido separada en el campo superficial y el subterráneo, donde el concepto de infiltración se reduce al nivel de la superficie topográfica, entendiendo como variables externas al sistema en estudio los intercambios de flujo en la zona no saturada. Pero, la infiltración depende fuertemente del estado de redistribución de humedades en el perfil de suelo y del almacenamiento de humedad en la zona no saturada. (Orsolini, et al 2000).

A su vez, el perfil de humedad está muy relacionado con la dinámica atmosférica a través del complejo suelo-vegetación y la evapotranspiración. Este último, es un proceso compuesto por evaporación y transpiración, muy difícil de separar, donde las raíces de las plantas toman agua del suelo y la transpiran a la atmósfera a través de las hojas, además de producirse una evaporación de agua desde las capas superiores. El perfil de humedad también está relacionado con el acuífero freático a través del flujo y almacenamiento subterráneo.

Actualmente, la ciencia hidrológica integra estos campos, haciendo un todo de los subsistemas subterráneo, superficial y atmosférico, que están amalgamados por la zona no saturada. Por tanto, el proceso de infiltración debe interpretarse como el volumen de agua que no tendrá como destino el escurrimiento superficial.

El tercer nivel de almacenamiento se denomina humedad del suelo. Durante la lluvia el agua que ingresa a poca profundidad suele escurrir paralela a la superficie, denominándose flujo subsuperficial o hipodérmico. Aunque escurre a menor velocidad que el flujo superficial, la suma de ambos forma el escurrimiento directo.

El agua que avanza en profundidad hasta el nivel freático constituye la recarga y alimenta el cuarto nivel de almacenamiento. Cuando el nivel freático intercepta un curso de agua de menor nivel, descarga sobre él constituyendo el escurrimiento base o subterráneo. Junto al escurrimiento directo forman el escurrimiento total. Cuando el nivel del curso de agua es mayor que el freático se produce recarga.

Las cantidades de agua que circulan por el ciclo hidrológico se relacionan entre sí, conforme al principio de conservación de la masa, debiendo existir un equilibrio entre entradas y salidas. Las relaciones cuantitativas que representan este equilibrio constituyen las expresiones del Balance Hidrológico. Para poder establecer el Balance Hidrológico es imprescindible definir la unidad hidrogeológica donde se aplica y el intervalo de tiempo considerado.

La unidad hidrológica suele ser la cuenca y el intervalo generalmente el año hidrológico. La elección del inicio del año hidrológico depende del objetivo de estudio perseguido, a los efectos del cálculo de un Balance Hidrológico Anual, se considera desde el momento en que las precipitaciones dejan los valores mínimos.

La precipitación tiene características episódicas, pero se la considera como una variable individual compuesta por la suma de precipitaciones ocurridas en el año. Puede reconocerse con buena precisión mediante interpretación estadística y es la variable de entrada al sistema.

Las pérdidas o salidas por evapotranspiración representan un fenómeno continuo, aunque a veces puede ser nulo, y dependen de las características climatológicas del lugar. Está condicionada por la cantidad de agua disponible en el sistema físico y la capacidad evaporante de la atmósfera (máximo que puede admitir). La variabilidad espacial y temporal es menor que la precipitación. (Orsolini, et al 2000).

El almacenamiento superficial, en el suelo y freático, fluctúan dependiendo de las características fisiográficas, geomorfológicos, vegetación, suelo y subsuelo. En el balance se computan como variación respecto del año anterior.

El escurrimiento total es el que presenta mayor variabilidad, porque es el resultado de todos los procesos anteriores.

Algunos elementos descriptivos de la hidrología, pueden encontrarse en el Anexo 2 de la presente tesis.

2.2 Hidrología de Llanuras

Existen diferencias cuantitativas entre los parámetros para cuencas en pendiente y en llanura, debido a los diferentes períodos de tiempo en el que interactúan las variables, entre otras razones.

El escurrimiento superficial en cuencas con pendientes tiene una distribución similar a la precipitación, siguiéndola con un cierto retraso en el tiempo. En áreas de llanura, cuando existe

escurrimiento, presenta un retraso mucho mayor, dando lugar a una superposición de efectos, con lluvia antecedente, que producen anegamientos.

Asimismo, los bajos gradientes determinan movimientos lentos del agua, favoreciendo la infiltración y las pequeñas depresiones actúan como reservorios superficiales, provocando mayores pérdidas por evaporación durante prolongados períodos. Ambas situaciones, restan importantes volúmenes de agua al excedente disponible para el escurrimiento superficial.

Los aportes de agua que recibe el suelo por infiltración son mayores y durante períodos de tiempo más prolongados, provocando la elevación de la capa freática. Durante períodos húmedos, la elevación del nivel freático hace disminuir gradualmente la zona de aireación del suelo, pudiendo llegar a situaciones críticas de saturación del terreno y afloramiento en superficie. En estos casos, se ve impedida la infiltración, y se presentan las características situaciones de inundación, abarcando extensas áreas y durante prolongados períodos, debido a que no se evacúan mediante escurrimientos superficiales.

Por otra parte, durante los períodos secos, en lugares de napas someras, propicia condiciones favorables para que se produzca evapotranspiración. Por lo tanto, se produce una variabilidad apreciable en el perfil de humedad, con importantes aumentos y descensos del nivel freático. Es decir, predomina el movimiento vertical de la humedad (recarga del acuífero sobre escurrimiento superficial) típico de sistemas hidrológicos de llanura. (Orsolini, et al 2000).

En estos sistemas de llanura, no existe comúnmente una divisoria de cuencas que permita determinar un área de captación para los excedentes de lluvia. La combinación de los factores mencionados, definen funcionamientos hidrológicos diferenciados.

El principal rasgo distintivo de la hidrología de llanuras, es la baja energía morfológica del terreno. En épocas húmedas ello produce inundaciones temporarias, acumulación de sales cerca de la superficie, desarrollo de pantanos y lagunas poco profundas. En épocas secas produce una hidrología superficial desordenada, que puede vincularse a la hidrología subterránea sólo en casos extremos, y es el determinante principal del tipo y distribución de vegetación.

Desde el punto de vista hidrológico, las consecuencias más importantes de la baja energía morfológica son el almacenamiento en todos sus niveles y el predominio del transporte vertical del agua (evaporación, infiltración, etc.) sobre el horizontal (escurrimientos).

En zonas áridas, semiáridas y subhúmedas, la gestión del agua depende especialmente de los hidrólogos, que proporcionan información cuantitativa sobre los regímenes y procesos hidrológicos, necesaria para actuar sobre los mismos, así como para el diseño de proyectos relativos al suministro hídrico, al riego, a amortiguar el efecto de inundaciones, etc. Para mitigar las mismas, debe recurrirse a bombeo y canalizaciones, obras de gran magnitud que demandan costos apreciables. Por ello, es importante la realización de estudios y la determinación de modelos conceptuales que expliquen el funcionamiento del sistema, a efectos de prever eventuales situaciones críticas y poder adoptar medidas de mitigación ó atenuación.

En el ámbito de la protección medioambiental, los responsables de la toma de decisiones, comienzan a considerar el ciclo del agua en el transporte de sustancias contaminantes y en la intervención del sistema suelo-vegetación. En consecuencia, los hidrólogos deben elaborar métodos eficaces para la predicción de dichos efectos, a efectos de introducir los costes medioambientales como primer paso.

Históricamente, se ha concentrado el interés en la escorrentía dentro del ciclo del agua, denominada rama larga ó horizontal del ciclo hidrológico. Se ha prestado menor atención al agua del suelo, que proporciona el caudal consumido en la producción de biomasa por la fotosíntesis y que retorna a la atmósfera como evapotranspiración, la rama corta ó vertical del ciclo.

Actualmente, debería analizarse en mayor profundidad esta rama, en virtud de la gran intervención del hombre modificando el medioambiente. (Orsolini, et al 2000).

2.3 Efectos Ambientales

La exposición de compartimientos ambientales a agentes físicos ó químicos supone un riesgo

ambiental. No se considera como compartimiento sólo al humano, sino que se analiza el riesgo sobre el ecosistema en su conjunto, denominado riesgo ecológico. La evaluación de riesgo ecológico es más compleja que la de riesgo a la salud humana, en virtud de la cantidad de especies y diversas rutas de exposición que deben considerarse. (Peluso, 2006 b).

Con frecuencia el conocimiento de la respuesta del ecosistema es muy poco profundo, debido a que la única información es la obtenida por análisis de laboratorio y pruebas de campo. Por lo tanto, es necesario realizar extrapolaciones mediante modelos matemáticos ó confiando en el juicio de expertos.

La gravedad de los problemas ambientales depende básicamente de dos propiedades del sistema:

a) La Calidad Ambiental es el conjunto de propiedades del sistema que permiten juzgar su valor y que ameritan su conservación, ya sea por pristinidad (mantenimiento de un estado no disturbado), ó por los bienes y servicios que ofrece. Ejemplos: aptitud recreativa de un cuerpo de agua para el contacto directo, calidad fotogénica de un cuerpo de agua, etc. (Peluso, 2006 a).

b) La fragilidad ambiental es la capacidad que tiene el sistema de resistir acciones sin variar sus características estructuro-funcionales. Ejemplos: capacidad de autodepuración de un río, tasa reproductiva de las especies, nivel de complejidad ecosistémica, etc.

El funcionamiento de un ecosistema está definido por los procesos de absorción, transferencia y liberación de energía y materiales (agua, carbono, nutrientes minerales) que se verifican entre los diversos componentes del ecosistema y entre éste y su entorno (Chaneton, 2006).

La estabilidad de un ecosistema depende de los rasgos adaptativos de las especies individuales, los cuales reflejan la historia de exposición a diferentes condiciones ambientales que experimentaron durante su evolución. Además, dependerá del factor de perturbación considerado, de su intensidad y frecuencia.

Una perturbación es todo factor ambiental que produce un cambio observable en el estado de un ecosistema. Los ecosistemas pueden ser caracterizados por atributos estructurales, como el número y abundancia de especies, ó por atributos funcionales, como la tasa de acumulación de biomasa vegetal (productividad primaria) o la liberación de nutrientes inorgánicos por la degradación de materia orgánica

Cuando la intensidad de una perturbación supera los límites de tolerancia de las especies residentes, se transforma en un factor de estrés para el ecosistema. Por otro lado, hay perturbaciones recurrentes que alteran parámetros estructurales y funcionales con cierta periodicidad, de tal manera que la propia existencia del ecosistema puede depender de su ocurrencia, en virtud que ejercen efectos positivos sobre uno o más atributos de interés (Ej.: ciclos de inundación con agua salada en pantanos costeros).

Tradicionalmente se consideró que los sistemas ecológicos debían su organización a las intrincadas relaciones que las especies de la comunidad biótica establecen entre ellas, en equilibrio con su ambiente. En ausencia de perturbaciones se establecería un sistema cuya composición y funcionamiento serían los que mejor se ajustasen a las condiciones típicas del lugar (clima, suelo, etc.).

Los largos períodos de estabilidad superficial, pueden preceder a lo que los matemáticos de la teoría de las catástrofes describen como una cúspide. Es decir, el cambio repentino de un equilibrio estable de tipo aceptable, a otro radicalmente distinto, quizás inaceptable. (Orsolini, et al 2000).

Por lo tanto, las comunidades bióticas persisten bajo un constante estado de desequilibrio, donde las perturbaciones no sólo moldean su estructura y funcionamiento, sino que además determinan su capacidad de proveer bienes y servicios a la población humana.

Las inundaciones y sequías afectan en forma diferente a las especies de una comunidad. Las inundaciones son perturbaciones naturales que causan efectos apreciables sobre las comunidades de plantas, animales y microorganismos

Desde el punto de vista socio-económico alcanzan notoriedad por sus consecuencias negativas (niveles de agua que no permiten el tránsito por las rutas, pérdidas de cosechas, reducción de áreas cultivables, etc.). Pero, en ocasiones los anegamientos producen beneficios sobre la vegetación y el ganado, como el caso de los pastizales naturales de las llanuras pampeanas, principal sustento para la actividad ganadera y donde se concentra la mayor extensión de hábitats relictuales para la vida silvestre.

Asimismo, las inundaciones actúan limitando la salinización del suelo provocada por el impacto del pastoreo continuo sobre el ciclo del agua. La caída del contenido de sales del suelo favorece el crecimiento de pastos hidrófilos más consumibles por el ganado y permiten la exclusión temporal del pastoreo, aumentando la estabilidad del pastizal. Se puede concluir que los cambios producidos en los pastizales durante las grandes inundaciones son análogos a los promovidos por la exclusión del pastoreo.

Por otra parte, los efectos del régimen hidrológico del lavado de suelo, sobrepastoreo y de los cambios en las prácticas agrícolas, son poco perceptibles en forma inmediata, pero a largo plazo pueden conducir a una erosión devastadora, pérdida de fertilidad del suelo, aumento de la salinidad y de los suministros hídricos. (Orsolini, et al 2000).

El excesivo laboreo y la erosión provocada, se traduce en una impermeabilización de las tierras, menor infiltración de las lluvias, menor capacidad de almacenamiento del suelo y consecuentemente mayor escurrimiento. Ello, aumenta las probabilidades que se produzcan anegamientos e inundaciones

Otra situación problemática, la representa el riego sin control, ya que su principal volumen tiene por destino el acuífero freático. Por lo tanto, puede ocasionar incrementos notables de los niveles freáticos, principalmente en la zona de descarga del acuífero.

El riego de cultivos agrícolas con aguas residuales urbanas es una opción muy atractiva porque se requieren grandes cantidades de agua generalmente no disponibles en zonas de escasez como la analizada. Asimismo, estas aguas contienen materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio y otros nutrientes.

Los requisitos de calidad de agua para riego de cultivos agrícolas son flexibles y se considera al riego como un tratamiento terciario de las aguas residuales, que además reduce considerablemente la necesidad de su descarga a cuerpos receptores. (Bentál, et al, 1998).

El suelo habitualmente compuesto por combinaciones de arena, limo y arcilla se comporta como un verdadero filtro biológico natural. Se forma un sistema heterogéneo, compuesto por tres fases: la sólida, la líquida y la gaseosa. El mecanismo de reacciones que se producen en el suelo es realmente complejo, fenómenos físicos y químicos muy difíciles de describir por su complejidad, que generalmente se estiman empíricamente (Pepe, 2008).

La agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA) indica en sus criterios de diseño una distancia mínima entre el fondo de la zona de infiltración y el estrato límite de la napa de agua, conformado por suelo no saturado, de 0,6 y 1,2 metros. En esas condiciones la infiltración en el terreno es un excelente tratamiento de efluentes domésticos. Se estima que con lechos mayores de un metro de suelo no saturado libre, no existe riesgo de contaminación del acuífero.

2.4 Modelos Matemáticos en Hidrología

2.4.1 Análisis Sistémico Hidrológico

El texto de las secciones siguientes (2.4.1 a 2.4.5), se desarrolló tomando como base los apuntes elaborados para el curso Modelación Matemática en Hidrología Superficial, dictado en el ámbito de la Maestría en Ciencias Hídricas UNLPam (Zimmermann, 2005).

Se denomina Sistema a un conjunto de elementos físicos interrelacionados entre si, que forman un todo, operando con un paso de tiempo dado. Permite que una acción exterior aplicada sobre un punto del mismo produzca un efecto determinado, que puede ser predecible. Puede representar

tanto una cuenca como una central térmica y, un único conjunto de elementos puede originar múltiples sistemas, dependiendo del tipo de acción.

La acción aplicada se denomina Función de Entrada y el efecto resultante Función de Salida. En una cuenca, ellos serán, respectivamente, el hietograma de una tormenta y el hidrograma correspondiente. Se trata siempre de encontrar las relaciones que conectan las Funciones de Entrada con las de Salida, en lugar de llevar a cabo la extremadamente difícil tarea de representar exactamente los detalles dentro de él, que pueden ser desconocidos ó no significativos desde un punto de vista práctico.

Los procesos del ciclo hidrológico que se desarrollan en una cuenca son sumamente complejos. Los fenómenos individuales que se combinan, incluyen intercepción por vegetales, infiltración en la superficie del suelo, redistribución de la humedad, flujo por los acuíferos, evapotranspiración y flujo superficial. Es posible ignorar estos procesos intermedios y correlacionar directamente precipitaciones con escurrimientos, ó establecer una relación entre ambos por medio de una función.

Este procedimiento se denomina de “Análisis”. En consecuencia, el ciclo hidrológico puede tratarse como un sistema, cuyos componentes son: precipitación, evaporación, escorrenría y otras fases del ciclo hidrológico.

Las numerosas técnicas de estudio del comportamiento de los sistemas se denominan “Análisis de Sistemas”. Cuando se conoce la impulsión de entrada, permiten conocer la respuesta de un sistema caracterizado por un conjunto de propiedades. Su aplicación a la hidrología dio origen a la “Hidrología de Sistemas”.

La Simulación es la investigación indirecta del comportamiento de un sistema. Para simular, debe fabricarse previamente un modelo. Existen tres tipos de modelos:

- 1- Modelos Físicos: utilizados principalmente en la investigación de fenómenos hidráulicos, muy poco en problemas hidrológicos.
- 2- Modelos analógicos: se basan en la analogía existente entre la corriente eléctrica de un circuito y la descarga en un acuífero. Es utilizado para aguas subterráneas.
- 3- Modelos matemáticos: usan fórmulas matemáticas para simular fenómenos hidrológicos naturales, que son tratados como un sistema hidrológico. Se trabaja con computadoras digitales y la ventaja es su alta velocidad para las funciones de salida.

En hidrología el modelo es una necesidad que surge de la complejidad, tanto de los fenómenos a estudiar, como del comportamiento variable espacial y temporal de los parámetros intervinientes. La finalidad no es el conocimiento de la realidad física, sino una salida eficaz para resolver problemas, realizando una representación simplificada.

Un sistema hidrológico se define como una estructura ó volumen en el espacio, rodeada por una frontera, que acepta agua y otras entradas, opera en ellos internamente y produce salidas. La frontera que encierra ese volumen, es una superficie continua definida en tres dimensiones, en forma similar al denominado volumen de control en mecánica de fluidos. Dentro del sistema operan procesos físicos, químicos y biológicos, y los medios de trabajo son agua, aire y calor.

Existe un conjunto de ecuaciones que permiten estudiar el comportamiento de los procesos físicos del ciclo hidrológico. Estos procesos pueden representarse por operaciones matemáticas, que requieren gran cantidad de cálculos, problema superado con las computadoras digitales. Estas también permiten considerar intervalos de tiempo más cortos, y sin recurrir a muchas simplificaciones.

2.4.2 Objetivos del Análisis Sistémico Hidrológico

El objetivo del análisis del sistema hidrológico es estudiar la operación del sistema y predecir su salida. Un modelo es una aproximación al sistema real, cuyas entradas y salidas son variables hidrológicas mensurables, y su estructura es un conjunto de ecuaciones que las conectan. El sistema realiza una transformación de la entrada en la salida, por medio de una función de transferencia.

Mediante la simulación, se pueden obtener medidas estadísticas de los valores de escurrimiento y seguir el proceso físico de la cuenca. El modelo a seleccionar debe simular el régimen de escurrimiento de la cuenca, partiendo de datos de precipitación y de evapotranspiración.

A partir de los registros de precipitación, los modelos pueden utilizarse para extender registros de descargas, ó simularlos donde no haya mediciones, y también como pronóstico de crecidas. Asimismo, puede simular el efecto que modificaciones artificiales sobre la cuenca generan en los escurrimientos, etc.

Dos principales razones determinan la adopción de un modelo matemático, en lugar de soluciones analíticas ó estudios físicos:

- 1- Escasez de información.
- 2- Complejidad del proceso (el modelo permite establecer suficientes simplificaciones, ya que considera sólo las interrelaciones más relevantes de los procesos hidrológicos).

Los elementos que de un modelo matemático hidrológico se pueden clasificar en:

- 1- Componentes: subsistemas seleccionados de acuerdo a los objetivos del modelo, que representan los procesos físicos más importantes del sistema total (intercepción, almacenamiento, evapotranspiración, etc.).
- 2- Variables: medida cuantitativa de los componentes, que varía en función del tiempo. Son *exógenas* cuando actúan como función de entrada, evaluadas externamente y son independientes del sistema. Son *endógenas* las variables de salida y dependen de las interrelaciones internas del sistema. Son *variables de estado* las que describen el estado de algunas componentes, que dependen de las variables de entrada y del valor de las variables de salida en el período anterior (almacenamiento subterráneo).
- 3- Parámetros: permiten cuantificar los procesos que permanecen constantes en el tiempo. Se determinan por tentativas, durante el período de calibrado del modelo.

2.4.3 Modelos determinísticos y estocásticos

Generalmente se dice que los fenómenos hidrológicos se desarrollan en un universo aleatorio. Sin embargo, muchos procesos pueden estudiarse y describirse determinísticamente, dependiendo de la escala adoptada y siempre que puedan introducirse simplificaciones a los mismos.

Un modelo determinístico simula de manera continua una sucesión de eventos hidrológicos y la validez se obtiene por comparación con los eventos observados. Cualquiera sea la variable tiempo, la respuesta a una entrada dada es siempre la misma para un mismo estado del sistema. Resulta ventajoso su uso cuando deseamos simular eventos hidrológicos con intervalos cortos de tiempo.

Aunque los modelos de fenómenos hidrológicos son similares a los de mecánica de fluidos, la aplicación de leyes físicas induce un mayor error en hidrología, dada la complejidad y el mayor tamaño de los sistemas. Además, el comportamiento de los sistemas hidrológicos es intrínsecamente aleatorio porque su mayor entrada es la precipitación, fenómeno altamente variable e impredecible. Por consiguiente, el análisis estadístico cumple un rol importante en el análisis hidrológico.

En los modelos estocásticos, no se realiza una simulación continua de eventos, sino que se generan series de datos con igual probabilidad de ocurrencia que las series observadas. Se adaptan mejor a las predicciones con intervalos largos de tiempo.

El uso de un modelo determinístico no significa que el comportamiento del sistema natural representado lo sea. Cuando se aplica un modelo determinístico y no existe seguridad respecto a los valores de las variables de entrada y salida, el tratamiento de las variables de salida puede exigir el uso de consideraciones probabilísticas. Si las variables hidrológicas tienen en cuenta los tiempos de ocurrencia de los eventos, el modelo es estocástico y no simplemente probabilístico.

El modelo determinístico considera que las funciones que relacionan las entradas y salidas pueden representarse por una ley definida, que define el comportamiento del sistema en todo momento. La variable Y resultante, es una función de ciertas variables X_1, \dots, X_k , y el modelo tiende a determinar esta relación a partir de observaciones del pasado.

El modelo estocástico considera que Y es una variable aleatoria, que se determina por un mecanismo al azar, cuya distribución de probabilidad depende de otras variables X_1, \dots, X_k .

Ambos enfoques son complementarios en la práctica.

Las características de un modelo pueden analizarse mediante los siguientes factores:

- 1- Invariancia en el tiempo: los parámetros del sistema permanecen constantes en el tiempo y su respuesta depende de la forma de la función de entrada, no del momento en que ocurre. En la práctica, se consideran así a las cuencas naturales, despreciándose las variaciones estacionales.
- 2- Variabilidad espacial: cuando existe homogeneidad de los parámetros y variables en toda la cuenca, se habla de modelos globales o concentrados. Caso en que una lluvia se considera distribuida uniformemente en toda el área de la cuenca. El comportamiento de un sistema concentrado es gobernado por ecuaciones diferenciales ordinarias. Por su parte, los modelos distribuidos o matriciales, tienen en cuenta la distribución espacial de los parámetros y variables. Se aplican a grandes áreas y cuencas urbanas y están gobernados por ecuaciones diferenciales parciales. Una alternativa es trabajar con subcuencas, donde se pueda considerar uniformidad espacial de la precipitación y otras características físicas.
- 3- Estabilidad: si introducimos limitaciones a la función de entrada, se limitará en forma similar la función de salida.
- 4- Continuidad: las funciones que regulan el proceso son aplicables para cualquier condición y característica de la cuenca. No hay respuestas discretas (variaciones bruscas ante impulsos suaves).
- 5- Linealidad: la respuesta está ligada a la impulsión por una función lineal. Posee propiedades de proporcionalidad y superposición.
- 6- Memoria: es la longitud del tiempo pasado, sobre el cual, una entrada afecta el estado presente. Puede ir de cero (entrada presente) a infinito (totalidad de la historia).

La estructura del modelo debe ser lo más simple posible y adaptarse a los objetivos de estudio y características de la cuenca. Al considerar mayor número de parámetros, se logrará mayor representatividad aunque, a partir de cierto número, ésta aumentará muy poco. En contrapartida, mayor número de parámetros demandará mayor tiempo de cálculos y el calibrado del modelo será más complejo. La verdadera representatividad está dada por la cantidad y calidad de los datos de entrada.

En un modelo determinístico, las funciones que relacionan las entradas y salidas definen perfectamente el comportamiento del sistema en todo momento, sin tener en cuenta ley de probabilidad alguna.

2.4.4 Procesos de análisis y de síntesis

Un modelo determinístico, puede ser de análisis ó de síntesis. Cuando las funciones de entrada y salida están relacionadas mediante una expresión matemática representativa de la operación del sistema, se denominan procesos de análisis. Si dicha función no tiene asidero físico, estos modelos son también llamados empíricos, en realidad son una representación de datos. En casos de estricto empirismo, suele hablarse de cajas negras. Los procesos de análisis no pretenden describir en forma explícita el mecanismo interno del sistema, sino comprender su comportamiento a través de una ecuación de transferencia que lo represente.

Hay tres elementos a considerar: las entradas, el sistema y las respuestas. De acuerdo a cuáles de ellos sean conocidos, se presentan distintos tipos de problemas a resolver:

- a) Conocidos las entradas y el sistema, el proceso de análisis será un problema de predicción.
- b) Conocidas las entradas y salidas, será un problema de identificación del sistema.
- c) Conocidos el sistema y las salidas, será un problema de identificación de las entradas.

Por su parte, los procesos de síntesis tratan de simular el complejo físico de una cuenca. Utilizan un modelo más simple, que contenga los componentes más sensibles y representativos del ciclo hidrológico particular de esa cuenca. Para la simulación de esos procesos hidrológicos utilizan funciones y leyes que los representan, por eso son denominados modelos conceptuales.

El calibrado de un modelo determinístico requiere contar con registros históricos de entradas y salidas, para un mismo período. Si se cuenta con pocas mediciones de salida, pero se cuenta con datos suficientes de los demás parámetros, resulta conveniente adoptar un modelo de síntesis, pues pueden relacionarse los componentes del modelo con las características físicas del prototipo, facilitando el calibrado del sistema. Si las interrelaciones físicas entre los componentes del modelo se postularon correctamente, se podrán incorporar paulatinamente leyes físicas más desarrolladas y alcanzar un mejor conocimiento de los procesos hidrológicos de la cuenca.

El comportamiento hidrológico de una cuenca involucra un conjunto de procesos interrelacionados con cierto grado de complejidad, que no permiten asumir linealidad del sistema (almacenamiento, infiltración, etc.). Si se asume un comportamiento lineal, deben establecerse claramente las limitaciones y simplificaciones que se introducen, teniendo en cuenta las características hidrológicas y físicas de la cuenca. La investigación y utilización de técnicas que permitan tener en cuenta estas no linealidades de los sistemas, es un avance importante para alcanzar una mejor representación de los fenómenos.

Un modelo ideal para estudiar el comportamiento de una cuenca, debería especificar completa y detalladamente los procesos hidrológicos más relevantes y sus interrelaciones. Esas especificaciones, quedan definidas por leyes y parámetros obtenidos de la hidrología física. El conocimiento de los procesos físicos no permite más que una aproximación a ese modelo ideal, por lo tanto debe estudiarse el comportamiento de la cuenca mediante métodos de simulación que consideren el conjunto de componentes en forma global.

Cuando se cuenta con varios años de registro de los fenómenos de entrada y salida más relevantes del sistema, este procedimiento resulta suficiente, pues permite ajustar los parámetros del modelo por comparación entre lo medido y lo simulado.

Cuando no se tienen datos y, al no existir el modelo ideal, debe generarse previamente la información básica requerida. Un conocimiento cualitativo y semiempírico del comportamiento de los distintos fenómenos, resulta de suma importancia para lograr buenos resultados del modelo.

Por ello, un modelo conceptual o paramétrico debe ubicarse en un punto intermedio entre los rigurosamente determinísticos o ideal y los aleatorios puros.

Los modelos de síntesis pueden caracterizarse como:

a) Modelos de eventos: cuando tienen por objeto predecir por ejemplo un hidrograma para una tormenta individual. En estos modelos, es necesario proveer las condiciones iniciales, especialmente el estado de humedad del suelo. Es posible ignorar los escurrimientos subterráneos, incluso las pérdidas por evapotranspiración.

b) Modelos continuos: opera durante un período prolongado, normalmente de años, donde se calculan las variables de estado en forma continuada, aún cuando no ocurran escurrimientos superficiales. El modelo mantiene un cómputo continuo de la humedad de la cuenca y consecuentemente determina las condiciones iniciales. Al principio del cálculo éstas deben presuponerse ó utilizarse si se tienen. A medida que la simulación avanza, el efecto de la selección de las condiciones iniciales disminuye rápidamente.

Desde el punto de vista hidrológico, los principales usos que puede darse a un modelo son:

a) Predicciones a corto plazo: cuando se cuenta con registros históricos de lluvias y caudales, se calibra el modelo y se predicen caudales. El calibrado de los parámetros del modelo consiste en minimizar el error (positivo ó negativo) que debe adicionarse al caudal simulado por la función no lineal que representa al sistema, para obtener el valor pronosticado.

b) Determinar alteraciones del escurrimiento por modificaciones del sistema: cuando se modifica el sistema natural por efecto de obras de aprovechamiento (deforestación, urbanización, etc.), los modelos conceptuales permiten determinar el grado de alteración introducido.

c) Extender registros de descargas: cuando éstos son de menor duración que los de precipitaciones. Obtenidos los parámetros, pueden extenderse los registros de caudales para todo el período de precipitaciones que se disponga.

La estructura conceptual del modelo está conformada por un conjunto de componentes representando cada uno un proceso hidrológico particular. La operación de este conjunto está sujeta al principio de continuidad, donde las salidas de cada componente actúan como entradas del siguiente, hasta alcanzar los caudales de salida del sistema. Cada uno de los procesos indicados en los diferentes componentes y sus relaciones, son traducidos a expresiones matemáticas. Para ello, es necesario un conocimiento apropiado de las leyes que rigen los fenómenos en el campo de la hidrología física. La cuantificación final de las variables de salida, se alcanza después de calibrar los parámetros introducidos en las leyes matemáticas.

2.4.5 Selección del modelo

La selección ó construcción de un modelo para una cuenca específica, requiere la identificación de las diferentes componentes a utilizar, de acuerdo a los objetivos previstos para el estudio. Debido a la complejidad de los procesos hidrológicos que presenta una cuenca, la estructura conceptual debe introducir simplificaciones, priorizando los detalles de mayor sensibilidad.

Existe actualmente una gran variedad de modelos conceptuales, muy similares en cuanto al tipo, exactitud y nivel de detalles de la variable de salida. Pero, en la gran mayoría, la conceptualización y estructura adoptadas, están fuertemente influenciadas por las características hidrológicas particulares de la región o cuenca para la que se desarrolló. Cada modelo es sólo una aproximación al comportamiento real de la cuenca, y su esquema conceptual está concebido conforme al criterio que cada diseñador tiene del funcionamiento del ciclo hidrológico.

Un modelo universal que contemple todas las posibilidades que ofrece el ciclo hidrológico no es posible al presente, por los reducidos conocimientos que existen sobre el comportamiento de los diferentes procesos y leyes físicas que los definen. Por ello, no es conveniente la incorporación ilimitada de parámetros; además de la imposibilidad de definirlos apropiadamente, se dificulta la calibración y confiabilidad del modelo.

Para la selección del modelo deben tenerse en cuenta los objetivos de estudio, los costos de operación, la disponibilidad de información básica y las características físicas, meteorológicas e hidrológicas de la cuenca.

Si se desea obtener resultados con un cierto nivel de detalles, deberá seleccionarse un modelo con mayor cantidad de parámetros y/o un paso de tiempo más pequeño, aunque los costos de operación serán mayores. Dependerá de los objetivos del estudio y del criterio del hidrólogo, si la información a obtener justifica los mayores costos.

Un modelo puede ser concentrado ó distribuido. Un modelo concentrado tiene un sistema computacional más sencillo y económico. Por lo tanto, debe tenerse en cuenta la uniformidad espacial de las variables y parámetros. Al promediar un cierto parámetro, implícitamente se está promediando el proceso que está representando. Ello puede ocasionar un error apreciable, debido a los valores umbral y de no linealidad. Puede ser necesario entonces, subdividir la cuenca en áreas o subcuencas que representen unidades hidrológicas homogéneas. Esta subdivisión esta condicionada a la posibilidad de disponer de datos de salida de cada unidad.

Un modelo distribuido incluye variaciones espaciales en las entradas y salidas de datos y parámetros. La cuenca se divide en un número de segmentos y se calculan los volúmenes de

escorrentía por separado para cada segmento. Pueden aplicarse a pequeñas cuencas, generalmente en áreas urbanas para estudios de calidad de agua.

Se sugiere tener en cuenta para la selección de un modelo los siguientes aspectos: exactitud en la predicción (conocer estadísticamente el valor de los errores); simplicidad (poca cantidad de parámetros); consistencia de los parámetros estimados; sensibilidad de las funciones de salida (modificaciones en los valores de los parámetros durante algún período ó variables de entrada difíciles de medir, deben afectar con baja sensibilidad las salidas del modelo).

Tomando como referencia qué partes del ciclo hidrológico están incluidos en el modelo, se clasifican en completos y parciales:

Los modelos completos representan con mayor o menor detalle todos los procesos hidrológicos que afectan significativamente a la escorrentía, solucionando la ecuación de continuidad, considerando todos sus componentes. Los modelos parciales sólo representan una parte del proceso global de escorrentía.

Asimismo, existen modelos de parámetro calibrado, cuando sus parámetros sólo pueden evaluarse acomodando hidrogramas informatizados a los hidrogramas observados. Necesitan períodos de registros de escurrimiento de algunos años, para poder determinar valores del parámetro de una cuenca hidrográfica concreta.

En un modelo de parámetro medido, se pueden determinar todos los parámetros a partir de las características conocidas de la cuenca, ya sea por medición ó estimación. Pueden aplicarse a cuencas que no presenten registros de caudales, siendo en consecuencia altamente deseables.

Por otra parte, existen modelos generales, que son aceptados sin modificación para cuencas de varios tipos y tamaños; y modelos para fines específicos, cuando son aplicables a un tipo concreto de cuenca en términos de topografía, geología ó uso de la tierra.

La modelización de cuencas hidrográficas se ha desarrollado a tal punto que, hay actualmente paquetes de software disponibles al público, en acceso restringido y también comercialmente. Muchos desarrollados en una cuenca concreta y luego se ampliaron para hacerlos generales.

Normalmente, se establece un modelo de la superficie terrestre, cuadrículado topográfico y en tres dimensiones. Dependiendo de los detalles del suelo en las zonas saturadas e insaturadas, se puede establecer un modelo tridimensional similar del subsuelo. Se establecen las relaciones de la escorrentía de lluvia y para la verificación del modelo generalmente se necesitan los datos de series temporales de precipitación. Mientras la topografía de los modelos de cuenca de captación se puede establecer en tres dimensiones, el flujo superficial suele ser bidimensional, y muchas veces unidimensional.

2.4.6. Modelos de simulación hidrológica

2.4.6.1 Modelo Hidrológico HYMO-10 (1984)

De los muchos modelos que la ingeniería ha desarrollado, el modelo hidrológico HYMO-10 estima los caudales que aportan las cuencas para distintas intensidades de lluvia. Este modelo es un operador lluvia-escorrentía lineal, paramétrico, tipo caja negra, invariante en el tiempo, de parámetros concentrados, capaz de transformar la variable excitación (lluvias) en variable respuesta (caudales superficiales), analizadas ambas en intervalos finitos de tiempo.

El sistema que se aplica es un hidrograma unitario sintético, que realiza la transformación lluvia-escorrentía por convolución de una determinada función núcleo (superposición de hidrogramas unitarios sintéticos). Conceptualmente se trata del modelo de Nash, que simula el comportamiento de la cuenca, considerándola como una sucesión de un cierto número de embalses que transfieren agua en cascada, desde el primero que recibe la precipitación, hasta el último que produce el hidrograma, que es objeto del cálculo. (Consorcio EIH, 1986d).

El sistema físico en estudio, será la cuenca hidrográfica, incluyendo todos los componentes que influyen en la formación del hidrograma. Las variables de entrada son las lluvias en la cuenca a lo

largo del tiempo $p(t)$; y las variables de salida son las descargas en la sección de interés $q(t)$.

Los sistemas de transformación lluvia-caudal que se basan en hidrogramas unitarios, consideran que las cuencas funcionan como sistemas lineales e invariantes en el tiempo. Si bien, en la naturaleza la transformación precipitación-caudal no es estrictamente lineal e invariante en el tiempo, puede ser descrita por una ecuación diferencial lineal de coeficientes constantes con suficiente grado de precisión. Ello se puede considerar siempre que el hidrograma represente una característica propia de la cuenca, como respuesta global ante el estímulo de las precipitaciones y que exista homogeneidad espacial y temporal de la precipitación (lluvia de intensidad constante, que abarque toda la cuenca).

Los modelos de simulación para sistemas lineales e invariantes consideran que entre las variables de entrada y salida se produce un almacenamiento en un número "n" de embalses ficticios. Esos embalses tienen comportamiento lineal si su ecuación de almacenamiento es:

$$S = k \times q \quad (2.1)$$

Donde:

S = almacenamiento.

k = constante de almacenamiento.

Asimismo, debe cumplirse en el embalse la ecuación de continuidad:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = p - q \quad (2.2)$$

Donde:

p = caudal ingresante al embalse.

q = caudal escurrido.

Nash propone un esquema de n embalses en cascada, todos con el mismo coeficiente de almacenamiento. Para poder considerar valores no enteros de n, Nash sustituyó el factorial por una función gamma.

Una propiedad de los parámetros k y n es que definen el tiempo al pico del hidrograma. k es la constante de almacenamiento, n es un valor que contribuye a dar forma al hidrograma, por ello se denomina coeficiente de forma y también constante geomorfológica, pues se entiende que en la cuenca los parámetros geomorfológicos son los que definen el aspecto del hidrograma, y por ende, el valor de n (que en la abstracción numérica no es más que el número de embalses ficticios).

El modelo HYMO-10 es un programa de computadora escrito en lenguaje Fortran IV, que comprende un programa principal y 17 subrutinas donde se efectúan los procesos de simulación del funcionamiento de la cuenca. (Consortio EIH, 1986a).

A estas rutinas de cálculo, se accede en forma muy simplificada, siguiendo una secuencia lógica y de fácil comprensión para el hidrólogo. Éste debe simular la ocurrencia de caudales desde la cabecera de la cuenca hacia aguas abajo, agregando subcuencas sucesivamente y trasladando los caudales a medida que se producen, hasta llegar a la sección final de control, donde interesa definir el hidrograma resultante.

Lleva ocho datos y luego los de precipitación, a intervalos Δt en milímetros de agua, en forma de curva acumulada. Los primeros ocho datos son:

- 1) Número de almacenamiento del hidrograma por calcular.
- 2) Número del hidrograma a los efectos de su identificación.
- 3) Paso de tiempo Δt en horas ó fracción.
- 4) Área de la subcuenca en km^2 .

- 5) Valor de CN para esa subcuenca.
- 6) Diferencia de elevación en metros, a lo largo del cauce principal.
- 7) Longitud del cauce principal en kilómetros.
- 8) Intercepción inicial AI en milímetros.

La información de entrada requerida por el modelo para el cálculo de hidrogramas en cada una de las subcuencas son:

- a) Área de la subcuenca.
- b) Longitud de su cauce principal.
- c) Desnivel entre los extremos de su cauce principal.
- d) Valor de la precipitación media sobre la cuenca.
- e) Valor estimado de CN.
- f) Tiempo de cada paso de cálculo.
- g) Número identificador del hidrograma generado.

Los tres primeros datos describen a la subcuenca desde el punto de vista topográfico. Su determinación a partir de mapas planialtimétricos es totalmente objetiva, por lo que se consideran parámetros fijos.

La precipitación media para cada intervalo de tiempo, se obtiene procesando los registros de las estaciones pluviográficas y pluviométricas ubicadas en la zona.

El CN es el número de curva de escurrimiento determinado para las diferentes combinaciones hidrológicas suelo-vegetación. Es función del tipo de suelo, pendiente, vegetación, porcentaje de cobertura, grado de humedad, temperaturas precedentes, etc. Mediante este número, se determina el volumen de escurrimiento como resultado de una precipitación caída en un área dada. Se estima inicialmente, de acuerdo a la metodología elaborada por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América, y luego se va ajustando durante el proceso de calibración. Por lo tanto, es un parámetro de calibración.

El tiempo de cada paso de cálculo, está relacionado con la frecuencia de las observaciones disponibles y con los requerimientos de precisión del modelo. Como su valor puede afectar la forma del hidrograma calculado, se lo puede considerar también como un cuasi parámetro de calibración.

Finalmente, el número identificador del hidrograma generado, surge de la convención que se utilice al preparar el diagrama de bloques del modelo. (Consorcio EIH, 1986a).

2.4.6.2 Modelo Hidrológico ARHYMO

El modelo ARHYMO fue desarrollado por el INA, regional Cuyo, contando con tres programas fuente como punto de partida: el Modelo HYMO-10 (1984), el modelo OTTHYMO (1983) y el programa CHICMET de la Universidad de Ottawa (Maza et al 1993). El ARHYMO permite simular el fenómeno lluvia-escurrimiento sin acudir a ninguna ley de probabilidad, siendo por lo tanto un modelo determinístico.

Se lo puede clasificar como:

- 1 - Lineal: porque utiliza propiedades de proporcionalidad y superposición de los procesos lineales en todos los fenómenos hidrológicos que simula. Es decir que el estímulo o lluvia está relacionado con la respuesta o escurrimiento mediante un operador lineal.
- 2 - De parámetros concentrados: porque trata a la unidad hidrológica como una sola, sin variación interna y, en consecuencia, los parámetros que la caracterizan no varían de un punto a otro sino que están representados por valores medios.
- 3 - De eventos aislados o discreto: no tiene capacidad para variar la humedad del suelo entre precipitaciones sucesivas.
- 4 - Invariable en el tiempo: porque los parámetros que intervienen en el cálculo de los procesos son constantes en la simulación, en el tiempo y espacio.
- 5 - De caja negra o empírico: porque el impulso (lluvia) es transformado en respuesta (caudal) sin que exista una teoría físicamente sustentada que explique el fenómeno. Asimismo, presenta los resultados de la simulación sin que aparezcan los cálculos intermedios. (Maza et al 1993).

Las posibilidades del modelo son:

- a) Producir una distribución temporal sintética de la tormenta de proyecto, es decir con probabilidad de ocurrencia asociada. El sistema incluido en el modelo está basado en una ecuación que da forma al hietograma, derivada de la conocida curva Intensidad-Duración-Frecuencia.
- b) Cálculo de la precipitación efectiva mediante el Método del Número de Curva ó el método de Horton.
- c) Transformación de hietogramas de precipitación efectiva en hidrogramas de escurrimiento, mediante la convolución del Hidrograma Unitario Sintético. Este hidrograma adimensional, está formulado, desde su origen hasta el punto de inflexión de la rama descendente, por la analogía de Nash de n embalses lineales en serie y, desde ese punto hasta su agotamiento, por dos ecuaciones exponenciales negativas. (González et al 2004).
- d) Tránsito de hidrogramas a través de cauces y embalses. En ambos casos utiliza la ecuación de continuidad. Para cauces el método es el de Tiempo de Tránsito variable y para embalses el método de Almacenamiento-Endicación.

El modelo HYMO original utiliza el método de tránsito de hidrogramas en cauce a superficie libre, basado en la ecuación de continuidad.

2.4.6.3 Modelo Hidrológico HEC-HMS

El programa Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), es producto de más de treinta y cinco años de investigaciones del Hydrologic Engineering Center (HEC) del U.S. Army Corps of Engineers.

Es un programa de simulación hidrológica tipo evento, lineal, semidistribuido, desarrollado para estimar los escurrimientos de salida en una cuenca ó varias subcuencas, a partir de la transformación de una lluvia histórica ó hipotética, aplicando para ello algunos de los métodos de cálculo de hietogramas de diseño, pérdidas por infiltración, flujo base y conversión en escorrentía directa, mediante un sistema que integra diferentes métodos hidrológicos, ya sea concentrados o distribuidos para el tránsito de caudales.

El modelo se compone de tres módulos básicos que definen en su conjunto el proyecto de simulación de la cuenca:

- 1 - Módulo de precipitación: en el que se define una precipitación hipotética o histórica para ser utilizada junto con el modelo de precipitación.
- 2 - Módulo de la cuenca: en el cual se define gráficamente la distribución de los elementos hidrológicos (subcuencas, tramos de tránsito, uniones y otros). En cada uno de ellos, se asignan atributos y parámetros. Los parámetros que utiliza este modelo son: las pérdidas iniciales, la transformación de lluvia en escurrimiento y el método del flujo base.
- 3 - Módulo de control de especificaciones: en el que se incluyen las fechas y hora de inicio y fin de la simulación e intervalos de tiempo para realizar el cálculo del hidrograma de escurrimiento. (Rapacioli, 2007).

El programa incluye modelos por separado para representar los distintos componentes de la escorrentía: modelos que computan el volumen escurrido, modelos de escorrentía directa, modelos de flujo base y modelos de flujo de canales.

La información que necesita el programa está relacionada directamente con los métodos de cálculo que maneja. Existen cinco grupos básicos de información que deben suministrarse a HEC-HMS para efectuar las simulaciones:

- 1 - Información acerca de la precipitación histórica o de diseño.
- 2 - Información acerca de las características del suelo.
- 3 - Información morfométrica de las subcuencas.
- 4 - Información hidrológica del proceso de transformación de lluvia en escorrentía.
- 5 - Información hidráulica de los tramos de canal y de las capacidades de los embalses (método de tránsito).

Le adiciona al modelo HEC1 los siguientes elementos:

- 1 - Un método de transformación lineal de la escorrentía (basado en una modificación del hidrograma unitario de Clark) que puede utilizarse en una representación de la cuenca a través de celdas, con datos distribuidos de precipitación obtenidos por ejemplo de registros de radar (una opción tecnológica que no tiene aún aplicación en nuestro país).
- 2 - Una opción de pérdida distribuida de humedad en suelos que aplica el mismo principio de las celdas y puede utilizarse en simulaciones sobre períodos largos (de días ó meses).
- 3 - Una opción de optimización, un poco más versátil que la del HEC-1. (González et al 2004).

El HEC-1 es considerado mundialmente el estándar de los modelos hidrológicos de cuenca, siendo uno de los que ofrecen mayor cantidad de opciones para la simulación de los distintos componentes hidrológicos e hidráulicos. Su limitación más importante es que al ser un modelo de evento analiza sólo una tormenta simple, pues no incluye la recuperación de la humedad del suelo durante los períodos en que no ocurren precipitaciones. (Corral et al 2004).

Los modelos con base física todavía se apoyan en ecuaciones empíricas para describir los procesos de escorrentía, incorporando leyes de conservación de la masa y de energía. La mayoría de ellos utilizan la ecuación diferencial de continuidad, que representa la conservación de la materia y su transformación en el espacio y en el tiempo. (Rapacioli, 2007).

2.5 Modelo seleccionado para las simulaciones. Modelo SHALL3

Para realizar las simulaciones fue seleccionado el modelo matemático SHALL3, por entender que sigue con mayor aproximación el comportamiento hidrológico real de la cuenca, en virtud de ser un modelo continuo y de base física para la determinación de sus parámetros. Estas dos grandes ventajas le confieren mayor confiabilidad, máxime considerando que permite realizar simulaciones en función del tiempo, pudiendo estimar escenarios futuros.

El modelo SHALL3 (Simulación Hidrológica de Areas de Llanura, versión 3), fue desarrollado íntegramente (modelo conceptual, modelo matemático y códigos informáticos) en el ámbito del Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales (CURIHAM), Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario con aportes financiados por UNR y CONICET. Los autores del mismo son los Dres. Erik Zimmermann y Gerardo Riccardi.

Fue concebido con el fin de contar con herramientas tecnológicas capaces de predecir alteraciones en el comportamiento hidrológico frente a acciones de índole antrópica y los resultados alcanzados antes de la presente tesis fueron derivados de su aplicación en el sistema del Arroyo Ludueña (Santa Fe).

Actualmente se encuentra en trámite el registro de software correspondiente.

2.5.1 Descripción del Modelo

Es un modelo hidrológico, desarrollado localmente, apto para la simulación de sistemas de llanura, que contempla las componentes superficial y subterránea del flujo, conjuntamente con los flujos verticales hacia el acuífero y la atmósfera.

Este modelo matemático de simulación es cuasi-tridimensional y permite contemplar las interacciones entre los procesos de superficie, en la zona no saturada y en la zona saturada.

Asimismo, es un modelo determinístico, de síntesis, dinámico, de parámetros distribuidos y operación continua, que discretiza el dominio espacial en celdas interconectadas, sobre las cuales se cuantifican flujos y balances verticales de agua.

En cada celda ó unidad de discretización espacial, el modelo puede cuantificar dinámicamente variables de estado, tales como almacenamientos por intercepción, superficial, en el perfil del suelo y subterráneo, así como flujos de humedad y vapor, tales como los envueltos en los procesos de evapotranspiración, ascenso capilar, escorrentía superficial, mantiforme y encauzada, infiltración, percolación profunda y escorrentía subterránea. Cada una de estas variables puede conocerse con una adecuada resolución espacial y temporal.

Los algoritmos de flujos verticales contemplan almacenamientos en el terreno y por interceptación en el nivel superficial, teniendo en cuenta curvas de crecimiento de cultivo. La dinámica de flujo en la zona no saturada se representa mediante la ecuación de Richards, planteada en términos de humedad volumétrica, la cual es resuelta por vía numérica mediante un esquema explícito, centrado en el espacio y progresivo en el tiempo.

En el contorno superior, la tasa de evapotranspiración es limitada por una función de extracción dependiente del potencial matricial (algoritmo de Feddes). En el contorno inferior de la zona no saturada se consideran celdas incluidas en la capa acuífera con humedad de saturación, actualizándose el nivel freático dinámicamente en el modelo general. Las propiedades de la zona no saturada se representan con las curvas de retención de Brooks-Corey.

Los algoritmos de flujos horizontales, tanto superficial como subterráneo, se basan en esquemas de celdas que permiten simular el movimiento multidireccional mediante el intercambio de flujo entre celdas con cualquier dirección contenida en el plano, pero con leyes de intercambio unidireccionales.

El flujo superficial puede ser propagado mediante un espectro de leyes de descarga desde la aproximación cinemática de la ecuación de momentum hasta una aproximación a la ecuación dinámica. Para el flujo subterráneo, se plantea la ecuación de continuidad considerando la porosidad del medio. El modelo evalúa el intercambio de caudal entre celdas de acuerdo con la formulación de Darcy. Para el planteo numérico de ambos submodelos se utiliza un esquema implícito en diferencias finitas, cuya resolución se realiza mediante un algoritmo matricial basado en el método de Gauss-Seidel, previa reducción de la matriz mediante eliminación de elementos nulos.

La estructuración de los modelos de flujos horizontales en esquemas de celdas permite la discretización del dominio espacial en capas de celdas homólogas, superficiales y subterráneas, vinculadas por los modelos de flujos verticales, previamente descritos.

El modelo está basado en la ecuación de Richards, para estimar la redistribución de humedad en la zona no saturada (ZNS) y los montos de agua intercambiados con la atmósfera y el acuífero. Esta versión del modelo contempla la resolución de la ecuación de Richards en términos de la humedad volumétrica θ , dado que permite conocer una de las variables del balance hidrológico de manera directa.

La ecuación de movimiento, en el caso de flujo vertical, en términos de la humedad volumétrica y con una analogía a la ley de difusión de Fick, es:

$$q = -D(\theta) \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} - k(\theta) \left(+ \int_0^{z_r} S(\theta) d\theta \right) \right) \quad (2.3)$$

donde q es la velocidad de Darcy del flujo no saturado, $D(\theta)$ el coeficiente de difusividad del medio, producto de la conductividad no saturada $k(\theta)$ por el gradiente de la curva de contenido de humedad y potencial matricial ($d\theta/d\Psi$), θ es la humedad volumétrica, z la coordenada vertical, z_r la profundidad radicular y $S(\theta)$ un término fuente-sumidero que, en el caso de suelos cultivados, representa la tasa de extracción de agua por las raíces de las plantas.

En la ecuación los signos se escogen de modo que q es positivo cuando el flujo es de dirección z positiva, además, z se toma como dirección positiva hacia arriba, un valor negativo de q denota flujo hacia abajo. La ecuación de continuidad establece para el flujo vertical, que:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = - \frac{\partial q}{\partial z} \quad (2.4)$$

En esta versión del modelo se propone un esquema explícito en diferencias finitas de las ecuaciones precedentes de acuerdo a las siguientes definiciones:

$$f(z) \approx \frac{f_{j+1/2}^n + f_{j-1/2}^n}{2} \quad (2.5)$$

$$\frac{df}{dt} \approx \frac{f_j^{n+1} - f_j^n}{\Delta t} \quad (2.6)$$

$$\frac{df}{dz} \approx \frac{f_{j+1/2}^n - f_{j-1/2}^n}{\Delta z} \quad (2.7)$$

Donde f es una función cualquiera (humedad volumétrica, conductividad no saturada, coeficiente de difusión), $j=1, m$ el elemento de discretización espacial, con espaciamento Δz , n el nivel de tiempo, con incrementos Δt . Los nodos $j, j+1, j+2, \dots$ representan los bordes de celdas en los cuales se evalúa los flujos de intercambio y los nodos $j+1/2, j+3/2, \dots$ representan los centros de celdas en donde se miden las humedades (Gráfico 2.2).

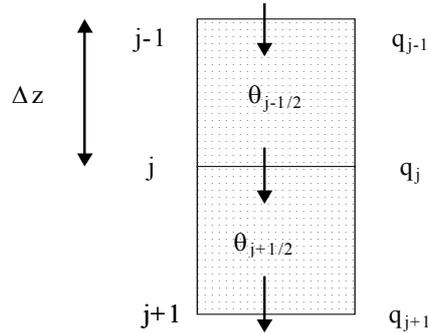


Gráfico 2.2 Discretización de la ZNS en celdas verticales

El nodo $j=1$ corresponde a la superficie y el nodo $j=m$ al límite del espesor del perfil considerado, en correspondencia con la máxima profundidad. Bajo este esquema de discretización la ecuación de momentum resulta:

$$q_j^n = -D(\theta_j^n) \frac{\theta_{j-1/2}^n - \theta_{j+1/2}^n}{\Delta z} - k(\theta_j^n) \quad (2.8)$$

$$\theta_j^n = \frac{\theta_{j+1/2}^n + \theta_{j-1/2}^n}{2}$$

La ecuación de continuidad resuelta para el término en el nivel $n+1$, es:

$$\theta_{j+1/2}^{n+1} = \theta_{j+1/2}^n - \frac{\Delta t}{\Delta z} (q_j^n - q_{j+1}^n) \quad (2.9)$$

La secuencia de cálculo es la siguiente:

- (1) Partir de una condición inicial de humedades θ_j^0 en el perfil.
- (2) Resolver la ecuación de momentum (2.8) para $j=1..m$, determinando los flujos de intercambio entre celdas.
- (3) Resolver la ecuación de continuidad (2.9) determinando las humedades del perfil en el siguiente paso de tiempo.
- (4) Retomar paso (2) hasta tiempo de finalización de la simulación.

Para las condiciones de contorno, se plantea la resolución de las ecuaciones anteriores, con algunas

de las incógnitas conocidas.

La imbibición como condición de borde superior: en el caso de superficie encharcada puede considerarse la humedad del primer nodo constante en el tiempo e igual a la humedad de saturación: $\theta_1(t) = \theta_s$.

La condición de lluvia fue resuelta utilizando el esquema numérico como un modelo de infiltración, además, de redistribución de humedad y percolación al acuífero. En la celda que constituye el contorno superior se debe cumplir con la siguiente condición:

$$q_1^n = \text{MAX} \left(-D(\theta_{1/2}^n) \frac{\theta_s^n - \theta_{1/2}^n}{\Delta z} - k(\theta_{1/2}^n); i^n + AS^n \right) \quad (2.10)$$

Donde i^n es la intensidad de lluvia efectiva y AS^n la lámina de almacenamiento superficial, ambos en el intervalo n de discretización temporal. De esta manera se establece una interacción entre los procesos de superficie (intercepción y almacenamiento superficial) y los montos que potencialmente pueden infiltrarse durante los períodos de lluvia.

La desecación como condición de borde superior: el primer almacenador que satisface la demanda de evaporación potencial es la lámina interceptada y en segundo término la lámina almacenada superficialmente (si existen). Nuevamente se establece una interacción entre procesos superficiales y subsuperficiales, pero para los períodos sin lluvia. Si los montos almacenados en superficie no alcanzan para cubrir la demanda se extrae agua del suelo por transpiración vegetal.

El modelo utilizado para estimar la evapotranspiración real es el de Feddes y otros, citado por Candela y Varela (1993). El modelo limita la tasa de evapotranspiración máxima, la cual está vinculada a los parámetros atmosféricos, en función del potencial mátrico del suelo. Se asume una distribución homogénea de las raíces en el suelo y se propone que:

$$S(\Psi) = \beta(\Psi) S_{\text{max}} = \frac{\beta T_p}{z_r} \quad (2.11)$$

Donde T_p es la máxima tasa de evapotranspiración, S_{max} representa la tasa máxima de evapotranspiración por unidad de profundidad radicular, z_r la profundidad de raíces, $S(\Psi)$ la tasa real de S_{max} , $0 < \beta(\Psi) < 1$ una función adimensional del potencial matricial. La misma puede simplificarse a una relación graficada, como la siguiente:

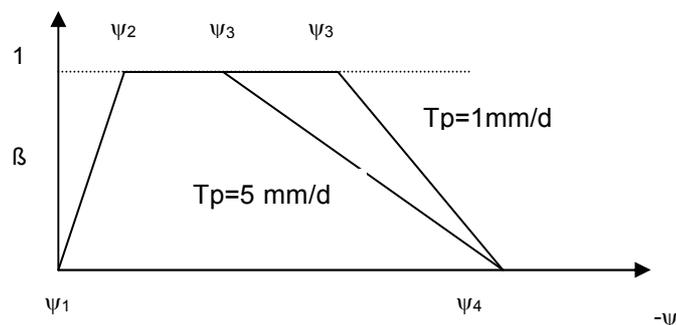


Gráfico 2.3 Coeficiente para restringir la ETP

La función de extracción β es nula por debajo de ψ_1 debido a la deficiencia de oxígeno, y por encima de ψ_4 debido al elevado potencial de succión que se requiere para extraer el agua del suelo. Es máxima entre los valores de ψ_2 y ψ_3 .

El potencial ψ_3 depende de la tasa máxima de evapotranspiración. Deeb Páez y Díaz Granados (1988) presentan una familia de curvas que relacionan el parámetro β vs. el potencial matricial, bajo diferentes tasas de evapotranspiración máxima.

Reordenando y extractando los valores en forma numérica, se han tomado los valores límites de ψ_3 , para los cuales comienzan a decrecer las tasas de evapotranspiración, y se ha propuesto una relación empírica que los relaciona con las tasas máximas. La misma, obtenida por regresión no lineal, fue $103,7 * ETP^{-1,906307}$, con un coeficiente de correlación de 0.9694 (Zimmermann, 1998b).

Condición de borde inferior: En esta versión del modelo, se consideraron las celdas incluidas en la capa acuífera con humedad de saturación: $\theta_m(t) = \theta_s$. El conjunto de celdas saturadas depende del nivel freático, y éste es actualizado dinámicamente en el modelo general.

Parámetros del suelo: Deben conocerse las curvas de conductividad vs. humedad volumétrica $k(\theta)$, potencial mátrico vs. humedad $\psi(\theta)$ y difusividad vs. humedad $D(\theta)$. En esta versión, se han adoptado las relaciones de Brooks-Corey:

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \begin{cases} \left(\frac{\psi_c}{\psi} \right)^\lambda & \text{si } \rightarrow |\psi| \geq |\psi_c| \\ 1 & \text{si } \rightarrow |\psi| < |\psi_c| \end{cases} \quad (2.12)$$

$$k(\theta) = K_s S_e^4 \quad (2.13)$$

$$D(\theta) = k(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \quad (2.14)$$

donde: S_e = saturación efectiva, θ_s = contenido de humedad para medio saturado, θ_r = humedad correspondiente a saturación irreductible o humedad residual, ψ_c = succión crítica (presión de entrada de aire) o potencial matricial crítico del suelo, K_s = conductividad hidráulica del suelo saturado y λ = parámetro que depende de la distribución de los tamaños de poros.

Para el esquema propuesto, se ha realizado un análisis de estabilidad y convergencia, contrastando sus resultados con problemas de solución analítica conocida y con otras técnicas y esquemas numéricos, validando su consistencia en todas las situaciones (Zimmermann 1998a)

Simulación de los flujos horizontales de agua: Los modelos de flujos horizontales, tanto el superficial como el subterráneo, se basan en esquemas de celdas (Cunge 1975). Estos modelos permiten simular el movimiento multidireccional mediante el intercambio de flujo entre celdas con cualquier dirección contenida en el plano, pero con leyes de intercambio unidimensionales.

El flujo superficial puede ser propagado mediante un espectro de leyes de descarga desde la aproximación cinemática de la ecuación de momento hasta una aproximación a la ecuación dinámica. Estas leyes permiten la simulación de tránsito por ríos, canales, valles de inundación, calles urbanas y redes de conductos cerrados. El flujo subterráneo es simulado mediante la ecuación de Darcy.

La estructuración de los modelos de flujos horizontales en esquemas de celdas permite la discretización del dominio espacial en "capas" de celdas homólogas, superficiales y subterráneas, vinculadas por los modelos de flujos verticales, previamente descriptos.

Las ecuaciones gobernantes consideradas para el movimiento de flujo en ambos modelos son de continuidad y distintas simplificaciones de la ecuación de cantidad de movimiento transformadas en formulaciones de descarga entre celdas.

Ecuación de Continuidad: La ecuación de continuidad se plantea para cada celda y se deriva a partir de la definición del incremento del volumen de agua almacenada desde consideraciones geométricas y desde condiciones de descarga (Cunge, 1975).

$$A_{S_i} \frac{dz_i}{dt} = P_i + \sum_{k=1}^j Q_{k,i} \quad (2.15)$$

A_{S_i} es el área superficial de la celda; z_i es la cota de agua en la celda i respecto a un plano de referencia; P_i es el intercambio externo de caudal en la celda i ; $Q_{k,i}$ es el caudal entre celdas i y k .

La ecuación de continuidad para el flujo subterráneo tiene la misma forma que la correspondiente a flujo superficial:

$$A_{Se_i} \frac{dz_i}{dt} = P_i + \sum_{k=1}^j Q_{i,k} \quad (2.16)$$

A_{Se_i} es el área superficial efectiva de la celda; obtenido como producto del área superficial y la porosidad del medio permeable. En este caso P_i representa las recargas de acuífero o los ascensos de humedad debido a la extracción por evapotranspiración.

El modelo evalúa el intercambio de caudal entre celdas de acuerdo con la formulación de Darcy para flujo uniforme en medio poroso saturado (Riccardi y Zimmermann, 1999):

$$Q_{i,k} = \varphi_{i,k} h_{i,k} \Delta z_{i,k} \quad (2.17)$$

con

$$\varphi_{i,k} = \frac{b_{i,k} k_{i,k}}{\Delta x_{i,k}} \quad (2.18)$$

donde $h_{i,k} = z_{m_{i,k}} - z_{mf_{i,k}}$ es el nivel medio de agua entre celdas vinculadas, medida desde el fondo del acuífero. $\Delta z_{i,k} = z_i - z_k$ es la diferencia de cotas de nivel de agua de los centros de celda, z_f es la cota de fondo de acuífero, $b_{i,k}$ es el ancho total de la unión entre celdas, $k_{i,k}$ es la permeabilidad media entre celdas del estrato, $\Delta x_{i,k}$ es la distancia entre centros de celdas.

En el caso de secciones compuestas con distintos coeficientes de permeabilidad a lo largo de su perfil vertical, el parámetro $\Phi_{i,k}$ se determina para cada zona componente de la sección de similar característica sumándose luego para obtener un $\Phi_{i,k}$ para la sección completa.

Formulación numérica y condiciones de borde

Para la resolución numérica de ambos modelos es adecuado el uso de un esquema implícito (Cunge, 1975) del tipo:

$$A_{S_i} \frac{\Delta z_i}{\Delta t} = P_i + \sum_{k=1}^j Q_{k,i}^n + \sum_{k=1}^j \frac{\partial Q_{k,i}}{\partial z_i} \Delta z_i + \sum_{k=1}^j \frac{\partial Q_{k,i}}{\partial z_j} \Delta \Delta_k \quad (2.19)$$

Las funciones A_S , P_i y $Q_{k,i}$ son conocidas en el tiempo $t = n \Delta t$ y los incrementos Δz_i y Δz_k son las incógnitas, j es la cantidad total de celdas vinculadas a la celda i . La resolución numérica se realiza mediante un algoritmo matricial basado en el método de Gauss-Seidel, previa reducción de la matriz mediante eliminación de elementos nulos.

Las condiciones de borde posibles de imponer son:

- (a) Cota de agua en función del tiempo, $z(t)$.
- (b) Caudal en función del tiempo: $Q(t)$.
- (c) Relación cota-caudal: $Q = f(z)$.

Asimismo el modelo requiere la especificación de las alturas de agua en todas las celdas en el tiempo inicial.

Ensamble entre algoritmos de flujos verticales y horizontales

El ensamble entre las distintas rutinas computacionales que representan diversos procesos hidrológicos, se propuso bajo los siguientes criterios generales (Zimmermann 1997):

- Cada rutina (asociada a un subproceso) puede operar independientemente, con su conjunto de archivos de entrada y de salida.
- Las rutinas operan bajo una secuencia lógica durante un período de simulación determinado, p.ej.: (1) arranque de la simulación desde las condiciones iniciales, (2) operación de la rutina de evapotranspiración hasta un evento lluvioso (actualización de las humedades del perfil y de tasas de percolación y evapotranspiración), (3) operación de la rutina de flujo subterráneo (actualización de niveles freáticos), (4) tras un evento de lluvia, operación de la rutina de almacenamientos en superficie e infiltración, (5) actualización de las humedades del perfil y de tasas de percolación y lluvia neta, (6) operación de la rutina de flujo subterráneo (actualización de niveles freáticos), (7) operación (optativa) de la rutina de flujo superficial (determinación de caudales, alturas y cotas en superficie) y (8) reiniciar la secuencia hasta el próximo evento lluvioso.
- El intercambio de información entre cada rutina se logra mediante la lectura y escritura de archivos que se actualizan permanentemente.
- Se contemplan archivos de datos de entrada (precipitación y evapotranspiración potencial) que contienen toda la información requerida para todo el período de simulación. Los archivos de entrada de las rutinas en particular se confeccionan con rutinas de gestión de datos desarrollados específicamente para tal fin.
- La gestión de las todas las rutinas se realiza a través de un programa maestro que comanda la secuencia de operación según se ha mencionado precedentemente.

Los archivos de datos generales a lo largo de todo el período de simulación, son (a) un archivo que contiene tantos registros como eventos lluviosos se simulen y para cada registro el año, el día del evento seguido de 24 datos de precipitaciones horarias correspondientes al día de la lluvia y (b) un archivo que contiene un registro diario de la evapotranspiración potencial.

Es importante resaltar la enorme versatilidad que presentan los esquemas de celdas para la modelación en hidrología.

Las celdas definen una unidad de discretización espacial, no necesitan estar equiespaciadas ni tener las mismas propiedades físicas y pueden representar elementos de características heterogéneas, por ejemplo canales, vertientes, conductos, porciones de acuífero, etcétera, estando vinculadas entre sí por las leyes físicas que correspondan al tipo de flujo entre dichos elementos. Los flujos de intercambio y las variables de estado de este conjunto heterogéneo de elementos se resuelven dinámicamente en un mismo sistema de ecuaciones

En Gráfico 2.4, se muestra esquemáticamente el ensamblaje entre dos celdas superficiales, con sus celdas análogas subterráneas y en la zona vadosa. Las superficiales y las subterráneas se encuentran vinculadas a una celda central de escurrimiento encauzado, como condición de bode interna.

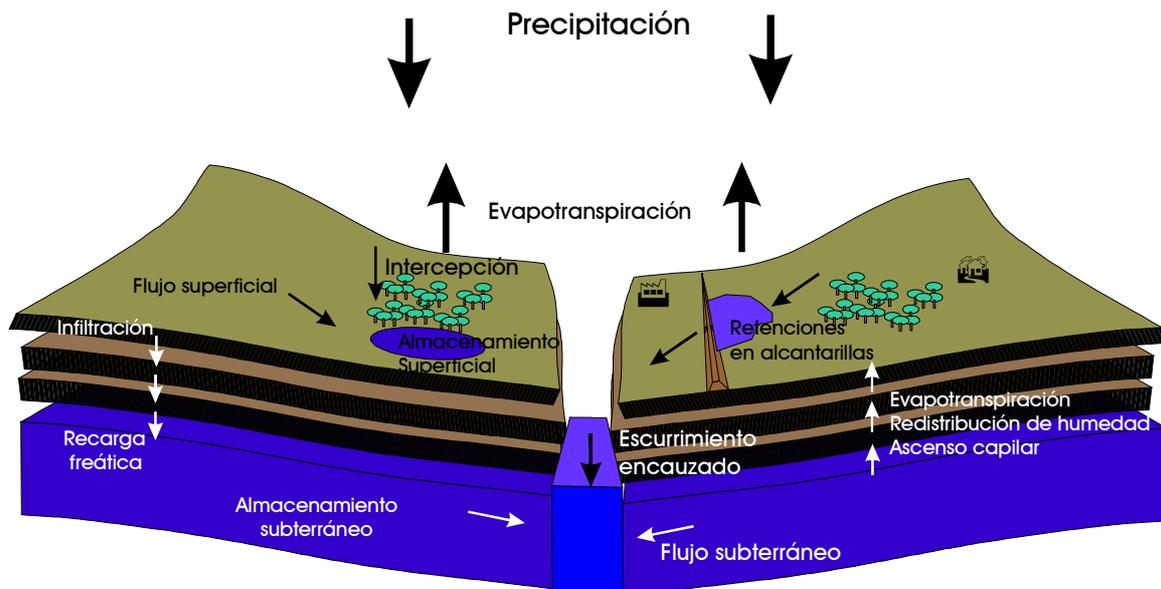


Gráfico 2.4 Esquema del ensamblaje entre celdas superficiales, no saturadas y subterráneas (Fuente: Zimmermann 1997).

2.5.2 Utilización de Sistemas de Información Geográfica en Hidrología

El Sistema de Información Geográfica (SIG) es un sistema de información diseñado para trabajar con datos referenciados, en coordenadas espaciales ó geográficas. Las capas o estratos de SIG son como mapas flotantes, con referencias espaciales comunes, que permiten mirar debajo de ellas y a través de sus datos, utilizando las herramientas del modelo. Una característica esencial del SIG es que intenta capturar en su modelo de datos la realidad y no una imagen determinada de esta.

La integración del SIG con modelos hidrológicos se utilizaron en la década del 70 del siglo pasado, con algunas funciones de red para almacenar datos del terreno, con objeto de desarrollar modelos de escorrentía superficial. Sólo a fines de los 80 los modelos empezaron a utilizar toda la funcionalidad del SIG, como almacenamiento, presentación y manejo de los datos distribuidos. (Rapacioli, 2007).

La gran extensión areal de los sistemas en llanura, como objeto de estudio específico, realza la importancia del uso de los Sistemas de Información Geográfica para la gestión de la información de entrada y el análisis de resultados.

Los SIG conforman herramientas tecnológicas muy adecuadas para analizar la regionalización de variables hidrológicas, como también para el manejo, análisis y visualización de datos geográficos y datos que pueden ser georreferenciados. La gran ventaja que representa esta aplicación, es permitir utilizar los modelos hidrológicos desde una arquitectura SIG, en la que gran parte de la información que precisan (datos de topología y cartografía) le es suministrada por ésta.

De igual forma, los datos resultantes del cálculo son representados en este mismo entorno SIG, permitiendo análisis tanto gráficos como alfanuméricos potentes e intuitivos (valores de evapotranspiración para distintas zonas, estimación de pendientes, orientaciones del flujo superficial, etc.).

La utilización de SIG como herramienta básica, facilita en gran medida el monitoreo del sistema hidrológico natural. Permiten mejorar la tecnología de almacenamiento y administración de la información disponible, trasladando mapas y grandes cantidades de información en documentos impresos a formatos digitales.

El resultado es una base de datos, donde nombres, fechas, cantidades e imágenes, pueden tener relación con una ó más entidades gráficas, que representan rasgos y cosas sobre el territorio.

Las imágenes satelitales tomadas con sensores que barren el espectro electromagnético, permiten estimar variables hidrológicas con bastante precisión y en forma sistemática en el tiempo.

Las bandas en el infrarrojo cercano y termal, y en las bandas de microondas, se utilizan para estimar evapotranspiración, humedad del suelo, campos de precipitación, porcentajes y tipo de cobertura vegetal (previa clasificación), entre otras variables de interés hidrológico.

En el espectro visible pueden detectarse los almacenamientos superficiales, escorrentía, erosión de suelos y calidad ambiental. Es necesario complementar las mediciones de reflectancia, provistas por sensores remotos, con trabajo de campo, para utilizar técnicas de clasificación supervisada.

La información brindada por mapas de suelo, de cobertura vegetal y de humedades, mapas geológicos y modelos digitales del terreno, constituye la base sobre la cual pueden estimarse los parámetros del SHALL3 (ver Capítulo 5).

Capítulo 3: Recopilación de Datos - Metodología

3.1 Recopilación de Datos

Los datos e información recopilados a distintos organismos fueron los siguientes:

- A la Dirección Nacional de Vialidad los estudios antecedentes utilizados en el alteo realizado en la Ruta Nacional N° 35 entre los años 2001 y 2004.

- A la Dirección de Catastro de la Provincia de La Pampa, las cartas topográficas, confeccionadas por el Instituto Geográfico Militar (IGM), que contienen las curvas de nivel correspondientes al área en estudio.

- A la Subsecretaría de Ecología de la Provincia de La Pampa las imágenes de satélite Landsat 05 correspondientes a los años 2001, 2002, 2003, 2004, 2005 y 2006.

- A la Dirección de Hidráulica de la Municipalidad de Santa Rosa los siguientes datos (registrados desde el 1 de enero de 2005):

- a) Caudal mensual de líquidos cloacales bombeados y a gravedad que desaguan al Bajo.
- b) Caudal mensual de agua potable suministrada a la red.
- c) Caudal mensual de agua bombeada desde la laguna Don Tomás al Bajo Giuliani.
- d) Concentración de sales presentes en ambas lagunas, de acuerdo a los análisis físico-químicos mensuales.
- e) Precipitación mensual medida en el pluviómetro instalado en el Bajo Giuliani.

- Datos mensuales de precipitación y temperaturas medias diarias al Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N.) de la estación Santa Rosa (desde el 1 de enero de 2005).

- A la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa los siguientes datos:

- a) Valores horarios de precipitación, desde el 1 de enero de 2005.
- b) Valores de precipitaciones mensuales históricas que se han registrado en la ciudad, desde la fecha que se posee registros (1 de enero de 1911).
- c) Valores horarios de evapotranspiración, desde el 1 de enero de 2005.
- d) Valores diarios de evaporación, desde el 1 de enero de 2005.

- Al INTA de Anguil los siguientes datos:

- a) Valores mensuales de evapotranspiración, desde el 1 de enero de 2005.
- b) Valores mensuales de evaporación, desde el 1 de enero de 2005.
- c) Temperaturas medias diarias desde el 1 de enero de 2005.

- A la Dirección de Aguas de la Provincia de La Pampa:

- a) Estudios hidrológicos antecedentes, relativos al tema de estudio.
- b) Plano de Curvas Isopiécicas, con equidistancia de 10 metros, en escala 1/200.000, confeccionado mediante el Plan de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS), en el año 1975.
- c) Datos correspondientes a noventa pozos de explotación registrados en la ciudad.
- d) Datos correspondientes a cuatro pozos de exploración existentes en cercanías del Bajo Giuliani.

- A la Dirección de Estadísticas y Censos, la población actual de la ciudad, los índices de crecimiento en los últimos años y la tendencia futura.

3.2 Metodología

Método deriva del griego y significa camino para llegar a un resultado (Sabino, C. 1.996).

En el presente capítulo, se describen las tareas a realizar, utilizando los datos e información recopilada, la forma de llevarlas a cabo y los fines perseguidos en cada una de ellas, para someter a

prueba las hipótesis planteadas y ver si se ajustan a la realidad:

- 1) Se nivelarán distintos puntos, en alrededores de la laguna Don Tomás y en las Rutas Nacionales N° 35 y 14, con objeto de verificar las curvas de nivel confeccionadas por el I.G.M. Utilizando dichas curvas, se delimitarán las cuencas superficiales correspondientes a las dos lagunas.
- 2) Se recorrerán los límites de ambas cuencas superficiales, confeccionados en gabinete mediante curvas de nivel, con objeto de verificar la inexistencia de escurrimientos fuera de ellos. Se verificarán in situ alteos ó modificaciones antrópicas ó naturales, caminos vecinales, ferrocarriles, rutas, etc., a efectos de determinar las áreas de captación reales de cada cuenca.
- 3) Se digitalizarán y georreferenciarán las curvas de nivel y las cuencas superficiales correspondientes a las dos lagunas. Mediante dichas curvas se confeccionarán gráficas cota-volumen, con objeto de determinar la capacidad de recepción de cada cuenca para distintas cotas.
- 4) Se georreferenciarán las imágenes de satélite correspondientes a los años 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006 y se digitalizarán los contornos de ambas lagunas en cada imagen. Utilizando el programa Arc-View®, se calcularán las áreas y perímetros de las lagunas Don Tomás y Giuliani para los distintos años, con objeto de conocer la evolución de las lagunas y poder estimar su comportamiento en función de las precipitaciones.
- 5) Se determinará la cobertura vegetal en ambas cuencas superficiales utilizando clasificación supervisada sobre imágenes de satélite Landsat 05, correspondientes a distintas estaciones del año 2006. En base a la cobertura vegetal presente en las cuencas, se estimará el uso consuntivo global en ellas, tanto para épocas húmedas como secas, a efectos de determinar los escurrimientos superficiales resultantes.
- 6) Se realizará un análisis estadístico de la serie histórica de precipitaciones mensuales registradas en la ciudad, con objeto de estimar su tendencia futura.
- 7) Se solicitará un pluviómetro Tipo B a la Dirección de Aguas de la Provincia, con objeto de instalarlo en Avenida Circunvalación y Calle Palacios. Se instalará uno nuevo en la Planta de Tratamiento Sur. Sumados al ubicado en el Aeropuerto, perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional, permitirán poseer registros de tres puntos de la ciudad. Se determinarán las áreas de influencia correspondientes a los tres pluviómetros, utilizando polígonos de Thiessen, con objeto de ponderar las precipitaciones en cada cuenca.
- 8) Utilizando el plano de Curvas Isopiécicas, con equidistancia de 10 metros, en escala 1/200.000, confeccionado mediante el Plan de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS), en el año 1975, se delimitará la cuenca subterránea.
- 9) Se digitalizarán y georreferenciarán los pozos y curvas de nivel contenidos en PIAS y la cuenca subterránea determinada por ellas. Luego, se calculará el área y perímetro de la cuenca, utilizando el programa Arc-View®.
- 10) Se georreferenciarán los noventa pozos de explotación registrados en la ciudad y, en función de sus parámetros, y nuevas mediciones, se determinará el funcionamiento del acuífero.
- 11) - Se determinarán, mediante GPS, las coordenadas de los cuatro pozos de exploración existentes en la zona norte del Bajo Giuliani. Se georreferenciarán dichos pozos y se medirán periódicamente sus niveles freáticos, a efectos de actualizar los niveles del acuífero en dicha zona.
- 12) Utilizando tecnología SIG, se superpondrán las cuencas superficiales con la subterránea y los pozos de agua dentro de ésta, con objeto de poseer una visión del comportamiento general de los sistemas hidrológicos del bajo Giuliani y la laguna Don Tomás.
- 13) Se instalará una regla en la laguna del Bajo Giuliani, para realizar el seguimiento de su nivel. Se tomarán mediciones en la regla ya existente en la Laguna Don Tomás, con intención de conocer la evolución de su nivel. Las mediciones se realizarán con una frecuencia mensual y ocasionalmente, antes y después de cada lluvia.
- 14) Se realizarán ensayos de infiltración en ambas cuencas, utilizando un permeámetro de doble anillo,

con objeto de conocer valores medios representativos de las cuencas.

15) Para incorporar a los balances hidrológicos a realizar, se solicitarán a la Dirección de Hidráulica de la Municipalidad de Santa Rosa los siguientes datos:

- a) Caudales mensuales de líquidos cloacales bombeados y a gravedad que desaguan al Bajo.
- b) Caudales mensuales de agua potable suministrada a la red.
- c) Caudales mensuales de agua bombeada desde la laguna Don Tomás al Bajo Giuliani.
- d) Concentración de sales presentes en ambas lagunas, de acuerdo a los análisis físico-químicos mensuales.
- e) Precipitaciones mensuales medidas en los pluviómetros instalados en el Bajo Giuliani y en la Sub-Dirección de Hidráulica.

16) Para incorporar a los balances hidrológicos a realizar, se solicitarán datos mensuales de precipitación y temperaturas medias diarias al Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N.) de la estación Santa Rosa, ubicada en el Aeropuerto.

17) Para incorporar a los balances hidrológicos a realizar, se solicitarán a la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa los siguientes datos:

- a) Valores horarios de precipitación desde enero de 2005.
- b) Valores horarios evapotranspiración desde enero de 2005.
- c) Valores diarios de evaporación desde enero de 2005.
- d) Déficit de saturación diario desde septiembre de 2006.
- e) Velocidad del viento diario a 2 km de altura desde septiembre de 2006.
- f) Déficit de saturación y velocidad del viento a 2 km de altura mensual desde enero de 2006.

18) Se realizarán balances hidrológicos mensuales en ambas lagunas, estimando cada componente y deduciendo los escurrimientos superficiales en las mismas.

19) Se cargarán los datos en el modelo SHALL3. En cada celda, el modelo cuantificará almacenamientos por intercepción, superficial, en el perfil del suelo y subterráneo, evapotranspiración, ascenso capilar, escorrentía superficial, mantiforme y encauzada, infiltración, percolación profunda y escorrentía subterránea.

Teniendo en cuenta curvas de crecimiento de cultivo, los algoritmos de flujos verticales contemplarán almacenamientos en el terreno y por intercepción en el nivel superficial. Los modelos de flujos horizontales, discretizados en capas de celdas homólogas, superficiales y subterráneas, se vincularán mediante los modelos de flujos verticales.

El modelo estimará la redistribución de humedad en la zona no saturada y los montos de agua intercambiados con la atmósfera y el acuífero.

Los sistemas hidrológicos del bajo Giuliani y la laguna Don Tomás se considerarán conjuntamente y discretizados en un conjunto de celdas cuadrangulares de 1000 m de lado, cuyas características se considerarán homogéneas. Se implementará el modelo de flujo subterráneo, integrante del sistema de simulación SHALL3, cuya discretización espacial será equivalente con la topología de celdas en superficie.

Mediante el programa WinSurf® y, en función de los parámetros de los pozos relevados obtenidos y su ubicación en las distintas celdas, se podrá mejorar el conocimiento sobre el acuífero, estimar el sentido de los escurrimientos subterráneos y el comportamiento de la cuenca subterránea.

Los perfiles iniciales de humedad para todas las celdas, se calcularán mediante simulaciones de los modelos de flujo en la ZNS hasta obtener los perfiles de equilibrio, proponiendo además un equilibrio con la posición del acuífero freático en cada celda.

Se caracterizarán los parámetros que definen los procesos de superficie: cotas referidas a IGM de los centros de celdas Z_s , capacidad máxima de almacenamiento por intercepción f_{vmax} , porcentajes de cobertura vegetal $pcv(t)$, capacidad de almacenamiento superficial AS_{Max} y profundidad radicular Z_a .

20) Se compararán los valores de escurrimientos superficiales determinados mediante mediciones realizadas durante los años 2006 y 2007 con los simulados mediante el modelo SHALL3, a efectos de calibrar el mismo.

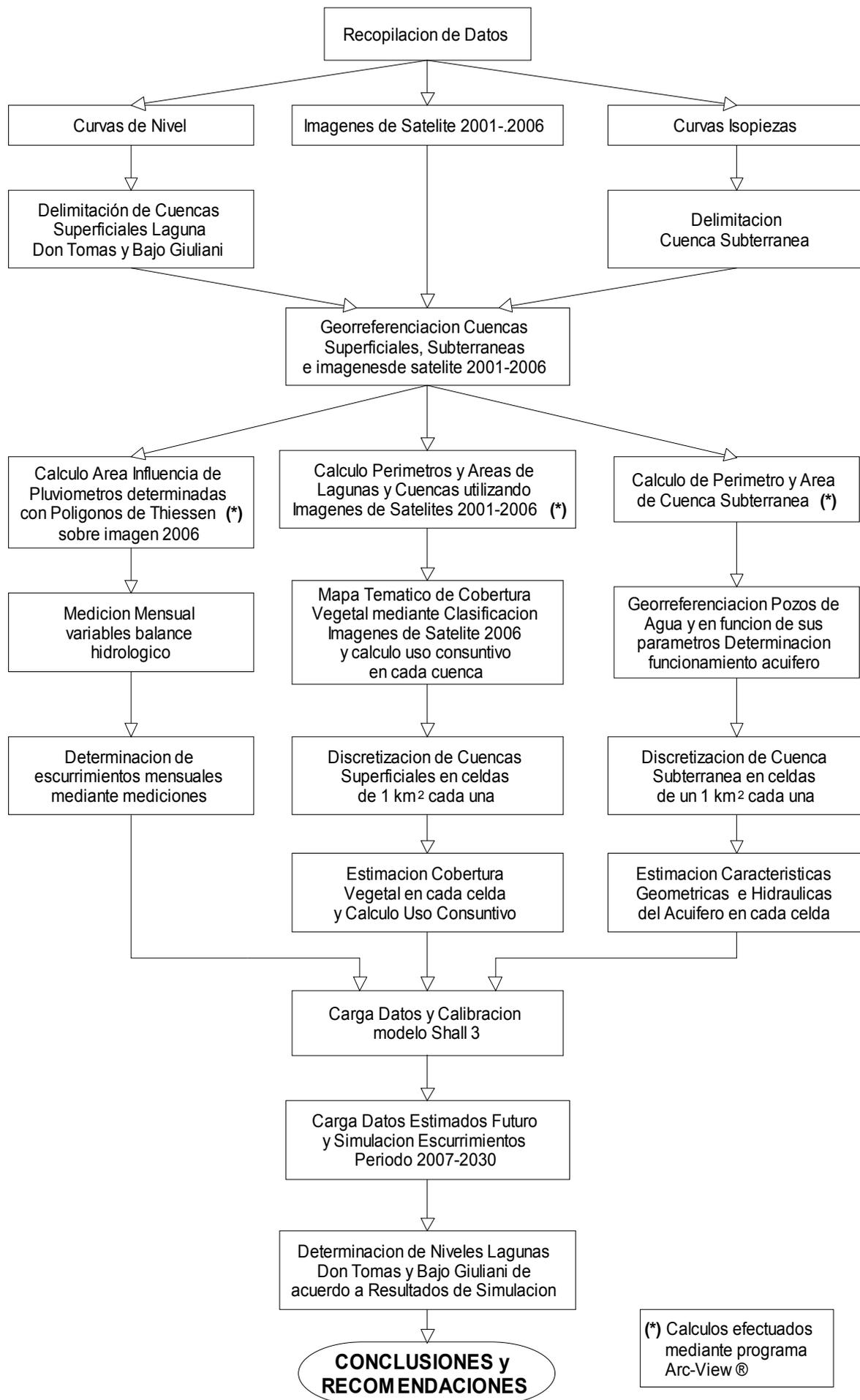
21) Una vez calibrado el modelo, se cargarán datos de estimaciones futuras para el período 2007-2030, correspondientes a escurrimientos superficiales, precipitación, evaporación, escurrimientos subterráneos, infiltración, caudales de bombeo desde la laguna Don Tomás y desde las plantas de tratamiento de líquidos cloacales.

22) Se estimarán los escurrimientos superficiales mensuales hasta el año 2030, aplicando el modelo con las series de entrada definidas y partiendo de las condiciones alcanzadas en el año 2007, durante el proceso de calibración.

23) Se realizarán balances hidrológicos, efectuando simulaciones mensuales hasta el año 2030 y se estimarán los niveles correspondientes a las Lagunas Don Tomás y del Bajo Giuliani, para las condiciones del año 2030, tomando como referencia el valor existente en enero de 2007.

24) En base a los resultados obtenidos, se verificará el cumplimiento de las hipótesis establecidas, se obtendrán conclusiones y se realizarán recomendaciones.

En el diagrama de flujo siguiente, se observan sintéticamente las tareas a realizar



Capítulo 4: Caracterización del Área de Estudio

El área bajo estudio está encerrada por un rectángulo de aproximadamente 19 km de base por 22 km de altura, determinada por los valores Gauss-Kruger: X mínimo = 5.930.039,430 metros - X máximo = 5.952.013,690 metros e Y mínimo = 4.377.860,090 metros - Y máximo = 4.396.824,140 metros. Dentro de este área, están ubicadas las lagunas del Bajo Giuliani y Don Tomás.

En figura 4.1 se observa la ciudad de Santa Rosa, la ubicación de las lagunas citadas, las piletas de Otratamiento Norte y Sur (P.T.N. y P.T.S.), las Rutas Nacionales N° 5 y N° 35 (por donde puede accederse a Santa Rosa), la Ruta Provincial N° 14 (por donde puede accederse a la laguna del Bajo Giuliani), el camino de acceso a Toay y el área de estudio considerada.

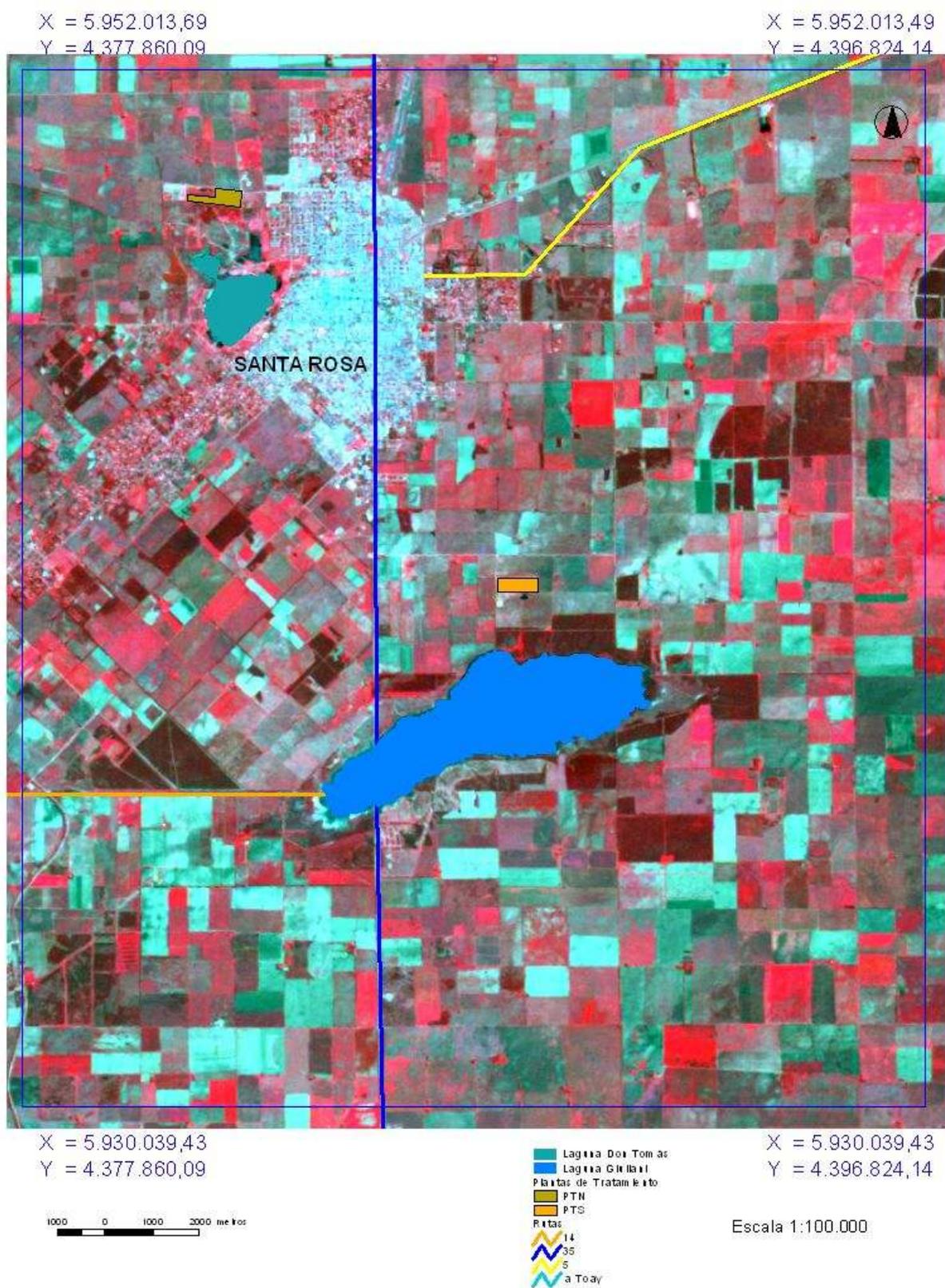


Figura 4.1 Esquema de ubicación

4.1 Descripción General de los Cuerpos Receptores

4.1.1 Bajo Giuliani

El Bajo Giuliani se encuentra ubicado aproximadamente a ocho kilómetros del centro de la ciudad, pudiendo accederse mediante la Ruta Nacional N° 35 Sur y la Ruta Provincial N° 14. La laguna Giuliani se encuentra en el centro del bajo, atravesada por las dos rutas citadas, cuya intersección corresponde a las coordenadas Gauss-Kruger: X = 5.936.436 metros; Y = 4.385.377 metros, aproximadamente tres kilómetros más al Sur.

El Bajo presenta características geomorfológicas e hidrológicas particulares, estando su uso restringido exclusivamente a la recepción de los efluentes cloacales tratados, del sistema de desagües pluviales, del escurrimiento de su propia cuenca, del trasvase de aguas desde la laguna Don Tomás y además, funciona como descarga subterránea de los acuíferos que llegan a su cuenca. Parte de las salidas naturales están constituidas por evaporación y parte infiltra contribuyendo a la alimentación del subsuelo y a un aporte de sales en su cuenco.

En consecuencia, la laguna Giuliani es un humedal que se comporta como laguna “base o terminal” del sistema hidrológico de la ciudad (Marani, 2008. Comunicación personal).

La laguna puede clasificarse dentro de los “lagos urbanos”, por su escasa profundidad de unos pocos metros. Son altamente fértiles (gran cantidad de nutrientes) y generalmente clasificados como eutróficos (dominados por macrófitas y algas asociadas).

Puede recibir cantidades importantes de material erosionable, que determina una sedimentación más rápida, especialmente cerca de la descarga de efluentes, pudiendo ocasionar coloración del agua. Debido a grandes cantidades de sedimentos suspendidos y al desarrollo de algas planctónicas, su color varía de verde a marrón. Ocasionalmente, presenta floraciones densas de algas que pueden originar una capa superficial ofensiva y molesta. La estratificación térmica, si se desarrolla, es de corta duración. (Franklin Consultora, 1990).

Son capaces de detoxificar muchos contaminantes (metales pesados, pesticidas, etc.) como resultado de la interacción del contaminante con el material suspendido y con partículas depositadas, atenuando el deterioro de la calidad del agua.

La calidad general del agua en estos lagos es normalmente clasificada como pobre y el mayor problema que posee es su excesiva fertilización. En la Laguna del Bajo Giuliani los nutrientes crecen continuamente, consecuencia del tipo de aportes y salidas de líquidos. La eventual deficiencia en el tratamiento de los líquidos cloacales que son derivados al Bajo, además de representar un potencial riesgo de contaminación para el ecosistema, originaría emanación de malos olores, afectando a las personas que transitan por la zona.

Se espera un aumento continuo de aportes a la cuenca del bajo Giuliani, provocado por el trasvasamiento desde la laguna Don Tomás y por mayores caudales de líquidos cloacales tratados, considerando que dichos caudales aumentarán en función de la cantidad de habitantes de Santa Rosa. La descarga permanente de líquidos cloacales tratados en la laguna del Bajo Giuliani ha producido una salinización de la misma.

La laguna se encuentra inserta en la sub-región de colinas y lomas, una zona de parches relictuales de bosque de caldén, que junto a los pastizales sammófilos (de médanos) existentes, componen el ecosistema del caldenal (Cano, 1980). La creciente salinización, además de secar los caldenes y arbustales en el área de influencia, va produciendo un reemplazo de especies típicas de este ecosistema por especies halófilas, produciendo un ambiente típico salitral, mucho menos productivo y con una marcada disminución de la biota asociada, de acuerdo a comentarios del Biólogo Tittarelli, que se desempeña en la Subsecretaría de Ecología de la Provincia de La Pampa.

4.1.2 Laguna Don Tomás

La Laguna Don Tomás se encuentra en la parte oeste de la ciudad, pudiendo accederse a su cuerpo principal desde Avenida Uruguay, según coordenadas Gauss-Kruger: X = 5.945.946 metros; Y = 4.651.665 metros y desde Avenida Roca según coordenadas Gauss-Kruger: X = 5.946.406 metros;

Y = 4.651.887 metros. Asimismo, puede accederse a su cuenco Norte desde calle Gobernador Duval, según coordenadas Gauss-Kruger: X = 5.947.164 metros; Y = 4.651.887 metros.

En figura 4.2 se observa el cuenco principal, el cuenco Norte, los accesos señalados y las coordenadas Gauss-Kruger de los vértices correspondientes al área que encierra la figura, cuya base es de 3296,2 metros y su altura es de 3415,2.



Figura 4.2 Laguna Don Tomás

La “laguna o bajo salino” es una cubeta endorreica que se alimenta de las aguas de precipitación que caen sobre ella y de las aguas del escurrimiento superficial. En épocas húmedas, puede recibir la descarga de la capa freática. Su permanencia está sujeta al régimen de precipitaciones, de esta forma ha sido llamada salitral, cuando recibía escasa escorrentía en períodos secos, y laguna en la actualidad, debido a la mayor escorrentía recibida durante el último período húmedo (Marani, 2000).

Alrededor de 1920 y a medida que la población crece comienzan a asentarse familias en el margen este de la perilaguna. Se forma el barrio El Salitral, donde comienza a desarrollarse la actividad de hornos de ladrillos. Dicha actividad ocasionó un gran deterioro del suelo, provocado entre otras cosas por acción de los caballos, necesarios para pisar el barro. (Marani, 2003).

La cuenca de recepción empieza a sentir una importante presión antrópica, ejercida también por los organismos de gestión pública que, en determinado momento, la utilizaron como laguna terminal del sistema cloacal de la ciudad y de los líquidos residuales que arrojaba un molino harinero existente.

El proceso de urbanización de la ciudad, con el aumento de calles asfaltadas, generó una impermeabilización progresiva de la cuenca de aporte, incrementando el aporte pluvial, con una importante carga de elementos sólidos, barros y desechos, arrastrados por las aguas de lluvia. Situada en el centro de una geodpresión, carecía de escapes de agua y podía variar ampliamente sus dimensiones, según se atravesaran períodos lluviosos o secos.

Todos estos factores, de gran impacto ambiental, originaron una laguna semipermanente, cuyas condiciones de calidad de agua estaban lejos de ser óptimas. De ella, emanaban fuertes olores, resultantes de los procesos de eutrofización y en los que proliferaban insectos en épocas estivales. (Marani, 2003).

Los mecanismos de autodepuración no alcanzaban a sustentar el ecosistema y se producían periódicas inundaciones que amenazaban la ciudad. La población ictícola, que fuera motivo de siembras de pejerreyes había presentado oscilaciones en el tiempo, con evidentes mortandades, por causas no bien determinadas. (Consortio EIH, 1986 b).

Los mecanismos para atenuar las problemáticas ambientales citadas, comienzan a desarrollarse a partir de la década del 90. Los procesos para mitigar la contaminación e inundación se han centrado en el ordenamiento hídrico del espejo de agua con todas sus conexiones. El cuenco propiamente dicho ha sido modificado, delimitándose sus costas mediante la colocación de gaviones.

De esta forma, el Parque Recreativo Don Tomás cumple las siguientes funciones (Marani, 2003):

1. Es un regulador hídrico del sistema pluvial de la ciudad, dado que Santa Rosa vierte a la laguna las aguas de precipitación, mediante un sistema de canalizaciones.

Existe un sistema de bombeo que permite regular el nivel del agua, derivando los excesos pluviales al Bajo Giuliani, evitando de esta forma posibles inundaciones en la ciudad. Si el nivel máximo de la laguna no supera la cota de descarga del sistema de desagües pluviales, se tiene un funcionamiento adecuado de los mismos, con el consecuente buen drenaje de las áreas urbanas servidas y preservando además las instalaciones del Club Náutico y los caminos adyacentes. (Consortio EIH, 1986 c).

El nivel máximo admisible se establece de acuerdo a la infraestructura existente involucrada y el correcto desagüe de los pluviales, siendo la cota máxima permitida 167,918 IGM, correspondiente a 2,35 metros en la mira ubicada debajo del puente levadizo, por encima de la cual existirían problemas de descarga en los pluviales. Debe tenerse en cuenta que, además del bombeo existente, cuando la laguna supera la cota 167,432 IGM, correspondiente a 1,864 metros, comienza a actuar como alivio el Cuenco Norte, por ser esa su cota cero de escala. (Consortio EIH, 1986 a).

2. Sustentabilidad en el tiempo de su ecosistema, ya que es muy vulnerable e inestable a los diversos impactos que recibe.

Debido a las modificaciones realizadas, la laguna sufrió la pérdida de vegetación autóctona, tanto en los ambientes correspondientes al espinal pampeano (caldenal) como a los de la parte de humedal. En las partes menos profundas del cuerpo de agua, la presencia de vegetación acuática arraigada,

puede ofrecer amparo y alimentación a las crías de peces, mamíferos, anfibios y reptiles existentes.

La vegetación de la perilaguna es halófila, características de los suelos tipo salortidos y está asociada a una diversa fauna, propia de las lagunas y salitrales pampásicos. Está constituida por pastizales, matorrales y arbustales, puros ó formando mosaicos. Rodean a estas comunidades algunos cultivos y la formación boscosa de caldén en manchas dispersas. Junto a diversas construcciones rurales, existen grupos arbóreos de especies exóticas. En algunos predios, se observa un avance de la vegetación natural, provocada por la práctica de la explotación mixta agrícola-ganadera ó por la necesidad de proporcionar descanso a los suelos declinantes en productividad (Consortio EIH, 1986 b).

Dentro de la interesante avifauna que existía en el Parque Don Tomás, previo a los grandes disturbios, se podía observar variedad de especies pertenecientes a distintos gremios tróficos: representantes herbívoros y filtradores como gansos coscorobas, macás (chico y plateado) y patos. Cabe destacar que todas las especies de patos citadas para la provincia de La Pampa se encontraban presentes en Don Tomas (Tittarelli, 2008. Comunicación personal).

Asimismo, existían especies de hábitos carnívoros u omnívoros, representadas por una buena variedad de garzas (todas las citadas para la provincia). El cuenco norte albergaba una variable pero interesante población de flamencos, situación muy distinta a la actual donde esporádicamente se suelen ver unos pocos individuos.

También fueron desapareciendo, en importante número, especies paseriformes (aves pequeñas de características similares al gorrión), que nidificaban en la vegetación acuática (abundante en algunos sectores) y en los pequeños bosquecillos de caldén que rodeaban la laguna. Hay citas que hablan de un parque aproximado de ciento sesenta especies (Acevedo y Bruno 2007), estando hoy transformada la laguna y sus adyacencias en un área totalmente empobrecida, dominada por vegetación exótica.

Actualmente, se encuentran especies ictiófagas: biguá y macá grande y gaviotas, en virtud de la existencia en el cuerpo de agua de pejerrey, carpas y varias clases de mojarras.

La cota cero de escala en la laguna Don Tomás es 165,568 IGM. Para garantizar la supervivencia de los ecosistemas acuáticos y todas las actividades que se desarrollan en ella, el pelo de agua debería mantenerse como mínimo en 167,068 IGM, valor que corresponden a 1,50 metros en la mira. Las condiciones ecológicas de la laguna se pueden desarrollar adecuadamente con profundidades máximas de 3 metros (Consortio EIH, 1986 e).

3. Desarrolla programas deportivos y recreativos, con las actividades de pesca, náutica y varias disciplinas deportivas, así también de esparcimiento general, comportándose como uno de los principales espacios verdes de la ciudad.

4. Es un paseo educativo donde se puede interpretar cómo funcionan los diversos procesos bioecológicos tanto de la laguna, la perilaguna, y los ecosistemas terrestres adyacentes.

4.2 Síntesis Geomorfológica

El Bajo Giuliani es una depresión endorreica, de forma alargada con el eje del sistema de rumbo general oeste - suroeste, este - noroeste. La orientación que presenta es en el sentido de los valles pampeanos, considerándose relacionado genéticamente con estas geoformas. Presenta una pendiente meridional levemente mayor al 2 % y una septentrional de aproximadamente 0,6 %.

Está formado por suelos de características arenosos y areno-limosos, producto de la deposición eólica y se asientan sobre un manto de suelo calcáreo. Este manto de tosca calcárea del tipo dura y semi-dura, se encuentra localizado entre los 0,50 y 1,80 metros de profundidad, siendo su espesor promedio de 0,80 a 1,00 metro.

La densidad natural referida a suelo seco oscila entre 1,6 a 1,7 t/m³, con una humedad natural del orden del 13 %. En los niveles inferiores presentan granulometría más fina, con humedad natural del orden del 15%. Las sales totales son del orden del 1%.

La laguna Don Tomás es una depresión natural, que constituye una geoforma tipo plato playo. Es

elongada en el sentido Nor-Noroeste y Este-Sureste, y se halla circundada por una suave pendiente meridional de 0,15 % de gradiente y una septentrional de inclinación mayor, aproximadamente 0,5 %.

Los suelos son de textura abierta, de características preponderantemente limo-arenosos algo concrecionados, en su horizonte superior. Se trata de limos incompresibles, de buena percolación, cuya compacidad se incrementa a medida que se avanza en profundidad. Estos horizontes muy compactos están constituidos por limos y arenas concrecionadas de color rojizo. Siendo los terrenos heterogéneos en cuanto a su dureza.

La densidad natural referida a suelo seco oscila entre 1,4 a 1,7 (t/m^3), con una humedad natural del orden del 15 %. Las sales totales se estiman en menos del 0,1%, salvo puntos aislados, con intercambio catiónico apropiado y cantidades moderadas de fósforo y potasio.

La materia orgánica se encuentra en proporción variable, y en algunos suelos, en cantidad deficitaria. La acción antrópica, a través del desmonte, incendio, tala de bosques, actividades ganaderas y cultivos, ha contribuido a aumentar la degradación de estos suelos.

La erosión hídrica en el Sur y Suroeste ha formado surcos y cárcavas profundas. La presencia de tosca en superficie constituye otra forma de degradación del suelo, que resulta por esta causa desaprovechado para el laboreo. Parte de los médanos existían antes de la colonización, aunque ésta contribuyó a ampliar significativamente su extensión (Consortio EIH, 1986 b).

4.3 Síntesis Climática

La ciudad de Santa Rosa se encuentra ubicada en una región de transición, donde coexisten los ambientes sub-húmedo, semiáridos y áridos. Presenta un clima continental, templado con estaciones definidas, donde se diferencian bien el verano y el invierno.

La temperatura media anual oscila entre 15,5°C y 16°C, y la humedad relativa media es aproximadamente del 60 %. La temperatura media del mes más caliente (enero) es cercana a los 24°C y la del mes más frío (julio) aproximadamente de 8°C. Estas importantes oscilaciones térmicas, otorgan características particulares que hay que considerar en el análisis, según opiniones del Ing. Casagrande, titular de la Cátedra de Climatología de la UNLPam.

En tabla A.4.1 (Anexo 1) a la temperatura media mensual registrada por el Servicio Meteorológico en la ciudad y por el INTA Anguil, desde el año 2005 hasta septiembre de 2007, época en que comenzó el presente estudio, donde puede observarse la aproximación a los valores estadísticos señalados:

El promedio histórico de precipitaciones en la ciudad, registrado desde enero de 1911 hasta diciembre de 2006, alcanzó los 638,2 milímetros anuales, mientras que en las dos últimas décadas el promedio de precipitaciones alcanzó 731,8 milímetros anuales (tabla A.4.2) en la región, los promedios pluviométricos descienden rápidamente hacia el oeste, pues se produce el pasaje de la pampa húmeda a la gran llanura seca del centro del país.

En las últimas décadas, se han modificado sustancialmente los patrones pluviométricos de la región. Las estadísticas muestran una tendencia de crecimiento lineal, dentro del cual se observa un comportamiento cíclico. Este crecimiento lineal, refleja una evolución hacia un escenario regional más húmedo en los próximos años, aunque también podría corresponder a la fase húmeda de un megaciclo de mayor amplitud temporal, que en el futuro podría revertirse.

La isohieta de 700 milímetros que apenas tocaba el extremo NE de La Pampa en el período (1921-1955) se ha desplazado aproximadamente 100 kilómetros hacia el oeste en el período (1955-1990). También presentan desplazamientos las curvas de 600 y 500 milímetros. Aunque, los mayores desplazamientos corresponden a las isohietas de mayor precipitación anual y se registran durante primavera y verano.

La dinámica errante de las isohietas, obliga a revisar su posición geográfica con mayor periodicidad (períodos no mayores a 10 años), particularmente en una época donde se producen cambios sustanciales en el clima del planeta. Estas variaciones pluviométricas no son coyunturales, sino más bien estructurales y a largo plazo. (Roberto et al, 1995).

Las precipitaciones decrecen 1 milímetro por kilómetro, desde el este hacia el oeste, en promedio

como isohieta. Generalmente los pluviómetros instalados en distintos puntos geográficos registran distintas lecturas, pero al considerar un año hidrológico, los valores casi no presentan variación, acercándose al valor de la isohieta correspondiente al lugar.

4.4 Síntesis Hidrogeológica

El Bajo Giuliani está ubicado en una zona de bajo gradiente topográfico. Los suelos están constituidos por Haplustoles Énticos, familia franco fina, mixta, térmico, antiguamente conocidos como Castaños. Presentan buena provisión de materia orgánica y su profundidad promedio es de un metro de espesor. (Cano, 1980).

Debajo de este suelo, comienza a manifestarse estratos con tosca. Las observaciones geológicas-sedimentológicas permiten demostrar que debajo de la tosca, existe una formación arenosa muy fina-limosa y con cemento carbonático (tosca) de considerable desarrollo areal y vertical. Sobre estos niveles de tosca, pueden encontrarse los sedimentos más modernos, que consisten en arenas muy finas, friables de color castaño clara.

El sistema hidrogeológico se estructura sobre una línea divisoria de aguas, conteniendo curvas equipotenciales que convergen centrípetamente hacia la laguna del bajo Giuliani. La parte más baja de la zona, conformada por depresiones y viejos salitres, actúa como zona de descarga del acuífero freático, con presencia de cárcavas en direcciones radiales hacia la laguna. El acuífero es multicapa, funcionando como libre en la parte superior y confinado en la parte inferior.

El perfil geológico, está constituido por una planicie de arena fina heterogénea de cuarzo y líticos, con fracción gruesa subordinada, que alcanza aproximadamente 3 metros de profundidad, cubierta por pasturas naturales. Entre aproximadamente 3 y 9 metros de profundidad, comienzan a aparecer abundantes clastos de carbonatos. Hasta alrededor de 42 metros de profundidad, hay arenisca fina con matriz limosa y cemento carbonático, con variable grado de cementación. Debajo de ella, se van alternado capas de similar composición, de aproximadamente 5 metros de espesor, con predominancias en un caso de limos y en otro de arenas.

De acuerdo a lo dialogado con el Licenciado Tullio (Dirección de Aguas de La Provincia de La Pampa), la permeabilidad y la porosidad derivadas de las condiciones sedimentológicas son muy homogéneas arealmente, correspondiendo a un sector de materiales finos y muy finos, que se extiende desde el norte de Santa Rosa hasta el límite sur de la cuenca subterránea (a la altura de Cachirulo), abarcando la localidad de Toay.

4.5 Índices de Población

El crecimiento de la población en Santa Rosa es de naturaleza extensiva, más que de orden intensivo. En la confección del Plan Director de la ciudad, se estimó una tasa de crecimiento global decreciente entre decenios:

<u>Decenio</u>	<u>Tasa</u>
1980-1990 =>	44,60%
1990-2000 =>	28,62%
2000-2010 =>	20,63%
2010-2020 =>	16,78%
2020-2030 =>	5,31%

Es decir que el crecimiento se va agotando a medida que se van ocupando los espacios libres del ejido urbano de santa Rosa. Se estimó una población de 146.000 habitantes para el año 2.030 (Consortio EIH, 1986 a).

Por su parte, la Dirección General de Estadísticas y Censos de la Provincia de La Pampa, brindó porcentajes reales de crecimiento demográfico:

1981-1991 => 45,3% (51.678 habitantes en 1981; 75.067 habitantes en 1991).
1991-2001 => 25,7% (75.067 habitantes en 1991; 94.340 habitantes en 2001).

Asimismo, estimó para el año 2009 una población de 110.488, que significaría un crecimiento demográfico (2001-2009) de 17,12%.

En los estudios preliminares Acueducto del Colorado, se estimó la población a futuro y la demanda de agua potable estimada para la ciudad de Santa Rosa (Comisión Técnica Acueducto Río Colorado, 1996). Los datos se observan en la tabla siguiente:

Tabla 4.1 Población Futura y Demanda de Agua Potable estimada en Santa Rosa

ESTUDIO ACUEDUCTO RÍO COLORADO
CUADRO N° 2-8/44
DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA POTABLE DE LAS LOCALIDADES SELECCIONADAS Y DE LAS CAPACIDADES DE SUMINISTROS DE LAS FUENTES DE PROVISIÓN PARA USOS URBANOS
LOCALIDAD: SANTA ROSA

AÑO	DEMANDA DE AGUA POTABLE DÍA MAYOR CONSUMO				QE	QA	VA
	P	d	c	QD	Capacidad Potencial de suministro del Acuífero explotado	Capacidad de Suministro del Acueducto del Río Colorado	Volumen Anual a Suministrar con el Acueducto
	Habitantes	Media Anual l/hab día	Coefficiente de Pico Diario Nº	Caudal día mayor consumo l/s	l/s	l/s	m³/año
2002	93095	216,0	1,3	302,56	284,00	18,56	7450,237
2003	95476	217,0	1,3	311,73	284,00	27,73	872,587
2004	97888	218,0	1,3	321,08	301,00	20,08	487,110
2005	100329	219,0	1,3	330,60	301,00	29,60	718,050
2006	102802	220,0	1,3	340,29	315,00	25,29	613,496
2007	105303	221,0	1,3	350,16	315,00	35,16	852,928
2008	107834	222,0	1,3	360,20	315,00	45,20	1.096,482
2009	110393	223,0	1,3	370,40	315,00	55,40	1.343,919
2010	112982	224,0	1,3	380,79	315,00	65,79	1.595,964
2011	115572	225,0	1,3	390,58	315,00	75,58	1.833,455
2012	117780	226,0	1,3	400,51	315,00	85,51	2.074,341
2013	120205	227,0	1,3	410,56	315,00	95,56	2.318,139
2014	122647	228,0	1,3	420,75	315,00	105,75	2.565,332
2015	125105	229,0	1,3	431,06	315,00	116,06	2.815,437
2016	127579	230,0	1,3	441,51	315,00	126,51	3.068,938
2017	130070	231,0	1,3	452,08	315,00	137,08	3.325,350
2018	132576	232,0	1,3	462,79	315,00	147,79	3.585,158
2019	135100	233,0	1,3	473,63	315,00	158,63	3.848,120
2020	137641	234,0	1,3	484,61	315,00	169,61	4.114,478
2021	139914	235,0	1,3	494,72	315,00	179,72	4.359,731
2022	142194	236,0	1,3	504,92	315,00	189,92	4.607,167
2023	144478	237,0	1,3	515,20	315,00	200,20	4.856,544
2024	146768	238,0	1,3	525,58	315,00	210,58	5.108,347
2025	149066	239,0	1,3	536,05	315,00	221,05	5.362,333
2026	151369	240,0	1,3	546,61	315,00	231,61	5.618,502
2027	153680	241,0	1,3	557,27	315,00	242,27	5.877,097
2028	155998	242,0	1,3	568,02	315,00	253,02	6.137,876
2029	158324	243,0	1,3	578,87	315,00	263,87	6.401,080
2030	160658	244,0	1,3	589,82	315,00	274,82	6.666,710
2031	162660	245,0	1,3	599,87	315,00	284,82	6.904,443
2032	164660	246,0	1,3	609,47	315,00	294,47	7.143,389
2033	166658	247,0	1,3	619,37	315,00	304,37	7.383,548
2034	168656	248,0	1,3	629,34	315,00	314,34	7.625,405
2035	170654	249,0	1,3	639,36	315,00	324,36	7.868,475
2036	172653	250,0	1,3	649,45	315,00	334,45	8.113,242
2037	174654	251,0	1,3	659,60	315,00	344,60	8.359,466

En las columnas segunda y tercera, se observa la población a servir y la dotación media anual por habitante, respectivamente. En la penúltima columna, se consigna la capacidad de suministro del Acueducto Río Colorado y, en la última, los volúmenes de agua necesarios a suministrar anualmente desde éste, para abastecer a la población durante los sucesivos años.

Puede apreciarse que, para el año 2030 (horizonte del presente estudio), la capacidad de suministro del Acueducto Río Colorado será de 274,82 litros por segundo (l/seg), equivalentes a 8.666.723,5 (metros cúbicos por año (m³/año)). Este valor supera las necesidades estimadas para abastecer la población, que se estiman en 6.666.710 m³/año.

4.6 Proyecto de Descarga Cloacal en el Bajo Giuliani

El Bajo Giuliani constituye la principal zona de descarga subterránea del área en estudio, captando además la totalidad del escurrimiento superficial de la región. Asimismo, desembocan en él los volúmenes provenientes de la derivación de efluentes cloacales. Estos últimos y los excesos en épocas de lluvias intensas, varían de acuerdo a los años. Se estimó un aporte promedio de 2,5 hectómetros cúbicos por año (hm³/año), considerando años ricos y pobres en lluvias, según la modelación matemática para 50 años, realizada en 1986. La capacidad de almacenamiento se estimó para la cota 127 IGM en 12,9 hm³. (Consorcio EIH, 1986 e).

Debe tenerse en cuenta que, en esa fecha no estaba construida la Planta de Tratamiento Sur y el volumen correspondiente a la misma se adoptó en base al crecimiento de población y de servicios cloacales previsto en el Plan Director. (Consorcio EIH, 1986 e).

Se ensayaron distintas alternativas de derivación de los líquidos al Bajo, mediante modelación matemática con simulaciones de 20 y 50 años. De acuerdo a ellos, se estimó que el nivel del agua subiría durante esos 50 años de la siguiente manera:

Año 2006 => cota 126,0 IGM.
Año 2019 => cota 127,0 IGM.
Año 2021 => cota 128,0 IGM.
Año 2028 => cota 128,5 IGM.
Año 2034 => cota 129,0 IGM.

Se estimó que el peso decisivo en el balance estaba en los efluentes cloacales y se consideraron los siguientes caudales medios diarios para un horizonte de 20 años (Consortio EIH, 1986 e):

<u>Planta de Tratamiento Norte</u>	<u>Planta de Tratamiento Sur</u>	<u>Total Plantas Tratamiento</u>
Q (1994) = 3.918 m ³ /día	Q (1994) = 8.056 m ³ /día	Q (1994) = 11.974 m ³ /día
Q (2005) = 6.270 m ³ /día	Q (2005) = 12.967 m ³ /día	Q (2005) = 19.237 m ³ /día
Q (2015) = 8.010 m ³ /día	Q (2015) = 16.268 m ³ /día	Q (2015) = 24.278 m ³ /día

Con posterioridad, se simuló partiendo de un valor inicial del pelo de agua en el Bajo de 126,22 IGM, correspondiente a mayo de 1986. En el balance se consideró el bombeo que en esa fecha existía desde la Laguna Don Tomás, como también los aportes crecientes de líquidos cloacales previstos en el Plan Director.

Los resultados fueron los siguientes:

Año 2019 => cota 127 IGM.
Año 2021 => cota 128 IGM.
Año 2028 => cota 129 IGM.
Año 2035 => cota 130 IGM.

Se consideró que el aumento del nivel se debe a la suma de una serie de circunstancias:

- Existencia de un ciclo húmedo en la serie meteorológica.
- Nivel de urbanización alto en la ciudad de Santa Rosa.
- Funcionamiento de las planta de tratamiento de líquidos cloacales con los volúmenes previstos en el Plan Director. (Consortio EIH, 1986 f).

La infraestructura que puede ser afectada por el aumento del nivel estimado es la Ruta Nacional N° 35 (sería superada en 3 metros en el año 2035). La Planta de tratamiento Sur no se vería afectada, pues fue ubicada por encima de la cota 154 IGM, máximo nivel previsto para el espejo de agua de la laguna del Bajo Giuliani.

Estas previsiones fueron consideradas válidas a mediano plazo, pero revaluables a largo plazo, por considerarlas un tanto excesivas a partir del año 2006. (Consortio EIH, 1986 e).

De acuerdo al punto 4.5, el consumo de agua potable demandado a futuro podrá ser satisfecho desde los acueductos existentes. Por lo tanto, los caudales cloacales que serán derivados al Bajo se podrán considerar directamente a partir del crecimiento de la población y los consumos determinados por ella.

Capítulo 5: Procesamiento de los Datos

En esta etapa, se integró la información disponible, correlacionando datos climatológicos, geológicos, hidráulicos e hidrológicos, a fin de plantear el modelo hidrológico general del funcionamiento del sistema.

Se analizó estadísticamente la información correspondiente a temperatura, precipitación, viento, déficit de saturación, evaporación y evapotranspiración y se realizó un tratamiento de los registros históricos.

Asimismo, el conocimiento de los caudales de aporte del sistema pluvial, cloacal y el comportamiento de las cuencas receptoras más importantes de la ciudad ante determinadas condiciones climáticas, permitió la formulación de un modelo hidrológico conceptual.

5.1 Utilización de Curvas de Nivel IGM

Con las curvas de nivel correspondientes a las cartas topográficas confeccionadas por el Instituto Geográfico Militar digitalizadas, se delimitaron las cuencas superficiales correspondientes a las lagunas Don Tomás y Bajo Giuliani. En sistemas de llanura, no existe comúnmente una divisoria de cuencas que permita determinar exactamente un área de captación para los excedentes de lluvia. (Orsolini et al, 2000).

La ciudad de Santa Rosa se emplaza sobre áreas de llanura. Por ello, sus cuencas superficiales se determinaron utilizando curvas de nivel y recorriendo todos sus límites, verificando in situ la inexistencia de escurrimientos fuera de ellos.

Se digitalizaron y georreferenciaron las curvas de nivel y las cuencas superficiales correspondientes a las dos lagunas y se superpusieron a la ciudad de Santa Rosa. Pueden observarse en figura 5.1, donde se marca la zona de estudio, con sus correspondientes coordenadas, el área y perímetro de cada cuenca.

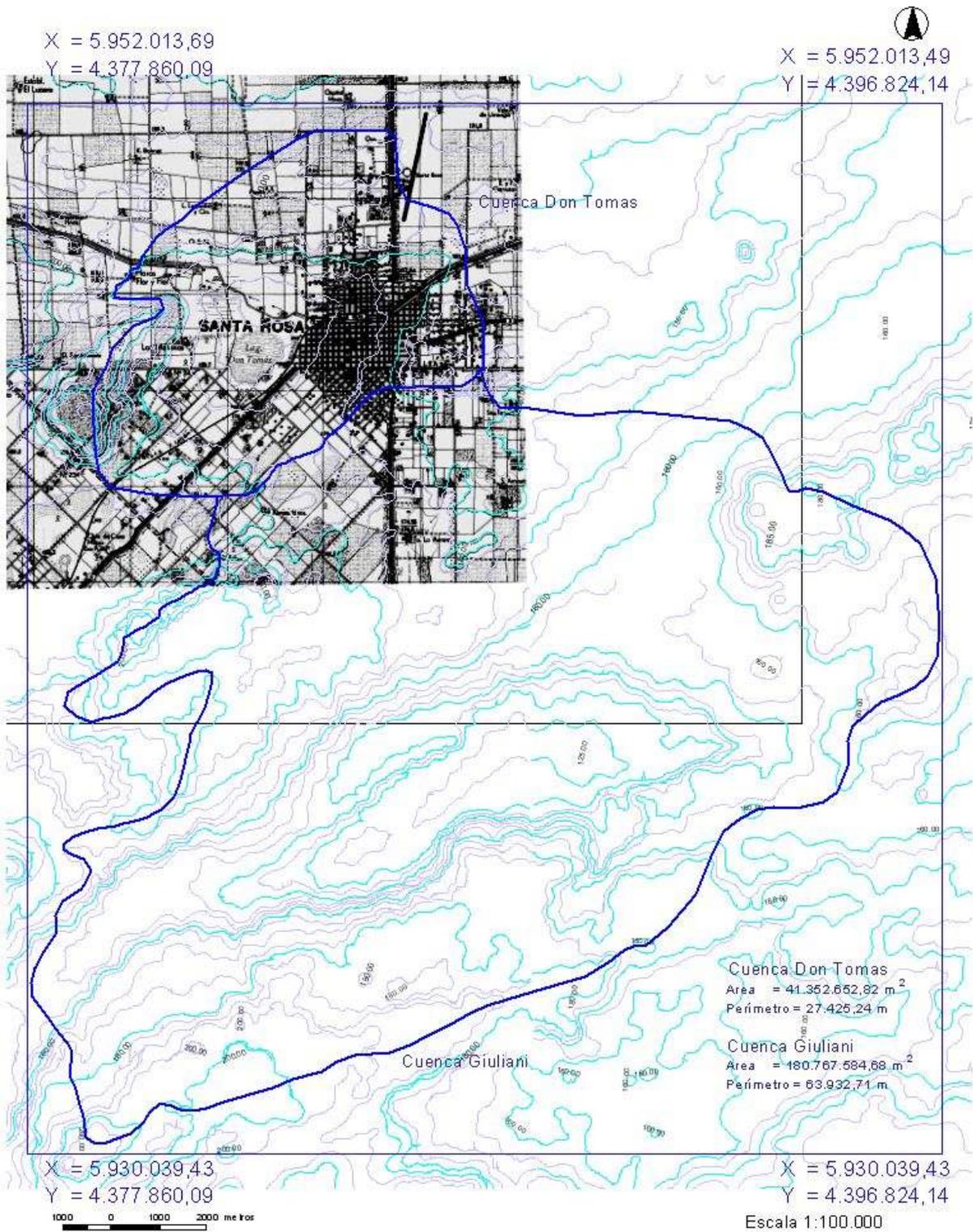


Figura 5.1 Curvas de Nivel y Cuencas Superficiales

5.1.1 Cálculo de curvas cota-volumen

Utilizando las curvas de nivel que circundan a ambas lagunas, marcadas en la figura 5.2, se determinaron las curvas cota-volumen, con objeto de conocer la capacidad de recepción de ambas cuencas para distintos niveles, ante eventuales escenarios de aportes que pudieran suceder.

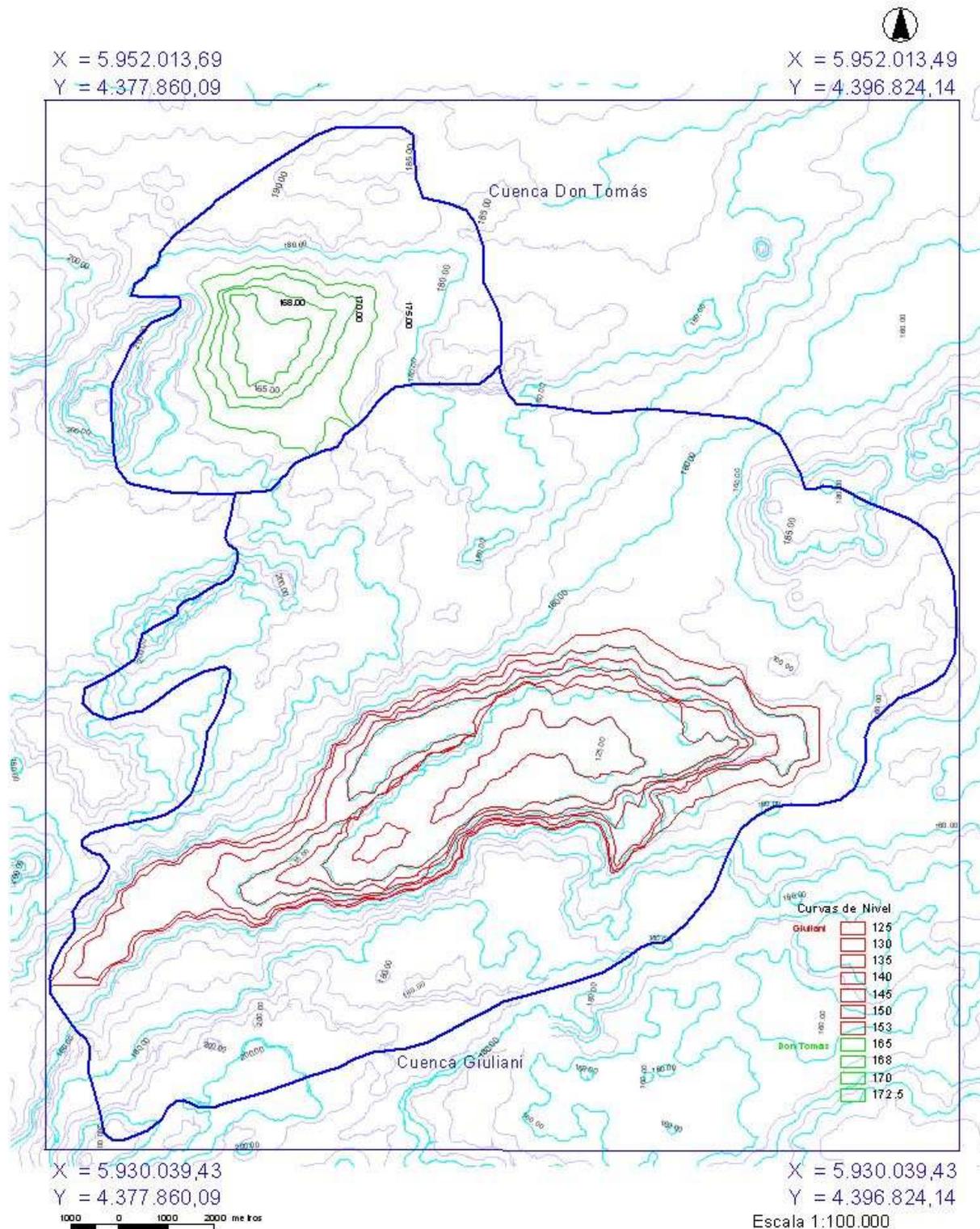


Figura 5.2 Curvas de Nivel Circundantes a Lagunas Don Tomás y Bajo Giuliani

Las áreas en metros cuadrados (m²) y perímetros en metros (m), resultantes de las curvas de nivel marcadas, correspondientes a las cotas de cada cuenca, se consignan en tablas 5.1 y 5.2:

Tabla 5.1 Área y Perímetro Curvas de Nivel Cuenca Don Tomás

Cota (IGM)	Superficie (m ²)	Perímetro (m)
165	1.796.577,41	6.626,51
168	4.031.238,36	8.022,84
170	6.062.073,73	9.984,88
172,5	10.633.300,13	14.063,72

Tabla 5.2 Área y Perímetro Curvas de Nivel Cuenca Giuliani

Cota (IGM)	Superficie (m ²)	Perímetro (m)
125	3.757.272,61	15.535,95
130	14.792.236,55	21.952,99
135	17.790.833,62	24.207,68
140	23.084.222,72	32.402,86
145	28.822.538,22	31.427,46
150	37.236.520,58	40.583,56
153	42.883.198,45	40.992,87

Posteriormente, se calcularon los volúmenes entre curvas de nivel sucesivas, utilizando la fórmula:

$$V_{1-2} = \left[A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \times A_2} \right] \times \frac{h}{3} \quad (5.1)$$

Donde:

A₁ = área encerrada por la curva de nivel de menor cota.

A₂ = área encerrada por la curva de nivel de mayor cota.

h = diferencia de entre cotas de curvas de nivel.

Las gráficas cota-volumen resultantes, para cada cuenca, son las siguientes:

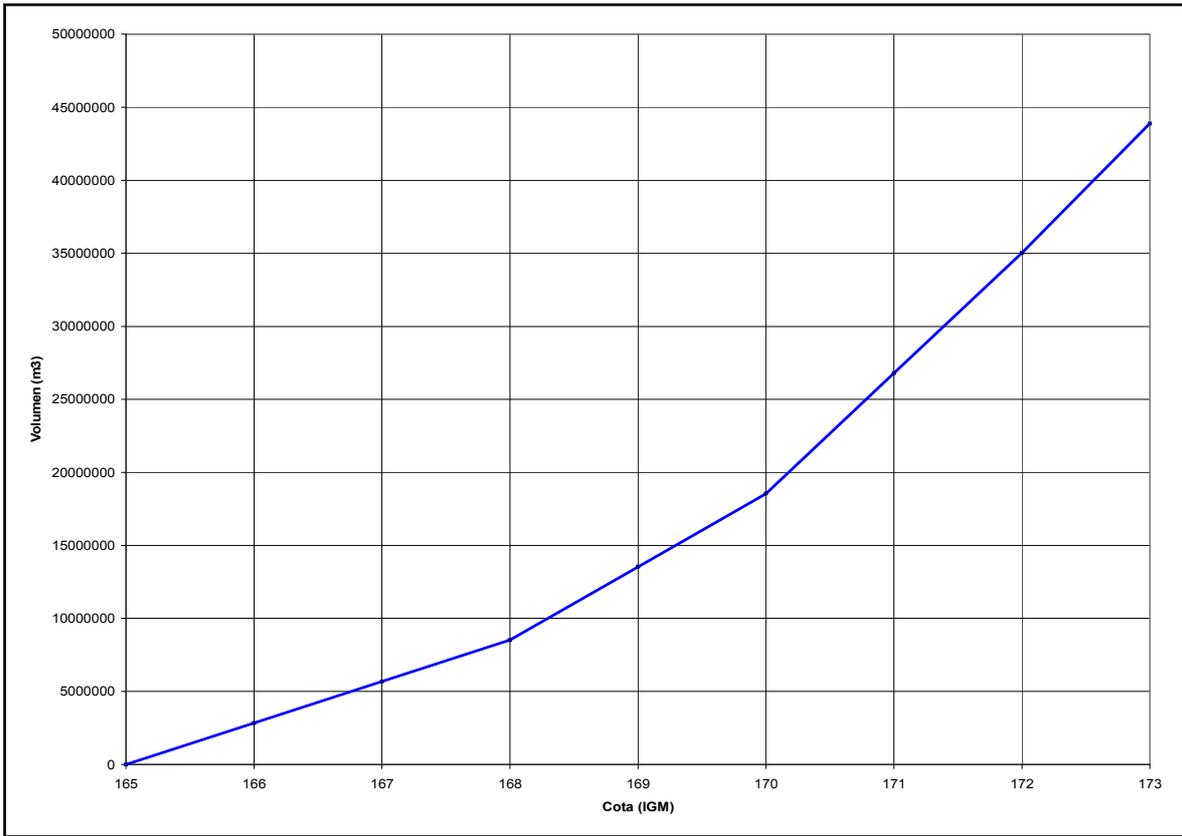


Gráfico 5.1 Cota - Volumen Laguna Don Tomás

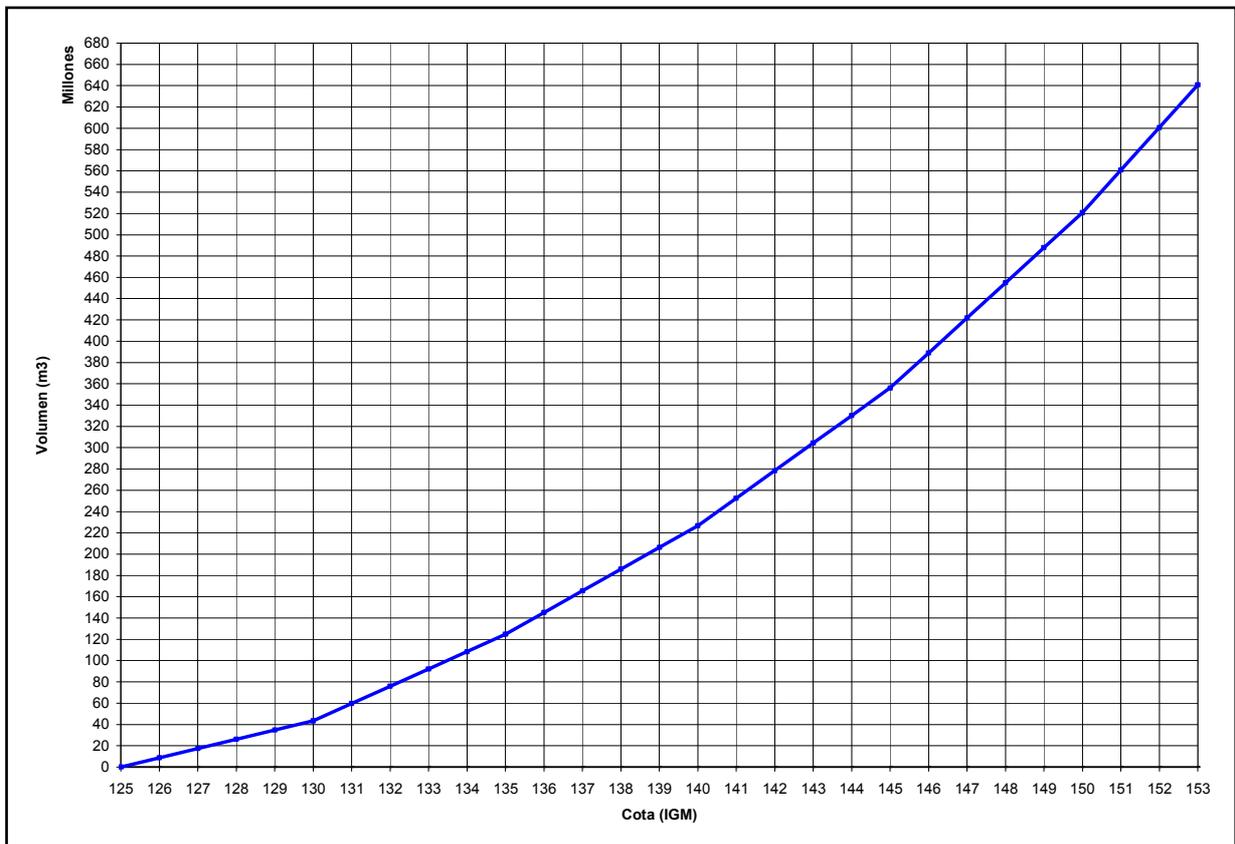


Gráfico 5.2 Cota - Volumen Laguna Bajo Giuliani

Los gráficos 5.1 y 5.2 muestran la capacidad de recepción de líquidos que poseen las cuencas Don Tomás y Bajo Giuliani, ante determinados niveles que vayan alcanzando sus respectivas lagunas.

5.2 Análisis de Imágenes de Satélite - Estimación de Coberturas

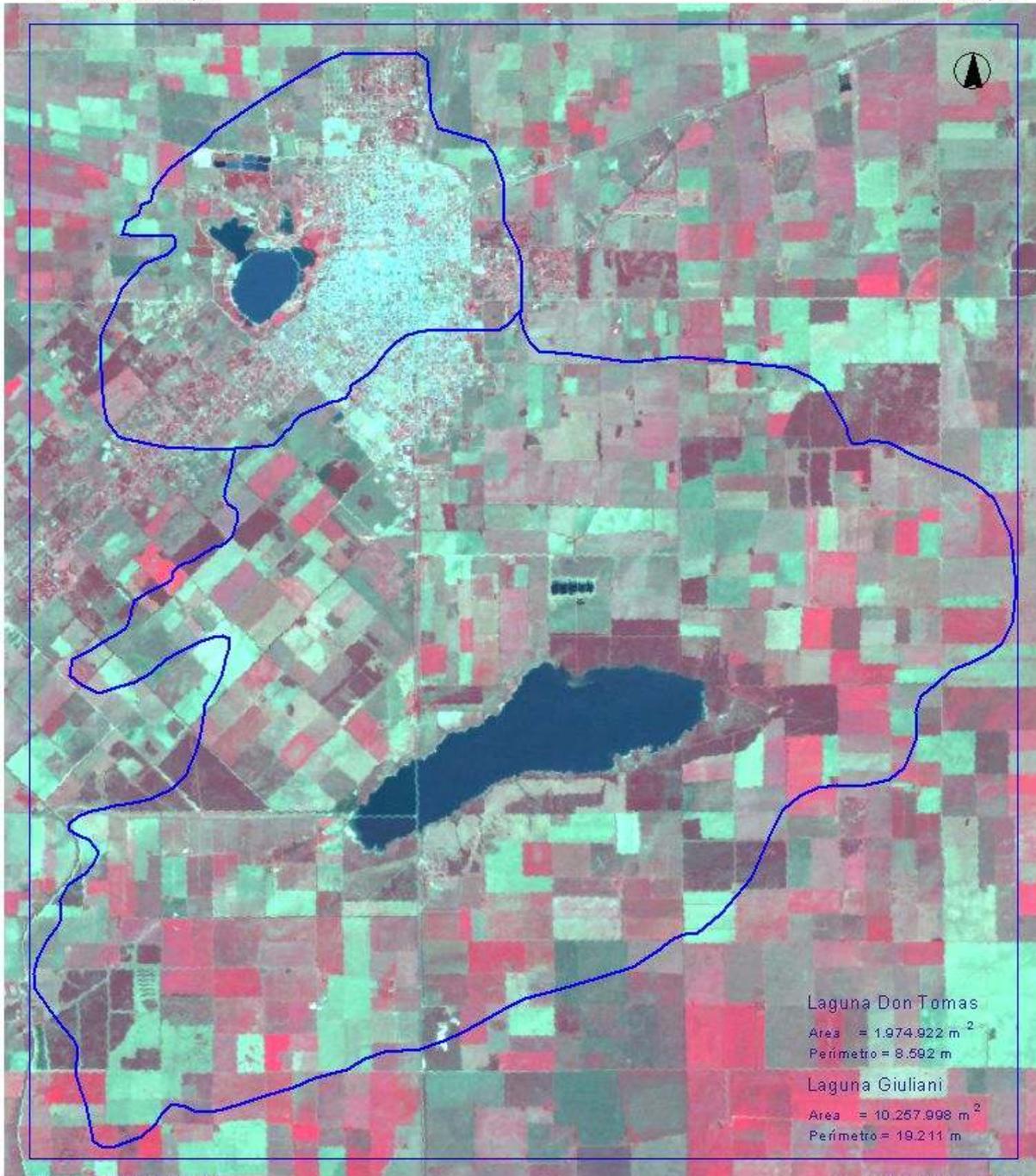
La Subsecretaría de Ecología de la Provincia de La Pampa brindó imágenes satelitales, correspondientes a los años 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, marzo de 2006 y diciembre de 2006. Se georeferenciaron las mismas y se calcularon sus áreas y perímetros en función del tiempo, mediante el programa Arc-view. A efectos de presentación, la imagen de diciembre de 2006 fue considerada como correspondiente al año 2007.

Asimismo, se realizó una clasificación supervisada con las imágenes satelitales correspondientes a los meses de marzo y diciembre del año 2006, con objeto de determinar la cobertura vegetal en ambas cuencas. De esa manera se pudo estimar el uso consuntivo y, en consecuencia, determinar el escurrimiento superficial en las mismas, ante determinadas precipitaciones, como se detalla en punto 5.2.1.

En figuras 5.3 a 5.9, se presentan las imágenes de satélite georeferenciadas, en escala 1/100.000, donde fueron incorporadas el área de estudio con sus correspondientes coordenadas y las cuencas superficiales. Se consignan además, los valores de área y perímetro de cada laguna correspondientes a los distintos años.

X = 5.952.013,69
Y = 4.377.860,09

X = 5.952.013,49
Y = 4.396.824,14



X = 5.930.039,43
Y = 4.377.860,09

X = 5.930.039,43
Y = 4.396.824,14

1000 0 1000 2000 metros

Escala 1:100.000

Figura 5.3 Imagen de Satélite Año 2001

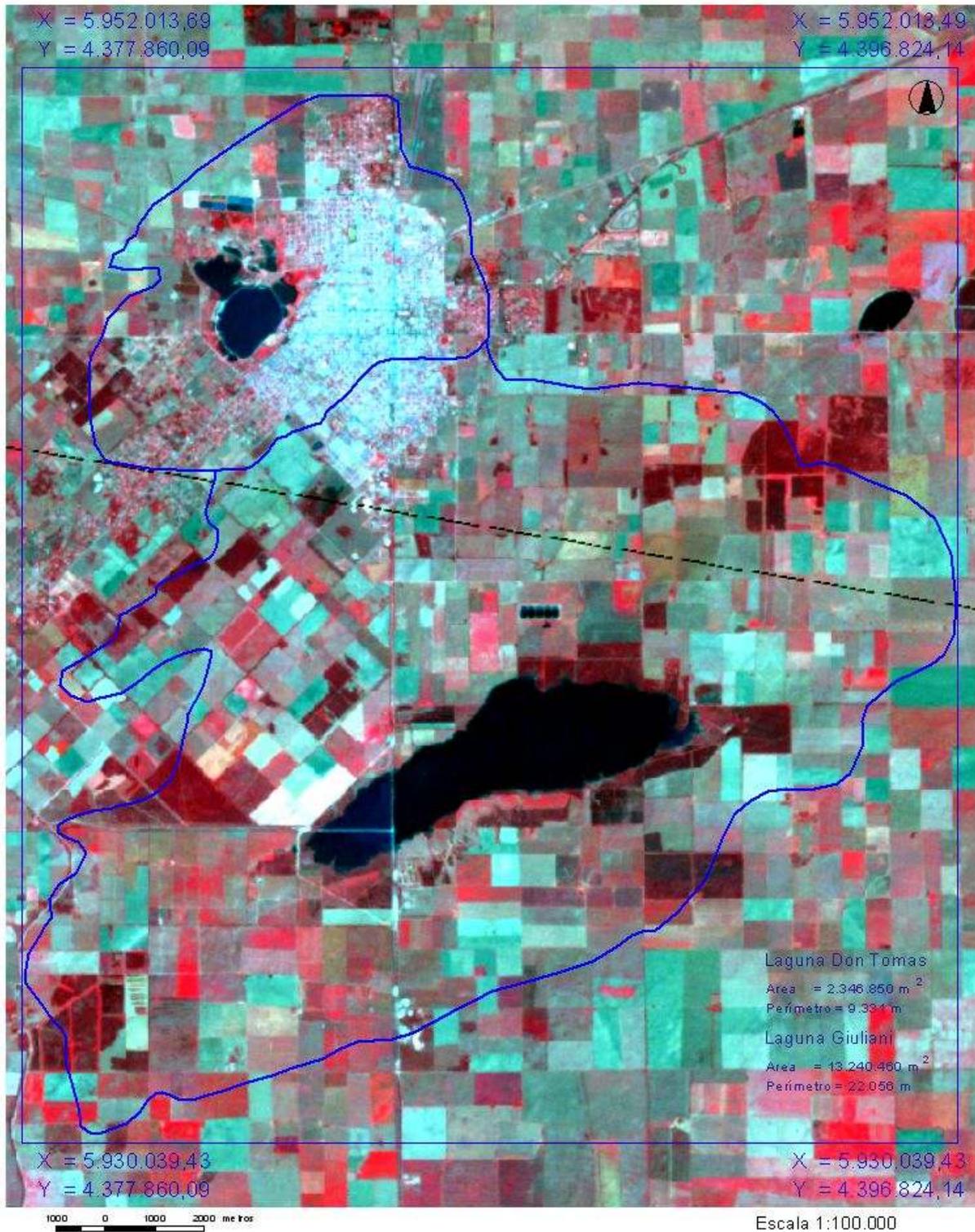


Figura 5.4 Imagen de Satélite Año 2002

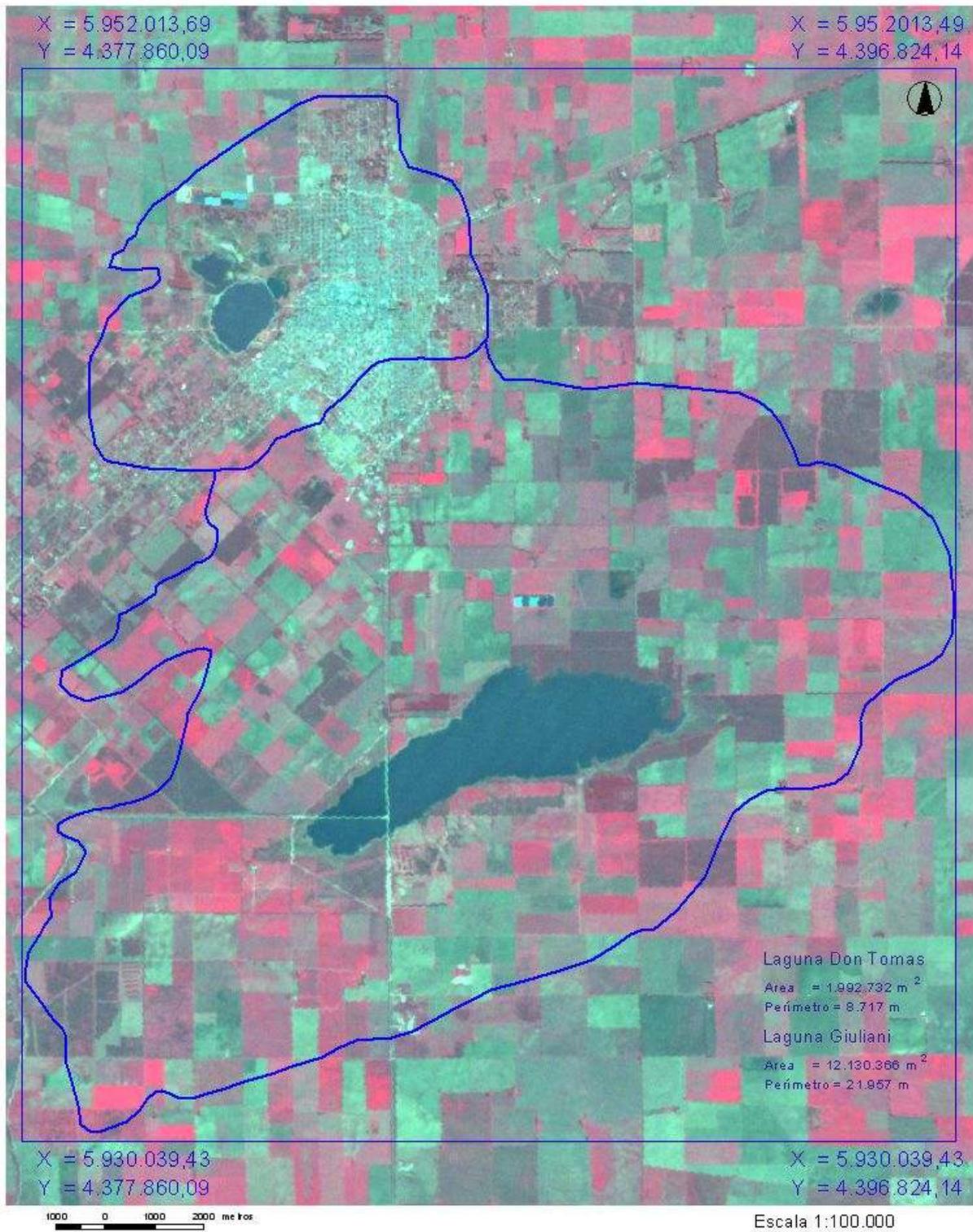
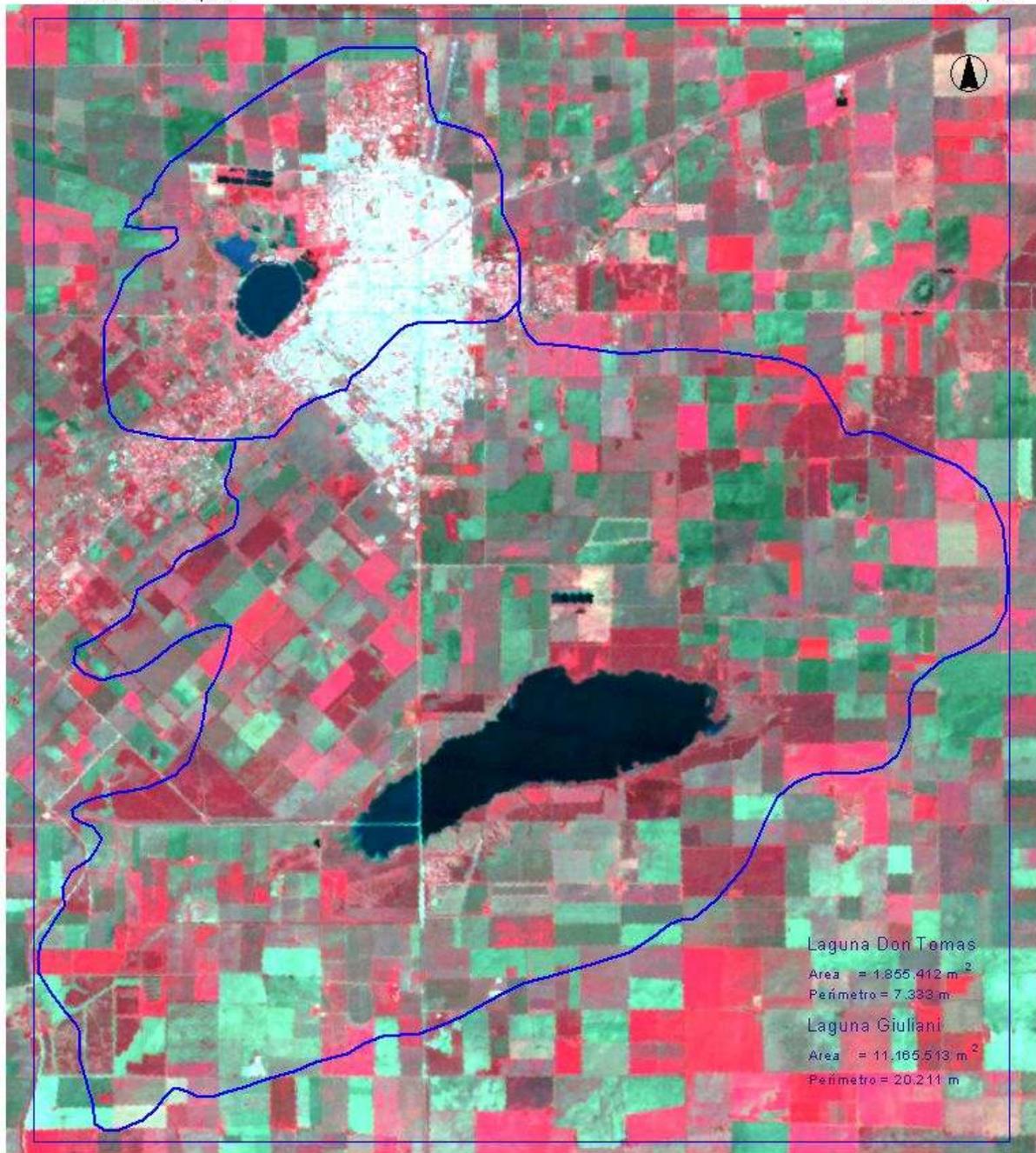


Figura 5.5 Imagen de Satélite Año 2003

X = 5.952.013,69
Y = 4.377.860,09

X = 5.952.013,49
Y = 4.396.824,14



X = 5.930.039,43
Y = 4.377.860,09

X = 5.930.039,43
Y = 4.396.824,14

1000 0 1000 2000 metros

Escala 1:100.000

Figura 5.6 Imagen de Satélite Año 2004

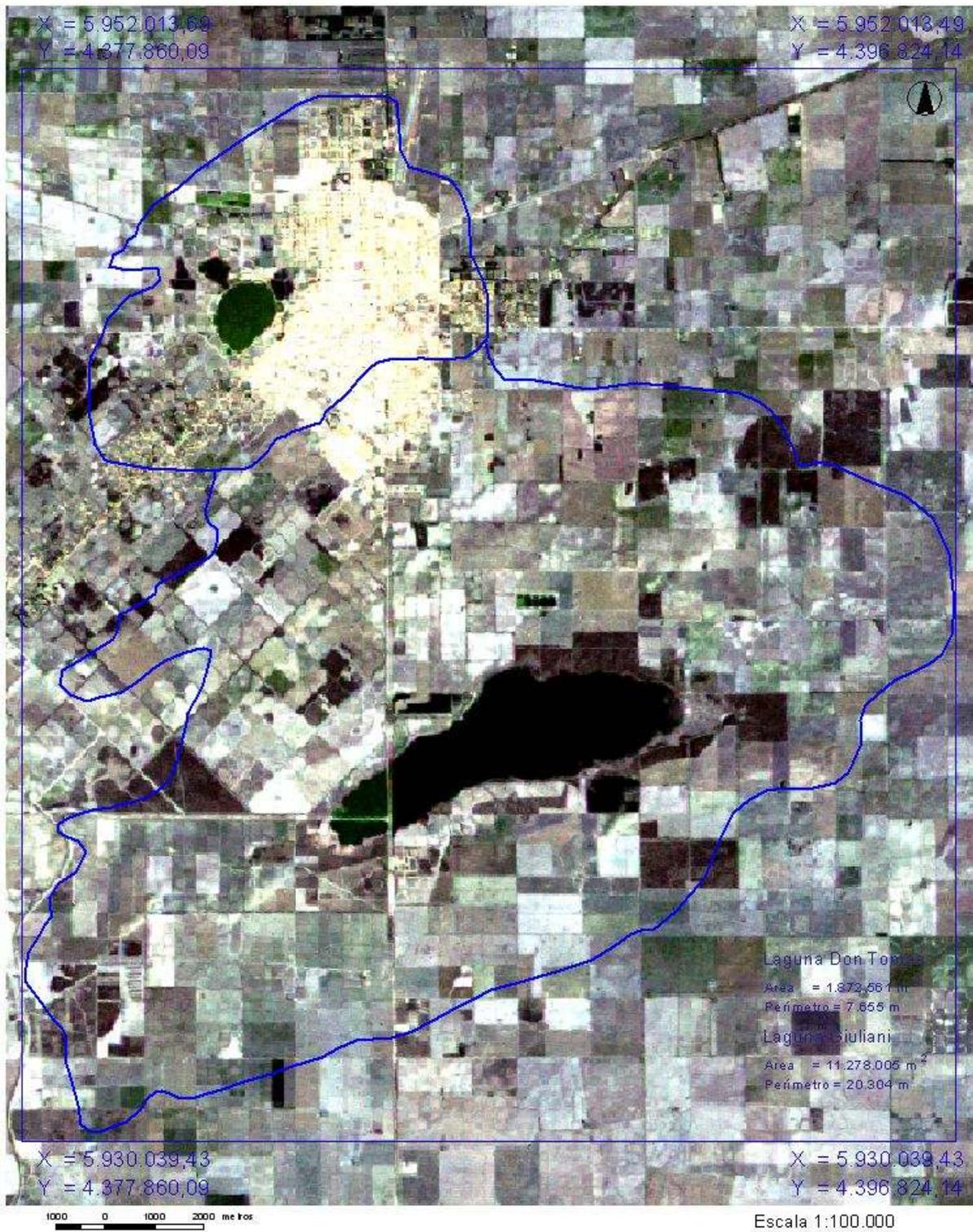


Figura 5.7 Imagen de Satélite Año 2005

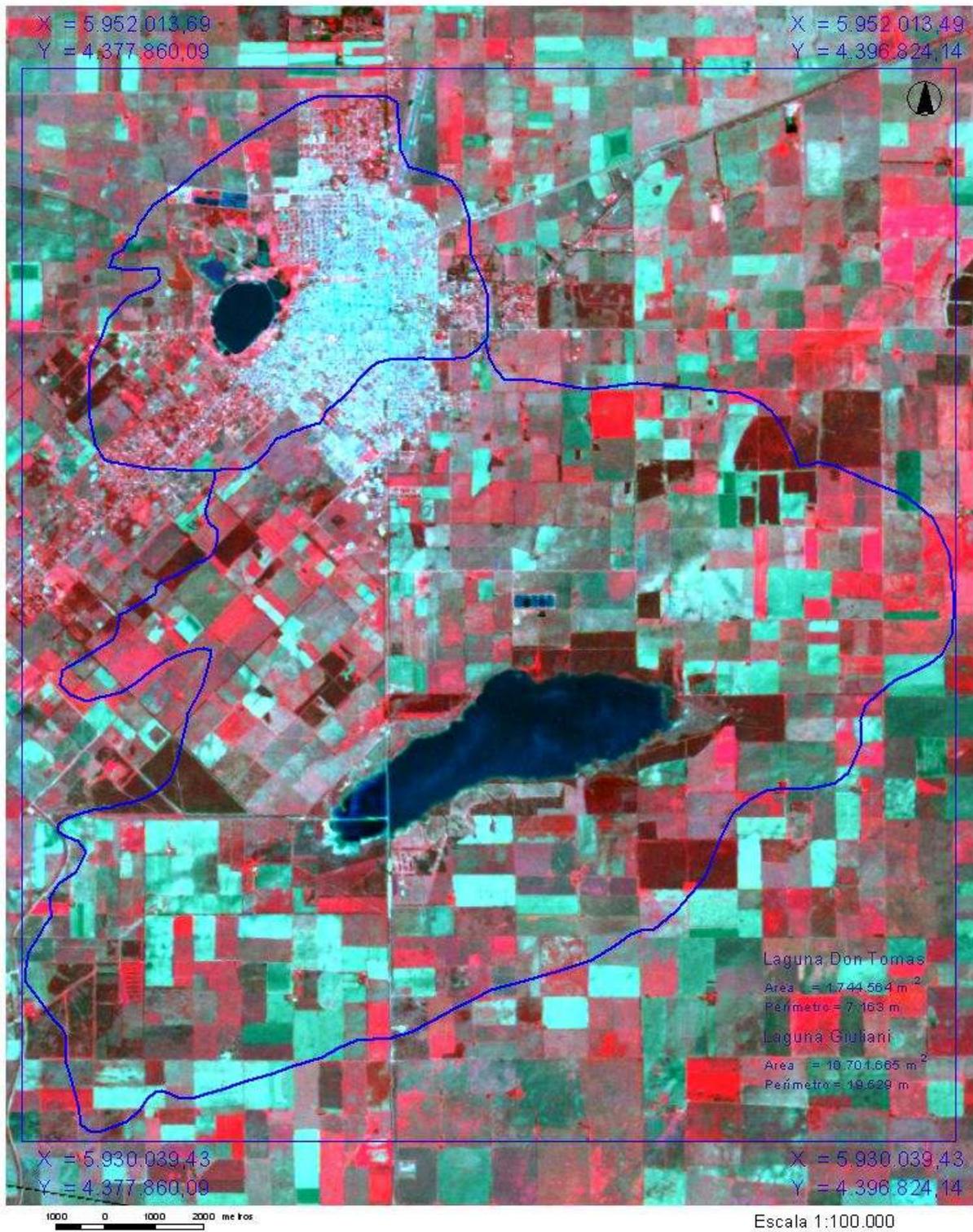


Figura 5.8 Imagen de Satélite Año 2006

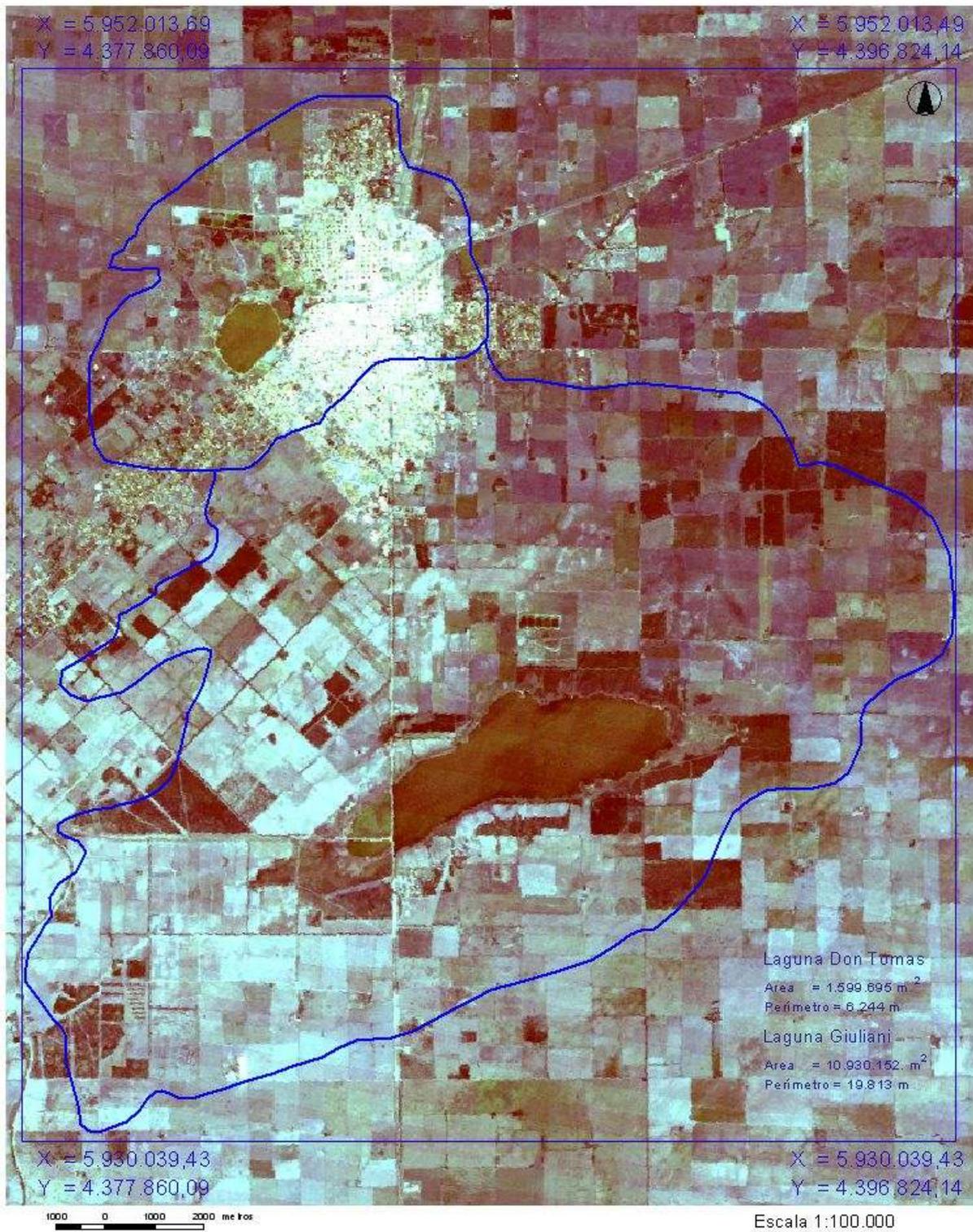


Figura 5.9 Imagen de Satélite Año 2007

Con los límites de las cuencas Don Tomás y Bajo Giuliani superpuestas a la imagen de satélite, correspondiente al 5 de marzo de 2006, se calcularon mediante el programa Arc-View los siguientes valores:

Perímetro Cuenca Laguna Don Tomás	=	27.425 m.	
Área Cuenca Laguna Don Tomás	=	41.352.653 m ²	=> 100,00 %
Área Laguna Don Tomás	=	1.744.564 m ²	=> 4,22 %
Área Ciudad Cuenca Don Tomás	=	16.916.105 m ²	=> 40,91 %
Área Rural Cuenca Don Tomás	=	22.691.984 m ²	=> 54,87 %
Perímetro Cuenca Laguna Bajo Giuliani	=	63.933 m.	
Área Cuenca Laguna Bajo Giuliani	=	180.767.585 m ²	=> 100,00 %
Área Laguna Bajo Giuliani	=	10.701.665 m ²	=> 5,92 %
Área Ciudad Cuenca Bajo Giuliani	=	3.914.484 m ²	=> 2,16 %
Área Rural Cuenca Bajo Giuliani	=	166.151.436 m ²	=> 91,92 %

La evolución anual del área y perímetro de la Laguna Don Tomás, determinada mediante el programa Arc-View, para cada año, está presentada en tabla 5.3. Debe tenerse en cuenta que en el año 2001 comenzó la época de inundaciones en La Pampa y, a partir del año 2003, se produjo una época de sequía.

Tabla 5.3 Evolución Anual Área y Perímetro Laguna Don Tomás

Año	Área (m ²)	Perímetro(m)
2001	1.974.922	8.592
2002	2.346.850	9.331
2003	1.992.732	8.717
2004	1.855.412	7.333
2005	1.872.561	7.655
2006	1.744.564	7.163
2007	1.599.695	6.244

Cuando la mira ubicada debajo del puente levadizo de la Laguna Don Tomás presenta un nivel aproximado de 166,968 IGM, el cuenco norte se encuentra seco. El área de la laguna correspondiente a esa altura es aproximadamente de 1.599.695 m² y su perímetro 6.244 m. (se consideran los valores obtenidos para 2007).

Hasta un nivel de 167,37 IGM aproximadamente, debe considerarse ese área para la laguna Don Tomás, al calcular el bombeo hacia la laguna del Bajo Giuliani. Por encima de ese nivel, debe considerarse un área de 1.744.564 m² y un perímetro de 7.163 m. porque debe adicionarse el cuenco norte (se consideran los valores obtenidos para 2006).

Si se tiene en cuenta la tabla 5.1, se observa que durante los años 2001 a 2005 el área de la laguna Don Tomás corresponde a niveles de pelo de agua que se encuentran entre las cotas 165 y 168 IGM, mientras que durante los años 2006 y 2007 el área de la laguna es menor que el valor correspondiente al nivel 165 IGM (1.796.577,41m²).

Si se recuerda que la cota cero de la escala instalada en dicha laguna es 165,568 IGM, la última situación sería físicamente imposible. Pero, debe tenerse en cuenta que el primer cálculo se hizo mediante curvas de nivel confeccionadas en el año 1975 y la laguna fue después modificada con costas que la separan en los cuencos principal y Norte, comunicados mediante una compuerta a nivel 167,432 IGM. Ello permite concluir que el cuenco Norte se hallaba seco durante los años 2006 y 2007 y, en el cálculo utilizando las imágenes de satélite, sólo se obtuvo el área del cuenco principal.

Otra situación a considerar es que la cota cero de escala se obtuvo de la documentación antecedente, sin contar con medios para su verificación, ni con una batimetría que permita conocer más detalladamente las cotas del fondo de la laguna.

Respecto de los perímetros, caben las mismas apreciaciones. Se observa que durante los años 2001

a 2006 corresponden a niveles de pelo de agua que se encuentran entre las cotas 165 y 168 IGM, mientras que en el año 2007 es inferior al valor correspondiente al nivel 165 IGM (6.626,51 m).

Si se observa la forma actual de la laguna (estrechándose en la separación de ambos cuencos), puede comprenderse por qué en el año 2006, el perímetro obtenido mediante la imagen satelital es mayor que el obtenido mediante curvas de nivel, a pesar que el área sea menor. Es decir, se había ido resumiendo el agua en el cuenco Norte, pero todavía presentaba cierto nivel que lo hacía intervenir en el cálculo. En el año 2007 los valores de área y perímetro obtenidos mediante imagen satelital son menores que los obtenidos mediante curvas de nivel, en virtud que el cuenco Norte se hallaba totalmente seco y, sólo intervino el cuenco principal en el cálculo de los mismos.

La evolución anual del área y perímetro de la Laguna Giuliani, determinada mediante el programa Arc-View, para cada año, está presentada en tabla 5.4.

Tabla 5.4 Evolución Anual Área y Perímetro Laguna Giuliani

Año	Área (m ²)	Perímetro(m)
2001	10.257.998	19.211
2002	13.240.460	22.056
2003	12.130.366	21.957
2004	11.165.513	20.211
2005	11.278.005	20.304
2006	10.701.665	19.529
2007	10.930.152	19.813

El área correspondiente a 2002 es la mayor, en correspondencia con la época de mayores precipitaciones e inundaciones en la zona. Si bien se observa que ha ido disminuyendo, ello se debe a la prolongada sequía de los últimos años. En la actualidad, la superficie total de agua sigue siendo mayor que en el año 2001.

Si se tiene en cuenta la tabla 5.2, se observa que durante los años 2001 a 2007 el área de la laguna Giuliani corresponde a niveles de pelo de agua que se encuentran entre las cotas 125 y 130 IGM, presentando el año 2002 el valor más cercano a esta última cota.

Respecto de los perímetros, se observa que durante los años 2001, 2004, 2005, 2006 y 2007, el perímetro de la laguna Giuliani (obtenido mediante imagen satelital), corresponde a niveles de pelo de agua que se encuentran entre las cotas 125 y 130 IGM (calculado mediante curvas de nivel). En tanto, los años 2002 y 2003 presentan valores de perímetro correspondientes a niveles que superan levemente la cota 130 IGM.

Esta situación resultaría incoherente en relación con lo indicado en el análisis para las áreas, que durante los años 2002 y 2003 presentaban valores (calculados mediante imagen satelital) menores a los obtenidos mediante curvas de nivel, para la cota 130 IGM.

Debe destacarse aquí que, posteriormente a la inundación del año 2001, se realizó un alteo en la Ruta Nacional N° 35, llevando su nivel mínimo a la cota 131,760 IGM. En correspondencia con el punto más bajo de dicha Ruta, cuya cota previa al alteo era 128,254 IGM, se instaló una alcantarilla que separó la laguna en dos subcuencos.

Asimismo, se realizó un alteo en la Ruta Provincial N° 14, llevando su nivel mínimo a la cota 129,800 IGM. En correspondencia con el punto más bajo de dicha Ruta, cuya cota previa al alteo era 128,500 IGM, se instaló una alcantarilla que separó el subcuenco del lado Oeste en dos.

Es probable que esta situación haya influido en la incoherencia observada en los años 2002 y 2003, donde los cálculos de perímetros realizados mediante imágenes son mayores que los obtenidos mediante curvas de nivel, debido a la separación de un cuerpo de agua en tres.

En consecuencia y, más allá que pueda existir alguna imperfección en los cálculos realizados, para el presente estudio se tendrán en cuenta las áreas y perímetros obtenidas mediante las imágenes de

satélite, por ser actuales y considerarlas más precisas.

En los gráficos siguientes, se observa la evolución anual del área y el perímetro correspondientes a cada laguna, de acuerdo a los valores obtenidos mediante imágenes de satélite:

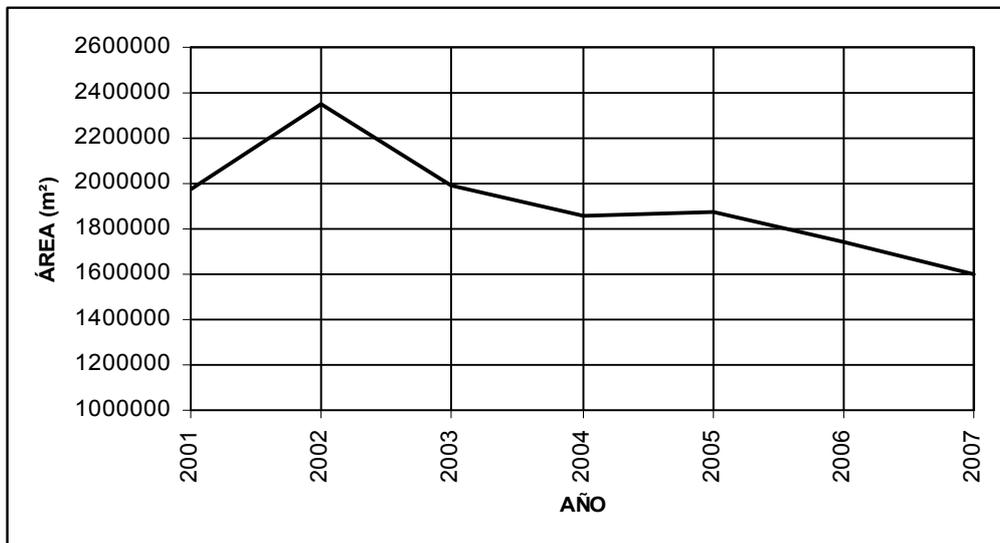


Gráfico 5.3 Evolución Anual Área Laguna Don Tomás

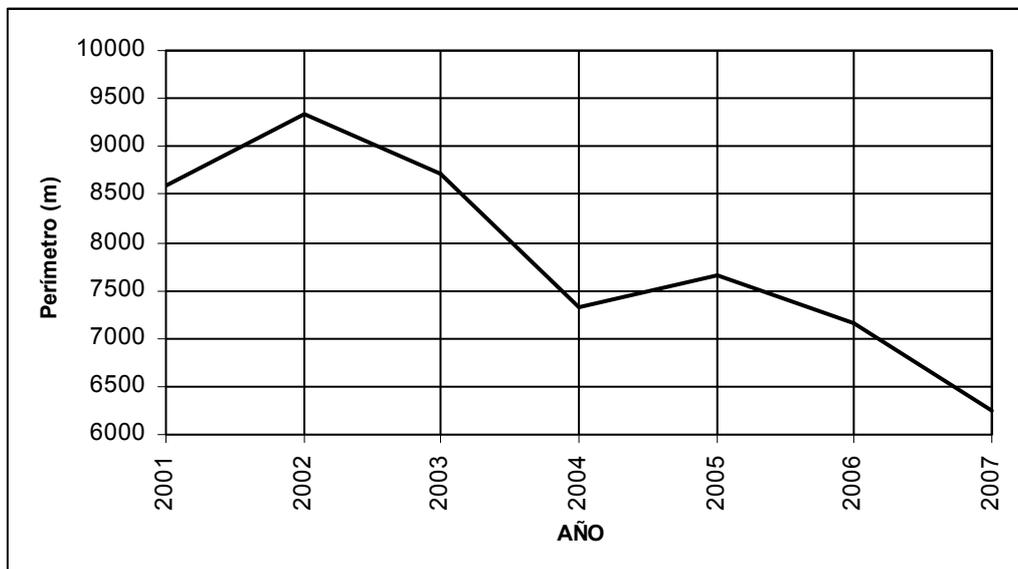


Gráfico 5.4 Evolución Anual Perímetro Laguna Don Tomás

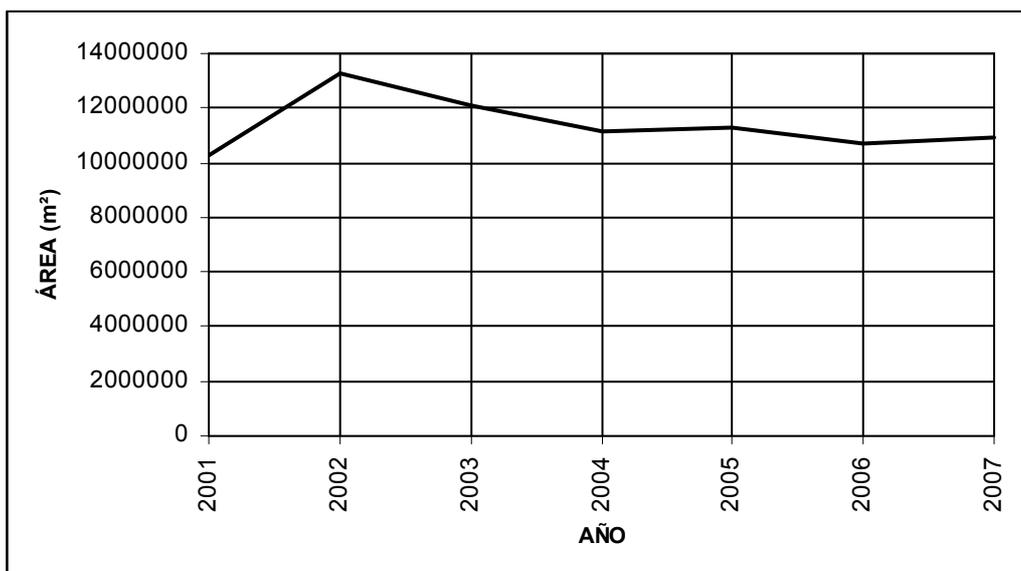


Gráfico 5.5 Evolución Anual Área Laguna Giuliani

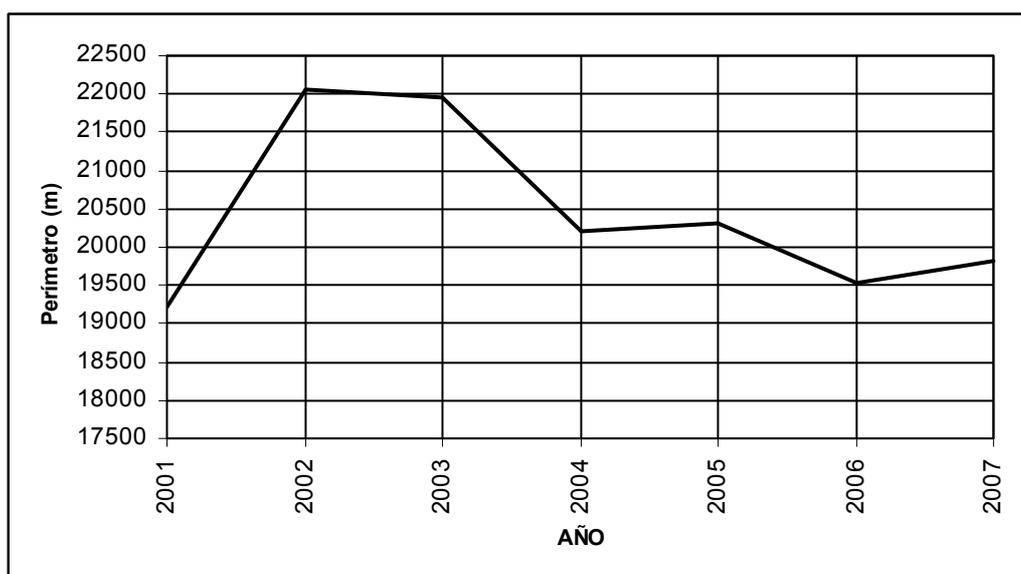


Gráfico 5.6 Evolución Anual Perímetro Laguna Giuliani

5.2.1 Cobertura vegetal mediante clasificación de imágenes

Inicialmente, se realizó una clasificación de la imagen Landsat 05, correspondiente al 5 de diciembre de 2006, para estimar la cobertura vegetal dentro de cada cuenca superficial. La clasificación que se propuso para la cobertura vegetal está compuesta por: cultivos de invierno, cultivos de verano, pasturas, rastrojos, monte y conglomerado urbano.

Con conocimiento de la zona de estudio, se procedió a elaborar las áreas de entrenamiento (pequeña muestra que se toma del área de estudio, que debe ser sumamente representativa) a fin de obtener experiencia previa en la clasificación.

En una primera etapa, se obtuvieron las clases: suelo desnudo, monte y rastrojos, con alta separabilidad por el método de divergencia transformada. Este método verifica la efectividad de la separabilidad espectral entre cubiertas, es una medida indicativa de qué tan diferente es una cubierta

de otra.

En este primer análisis, resultó dificultosa la discriminación de cubiertas, tales como cultivos de verano, cultivos de invierno y pasturas; por lo que fue necesario recurrir a otras técnicas.

Análisis multiestacional: Esta técnica consiste en determinar un perfil espectral de un determinado cultivo en una región. Para ello necesita de dos ó más imágenes del mismo área de estudio, pero de diferente época (Prados, 1995).

La técnica consiste en determinar el perfil espectral de un determinado cultivo que se define como la respuesta en valores de reflectancia y en todas las bandas, de una cubierta. Dentro de los requisitos indispensables para abordar técnicas multiestacionales, es necesario georreferenciar las imágenes con mínimo error y convertir las cuentas digitales a variables físicas, dado que permite poder compararlas en el tiempo.

En general, para áreas de cultivo de regiones semiáridas, como la provincia de La Pampa, la respuesta espectral es similar para la mayoría de las especies cultivables. (Ej.: una muestra de maíz y una de girasol). Sin embargo, en zonas donde coexisten diferentes regímenes pluviométricos, los perfiles espectrales se diferencian, permitiendo una separabilidad más definida (desarrollo vegetal acompañado de buena disponibilidad hídrica), de acuerdo a lo comunicado por el Ing. Farrell que se desempeña en el INTA de Anguil.

Este tipo de análisis, sirve para identificar cultivos estacionales, que pueden confundirse con cultivos perennes en tratamientos de una sola imagen, pues se dificulta su separabilidad. Las pasturas son cultivos perennes, a diferencia de otros cultivos estacionales. Por ello, su presencia se observará en distintas imágenes durante el mismo año.

El calendario agrícola para la región en cuestión figura en tabla 5.5:

Tabla 5.5 Calendario Agrícola Zona de Estudio

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Set	Oct	Nov	Dic
Pastura	X	X	X	X					X	X	X	X
Cult. Verano	X	X	X								X	X
Cult. Invierno								X	X	X	X	X

La pastura es perenne porque está en desarrollo todo el año, pero en ciertas épocas del año posee área foliar alta (buena cantidad de hojas) y es por ello que se confunde con cultivos estacionales (Farrell, 2006. Comunicación personal). En la tabla 5.5 se marcaron sólo los meses donde presenta área foliar alta.

El cultivo de invierno, se siembra en junio y julio en La Pampa, comienza a desarrollar área foliar a partir de agosto hasta su cosecha en diciembre, por eso se observa durante los meses indicados en la tabla 6.5 (Farrell, 2006. Comunicación personal).

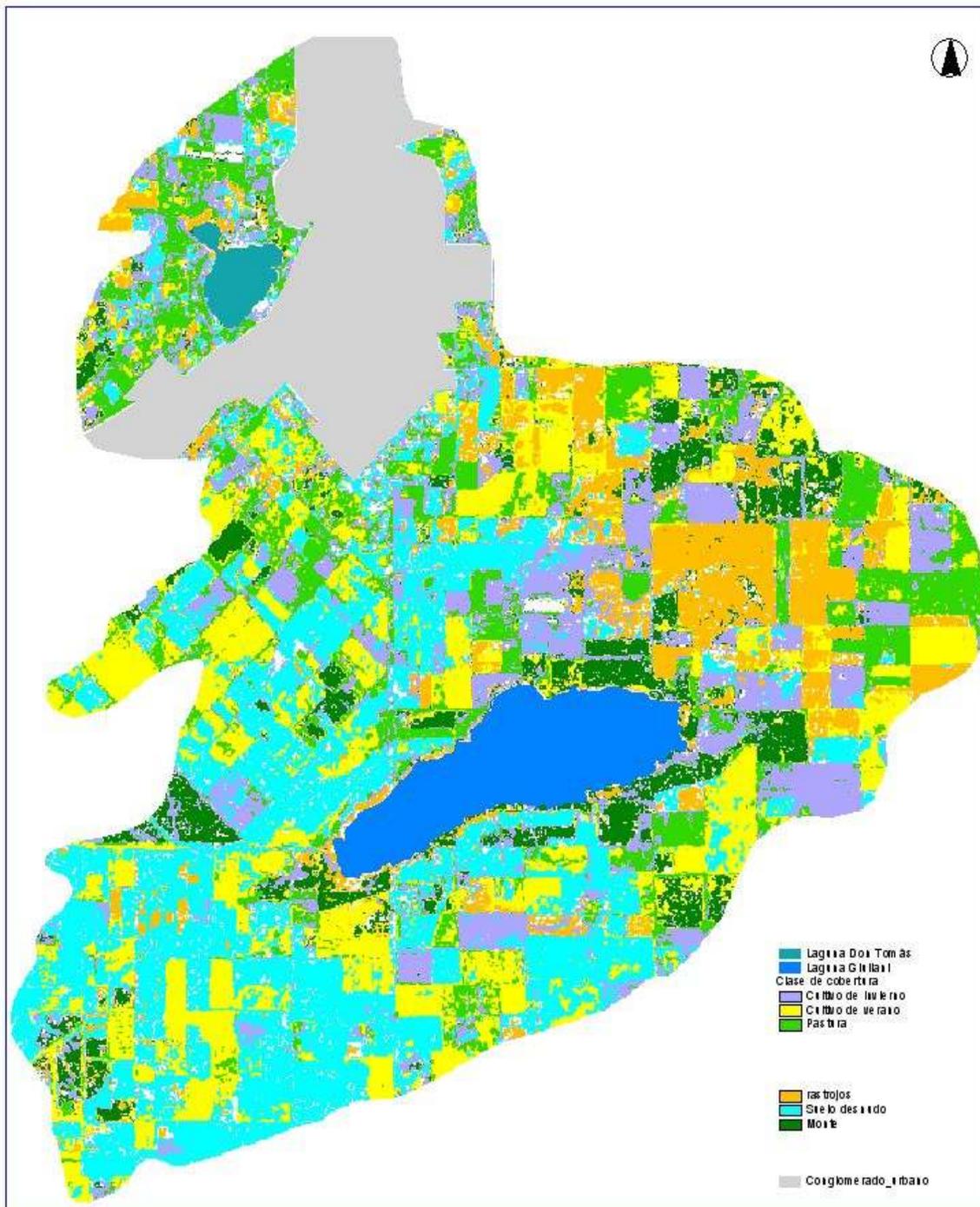
La tabla indica que la fecha de diciembre es problemática desde el punto de vista de la discriminación de cubiertas vegetales presentes en el área de estudio. No se puede discriminar pasturas de cultivos de invierno, por estar ambos presentes en esa fecha.

Integrar la imagen satelital correspondiente al mes de marzo del año 2006, permitió realizar el análisis multiestacional, y por ende lograr discriminar las pasturas del resto de las clases.

En figura 5.10 se presentan las clases de cobertura existentes dentro de las cuencas superficiales de la ciudad de Santa Rosa, de acuerdo a la clasificación supervisada realizada:

X = 5.952.013,69
Y = 4.377.860,09

X = 5.952.013,49
Y = 4.396.824,14



X = 5.930.039,43
Y = 4.377.860,09

X = 5.930.039,43
Y = 4.396.824,14

1000 0 1000 2000 metros

Escala 1:100.000

Figura 5.10 Clasificación Supervisada en las Cuencas Superficiales de Santa Rosa

En el presente estudio, se utilizaron colores definidos arbitrariamente, a efectos de diferenciar claramente las clases de cobertura. No obstante ello, existe una paleta internacional de colores estándar para el uso del suelo (Anderson, et al; 1976).

Las superficies finales obtenidas a partir de la clasificación se observan en tabla 5.6:

Tabla 5.6 Superficie de cada Clase

Cubierta	Superficie(has)	Porcentaje de la superf. total
Suelo desnudo	7473	33,6
Rastrojos	2967	13,3
Monte	2137	9,6
Cultivos de verano	2859	12,8
Cultivos de invierno	1813	8,1
Pasturas	2401	10,8
Urbano	2603	11,8
Total	22253	100

Se observa un alto porcentaje de suelo desnudo, pues al faltar imágenes de mayo y agosto, no se pudo completar el análisis multiestacional. Haber contado con las mismas, hubiera permitido discriminar trigo y verdeo de invierno (avena y centeno), que representarían aproximadamente un 25 % de la superficie total cultivada. De acuerdo a la experiencia del Dr. Quiroga, quién se desempeña en el INTA Anguil, el tratamiento del suelo de los últimos años determinó valores para cada clase que difieren de los obtenidos mediante la clasificación supervisada.

El área de nuestro estudio pertenece a la Zona III de la Provincia de La Pampa, que abarca 530.000 ha, donde se realiza un sistema productivo mixto agrícola-ganadero, cuyo módulo completo dura ocho años. Durante cuatro años se produce la rotación de cultivos destinados a grano y los cuatro restantes producción de forraje (verdeo, pastura) para ganadería esencialmente bovina.

Permanentemente, se realizan muestreos a los 61 productores existentes en toda el área, a efectos de determinar índices de proporción de cultivos y poder elaborar estadísticas para la zona. (Convenio INTA-Bolsa de Cereales-Cámara Arbitral de Cereales; 2000).

Tomando como referencia estos datos, se ajustaron los porcentajes de cobertura obtenidos para cada clase mediante la clasificación supervisada, descontando parte del porcentaje de suelo desnudo, por suponer que correspondía a trigo y verdeo de invierno, ya cosechados.

Para determinar el uso consuntivo en ambas cuencas, se consultó distinta bibliografía y se recogieron las opiniones del Dr. Quiroga, estimándose los siguientes valores para cada clase, correspondientes a épocas húmedas:

Tabla 5.7 Uso Consuntivo Mensual de cada Clase en Épocas Húmedas

Cubierta	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Rastrojos - Suelo desnudo - barbecho	20	20	10				10	20				
Cultivos de verano (maíz)	150	60	20							30	90	120
Cultivos de verano (girasol)	150	30								20	100	150
Verdeo de Invierno (avena - centeno)			30	50	50	50	50	30				
Cultivo de Invierno (trigo)							20	50	70	100	120	20
Pasturas - Monte	120	100	80	60	20	10	10	30	60	80	100	120

En consecuencia, el uso consuntivo anual para cada clase, en épocas húmedas, resultó: Rastrojos - Suelo desnudo - Barbecho = 80 milímetros anuales. (Fernández et al; 2005 a. Fernández

et al; 2005 b).

Cultivos de verano (maíz) = 470 milímetros anuales. (Quiroga et al 2003. Funaro et al; 2004).

Cultivos de verano (girasol) = 450 milímetros anuales. (Quiroga et al; 1999. Quiroga et al; 2003).

Verdeo de Invierno (avena - centeno) = 260 milímetros anuales. (Fernández et al; 2004).

Cultivo de Invierno (trigo) = 380 milímetros anuales. (Quiroga et al; 1998).

Pastura-Monte (alfalfa) = 790 milímetros anuales. (Carassay, S; 1984).

De acuerdo a estos valores y la cubierta vegetal observada (Convenio INTA-Bolsa de Cereales-Cámara Arbitral de Cereales; 2000), se estimó el uso consuntivo anual en épocas húmedas para ambas cuencas: (Tabla 5.8).

Tabla 5.8 Uso Consuntivo Anual de ambas Cuencas en Épocas Húmedas

Cubierta	Uso Consuntivo anual por clase (mm)	Superficie cubierta observada (%)	Uso Consuntivo en cuencas (mm)
Rastrojos - Suelo desnudo - barbecho	80	17	13,6
Cultivos de verano (maíz)	470	10	47
Cultivos de verano (girasol)	450	13	58,5
Verdeo de Invierno (avena - centeno)	260	12	31,2
Cultivo de Invierno (trigo)	380	13	49,4
Pasturas - Monte	790	35	276,5
Total Cuencas		100	476,2

El mismo análisis, se realizó para épocas de sequía, consignándose el uso consuntivo estimado para cada clase de cubierta vegetal en tabla 5.9:

Tabla 5.9 Uso Consuntivo Mensual de cada Clase en Épocas Secas

Cubierta	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Rastrojos - Suelo desnudo - barbecho	20	20	10				10	20				
Cultivos de verano (maíz)	90	60	20							20	60	70
Cultivos de verano (girasol)	100	30								20	80	80
Verdeo de Invierno (avena - centeno)			20	40	30	20	20	20				
Cultivo de Invierno (trigo)							20	30	50	60	70	20
Pasturas - Monte	10	20	30	50	60	80	80	60	40	20	10	10

En consecuencia, el uso consuntivo anual para cada clase, en épocas húmedas, resultó:

Rastrojos - Suelo desnudo - Barbecho = 80 milímetros anuales. (Fernández et al; 2005 a. Fernández et al; 2005 b).

Cultivos de verano (maíz) = 320 milímetros anuales. (Quiroga et al 2003. Funaro et al; 2004).

Cultivos de verano (girasol) = 310 milímetros anuales. (Quiroga et al; 1999. Quiroga et al; 2003).

Verdeo de Invierno (avena - centeno) = 150 milímetros anuales. (Fernández et al; 2004).

Cultivo de Invierno (trigo) = 250 milímetros anuales. (Quiroga et al; 1998).

Pastura-Monte (alfalfa) = 470 milímetros anuales. (Carassay, S; 1984).

De acuerdo a estos valores y la cubierta vegetal observada (Convenio INTA-Bolsa de Cereales-

Cámara Arbitral de Cereales; 2000), se estimó el uso consuntivo anual en épocas secas para ambas cuencas: (Tabla 5.10).

Tabla 5.10 Uso Consuntivo Anual de ambas Cuencas en Épocas Secas

Cubierta	Uso Consuntivo anual por clase (mm)	Superficie cubierta observada (%)	Uso Consuntivo en cuencas (mm)
Rastrojos - Suelo desnudo – barbecho	80	17	13,6
Cultivos de verano (maíz)	320	10	32
Cultivos de verano (girasol)	310	13	40,3
Verdeo de Invierno (avena - centeno)	150	12	18
Cultivo de Invierno (trigo)	250	13	32,5
Pasturas – Monte	470	35	164,5
Total Cuencas		100	300,9

Los valores de uso consuntivo estimados en base a la cobertura general de las cuencas superficiales, servirán como referencia para verificar el uso consuntivo de la totalidad de celdas superficiales, obtenido mediante la cobertura vegetal de cada una de ellas, cuando se calcule para la aplicación del modelo.

5.3 Tratamiento Estadístico Serie de Precipitaciones (1911-2006)

Es importante estudiar la evolución histórica de precipitaciones registradas mensualmente en la ciudad de Santa Rosa desde el año 1911. En base a su comportamiento se podrán estimar tendencias futuras, que permitirían programar acciones, con objeto de enfrentar eventuales escenarios que se planteen.

En gráfico 5.7 se observan las precipitaciones anuales que se registraron en la ciudad, a lo largo del período histórico (1911-2006). Mediante la aplicación *Multiple Regression* del programa *Statistica®* 5.5, se realizó un ajuste lineal para describir la relación entre las variables precipitación anual (eje y) vs año (eje x), cuya expresión resultó: $y = 638,196 + 0,95x$.

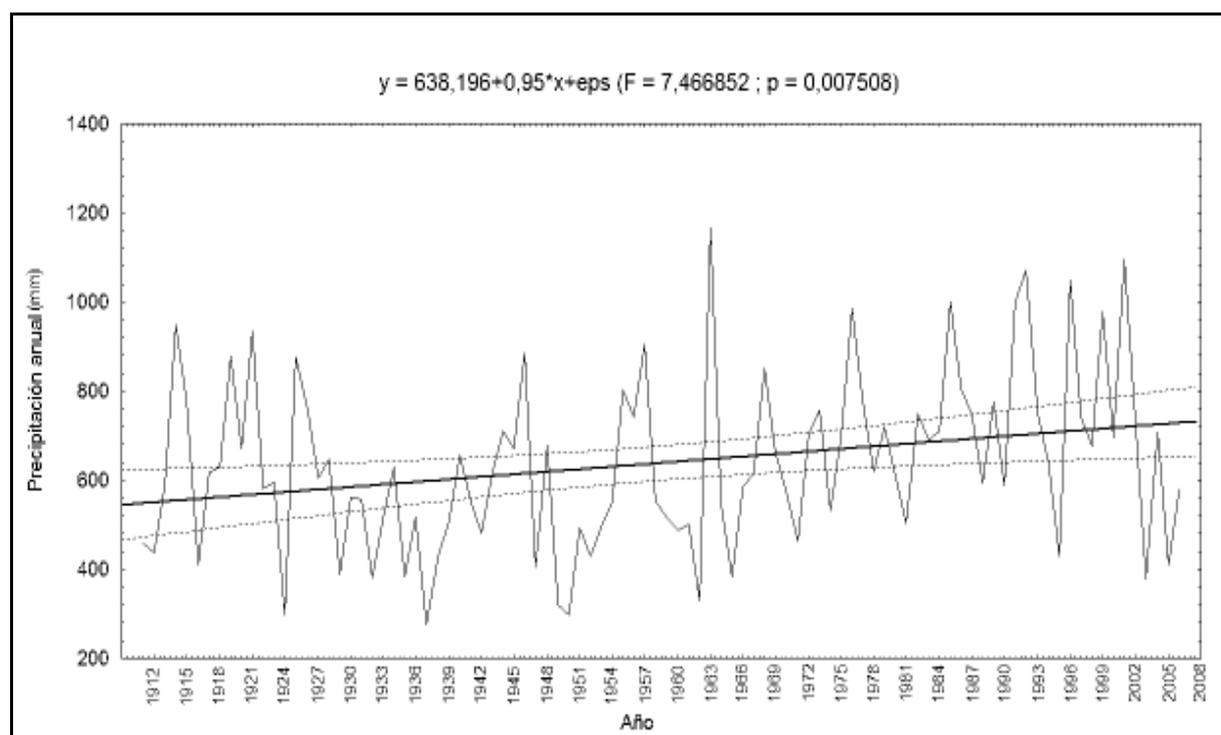


Gráfico 5.7 Precipitación Anual (milímetros) en Santa Rosa (1911-2006)

Para realizar el análisis de regresión se utilizó la variable tiempo como variable auxiliar, de manera que la recodificación de la variable año arrojará una media muestral nula. Esto se logró escogiendo el período central de la serie de años considerados, como punto de referencia. Se realizó un test F con la intención de probar si la pendiente de la recta era nula, rechazándose con una probabilidad $p = 0,007508$ ($F = 7,466852$).

Si bien, los resultados obtenidos indican una tendencia positiva de las precipitaciones anuales en la ciudad de Santa Rosa, debe tenerse en cuenta que para realizar afirmaciones de esta naturaleza, hubiera sido ideal contar con series mucho más extensas (300 o 400 años de registros).

5.4 Determinación de Áreas de Influencia de Pluviómetros

Durante el año hidrológico, los registros de precipitaciones se tomaron tres pluviómetros tipo B Servicio Meteorológico Nacional, uno ubicado en el aeropuerto, otro en intersección de Avenidas S. Marzo y Palacios (a 4 kilómetros del anterior) y el restante en la Planta de Tratamiento Sur (a 6 kilómetros del anterior). Se determinaron las áreas de influencia correspondiente a cada pluviómetro, utilizando polígonos de Thiessen, a efectos de ponderar las precipitaciones ocurridas en cada cuenca. Se observan dichas áreas y la ubicación de los pluviómetros, prácticamente sobre una recta, en figura 5.11:

X = 5.952.013,69
Y = 4.377.860,09

X = 5.952.013,49
Y = 4.396.824,14



X = 5.930.039,43
Y = 4.377.860,09

X = 5.930.039,43
Y = 4.396.824,14

1000 0 1000 2000 me fcs

- Pluviómetros
-  Aeropuerto
 -  Hidráulica
 -  PTS
 -  Polígonos de Thiessen

Escala 1:100.000

Figura 5.11 Polígonos de Thiessen

5.5 Digitalización de Curvas Isopiécicas, Georeferenciación de Pozos y Delimitación de la Cuenca Subterránea

Se ubicaron geográficamente, mediante GPS, cuatro pozos de exploración existentes en la zona norte del Bajo. En tabla 5.11 se presentan sus coordenadas geográficas y Gauss-Kruger:

Tabla 5.11 Posición Geográfica Pozos Exploración

Nº POZO	LONGITUD	LATITUD	X	Y
1	-64° 14' 09"	-36° 40' 13"	5941333,9	4389520,8
2	-64° 13' 59"	-36° 40' 39"	5940535,6	4389779,4
3	-64° 13' 58"	-36° 40' 53"	5940104,3	4389809,8
4	-64° 14' 26"	-36° 40' 45"	5940342,0	4389111,4

En figura 5.12 se presentan digitalizadas distintas curvas isopiécicas y pozos, contenidos en el plano confeccionado mediante el Plan de Investigación de Aguas Subterráneas "PIAS" (Giai, 1975), en escala 1/200.000. Asimismo, se digitalizó la cuenca subterránea, obtenida a partir de las curvas isopiécicas. Se ubicaron además, los cuatro pozos de exploración existentes en la zona norte del Bajo.

Superponiendo los contornos de las lagunas Don Tomás y Giuliani, obtenidas de las imágenes de satélite correspondiente al año 2006, se observa que la laguna Giuliani está ubicada sobre curvas de 124 IGM, mientras que el fondo de la laguna Don Tomás se encuentra sobre la curva de 165 IGM.

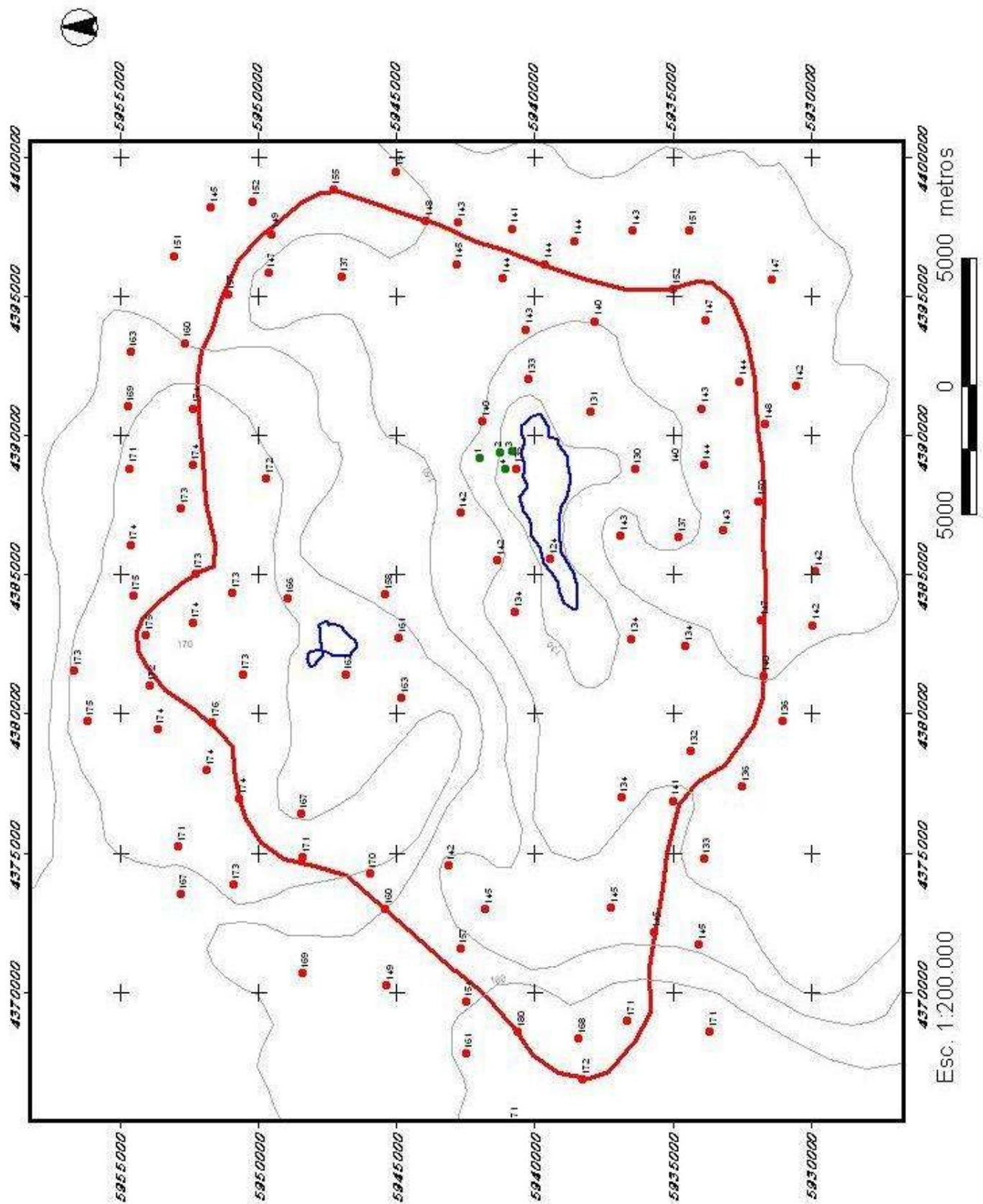


Figura 5.12 Curvas Isopiécicas, cuenca subterránea, pozos y lagunas (Fuente: PIAS 1975)

5.6 Censo de Pozos ubicados dentro del Área Subterránea

Se georeferenciaron la totalidad de pozos de explotación registrados en la Dirección de Aguas Provincial, cuya ubicación y sus parámetros se detalla en tabla A.5.1.

Se observa que los niveles estáticos de los pozos se encuentran a distintas profundidades, resultando más profundos los niveles correspondientes a pozos pertenecientes al Acueducto Viejo, en virtud de su sobreexplotación.

Para determinar el caudal característico de la mayoría de los pozos, a partir de los caudales de explotación conocidos, se consideró el espesor saturado tomando como piso el borde superior del manto limo-arcilloso y como altura el nivel dinámico correspondiente a cada uno de ellos. Mediante el caudal característico, se obtuvo la transmisividad para cada pozo en sus condiciones de bombeo.

Lo explicado en el párrafo anterior, es válido en los pozos cuya depresión por bombeo resultó mayor que el 2% de su espesor saturado sin bombeo. Cuando esa depresión fue menor que el 2%, se consideró el espesor saturado, tomando como piso el borde superior del manto limo-arcilloso y como altura el nivel estático. (Alba, 1971).

En ambos casos, los valores de transmisividad obtenidos son válidos sólo para la parte del acuífero drenada, no representan valores medios de todo el espesor saturado. Para calcular la transmisividad de todo el espesor saturado, es decir del acuífero, debe multiplicarse la permeabilidad obtenida para cada pozo por el espesor completo del acuífero donde se halla ubicado.

Los números de celda se corresponden con la discretización espacial que se realizó de la cuenca subterránea, según se describe en el apartado 5.8.1.

Observando el plano de Curvas Isopiécicas (figura 5.12) se observa que los valores de las curvas van decreciendo hacia el fondo del Bajo Giuliani (124 IGM). Sobre este plano, se graficó la laguna ubicada en el bajo y, tomando como base las curvas isopiécicas contenidas en el mismo, se determinaron los límites de la cuenca subterránea que la alimenta.

A efectos de actualizar los valores de las curvas se ubicaron, sobre el plano mencionado, los cuatro pozos de exploración existentes en la zona norte del Bajo:

Según puede apreciarse en figura 5.12, los pozos de exploración se encuentran aproximadamente entre las curvas piezométricas de 130 IGM y 140 IGM. Analizando el pozo 2, se observó que le correspondía una profundidad aproximada de 16 metros en el plano de isopiezas, confeccionado mediante el Plan de Investigaciones de Aguas Subterráneas "PIAS" (Giai, 1975).

Su profundidad actual promedio es de 11,85 metros, es decir se verificó un ascenso de 4,15 metros. Para el resto de las perforaciones el comportamiento fue similar. Por ello, y en virtud que la Administración Provincial del Agua registró ascensos similares en pozos de Santa Rosa, de acuerdo a lo informado por el Lic. Tullio, se adoptó un ascenso global de 4,15 metros en la totalidad de las curvas isopiécicas.

5.7 Trabajos de Campo

Los trabajos de campo fueron realizados utilizando recursos y movilidad propios, exceptuando la medición mensual de niveles estáticos de los pozos de exploración ubicados en cercanías del Bajo Giuliani, para lo que se contó con vehículos de la Dirección de Hidráulica Municipalidad de Santa Rosa.

Los trabajos desarrollados se detallan a continuación:

- Se realizó un reconocimiento del Área de Estudio, a efectos de observar las condiciones en que se hallaba, en relación con modificaciones antrópicas, accesibilidad a distintas zonas, evaporación del cuenco norte, con lo cual no se lo considera para el cálculo del área y perímetro de la laguna Don Tomás, etc.

- Se nivelaron distintos puntos, en alrededores de la laguna Don Tomás y en las Rutas Nacionales N° 35 y 14, con objeto de verificar las curvas de nivel confeccionadas por el I.G.M. y el nivel de la laguna del

Bajo Giuliani.

- Se recorrieron los límites de ambas cuencas superficiales, confeccionados en gabinete mediante curvas de nivel, con objeto de verificar la inexistencia de escurrimientos fuera de ellos. Se verificaron in situ alteos ó modificaciones antrópicas ó naturales, caminos vecinales, ferrocarriles, rutas, etc., a efectos de determinar las áreas de captación reales de cada cuenca.

- Se instaló, a través de la Dirección de Hidráulica de la Municipalidad de Santa Rosa, una regla en la laguna del Bajo Giuliani, para realizar el seguimiento de su nivel. Las mediciones se realizaron con una frecuencia mensual y ocasionalmente, antes y después de cada lluvia.

- A fines de septiembre de 2006 se comenzaron a tomar mediciones en la regla ya existente en la Laguna Don Tomás, con intención de conocer la evolución de su nivel. Las mediciones se realizaron con una frecuencia mensual y ocasionalmente, antes y después de cada lluvia.

- En el mes de mayo de 2007 se realizaron ensayos de infiltración en ambas cuencas, junto al Ing. Agrónomo Sergio Abascal, utilizando un permeámetro de doble anillo, conforme a la descripción realizada en el punto 5.7.1.

- Se determinaron, mediante GPS, las coordenadas de los pozos de exploración existentes en la zona norte del Bajo Giuliani, a efectos de conocer su ubicación sobre el plano confeccionado por PIAS y, tomando como referencia los niveles estáticos de los mismos, poder actualizar la piezometría sobre el plano.

- Se realizaron sondeos, durante los meses que duró el estudio, en los pozos de exploración señalados en el apartado anterior, con objeto de conocer la evolución de los niveles freáticos en los alrededores de la laguna Giuliani.

- Se instaló un pluviómetro tipo B en la Dirección de Hidráulica y en la Planta de Tratamiento Sur, sucesivamente, con objeto de comparar las mediciones realizadas con los pluviómetros existentes en esos puntos y corregir eventualmente las mismas.

- Se recorrieron las áreas de cada cuenca, con objeto de verificar la cobertura vegetal, estimada en gabinete mediante el procesamiento de imágenes satelitales.

5.7.1 Ensayos de campo para estimar parámetros de Infiltración

Para determinar la infiltración, y se realizaron ensayos con infiltrómetro de doble anillo, en ambas cuencas, junto al ingeniero Sergio Abascal, docente de la Facultad de Agronomía de la UNLPam.

La conductividad hidráulica (Kh) o permeabilidad, se calculó utilizando la ecuación de Kostyakov:

$$I = a \times t^b \quad (5.2)$$

Donde: I = infiltración acumulativa (cm).

t = tiempo (min).

a = constante.

b = constante.

La conductividad hidráulica (Kh) es la habilidad del suelo saturado de permitir el paso del agua. La determinación de las conductividades hidráulicas de los horizontes de un perfil de suelo, es la forma más exacta para evaluar la clase de permeabilidad de aquella parte del perfil que se moja durante una lluvia.

La clase de permeabilidad de los horizontes mojados, se estima por el valor de la conductividad hidráulica del horizonte menos permeable. La conductividad hidráulica es el factor de proporcionalidad de la Ley de Darcy, que trata del flujo viscoso de agua en el suelo. Es decir, el flujo de agua por unidad de gradiente del potencial hidráulico.

Por lo tanto, la conductividad hidráulica (K_h), también llamada infiltración básica u horizontal, surge gráficamente, al cortar el eje de ordenadas con la prolongación de la tangente horizontal a la curva de velocidad de infiltración.

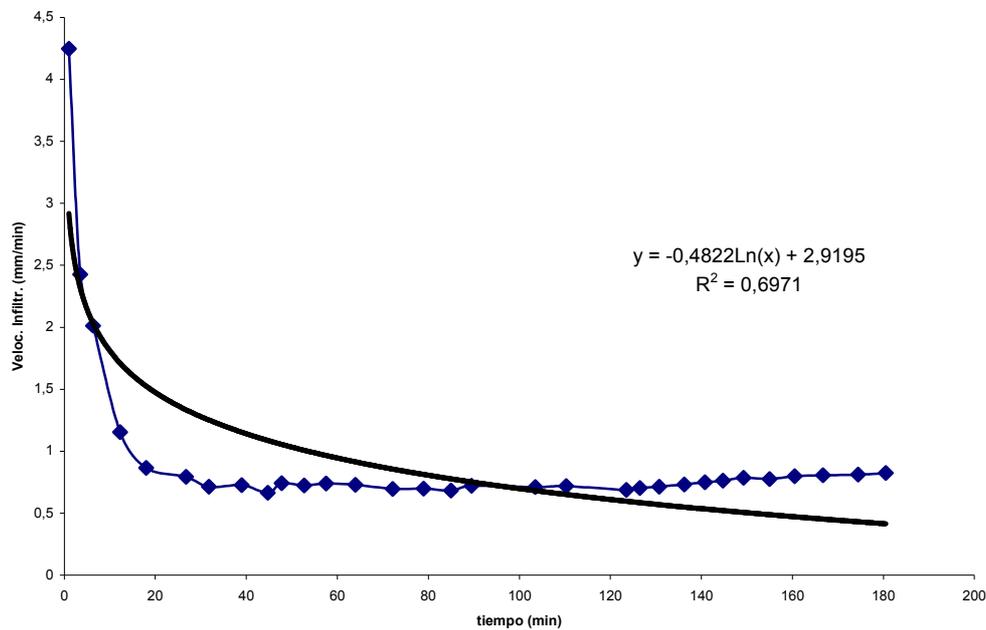


Gráfico 5.8 Velocidad Infiltración Cuenca Don Tomás

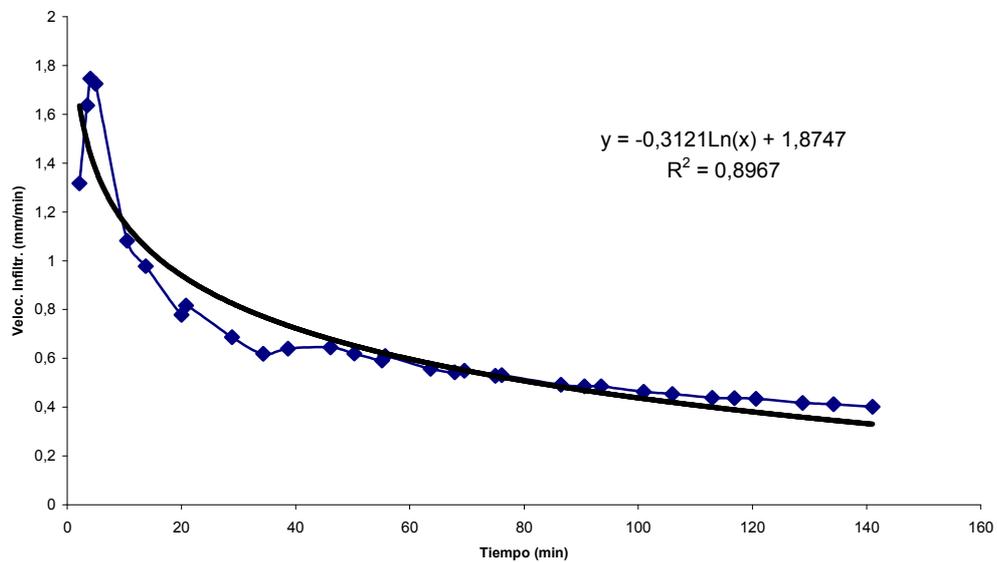


Gráfico 5.9 Velocidad Infiltración Cuenca Giuliani

De acuerdo a los gráficos 5.8 y 5.9, el valor de infiltración horizontal para la cuenca Don Tomás fue de aproximadamente $(0,75\text{mm}/\text{min} \cdot 60\text{min}) = 45 \text{ mm/h}$ y para la cuenca del Bajo Giuliani aproximadamente $(0,65\text{mm}/\text{min} \cdot 60\text{min}) = 39 \text{ mm/h}$.

Aplicando logaritmos a la ecuación de Kostiakov, se llega a:

$$\text{Log } (I) = \text{log } (a) + b \times \text{log } (t) \quad (5.3)$$

Las curvas anteriores se transforman en rectas, que se observan en los gráficos 5.10 y 5.11.

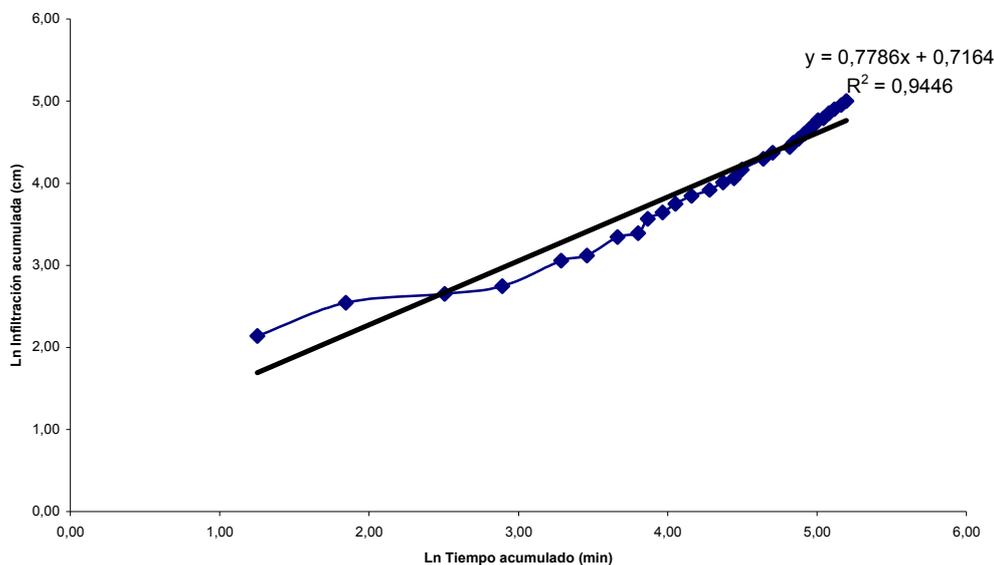


Gráfico 5.10 Infiltración Acumulada Don Tomás

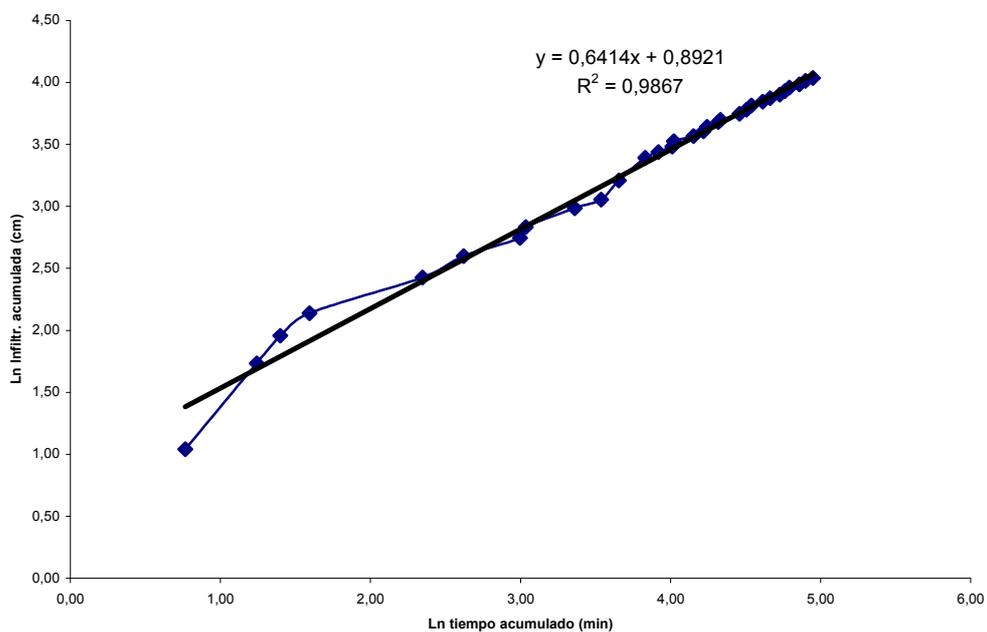


Gráfico 5.11 Infiltración Acumulada Giuliani

Reemplazando el valor logaritmo natural de 60 minutos en la ecuación de la recta que representa la infiltración acumulada, en cada gráfico, se obtiene:

Para la cuenca Don Tomás, un valor de infiltración vertical de aproximadamente 49,6 mm/h;
 Para la cuenca Bajo Giuliani, aproximadamente 33,7 mm/h.

Las observaciones son las siguientes:

1) Los ensayos determinan valores puntuales de infiltración vertical. Deberían realizarse más ensayos y en distintos lugares de cada cuenca, para que los resultados sean representativos de toda el área encerrada por ellas.

2) Físicamente, un ensayo con infiltrómetro de doble anillo presenta diferencias con la infiltración que produce una precipitación. En el ensayo, la lámina de agua se mantiene constante, ejerciendo carga hidráulica sobre el suelo.

Sólo se calcularon los valores para tener una estimación orientativa en cada cuenca.

5.8 Procesamiento de Información para la Implementación del Modelo SHALL 3

5.8.1 Discretización del Área de Estudio

Los sistemas hidrológicos del bajo Giuliani y la laguna Don Tomás fueron considerados conjuntamente y discretizados en un conjunto de celdas cuadrangulares de 1000 m de lado, cuyas características fueron consideradas homogéneas. Se implementó el modelo de flujo subterráneo, integrante del sistema de simulación SHALL3, cuya discretización espacial fue equivalente con la topología de celdas en superficie.

En la figura 5.13 se observa una grilla, superpuesta a la cuenca subterránea, a efectos de discretizar en pequeñas zonas el funcionamiento de dicha cuenca. Asimismo, se georreferenciaron las cuencas superficiales y se superpusieron a la grilla, para tomar real dimensión del esquema de funcionamiento, dado que están vinculadas a la cuenca subterránea.

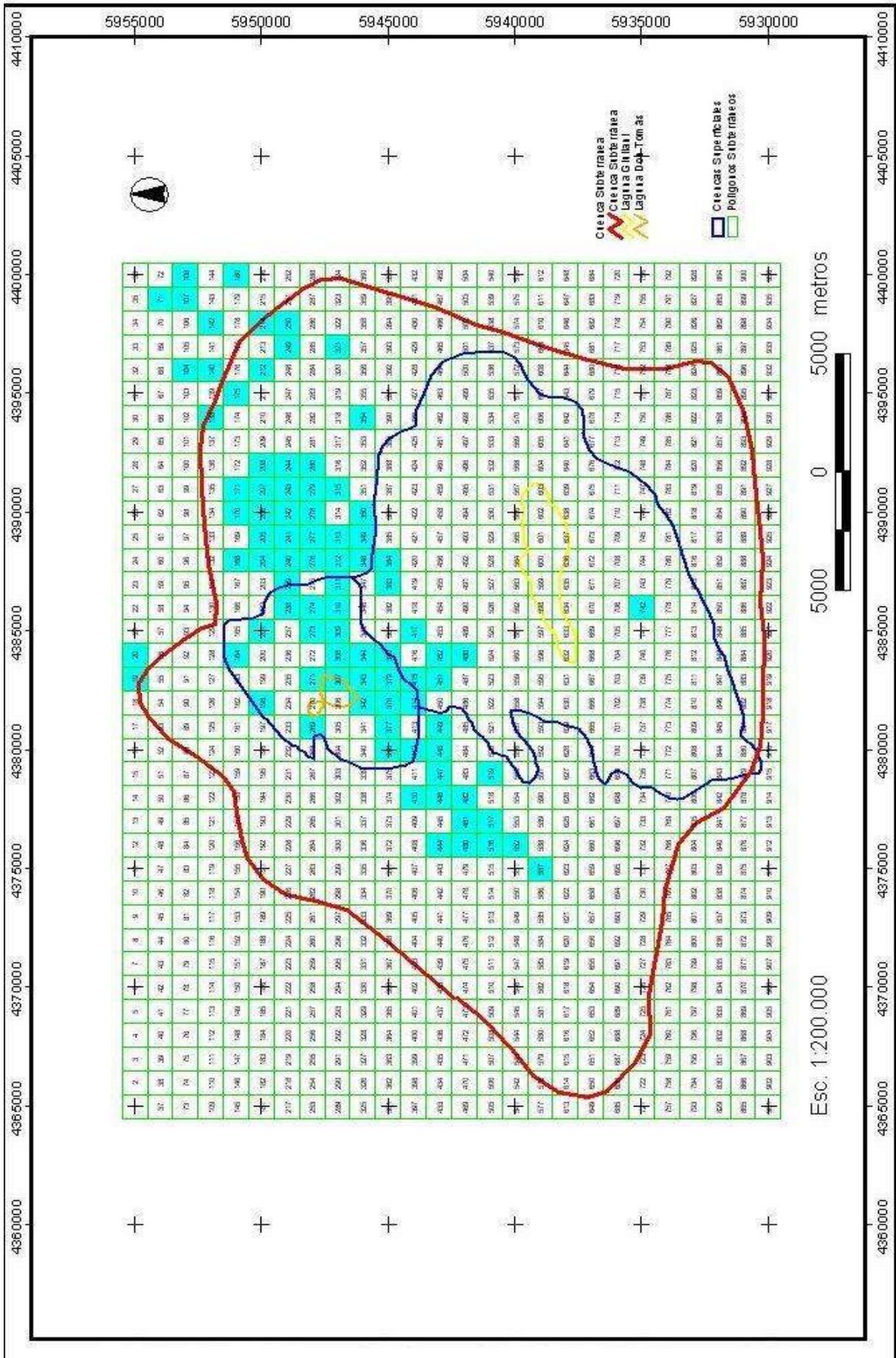


Figura 5.13 Grilla Subterránea y Ubicación de Pozos de Captación de Agua

Las celdas sombreadas corresponden a los lugares donde se ubican pozos de captación de agua. El conocimiento de sus parámetros, permitió estimar el sentido de los escurrimientos subterráneos y el comportamiento de la cuenca subterránea.

La figura 5.14 presenta la topología de celdas, superficiales adoptada. Cabe mencionar que la esquematización representada en la figura se corresponde con el dominio interno de modelación, se le deben agregar 20 celdas de contorno norte, 20 de contorno sur, 23 de contorno este y 23 de contorno oeste.

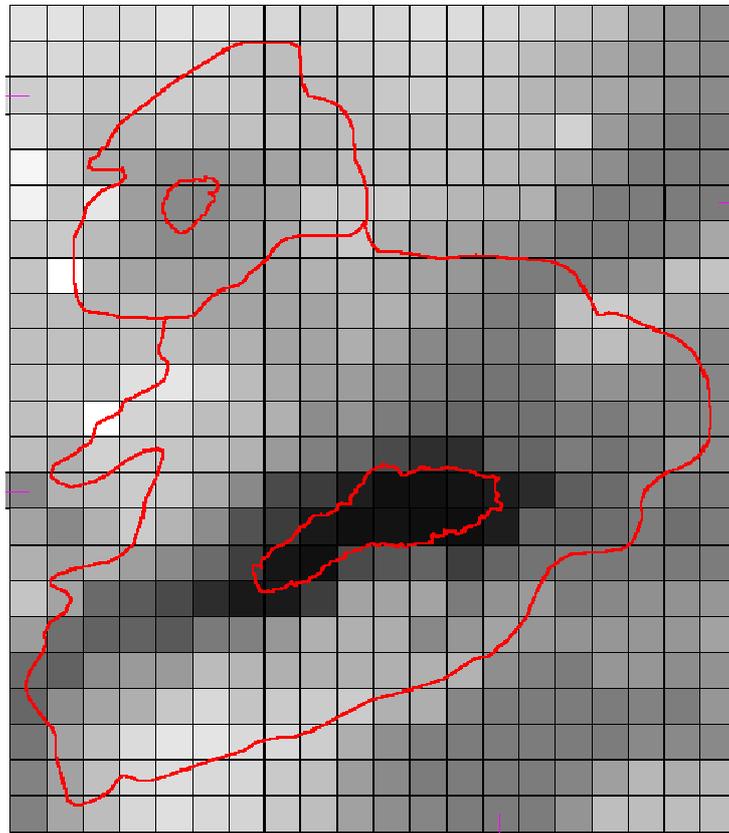


Figura 5.14 Topología adoptada para las celdas subterráneas internas, junto a modelo digital de terreno en escala de grises. Al norte la laguna Don Tomás, al sur la laguna del Bajo Giuliani

La figura 5.14 es un esquema, que representa la salida gráfica de una rutina del modelo. El tamaño de cada celda es de 1km x 1km, sobre la cual se incluyó la poligonal de la cuenca realizada en AutoCad.

5.8.2 Submodelo de la Zona Saturada - Modelo conceptual del acuífero freático

Mediante el programa WinSurf® y, a partir de los datos de pozos relevados y las coordenadas de los mismos o su ubicación en las distintas celdas, se determinaron las figuras 5.15 a 5.20. Estas figuras permiten mejorar el conocimiento sobre el acuífero, en función de los parámetros obtenidos.

La figura 5.15 muestra las curvas isofreáticas del área modelada. De la misma, pudieron extractarse los gradientes respectivos (Figura 5.16). Estos gradientes son proporcionales al campo de flujo del acuífero, y el factor de proporcionalidad lo establece la conductividad hidráulica (variable punto a punto).

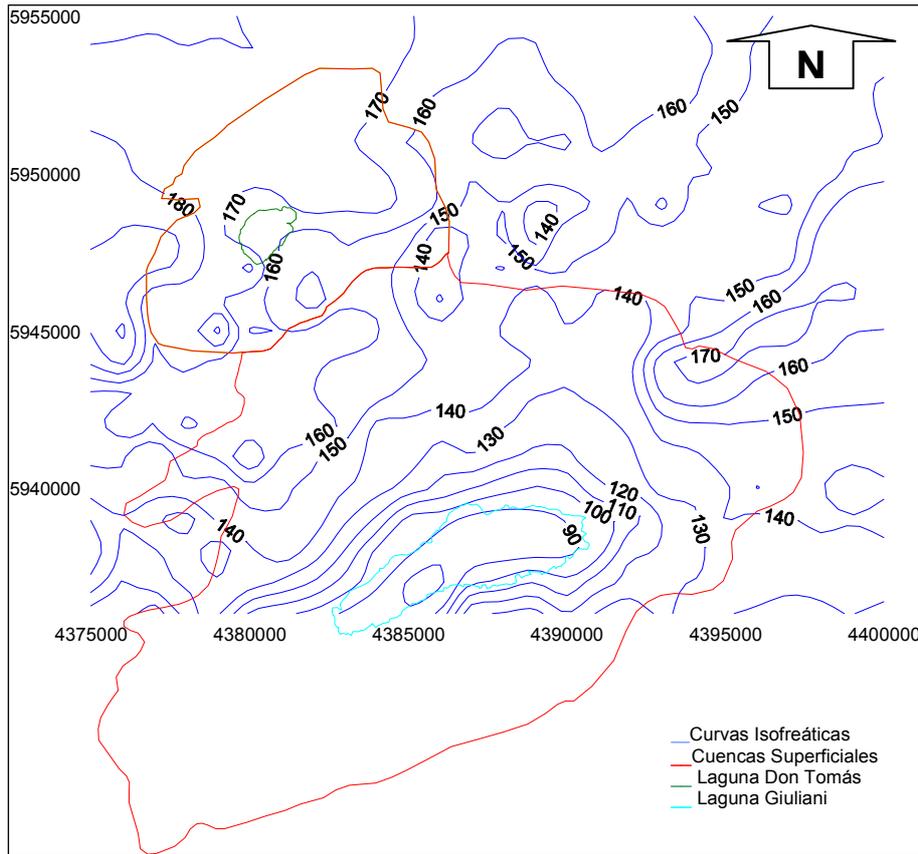


Figura 5.15 Curvas Isofreáticas (IGM)

Esta información se complementa con la figura 5.12, que muestra las curvas isofreáticas en un área más extensa.

Pueden destacarse cuatro elementos básicos que caracterizan la freática del área.

En primer lugar las divisorias de flujo, que por lo que se muestra en figura 5.15 no coinciden con las superficiales y se encuentran más alejadas del área de interés. Aquí puede plantearse la condición de borde impermeable dado que no existiría flujo que las atravesase.

En segundo término puede reconocerse al Bajo Giuliani como área de descarga principal de la freática en la zona. Esto queda en evidencia tras analizar las direcciones y sentidos de flujo de la figura 5.16.

En tercer lugar, puede identificarse un área receptora de flujo en el cono de depresión que provocan los bombeos ubicados aproximadamente alineados con la divisoria superficial de ambas cuencas.

Finalmente, puede considerarse la laguna Don Tomás como un elemento que puede funcionar como recarga de la freática, cuando esta se encuentra con niveles bajos (condición actual verificada en campo), ó bien como descarga, cuando los niveles freáticos son someros en la cercanía de la misma.

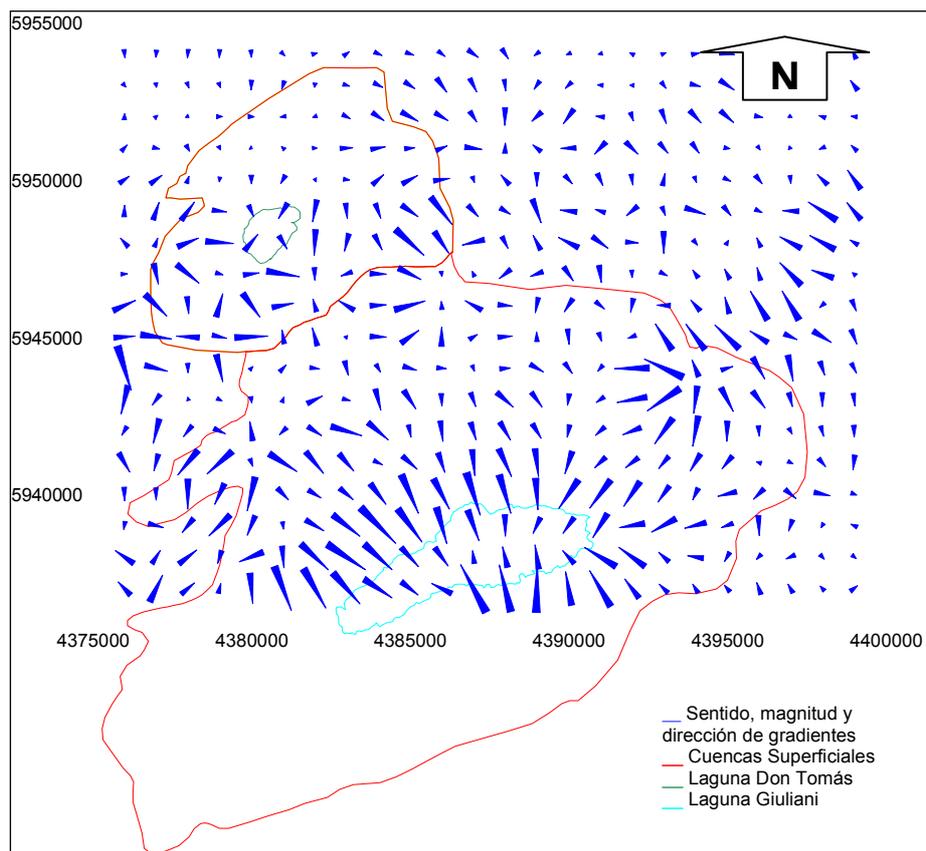


Figura 5.16 Sentido y dirección de escurrimiento subterráneo

La figura 5.16 representa esquemáticamente los gradientes subterráneos. Es interesante observar la dirección, sentido y magnitud de los gradientes, con objeto de detectar las fuentes y sumideros.

Las características geométricas del acuífero fueron determinadas basándose en información estratigráfica de la zona provista por la Dirección de Aguas de la Provincia de La Pampa y curvas isopiécicas construidas a partir de censo de pozos. Si bien el censo fue realizado mediante el Plan de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS), en el año 1975, el patrón de la configuración de las curvas se estima que no ha cambiado sustancialmente. Esto permite estimar las áreas de recarga y descarga y las divisorias, principalmente.

La zona modelada en detalle comprendió unos 464 km², aunque se extendió a unos 940 km² para considerar las condiciones de borde, correspondientes a la cuenca subterránea. Para las condiciones de borde del sistema en conjunto (laguna Don Tomás y Bajo Giuliani) se consideraron 86 celdas de borde externo (condición de no flujo correspondiente a las divisorias de la cuenca subterránea), junto a 5 celdas que conforman condiciones de contorno interno (niveles establecidos en el bajo Giuliani).

Las áreas superficiales fueron planimetradas de cartografías del Instituto Geográfico Militar, en escalas 1:50000. El piso del acuífero fue supuesto en cota 50 IGM.

La discretización temporal de cálculo Δt fue adoptada inicialmente en 3600 segundos, hasta alcanzar un paso de 86.400 segundos, a posteriori en las simulaciones.

En figuras 5.17 y 5.18 se presentan las curvas de profundidades de napa y el mapa de iso-conductividad hidráulica.

La transmisividad de cada vinculación entre celdas y el coeficiente de almacenamiento de cada celda, se adoptaron en base a las curvas de isovalores (Figuras 5.19 y 5.20) construidas con los datos de pozos relevados y detallados en la Dirección de Aguas Provincial. (Ver apartado 5.6).

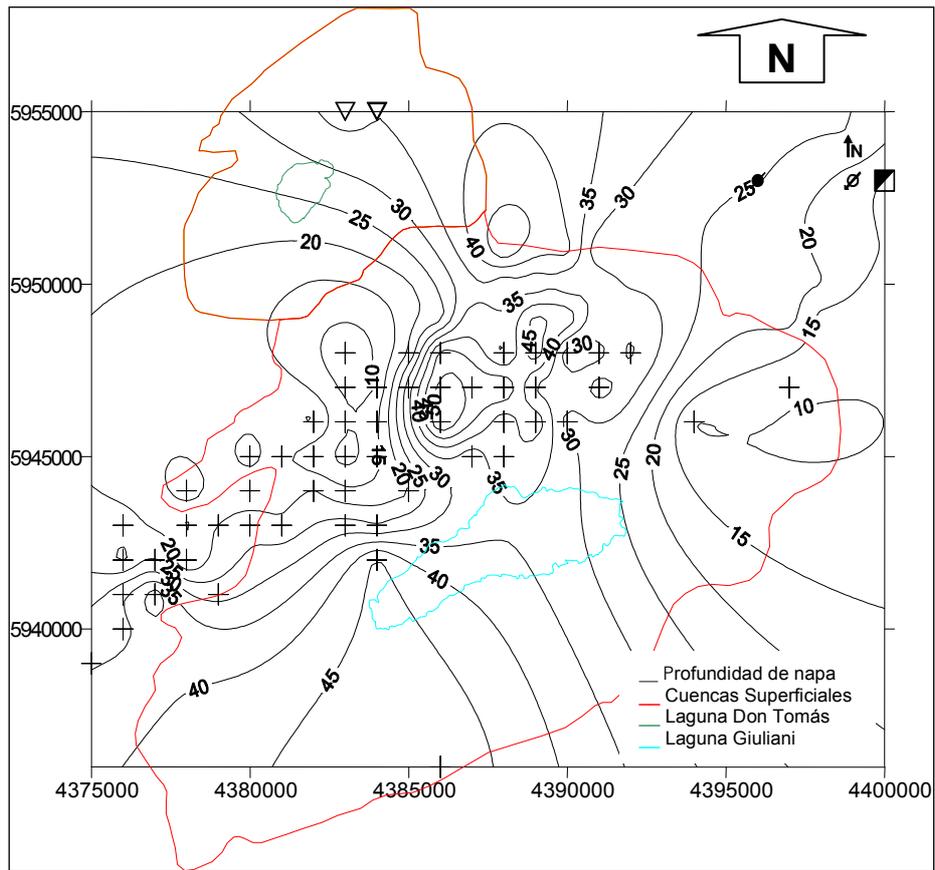


Figura 5.17 Curvas de profundidades de napa (m).

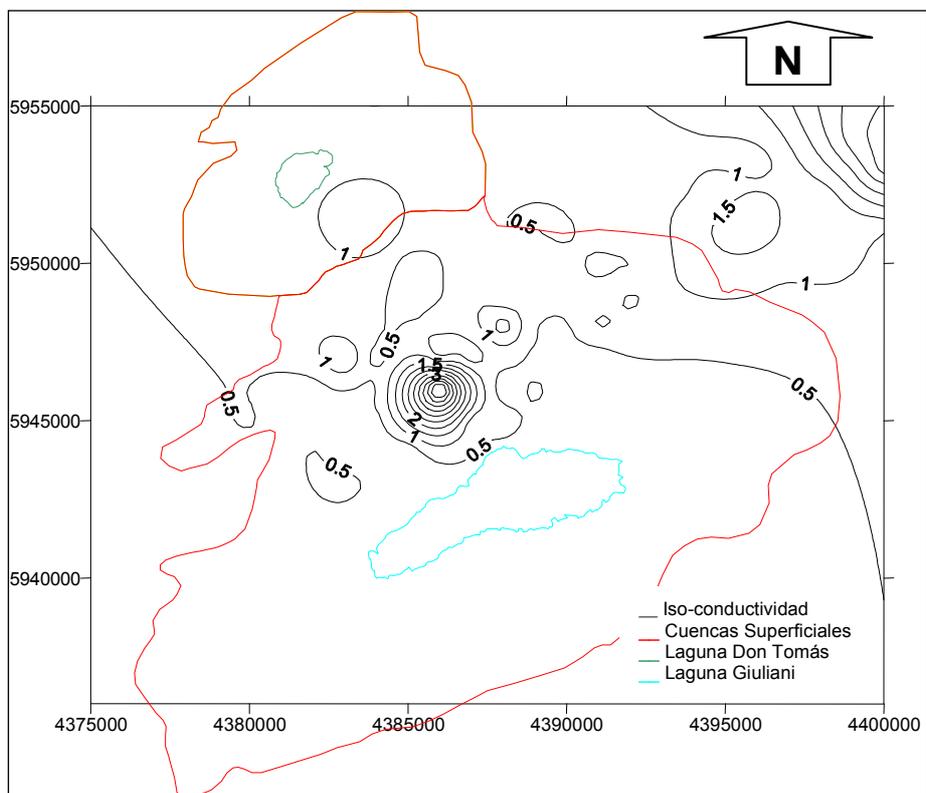


Figura 5.18 Mapa de iso-conductividad hidráulica (m/d)

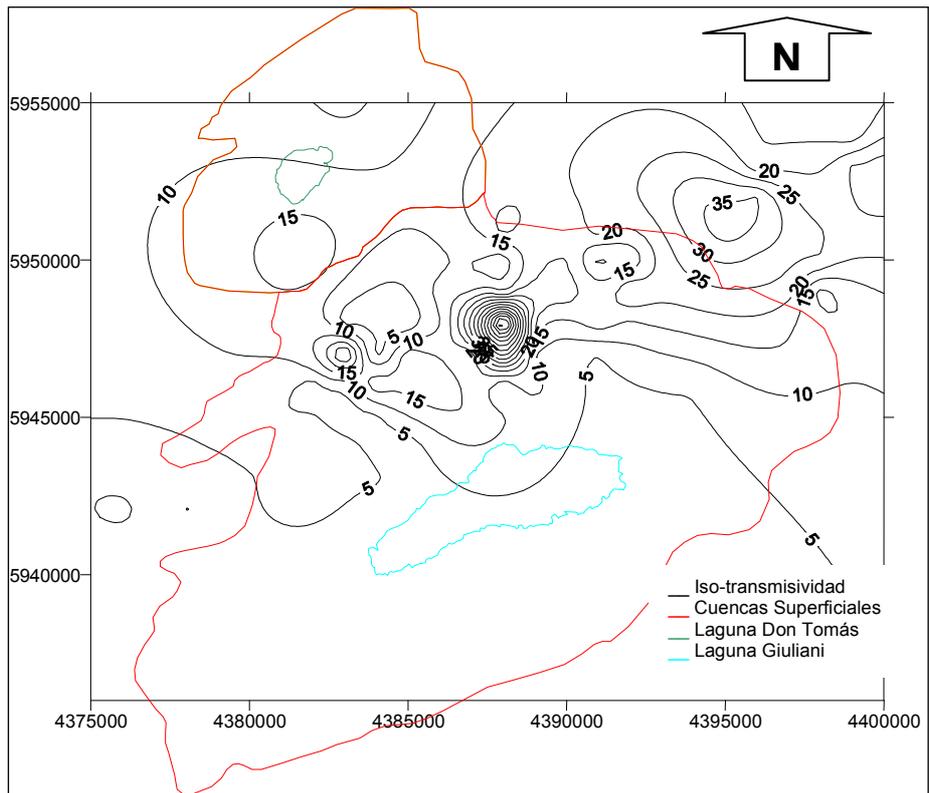


Figura 5.19 Mapa de iso-transmisividades en m^2/d

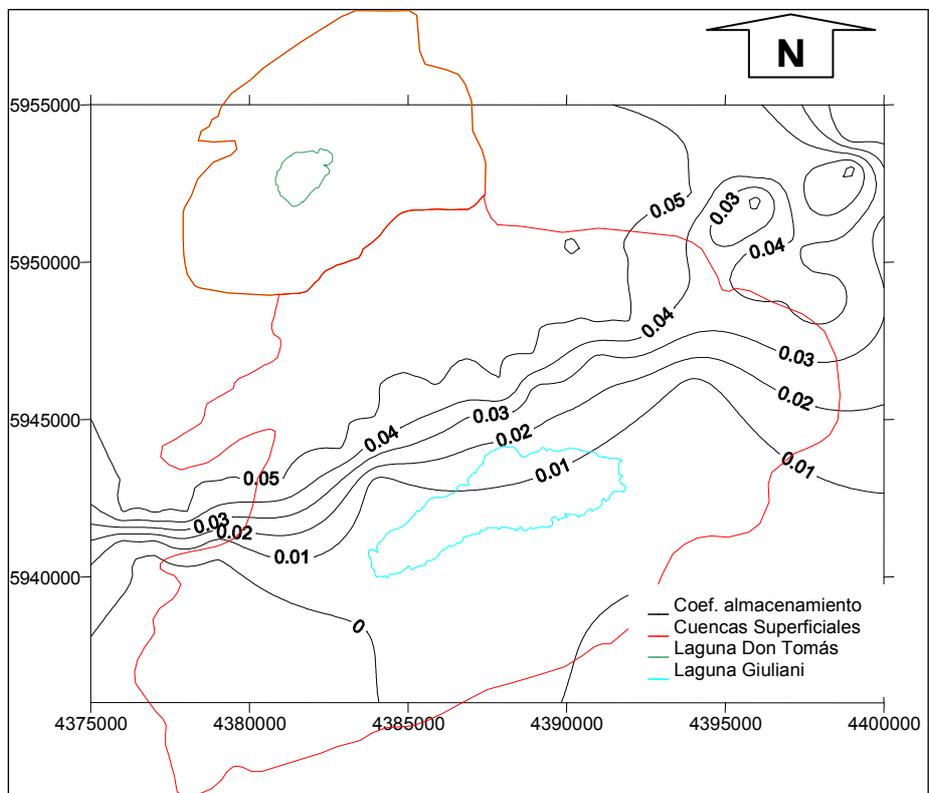


Figura 5.20 Mapa de isovalores de coeficiente de almacenamiento

En tabla 5.12 se observan los desvíos standard, valores medios, máximos y mínimos correspondientes a los caudales de bombeo extraídos por celdas. En tabla 5.13 se observan los caudales de bombeo extraídos por celdas.

Tabla 5.12 Desvíos standard, valores medios, máximos y mínimos de caudales de bombeo extraídos por celdas

	Profundidad (m)	Caudal bombeado (m ³ /h)	Caudal específico (m ³ /h/m)	Coefficiente de almacenamiento	Tiempo de bombeo (hs)	Transmisividad (m ² /día)	Conductividad hidráulica (m/día)
Promedio	27,466	10,578	0,596	0,041	7,316	13,191	0,737
<i>desvío estándar</i>	<i>12,064</i>	<i>8,632</i>	<i>0,539</i>	<i>0,016</i>	<i>3,819</i>	<i>12,421</i>	<i>0,873</i>
Máximo	56,000	36,000	3,791	0,063	19,000	85,000	6,250
Mínimo	6,740	0,837	0,037	0,003	1,000	0,600	0,050

Tabla 5.13 Caudales de bombeo extraídos por celdas

Celda	Caudal diario (m ³ /día)										
17,0	574,1	56,0	113,2	92,0	190,8	121,0	229,0	149,0	113,8	189,0	43,1
19,0	365,0	60,0	381,9	93,0	665,7	127,0	40,1	152,0	190,8	203,0	286,4
27,0	229,6	70,0	86,1	94,0	156,6	128,0	386,5	153,0	190,8	209,0	61,0
31,0	524,8	71,0	117,4	95,0	398,6	129,0	57,4	163,0	251,1	224,0	12,7
33,0	357,8	72,0	16,3	96,0	399,6	131,0	107,3	165,0	156,6		
34,0	489,6	73,0	859,1	107,0	572,8	133,0	219,2	167,0	101,1		
38,0	381,9	74,0	859,1	108,0	13,0	134,0	572,8	168,0	101,1		
46,0	17,9	75,0	381,9	109,0	811,2	135,0	103,4	170,0	59,7		
49,0	149,7	76,0	501,0	110,0	470,3	139,0	294,5	183,0	156,6		
52,0	54,8	81,0	310,2	111,0	114,5	145,0	102,7	184,0	47,0		
53,0	357,8	87,0	58,7	112,0	202,9	146,0	114,5	185,0	76,3		
54,0	429,6	89,0	93,9	113,0	477,2	147,0	85,8	186,0	93,0		
55,0	343,5	90,0	117,4	115,0	393,7	148,0	117,4	188,0	38,2		

Condiciones de borde

Se consideró condición de no flujo en las divisorias subterráneas ubicadas según el plano de isopiécicas (Figura 5.12) extendiendo el área de la modelación con celdas perimetrales al dominio interno.

Se consideró como condición de borde interna el área del bajo Giuliani con nivel establecido a la cota dinámica del mismo, estimada en promedio con el valor de 130 IGM.

Condiciones iniciales

Se adoptaron condiciones iniciales para el comienzo de la simulación, suponiendo que el sistema subterráneo se encuentra equilibrado en recargas y extracciones por bombes, operando bajo las condiciones de contorno internas y externas que se impusieron. Las extracciones en el área de estudio totalizan aproximadamente 17.450 m³/d.

Esto se propuso ante la ausencia de información histórica de niveles freáticos en la totalidad de los pozos. Operativamente se realizaron corridas del módulo subterráneo hasta que las cotas no cambiaron significativamente. Para alcanzar el equilibrio se propuso una recarga total equivalente al volumen extraído por bombeo, distribuida equitativamente en las celdas no bombeadas.

5.8.3 Submodelo de la Zona no Saturada

Las profundidades máximas del acuífero freático oscilan en los cincuenta metros, en el sector de la

cabecera de cuenca (Figura 5.15).

En este trabajo se adoptó una discretización espacial Δz de 1,0 metro (m). La Zona No Saturada se modeló con una profundidad máxima de 60 m totalizando 60 nodos verticales por cada celda interna de superficie y/o subterránea. En total se consideraron 464 celdas internas.

La discretización temporal (Δt) fue adoptada en 100 segundos para el modelo de flujos durante eventos lluviosos y de 360 segundos para el modelo de flujos en evapotranspiración. Estos valores de Δt garantizan condiciones de estabilidad según se ha analizado previamente, aunque se ha incorporado una rutina en el modelo que evalúa el cumplimiento de la condición de Courant (que debe verificarse en los esquemas numéricos explícitos) en cada instante de cálculo.

Para la caracterización de los suelos del lugar se consideraron las cartas de suelo publicadas por INTA (Cano, 1980). Allí se clasifican los mismos, considerando tres áreas geomorfológicamente diferenciadas: (a) loma, (b) pendiente y (c) bajo.

En función de las composiciones texturales, granulometrías, pH, capacidad de intercambio catiónico y densidades de cada sector, publicadas en las cartas de suelo del INTA, se utilizaron las funciones de pedotransferencia de Puckett, Rawls y Brakensiek, incluidas en el software SOILPAR (Donatelli et al 1996) obteniéndose los parámetros del modelo de Brooks-Corey para cada sector (Tabla 5.14).

Tabla 5.14 Parámetros del Modelo de Brooks-Corey

Área	K_s cm/h	θ_r adim.	θ_s adim.	Ψ_c Cm	λ adim.
Loma	0,63	0,08	0,5	29	0,35
Pendiente	0,71	0,09	0,5	32	0,47
Bajo	0,26	0,07	0,5	145	0,33

Siendo:

K_s = conductividad hidráulica del suelo saturado.

θ_r = humedad correspondiente a saturación irreductible o humedad residual.

θ_s = contenido de humedad para medio saturado.

Ψ_c = potencial matricial crítico de succión del suelo.

λ = parámetro adimensional conectividad de poros.

Condiciones iniciales

Los perfiles iniciales de humedad fueron calculados mediante simulaciones de los modelos de flujo en la ZNS. Una condición inicial se generó mediante la simulación de un período arbitrario bajo recarga nula constante.

Fueron obtenidos los perfiles de humedad para todas las celdas a razón de 60 nodos por celda. Se obtuvieron de esta manera los perfiles de equilibrio correspondientes a la condición de no flujo en la ZNS, proponiendo además un equilibrio con la posición del acuífero freático determinado para cada celda.

5.8.4 Submodelo de Celdas Superficiales - Coberturas y almacenamientos en superficie

Para completar la información requerida por el modelo SHALL3, resta caracterizar los parámetros que definen los procesos de superficie: cotas referidas a IGM de los centros de celdas Z_s , capacidad máxima de almacenamiento por interceptación f_{vmax} , porcentajes de cobertura vegetal $pcv(t)$, capacidad de almacenamiento superficial AS_{Max} y profundidad radicular Z_a .

Las cotas de centros de celdas superficiales se extractaron de cartografías del IGM a escala 1:50000 previa digitalización y geo-referenciación de las curvas de nivel. Para ello, se superpuso a las mismas la grilla superficial formada por celdas de 1 km² cada una, mediante el programa Arc-View.

Para la estimación de la capacidad máxima de interceptación f_{vmax} se consultó bibliografía específica

(Chow, Mays y Maidment, 1994) y a personal del INTA Anguil, analizando el tipo de cultivo en cada caso. Los valores considerados promedian una capacidad máxima de intercepción del orden de 5 mm.

El almacenamiento se recarga con la precipitación, afectada por un coeficiente que determina el porcentaje de cobertura vegetal, pcv , que depende del área cultivada por subcuenca ó celda, fcu , y del desarrollo y tipo del cultivo, es decir de factores del tiempo y del cultivo, fa_i y ft_i :

$$pcv(t) = fcu * \sum_{i=1}^N fa_i * ft_i \quad (5.4)$$

donde fcu es la razón entre el área cultivada y el área total de la celda, fa_i es la razón entre el área sembrada con un determinado cultivo i y el área sembrada total de la celda, ft_i es una función del tiempo que representa el grado de crecimiento del cultivo i y N la cantidad de variedades sembradas en la celda.

Los factores de cultivo para cada celda se estimaron en base a la clasificación de imágenes de satélite aplicando análisis multiestacional. Ello permitió conocer la clase de cultivo y porcentaje del mismo sobre el total, en cada celda.

En figura 5.21, se superpusieron la grilla y las cuencas superficiales a la imagen de satélite correspondiente al mes de marzo de 2006.

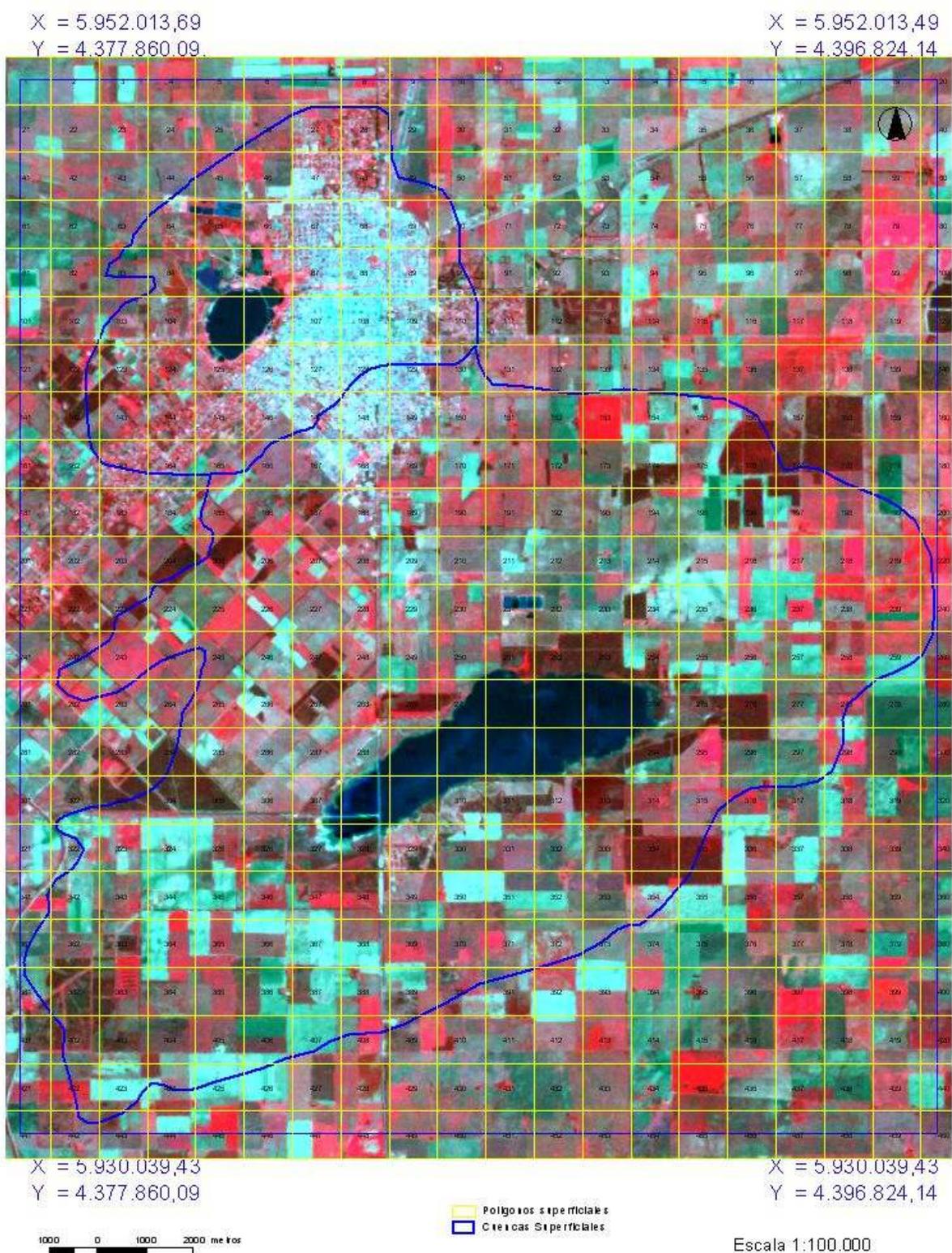


Figura 5.21 Grilla y Cuencas Superficiales sobre Imagen 2006

Mediante el análisis multiestacional, se realizó una clasificación supervisada que permitió conocer las clases de cobertura vegetal existentes dentro de las cuencas superficiales de la ciudad de Santa

Rosa (figura 5.10). Al superponer la grilla a dicha clasificación, pudo determinarse el porcentaje de cada clase de cobertura vegetal por celda, como paso preliminar para aplicar el Modelo SHALL3 (figura 5.22).

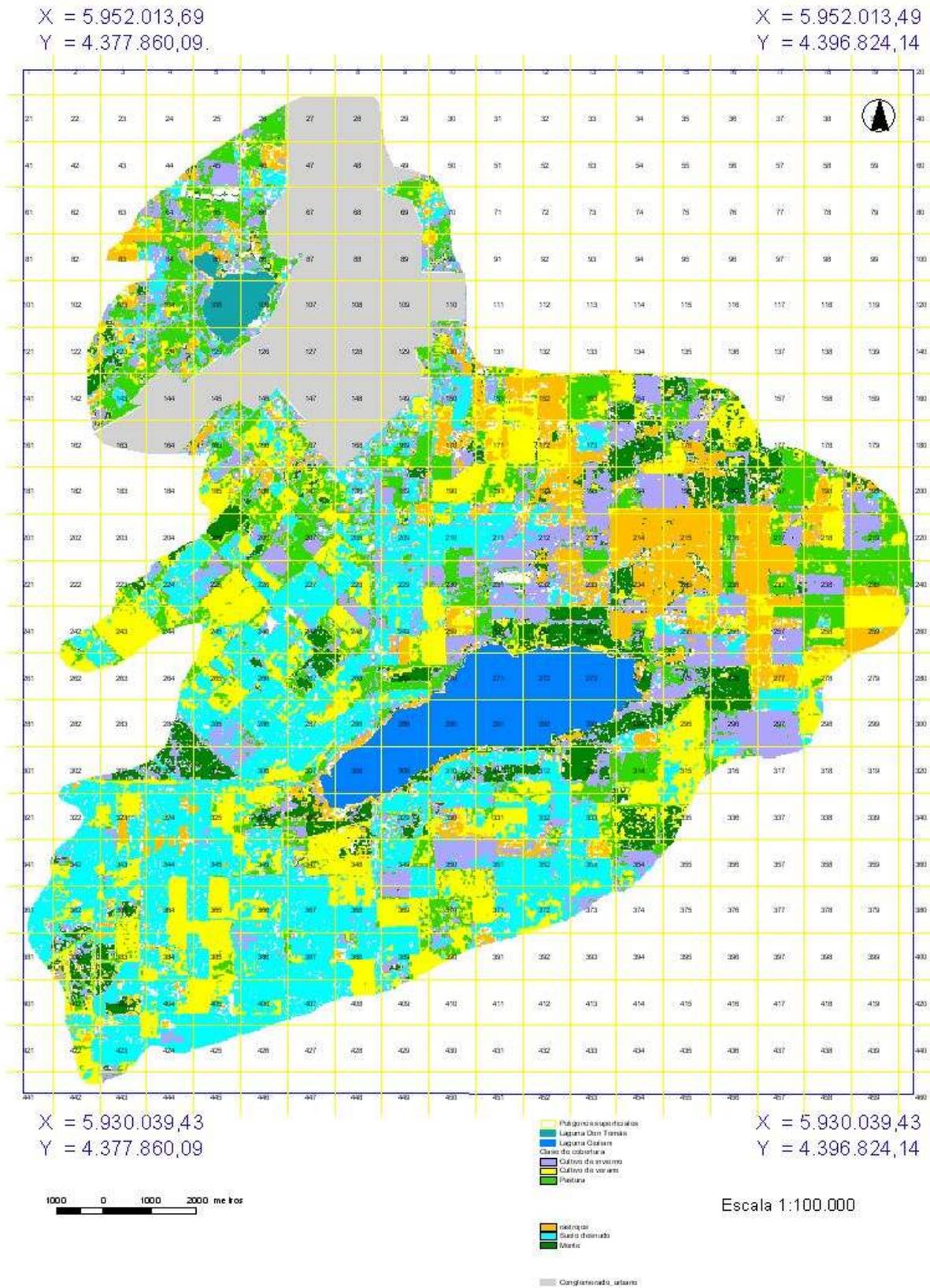


Figura 5.22 Grilla sobre Clasificación Supervisada en Cuencas Superficiales

En tabla A.5.2, se presenta la razón entre el área de cada clase de cobertura (f_{past} , f_{desn} , f_{cver} , f_{urb} , f_{lag} y f_{cinv}) y el área total de la celda, cuyas sumatorias se dividen por el total de celdas cubiertas (256) y el valor resultante se multiplica por el uso consuntivo de cada clase, obtenido en punto 5.2.1. De esta manera, se puede determinar el uso consuntivo de la totalidad de celdas.

Así por ejemplo, se determinó para épocas húmedas un uso consuntivo total de 459 milímetros anuales, valor similar al obtenido en punto 5.2.1 para las dos cuencas superficiales (476,2 milímetros anuales), validando los porcentajes de cobertura vegetal calculados individualmente para cada celda.

Las funciones del tiempo que representan el grado de crecimiento del cultivo se adoptaron por simplicidad con una ecuación parabólica. Con frecuencia se representan mediante trapecios asimétricos, p/ej. los coeficientes de cultivo que regulan la evapotranspiración del cultivo en el método de Blaney-Criddle, Hargreaves, etc. Una representación parabólica simplifica la ecuación sin introducir gran error.

Se sistematizaron las parábolas para diferentes cultivos en función de su período de desarrollo, alcanzando el pico de crecimiento en el centro del período. Las ecuaciones del crecimiento fueron del tipo siguiente:

$$f_t = at^2 + bt \quad \text{donde } a = -\frac{4}{T^2}; \quad b = \frac{4}{T} \quad (5.5)$$

donde t es el tiempo en días, T el período del cultivo en días y f_t el factor de crecimiento, en el rango 0 – 1.

Las fechas de siembra se consideraron para cada cultivo en forma diferenciada consultando para ello al Doctor Alberto Quiroga, técnico perteneciente al INTA Anguil.

Los coeficientes de las coberturas de cada cultivo, f_{a_i} , se estimaron en base al procesamiento de imágenes de satélite, realizado con el apoyo del Ingeniero Mauricio Farell, quien también se desempeña en el INTA Anguil.

La profundidad radicular del cultivo debió estimarse a los fines de determinar los nodos de la ZNS afectados por la evapotranspiración. A tal efecto se consideró una función del tiempo y del cultivo, semejante a p_{cv} , de la forma siguiente:

$$Z_a(t) = f_{cu} * \sum_{i=1}^N f_{a_i} * f_{t_i} * Z_{a_i} \quad (5.6)$$

donde Z_{a_i} representa la profundidad de raíz del cultivo i , en tanto que el resto de las variables fue previamente definidas y estimadas.

Para el trigo y soja, se adoptó una profundidad de raíces media de 1.40 m, mientras que para el maíz y girasol se adoptó una profundidad de 1.90 m.

El almacenamiento superficial se consideró como una capacidad máxima a abastecer una vez satisfecha la interceptación, de la siguiente manera:

$$AS = \text{mínimo} [AS_{Max}, P - Int] \quad (5.7)$$

donde AS es el almacenamiento superficial (milímetros) y AS_{Max} la capacidad de almacenamiento de la cuenca (milímetros).

Capítulo 6: Resultados y Discusión

6.1 Calibración del Modelo SHALL3

El modelo hidrológico SHALL3 fue concebido con parámetros de base física, esto implica que los mismos pueden establecerse sin necesidad de una calibración con datos observados del prototipo.

No obstante, para reducir incertidumbres o heterogeneidades en terreno no consideradas y ante la posibilidad de estimar razonablemente escurrimientos en ambos sistemas de estudio, se consideró la posibilidad de calibrar algunos de sus parámetros.

Considerando a las lagunas Don Tomás y el Bajo Giuliani como sistemas hidrológicos cerrados, y a efectos de conocer los escurrimientos superficiales, se realizaron balances hidrológicos puntuales en las mismas.

En virtud que, el resto de las componentes del balance fueron medidas, durante los meses de octubre 2006 - abril 2007, se dedujeron los escurrimientos superficiales mensuales para cada laguna, que fueron utilizados para calibrar el modelo SHALL3.

En el terreno de la calibración del SHALL, conforme a como se ha presentado el modelo, puede observarse que los parámetros que contempla son numerosos y regulan los procesos de almacenamiento y flujos en superficie, zona vadosa y zona saturada.

Se ha demostrado la alta sensibilidad que presentan los procesos subterráneos (observables en el sistema mediante los niveles freáticos) y los procesos hidrológicos superficiales (observables a través de volúmenes de escurrimiento) frente a los parámetros que caracterizan la ZNS: (conductividad hidráulica vertical, succión crítica y conectividad de poros). Esto resalta el rol protagónico que ejerce la zona vadosa en la recarga freática y en la infiltración, que constituyen los procesos que interconectan la hidrología superficial y la subterránea.

En trabajos previos (Zimmermann, 2003) se concluyó en la conveniencia de realizar una calibración global que incluya las conductividades hidráulicas verticales, succión crítica y conectividad de poros de la ZNS, y conductividades hidráulicas horizontales y coeficientes de almacenamiento de la ZS para garantizar una reproducción satisfactoria de escurrimientos y niveles freáticos observados en el sistema real.

En este caso de aplicación, se consideró como único parámetro de calibración un coeficiente que multiplica las conductividades hidráulicas verticales de todas las celdas componentes del modelo, dado que es el más relevante de los tres parámetros que regulan los procesos en la ZNS.

El hecho de considerar solamente un parámetro sujeto a calibración, puede resultar una simplificación importante. No obstante ello, la ausencia de información freatimétrica durante el período considerado para la calibración, imposibilitó el ajuste de los parámetros que regulan los procesos subterráneos, de manera conjunta con los demás.

6.2 Balance Hidrológico de las Lagunas

Conocido el funcionamiento del sistema hidrológico y las variables que intervienen en el mismo, se realizó un Balance Hidrológico Mensual en las lagunas Don Tomás y del Bajo Giuliani, comenzando en octubre de 2006. El Balance Hidrológico fue calculado mediante la siguiente expresión:

$$E_S \times \left(A_{Lag} / A_{Cuenca} \right) = \Delta L - P - (Q_{PT} + Q_{Subt.} + Q_{Bomb.}) \times \frac{\text{mes}}{A_{Lag}} + E_V + Inf \quad (6.1)$$

Siendo:

E_S = Escurrimiento superficial.

A_{Lag} = Área laguna.

A_{Cuenca} = Área cuenca.

ΔL = Variación Nivel de pelo de agua en lagunas.

P = Precipitación.

Q_{PT} = Caudal Planta Tratamiento líquidos cloacales (no interviene en el balance de Don Tomás).

$Q_{Subt.}$ = Caudal Subterráneo (no interviene en el balance de Don Tomás).

$Q_{Bomb.}$ = Caudal bombeo Laguna Don Tomás (negativo en Don Tomás y positivo en Giuliani).

E_v = Evaporación.

Inf = Infiltración.

6.2.1 Estimación de los componentes del balance

Variación de niveles de las Lagunas

La variación de niveles de las lagunas del Bajo Giuliani y Don Tomás fueron medidas mensualmente y después de cada lluvia representativa. Asimismo, se recogieron datos existentes en la Dirección Nacional de Vialidad, correspondientes a cotas de la laguna Giuliani durante la época de inundaciones.

En tabla A.6.1 (Anexo 1) se observan los valores registrados y en gráfico A.6.1 (Anexo 1) se presenta la evolución anual de la cotas de pelo de agua de la laguna Giuliani, desde el año 1985 hasta el año 2007, donde puede apreciarse el aumento registrado en la misma durante los últimos años (no se cuenta con registros de la laguna Don Tomás para el mismo período).

En gráficos 6.1 y 6.2 se observa la variación de la cotas del pelo de agua de las lagunas desde el 28 de septiembre de 2006 hasta el 27 de septiembre de 2007. No se poseen otros registros.

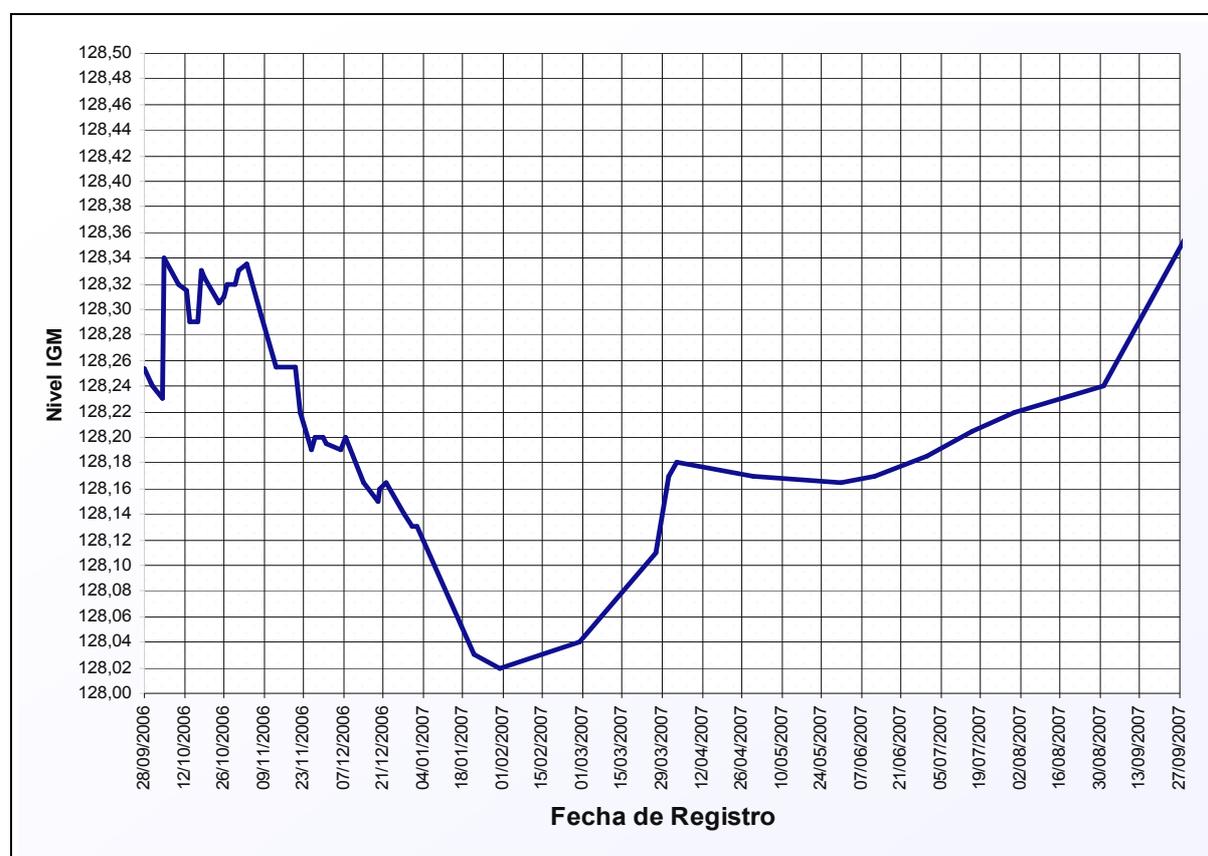


Gráfico 6.1 Niveles medidos Laguna Bajo Giuliani (años 2006-2007)

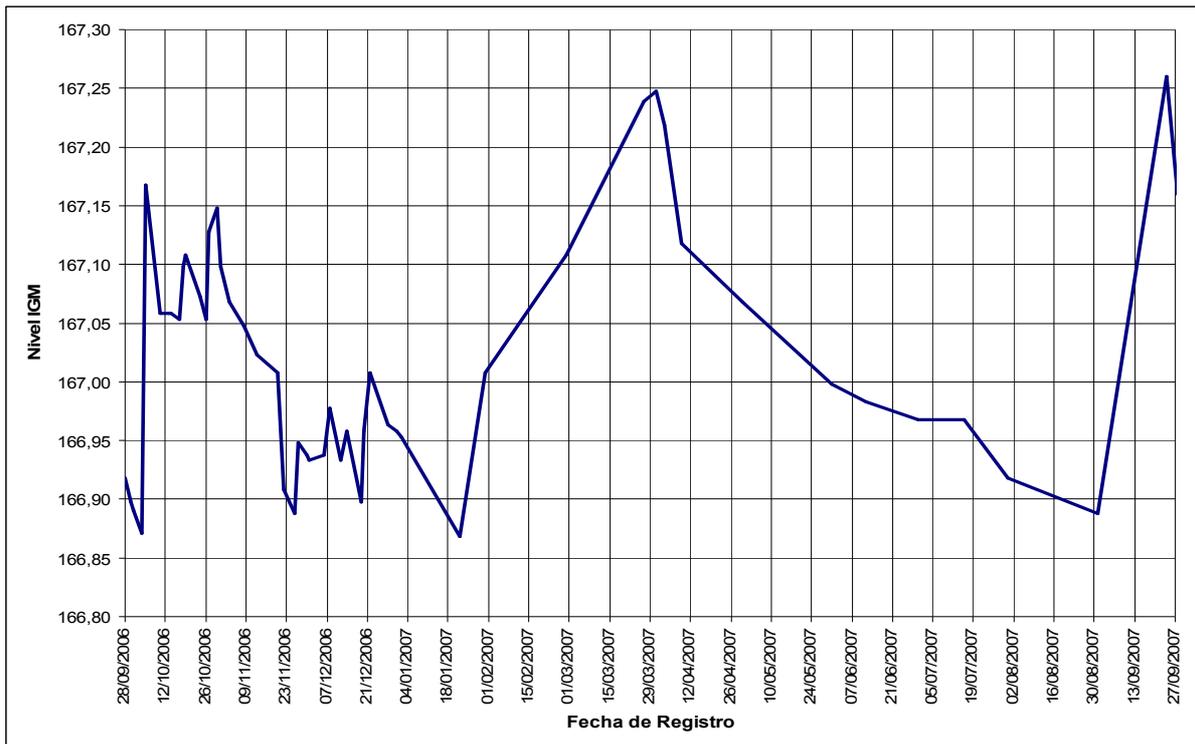


Gráfico 6.2 Niveles medidos Laguna Don Tomás

Precipitaciones (P)

Las precipitaciones mensuales registradas en los tres pluviómetros que se observan en figura 5.11, se ponderaron para cada cuenca, de acuerdo a las áreas determinadas mediante polígonos de Thiessen, y se presentan en tabla 6.1:

Tabla 6.1 Precipitaciones Mensuales Cuencas

Fecha	Precipitación Cuenca Guliani (mm)	Precipitación Cuenca Don Tomás (mm)
Sep-06	26,1	26,8
Oct-06	108,9	123,6
Nov-06	28,1	18,8
Dic-06	87,3	98,2
Ene-07	73,3	77,7
Feb-07	59,3	106,9
Mar-07	144,1	191,5
Abr-07	14,5	15,3
May-07	0,0	0,2
Jun-07	2,4	1,8
Jul-07	0,8	2,0
Ago-07	14,0	17,0
Sep-07	98,8	105,6

De acuerdo a la ubicación de los pluviómetros se registran distintos valores de precipitación, y generalmente son mayores en la cuenca Giuliani. Se observa que las estaciones primavera y verano son más lluviosas que otoño e invierno, como era de esperar de acuerdo a los registros históricos. La suma anual es del orden de la media histórica.

Caudales de Plantas de Tratamiento de Líquidos Cloacales (Q_{PT})

Los Caudales de las Planta de Tratamiento (Q_{PT}) de líquidos cloacales fueron entregados mensualmente por la Sub-Dirección de Hidráulica Municipal, y se presentan desde el mes de marzo de 2006, en tabla 6.2.

Tabla 6.2 Caudal Plantas de Tratamiento

Fecha	QPT(m³/mes)	QPT(m³/día)
03/06	561616	18117
04/06	519234	17308
05/06	517382	16690
06/06	511041	17035
07/06	515581	16632
08/06	552109	17810
09/06	537509	17917
10/06	591331	19075
11/06	557179	18573
12/06	648788	20929
01/07	629258	20299
02/07	577294	20618
03/07	652260	21041
04/07	565819	18861
05/07	583347	18818
06/07	552180	18406
07/07	549227	17717
08/07	588783	18993

Obviamente, se observan mayores caudales entre los meses de diciembre y marzo, en virtud de la mayor utilización de agua potable en ellos. El caudal promedio diario de los 18 meses consignados es de 18.600 m³/día, mientras que los caudales esperados en los estudios antecedentes estimaban 20.000 m³/día para el mismo período.

Caudal Subterráneo ($Q_{Subt.}$)

Suponemos que puede admitirse como válida la Ley de Darcy para calcular la alimentación de la Laguna Giuliani desde el acuífero. Por lo tanto:

$$Q_{Subt.} = T \times I \times L \quad (6.2)$$

Donde T es transmisividad del acuífero, I el gradiente piezométrico y L el perímetro de la laguna.

Respecto a la transmisividad, si bien hay distintos valores según la zona, a efectos del cálculo, se consideran las correspondientes a pozos cercanos a las lagunas. Ya que, aunque el flujo provenga de zonas con mayores transmisividades, se considera que las correspondientes a la zona de descarga de la laguna son las que regulan el escurrimiento subterráneo.

Para la laguna Giuliani, del pozo de explotación "Club de Campo La Cuesta del Sur" ubicado según coordenadas -64° 16' 50"; -36° 43' 48", se recogieron los siguientes datos: Caudal de bombeo = 1,4 m³/h; depresión = 10 metros. Por lo tanto, el caudal característico o específico del pozo es:

$$Q_{caract.} = \frac{Q_{Bomb.}}{Depr.} \quad (6.3)$$

$$\Rightarrow Q_{caract.} = 0,14 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}.$$

Con este valor de caudal característico, considerando un coeficiente de almacenamiento promedio $S = 0,005$ y un tiempo de bombeo de 4 horas, se obtuvo la transmisividad. Se utilizaron las Curvas de Conversión para Acuíferos de Theis (Auge-Temporetti). Año 1974), correspondientes a 1 y 6 horas de bombeo e iterando se obtuvo $T = 2,43 \text{ m}^2/\text{día}$. A modo de ejemplo, se presenta en gráfico 6.3 la curva correspondiente a 6 horas de bombeo.

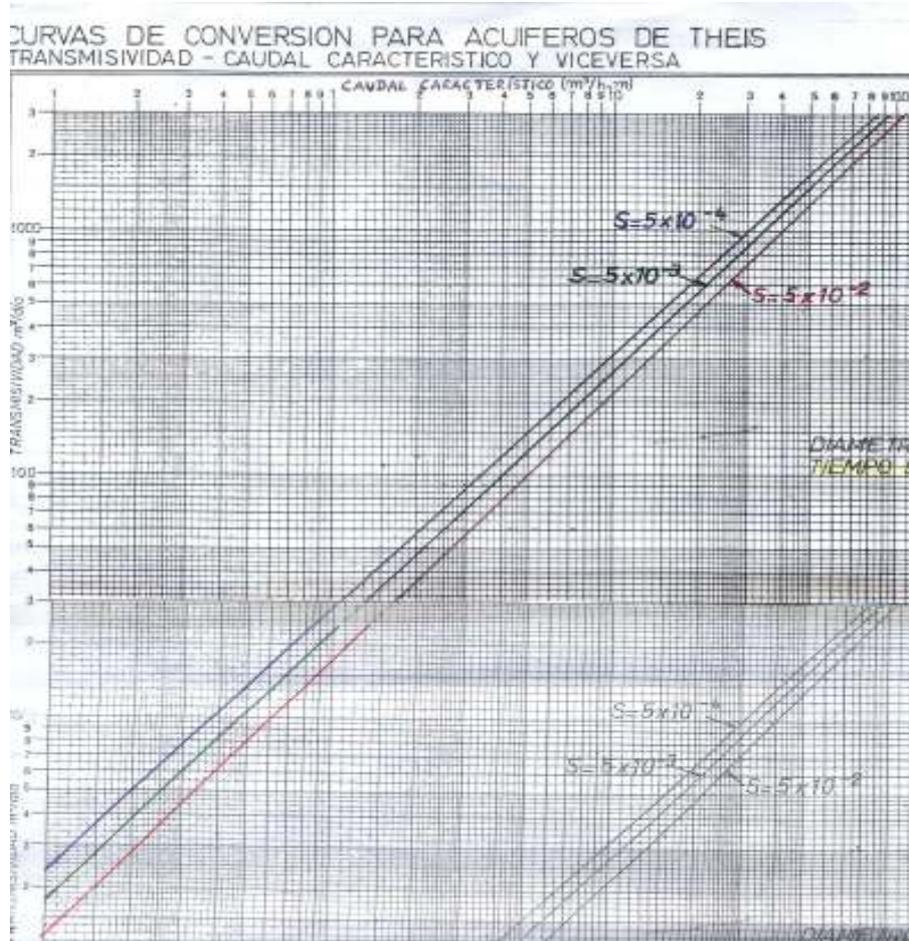


Gráfico 6.3 Curvas de Conversión para Acuíferos de Theis (Auge-Temporetti)

No se contó con datos de otros pozos de explotación en la zona, pero la conformación geológica limo-arcillosa con arena, le confiere propiedades arealmente semejantes, considerándose por ello representativo los valores de transmisividad y permeabilidad obtenidos del único pozo analizado.

Para calcular la transmisividad del acuífero debe multiplicarse su espesor por su permeabilidad. Para considerar el espesor del acuífero, se mide desde el fondo del pozo hasta el nivel estático de éste, distinto que en el cálculo de la transmisividad del pozo, donde se utiliza su nivel dinámico. En consecuencia:

$$T_{\text{acuífero}} = 0,28 \times 18,80 = 5,26 \text{ m}^2/\text{día}.$$

En el Estudio para El Saneamiento y Control de Niveles de la Laguna Don Tomás y el Desarrollo Integral de su Área de Influencia, se consignaron valores de ensayos en la zona de Toay, cercana al Bajo, donde los caudales específicos variaban entre $0,084$ y $0,23 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}$ y la transmisividad era $1,5 \text{ m}^2/\text{día}$. (Consortio EIH, 1986 a). Si bien, el valor de transmisividad obtenido sería superior al esperado, al no contar con otros valores de pozos en la zona, se considerará aceptable el obtenido para el pozo como representativo del acuífero.

La pendiente media se obtuvo promediando 19 pendientes puntuales, resultantes de las diferencias de cotas entre 19 puntos determinados por PIAS en el año 1975 y el nivel de la laguna, teniendo en

cuenta el ascenso global de 4,15 metros adoptado para la totalidad de las curvas isopiécicas. La ubicación de estos puntos se puede visualizar en figura 5.13.

En virtud que dichas cotas son fluctuantes, se estimó su evolución en base a mediciones mensuales de los niveles estáticos (N.E.) correspondientes a los cuatro pozos de exploración ubicados en las cercanías de la laguna. En tabla A.6.2 se presentan estos niveles, medidos desde terreno natural, y se consigna el valor correspondiente al año 2001 (época de inundaciones en la ciudad), a efectos comparativos. Se observa una disminución de niveles freáticos aproximada de 3,35 metros promedio, entre noviembre de 2001 y septiembre de 2007. En este lapso, los registros de precipitaciones representaron 553 milímetros anuales promedio (tabla A.4.2).

En tabla A.6.3 se consignan las variaciones mensuales de los niveles freáticos de los cuatro pozos, y las precipitaciones registradas entre mediciones, durante el último año (octubre 2006-septiembre 2007). También se obtienen las variaciones anuales y su valor promedio, junto a la precipitación anual. Se observa una disminución promedio del nivel del acuífero de 0,47 metros, entre octubre de 2006 y septiembre de 2007, en correspondencia con un registro de precipitaciones de 631,5 milímetros.

Esta variación media anual de los niveles estáticos (0,47 metros), se restó a cada cota (H_i) de los 19 puntos determinados por PIAS, cuando se consideraron en agosto 2007, para obtener las diferencias de nivel (Δh) entre ellos y la cota de la laguna Giuliani ($H_{lag.}$) correspondiente a las mismas fechas. Se consideró la variación media anual, porque las variaciones mensuales no resultaron significativas por ser muy pequeñas. Las pendientes fueron calculadas mediante la siguiente fórmula:

$$i = \frac{\Delta h}{\Delta l} = \frac{(H_i - H_{lag.})}{d_i} \quad (6.4)$$

Así, se obtuvieron las pendientes correspondientes a los 19 puntos y sus medias para los meses de septiembre 2006 y agosto 2007. En tabla A.6.4 se observan los valores correspondientes a los meses citados, en base a los cuales se obtuvo el valor promedio anual de la pendiente media = 0,00293.

El perímetro de la laguna (L) se obtuvo promediando valores obtenidos mediante imágenes de satélite correspondientes a marzo y diciembre de 2006. Los valores se estimaron mediante el programa Arc-View y fueron 19.529,6 m. y 18.113,2 m. respectivamente. No se contó con imágenes satelitales correspondientes al año 2007, que hubieran permitido calcular con mayor exactitud los valores del perímetro. Por lo tanto, el perímetro considerado en el cálculo fue $L = 18.821,4$ metros.

En consecuencia, se calculó el caudal subterráneo utilizando la pendiente media entre los meses de septiembre 2006 y agosto 2007 y el perímetro medio estimado entre marzo y diciembre de 2006. Aplicando la Ley de Darcy:

$$Q_{\text{Subt.LBG}} = 5,26 \times 0,00293 \times 18.821,4 = 290 \text{ m}^3/\text{día}$$

Puede apreciarse el bajo valor del caudal subterráneo, en relación con los demás componentes que intervienen en el balance hidrológico. Por lo tanto, se entiende que las aproximaciones realizadas presentan poca incidencia en el balance general, y se considera apropiado el valor estimado para la laguna Giuliani.

Debe considerarse que las pérdidas en la red de agua potable, aproximadamente $13.100 \text{ m}^3/\text{día}$, contribuyen a alimentar el acuífero. Por lo tanto, en el balance se consideran incorporados al escurrimiento subterráneo que descarga en el Bajo Giuliani.

Al realizar un análisis similar para la **laguna Don Tomás**, se observó, según figura 5.13 y tabla 6.3, que los pozos ubicados en sus cercanías (La Malvina al Noroeste, Los Hornos al Suroeste, Circuito Diógenes, Quintana y Villegas al Noreste, dos pozos ubicados en la pileta de la laguna y uno más al Este) tienen niveles estáticos menores al pelo de agua de la laguna, que como mínimo se mantiene en 167 IGM. Es decir, que no alimentan a la laguna en la actualidad y por lo tanto no existe aporte de caudal subterráneo.

Tabla 6.3 Niveles Estáticos (N.E.) de Pozos cercanos a la Laguna Don Tomás (LDT)

Celda	Ubicación Pozo	N.E. (m)	Cota terreno (IGM)	N.E. (IGM)	N.E.mín. LDT (IGM)	ΔH (m)
269	N.O. La Malvina	9,80	172	162,20	167	4,80
271	L.D.T. (Este)	5,24	168	162,76	167	4,24
307	Pileta L.D.T.	2,50	167	164,50	167	2,50
308	Quintana y Villegas	7,95	170	162,05	167	4,95
342	Los Hornos	21,40	170	148,60	167	18,40
343	Laguna Don Tomás	10,30	171	160,70	167	6,30
344	Escalante y Olascaga	5,15	172	166,85	167	0,15
376	S.O. Los Hornos	22,47	195	172,53	167	-5,53
377	Com.Vec.V.Parque	15,10	185	169,90	167	-2,90
378	Circuito Diógenes	12,00	175	163,00	167	4,00
410	Brown-P.Colorado	12,50	187	174,50	167	-7,50
412	Club Rucalén	15,70	190	174,30	167	-7,30

Siendo:

N.E. (m) = nivel estático en metros, considerado desde boca de pozo.

N.E. (IGM) = nivel estático en metros sobre el nivel del mar IGM.

N.E.mín.LDT (IGM)= pelo de agua mínimo, correspondiente a la laguna Don Tomás en metros sobre el nivel del mar IGM.

ΔH (m) = diferencia de nivel entre el pelo de agua mínimo, correspondiente a la laguna Don Tomás y el nivel estático de cada pozo, en metros.

Se observa en tabla 6.3 que, en los pozos más alejados, sobre todo en la parte Suroeste (S.O. Los Hornos) en la parte Sur (Brown-Pecho Colorado y Club Rucalén) y en la parte Sureste (Comisión Vecinal de Villa Parque), los niveles estáticos comienzan a elevarse. Los pozos ubicados en la parte Sur-Suroeste, presentan mayor nivel, contribuyendo a la descarga hacia el Bajo Giuliani, en el Sureste de la ciudad.

Caudal de Bombeo desde laguna Don Tomás ($Q_{\text{Bomb.}}$)

El caudal de bombeo desde la laguna Don Tomás se estimó utilizando las curvas de rendimiento de dos bombas que funcionan en paralelo y las horas de funcionamiento de ellas (dato brindado por la Sub-Dirección de Hidráulica Municipal).

Funcionando simultáneamente, el caudal de las bombas es de aproximadamente 1410 m³/hora, de acuerdo al gráfico 6.4, correspondiente a las mismas. Existe registro aproximado de los días y horas en que se ha bombeado durante el período de estudio, por lo cual pueden determinarse los volúmenes mensuales extraídos a la laguna.

Para corroborar el caudal que extraen las bombas, se ha observado que la disminución del nivel de la laguna durante un día de bombeo es alrededor de 16 milímetros, dependiendo de la suciedad del canal de aducción, del tiempo de detención de las bombas para purgado, de su rendimiento según el mantenimiento y de la evaporación.

Dado que el área de la laguna durante esas observaciones fue aproximadamente de 1.599.695 m², se concluye que el caudal diario bombeado es:

$$Q_{\text{Bomb.L.D.T.}} = 0,016\text{m/día} \times 1.599.695\text{m}^2 = 25.595,12\text{m}^3/\text{día}$$

Por lo tanto, el caudal bombeado sería aproximado a 1066.5 m³/hora, es decir 0.76 del caudal que surge del gráfico 6.4. Valor considerado razonable, considerando la antigüedad de las bombas (año 1975).

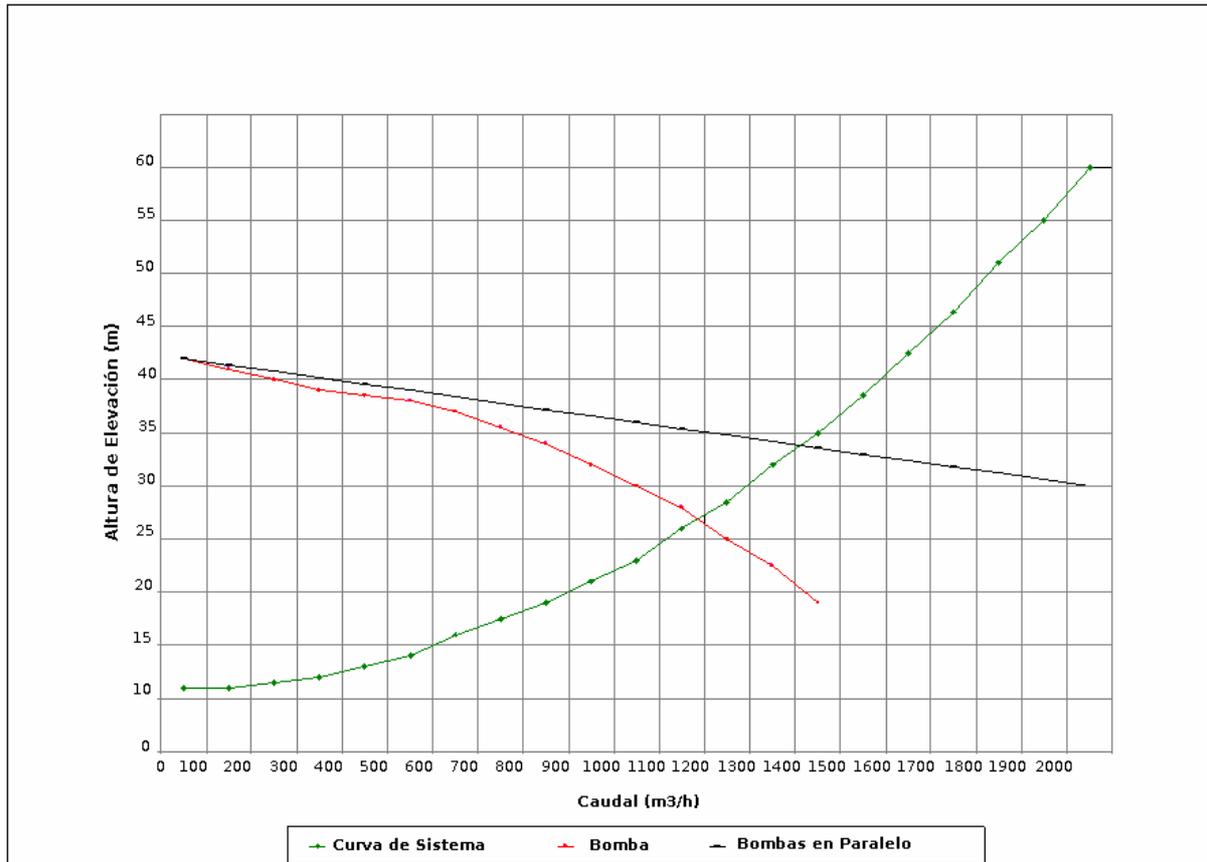


Gráfico 6.4 Curvas de Funcionamiento Bombas de Transvase Laguna Don Tomás - Bajo Giuliani

Evaporación (E_v)

Se consideró que para cuerpos extensos de agua (como las lagunas Don Tomás y Bajo Giuliani), el uso de la fórmula de Meyer en virtud de disponer de información meteorológica de buena calidad:

$$E_m = C \times (e_s - e) \times (1 + 0,06U_2) \quad (6.5)$$

Donde:

E_m = evaporación media mensual en milímetros (mm).

C = coeficiente empírico igual a 15 para tanques de evaporación ó charcos poco profundas, e igual a 11 para lagos profundos.

$(e_s - e)$ = Déficit higrométrico, medido en milímetros de mercurio (mmHg).

e_s = tensión de vapor saturante correspondiente a la temperatura media mensual del agua (en mmHg).

e = valor medio mensual de la tensión efectiva del vapor de agua en el aire (en mmHg).

U_2 = velocidad media mensual del viento, en metros por segundo (m/s), medida a 2 metros sobre la superficie del agua.

En el cálculo se adoptó $C = 15$, coeficiente correspondiente a charcas y lagos poco profundos, en virtud que las profundidades máximas de las lagunas Don Tomás y Giuliani, oscilan entre 2 y 3 metros. Los datos mensuales medios de déficit de saturación y velocidad del viento a 2 metros de altura, fueron brindados por el ingeniero Guillermo Casagrande, docente de la Facultad de Agronomía de la UNLPam.

El déficit de saturación (déf. Sat.) se obtiene mediante Tablas de doble entrada elaboradas por el Instituto Smithsonian, ingresando con valores de temperatura de bulbo húmedo y seco. La Facultad de

Agronomía utiliza un procedimiento inverso, ingresando con temperatura del aire y registro de humedad.

La velocidad del viento a 2 metros de altura es obtenida mediante un anemómetro totalizador ubicado en dicha Facultad. Ambas variables, se consignan en tabla A.6.5, desde enero de 2006 hasta junio de 2007, único período en que se registraron mediciones, en milibar (mb) y kilómetros por hora (Km/h):

Cabe recordar que 1 (mb) = 1 hectopascal y 101325 Pascales = 760 mmHg =>
1mb = (760/1013,25) mmHg. Asimismo, 1km/h = (1/3,6) m/s.

Por lo tanto, los valores de evaporación calculados mediante fórmula de Meyer se presentan en tabla A.6.6, siendo déficit de saturación Déf. Sat. (mm Hg) y velocidad del viento (Vel. Viento (m/s)

Debe considerarse como variante también, la pureza del agua. Para una misma temperatura, se estima en 1% el descenso de evaporación, al aumentar la concentración de sales en un 1%. (Remenieras, 1.974; Linsley et al, 1.967). Por lo tanto, deben afectarse estos resultados, de acuerdo a la concentración de sales existentes en las lagunas.

Los datos de concentración de sales los provee, mensualmente, la Sub-Dirección de Control de Calidad de la Municipalidad. En tabla A.6.7 se detallan las concentraciones de sales en cada una de las lagunas desde que se inició el presente estudio:

Se observa que las concentraciones promedios son 10,66 gr./L y 0,6 gr./L para las lagunas Giuliani y Don Tomás respectivamente. Dado que 1gr./100mL representa 1% de concentración de sal, significa que en cada laguna las concentraciones son de 1,07% y 0,06% respectivamente. En Tabla 6.4 se presenta el cálculo de la evaporación afectada por la concentración de sal en cada laguna, desde el mes de septiembre de 2006, hasta el mes de junio de 2007, por ser los únicos datos que se poseen:

Tabla 6.4 Evaporación afectada por concentración sales Lagunas Don Tomás y Giuliani

Fecha	Sal Bajo Giuliani (%)	Sal Don Tomás (%)	Evaporación Meyer (mm)	Correcciones Bajo Giuliani (mm)	Correcciones Don Tomás (mm)
30/09/2006	1,05	0,08	96,3	95,3	96,2
31/10/2006	0,96	0,07	71,5	70,8	71,4
30/11/2006	1,05	0,09	115,7	114,4	115,5
31/12/2006	0,99	0,07	122,6	121,3	122,5
31/01/2007	0,97	0,07	109,6	108,6	109,6
28/02/2007	1,23	0,04	82,3	81,3	82,2
31/03/2007	1,12	0,04	37,7	37,3	37,7
30/04/2007	1,09	0,05	33,0	32,6	32,9
31/05/2007	1,15	0,06	28,6	28,3	28,6
30/06/2007	1,19	0,06	45,9	45,3	45,8
31/07/2007	0,99	0,05	48,3	47,8	48,3
31/08/2007	1,00	0,03	47,4	46,9	47,4
30/09/2007	1,00	0,05	33,4	33,1	33,4

Se observa que la concentración de sales prácticamente no afecta los valores de evaporación en la laguna Don Tomás, pero toma un poco más de preponderancia en la laguna del Bajo Giuliani. Si bien, no produce un efecto significativo, un incremento de sales en el futuro cobraría importancia en este proceso. Ello podría producirse, ya que se estima que los líquidos cloacales tratados tendrán mayor incidencia que el resto de los componentes que llegan al Bajo Giuliani y son los que contienen mayor cantidad de sales.

Infiltración

La infiltración en ambas lagunas es muy baja y en estudios existentes se la consideró nula, debido a que el suelo es limo-arcilloso de muy baja permeabilidad, de acuerdo a lo dialogado con el Lic. Tullio.

Debe tenerse presente que las aguas de escorrentía arrastran importantes cantidades de suelos muy finos (limos), más materias orgánicas y oxígeno, produciéndose una continua y constante colmatación

de los poros pertenecientes a los suelos dispuestos en el fondo del reservorio. Este efecto hace disminuir considerablemente la infiltración, más aún si las aguas son permanentes.

El suelo bajo el embalse se satura totalmente, produciéndose el movimiento del agua bajo las leyes de la conductividad hidráulica; ésta toma valores pequeños resultando reducido entonces, el escape profundo del líquido.

Los valores de infiltración para cada laguna se estimaron en el mes de mayo 2007, dado que no se registraron precipitaciones en ninguno de los tres pluviómetros, y en virtud de conocerse las demás componentes del balance hidrológico. Se estimaron 80 mm/mes para la laguna Don Tomás y 35 mm/mes para la laguna del Bajo Giuliani, como se verá más adelante.

Escurrimiento superficial (E_s):

Aplicando la ecuación 6.1 con los datos calculados se obtuvieron como resultados los escurrimientos superficiales de las cuencas de estudio.

Los Balances Hidrológicos Mensuales efectuados, de acuerdo a mediciones realizadas en las Lagunas del Bajo Giuliani y Don Tomás, se presentan en tablas 6.5 y 6.6 respectivamente:

Tabla 6.5 Balance Hidrológico Mensual Laguna Bajo Giuliani

Fecha	Cota (IGM)	Precipitación (mm)	Evaporación Meyer (mm)	Q. P. T. (mm)	Q. Subt. (mm)	Q. Bomb. (mm)	Inf.(mm)	ΔL (mm)	Es (mm)
30/09/2006	128,243	26,1	95,3	50,6	0,4	0,0			
31/10/2006	128,330	109,5	81,4	54,1	0,4	8,3	35	87	1,88
30/11/2006	128,200	28,9	137,4	51,0	0,4	0,0	35	-130	0,00
31/12/2006	128,130	73,9	158,9	59,4	0,4	0,0	35	-50	0,62
31/01/2007	128,020	71,0	137,8	57,6	0,4	0,0	35	-110	0,00
28/02/2007	128,040	55,7	87,2	52,8	0,3	0,0	35	0	0,80
31/03/2007	128,170	119,4	40,0	59,7	0,4	21,2	35	150	1,47
30/04/2007	128,170	14,5	32,6	51,8	0,4	14,7	35	20	0,38

Tabla 6.6 Balance Hidrológico Mensual Laguna Don Tomás

Fecha	Cota (IGM)	Precipitación (mm)	Evaporación Meyer (mm)	Q. Subt. (mm)	Q. Bomb. (mm)	Inf.(mm)	ΔL (mm)	Es (mm)
30/09/2006	166,898	26,8	96,3	0	0,0			
31/10/2006	167,098	123,7	82,2	0	51,0	80	200	11,2
30/11/2006	166,938	18,8	138,8	0	0,0	80	-160	1,55
31/12/2006	166,958	98,2	158,1	0	0,0	80	20	6,19
31/01/2007	167,008	77,7	139,2	0	0,0	80	50	7,41
28/02/2007	167,108	106,9	88,0	0	0,0	80	100	6,23
31/03/2007	167,248	191,5	40,4	0	129,9	80	140	7,69
30/04/2007	167,068	15,3	30,7	0	90,0	80	-180	0,21

Se observa que la variable de menor incidencia es el caudal subterráneo en la laguna Giuliani, mientras que no existe en la laguna Don Tomás, en virtud que sus niveles son mayores actualmente que los de los pozos circundantes. También son pequeños los valores de escurrimientos superficiales, en relación con el resto de las variables. Son mayores los escurrimientos en la cuenca Don Tomás que en la cuenca Giuliani, evidenciando la mayor influencia urbana de la cuenca.

Los valores más importantes corresponden a la evaporación y precipitación. Los caudales de Plantas de Tratamiento cobran también importancia, sólo que su aporte es exclusivamente al Bajo Giuliani. El bombeo desde la laguna Don Tomás está relacionado con las épocas de precipitaciones. La infiltración cobra mayor importancia en la laguna Don Tomás, estimándose que puede estar relacionada con el menor contenido de sales en ella y consecuentemente menor impermeabilización.

6.3. Corridas de Simulación en el Período 2005-2007

Obtenidos mediante balance hidrológico en los cuerpos de agua a estudiar los valores estimados del escurrimiento, según se ha detallado en el punto anterior, se procedió a calibrar el modelo SHALL3 para ambas cuencas de aporte.

La calibración consistió en ajustar con un coeficiente las conductividades hidráulicas verticales de los suelos hasta que coincidiesen lo mejor posible los escurrimientos deducidos de los balances y los generados por el modelo.

El período seleccionado para la calibración fue setiembre de 2006 – abril 2007 para el cual se contó con registros de niveles de las lagunas. No obstante la simulación se realizó desde enero del 2005 para que las condiciones iniciales propuestas al comienzo de la simulación afectaran de manera mínima los resultados.

Para realizar la simulación del período 2005-2007 hubo que procesar información de entrada del modelo, específicamente datos horarios de precipitación y diarios de evapotranspiración potencial, según se describe a continuación.

6.3.1 Datos de entrada

Evapotranspiración potencial

Dentro de los métodos para estimar la evapotranspiración, existen los basados en balance de agua, en balance de energía, en perfiles de velocidad del viento y humedad atmosférica y en fórmulas empíricas.

Dentro de las fórmulas empíricas, es muy utilizada la de Penman modificada, que determina valores de evapotranspiración potencial, teniendo en cuenta la radiación al tope de la atmósfera y la temperatura. Su desarrollo es:

$$ETP = \left\{ \begin{array}{l} \text{Radiactivo} \\ \left[J_{ga} \times (1-a) \times \left(0.29 \times \cos \varphi + 0.52 \frac{h}{H} \right) - \sigma \times T^4 \times \left(0.33 - 0.033 \times \sqrt{T \times V_a} \right) \times \left(0.3 + 0.7 \times \frac{h}{H} \right) \right] \times \frac{1}{59} \times \frac{F'(t)/\gamma}{1 + \frac{F'(t)}{\gamma}} + \\ + \frac{0.26}{1 + \frac{F'(t)}{\gamma}} \times \left[\left(1 + 0.54 \times V \right) \times \left(T_S \times V_a - T \times V_a \right) \right] \\ \text{Adveectivo} \end{array} \right\} \quad (6.6)$$

Se desglosa en un término radiactivo, que depende de la radiación y la temperatura; y en un término adveectivo, que depende del viento y la evaporación.

Donde t = temperatura media diaria y permite el cálculo de

$$\left\{ \begin{array}{l} F'(t)/\gamma \\ T^4 \\ T_S \times V_a \end{array} \right.$$

φ = latitud del lugar en grados y minutos.

a = albedo elegido.

J_{ga} = radiación al tope de la atmósfera en cal/cm²día.

h = heliofanía efectiva (horas y décimos).

H = heliofanía teórica astronómica (horas y décimos).

$\sigma \times T^4$ = función calculada, conocido t .

T^4 = surge del cálculo en función de t .

$T \times V_a$ = tensión media del vapor del agua en el aire (mb).

$\frac{F'(t)}{V}$ = derivada de la tensión del vapor, respecto de la temperatura.

V = velocidad del viento a 2 m de altura (m/seg) (se calcula).

$T_s \times V_a$ = tensión saturada del vapor del agua a la temperatura t (se calcula).

El término $\left[J_{ga} \times (1-a) \times \left(0.29 \times \cos \varphi + 0.52 \frac{h}{H} \right) \right]$ se reemplaza por la radiación medida, si se cuenta con dicho dato.

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial, la fórmula de Penman fue considerada la más exacta, en virtud que intervienen mayor cantidad de componentes atmosféricos. En tabla A.6.8 se consignan valores mensuales, correspondientes al INTA Anguil, donde se ha empleado un término radiactivo medido en la estación, dado que se cuenta con dicho dato. En el modelo se emplea el dato diario de evapotranspiración, calculado con la expresión de Penman utilizando los datos de la estación Anguil.

Se consignan además, en tabla A.6.8, valores mensuales de evapotranspiración potencial, calculados mediante una estación automática existente en la Facultad de Agronomía de la UNLPam, que también utiliza la fórmula de Penmann con radiación medida. Se pueden apreciar algunas diferencias entre los valores de ETP de la UNLPam y del INTA Anguil. Si bien, esta localidad está ubicada a 30 km de Santa Rosa y los climas son muy similares, pueden considerarse relativamente representativos los valores de Anguil, para las cuencas de Santa Rosa.

Precipitaciones horarias.

Los pluviómetros del Servicio Meteorológico Nacional (SMNac), Hidráulica (Hidra) y de la Planta de Tratamiento Sur (PTSur), solo proveen información de precipitaciones diarias. En el modelo, se incorporaron series sintéticas de precipitaciones horarias para los tres pluviómetros, confeccionadas utilizando como base los registros horarios del pluviógrafo existente en la Facultad de Agronomía (FdA).

A los efectos de completar la matriz de entrada para el programa de simulación, se consideró la distribución temporal de lluvias disponibles (FdA), se la adimensionalizó en función de la precipitación de FdA, y finalmente, se utilizó la distribución adimensional para asignarle a las otras tres fuentes de información, en función de sus registros pluviométricos. Fueron excepcionales los casos en que habiendo registro de lluvia de los pluviómetros, no se contase con registro de lluvia en FdA, y por lo tanto, no tener la distribución de la lluvia a lo largo del día, discriminadas hora a hora.

En caso de haberse registrado días de lluvia en alguna de las fuentes (SMNac, Hidra y PTSur) y no hubiese registro correspondiente en FdA, se usó la distribución horaria del día mas cercano de esta última, para efectuar el prorrateo requerido. Una vez procesada la totalidad de la información, se corrigieron manualmente aquellos casos en que el programa detectó discrepancias.

Los datos que estaban en archivos de planilla de cálculo ó archivos de texto plano, se convirtieron a archivos del tipo Base de datos (.DBF), para poder procesarlos con un lenguaje de tratamiento de datos más apropiado (en este caso se uso Visual FoxPro 8.0).

Las precipitaciones mensuales correspondientes a los años 2005, 2006 y 2007, fueron obtenidas del pluviógrafo que integra la Estación Automática existente en la Facultad de Agronomía de la UNLPam. Dicho instrumento es marca DAVIS Modelo VANTAGE PRO2 y su origen es Estadounidense. Los registros, se presentan en tabla 6.7:

Tabla 6.7 Precipitaciones Mensuales UNLPam (milímetros)

Mes	2005	2006	2007
Enero	32,2	50,6	48,6
Febrero	23,2	135,4	58
Marzo	51,8	73	148,8
Abril	0,4	28	14,2
Mayo	21,2	1,8	0,8
Junio	16,4	2	5,6
Julio	5,6	0	1
Agosto	9,6	0,2	1,9
Septiembre	38,4	18,8	100,3
Octubre	33	107,2	56,4
Noviembre	19,6	12,4	59,7
Diciembre	47,2	55,8	25,7
Total	298,6	485,2	521

6.3.2 Corridas del modelo

Con los datos necesarios para la aplicación del modelo SHALL3, se comenzaron a realizar corridas para distintos valores de coeficiente que afecta la permeabilidad.

En cada celda (unidad de discretización espacial de 1 km de lado), el modelo cuantificó para cada paso de tiempo (del orden de 100 seg.) y para la totalidad del período de simulación variables de estado, tales como almacenamientos por interceptación, almacenamiento superficial, almacenamiento en el perfil del suelo y almacenamiento subterráneo.

El modelo también computa flujos de humedad y vapor, tales como los envueltos en los procesos de evapotranspiración, ascenso capilar, escorrentía superficial, mantiforme y encauzada, infiltración, percolación profunda y escorrentía subterránea.

Para realizar la comparación con las mediciones mensuales observadas, se integraron los valores de alta resolución temporal realizando la sumatoria de los valores correspondientes a cada mes de la simulación.

Para cada corrida, se modificaron los valores de permeabilidad, tanto para celdas correspondientes a zona rural como urbana y se efectuaron nuevas simulaciones, hasta llegar a una muy buena aproximación. El coeficiente de ajuste definitivo que afectó la permeabilidad utilizado en la calibración del modelo fue de 20 en celdas rurales y la conductividad saturada ajustada para las celdas urbanas de la cuenca fue de $2,05 \cdot 10^{-7}$ m/s.

La tabla 6.8 muestra una comparación entre las series observadas (obs.) y calculadas (calc.) de volúmenes acumulados de escurrimiento superficial, luego de esta calibración previa, tanto para la laguna Don Tomás (Q.D.T.), como para la laguna del Bajo Giuliani (Q.B.G.).

Tabla 6.8 Series observadas y calculadas escurrimiento superficial laguna Don Tomás y Bajo Giuliani

Q.D.T. obs.	Q.B.G.obs.	Q.D.T. calc.	Q.B.G.calc.	Dispersión DT	Δ(o-c) DT	Dispersión BG	Δ(o-c) BG
11,200	1,880	7,829	1,359	29,364	11,370	1,303	0,270
1,547	0,000	0,475	0,000	17,934	1,148	0,543	0,000
6,186	0,620	7,046	0,362	0,163	0,740	0,013	0,068
7,409	0,000	3,949	0,006	2,649	11,974	0,543	0,000
6,233	0,800	6,969	0,156	0,204	0,541	0,004	0,420
7,689	1,470	9,303	1,869	3,638	2,604	0,541	0,157
0,207	0,380	0,311	0,000	31,076	0,011	0,127	0,145
5,782	0,737	5,126	0,536	85,028	28,387	3,075	1,060
Coefficiente Nash-Sutcliffe, 1970					0,67		
Coefficiente Determinación r^2					0,71	0,78	

El coeficiente de determinación entre los valores observados y calibrados de escurrimientos mensuales es $r^2 = 0,71$ y $r^2 = 0,78$, para Don Tomás y Bajo Giuliani, respectivamente, resultando en consecuencia una buena correlación en ambos casos.

Por otra parte, se observa que el coeficiente de Nash-Sutcliffe (1970) da 0,67 y 0,66 respectivamente, es decir cercano a 1. El rango de variación posible es $(-\infty; 1)$, resultando en consecuencia un muy buen valor en ambos casos. Este coeficiente surge de la siguiente ecuación:

$$C_{N-S} = \frac{\sum (Q_{\text{observado}} - Q_{\text{promedio}})^2 - \sum (Q_{\text{observado}} - Q_{\text{calculado}})^2}{\sum (Q_{\text{observado}} - Q_{\text{promedio}})^2} \quad (6.7)$$

Los gráficos 6.5 y 6.6 muestran una comparación entre las series observadas y calculadas de volúmenes acumulados de escurrimiento superficial, luego de esta calibración previa, tanto para la laguna Don Tomás, como para la laguna del Bajo Giuliani.

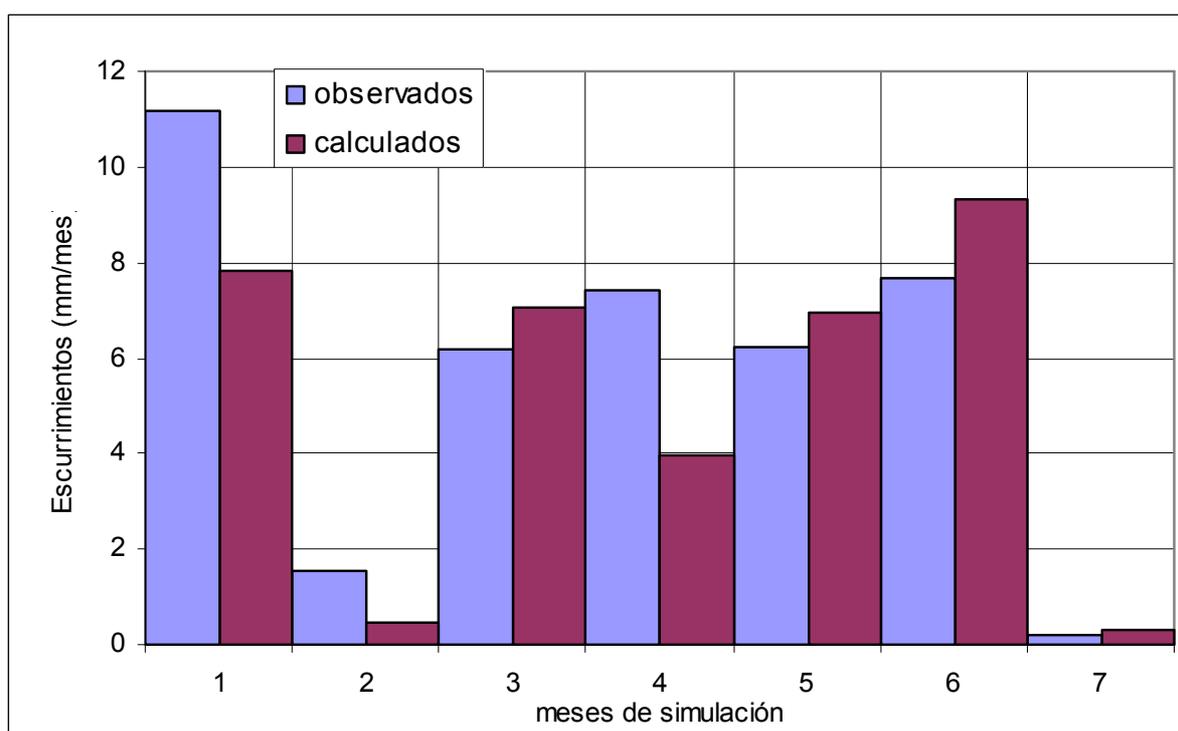


Gráfico 6.5 Escurrimientos observados y medidos Laguna Don Tomás

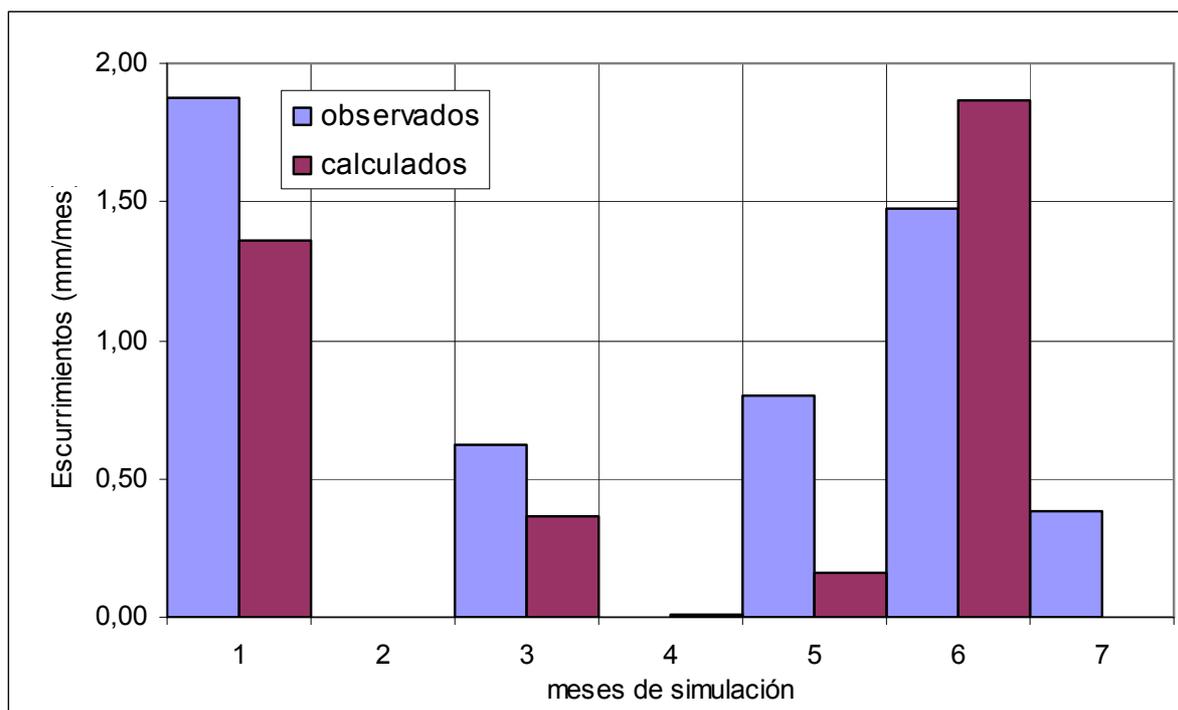


Gráfico 6.6 Escurrimientos observados y medidos Laguna Bajo Giuliani

Estos resultados validan la aplicación del modelo SHALL3 en las cuencas de estudio. Debe aclararse que respecto a las variables que describen el componente subterráneo, tales como niveles freáticos y flujos, no existe información histórica en el período de simulación, por ende no fue posible una calibración de los parámetros que regulan la componente subterránea.

En consecuencia se consideraron los parámetros obtenidos del censo de pozos, tal como se describe en el Capítulo 5.

6.4. Simulación del Período 2007-2030

Se realizaron corridas de simulación en el período 2007-2030, para lo cual hubo que suponer un escenario futuro respecto a las variables de entrada y de estado de los componentes considerados en el modelo.

Se debe aclarar que la consideración de escenarios futuros representaría en sí misma un trabajo de investigación plausible de desarrollar a través de otra tesis de maestría. En este caso, y sólo para obtener resultados de explotación del modelo, se han hecho simplificaciones importantes en el análisis.

Caudales de las plantas de tratamiento

Se afectó el caudal de las plantas de tratamiento de líquidos cloacales correspondiente al año 2007, por los índices de crecimiento demográfico esperados, de acuerdo a los estudios del Acueducto Río Colorado. Se estimaron los caudales futuros, considerando el mismo porcentaje de cobertura de servicio que en la actualidad, y teniendo en cuenta que el valor de QPT (2005) = 19.237 m³/día y el proyectado QPT (2015) = 24.278 m³/día, de acuerdo al Plan Director de la ciudad.

Por lo tanto, se estimó el QPT (2010) = 21.758 m³/día. Debe tenerse en cuenta que el promedio de los últimos doce meses medidos es 19.270 m³/día, casi igual a lo estimado para el año 2005. Ello, significa que estarían sobredimensionados los caudales futuros.

Afectando el QPT (2010), por los índices de crecimiento demográfico esperados, se calcularon los caudales futuros para las Plantas de Tratamiento de líquidos cloacales. En consecuencia, los caudales futuros diarios de las Plantas de Tratamiento serían los siguientes:

Año	Habitantes	Caudal P.T.
2010	112.982	21.758 m ³ /día
2020	137.641	26.507 m ³ /día
2030	160.658	30.939 m ³ /día

Precipitaciones

Se consideraron las precipitaciones correspondientes al promedio de los últimos veinte años de registros, distribuidas diariamente como el año 2005 e incrementadas anualmente un 0,5% anual, debido al efecto de calentamiento global. Debe tenerse en cuenta que en otros ámbitos ya se han propuesto modelos de regresión lineal para las lluvias anuales, junto a una función de error con media nula y varianza no nula (Lucero, 1996, 1998).

Esta situación simplificada amerita estudios más profundos para analizar la distribución de series de tormentas que pueden asociarse con modelos estocásticos o bien la construcción de series sintéticas probabilísticas. Este es un escenario sin estudios rigurosos que consideren tendencias climáticas locales, y/o análisis más profundos desde un punto de vista estocástico. Como se adelantó previamente, las series de lluvia propuestas aquí sólo se contemplaron para analizar la explotación del modelo ante un escenario futuro simplificado.

Evapotranspiración

El escenario considerado en forma simplificada fue el actual, debido a que se presupone un período de aumento térmico en los años subsiguientes, lo cual aumentaría la evapotranspiración pero compensado con una merma de la misma por ser el período más húmedo. Nuevamente son hipótesis simplificativas que deberán estar sujetas a un análisis más profundo.

Escurremientos en las cuencas

Habiendo ya calibrado el modelo SHALL3, mediante las mediciones realizadas durante los años 2006 y 2007, se estimaron los escurremientos superficiales mensuales hasta el año 2030, aplicando el mismo con las series de entrada definidas y partiendo de las condiciones alcanzadas en el año 2007 durante el proceso de calibración. Las corridas para el escenario futuro demandaron unas sesenta y cinco horas de tiempo de máquina.

Caudal de Bombeo de la Laguna Don Tomás

El caudal de bombeo desde la Laguna Don Tomás, se estimó en función de los escurremientos calculados por el modelo. A efectos de simplificar los cálculos, se estimó que la totalidad de los escurremientos superficiales que desembocan en la Laguna Don Tomás son bombeados hacia el Bajo Giuliani.

Balances Hidrológicos de Lagunas

Se confeccionaron planillas para realizar balances hidrológicos, efectuando simulaciones mensuales hasta el año 2030 y se estimaron los niveles correspondientes a las Lagunas Don Tomás y del Bajo Giuliani, para las condiciones del año 2030, tomando como referencia el valor existente en enero de 2007.

En la laguna Don Tomás, al haberse ejecutado costas mediante gaviones, se puede aceptar que el área es constante, aunque fluctúe su nivel. En virtud de ello, pueden realizarse balances hidrológicos considerando variaciones en una sola dimensión (z), es decir en altura de lámina de agua.

En la cuenca Giuliani, el ascenso del nivel de la laguna le hace ir ocupando áreas cada vez mayores, de acuerdo a las curvas de nivel que la circundan. Debido a ello, los balances hidrológicos en la laguna de la cuenca Giuliani deben realizarse considerando variaciones en las tres dimensiones (x, y, z), es decir balances volumétricos.

Por lo tanto, a medida que la laguna de la cuenca Giuliani va tomando distintos niveles, deberá ir calculándose el área correspondiente a dichos niveles. La relación cota-área sigue aproximadamente la ecuación:

$$y = 27.597x^2 + 328.096x + 10.000.000 \quad \text{con } R^2 = 0,9988.$$

Donde:

y = área

x = (cota final – cota inicial)

La variación del área de la laguna debe considerarse al calcular los volúmenes de precipitación, evaporación e infiltración, ya que son función de ella. Asimismo, la modificación del perímetro de la misma, tiene influencia en el cálculo del escurrimiento subterráneo. Los caudales correspondientes a plantas de tratamiento y bombeo desde la laguna Don Tomás se obtienen directamente en volumen, por lo que no varían en función del área. Tampoco influye la variación del área de la laguna en el cálculo de los escurrimientos superficiales, pues estos se obtienen en función del área de su propia cuenca.

A su vez, el volumen relativo a las distintas cotas puede representarse mediante la siguiente ley cuadrática:

$$y = 595.521x^2 + 6.000.000x - 96.362 \quad \text{con } R^2 = 0,9998.$$

Donde:

y = volumen

x = (cota final – cota inicial)

A efectos de simplificar los cálculos, se adoptó la siguiente expresión cuadrática aproximada:

$$y = 595.866x^2 + 6.000.000x$$

Se consideró un proceso de colmatación de las lagunas en el Bajo Giuliani, por las características de los fluidos transportados desde las plantas de tratamiento.

Análisis de resultados

Los niveles resultantes del período de simulación, arrojan para el inicio del año 2030 un nivel de 167,054 IGM para la Laguna Don Tomás y 146,298 IGM para la Laguna del Bajo Giuliani, respectivamente. Los valores registrados se observan en Tablas A.6.9 y A.6.10.

En el balance realizado en la laguna Don Tomás, se consideraron sólo variaciones de cotas sin modificaciones de área, en virtud que al poseer costas su área se mantiene constante aunque varíe su nivel. Se había consignado en página 43 que, por encima de la cota 167,432 IGM debía adicionarse el cuenco norte al considerar el área de la laguna. Ello no fue necesario, ya que los niveles durante todo el período de simulación se mantuvieron inferiores a dicha cota.

En el Bajo Giuliani, se realizó un balance volumétrico, teniendo en cuenta que se van modificando las áreas a medida que se modifican las cotas.

En gráfico 6.7 se presenta la evolución de niveles en función del tiempo correspondiente a la laguna Don Tomás, de acuerdo a los resultados obtenidos mediante las simulaciones realizadas desde el año 2007 hasta el año 2030:

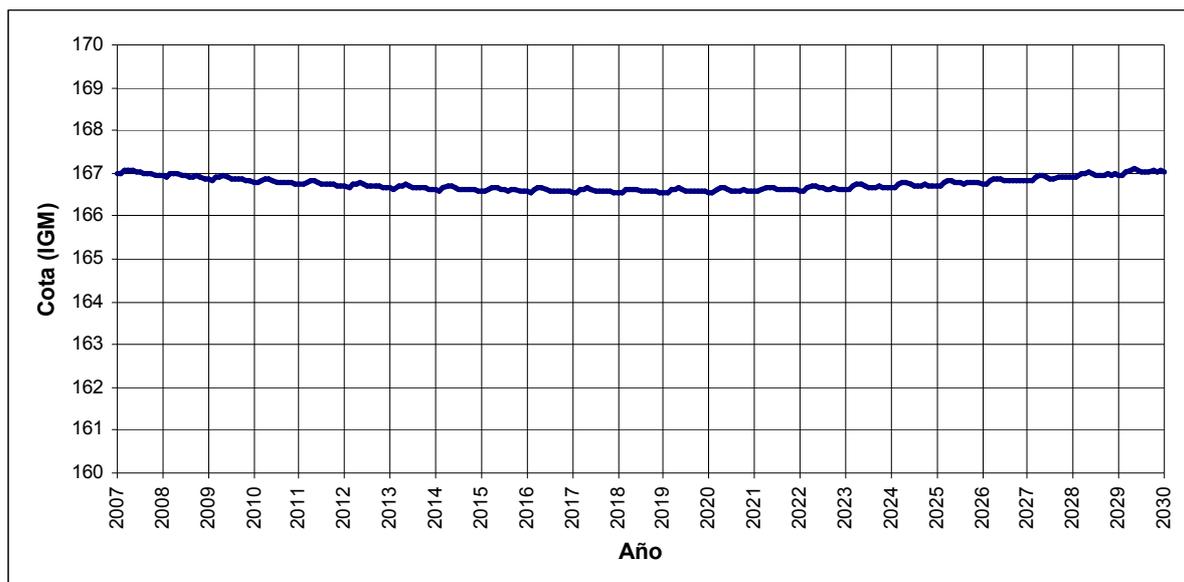


Gráfico 6.7 Niveles futuros simulados Laguna Don Tomás

Se observa que el nivel de la laguna Don Tomás se mantiene oscilante en la cota 167 IGM durante el período simulado, debido a que se consideró que la totalidad de los escurrimientos superficiales fueron oportunamente bombeados hacia el Bajo Giuliani.

En gráfico 6.8 se presenta la evolución de niveles en función del tiempo correspondiente a la laguna Giuliani, de acuerdo a los resultados obtenidos mediante las simulaciones realizadas desde el año 2007 hasta el año 2030:

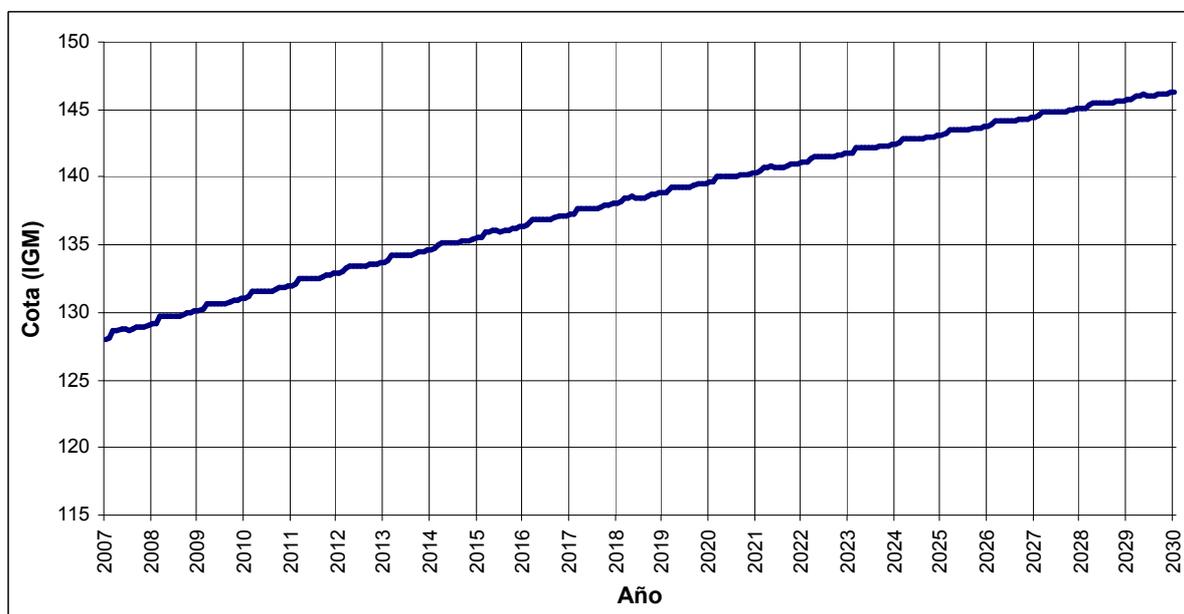


Gráfico 6.8 Niveles futuros simulados Laguna Bajo Giuliani

Se observa que el nivel de la laguna del Bajo Giuliani asciende permanentemente durante el período considerado, alcanzando la cota 146,298 IGM hacia el año 2030. Ello tiene su explicación en haber considerado que llegarán mayores volúmenes de agua a la laguna del Bajo Giuliani, debido al crecimiento de la población y a la mayor intensidad de las precipitaciones por calentamiento global, existiendo salidas sólo por evaporación e infiltración, sin bombeo hacia otras zonas de descarga.

Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones

En el presente estudio se simulan situaciones futuras hipotéticas, habiéndose realizado suposiciones en cuanto a los escenarios de precipitaciones, evaporación, etc. Los resultados alcanzados por el modelo aplicado incluyen dichas incertidumbres en los escenarios propuestos y deben interpretarse bajo esta premisa básica.

Más allá de las incertidumbres mencionadas en los resultados obtenidos, en virtud de las aproximaciones realizadas y la manera de suplir la escasez de información en algunos casos, la sobreabundancia y diversidad de datos en otros, como así también la clasificación e integración de los mismos y los procedimientos de cálculo realizados, confieren un mecanismo original de análisis para extrapolar a otras regiones de llanura, donde se presenten situaciones con complejidades similares.

La constitución del modelo SHALL3 puede considerarse satisfactoria, dado que se verificó la gran similitud de sus resultados con los datos recogidos en la zona, teniendo en cuenta además, que permite simular la hidrología total del sistema. Asimismo, puede garantizarse la aptitud del modelo para su aplicación en nuevos estudios, como también su interpolación a regiones similares a la analizada.

Para el tratamiento de la información requerida, debe resaltarse el beneficio que confiere la utilización de herramientas como los sistemas de información geográfica (SIG) para el procesamiento y clasificación de imágenes satelitales y la utilización las mismas en la determinación de áreas, perímetros, presencia de sales y vegetación en las lagunas, modificaciones en la cobertura vegetal de las cuencas superficiales, etc., como también su evolución en función del tiempo.

La calibración del SHALL3 se ha realizado con información hidrológica de superficie. En trabajos previos se ha demostrado la alta sensibilidad que presentan los procesos subterráneos y los procesos hidrológicos superficiales frente a los parámetros que caracterizan la zona no saturada (ZNS).

También se demostró la dificultad de realizar ajustes parciales de los parámetros para reproducir aisladamente, volúmenes de escurrimiento ó niveles freáticos siendo conveniente realizar una calibración global que incluya las conductividades hidráulicas verticales, succión crítica y conectividad de poros de la ZNS, y conductividades hidráulicas horizontales y coeficientes de almacenamiento de la zona saturada (ZS) para garantizar una reproducción satisfactoria de escurrimientos y niveles freáticos observados en el sistema real. Esto no pudo llevarse a cabo en los sistemas estudiados por la ausencia de niveles freáticos observados durante el período de calibración.

Los niveles resultantes del período de simulación 2007-2030, arrojan para el inicio del año 2030 un nivel de 167,054 IGM para la Laguna Don Tomás y 146,298 IGM para la Laguna del Bajo Giuliani, respectivamente.

La simulación determina un nivel de 1,486 metros en la mira ubicada debajo del puente levadizo de la laguna Don Tomás, para el año 2030, considerándose aceptable dado que se mantiene alrededor de los niveles actuales. En virtud que el nivel de laguna Don Tomás depende de la estrategia de bombeo adoptada, puede presuponerse que las variaciones de su nivel serán siempre correctamente reguladas, permitiendo el correcto funcionamiento de los desagües pluviales que desembocan en la laguna y el desarrollo de las demás actividades relacionadas con ella.

En función de los resultados obtenidos, la situación de la laguna Giuliani se tornará crítica a partir del año 2009, cuando será alcanzada la cota mínima de calzada de la Ruta Provincial N° 14 = 129,800 IGM, empeorando la situación a partir del año 2011, en que se alcanzará la cota mínima de calzada de la Ruta Nacional N° 35 = 131,760 IGM. Por último, será superada la cota mínima del autódromo proyectado en cercanías del Bajo Giuliani, que se estima será = 145 IGM, aproximadamente en el año 2028. En consecuencia, se recomienda intensificar estudios sobre escenarios futuros y relacionados con la búsqueda de fuentes alternativas de volcamiento.

Puede afirmarse que, desde el año 2001, el nivel del pelo de agua de la laguna Giuliani responde a la tendencia creciente, aunque cíclica de las precipitaciones y demás aportes en función del tiempo.

El nivel de la laguna Giuliani a fines de septiembre de 2007, fue de 128,360 IGM. Es decir, estaríamos en las condiciones del año 2023, de acuerdo a los valores estimados en los 50 años de modelación realizada en la confección del Plan Director de la ciudad, indicando que habrían sido subestimados los niveles futuros a alcanzar en el Bajo.

Analizado el comportamiento de cada componente del ciclo hidrológico, se observó predominancia de movimientos verticales (evaporación, evapotranspiración, infiltración, etc.) sobre los horizontales (escurrimientos), como es el funcionamiento habitual en zonas de llanura.

En la laguna Don Tomás, los procesos de distribución del agua pueden clasificarse en orden de magnitud decreciente como: escurrimientos superficiales y caudales bombeados hacia el Bajo Giuliani en primer lugar, luego precipitación, evaporación e infiltración.

En la laguna del Bajo Giuliani, los procesos de distribución del agua pueden clasificarse en orden de magnitud decreciente como: volúmenes de precipitación, evaporación, escurrimientos superficiales, líquidos cloacales tratados, infiltración, caudales bombeados desde la laguna Don Tomás y escurrimientos subterráneos. Esta distribución refuta estudios anteriores, donde se estimó que el peso decisivo en el balance estaba en los efluentes cloacales, al realizar simulaciones para un horizonte de 20 años (Consortio EIH, 1986 e).

Los escurrimientos superficiales presentan mayor incidencia en la cuenca Don Tomás que en la cuenca Giuliani, debido a la urbanización creciente que presenta la primera.

Comparando el promedio anual de escurrimientos con el de precipitaciones, durante todo el período de simulación, se observa que en la cuenca de la Laguna Don Tomás el primero representa un 259 % del segundo, es decir casi triplica el valor medio de las precipitaciones. Este valor es considerado razonable para una cuenca de ciudad.

Comparando el promedio anual de escurrimientos con el de precipitaciones, durante todo el período de simulación, se observa que en la cuenca de la Laguna del bajo Giuliani, el primero representa un 7% del segundo. Valor considerado razonable para una cuenca rural.

Actualmente la laguna Don Tomás se encuentra colgada en relación con el acuífero, objetando lo considerado en el Estudio para El Saneamiento y Control de Niveles de la Laguna Don Tomás y el Desarrollo Integral de su Área de Influencia, donde dice: "La laguna Don Tomás se encuentra dentro de la cuenca de aporte subterráneo al Bajo Giuliani e interceptando la misma una pequeña fracción del escurrimiento básico." (Consortio EIH, 1986 c). Por ello, no se consideró escurrimiento subterráneo al realizar balances hidrológicos en la laguna Don Tomás.

En la cuenca del Bajo Giuliani, el caudal subterráneo es la variable de menor incidencia, representando sólo un 0,66 % en relación con el volumen total de precipitaciones. Por ello, fue desestimado en el balance hidrológico realizado en la laguna. Por otra parte, es de esperar que el nivel de la laguna se eleve con mayor rapidez que el del acuífero, determinando menores diferencias de altura entre ellos, resultando caudales progresivamente inferiores. Pero, al elevarse la laguna aumentará su perímetro, situación que se contrapone a lo anterior, por lo que deberá verificarse la incidencia del caudal subterráneo para distintos niveles de la misma.

Las modificaciones ambientales no son objetivos del presente estudio, no obstante ello, preocupa la salinización esperada en la laguna del Bajo Giuliani, considerando que funciona como descarga de los líquidos cloacales tratados y se espera en el futuro un permanente y creciente aporte de estos líquidos, acompañado de evaporación del agua.

Aunque el aumento de volumen de la laguna puede beneficiar la avifauna acuática en el área, (especialmente aquellas especies de dieta ictiófaga, debido a la presencia de pejerrey), la escasa vegetación acuática existente no facilitaría el asentamiento de otras especies, como rálidos (gallinetas de agua) y paseriformes dependientes de esos ambientes. Por otro lado, la pérdida de caldenar produce la desaparición de algunas especies con alto interés de conservación, como cardenal amarillo y picahueso, presentes antiguamente en el área.

Respecto a la información se recomienda:

Llevar estadísticas de los distintos factores intervinientes en el balance hidrológico (climáticas, población, vegetación, etc.). Evaluar distintos métodos para el tratamiento de la información, a efectos de determinar el más exacto y aplicable al estimar tendencias futuras. Realizar mayor cantidad de mediciones y con continuidad, para contar con series de registros climáticos más extensas.

Instalar una estación automática, con pluviógrafo y un tanque de evaporación, similares a los existentes en la Facultad de Agronomía de la UNLPam, en cercanías de la laguna Giuliani. Densificar la instalación de pluviómetros y pluviógrafos.

Realizar con mayor frecuencia mediciones del nivel de pelo de agua en ambas lagunas y fundamentalmente batimetrías en las mismas, en virtud que los líquidos que desembocan en ellas arrastran barros y sólidos que decantan en sus fondos, modificándolos permanentemente. Verificar las cotas cero de escala y graduar al milímetro las reglas instaladas en ambas lagunas.

Actualizar las mediciones de niveles estáticos y dinámicos, verificar transmisividades y coeficientes de almacenamiento de todos los pozos de explotación, para conocer con más certeza los parámetros subterráneos del acuífero y así poder ajustar los caudales subterráneos en ambas lagunas. Asimismo, verificar las coordenadas de todos los pozos de explotación para ubicarlos correctamente sobre el acuífero.

Respecto al impacto ambiental registrado:

Debería analizarse con que intensidad se está salinizando la laguna Giuliani debido a la descarga de líquidos cloacales tratados, con objeto de evaluar soluciones integrales: mejor rendimiento de las Plantas de Tratamiento, lugares alternativos de descarga y/o refuncionalización de todos los líquidos que llegan al bajo.

En relación con el párrafo anterior, cabría evaluar técnica y económicamente la factibilidad de utilizar las aguas del Bajo para riego ó abastecimiento de agua potable y desagües cloacales de los barrios cercanos y zonas adyacentes, previo filtrado, ejecución de instalaciones y tratamiento correspondiente, en cada caso.

Realizar un seguimiento de la evolución físico-química del acuífero subyacente a la laguna Giuliani, a través de los pozos de exploración y explotación ubicados en sus inmediaciones. Asimismo, medir sistemáticamente la distancia entre el fondo de la laguna y el límite superior del acuífero, con objeto de prever y evitar eventual contaminación en él.

Respecto a las metodologías empleadas:

Utilizar tratamiento de imágenes de satélite para conocer la topografía de la zona de estudio y poder definir más exactamente las cuencas de aporte a cada laguna, en virtud que fueron determinadas a partir de curvas de nivel confeccionadas por el IGM en el año 1975, desconociéndose además de su exactitud, sus modificaciones debido al clima que se produjeron desde ese año a la fecha.

Al determinar la cobertura vegetal mediante clasificación de imágenes, tener en cuenta las cuatro estaciones del año, para determinar los escurrimientos superficiales. Considerar los valores de uso consuntivo correspondiente a épocas secas ó húmedas, en coherencia con los registros anuales de precipitaciones. Verificar los valores obtenidos con los estudios del INTA que se realicen.

Utilizar imágenes de satélite con mayor definición (las imágenes Landsat poseen píxeles de 30 metros por 30 metros), con objeto de ajustar los valores de perímetros y áreas de lagunas.

Respecto a las mediciones:

Instalar correctamente las canaletas Parshall existentes en las Plantas de Tratamiento (están fuera de escala), a efectos de verificar los caudales tratados que ingresan a la laguna Giuliani, que en el presente estudio se midieron desde las estaciones de bombeo. Ajustar los caudales de líquido crudo que llegan al bajo, mediante la cantidad de referencias existentes y la micromedición en ellas.

Verificar la capacidad del sistema de bombeo instalado en la laguna Don Tomás, que en el presente estudio se estimó mediante las curvas características de las bombas y el descenso diario de la laguna (que obviamente está afectada por las demás variables: evaporación, infiltración, etc.) mediante aforos en el aquietador de energía instalado en la llegada al Bajo Giuliani ó instalando caudalímetros.

Realizar más ensayos de infiltración y en distintos puntos de cada cuenca, a efectos de ajustar los valores en ellas. Realizar mediciones diarias de la variación del pelo de agua en ambas lagunas en días sin lluvias y obtener valores de infiltración, restando a la variación de nivel el valor registrado en el tanque de evaporación instalado (considerar si existe aporte de caudal subterráneo ó bombeo desde la laguna Don Tomás y, en el caso de la laguna Giuliani, sumar el bombeo desde las plantas de tratamiento de líquidos cloacales).

Considerando que a través del Acueducto Río Colorado, están ingresando continuamente volúmenes de agua de distinta personalidad a la existente en la ciudad y conociendo a partir del presente estudio, el funcionamiento del ciclo hidrológico y el volumen de aporte aproximado de cada una de sus componentes, cabría realizar estudios de la evolución química del acuífero Anguil - Santa Rosa - Toay, incluyendo estimaciones futuras.

Finalmente, se considera que sería sumamente beneficioso para la ciudad, la organización de un equipo de trabajo integrado por los distintos organismos que tiene incumbencia en los temas tratados: Municipalidad de Santa Rosa, INTA, UNLPam, Dirección de Aguas Provincial, Dirección Nacional de Vialidad, Dirección Provincial de Vialidad y demás entidades que puedan aportar medios para mejorar la calidad de los resultados, considerando además su eventual extrapolación a regiones similares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, D; Bruno, F; (2007). Lista de las Aves del Parque Don Tomás. Ed. L & M. La Pampa. Argentina.
- Bental, G; Idelovitch, E; Kahana, Y; Marco, S; Naor, H; Natour, M; Or, U; Rymón, D; (1.998). Tratamiento y Reutilización Agrícola de las Aguas Residuales de Santa Rosa. Informe Final. Ministerio de la Producción. La Pampa. Argentina.
- Bunge, M; (1.980). Ciencia y Desarrollo. Capítulo II. Ciencia Básica, Ciencia Aplicada y Técnica. Editores Siglo Veinte. Buenos Aires. Argentina.
- Candela, L; Varela M; (1993). La zona no Saturada y la Contaminación de las Aguas Subterráneas. Teoría, Medición y Modelos. Editores Candela y Varela. CIMNE, Barcelona, España.
- Cano, E; (1980). Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la Provincia de la Pampa. Clima, Geomorfología y Suelo. INTA, Gobierno de La Pampa y Universidad Nacional de La pampa. Argentina.
- Chow, V.T; Maidment, D.R; Mays, L.W; (1.987). Hidrología Aplicada. Texas. Estados Unidos de América.
- Chow, V.T; Maidment, D.R; Mays, L.W; (1.994). Hidrología Aplicada. Editor Mc Graw-Hill Interamericana SA. Bogotá. Colombia.
- Comisión Técnica Acueducto Río Colorado; (1996). Estudios Preliminares. Acueducto del Colorado. Primera Etapa. Tomo N° II. Ministerio de Hacienda, Obras y Servicios Públicos. La Pampa. Argentina.
- Consortio EIH; (1986 a). Estudio de Ingeniería Hidráulica S.A. Consultora Oscar G. Grimaux y Asociados S.A.T. Estudio para El Saneamiento y Control de Niveles de la Laguna Don Tomás y el Desarrollo Integral de su Área de Influencia. Etapa 1-Volumen 1. Ministerio de Obras Públicas y Servicios Públicos. La Pampa. Argentina.
- Consortio EIH; (1986 b). Estudio de Ingeniería Hidráulica S.A. Consultora Oscar G. Grimaux y Asociados S.A.T. Estudio para El Saneamiento y Control de Niveles de la Laguna Don Tomás y el Desarrollo Integral de su Área de Influencia. Etapa 1-Volumen 2. Ministerio de Obras Públicas y Servicios Públicos. La Pampa. Argentina.
- Consortio EIH; (1986 c). Estudio de Ingeniería Hidráulica S.A. Consultora Oscar G. Grimaux y Asociados S.A.T. Estudio para El Saneamiento y Control de Niveles de la Laguna Don Tomás y el Desarrollo Integral de su Área de Influencia. Etapa 2-Volumen 1. Ministerio de Obras Públicas y Servicios Públicos. La Pampa. Argentina.
- Consortio EIH; (1986 d). Estudio de Ingeniería Hidráulica S.A. Consultora Oscar G. Grimaux y Asociados S.A.T. Estudio para El Saneamiento y Control de Niveles de la Laguna Don Tomás y el Desarrollo Integral de su Área de Influencia. Etapa 2-Volumen 2. Ministerio de Obras Públicas y Servicios Públicos. La Pampa. Argentina.
- Consortio EIH; (1986 e). Estudio de Ingeniería Hidráulica S.A. Consultora Oscar G. Grimaux y Asociados S.A.T. Estudio para El Saneamiento y Control de Niveles de la Laguna Don Tomás y el Desarrollo Integral de su Área de Influencia. Etapa 3-Volumen 1. Ministerio de Obras Públicas y Servicios Públicos. La Pampa. Argentina.
- Consortio EIH; (1986 f). Estudio de Ingeniería Hidráulica S.A. Consultora Oscar G. Grimaux y Asociados S.A.T. Estudio para El Saneamiento y Control de Niveles de la Laguna Don Tomás y el Desarrollo Integral de su Área de Influencia. Etapa 4-Volumen 1 Ministerio de Obras Públicas y Servicios Públicos. La Pampa. Argentina.
- Convenio INTA-Bolsa de Cereales-Cámara Arbitral de Cereales; (2000). Red Agronómica de Administración de Recursos (RADAR). Boletín informativo N° 4. Informe Final Zona III. La Pampa. Argentina.
- Corral, M; Castelló, E; Barbeito, O; Ambrosino, S; González, J; Cisneros, J; (2004). Estudio Hidrológico Cuenca de Alpa Corral, Departamento Río Cuarto. Córdoba. Argentina.
- Cunge, J; (1975). Two Dimensional Modeling of Flood Plains, in: Mahmood K. and Yevjevich V., ds. Unsteady Flow in Open Channels. Water Resources Publications, Fort Collins. Estados Unidos de América.
- Chaneton, E; (2006). Las Inundaciones en Pastizales Pampeanos. Impacto Ecológico de las Perturbaciones Naturales. Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Asociación Ciencia Hoy. Volumen 16 N° 92. Buenos Aires. Argentina.
- Deeb, Páez A; Díaz Granados, M; (1988). Balance Hídrico en la Cuenca Media del Río Magdalena. Modelación de la Interacción Río, Acuífero, Suelo, Vegetación y Atmósfera. Volumen 2. XIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. La Habana. Cuba.
- Donatelli, M; Acutis, M y Laruccia, N; (1996). Evaluation of Methods to Estimate Soil Water Content at

- Field Capacity and Wilting Point. Proceedings of the 4th European Society Agronomy Congress. Holanda.
- Franklin Consultora S.A., Ingenieros Consultores Hidrosud Argentina S.A.; (1990). Desagües Cloacales de la ciudad de Santa Rosa. Informe Final Volumen IV-Capítulo 5. Ministerio de Obras y Servicios Públicos. La Pampa. Argentina.
- Giai, Santiago; (1975). Plan de Investigación de Aguas Subterráneas. Informe de resultados alcanzado por el Plan de Investigación N° 42 del Departamento de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de La Pampa. Argentina.
- González, Jorge; Cisneros, José; Tavecchio Horacio; Maza, Jorge; (2004). Modelación Hidrológica de una Cuenca Serrana del Sur de Córdoba: Aplicación de Modelos: Córdoba. Argentina.
- Ingeniería Hidráulica S.C.; (1983). Estudio del Plan Director de los Sistemas de Agua Potable y Desagües Cloacales de la Ciudad de Santa Rosa. La Pampa. Argentina.
- Lucero, Omar; (1996). La función de distribución de probabilidad de la lluvia anual cuando ocurre un cambio climático. XVI Congreso Nacional del Agua. Neuquén. Argentina.
- Lucero, Omar; (1998). Invariante of the design store in a region under a rainfall climate change in northern Córdoba (Argentina). International Symposium on Hydrology in a Changing Environment. Exeter. UK.
- Marani, J; (2000). Tesis de Maestría: "Diagnóstico ambiental y ordenamiento territorial del humedal Bajo Giuliani". Universidad Internacional de Andalucía. La Rábida. España. Universidad Nacional de La Pampa. Argentina.
- Marani, J; (2003). Centro de Interpretación "El Castillo". Parque Recreativo Don Tomás. Municipalidad de Santa Rosa. La Pampa. Argentina.
- Oppezzo, Carlos; (1997). Estudio y Proyecto del Acueducto del Río Colorado, Segunda Etapa, Anteproyecto Preliminar y Estudio de Factibilidad. La Pampa. Argentina.
- Orsolini, H.E; Zimmermann, E.D; Basile, P.A; (2000). Hidrología. Procesos y Métodos. Rosario. Argentina.
- Peluso, F; (2006 a). Introducción a los estudios de riesgo sanitario y ecológico. Curso de Hidrogeología en la problemática ambiental. Maestría en Ciencias hídricas. Universidad Nacional de La Pampa. Argentina.
- Peluso, F; (2006 b). Los análisis de riesgo ecológico. Curso de Hidrogeología en la problemática ambiental. Maestría en Ciencias hídricas. Universidad Nacional de La Pampa. Argentina.
- Peluso, F; (2006 c). Efecto de los contaminantes sobre el medio biológico: Introducción a la toxicología ambiental 2. Curso de Hidrogeología en la problemática ambiental. Maestría en Ciencias hídricas. Universidad Nacional de La Pampa. Argentina.
- Pepe, U; (2008). Diagnóstico de una contaminación evitable. Sistemas de tratamiento de efluentes domésticos en el lugar y la contaminación de las napas de agua. 16° Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente. Buenos Aires. Argentina.
- Rapacioli, R; (2007). La problemática Aluvional en el Desarrollo Urbano de la Región del Alto Valle del Río Negro. Neuquén. Argentina.
- Riccardi, G; Zimmermann, E; (1999). La Modelación Matemática Bidimensional de Escurrimiento Subterráneo mediante Esquemas de Celdas. Hidrología Subterránea, Editor A. Tineo. Serie de Correlación Geológica N° 13. Instituto Superior de Correlación Geológica-CONICET. Tucumán. Argentina.
- Roberto, Z. E; Casagrande, G; Viglizzo, E. F; (1995). Lluvias en la Pampa Central. Tendencias y Variaciones del Siglo. Universidad Nacional de La Pampa. Argentina.
- Sabino, C; (1996). El proceso de Investigación. Editor Lumen-Humanitas. Conocimiento y método. Buenos Aires. Argentina.
- Zimmermann, E; (1997). Informe Anual de la Carrera de Investigador del CONICET. CURIHAM, FCEIA, UNR. Inédito.
- Zimmermann, E; (1998a). Un esquema numérico alternativo para la resolución de la ecuación de Richards. XVII Congreso Nacional del Agua. Santa Fe. Argentina.
- Zimmermann, E; (1998b). Un modelo de parámetros concentrados para la simulación de la interacción suelo-vegetación y atmósfera. XVII Congreso Nacional del Agua. Santa Fe. Argentina.
- Zimmermann, E; Riccardi, G; (2000). Modelo de simulación hidrológica superficial y subterránea para áreas de llanura. XIX Congreso latinoamericano de hidráulica. Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales. Córdoba. Argentina.
- Zimmermann, E; Riccardi, G; (2003). Modelo Hidrológico Superficial y Subterráneo desarrollado para la Simulación de Sistemas de Llanura 1. Aplicación en el sistema Ludueña (Santa Fe. Argentina). Journal of Earth Sciences. Boletín Geológico y Minero de España. Volumen 114. No 2: pp147-158. Madrid. España.
- Zimmermann, E; (2003). Modelo Hidrológico Superficial y Subterráneo desarrollado para la Simulación

de Sistemas de Llanura 2. Estrategias para la Calibración. Journal of Earth Sciences. Boletín Geológico y Minero de España. Vol 114. No 2: pp159-169. Madrid. España.

Zimmermann, E; (2005). Curso de Modelos Matemáticos en Hidrología Superficial. Maestría en Ciencias hídricas. Universidad Nacional de La Pampa. Argentina.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Alba, A; (1971). Hidráulica de Pozos. Capítulo II. Métodos de Análisis de Ensayos de Bombeo. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.
- Anderson, J. R; Hardy, E; Roach, J; Witmer, R; (1976). A Land Use and Land Cover Classifications System for Use with remote sensor Data U. S. Geological Survey, Washington DC, paper 964. Estados Unidos de América.
- Carassay, S; (1984); Aplicación de algunos métodos directos e indirectos para la determinación del consumo de agua en alfalfa. La Pampa. Argentina.
- Chuvieco, E; (1996). Fundamentos de Teledetección Espacial. Madrid. España.
- Consultora Esteio - Engenharia e Aerolevantamentos S.A.; (1999). Proyecto Obra Ruta Nacional N° 35. 21° Distrito Dirección Nacional de Vialidad. La Pampa. Argentina.
- Custodio, E; Llamas, M. R. (1983). Hidrología Subterránea. Barcelona. España.
- De Iribarze, A. R; López, D. R. Ingenieros Civiles; (1980). Estudios y Proyectos de las Obras de Control de Niveles de la Laguna Don Tomás con Evacuación al Bajo de Giuliani. Etapa A. Ministerio de Obras Públicas. La Pampa. Argentina.
- Fernández, R; Funaro, D; Quiroga, A; (2.004). Aspectos del manejo del agua y la nutrición en verdeos de invierno. La Pampa. Argentina.
- Fernández, R; Funaro, D; Quiroga, A; Noellmeyer; E; (2.005 a). Longitud del barbecho para girasol en sistemas mixtos de la región pampeana. La Pampa. Argentina.
- Fernández, R; Funaro, D; Quiroga, A; (2.005 b). Incidencia de la capacidad de retención de agua sobre la eficiencia del barbecho para girasol. La Pampa. Argentina.
- Funaro, D; Fernández, R; Quiroga, A; (2.004). Aspectos edáficos relacionados con el manejo del agua y la nutrición del maíz. La Pampa. Argentina.
- Forsythe, W; (1980). Manual de Laboratorio de Física de Suelos. San José. Costa Rica.
- Prados, M; (1995). La utilización de imágenes Landsat 5 para la estimación y seguimiento de monocultivo arrocero y su vinculación a espacios naturales. Revista de Teledetección N° 5: pp 44-48. Buenos Aires. Argentina.
- Quiroga, A; Ormeño, O; Babinec, F; Adema, E; (1998). Manejo del agua del suelo para el cultivo de trigo. Contribución de la siembra directa en la región semiárida pampeana. La Pampa. Argentina.
- Quiroga, A; Ormeño, O; Bono, A; Rodríguez, N; Montoya, J; Babinec, F; (1999). Aspectos del manejo de suelos y productividad del girasol en la región semiárida pampeana. La Pampa. Argentina.
- Quiroga, A; Funaro, D; Ormeño, O; Bono, A; Scianca, C; (2.003). Manejo del agua para los cultivos de girasol y maíz en suelos de las regiones semiáridas y subhúmeda pampeana. La Pampa. Argentina.

ANEXO 1 - TABLAS Y GRÁFICOS

Tabla A.4.1 Temperatura Media mensual (°C)

Temperatura S.M.N.													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Prom. Año
2005	22,0	22,4	19,1	14,0	10,8	8,5	8,3	9,5	11,9	15,1	21,3	21,7	15,4
2006	23,9	22,0	18,4	15,9	9,7	9,1	9,4	9,9	13,5	17,5	20,1	23,7	16,1
2007	24,4	21,6	19,1	15,4	8,4	6,5	5,7	6,7	13,1				13,4
Prom. Mes	23,4	22,0	18,8	15,1	9,6	8,0	7,8	8,7	12,8	16,3	20,7	22,7	15,7

Temperatura I.N.T.A.													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic	Prom. Año
2005	22,0	22,4	19,1	14,0	10,7	8,5	8,3	9,4	11,8	15,0	20,5	21,3	15,3
2006	23,0	22,0	18,4	16,1	9,5	9,6	9,0	9,1	12,8	17,2	19,0	23,1	15,7
2007	23,9	21,4	19,5	15,5	8,5	6,5	5,5	6,5	13,4				13,4
Prom. Mes	23,0	21,9	19,0	15,2	9,6	8,2	7,6	8,3	12,7	16,1	19,8	22,2	15,5

Tabla A.4.2 Precipitación mensual (milímetros) en Santa Rosa período 1911-2006

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
1911	49,5	75,2	55,5	25,6	68,5	0,0	0,0	0,5	43,6	40,5	35,0	64,0	457,9
1912	75,0	79,0	50,7	20,5	1,5	25,3	1,0	15,0	22,0	60,0	37,8	48,8	436,6
1913	34,0	95,0	49,0	63,0	50,0	0,0	0,0	16,0	153,1	31,0	52,0	47,0	590,1
1914	111,0	61,0	24,0	209,0	64,0	0,0	20,0	14,0	76,0	150,0	85,0	136,0	950,0
1915	78,0	272,0	57,0	51,0	14,0	2,6	3,0	0,0	19,0	148,0	31,0	103,0	778,6
1916	64,0	27,0	35,0	17,6	7,0	7,0	4,0	71,0	30,5	16,0	44,0	86,0	409,1
1917	22,0	130,0	68,0	105,0	2,0	43,0	41,0	0,0	30,4	49,0	92,0	34,0	616,4
1918	43,5	67,5	89,5	10,0	6,0	11,0	1,0	30,0	39,0	135,0	174,0	24,0	630,5
1919	37,0	129,0	142,0	85,0	49,0	23,0	96,0	2,0	37,0	161,0	50,0	66,0	877,0
1920	108,0	108,0	87,0	52,0	0,0	0,0	2,0	26,0	44,0	42,0	96,0	107,0	672,0
1921	75,0	113,0	100,0	10,0	4,0	0,0	7,0	0,0	94,0	273,0	38,0	221,0	935,0
1922	58,0	32,0	31,0	28,0	21,0	95,0	15,0	5,0	32,0	86,0	106,0	72,0	581,0
1923	17,0	85,0	50,0	0,0	14,0	37,0	25,0	66,0	48,0	103,0	83,0	68,0	596,0
1924	41,0	16,0	47,0	59,0	9,0	10,0	12,0	0,0	24,0	9,0	14,0	57,0	298,0
1925	14,0	295,0	172,0	0,0	55,0	0,0	45,0	13,0	39,0	97,0	73,0	73,0	876,0
1926	36,0	76,0	165,0	66,0	9,0	27,0	56,0	99,0	6,0	56,0	118,0	47,0	761,0
1927	103,0	30,0	70,0	0,0	0,0	5,0	5,5	49,0	1,0	62,0	195,0	85,0	605,5
1928	47,0	30,0	95,0	83,0	70,0	12,0	21,0	8,0	62,0	56,0	112,0	51,0	647,0
1929	60,0	37,0	26,0	15,0	22,0	21,0	0,0	4,0	11,5	62,5	125,0	4,0	388,0
1930	14,0	81,0	71,0	20,0	46,0	7,0	11,0	17,0	6,0	92,0	39,0	157,0	561,0
1931	221,0	133,0	42,0	43,0	0,0	0,0	22,0	14,0	7,5	14,5	28,0	31,3	556,3
1932	25,5	49,0	75,0	0,0	9,0	0,0	2,0	62,0	37,0	70,0	26,0	25,0	380,5
1933	66,5	62,0	130,0	10,0	48,0	10,0	3,0	3,0	49,0	34,0	12,0	88,0	515,5
1934	94,0	4,0	65,0	6,0	4,0	4,0	0,0	25,0	62,0	137,0	128,0	100,0	629,0
1935	85,0	10,0	24,0	5,0	3,5	13,0	9,0	6,0	6,0	90,0	51,0	80,0	382,5
1936	34,0	144,0	1,0	69,0	10,0	1,5	12,0	15,0	13,0	44,0	68,5	104,0	516,0
1937	17,0	9,5	70,0	10,0	90,0	2,0	0,0	5,0	7,0	29,0	26,0	9,0	274,5
1938	20,0	21,0	42,0	183,0	49,0	3,0	6,0	16,0	3,0	32,0	51,5	2,0	428,5
1939	22,0	59,5	32,5	5,0	45,0	38,0	6,0	4,0	81,0	93,0	47,0	74,0	507,0
1940	41,0	99,0	20,0	28,0	5,0	102,0	19,0	38,0	38,0	39,0	60,0	166,0	655,0
1941	69,0	84,5	136,0	19,5	0,0	11,0	20,0	37,0	2,0	24,0	54,0	96,0	553,0
1942	17,0	156,0	22,0	0,0	18,0	1,0	28,0	13,0	9,0	56,5	67,0	94,0	481,5
1943	8,0	45,0	53,0	33,0	8,0	76,0	92,0	1,0	17,5	187,0	70,0	24,5	615,0
1944	124,5	129,0	100,0	114,0	20,0	0,0	0,0	4,0	35,0	137,0	7,5	40,0	711,0
1945	114,0	193,0	87,0	106,0	0,0	0,0	0,0	27,0	27,0	45,0	38,0	34,0	671,0
1946	43,0	48,0	148,0	116,0	98,0	98,0	83,6	10,4	60,0	46,0	62,0	72,3	885,3

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
1947	22,7	35,5	146,0	27,0	3,5	12,0	0,0	2,0	8,3	71,0	64,0	12,0	404,0
1948	108,3	16,4	69,5	15,0	178,0	0,0	6,5	12,0	108,2	46,0	2,4	115,3	677,6
1949	24,5	43,0	62,6	10,0	12,5	0,0	10,0	42,5	28,0	7,0	56,5	24,2	320,8
1950	4,0	26,0	32,0	42,0	24,5	0,0	5,0	1,0	45,0	45,0	66,0	8,0	298,5
1951	115,0	48,0	35,3	14,0	74,0	8,0	19,0	7,5	2,0	11,0	55,6	104,5	493,9
1952	15,0	33,0	52,3	0,0	0,0	125,0	1,0	2,7	46,0	124,0	12,0	17,5	428,5
1953	29,0	51,0	84,7	61,0	13,0	6,3	0,0	4,0	26,0	88,5	51,0	81,0	495,5
1954	26,5	31,5	32,5	199,0	25,0	56,2	4,0	10,0	30,0	50,5	66,0	18,0	549,2
1955	86,3	288,2	42,0	83,0	21,0	11,0	99,0	0,0	3,0	45,0	87,0	36,0	801,5
1956	78,0	9,0	148,0	172,0	0,0	0,0	11,0	48,0	42,0	154,0	71,0	8,1	741,1
1957	56,1	2,7	270,4	66,0	23,3	113,2	1,9	1,5	45,1	88,8	69,1	166,2	904,3
1958	82,9	17,2	23,6	41,5	32,4	4,0	99,0	9,0	113,6	15,5	74,1	40,7	553,5
1959	69,0	11,0	45,3	41,9	12,5	46,5	3,6	9,8	14,7	129,4	96,9	35,5	516,1
1960	120,1	93,4	67,3	0,4	1,4	29,9	26,2	0,6	110,7	21,1	7,2	9,8	488,1
1961	72,0	31,6	35,7	50,0	57,0	16,2	25,6	41,6	18,0	77,5	43,0	31,0	499,2
1962	24,0	16,0	35,0	32,4	13,0	1,4	1,0	29,9	34,5	27,2	69,0	47,0	330,4
1963	87,3	148,3	262,1	65,0	1,4	26,1	15,4	23,0	104,5	143,4	133,4	156,3	1166,2
1964	34,4	74,0	76,2	44,0	19,0	3,4	1,2	16,0	71,3	13,9	154,5	34,0	541,9
1965	65,0	27,0	8,0	24,0	9,0	16,0	20,0	6,0	0,0	4,0	63,0	140,0	382,0
1966	103,0	34,0	62,0	107,5	20,0	12,0	52,0	6,0	16,0	10,0	106,0	56,0	584,5
1967	26,2	120,0	15,0	21,0	27,0	7,0	16,0	3,0	14,0	209,4	90,2	67,0	615,8
1968	67,8	51,2	165,6	1,7	0,0	34,8	22,3	100,3	56,2	77,1	148,1	126,2	851,3
1969	49,5	48,0	181,4	78,8	36,9	14,1	0,1	1,2	32,9	34,1	117,9	67,5	662,4
1970	138,6	36,0	128,8	7,7	6,5	0,0	0,0	0,0	55,8	92,0	48,8	58,9	573,1
1971	30,8	22,6	50,3	21,7	16,4	4,7	3,7	41,4	81,6	77,5	33,9	78,3	462,9
1972	50,7	9,8	78,0	117,3	0,0	22,6	2,5	30,8	29,0	38,1	239,8	82,9	701,5
1973	57,7	99,2	124,9	59,5	1,5	67,2	6,7	0,5	8,9	188,2	28,0	113,9	756,2
1974	57,9	132,4	54,3	8,0	76,6	16,2	1,7	1,5	5,3	41,0	51,9	85,5	532,3
1975	92,1	106,6	147,8	74,4	26,5	46,3	0,2	7,6	58,0	29,7	87,3	23,4	699,9
1976	88,4	167,2	78,2	79,5	3,9	3,2	0,8	83,3	10,8	123,3	284,9	61,4	984,9
1977	79,2	195,4	58,5	38,5	13,0	31,5	5,5	18,5	0,8	125,8	20,1	189,6	776,4
1978	51,0	64,4	81,6	10,1	2,3	1,0	44,5	3,4	74,4	33,5	92,9	161,4	620,5
1979	59,7	16,3	155,4	4,8	37,7	52,7	2,2	6,6	43,5	124,7	80,2	135,0	718,8
1980	26,7	68,3	17,5	52,6	107,3	6,1	24,3	0,0	6,2	72,6	104,4	126,5	612,5
1981	43,1	6,5	53,4	93,7	67,1	15,3	5,1	0,4	14,4	29,2	129,5	44,6	502,3
1982	85,4	63,0	97,5	143,9	62,9	21,3	11,5	0,0	81,7	31,3	73,9	75,8	748,2
1983	119,0	46,0	117,1	75,4	33,4	4,5	0,0	85,1	8,2	62,6	17,6	121,8	690,7
1984	83,2	112,0	103,8	29,5	22,6	12,8	18,9	26,4	93,5	29,4	107,5	71,4	711,0
1985	161,9	77,2	36,0	51,1	7,4	1,0	175,9	0,0	71,6	173,7	127,7	117,0	1000,5
1986	215,2	94,4	73,6	163,0	11,5	14,8	0,0	14,6	32,5	47,0	46,0	91,4	804,0
1987	98,5	67,9	138,7	65,9	4,5	0,0	37,9	78,1	20,0	42,0	159,5	32,5	745,5
1988	27,7	29,4	124,2	42,4	11,0	12,7	1,4	16,0	141,1	6,8	137,1	43,1	592,9
1989	40,9	66,1	108,6	1,9	79,4	10,0	59,9	46,7	16,6	36,4	83,9	224,1	774,5
1990	58,1	93,8	70,3	23,9	74,8	0,0	6,4	0,3	54,2	82,5	70,0	52,7	587,0
1991	192,5	59,0	15,4	21,1	53,8	43,9	16,0	36,6	67,5	52,3	167,9	274,4	1000,4
1992	148,0	63,6	146,5	23,4	65,1	18,0	2,8	99,6	125,8	4,9	152,0	220,0	1069,7
1993	121,5	85,4	154,5	60,1	30,7	23,5	5,6	2,2	15,2	44,5	132,1	73,5	748,8
1994	167,5	69,5	47,5	42,8	60,5	11,5	45,4	46,6	0,3	43,4	19,2	82,5	636,7
1995	77,8	22,7	61,0	53,5	3,0	4,1	0,0	6,2	13,5	115,0	43,7	29,0	429,5
1996	119,2	135,1	88,8	33,1	19,7	9,5	15,5	44,0	14,8	63,0	117,9	388,0	1048,6
1997	67,7	13,1	136,5	42,8	92,0	81,0	55,0	7,0	13,8	95,3	49,5	88,7	742,4
1998	99,7	176,7	7,0	112,4	31,7	14,0	9,9	12,7	35,0	56,3	66,1	53,4	674,9
1999	79,2	71,2	149,0	178,4	21,2	19,7	4,2	1,7	51,7	127,8	155,8	118,2	978,1
2000	66,7	65,8	124,7	32,5	93,0	11,9	6,0	25,2	22,7	190,2	32,6	23,2	694,5
2001	67,8	157,4	188,1	154,7	3,8	12,9	4,7	38,9	147,2	207,0	62,4	49,5	1094,4
2002	176,4	19,6	70,5	68,5	45,0	16,4	20,0	93,0	41,0	73,0	34,1	84,2	741,7
2003	50,7	13,0	55,5	54,0	13,3	0,7	2,8	14,4	4,8	53,7	64,6	50,2	377,7

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Anual
2004	40,8	64,8	83,8	81,6	7,0	2,7	79,3	33,6	8,0	90,1	85,9	130,8	708,4
2005	35,9	27,2	82,8	0,1	29,3	20,9	6,8	13,6	58,4	49,6	24,0	61,5	410,1
2006	62,0	125,8	106,8	33,7	0,2	2,1	3,0	18,6	7,4	141,7	14,4	65,0	580,7
Promedio	69,7	73,8	82,3	52,3	28,7	19,4	18,7	21,3	39,3	75,0	76,5	81,0	638,2

Tabla A.5.1 Pozos de Captación de Agua: Parámetros y Ubicación en la Cuenca Subterránea

Pozo	PNE (m)	Q (m ³ /h)	PND (m)	Depr. (m)	Qc(m ³ /h/m)	E = b(m)	S	T.B.(hs)	T(m ² /día)	K(m/día)	Celda
Escuela Agrotéc.	37,5	1,894	41,6	8,1	0,235	6,5	0,050	4	3,40	0,53	19
Ex Esc. Agrotéc.	35,0	3,550	43,4	9,9	0,357	11,6	0,050	9	5,65	0,49	20
19	24,5	20,000	53,5	32,2	0,621	3,5	0,010		11,50	3,29	71
13-II	25,4	15,000	39,8	15,9	0,941	25,2	0,050	8	16,30	0,65	104
14	17,0	29,000	53,0	39,4	0,736	10,0	0,063		25,30	2,53	107
15	14,7	24,000	43,5	32,0	0,750	7,5	0,030		28,00	3,73	108
12-II	25,5	16,000	33,4	9,4	1,709	32,6	0,050	11	34,00	1,04	138
12	22,5	15,300	35,9	19,1	0,801	19,1	0,016		35,40	1,85	140
13	18,5	22,000	41,5	25,1	0,876	20,5	0,058		21,00	1,02	142
Huerta V. Germ.	22,0	8,800	30,7	12,7	0,693	7,8	0,050	8	11,70	1,51	164
49OS	50,0	22,000	41,0	20,0	1,100	44,0	0,050		22,00	0,50	168
47OS	42,0	15,000	38,0	20,2	0,743	44,0	0,050		14,50	0,33	170
11-II	25,6	15,800	37,0	12,9	1,225	23,6	0,050	9,5	23,50	1,00	171
11	24,0	16,000	38,0	17,3	0,924	22,0	0,020		38,00	1,72	175
9	14,8	20,000	36,0	24,4	0,820	24,0	0,025		24,00	1,00	180
APANI	14,6	5,500	17,7	4,1	1,341	24,3	0,050	1	19,50	0,80	198
Resid.Gobern.	19,6	5,740	32,0	13,9	0,412	23,5	0,050	8	6,60	0,28	201
Nazareth 2	31,8	4,200	38,1	8,3	0,506	9,9	0,050	4	7,60	0,77	204
17OS	31,6	15,000	38,3	16,3	0,920	24,7	0,050		18,40	0,74	205
18OS	31,7	18,000	37,2	17,1	1,054	25,8	0,050		20,50	0,79	206
50OS	34,0	14,400	52,9	32,7	0,441	32,2	0,050		8,30	0,26	207
Balanza ATE	29,1	8,670	38,2	13,1	0,663	21,8	0,050	4	10,33	0,47	208
7	21,5	16,000	42,0	21,5	0,744	21,0	0,050		28,70	1,37	212
8	20,2	12,200	43,0	26,0	0,469	18,0	0,035		24,60	1,37	214
IPEM	23,1	6,600	29,9	8,6	0,767	27,2	0,050	4	12,20	0,45	238
Polid. Col. Penal	38,6	4,000	51,0	14,0	0,286	15,0	0,050	9	14,50	0,97	239
Estación APE	35,6	2,500	34,6	3,0	0,833	25,4	0,050	2	12,50	0,49	240
45OSN	47,0	36,000	52,6	32,0	1,125	34,0	0,050		23,00	0,68	241
46OSN	44,0	36,000	50,0	32,0	1,125	39,0	0,050		23,00	0,59	242
21	32,0	16,000	40,7	18,6	0,860	22,3	0,050		17,00	0,76	243
10	35,0	21,000	39,1	17,2	1,224	23,9	0,050		25,00	1,05	244
4A	22,0	13,000	33,0	14,2	0,915	28,0	0,040		22,70	0,81	249
4	13,0	9,600	50,5	41,0	0,234	9,5	0,050		8,00	0,84	250
N.O. La Malvina	9,8										269
LDT (Este)	5,2	4,500	26,0	20,8	0,217	4,0	0,050	4	2,92	0,73	271
Club A. Boys	20,1	2,400	38,5	19,9	0,121	3,5	0,050	12	1,84	0,53	273
Roger Balet	47,6	4,500	54,3	8,3	0,542	13,7	0,050	8	9,13	0,67	274
43OSN	33,0	8,000	21,5	8,0	1,000	45,5	0,050		20,00	0,44	276
44OSN	49,0	27,900	50,5	31,0	0,900	35,2	0,050		18,00	0,51	277
Jockey Club Golf	26,2	6,000	34,6	10,0	0,600	31,4	0,050	8	14,00	0,45	278
6	23,0	16,700	36,5	18,5	0,903	16,5	0,050		18,00	1,09	279
67OS	36,0	16,750	49,0	23,2	0,722	16,0	0,050		14,00	0,88	280
Pileta LDT	2,5	24,000	20,0	15,0	1,600	20,0	0,050		33,00	1,65	307
Quint. y Villegas	8,0	1,000	23,5	15,6	0,064	4,0	0,050	8	1,00	0,25	308
32OSN	33,0	34,000	52,1	38,1	0,892	17,7	0,050		17,80	1,01	309
37OSN	52,0	19,710	43,0	27,0	0,730	47,0	0,050		14,50	0,31	310
38OSN	48,0	4,800	27,0	9,0	0,533	58,0	0,050		10,40	0,18	311
39OSN	50,0	8,500	21,7	8,5	1,000	62,9	0,050		20,00	0,32	312
51OS	34,0	20,000	60,6	42,0	0,476	25,9	0,050		9,00	0,35	313
1	26,0	16,500	42,6	65,0	0,254	22,4	0,028		5,00	0,22	315
5	10,8	9,600	31,0	23,4	0,410	25,0	0,030		14,20	0,57	321
L.H.	21,4	2,057	30,0	10,6	0,194	12,0	0,050	6	2,70	0,23	342
Lag.D.T.	10,3	16,200	54,0	47,7	0,340	12,0	0,050		6,20	0,52	343
Escal. Y Olasc.	5,2	2,400	22,6	13,4	0,179	7,8	0,050	4,2	2,31	0,30	344
Esc. Roger Balet		4,500	54,3	8,3	0,542	20,0	0,050	8	9,20	0,46	346
Circ. Subof. SPF	36,2	4,800	46,9	14,8	0,325	27,1	0,050	14	5,50	0,20	348
62OS	49,0	24,000	69,0	42,0	0,571	19,8	0,028		12,00	0,61	349
Fund. N. Pibes	27,8	6,340	42,1	15,9	0,399	27,9	0,028	5	6,83	0,24	350
2-II	9,7	9,500	44,6	36,4	0,261	21,4	0,005	9,5	5,67	0,26	354
SW Los Hornos	22,5	4,300	29,6	9,1	0,474	15,4	0,050		8,90	0,58	376
Com.Vec.V.Parq.	15,1	4,800	31,5	16,4	0,293	28,5	0,050		5,30	0,19	377

Pozo	PNE (m)	Q (m3/h)	PND (m)	Depr. (m)	Qc(m3/h/m)	E = b(m)	S	T.B.(hs)	T(m2/día)	K(m/día)	Celda
Circ. Diógenes	12,0	3,600	22,6	11,6	0,311	17,4	0,050		5,60	0,32	378
Plaza Barrio Sur	8,0	6,000	48,0	40,0	0,150	6,5	0,050	6	2,00	0,31	379
Barrio Sur	13,9	4,363	29,9	17,0	0,256	12,1	0,050	8	3,83	0,32	380
Correc. Menores	31,2	8,000	39,0	11,8	0,678	21,0	0,028		15,00	0,71	383
Club B. Pampa	40,2	6,500	51,0	12,0	0,542	15,0	0,028	9	10,40	0,69	384
Brown-P.Color.	12,5	11,000	51,6	39,1	0,282	21,5	0,050	7	4,27	0,20	410
Club Rucalén	15,7	6,000	29,5	15,5	0,387	24,5	0,050	8	7,37	0,30	412
4VP y 5VP	20,8	4,235	43,5	24,6	0,172	18,5	0,050		9,79	0,53	414
3VP	16,1	4,235	37,3	23,1	0,183	22,7	0,050		7,15	0,31	415
P.Industrial	19,5	2,500	42,5	27,0	0,093	27,5	0,028		1,90	0,07	417
Basural (Toay)	22,0	4,500	46,0	28,0	0,161	19,0	0,050		2,75	0,15	444
Lowo Che	20,9	4,800	38,5	18,6	0,259	21,6	0,050	10	4,07	0,19	446
Club Pichi Ñom	20,1	4,800	45,4	27,2	0,176	8,6	0,050	3	2,30	0,27	447
8VP	24,2	3,200	44,1	21,8	0,147	25,9	0,050		4,13	0,16	448
6VP y 7VP	20,7	3,890	38,5	19,7	0,198	21,5	0,050		8,55	0,40	449
2VP	27,5	1,600	39,7	14,0	0,114	11,4	0,027		7,03	0,62	451
1VP	25,1	1,800	38,5	15,3	0,118	12,5	0,005		5,65	0,45	452
Esc. 205 Toay	18,8	2,400	22,6	5,2	0,460	25,4	0,050	6	7,30	0,29	480
ITES	25,5	1,180	53,3	29,1	0,041	9,7	0,050	12	0,60	0,06	481
Pozo 14 Toay	14,5	12,000	54,0	41,5	0,289	12,0	0,050		5,30	0,44	482
Cem.Parque	46,1	1,700	69,4	25,3	0,067	5,7	0,005	11	1,40	0,25	488
Comisaría Toay	34,3	0,837	55,6	22,9	0,037	5,4	0,003	19	1,26	0,23	516
Regimiento 101	43,3	1,200	64,0	22,4	0,054	12,0	0,003	1	0,80	0,07	517
B° S.Martin Toay	28,4	1,945	38,4	11,0	0,177	27,6	0,003	2	3,00	0,11	519
Esc. Reg.Toay	33,0	1,200	56,0	24,9	0,048	5,0	0,003	11	1,00	0,20	552
Parq. Ind. Toay	34,7	2,400	60,8	27,6	0,087	35,2	0,003	9	1,75	0,05	587
Cuesta del Sur	48,7	1,400	57,2	10,0	0,140	8,8	0,005	4	2,43	0,28	742

Siendo:

PNE = Profundidad del nivel estático.

Q = Caudal de explotación.

PND = Profundidad del nivel dinámico.

Depr. = Depresión del nivel estático en el pozo por bombeo.

Qc = Caudal característico.

E = Espesor del pozo.

S = Coeficiente de almacenamiento.

T.B. = Tiempo de bombeo en el desarrollo del pozo.

T = Transmisividad.

K = Permeabilidad.

Celda = Corresponde al número de celda de la grilla subterránea, donde está ubicado el pozo (ver apartado 7.6.1).

A.5.2 Uso Consuntivo de Cada Celda Superficial

celda	ths	thr	Ks (m/seg)	Zsup (IGM)	Intmax (mm)	fcu	fpast	fdesn	fcover	furb	flag	fcinv	Cober	Alm Sup (mm)	Área Sup (m ²)
1	0,5	0,12	1,17E-05	198.780	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
2	0,5	0,12	1,17E-05	198.973	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
3	0,5	0,12	1,17E-05	194.980	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
4	0,5	0,12	1,17E-05	195.667	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
5	0,5	0,12	1,17E-05	199.368	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
6	0,5	0,12	1,17E-05	199.399	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
7	0,5	0,12	1,17E-05	196.665	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
8	0,5	0,12	1,17E-05	194.784	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
9	0,5	0,12	1,17E-05	189.930	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
10	0,5	0,12	1,17E-05	194.460	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
11	0,5	0,12	1,17E-05	194.815	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
12	0,5	0,12	1,17E-05	197.201	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
13	0,5	0,12	1,17E-05	196.548	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
14	0,5	0,12	1,17E-05	194.538	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
15	0,5	0,12	1,17E-05	191.944	5	1		0					0,00	0	1,00E+06

celda	ths	thr	Ks (m/seg)	Zsup (IGM)	Intmax (mm)	fcu	fpast	fdesn	fcver	furb	flag	fcinv	Cober	Alm Sup (mm)	Area Sup (m ²)
16	0,5	0,12	1,17E-05	187.212	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
17	0,5	0,12	1,17E-05	184.903	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
18	0,5	0,12	1,17E-05	174.862	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
19	0,5	0,12	1,17E-05	170.172	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
20	0,5	0,12	1,17E-05	165.589	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
21	0,5	0,12	1,17E-05	195.474	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
22	0,5	0,12	1,17E-05	195.000	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
23	0,5	0,12	1,17E-05	193.575	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
24	0,5	0,12	1,17E-05	193.785	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
25	0,5	0,12	1,17E-05	194.477	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
26	0,5	0,12	1,17E-05	192.162	5	1	0,5	0				0,5	1,00	0	1,00E+06
27	0,5	0,12	1,17E-05	186.811	5	1		0		0,8		0,2	1,00	0	1,00E+06
28	0,5	0,12	1,17E-05	185.000	5	1		0		0,8		0,2	1,00	0	1,00E+06
29	0,5	0,12	1,17E-05	187.971	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
30	0,5	0,12	1,17E-05	189.704	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
31	0,5	0,12	1,17E-05	191.193	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
32	0,5	0,12	1,17E-05	191.876	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
33	0,5	0,12	1,17E-05	189.870	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
34	0,5	0,12	1,17E-05	188.968	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
35	0,5	0,12	1,17E-05	184.588	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
36	0,5	0,12	1,17E-05	178.678	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
37	0,5	0,12	1,17E-05	175.604	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
38	0,5	0,12	1,17E-05	169.996	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
39	0,5	0,12	1,17E-05	169.142	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
40	0,5	0,12	1,17E-05	165.467	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
41	0,5	0,12	1,17E-05	195.550	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
42	0,5	0,12	1,17E-05	191.013	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
43	0,5	0,12	1,17E-05	192.687	5	1		0					0,00	0	1,00E+06
44	0,5	0,12	1,17E-05	189.685	5	1		0				1	1,00	0	1,00E+06
45	0,5	0,12	1,17E-05	190.374	5	1	0,4	0				0,6	1,00	0	1,00E+06
46	0,5	0,12	1,17E-05	190.621	5	1	0,569	0,231				0,2	1,00	0	1,00E+06
47	0,5	0,12	0,00E+00	190.000	5	1		0		1			1,00	0	1,00E+06
48	0,5	0,12	0,00E+00	188.667		1		0		1			1,00	0	1,00E+06
49	0,5	0,12	1,17E-05	185.000		1		0		0,5		0,5	1,00	0	1,00E+06
50	0,5	0,12	1,17E-05	185.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
51	0,5	0,12	1,17E-05	185.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
52	0,5	0,12	1,17E-05	188.994		1		0					0,00	0	1,00E+06
53	0,5	0,12	1,17E-05	190.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
54	0,5	0,12	1,17E-05	188.879		1		0					0,00	0	1,00E+06
55	0,5	0,12	1,17E-05	186.263		1		0					0,00	0	1,00E+06
56	0,5	0,12	1,17E-05	181.690		1		0					0,00	0	1,00E+06
57	0,5	0,12	1,17E-05	178.906		1		0					0,00	0	1,00E+06
58	0,5	0,12	1,17E-05	175.981		1		0					0,00	0	1,00E+06
59	0,5	0,12	1,17E-05	172.885		1		0					0,00	0	1,00E+06
60	0,5	0,12	1,17E-05	166.926		1		0					0,00	0	1,00E+06
61	0,5	0,12	1,17E-05	165.422		1		0					0,00	0	1,00E+06
62	0,5	0,12	1,17E-05	197.856		1		0					0,00	0	1,00E+06
63	0,5	0,12	1,17E-05	189.634		1		0		0,75		0,25	1,00	0	1,00E+06
64	0,5	0,12	1,17E-05	183.358		1	0,4	0				0,6	1,00	0	1,00E+06
65	0,5	0,12	1,17E-05	182.343		1	0,5	0		0,3		0,2	1,00	0	1,00E+06
66	0,5	0,12	1,17E-05	187.412		1	0,3	0		0,4		0,3	1,00	0	1,00E+06
67	0,5	0,12	0,00E+00	182.356		0		0		1			1,00	0	1,00E+06
68	0,5	0,12	0,00E+00	186.347		0		0		1			1,00	0	1,00E+06
69	0,5	0,12	0,00E+00	185.327		0		0		1			1,00	0	1,00E+06
70	0,5	0,12	1,17E-05	181.760		1	0,511	0,189				0,3	1,00	0	1,00E+06

celda	ths	thr	Ks (m/seg)	Zsup (IGM)	Intmax (mm)	fcu	fpast	fdesn	fcver	furbo	flag	fcinv	Cober	Alm Sup (mm)	Area Sup (m ²)
71	0,5	0,12	1,17E-05	184.783		1		0					0,00	0	1,00E+06
72	0,5	0,12	1,17E-05	185.189		1		0					0,00	0	1,00E+06
73	0,5	0,12	1,17E-05	184.898		1		0					0,00	0	1,00E+06
74	0,5	0,12	1,17E-05	185.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
75	0,5	0,12	1,17E-05	185.040		1		0					0,00	0	1,00E+06
76	0,5	0,12	1,17E-05	184.024		1		0					0,00	0	1,00E+06
77	0,5	0,12	1,17E-05	192.523		1		0					0,00	0	1,00E+06
78	0,5	0,12	1,17E-05	171.545		1		0					0,00	0	1,00E+06
79	0,5	0,12	1,17E-05	165.551		1		0					0,00	0	1,00E+06
80	0,5	0,12	1,17E-05	160.887		1		0					0,00	0	1,00E+06
81	0,5	0,12	1,17E-05	160.343		1		0					0,00	0	1,00E+06
82	0,5	0,12	1,17E-05	206.530		1		0					0,00	0	1,00E+06
83	0,5	0,12	1,17E-05	189.689		1	0,3	0				0,7	1,00	0	1,00E+06
84	0,5	0,12	1,17E-05	178.803		1	0,558	0,042				0,4	1,00	0	1,00E+06
85	0,5	0,12	1,17E-05	174.712		1	0,2	0		0,2		0,6	1,00	0	1,00E+06
86	0,5	0,12	1,17E-05	166.322		1	0,358	0,042		0,2	0,15	0,25	1,00	0	1,00E+06
87	0,5	0,12	0,00E+00	168.433		1		0		1			1,00	0	1,00E+06
88	0,5	0,12	0,00E+00	170.224		1		0		1			1,00	0	1,00E+06
89	0,5	0,12	0,00E+00	174.725		1		0		1			1,00	0	1,00E+06
90	0,5	0,12	1,17E-05	178.861		1	0,3	0				0,7	1,00	0	1,00E+06
91	0,5	0,12	1,17E-05	184.050		1		0					0,00	0	1,00E+06
92	0,5	0,12	1,17E-05	185.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
93	0,5	0,12	1,17E-05	185.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
94	0,5	0,12	1,17E-05	184.968		1		0					0,00	0	1,00E+06
95	0,5	0,12	1,17E-05	182.747		1		0					0,00	0	1,00E+06
96	0,5	0,12	1,17E-05	180.248		1		0					0,00	0	1,00E+06
97	0,5	0,12	1,17E-05	173.172		1		0					0,00	0	1,00E+06
98	0,5	0,12	1,17E-05	166.688		1		0					0,00	0	1,00E+06
99	0,5	0,12	1,17E-05	160.081		1		0					0,00	0	1,00E+06
100	0,5	0,12	1,17E-05	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
101	0,5	0,12	1,17E-05	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
102	0,5	0,12	1,17E-05	204.950		1		0					0,00	0	1,00E+06
103	0,5	0,12	1,17E-05	187.734		1	0,258	0,042				0,7	1,00	0	1,00E+06
104	0,5	0,12	1,17E-05	199.990		1		0					0,00	0	1,00E+06
105	0,5	0,12	1,00E-07	173.111		0		0		1			1,00	0	1,00E+06
106	0,5	0,12	1,00E-07	165.000		0		0		1			1,00	0	1,00E+06
107	0,5	0,12	0,00E+00	165.000		0		0		1			1,00	0	1,00E+06
108	0,5	0,12	0,00E+00	170.324		0		0		1			1,00	0	1,00E+06
109	0,5	0,12	0,00E+00	174.387		0		0		1			1,00	0	1,00E+06
110	0,5	0,12	1,17E-05	190.346		1	0,4	0		0,6			1,00	0	1,00E+06
111	0,5	0,12	1,17E-05	188.953		1		0					0,00	0	1,00E+06
112	0,5	0,12	1,17E-05	189.704		1		0					0,00	0	1,00E+06
113	0,5	0,12	1,17E-05	185.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
114	0,5	0,12	1,17E-05	181.979		1		0					0,00	0	1,00E+06
115	0,5	0,12	1,17E-05	180.234		1		0					0,00	0	1,00E+06
116	0,5	0,12	1,17E-05	179.866		1		0					0,00	0	1,00E+06
117	0,5	0,12	1,17E-05	165.933		1		0					0,00	0	1,00E+06
118	0,5	0,12	1,17E-05	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
119	0,5	0,12	1,17E-05	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
120	0,5	0,12	1,17E-05	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
121	0,5	0,12	1,17E-05	159.772		1		0					0,00	0	1,00E+06
122	0,5	0,12	1,17E-05	178.684		1	0,7	0	0,3				1,00	0	1,00E+06
123	0,5	0,12	1,17E-05	187.503		1	0,358	0,042	0,2			0,4	1,00	0	1,00E+06
124	0,5	0,12	1,17E-05	189.210		1	0,458	0,042	0,2			0,3	1,00	0	1,00E+06
125	0,5	0,12	1,00E-07	183.858		0		0			1		1,00	0	1,00E+06

celda	ths	thr	Ks (m/seg)	Zsup (IGM)	Intmax (mm)	fcu	fpast	fdesn	fcver	furfb	flag	fcinv	Cober	Alm Sup (mm)	Area Sup (m ²)
126	0,5	0,12	1,00E-07	173.357		0		0			1		1,00	0	1,00E+06
127	0,5	0,12	0,00E+00	165.870		0		0		1			1,00	0	1,00E+06
128	0,5	0,12	0,00E+00	168.352		0		0		1			1,00	0	1,00E+06
129	0,5	0,12	0,00E+00	172.524		0		0		1			1,00	0	1,00E+06
130	0,5	0,12	1,17E-05	176.655		1	0,287	0,063	0,15	0,1		0,4	1,00	0	1,00E+06
131	0,5	0,12	1,17E-05	184.534		1	0,3	0	0,3			0,4	1,00	0	1,00E+06
132	0,5	0,12	1,17E-05	189.081		1		0					0,00	0	1,00E+06
133	0,5	0,12	1,17E-05	180.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
134	0,5	0,12	1,17E-05	175.782		1		0					0,00	0	1,00E+06
135	0,5	0,12	1,17E-05	174.238		1		0					0,00	0	1,00E+06
136	0,5	0,12	1,17E-05	169.432		1		0					0,00	0	1,00E+06
137	0,5	0,12	1,17E-05	165.575		1		0					0,00	0	1,00E+06
138	0,5	0,12	1,17E-05	160.777		1		0					0,00	0	1,00E+06
139	0,5	0,12	1,17E-05	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
140	0,5	0,12	1,17E-05	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
141	0,5	0,12	1,17E-05	164.307		1		0					0,00	0	1,00E+06
142	0,5	0,12	1,17E-05	176.374		1	0,85	0	0,15				1,00	0	1,00E+06
143	0,5	0,12	1,17E-05	187.308		1	0,458	0,042	0,05	0,3		0,15	1,00	0	1,00E+06
144	0,5	0,12	1,17E-05	210.000		1	0,1	0		0,9			1,00	0	1,00E+06
145	0,5	0,12	1,17E-05	182.214		1	0,1	0		0,8		0,1	1,00	0	1,00E+06
146	0,5	0,12	0,00E+00	175.202		0		0		1			1,00	0	1,00E+06
147	0,5	0,12	0,00E+00	173.692		0		0		1			1,00	0	1,00E+06
148	0,5	0,12	0,00E+00	172.604		0		0		1			1,00	0	1,00E+06
149	0,5	0,12	0,00E+00	174.828		0		0		1			1,00	0	1,00E+06
150	0,5	0,12	5,55E-06	175.754		1	0,29	0,21	0,15			0,35	1,00	0	1,00E+06
151	0,5	0,12	5,55E-06	180.099		1	0,129	0,021	0,3			0,55	1,00	0	1,00E+06
152	0,5	0,12	5,55E-06	180.864		1		0	0,3			0,7	1,00	0	1,00E+06
153	0,5	0,12	5,55E-06	178.502		1	0,7	0	0,3				1,00	0	1,00E+06
154	0,5	0,12	5,55E-06	175.000		1	0,3	0	0,4			0,3	1,00	0	1,00E+06
155	0,5	0,12	5,55E-06	170.153		1	0,5	0	0,15			0,35	1,00	0	1,00E+06
156	0,5	0,12	5,55E-06	163.802		1	0,1	0	0,5			0,4	1,00	0	1,00E+06
157	0,5	0,12	5,55E-06	160.057		1		0					0,00	0	1,00E+06
158	0,5	0,12	5,55E-06	160.219		1		0					0,00	0	1,00E+06
159	0,5	0,12	5,55E-06	165.035		1		0					0,00	0	1,00E+06
160	0,5	0,12	5,55E-06	171.180		1		0					0,00	0	1,00E+06
161	0,5	0,12	5,55E-06	186.052		1		0					0,00	0	1,00E+06
162	0,5	0,12	5,55E-06	187.250		1		0					0,00	0	1,00E+06
163	0,5	0,12	5,55E-06	185.000		1	0,1	0		0,9			1,00	0	1,00E+06
164	0,5	0,12	5,55E-06	185.000		1	0,116	0,084		0,8			1,00	0	1,00E+06
165	0,5	0,12	5,55E-06	181.772		1	0,258	0,042	0,1	0,1		0,5	1,00	0	1,00E+06
166	0,5	0,12	5,55E-06	184.533		1	0,316	0,084	0,5			0,1	1,00	0	1,00E+06
167	0,5	0,12	0,00E+00	181.922		0		0		1			1,00	0	1,00E+06
168	0,5	0,12	0,00E+00	175.000		0		0		1			1,00	0	1,00E+06
169	0,5	0,12	5,55E-06	175.000		0	0,416	0,084	0,2	0,1		0,2	1,00	0	1,00E+06
170	0,5	0,12	5,55E-06	175.000		1	0,316	0,084				0,6	1,00	0	1,00E+06
171	0,5	0,12	5,55E-06	174.720		1	0,1	0	0,65			0,25	1,00	0	1,00E+06
172	0,5	0,12	5,55E-06	180.000		1		0	0,7			0,3	1,00	0	1,00E+06
173	0,5	0,12	5,55E-06	180.000		1	0,203	0,147	0,1			0,55	1,00	0	1,00E+06
174	0,5	0,12	5,55E-06	174.434		1	0,5	0	0,1			0,4	1,00	0	1,00E+06
175	0,5	0,12	5,55E-06	164.436		1	0,15	0	0,3			0,55	1,00	0	1,00E+06
176	0,5	0,12	5,55E-06	160.202		1	0,25	0	0,6			0,15	1,00	0	1,00E+06
177	0,5	0,12	5,55E-06	160.000		1	0,9	0	0,1				1,00	0	1,00E+06
178	0,5	0,12	5,55E-06	185.693		1		0					0,00	0	1,00E+06
179	0,5	0,12	5,55E-06	190.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
180	0,5	0,12	5,55E-06	185.565		1		0					0,00	0	1,00E+06

celda	ths	thr	Ks (m/seg)	Zsup (IGM)	Intmax (mm)	fcu	fpast	fdesn	fcver	furfb	flag	fcinv	Cober	Alm Sup (mm)	Area Sup (m ²)
181	0,5	0,12	5,55E-06	176.442		1		0					0,00	0	1,00E+06
182	0,5	0,12	5,55E-06	172.524		1		0					0,00	0	1,00E+06
183	0,5	0,12	5,55E-06	185.622		1		0					0,00	0	1,00E+06
184	0,5	0,12	5,55E-06	186.091		1		0					0,00	0	1,00E+06
185	0,5	0,12	5,55E-06	185.845		1	0,129	0,021	0,6			0,25	1,00	0	1,00E+06
186	0,5	0,12	5,55E-06	186.073		1	0,458	0,042	0,3			0,2	1,00	0	1,00E+06
187	0,5	0,12	5,55E-06	185.710		1	0,658	0,042	0,3				1,00	0	1,00E+06
188	0,5	0,12	5,55E-06	179.177		1	0,39	0,21	0,2			0,2	1,00	0	1,00E+06
189	0,5	0,12	5,55E-06	180.009		1	0,445	0,105	0,1			0,35	1,00	0	1,00E+06
190	0,5	0,12	5,55E-06	175.000		1	0,316	0,084	0,5			0,1	1,00	0	1,00E+06
191	0,5	0,12	5,55E-06	175.000		1	0,258	0,042	0,5			0,2	1,00	0	1,00E+06
192	0,5	0,12	5,55E-06	179.221		1	0,187	0,063	0,1			0,65	1,00	0	1,00E+06
193	0,5	0,12	5,55E-06	173.645		1	0,15	0	0,05			0,8	1,00	0	1,00E+06
194	0,5	0,12	5,55E-06	164.451		1	0,3	0	0,1			0,6	1,00	0	1,00E+06
195	0,5	0,12	5,55E-06	160.795		1	0,2	0	0,1			0,7	1,00	0	1,00E+06
196	0,5	0,12	5,55E-06	160.000		1	0,7	0				0,3	1,00	0	1,00E+06
197	0,5	0,12	5,55E-06	159.879		1	0,9	0				0,1	1,00	0	1,00E+06
198	0,5	0,12	5,55E-06	181.196		1	0,2	0	0,3			0,5	1,00	0	1,00E+06
199	0,5	0,12	5,55E-06	184.978		1	0,3	0				0,7	1,00	0	1,00E+06
200	0,5	0,12	5,55E-06	178.810		1		0					0,00	0	1,00E+06
201	0,5	0,12	5,55E-06	169.306		1		0					0,00	0	1,00E+06
202	0,5	0,12	5,55E-06	164.749		1		0					0,00	0	1,00E+06
203	0,5	0,12	5,55E-06	186.360		1		0					0,00	0	1,00E+06
204	0,5	0,12	5,55E-06	188.746		1	0,474	0,126	0,4				1,00	0	1,00E+06
205	0,5	0,12	5,55E-06	188.374		1	0,574	0,126	0,3				1,00	0	1,00E+06
206	0,5	0,12	5,55E-06	197.848		1	0,416	0,084	0,2			0,3	1,00	0	1,00E+06
207	0,5	0,12	5,55E-06	199.962		1	0,458	0,042	0,3			0,2	1,00	0	1,00E+06
208	0,5	0,12	5,55E-06	194.984		1	0,324	0,126	0,4			0,15	1,00	0	1,00E+06
209	0,5	0,12	5,55E-06	184.020		1	0,514	0,336				0,15	1,00	0	1,00E+06
210	0,5	0,12	5,55E-06	177.600		1	0,606	0,294	0,1				1,00	0	1,00E+06
211	0,5	0,12	5,55E-06	173.075		1	0,377	0,273				0,35	1,00	0	1,00E+06
212	0,5	0,12	5,55E-06	172.337		1	0,145	0,105				0,75	1,00	0	1,00E+06
213	0,5	0,12	5,55E-06	166.682		1	0,2	0				0,8	1,00	0	1,00E+06
214	0,5	0,12	5,55E-06	160.474		1		0				1	1,00	0	1,00E+06
215	0,5	0,12	5,55E-06	155.288		1		0				1	1,00	0	1,00E+06
216	0,5	0,12	5,55E-06	157.059		1	0,3	0				0,7	1,00	0	1,00E+06
217	0,5	0,12	5,55E-06	157.003		1	0,2	0	0,1			0,7	1,00	0	1,00E+06
218	0,5	0,12	5,55E-06	167.083		1	0,3	0	0,4			0,3	1,00	0	1,00E+06
219	0,5	0,12	5,55E-06	168.435		1	0,45	0	0,1			0,45	1,00	0	1,00E+06
220	0,5	0,12	5,55E-06	167.380		1	0,5	0	0,5				1,00	0	1,00E+06
221	0,5	0,12	5,55E-06	165.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
222	0,5	0,12	5,55E-06	163.789		1		0					0,00	0	1,00E+06
223	0,5	0,12	5,55E-06	185.819		1	0,458	0,042	0,3			0,2	1,00	0	1,00E+06
224	0,5	0,12	5,55E-06	189.889		1	0,448	0,252	0,15			0,15	1,00	0	1,00E+06
225	0,5	0,12	5,55E-06	210.000		1	0,116	0,084	0,5			0,3	1,00	0	1,00E+06
226	0,5	0,12	5,55E-06	193.290		1	0,274	0,126	0,4			0,2	1,00	0	1,00E+06
227	0,5	0,12	5,55E-06	190.000		1	0,577	0,273	0,1			0,05	1,00	0	1,00E+06
228	0,5	0,12	5,55E-06	185.000		1	0,382	0,168	0,25			0,2	1,00	0	1,00E+06
229	0,5	0,12	5,55E-06	184.233		1	0,406	0,294	0,15			0,15	1,00	0	1,00E+06
230	0,5	0,12	5,55E-06	180.000		1	0,35	0	0,2			0,45	1,00	0	1,00E+06
231	0,5	0,12	5,55E-06	166.126		1	0,2	0			0,2	0,6	1,00	0	1,00E+06
232	0,5	0,12	5,55E-06	169.007		1	0,058	0,042			0,1	0,8	1,00	0	1,00E+06
233	0,5	0,12	5,55E-06	159.862		1	0,258	0,042				0,7	1,00	0	1,00E+06
234	0,5	0,12	5,55E-06	152.992		1	0,25	0	0,05			0,7	1,00	0	1,00E+06
235	0,5	0,12	5,55E-06	151.870		1	0,1	0	0,15			0,75	1,00	0	1,00E+06

celda	ths	thr	Ks (m/seg)	Zsup (IGM)	Intmax (mm)	fcu	fpast	fdesn	fcver	furfb	flag	fcinv	Cober	Alm Sup (mm)	Area Sup (m ²)
236	0,5	0,12	5,55E-06	154.805		1	0,25	0	0,05			0,7	1,00	0	1,00E+06
237	0,5	0,12	5,55E-06	156.006		1	0,3	0				0,7	1,00	0	1,00E+06
238	0,5	0,12	5,55E-06	160.000		1	0,5	0	0,15			0,35	1,00	0	1,00E+06
239	0,5	0,12	5,55E-06	159.625		1	0,5	0	0,3			0,2	1,00	0	1,00E+06
240	0,5	0,12	5,55E-06	164.585		1	0,4	0				0,6	1,00	0	1,00E+06
241	0,5	0,12	5,55E-06	165.000		1	1	0					1,00	0	1,00E+06
242	0,5	0,12	5,55E-06	164.337		1	0,174	0,126	0,4			0,3	1,00	0	1,00E+06
243	0,5	0,12	5,55E-06	184.774		1	0,116	0,084	0,8				1,00	0	1,00E+06
244	0,5	0,12	5,55E-06	179.461		1	0,474	0,126	0,4				1,00	0	1,00E+06
245	0,5	0,12	5,55E-06	192.595		1	0,274	0,126	0,6				1,00	0	1,00E+06
246	0,5	0,12	5,55E-06	190.000		1	0,406	0,294	0,3				1,00	0	1,00E+06
247	0,5	0,12	5,55E-06	187.867		1	0,532	0,168	0,2			0,1	1,00	0	1,00E+06
248	0,5	0,12	5,55E-06	185.000		1	0,237	0,063	0,4			0,3	1,00	0	1,00E+06
249	0,5	0,12	5,55E-06	180.674		1	0,232	0,168	0,3			0,3	1,00	0	1,00E+06
250	0,5	0,12	5,55E-06	171.557		1		0	0,6			0,4	1,00	0	1,00E+06
251	0,5	0,12	5,55E-06	161.537		1	0,35	0	0,15		0,2	0,3	1,00	0	1,00E+06
252	0,5	0,12	5,55E-06	152.154		1	0,7	0			0,1	0,2	1,00	0	1,00E+06
253	0,5	0,12	5,55E-06	143.535		1	0,9	0			0,1		1,00	0	1,00E+06
254	0,5	0,12	5,55E-06	136.278		1	0,3	0	0,15			0,55	1,00	0	1,00E+06
255	0,5	0,12	5,55E-06	136.497		1	0,116	0,084	0,15			0,65	1,00	0	1,00E+06
256	0,5	0,12	5,55E-06	150.225		1	0,116	0,084	0,2			0,6	1,00	0	1,00E+06
257	0,5	0,12	5,55E-06	151.394		1	0,2	0	0,2			0,6	1,00	0	1,00E+06
258	0,5	0,12	5,55E-06	159.911		1	0,629	0,021	0,3			0,05	1,00	0	1,00E+06
259	0,5	0,12	5,55E-06	156.604		1		0	0,5			0,5	1,00	0	1,00E+06
260	0,5	0,12	5,55E-06	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
261	0,5	0,12	5,55E-06	170.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
262	0,5	0,12	5,55E-06	166.130		1	0,174	0,126	0,3			0,4	1,00	0	1,00E+06
263	0,5	0,12	5,55E-06	169.754		1	0,174	0,126	0,6			0,1	1,00	0	1,00E+06
264	0,5	0,12	5,55E-06	164.459		1	0,316	0,084	0,5			0,1	1,00	0	1,00E+06
265	0,5	0,12	5,55E-06	180.615		1	0,232	0,168	0,6				1,00	0	1,00E+06
266	0,5	0,12	5,55E-06	185.530		1	0,477	0,273	0,25				1,00	0	1,00E+06
267	0,5	0,12	5,55E-06	190.000		1	0,574	0,126	0,3				1,00	0	1,00E+06
268	0,5	0,12	5,55E-06	188.514		1	0,453	0,147	0,3			0,1	1,00	0	1,00E+06
269	0,5	0,12	5,55E-06	177.456		1	0,595	0,105	0,2			0,1	1,00	0	1,00E+06
270	0,5	0,12	5,55E-06	165.067		1	0,2	0	0,15		0,5	0,15	1,00	0	1,00E+06
271	0,5	0,12	1,00E-07	143.528		0		0			1		1,00	0	1,00E+06
272	0,5	0,12	1,00E-07	140.000		0		0			1		1,00	0	1,00E+06
273	0,5	0,12	1,00E-07	130.133		0		0			1		1,00	0	1,00E+06
274	0,5	0,12	5,55E-06	125.000		0	0,2	0			0,5	0,3	1,00	0	1,00E+06
275	0,5	0,12	5,55E-06	125.000		1	0,4	0				0,6	1,00	0	1,00E+06
276	0,5	0,12	5,55E-06	126.538		1	0,6	0				0,4	1,00	0	1,00E+06
277	0,5	0,12	5,55E-06	129.955		1	0,574	0,126	0,3				1,00	0	1,00E+06
278	0,5	0,12	5,55E-06	135.168		1	0,116	0,084	0,8				1,00	0	1,00E+06
279	0,5	0,12	5,55E-06	148.602		1		0					0,00	0	1,00E+06
280	0,5	0,12	5,55E-06	153.471		1		0					0,00	0	1,00E+06
281	0,5	0,12	5,55E-06	164.132		1		0					0,00	0	1,00E+06
282	0,5	0,12	5,55E-06	159.537		1		0					0,00	0	1,00E+06
283	0,5	0,12	5,55E-06	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
284	0,5	0,12	5,55E-06	175.053		1	0,603	0,147				0,25	1,00	0	1,00E+06
285	0,5	0,12	5,55E-06	165.000		1	0,29	0,21	0,25			0,25	1,00	0	1,00E+06
286	0,5	0,12	5,55E-06	180.318		1	0,406	0,294	0,15			0,15	1,00	0	1,00E+06
287	0,5	0,12	5,55E-06	190.000		1	0,435	0,315	0,25				1,00	0	1,00E+06
288	0,5	0,12	5,55E-06	181.305		1	0,232	0,168	0,15		0,15	0,3	1,00	0	1,00E+06
289	0,5	0,12	1,00E-07	166.058		0		0			1		1,00	0	1,00E+06
290	0,5	0,12	1,00E-07	145.682		0		0			1		1,00	0	1,00E+06

celda	ths	thr	Ks (m/seg)	Zsup (IGM)	Intmax (mm)	fcu	fpast	fdesn	fcver	furb	flag	fcinv	Cober	Alm Sup (mm)	Area Sup (m ²)
291	0,5	0,12	1,00E-07	140.000		0		0			1		1,00	0	1,00E+06
292	0,5	0,12	1,00E-07	128.480		0		0			1		1,00	0	1,00E+06
293	0,5	0,12	1,00E-07	125.000		0		0			1		1,00	0	1,00E+06
294	0,5	0,12	5,55E-06	126.057		0	0,516	0,084				0,4	1,00	0	1,00E+06
295	0,5	0,12	5,55E-06	124.669		1	0,2	0	0,7			0,1	1,00	0	1,00E+06
296	0,5	0,12	5,55E-06	124.534		1	0,258	0,042				0,7	1,00	0	1,00E+06
297	0,5	0,12	5,55E-06	130.036		1	0,145	0,105	0,15			0,6	1,00	0	1,00E+06
298	0,5	0,12	5,55E-06	150.505		1	0,174	0,126	0,5			0,2	1,00	0	1,00E+06
299	0,5	0,12	5,55E-06	150.191		1		0					0,00	0	1,00E+06
300	0,5	0,12	5,55E-06	154.641		1		0					0,00	0	1,00E+06
301	0,5	0,12	5,55E-06	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
302	0,5	0,12	5,55E-06	155.000		1	0,482	0,168	0,1			0,25	1,00	0	1,00E+06
303	0,5	0,12	5,55E-06	160.000		1	0,645	0,105	0,15			0,1	1,00	0	1,00E+06
304	0,5	0,12	5,55E-06	179.998		1	0,574	0,126	0,1			0,2	1,00	0	1,00E+06
305	0,5	0,12	5,55E-06	173.335		1	0,524	0,126	0,05			0,3	1,00	0	1,00E+06
306	0,5	0,12	5,55E-06	180.000		1	0,232	0,168	0,4			0,2	1,00	0	1,00E+06
307	0,5	0,12	5,55E-06	172.894		1	0,295	0,105	0,15		0,2	0,25	1,00	0	1,00E+06
308	0,5	0,12	1,00E-07	165.443		0		0			1		1,00	0	1,00E+06
309	0,5	0,12	1,00E-07	153.417		0		0			1		1,00	0	1,00E+06
310	0,5	0,12	1,00E-07	140.886		0		0			1		1,00	0	1,00E+06
311	0,5	0,12	5,55E-06	127.043		1	0,632	0,168	0,1		0,1		1,00	0	1,00E+06
312	0,5	0,12	5,55E-06	125.000		1	0,59	0,21	0,2				1,00	0	1,00E+06
313	0,5	0,12	5,55E-06	143.554		1	0,7	0	0,05			0,25	1,00	0	1,00E+06
314	0,5	0,12	5,55E-06	146.640		1	0,487	0,063	0,3			0,15	1,00	0	1,00E+06
315	0,5	0,12	5,55E-06	150.555		1	0,174	0,126	0,7				1,00	0	1,00E+06
316	0,5	0,12	5,55E-06	140.664		1	0,216	0,084	0,3			0,4	1,00	0	1,00E+06
317	0,5	0,12	5,55E-06	151.286		1		0					0,00	0	1,00E+06
318	0,5	0,12	5,55E-06	156.507		1		0					0,00	0	1,00E+06
319	0,5	0,12	5,55E-06	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
320	0,5	0,12	5,55E-06	159.026		1		0					0,00	0	1,00E+06
321	0,5	0,12	5,55E-06	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
322	0,5	0,12	5,55E-06	159.264		1	0,522	0,378	0,1				1,00	0	1,00E+06
323	0,5	0,12	5,55E-06	160.000		1	0,203	0,147	0,3			0,35	1,00	0	1,00E+06
324	0,5	0,12	5,55E-06	187.414		1	0,464	0,336				0,2	1,00	0	1,00E+06
325	0,5	0,12	5,55E-06	175.061		1	0,29	0,21	0,5				1,00	0	1,00E+06
326	0,5	0,12	5,55E-06	153.181		1	0,516	0,084	0,3			0,1	1,00	0	1,00E+06
327	0,5	0,12	5,55E-06	148.022		0	0,4	0	0,1			0,5	1,00	0	1,00E+06
328	0,5	0,12	1,00E-07	143.512		0		0			1		1,00	0	1,00E+06
329	0,5	0,12	5,55E-06	135.891		1	0,564	0,336	0,1				1,00	0	1,00E+06
330	0,5	0,12	5,55E-06	128.271		1	0,174	0,126	0,3			0,4	1,00	0	1,00E+06
331	0,5	0,12	5,55E-06	128.878		1	0,261	0,189				0,55	1,00	0	1,00E+06
332	0,5	0,12	5,55E-06	140.233		1	0,319	0,231	0,2			0,25	1,00	0	1,00E+06
333	0,5	0,12	5,55E-06	175.003		1	0,482	0,168	0,25			0,1	1,00	0	1,00E+06
334	0,5	0,12	5,55E-06	175.000		1	0,6	0	0,4				1,00	0	1,00E+06
335	0,5	0,12	5,55E-06	175.074		1	0,7	0	0,3				1,00	0	1,00E+06
336	0,5	0,12	5,55E-06	159.679		1		0					0,00	0	1,00E+06
337	0,5	0,12	5,55E-06	167.986		1		0					0,00	0	1,00E+06
338	0,5	0,12	5,55E-06	170.970		1		0					0,00	0	1,00E+06
339	0,5	0,12	5,55E-06	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
340	0,5	0,12	5,55E-06	164.597		1		0					0,00	0	1,00E+06
341	0,5	0,12	5,55E-06	167.561		1	0,58	0,42					1,00	0	1,00E+06
342	0,5	0,12	5,55E-06	168.233		1	0,464	0,336	0,15			0,05	1,00	0	1,00E+06
343	0,5	0,12	5,55E-06	170.000		1	0,348	0,252	0,35			0,05	1,00	0	1,00E+06
344	0,5	0,12	5,55E-06	172.613		1	0,406	0,294	0,1			0,2	1,00	0	1,00E+06
345	0,5	0,12	5,55E-06	154.876		1	0,464	0,336	0,2				1,00	0	1,00E+06

celda	ths	thr	Ks (m/seg)	Zsup (IGM)	Intmax (mm)	fcu	fpast	fdesn	fcver	furb	flag	fcinv	Cober	Alm Sup (mm)	Area Sup (m ²)
346	0,5	0,12	5,55E-06	150.000		1	0,448	0,252	0,3				1,00	0	1,00E+06
347	0,5	0,12	5,55E-06	150.000		1	0,295	0,105	0,5			0,1	1,00	0	1,00E+06
348	0,5	0,12	5,55E-06	147.354		1	0,237	0,063	0,7				1,00	0	1,00E+06
349	0,5	0,12	5,55E-06	159.416		1	0,419	0,231	0,1			0,25	1,00	0	1,00E+06
350	0,5	0,12	5,55E-06	161.562		1	0,1	0	0,3			0,6	1,00	0	1,00E+06
351	0,5	0,12	5,55E-06	170.138		1	0,174	0,126	0,2			0,5	1,00	0	1,00E+06
352	0,5	0,12	5,55E-06	180.000		1	0,427	0,273				0,3	1,00	0	1,00E+06
353	0,5	0,12	5,55E-06	180.000		1	0,435	0,315	0,05			0,2	1,00	0	1,00E+06
354	0,5	0,12	5,55E-06	178.668		1	0,366	0,084	0,1			0,45	1,00	0	1,00E+06
355	0,5	0,12	5,55E-06	164.667		1		0					0,00	0	1,00E+06
356	0,5	0,12	5,55E-06	170.010		1		0					0,00	0	1,00E+06
357	0,5	0,12	5,55E-06	174.998		1		0					0,00	0	1,00E+06
358	0,5	0,12	5,55E-06	170.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
359	0,5	0,12	5,55E-06	168.749		1		0					0,00	0	1,00E+06
360	0,5	0,12	5,55E-06	170.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
361	0,5	0,12	5,55E-06	170.000		1	0,58	0,42					1,00	0	1,00E+06
362	0,5	0,12	5,55E-06	170.000		1	0,427	0,273	0,25			0,05	1,00	0	1,00E+06
363	0,5	0,12	5,55E-06	174.357		1	0,332	0,168	0,5				1,00	0	1,00E+06
364	0,5	0,12	5,55E-06	153.840		1	0,319	0,231	0,45				1,00	0	1,00E+06
365	0,5	0,12	5,55E-06	150.000		1	0,232	0,168	0,6				1,00	0	1,00E+06
366	0,5	0,12	5,55E-06	166.662		1	0,406	0,294	0,3				1,00	0	1,00E+06
367	0,5	0,12	5,55E-06	171.448		1	0,58	0,42					1,00	0	1,00E+06
368	0,5	0,12	5,55E-06	171.396		1	0,406	0,294	0,3				1,00	0	1,00E+06
369	0,5	0,12	5,55E-06	183.971		1	0,174	0,126	0,5			0,2	1,00	0	1,00E+06
370	0,5	0,12	5,55E-06	181.680		1	0,358	0,042	0,5			0,1	1,00	0	1,00E+06
371	0,5	0,12	5,55E-06	180.000		1	0,348	0,252	0,4				1,00	0	1,00E+06
372	0,5	0,12	5,55E-06	180.000		1	0,29	0,21	0,4			0,1	1,00	0	1,00E+06
373	0,5	0,12	5,55E-06	180.000		1	0,116	0,084				0,8	1,00	0	1,00E+06
374	0,5	0,12	5,55E-06	180.000		1	0,116	0,084				0,8	1,00	0	1,00E+06
375	0,5	0,12	5,55E-06	179.763		1		0					0,00	0	1,00E+06
376	0,5	0,12	5,55E-06	180.651		1		0					0,00	0	1,00E+06
377	0,5	0,12	5,55E-06	167.001		1		0					0,00	0	1,00E+06
378	0,5	0,12	5,55E-06	162.206		1		0					0,00	0	1,00E+06
379	0,5	0,12	5,55E-06	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
380	0,5	0,12	5,55E-06	170.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
381	0,5	0,12	5,55E-06	170.000		1	0,643	0,357					1,00	0	1,00E+06
382	0,5	0,12	5,55E-06	166.436		1	0,6	0	0,2			0,2	1,00	0	1,00E+06
383	0,5	0,12	5,55E-06	168.252		1	0,532	0,168	0,3				1,00	0	1,00E+06
384	0,5	0,12	5,55E-06	152.074		1	0,261	0,189	0,55				1,00	0	1,00E+06
385	0,5	0,12	5,55E-06	166.850		1	0,274	0,126	0,55			0,05	1,00	0	1,00E+06
386	0,5	0,12	5,55E-06	175.639		1	0,564	0,336				0,1	1,00	0	1,00E+06
387	0,5	0,12	5,55E-06	179.584		1	0,522	0,378	0,1				1,00	0	1,00E+06
388	0,5	0,12	5,55E-06	188.679		1	0,348	0,252	0,25			0,15	1,00	0	1,00E+06
389	0,5	0,12	5,55E-06	195.000		1	0,398	0,252	0,25			0,1	1,00	0	1,00E+06
390	0,5	0,12	5,55E-06	187.316		1	0,366	0,084	0,35			0,2	1,00	0	1,00E+06
391	0,5	0,12	5,55E-06	189.729		1	0,474	0,126				0,4	1,00	0	1,00E+06
392	0,5	0,12	5,55E-06	190.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
393	0,5	0,12	5,55E-06	190.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
394	0,5	0,12	5,55E-06	179.795		1		0					0,00	0	1,00E+06
395	0,5	0,12	5,55E-06	179.069		1		0					0,00	0	1,00E+06
396	0,5	0,12	5,55E-06	163.814		1		0					0,00	0	1,00E+06
397	0,5	0,12	5,55E-06	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
398	0,5	0,12	5,55E-06	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
399	0,5	0,12	5,55E-06	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
400	0,5	0,12	5,55E-06	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06

celda	ths	thr	Ks (m/seg)	Zsup (IGM)	Intmax (mm)	fcu	fpast	fdesn	fcver	furb	flag	fcinv	Cober	Alm Sup (mm)	Area Sup (m ²)
401	0,5	0,12	5,55E-06	162.184		1		0					0,00	0	1,00E+06
402	0,5	0,12	5,55E-06	160.221		1	0,616	0,084	0,3				1,00	0	1,00E+06
403	0,5	0,12	5,55E-06	170.000		1	0,59	0,21	0,2				1,00	0	1,00E+06
404	0,5	0,12	5,55E-06	157.908		1	0,348	0,252	0,3			0,1	1,00	0	1,00E+06
405	0,5	0,12	5,55E-06	175.000		1	0,261	0,189	0,55				1,00	0	1,00E+06
406	0,5	0,12	5,55E-06	185.757		1	0,493	0,357	0,15				1,00	0	1,00E+06
407	0,5	0,12	5,55E-06	196.183		1	0,58	0,42					1,00	0	1,00E+06
408	0,5	0,12	5,55E-06	199.994		1	0,464	0,336	0,2				1,00	0	1,00E+06
409	0,5	0,12	5,55E-06	199.639		1	0,574	0,126	0,3				1,00	0	1,00E+06
410	0,5	0,12	5,55E-06	195.681		1		0					0,00	0	1,00E+06
411	0,5	0,12	5,55E-06	194.992		1		0					0,00	0	1,00E+06
412	0,5	0,12	5,55E-06	191.111		1		0					0,00	0	1,00E+06
413	0,5	0,12	5,55E-06	178.957		1		0					0,00	0	1,00E+06
414	0,5	0,12	5,55E-06	167.296		1		0					0,00	0	1,00E+06
415	0,5	0,12	5,55E-06	161.109		1		0					0,00	0	1,00E+06
416	0,5	0,12	5,55E-06	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
417	0,5	0,12	5,55E-06	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
418	0,5	0,12	5,55E-06	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
419	0,5	0,12	5,55E-06	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
420	0,5	0,12	5,55E-06	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
421	0,5	0,12	5,55E-06	164.933		1		0					0,00	0	1,00E+06
422	0,5	0,12	5,55E-06	164.785		1	0,274	0,126	0,6				1,00	0	1,00E+06
423	0,5	0,12	5,55E-06	165.000		1	0,406	0,294	0,2			0,1	1,00	0	1,00E+06
424	0,5	0,12	5,55E-06	162.207		1	0,406	0,294	0,15			0,15	1,00	0	1,00E+06
425	0,5	0,12	5,55E-06	174.545		1	0,58	0,42					1,00	0	1,00E+06
426	0,5	0,12	5,55E-06	186.143		1	0,664	0,336					1,00	0	1,00E+06
427	0,5	0,12	5,55E-06	194.518		1		0					0,00	0	1,00E+06
428	0,5	0,12	5,55E-06	196.977		1		0					0,00	0	1,00E+06
429	0,5	0,12	5,55E-06	195.535		1		0					0,00	0	1,00E+06
430	0,5	0,12	5,55E-06	194.469		1		0					0,00	0	1,00E+06
431	0,5	0,12	5,55E-06	189.456		1		0					0,00	0	1,00E+06
432	0,5	0,12	5,55E-06	185.617		1		0					0,00	0	1,00E+06
433	0,5	0,12	5,55E-06	172.559		1		0					0,00	0	1,00E+06
434	0,5	0,12	5,55E-06	165.205		1		0					0,00	0	1,00E+06
435	0,5	0,12	5,55E-06	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
436	0,5	0,12	5,55E-06	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
437	0,5	0,12	5,55E-06	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
438	0,5	0,12	5,55E-06	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
439	0,5	0,12	5,55E-06	163.307		1		0					0,00	0	1,00E+06
440	0,5	0,12	5,55E-06	173.221		1		0					0,00	0	1,00E+06
441	0,5	0,12	5,55E-06	182.522		1		0					0,00	0	1,00E+06
442	0,5	0,12	5,55E-06	178.777		1	0,174	0,126	0,3			0,4	1,00	0	1,00E+06
443	0,5	0,12	5,55E-06	181.194		1	0,232	0,168	0,3			0,3	1,00	0	1,00E+06
444	0,5	0,12	5,55E-06	162.013		1		0					0,00	0	1,00E+06
445	0,5	0,12	5,55E-06	176.047		1		0					0,00	0	1,00E+06
446	0,5	0,12	5,55E-06	184.793		1		0					0,00	0	1,00E+06
447	0,5	0,12	5,55E-06	194.586		1		0					0,00	0	1,00E+06
448	0,5	0,12	5,55E-06	197.890		1		0					0,00	0	1,00E+06
449	0,5	0,12	5,55E-06	195.069		1		0					0,00	0	1,00E+06
450	0,5	0,12	5,55E-06	193.756		1		0					0,00	0	1,00E+06
451	0,5	0,12	5,55E-06	189.166		1		0					0,00	0	1,00E+06
452	0,5	0,12	5,55E-06	185.268		1		0					0,00	0	1,00E+06
453	0,5	0,12	5,55E-06	174.033		1		0					0,00	0	1,00E+06
454	0,5	0,12	5,55E-06	166.823		1		0					0,00	0	1,00E+06
455	0,5	0,12	5,55E-06	163.281		1		0					0,00	0	1,00E+06

celda	ths	thr	Ks (m/seg)	Zsup (IGM)	Intmax (mm)	fcu	fpast	fdesn	fcver	furb	flag	fcinv	Cober	Alm Sup (mm)	Área Sup (m ²)
456	0,5	0,12	5,55E-06	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
457	0,5	0,12	5,55E-06	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
458	0,5	0,12	5,55E-06	160.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
459	0,5	0,12	5,55E-06	169.362		1		0					0,00	0	1,00E+06
460	0,5	0,12	5,55E-06	185.327		1		0					0,00	0	1,00E+06
461	0,5	0,12	5,55E-06	185.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
462	0,5	0,12	5,55E-06	185.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
463	0,5	0,12	5,55E-06	185.000		1		0					0,00	0	1,00E+06
464	0,5	0,12	5,55E-06	168.763		1		0					0,00	0	1,00E+06
			CDT	1,17E-05	Σ	79,7	24,95	46,4	30,55	16,3	58,1	256,00			
			CBG	5,55E-06		0,311	0,097	0,181	0,119	0,06	0,23	1,00			
			URB	0,00E+00		246	7,796	85,19	0	0	120	459,22			
			LAG	1,00E-07		ucpast	ucdesn	uccver	ucurb	uclag	uccinv	uctotal			

Siendo:

Celda = número de celda superficial.

ths = humedad de saturación.

thr = humedad residual.

Ks = permeabilidad saturada.

Zsup = cota de agua en la celda.

intmax = capacidad máxima de almacenamiento.

fcu = razón entre el área cultivada y el área total de la celda.

fpast = razón entre el área de pasturas y el área total de la celda.

fdesn = razón entre el área de suelo desnudo y el área total de la celda.

fcver = razón entre el área de cultivos de verano y el área total de la celda.

furb = razón entre el área de ciudad y el área total de la celda.

flag = razón entre el área de lagunas y el área total de la celda.

fcinv = razón entre el área de cultivos de invierno y el área total de la celda.

Cober = razón entre el área de cobertura vegetal y el área total de la celda.

Alm Sup = almacenamiento superficial.

Área Sup = área de cada celda.

CDT = celda correspondiente a la cuenca Don Tomás.

CBG = celda correspondiente a la cuenca del Bajo Giuliani.

URB = celda correspondiente a zona urbana.

LAG = celda correspondiente a zona de lagunas.

ucpast = uso consuntivo de pasturas en todas las celdas.

ucdesn = uso consuntivo de suelo desnudo en todas las celdas.

uccver = uso consuntivo de cultivos de verano en todas las celdas.

ucurb = uso consuntivo de la ciudad en todas las celdas.

uclag = uso consuntivo de las lagunas en todas las celdas.

uccinv = uso consuntivo de cultivos de invierno en todas las celdas.

uctotal = uso consuntivo total en todas las celdas.

Tabla A.6.1 Cotas Medidas Lagunas Giuliani y Don Tomás

Fecha	L. B. Giuliani (IGM)	L.D.Tomás (IGM)
27/12/1985	125,635	
28/12/1986	126,315	
01/01/1987	126,300	
28/12/1987	126,450	
11/03/1998	126,260	
15/10/1997	126,800	
15/12/2000	127,877	
18/01/2001	127,700	
15/02/2001	127,770	
27/03/2001	128,145	
09/04/2001	128,158	
13/04/2001	128,163	
14/04/2001	128,273	
15/04/2001	128,283	
16/04/2001	128,295	
19/04/2001	128,321	
05/01	128,360	
06/01	128,440	
07/01	128,510	
08/01	128,600	
09/01	128,670	
04/10/2001	128,860	
13/10/2001	128,998	
20/10/2001	129,035	
27/10/2001	129,010	
03/11/2001	129,055	
10/11/2001	129,090	
17/11/2001	129,100	
24/11/2001	129,090	
13/03/2006		167,268
14/03/2006		167,248
28/09/2006	128,254	166,918
30/09/2006	128,243	166,898
01/10/2006	128,240	166,891
04/10/2006	128,230	166,871
05/10/2006	128,340	167,168
10/10/2006	128,320	167,058
13/10/2006	128,315	167,058
14/10/2006	128,290	167,058
17/10/2006	128,290	167,053
18/10/2006	128,330	167,098
19/10/2006	128,325	167,108
24/10/2006	128,305	167,073
26/10/2006	128,310	167,053
27/10/2006	128,320	167,128
30/10/2006	128,320	167,148
31/10/2006	128,330	167,098
03/11/2006	128,335	167,068
08/11/2006	128,295	167,048
13/11/2006	128,255	167,023
20/11/2006	128,255	167,008

Fecha	L. B. Giuliani (IGM)	L.D.Tomás (IGM)
22/11/2006	128,220	166,908
26/11/2006	128,190	166,888
27/11/2006	128,200	166,948
30/11/2006	128,200	166,938
01/12/2006	128,195	166,933
06/12/2006	128,190	166,938
08/12/2006	128,200	166,978
12/12/2006		166,933
14/12/2006	128,165	166,958
19/12/2006	128,150	166,898
20/12/2006	128,160	166,958
22/12/2006	128,165	167,008
28/12/2006	128,140	166,963
31/12/2006	128,130	166,958
02/01/2007	128,130	166,953
22/01/2007	128,030	166,868
31/01/2007	128,020	167,008
28/02/2007	128,040	167,108
27/03/2007	128,110	167,239
31/03/2007	128,170	167,248
03/04/2007	128,180	172,218
09/04/2007		167,118
30/04/2007	128,170	167,068
31/05/2007	128,165	166,998
12/06/2007	128,170	166,983
30/06/2007	128,185	166,968
16/07/2007	128,205	166,968
31/07/2007	128,220	166,918
31/08/2007	128,240	166,888
24/09/2007		167,260
28/09/2007		167,160
30/09/2007	128,360	167,150
01/10/2007		167,250
02/10/2007	128,400	167,248

Tabla A.6.2 Profundidad Niveles Estáticos Pozos de Exploración Bajo Giuliani (metros)

Fecha	N.E.Pozo 1	N.E.Pozo 2	N.E.Pozo 3	N.E.Pozo 4	N.E.Promedio
01/11/01	3,50	8,68	13,79	11,10	9,27
02/10/06	8,50	11,80	15,30	13,00	12,15
10/10/06	8,35	11,85	15,10	12,85	12,04
18/10/06	8,40	11,85	15,05	12,85	12,04
01/12/06	8,45	11,90	15,30	12,87	12,13
07/12/06	8,45	11,90	15,39	12,89	12,16
02/01/07	8,57	11,98	15,70	13,00	12,31
31/01/07	8,66	12,03	15,98	13,05	12,43
28/02/07	8,70	12,03	16,15	13,10	12,50
03/04/07	8,75	12,17	16,00	13,22	12,54
02/05/07	8,77	12,23	16,10	13,30	12,60
01/06/07	8,75	12,27	16,10	13,30	12,61
29/06/07	8,80	12,30	15,93	13,40	12,61
31/07/07	8,80	12,36	15,89	13,41	12,61
31/08/07	8,80	12,42	15,85	13,41	12,62
30/09/07	8,81	12,48	15,72	13,47	12,62

Tabla A.6.3 Variación Niveles Estáticos Pozos de Exploración (m) y Precipitaciones (mm)

Fecha	Δ NE Pozo 1	Δ NE Pozo 2	Δ NE Pozo 3	Δ NE Pozo 4	Δ NE Promedio	Precipit.
31/10/2006	-0,10	0,05	-0,25	-0,15	-0,11	108,9
30/11/2006	0,05	0,05	0,25	0,02	0,09	28,1
31/12/2006	0,12	0,08	0,40	0,13	0,18	87,3
31/01/2007	0,09	0,05	0,28	0,05	0,12	73,3
28/02/2007	0,04	0,00	0,17	0,05	0,06	59,3
31/03/2007	0,05	0,14	-0,15	0,12	0,04	144,1
30/04/2007	0,02	0,06	0,10	0,08	0,07	14,5
31/05/2007	-0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,0
30/06/2007	0,05	0,03	-0,17	0,10	0,00	2,4
31/07/2007	0,00	0,06	-0,04	0,01	0,01	0,8
31/08/2007	0,00	0,06	-0,04	0,00	0,01	14,0
30/09/2007	0,01	0,06	-0,13	0,06	0,00	98,8
Suma Anual	0,31	0,68	0,42	0,47	0,47	631,5

Tabla A.6.4 Pendiente Media Subterránea Bajo Giuliani

Punto	Septiembre-06				Agosto-07		
	H (m)	Hlag. (m)	dí(m)	Pendiente	Hi (m)	Hlag (m)	Pendiente
1	178,15	128,243	12,10	0,00412	178,62	128,24	0,00416
2	179,15	128,243	15,60	0,00326	179,62	128,24	0,00329
3	180,15	128,243	14,80	0,00351	180,62	128,24	0,00354
4	178,15	128,243	15,40	0,00324	178,62	128,24	0,00327
5	175,15	128,243	15,00	0,00313	175,62	128,24	0,00316
6	164,15	128,243	15,00	0,00239	164,62	128,24	0,00243
7	184,15	128,243	17,90	0,00312	184,62	128,24	0,00315
8	176,15	128,243	19,40	0,00247	176,62	128,24	0,00249
9	149,15	128,243	13,80	0,00152	149,62	128,24	0,00155
10	145,15	128,243	9,40	0,00180	145,62	128,24	0,00185
11	144,15	128,243	8,00	0,00199	144,62	128,24	0,00205
12	151,15	128,243	7,00	0,00327	151,62	128,24	0,00334
13	154,15	128,243	7,30	0,00355	154,62	128,24	0,00361
14	152,15	128,243	8,60	0,00278	152,62	128,24	0,00283
15	156,15	128,243	8,00	0,00349	156,62	128,24	0,00355
16	148,15	128,243	6,20	0,00321	148,62	128,24	0,00329
17	152,15	128,243	8,00	0,00299	152,62	128,24	0,00305
18	159,15	128,243	11,20	0,00276	159,62	128,24	0,00280
19	161,15	128,243	12,20	0,00270	161,62	128,24	0,00274
				0,00291			0,00296

Tabla A.6.5 Déficit de Saturación y Velocidad del Viento (UNLPam)

Fecha	Déficit Saturación (mb)	Velocidad del Viento 2 (Km/h)
01/06	9,2	10,8
02/06	7,8	8,6
03/06	7,4	7,5
04/06	5,9	6,7
05/06	2,6	7,2
06/06	2,9	7,3
07/06	3,2	8,1
08/06	5,6	8,6
09/06	7,4	9,4
10/06	5,5	9,3
11/06	8,9	9,3
12/06	9,5	8,8
01/07	8,4	9,6
02/07	6,5	7,5
03/07	3,0	7,1
04/07	2,6	7,6
05/07	2,3	6,3
06/07	3,7	6,1
07/07	3,8	7,8
08/07	3,7	8,3
09/07	2,6	8,6

Tabla A.6.6 Evaporación calculada mediante Fórmula de Meyer

Fecha	Déf. Sat. (mm Hg)	Vel. Viento (m/s)	Evaporación Meyer (mm)
01/06	6,9	3,0	122,1
02/06	5,9	2,4	100,3
03/06	5,6	2,1	93,7
04/06	4,4	1,9	73,8
05/06	2,0	2,0	32,8
06/06	2,2	2,0	36,6
07/06	2,4	2,3	40,9
08/06	4,2	2,4	72,0
09/06	5,6	2,6	96,3
10/06	4,1	2,6	71,5
11/06	6,7	2,6	115,7
12/06	7,1	2,4	122,6
01/07	6,3	2,7	109,6
02/07	4,9	2,1	82,3
03/07	2,3	2,0	37,7
04/07	2,0	2,1	33,0
05/07	1,7	1,8	28,6
06/07	2,8	1,7	45,9
07/07	2,9	2,2	48,3
08/07	2,8	2,3	47,4
09/07	2,0	2,4	33,4
Prom.			64,7

Tabla A.6.7 Concentración de Sales Lagunas Don Tomás y Giuliani

Fecha	Bajo Giuliani (gr./L)	Laguna D.Tomás (gr./L)
Sep-06	10,50	0,78
Oct-06	9,60	0,70
Nov-06	10,50	0,90
Dic-06	9,92	0,71
Ene-07	9,72	0,68
Feb-07	12,30	0,40
Mar-07	11,20	S/D
Abr-07	10,90	0,50
May-07	11,50	0,60
Jun-07	11,90	0,58
Jul-07	9,90	0,50
Ago-07	10,00	0,30
Sep-07	10	0,5
Promedio	10,61	0,60

Observaciones: el residuo seco se obtuvo a 103-105°C, sobre muestra seca sin filtrar.
(gr./L) = gramos por litro.

S/D: Sin determinar por error en laboratorio.

Tabla A.6.8 ETP Penmann INTA - UNLPam

Fecha	E.T.P. Penmann INTA Anguil (mm)	E.T.P. Penmann Facultad Agronomía UNLPam (mm)
01/05	155,1	178,55
02/05	97,9	140,64
03/05	75,9	113,76
04/05	65,2	97,41
05/05	42,8	56,83
06/05	22,4	26,22
07/05	32,7	44,13
08/05	48	59,63
09/05	72,4	103,09
10/05	120	143,88
11/05	155	179,21
12/05	181,4	208,72
01/06	158,6	203,5
02/06	111,6	130,9
03/06	81,7	126,4
04/06	49,5	84,9
05/06	34,1	52,0
06/06	30,6	37,2
07/06	44,7	49,9
08/06	76,9	86,3
09/06	99,7	116,7
10/06	110,2	139,4
11/06	174,0	192,8
12/06	189,8	210,0
01/07	256,3	194,0
02/07	101,9	132,6
03/07	72,4	100,4
04/07	46,0	79,7
05/07	29,7	57,8
Prom.	94,4	115,4

Tabla A.6.9 Simulación mensual 2007-2030 Laguna Don Tomás

Mes	Año	Esc. (mm)	Prec.(mm)	Evap.(mm)	Inf. (mm)	Qb (mm)	ΔL (mm)	Nivel Lag. (IGM)	Cota Puente (IGM)
1	2007	35,816	90	110	3	36	-23	167,010	1,442
2	2007	124,990	71	82	3	125	-14	166,996	
3	2007	466,987	98	38	3	467	57	167,053	
4	2007	0,000	56	33	3	0	20	167,074	
5	2007	17,541	37	29	3	18	5	167,079	
6	2007	11,639	16	46	3	12	-33	167,046	
7	2007	4,741	19	48	3	5	-32	167,014	
8	2007	9,079	32	47	3	9	-19	166,995	
9	2007	82,536	43	33	3	83	7	167,002	
10	2007	70,803	79	71	3	71	4	167,006	
11	2007	24,178	84	116	3	24	-35	166,971	
12	2007	121,956	107	122	3	122	-18	166,953	
1	2008	36,836	91	110	3	37	-22	166,931	
2	2008	125,013	72	82	3	125	-13	166,918	
3	2008	471,064	99	38	3	471	58	166,976	
4	2008	0,000	57	33	3	0	21	166,997	
5	2008	18,086	37	29	3	18	6	167,003	
6	2008	11,757	16	46	3	12	-33	166,970	
7	2008	4,812	19	48	3	5	-32	166,938	
8	2008	9,102	32	47	3	9	-18	166,920	
9	2008	84,030	43	33	3	84	7	166,927	
10	2008	71,846	80	71	3	72	5	166,932	
11	2008	24,841	84	116	3	25	-34	166,898	
12	2008	124,563	108	122	3	125	-17	166,881	
1	2009	37,404	92	110	3	37	-21	166,860	
2	2009	126,815	73	82	3	127	-12	166,847	
3	2009	477,132	100	38	3	477	59	166,907	
4	2009	0,000	57	33	3	0	22	166,928	
5	2009	18,299	38	29	3	18	6	166,934	
6	2009	11,899	16	46	3	12	-33	166,902	
7	2009	4,930	20	48	3	5	-32	166,870	
8	2009	9,244	32	47	3	9	-18	166,852	
9	2009	85,381	44	33	3	85	7	166,859	
10	2009	73,031	80	71	3	73	6	166,865	
11	2009	25,410	85	116	3	25	-33	166,832	
12	2009	127,076	109	122	3	127	-16	166,816	
1	2010	38,210	93	110	3	38	-20	166,796	
2	2010	128,877	73	82	3	129	-12	166,784	
3	2010	482,394	101	38	3	482	60	166,844	
4	2010	0,000	58	33	3	0	22	166,866	
5	2010	18,489	38	29	3	18	6	166,873	
6	2010	12,065	16	46	3	12	-33	166,840	
7	2010	4,978	20	48	3	5	-32	166,809	
8	2010	9,363	33	47	3	9	-18	166,791	
9	2010	86,258	44	33	3	86	8	166,799	
10	2010	73,884	81	71	3	74	7	166,806	
11	2010	25,956	86	116	3	26	-32	166,773	
12	2010	128,640	110	122	3	129	-15	166,758	
1	2011	38,447	94	110	3	38	-19	166,739	
2	2011	130,394	74	82	3	130	-11	166,728	
3	2011	485,903	102	38	3	486	61	166,789	
4	2011	0,000	59	33	3	0	23	166,812	
5	2011	18,679	38	29	3	19	7	166,819	
6	2011	12,113	16	46	3	12	-32	166,786	
7	2011	5,001	20	48	3	5	-31	166,755	
8	2011	9,387	33	47	3	9	-17	166,738	
9	2011	87,348	45	33	3	87	8	166,746	
10	2011	74,738	82	71	3	75	8	166,753	
11	2011	26,050	87	116	3	26	-32	166,722	
12	2011	130,394	112	122	3	130	-14	166,708	
1	2012	39,277	94	110	3	39	-18	166,690	
2	2012	132,883	75	82	3	133	-10	166,679	
3	2012	491,591	103	38	3	492	62	166,742	
4	2012	0,000	59	33	3	0	23	166,765	
5	2012	19,058	39	29	3	19	7	166,772	
6	2012	12,113	17	46	3	12	-32	166,740	

Mes	Año	Esc. (mm)	Prec.(mm)	Evap.(mm)	Inf. (mm)	Qb (mm)	ΔL (mm)	Nivel Lag. (IGM)	Cota Puente (IGM)
7	2012	5,073	20	48	3	5	-31	166,709	
8	2012	9,434	33	47	3	9	-17	166,692	
9	2012	88,273	45	33	3	88	9	166,700	
10	2012	75,354	83	71	3	75	8	166,709	
11	2012	26,121	88	116	3	26	-31	166,678	
12	2012	132,030	113	122	3	132	-13	166,665	
1	2013	39,348	95	110	3	39	-17	166,648	
2	2013	135,159	76	82	3	135	-10	166,638	
3	2013	501,476	104	38	3	501	63	166,701	
4	2013	0,000	60	33	3	0	24	166,725	
5	2013	19,295	39	29	3	19	8	166,733	
6	2013	12,207	17	46	3	12	-32	166,700	
7	2013	5,167	20	48	3	5	-31	166,669	
8	2013	10,382	34	47	3	10	-17	166,653	
9	2013	170,098	46	33	3	170	9	166,662	
10	2013	138,240	84	71	3	138	9	166,671	
11	2013	43,615	89	116	3	44	-30	166,641	
12	2013	277,476	114	122	3	277	-12	166,629	
1	2014	62,649	96	110	3	63	-16	166,613	
2	2014	289,114	76	82	3	289	-9	166,604	
3	2014	677,642	105	38	3	678	64	166,668	
4	2014	0,000	60	33	3	0	24	166,692	
5	2014	20,670	40	29	3	21	8	166,700	
6	2014	12,634	17	46	3	13	-32	166,668	
7	2014	5,381	20	48	3	5	-31	166,638	
8	2014	11,757	34	47	3	12	-16	166,621	
9	2014	258,489	46	33	3	258	10	166,631	
10	2014	188,089	84	71	3	188	10	166,641	
11	2014	53,144	89	116	3	53	-29	166,612	
12	2014	371,579	115	122	3	372	-11	166,601	
1	2015	81,541	97	110	3	82	-15	166,585	
2	2015	376,913	77	82	3	377	-8	166,577	
3	2015	794,620	106	38	3	795	65	166,642	
4	2015	0,000	61	33	3	0	25	166,667	
5	2015	23,822	40	29	3	24	8	166,676	
6	2015	13,701	17	46	3	14	-32	166,644	
7	2015	6,210	21	48	3	6	-31	166,613	
8	2015	15,265	34	47	3	15	-16	166,597	
9	2015	331,852	46	33	3	332	10	166,607	
10	2015	235,093	85	71	3	235	11	166,618	
11	2015	64,853	90	116	3	65	-28	166,589	
12	2015	431,479	116	122	3	431	-10	166,580	
1	2016	92,610	98	110	3	93	-15	166,565	
2	2016	411,591	78	82	3	412	-7	166,558	
3	2016	832,759	107	38	3	833	66	166,624	
4	2016	0,000	61	33	3	0	25	166,649	
5	2016	27,401	40	29	3	27	9	166,658	
6	2016	15,407	17	46	3	15	-32	166,626	
7	2016	6,353	21	48	3	6	-30	166,596	
8	2016	15,384	35	47	3	15	-16	166,580	
9	2016	332,113	47	33	3	332	10	166,591	
10	2016	238,175	86	71	3	238	11	166,602	
11	2016	65,802	91	116	3	66	-27	166,575	
12	2016	434,489	117	122	3	434	-9	166,566	
1	2017	94,222	99	110	3	94	-14	166,552	
2	2017	416,261	78	82	3	416	-7	166,546	
3	2017	838,709	108	38	3	839	67	166,613	
4	2017	0,000	62	33	3	0	26	166,639	
5	2017	27,425	41	29	3	27	9	166,648	
6	2017	15,431	17	46	3	15	-31	166,616	
7	2017	6,353	21	48	3	6	-30	166,586	
8	2017	15,455	35	47	3	15	-15	166,571	
9	2017	337,517	47	33	3	338	11	166,582	
10	2017	238,554	87	71	3	239	12	166,594	
11	2017	67,224	92	116	3	67	-27	166,567	
12	2017	439,135	118	122	3	439	-8	166,560	
1	2018	94,578	100	110	3	95	-13	166,547	

Mes	Año	Esc. (mm)	Prec.(mm)	Evap.(mm)	Inf. (mm)	Qb (mm)	ΔL (mm)	Nivel Lag. (IGM)	Cota Puente (IGM)
2	2018	417,660	79	82	3	418	-6	166,541	
3	2018	846,104	109	38	3	846	68	166,609	
4	2018	0,000	63	33	3	0	27	166,636	
5	2018	27,473	41	29	3	27	9	166,645	
6	2018	15,431	18	46	3	15	-31	166,614	
7	2018	6,353	21	48	3	6	-30	166,584	
8	2018	15,787	35	47	3	16	-15	166,569	
9	2018	338,939	48	33	3	339	11	166,580	
10	2018	241,731	87	71	3	242	13	166,593	
11	2018	67,224	93	116	3	67	-26	166,567	
12	2018	444,397	119	122	3	444	-6	166,561	
1	2019	97,185	101	110	3	97	-12	166,549	
2	2019	422,140	80	82	3	422	-5	166,543	
3	2019	851,082	110	38	3	851	69	166,612	
4	2019	0,000	63	33	3	0	27	166,640	
5	2019	28,658	41	29	3	29	10	166,649	
6	2019	15,621	18	46	3	16	-31	166,618	
7	2019	6,495	21	48	3	6	-30	166,588	
8	2019	15,810	36	47	3	16	-15	166,574	
9	2019	343,230	48	33	3	343	12	166,585	
10	2019	242,726	88	71	3	243	14	166,599	
11	2019	67,224	94	116	3	67	-25	166,574	
12	2019	447,858	120	122	3	448	-5	166,569	
1	2020	97,351	102	110	3	97	-11	166,558	
2	2020	425,126	81	82	3	425	-5	166,553	
3	2020	861,488	111	38	3	861	70	166,623	
4	2020	0,000	64	33	3	0	28	166,651	
5	2020	28,658	42	29	3	29	10	166,661	
6	2020	15,976	18	46	3	16	-31	166,630	
7	2020	6,495	22	48	3	6	-30	166,601	
8	2020	16,142	36	47	3	16	-14	166,586	
9	2020	344,794	49	33	3	345	12	166,598	
10	2020	245,808	89	71	3	246	15	166,613	
11	2020	69,096	95	116	3	69	-24	166,589	
12	2020	454,708	121	122	3	455	-4	166,584	
1	2021	99,722	103	110	3	100	-10	166,574	
2	2021	427,947	81	82	3	428	-4	166,570	
3	2021	867,248	112	38	3	867	71	166,641	
4	2021	0,000	64	33	3	0	28	166,670	
5	2021	28,658	42	29	3	29	11	166,680	
6	2021	15,976	18	46	3	16	-31	166,649	
7	2021	6,827	22	48	3	7	-29	166,620	
8	2021	16,498	36	47	3	16	-14	166,606	
9	2021	350,507	49	33	3	351	13	166,618	
10	2021	247,893	90	71	3	248	15	166,634	
11	2021	69,096	95	116	3	69	-23	166,610	
12	2021	459,402	122	122	3	459	-3	166,607	
1	2022	101,049	103	110	3	101	-9	166,598	
2	2022	432,237	82	82	3	432	-3	166,595	
3	2022	875,900	113	38	3	876	72	166,667	
4	2022	0,000	65	33	3	0	29	166,696	
5	2022	30,151	42	29	3	30	11	166,707	
6	2022	16,640	18	46	3	17	-31	166,676	
7	2022	6,827	22	48	3	7	-29	166,647	
8	2022	16,545	37	47	3	17	-14	166,633	
9	2022	350,981	49	33	3	351	13	166,646	
10	2022	249,648	91	71	3	250	16	166,662	
11	2022	70,922	96	116	3	71	-22	166,640	
12	2022	464,308	123	122	3	464	-2	166,637	
1	2023	102,945	104	110	3	103	-8	166,629	
2	2023	435,342	83	82	3	435	-2	166,627	
3	2023	883,912	114	38	3	884	73	166,700	
4	2023	0,000	65	33	3	0	29	166,729	
5	2023	30,151	43	29	3	30	11	166,740	
6	2023	16,640	18	46	3	17	-31	166,710	
7	2023	6,898	22	48	3	7	-29	166,681	
8	2023	16,877	37	47	3	17	-14	166,667	

Mes	Año	Esc. (mm)	Prec.(mm)	Evap.(mm)	Inf. (mm)	Qb (mm)	ΔL (mm)	Nivel Lag. (IGM)	Cota Puente (IGM)
9	2023	353,968	50	33	3	354	13	166,681	
10	2023	252,231	91	71	3	252	17	166,698	
11	2023	70,922	97	116	3	71	-22	166,676	
12	2023	470,092	124	122	3	470	-1	166,675	
1	2024	102,993	105	110	3	103	-7	166,668	
2	2024	438,163	83	82	3	438	-2	166,666	
3	2024	891,473	115	38	3	891	74	166,740	
4	2024	0,000	66	33	3	0	30	166,770	
5	2024	30,625	43	29	3	31	12	166,781	
6	2024	16,640	18	46	3	17	-30	166,751	
7	2024	6,898	22	48	3	7	-29	166,722	
8	2024	16,948	37	47	3	17	-13	166,709	
9	2024	357,594	50	33	3	358	14	166,723	
10	2024	253,962	92	71	3	254	18	166,740	
11	2024	72,676	98	116	3	73	-21	166,720	
12	2024	472,249	125	122	3	472	0	166,720	
1	2025	104,415	106	110	3	104	-6	166,713	
2	2025	441,055	84	82	3	441	-1	166,712	
3	2025	897,375	116	38	3	897	75	166,787	
4	2025	0,000	66	33	3	0	31	166,818	
5	2025	30,625	44	29	3	31	12	166,830	
6	2025	16,640	19	46	3	17	-30	166,800	
7	2025	6,898	23	48	3	7	-29	166,771	
8	2025	17,280	37	47	3	17	-13	166,758	
9	2025	362,098	51	33	3	362	14	166,772	
10	2025	255,360	93	71	3	255	19	166,791	
11	2025	72,676	99	116	3	73	-20	166,771	
12	2025	481,091	127	122	3	481	1	166,772	
1	2026	105,813	107	110	3	106	-6	166,766	
2	2026	443,947	85	82	3	444	0	166,766	
3	2026	905,198	117	38	3	905	76	166,842	
4	2026	0,000	67	33	3	0	31	166,873	
5	2026	31,787	44	29	3	32	12	166,885	
6	2026	17,541	19	46	3	18	-30	166,855	
7	2026	7,230	23	48	3	7	-29	166,827	
8	2026	17,327	38	47	3	17	-13	166,814	
9	2026	364,137	51	33	3	364	15	166,829	
10	2026	259,105	94	71	3	259	19	166,848	
11	2026	74,335	100	116	3	74	-19	166,829	
12	2026	484,314	128	122	3	484	2	166,831	
1	2027	107,188	108	110	3	107	-5	166,827	
2	2027	448,237	86	82	3	448	0	166,827	
3	2027	917,500	118	38	3	917	77	166,904	
4	2027	0,000	68	33	3	0	32	166,936	
5	2027	32,593	44	29	3	33	13	166,948	
6	2027	17,541	19	46	3	18	-30	166,919	
7	2027	7,230	23	48	3	7	-28	166,890	
8	2027	18,015	38	47	3	18	-12	166,878	
9	2027	368,427	52	33	3	368	15	166,893	
10	2027	259,816	95	71	3	260	20	166,913	
11	2027	74,762	100	116	3	75	-18	166,895	
12	2027	490,643	129	122	3	491	3	166,898	
1	2028	108,610	109	110	3	109	-4	166,894	
2	2028	452,528	86	82	3	453	1	166,896	
3	2028	921,743	119	38	3	922	78	166,973	
4	2028	0,000	68	33	3	0	32	167,006	
5	2028	32,616	45	29	3	33	13	167,019	
6	2028	18,276	19	46	3	18	-30	166,989	
7	2028	7,230	23	48	3	7	-28	166,961	
8	2028	18,015	38	47	3	18	-12	166,949	
9	2028	372,670	52	33	3	373	16	166,964	
10	2028	263,467	95	71	3	263	21	166,985	
11	2028	76,682	101	116	3	77	-17	166,968	
12	2028	493,606	130	122	3	494	4	166,972	
1	2029	110,222	110	110	3	110	-3	166,969	
2	2029	453,997	87	82	3	454	2	166,971	
3	2029	931,864	120	38	3	932	79	167,050	

Mes	Año	Esc. (mm)	Prec.(mm)	Evap.(mm)	Inf. (mm)	Qb (mm)	ΔL (mm)	Nivel Lag. (IGM)	Cota Puente (IGM)
4	2029	0,000	69	33	3	0	33	167,083	
5	2029	34,039	45	29	3	34	14	167,096	
6	2029	18,276	19	46	3	18	-30	167,067	
7	2029	7,230	23	48	3	7	-28	167,039	
8	2029	18,015	39	47	3	18	-12	167,027	
9	2029	372,670	52	33	3	373	16	167,043	
10	2029	265,221	96	71	3	265	22	167,065	
11	2029	76,682	102	116	3	77	-17	167,048	
12	2029	498,750	131	122	3	499	5	167,054	1,486

Siendo:

Esc. = escurrimiento superficial.

Prec. = precipitación.

Evap. = evaporación.

Inf. = infiltración.

Qb = caudal bombeado.

ΔL = variación de nivel laguna.

Nivel Lag. = nivel laguna.

Tabla A.6.10 Simulación mensual 2007-2030 Laguna Bajo Giuliani

Mes	Año	NLI(IGM)	V.Ini.(m³)	V.B.(m³)	V.E.(m³)	V.P.(m³)	VPT(m³)	V.I.(m³)	V.Ev.(m³)	ΔV (m³)	V. F.(m³)	NLF(IGM)
1	2007	128,000	23362794	62484	208606	1010153	597370	393143	1219456	266014	23628808	128,028
2	2007	128,028	23628808	218053	1020433	802485	541788	393623	913885	1275250	24904058	128,159
3	2007	128,159	24904058	814689	3119145	1108694	602290	395922	422212	4826684	29730742	128,640
4	2007	128,640	29730742	0	0	651274	585223	404590	376829	455079	30185820	128,684
5	2007	128,684	30185820	30601	133768	427991	607158	405404	327398	466716	30652536	128,728
6	2007	128,728	30652536	20304	69053	183098	589909	406240	525963	-69839	30582697	128,722
7	2007	128,722	30582697	8271	11027	221971	611974	406115	555022	-107895	30474803	128,711
8	2007	128,711	30474803	15838	98338	368229	614362	405922	544088	146758	30621560	128,725
9	2007	128,725	30621560	143990	910526	498446	596843	406184	384260	1359362	31980922	128,855
10	2007	128,855	31980922	123520	787966	919675	619101	408615	826399	1215249	33196171	128,969
11	2007	128,969	33196171	42180	134853	981600	601404	410785	1343144	6108	33202278	128,969
12	2007	128,969	33202278	212759	1126001	1258503	623789	410796	1424222	1386035	34588313	129,097
1	2008	129,097	34588313	64262	221260	1072482	626114	413268	1281880	288969	34877283	129,124
2	2008	129,124	34877283	218094	1041764	852022	567612	413783	960692	1305016	36182298	129,243
3	2008	129,243	36182298	821801	3160179	1176872	630728	416107	443738	4929734	41112033	129,678
4	2008	129,678	41112033	0	0	690749	612596	424864	395712	482769	41594801	129,720
5	2008	129,720	41594801	31552	147687	453933	635292	425720	343804	498940	42093741	129,763
6	2008	129,763	42093741	20511	75199	194199	616989	426604	552329	-72034	42021707	129,757
7	2008	129,757	42021707	8395	10304	235431	639807	426476	582849	-115389	41906317	129,747
8	2008	129,747	41906317	15879	95265	390556	642046	426272	571364	146110	42052428	129,759
9	2008	129,759	42052428	146595	911792	528648	623491	426531	403508	1380487	43432915	129,877
10	2008	129,877	43432915	125340	684928	975155	646489	428975	867576	1135362	44568277	129,973
11	2008	129,973	44568277	43338	138106	1040165	627768	430984	1409187	9205	44577482	129,973
12	2008	129,973	44577482	217308	1123109	1333603	650885	431000	1494268	1399638	45977120	130,090
1	2009	130,090	45977120	65254	223610	1136055	653065	433474	1344554	299957	46277077	130,115
2	2009	130,115	46277077	221237	1035979	902505	591824	434004	1007638	1309904	47586981	130,223
3	2009	130,223	47586981	832388	3195429	1246246	657391	436316	465289	5029848	52616829	130,626
4	2009	130,626	52616829	0	0	730943	638261	445179	414633	509392	53126221	130,666
5	2009	130,666	53126221	31924	160883	480346	661670	446075	360242	528506	53654727	130,707
6	2009	130,707	53654727	20759	87853	205501	642380	447004	578741	-69253	53585474	130,702
7	2009	130,702	53585474	8601	14461	249138	665903	446882	610737	-119516	53465958	130,693
8	2009	130,693	53465958	16128	108099	413299	668003	446672	598709	160148	53626106	130,705
9	2009	130,705	53626106	148952	968733	559446	648476	446954	422829	1455825	55081931	130,818
10	2009	130,818	55081931	127408	733013	1031959	672169	449513	909112	1205923	56287854	130,911
11	2009	130,911	56287854	44330	160160	1100788	652486	451631	1476697	29436	56317291	130,913
12	2009	130,913	56317291	221692	1229220	1411436	676290	451682	1565973	1520982	57838273	131,029
1	2010	131,029	57838273	66660	285794	1202447	678335	454352	1409313	369571	58207843	131,057
2	2010	131,057	58207843	224834	1055502	955443	614526	455000	1056385	1338920	59546763	131,158

Mes	Año	NLI(IGM)	V.Ini.(m²)	V.B.(m²)	V.E.(m²)	V.P.(m²)	VPT(m²)	V.I.(m²)	V.Ev.(m²)	ΔV (m²)	V. F.(m²)	NLF(IGM)
3	2010	131,158	59546763	841568	3355046	1319124	682390	457347	487716	5253065	64799828	131,545
4	2010	131,545	64799828	0	0	773531	662324	466543	434531	534781	65334609	131,584
5	2010	131,584	65334609	32255	210775	508329	686402	467478	377527	592756	65927366	131,627
6	2010	131,627	65927366	21049	94722	217501	666186	468514	606590	-75646	65851719	131,621
7	2010	131,621	65851719	8684	20608	263684	690372	468382	640119	-125154	65726566	131,612
8	2010	131,612	65726566	16334	151664	437431	692340	468163	627514	202093	65928659	131,627
9	2010	131,627	65928659	150482	1042306	592184	671902	468516	443227	1545131	67473790	131,738
10	2010	131,738	67473790	128896	805862	1092388	696246	471215	953004	1299173	68772964	131,830
11	2010	131,830	68772964	45281	186552	1165364	675662	473483	1548148	51228	68824192	131,833
12	2010	131,833	68824192	224421	1347080	1494348	700111	473573	1641866	1650521	70474712	131,950
1	2011	131,950	70474712	67074	317066	1273178	702027	476452	1477865	405029	70879741	131,978
2	2011	131,978	70879741	227481	1057129	1011701	635811	477158	1107832	1347132	72226873	132,072
3	2011	132,072	72226873	847688	3601252	1396466	705830	479507	511347	5560382	77787255	132,451
4	2011	132,451	77787255	0	0	818949	684886	489187	455621	559027	78346282	132,489
5	2011	132,489	78346282	32586	285794	538167	709592	490159	395844	680135	79026417	132,534
6	2011	132,534	79026417	21131	122199	230313	688507	491342	636146	-65337	78961080	132,530
7	2011	132,530	78961080	8725	20788	279231	713313	491228	671343	-140513	78820567	132,520
8	2011	132,520	78820567	16376	171729	463208	715159	490984	658103	217386	79037952	132,535
9	2011	132,535	79037952	152385	1118590	627090	693866	491362	464839	1635730	80673682	132,644
10	2011	132,644	80673682	130385	842196	1156805	718822	494204	999498	1354505	82028187	132,733
11	2011	132,733	82028187	45447	216198	1234020	697392	496557	1623592	72907	82101095	132,738
12	2011	132,738	82101095	227481	1434029	1582490	722445	496683	1721991	1747770	83848865	132,852
1	2012	132,852	83848865	68521	331166	1348188	724242	499717	1550030	422370	84271235	132,879
2	2012	132,879	84271235	231823	1052248	1071289	655768	500450	1161909	1348769	85620004	132,967
3	2012	132,967	85620004	857613	3655663	1478354	727807	502790	536177	5680470	91300473	133,328
4	2012	133,328	91300473	0	0	866454	706041	512634	477459	582401	91882874	133,365
5	2012	133,365	91882874	33248	250002	569372	731334	513642	414808	655505	92538379	133,406
6	2012	133,406	92538379	21131	141360	243618	709436	514777	666487	-65719	92472661	133,402
7	2012	133,402	92472661	8849	21873	295365	734824	514663	703370	-157122	92315538	133,392
8	2012	133,392	92315538	16458	182394	489957	736554	514391	689477	221497	92537035	133,406
9	2012	133,406	92537035	153997	1145886	663287	714460	514774	486988	1675868	94212903	133,510
10	2012	133,510	94212903	131460	866238	1223393	739988	517674	1046964	1396441	95609344	133,596
11	2012	133,596	95609344	45571	193964	1304930	717766	520089	1700536	41605	95650949	133,599
12	2012	133,599	95650949	230334	1404564	1673228	743385	520161	1803388	1727963	97378911	133,705
1	2013	133,705	97378911	68645	343278	1424844	745070	523148	1622708	435981	97814892	133,731
2	2013	133,731	97814892	235793	1049717	1132171	674480	523902	1216357	1351903	99166795	133,814
3	2013	133,814	99166795	874857	4011052	1562033	748413	526238	561181	6108935	105275731	134,179
4	2013	134,179	105275731	0	0	915910	725875	536782	499951	605052	105880783	134,215
5	2013	134,215	105880783	33661	262113	601858	751720	537826	434339	677187	106557970	134,254
6	2013	134,254	106557970	21297	138649	257508	729058	538993	697841	-90323	106467647	134,249
7	2013	134,249	106467647	9015	22596	312184	754992	538838	736409	-176460	106291187	134,239
8	2013	134,239	106291187	18112	184383	517838	756615	538533	721837	216578	106507765	134,251
9	2013	134,251	106507765	296747	1225423	700995	733770	538907	509818	1908209	108415974	134,363
10	2013	134,363	108415974	241169	916672	1293549	759834	542196	1096559	1572468	109988443	134,454
11	2013	134,454	109988443	76089	201556	1380217	736869	544906	1781679	68146	110056588	134,458
12	2013	134,458	110056588	484074	1458071	1769900	763019	545023	1889584	2040458	112097046	134,576
1	2014	134,576	112097046	109295	342374	1508088	764599	548537	1701460	474358	112571404	134,603
2	2014	134,603	112571404	504378	1020795	1198375	692025	549354	1275450	1590768	114162172	134,694
3	2014	134,694	114162172	1182190	4146085	1654238	767733	552093	588753	6609401	120771573	135,066
4	2014	135,066	120771573	0	0	970500	744472	563460	524798	626714	121398287	135,101
5	2014	135,101	121398287	36060	256328	637709	770834	564537	455910	680484	122078771	135,138
6	2014	135,138	122078771	22041	142083	272820	747457	565706	732426	-113732	121965039	135,132
7	2014	135,132	121965039	9387	22957	330728	773902	565511	772862	-201399	121763640	135,121
8	2014	135,121	121763640	20511	186371	548573	775423	565165	757533	208181	121971821	135,133
9	2014	135,133	121971821	450951	1259046	742555	751874	565522	534997	2103907	124075728	135,248
10	2014	135,248	124075728	328133	935653	1370631	778442	569137	1151044	1692679	125768406	135,341
11	2014	135,341	125768406	92713	200471	1462624	754780	572043	1870410	68134	125836540	135,345
12	2014	135,345	125836540	648244	1469098	1875554	781428	572160	1983668	2218496	128055036	135,465
1	2015	135,465	128055036	142253	353401	1598302	782909	575968	1786546	514352	128569388	135,493
2	2015	135,493	128569388	657549	1030014	1270117	708475	576851	1339290	1750013	130319400	135,588
3	2015	135,588	130319400	1386265	4183504	1753656	785848	579853	618357	6911062	137230463	135,954
4	2015	135,954	137230463	0	0	1028667	761909	591701	551101	647773	137878236	135,988
5	2015	135,988	137878236	41559	270790	675906	788755	592811	478744	705456	138583692	136,025
6	2015	136,025	138583692	23902	113341	289152	764707	594019	769083	-172001	138411691	136,016
7	2015	136,016	138411691	10834	24404	350474	791632	593725	811421	-227802	138183889	136,004
8	2015	136,004	138183889	26631	192156	581298	793058	593334	795291	204518	138388407	136,015

Mes	Año	NLI(IGM)	V.Ini.(m³)	V.B.(m³)	V.E.(m³)	V.P.(m³)	VPT(m³)	V.I.(m³)	V.Ev.(m³)	ΔV (m³)	V. F.(m³)	NLF(IGM)
9	2015	136,015	138388407	578937	1293754	786819	768849	593685	561639	2273034	140661442	136,133
10	2015	136,133	140661442	410136	973253	1452574	795888	597577	1208564	1825709	142487151	136,228
11	2015	136,228	142487151	113141	203544	1550256	771573	600703	1964118	73693	142560844	136,232
12	2015	136,232	142560844	752742	1488983	1987937	798689	600829	2083062	2344460	144905304	136,352
1	2016	136,352	144905304	161565	351774	1693964	800077	604841	1876103	526436	145431740	136,379
2	2016	136,379	145431740	718047	1037064	1346078	723898	605742	1406367	1812979	147244719	136,472
3	2016	136,472	147244719	1452801	4240808	1858378	802833	608843	649272	7096705	154341425	136,829
4	2016	136,829	154341425	0	0	1089554	778257	620974	578366	668471	155009896	136,862
5	2016	136,862	155009896	47804	267174	715887	805559	622116	502410	711897	155721794	136,897
6	2016	136,897	155721794	26879	130153	306230	780881	623332	807035	-186224	155535569	136,888
7	2016	136,888	155535569	11083	24584	371169	808255	623014	851450	-259373	155276196	136,875
8	2016	136,875	155276196	26838	190710	615589	809593	622571	834479	185680	155461877	136,884
9	2016	136,884	155461877	579392	1290681	833166	784765	622888	589266	2275849	157737725	136,997
10	2016	136,997	157737725	415511	958249	1537653	812247	626775	1267614	1829271	159566997	137,087
11	2016	137,087	159566997	114795	207883	1640653	787319	629898	2059578	61174	159628171	137,090
12	2016	137,090	159628171	757994	1513929	2103763	814872	630002	2184206	2376349	162004520	137,206
1	2017	137,206	162004520	164377	352497	1792085	816174	634058	1966730	524344	162528864	137,231
2	2017	137,231	162528864	726194	1049717	1423937	738359	634953	1474188	1829067	164357930	137,320
3	2017	137,320	164357930	1463181	4251654	1965468	818758	638074	680444	7180543	171538473	137,664
4	2017	137,664	171538473	0	0	1151508	793586	650318	605696	689081	172227553	137,696
5	2017	137,696	172227553	47845	271874	756568	821313	651492	526134	719975	172947529	137,730
6	2017	137,730	172947529	26921	149676	323609	796046	652719	845083	-201551	172745978	137,721
7	2017	137,721	172745978	11083	24765	392227	823842	652376	891577	-292036	172453942	137,707
8	2017	137,707	172453942	26962	198664	650481	825096	651878	873761	175563	172629505	137,715
9	2017	137,715	172629505	588820	1323761	880346	799687	652177	616974	2323463	174952968	137,825
10	2017	137,825	174952968	416173	962226	1624452	827584	656136	1326995	1847304	176800272	137,911
11	2017	137,911	176800272	117276	210775	1732943	802082	659282	2155656	48137	176848410	137,914
12	2017	137,914	176848410	766099	1574124	2222011	830046	659364	2286003	2446913	179295322	138,028
1	2018	138,028	179295322	164997	356474	1892435	831267	663531	2058149	523492	179818814	138,052
2	2018	138,052	179818814	728634	1053875	1503570	751918	664423	1542608	1830967	181649781	138,137
3	2018	138,137	181649781	1476083	4293953	2074924	833689	667539	711866	7299244	188949025	138,471
4	2018	138,471	188949025	0	0	1214938	807958	679958	633303	709635	189658660	138,503
5	2018	138,503	189658660	47928	253978	798219	836085	681165	550097	704947	190363607	138,535
6	2018	138,535	190363607	26921	104484	341382	810265	682364	883465	-282778	190080830	138,522
7	2018	138,522	190080830	11083	24404	413695	838456	681883	931904	-326151	189754679	138,507
8	2018	138,507	189754679	27541	205171	686049	839632	681329	913236	163828	189918507	138,515
9	2018	138,515	189918507	591302	1335692	928437	813679	681607	644816	2342686	192261193	138,620
10	2018	138,620	192261193	421714	993499	1712806	841965	685590	1386565	1897828	194159021	138,705
11	2018	138,705	194159021	117276	211498	1827033	815924	688816	2252223	30692	194189713	138,707
12	2018	138,707	194189713	775280	1531101	2342542	844273	688869	2388293	2416034	196605747	138,815
1	2019	138,815	196605747	169546	366054	1994214	845417	692975	2149477	532781	197138528	138,838
2	2019	138,838	197138528	736449	1071409	1584377	764631	693880	1610999	1851988	198990516	138,921
3	2019	138,921	198990516	1484767	4365176	2186097	847689	697026	743311	7443392	206433908	139,247
4	2019	139,247	206433908	0	0	1279443	821434	709666	660972	730238	207164146	139,279
5	2019	139,279	207164146	49995	257052	840575	849935	710906	574115	712536	207876682	139,310
6	2019	139,310	207876682	27251	111353	359476	823597	712115	921983	-312422	207564260	139,296
7	2019	139,296	207564260	11331	24584	435604	852158	711585	972496	-360404	207203856	139,281
8	2019	139,281	207203856	27582	203002	722349	853261	710973	952971	142250	207346106	139,287
9	2019	139,287	207346106	598786	1355215	977493	826797	711214	672825	2374252	209720358	139,390
10	2019	139,390	209720358	423451	994222	1802987	855448	715244	1446537	1914327	211634684	139,472
11	2019	139,472	211634684	117276	214933	1922914	828903	718492	2349254	16281	211650965	139,473
12	2019	139,473	211650965	781317	1540682	2465384	857612	718520	2491093	2435383	214086348	139,577
1	2020	139,577	214086348	169835	364427	2098184	858685	722651	2241527	526954	214613302	139,600
2	2020	139,600	214613302	741660	1080990	1666864	776551	723545	1679873	1862647	216475949	139,679
3	2020	139,679	216475949	1502921	4363730	2299525	860815	726704	774959	7525328	224001277	139,997
4	2020	139,997	224001277	0	0	1345062	834069	739461	688722	750947	224752224	140,029
5	2020	140,029	224752224	49995	253075	883663	862921	740733	598203	710718	225462942	140,058
6	2020	140,058	225462942	27872	150941	377874	836096	741937	960595	-309749	225153193	140,045
7	2020	140,045	225153193	11331	24765	457915	865006	741413	1013261	-395656	224757536	140,029
8	2020	140,029	224757536	28161	196494	759314	866039	740742	992873	116393	224873930	140,034
9	2020	140,034	224873930	601516	1357565	1027439	839098	740939	700945	2383732	227257662	140,133
10	2020	140,133	227257662	428827	1016456	1894708	868090	744978	1506673	1956430	229214093	140,214
11	2020	140,214	229214093	120543	263921	2020550	841072	748292	2446691	51102	229265194	140,216
12	2020	140,216	229265194	793268	1584970	2590764	870119	748379	2594614	2496129	231761323	140,320
1	2021	140,320	231761323	173971	370574	2204496	871125	752606	2334443	533116	232294439	140,342
2	2021	140,342	232294439	746581	1095813	1751256	787727	753509	1749442	1878426	234172865	140,419

Mes	Año	NLI(IGM)	V.Ini.(m³)	V.B.(m³)	V.E.(m³)	V.P.(m³)	VPT(m³)	V.I.(m³)	V.Ev.(m³)	ΔV (m³)	V. F.(m³)	NLF(IGM)
3	2021	140,419	234172865	1512970	4417779	2415600	873122	756690	806936	7655845	241828710	140,730
4	2021	140,730	241828710	0	0	1412360	845915	769648	716838	771790	242600500	140,762
5	2021	140,762	242600500	49995	247109	927853	875097	770953	622609	706493	243306993	140,790
6	2021	140,790	243306993	27872	132141	396741	847816	772149	999710	-367288	242939705	140,775
7	2021	140,775	242939705	11910	25307	480732	877051	771527	1054417	-430944	242508760	140,758
8	2021	140,758	242508760	28781	212763	797115	878020	770798	1033159	112723	242621484	140,762
9	2021	140,762	242621484	611482	1390826	1078569	850630	770989	729373	2431145	245052629	140,860
10	2021	140,860	245052629	432466	1025856	1988767	879943	775102	1567596	1984335	247036963	140,940
11	2021	140,940	247036963	120543	220536	2120607	852481	778458	2545325	-9616	247027348	140,940
12	2021	140,940	247027348	801456	1593105	2718686	881846	778442	2698842	2517808	249545156	141,040
1	2022	141,040	249545156	176286	376358	2312755	882789	782700	2427788	537701	250082857	141,061
2	2022	141,061	250082857	754066	1114432	1837188	798206	783609	1819326	1900957	251983814	141,137
3	2022	141,137	251983814	1528063	4443810	2533829	884661	786823	839070	7764470	259748283	141,442
4	2022	141,442	259748283	0	0	1480837	857022	799946	745058	792856	260541139	141,473
5	2022	141,473	260541139	52601	252352	972818	886513	801286	647104	715893	261257033	141,501
6	2022	141,501	261257033	29030	188179	415951	858805	802495	1039000	-349531	260907501	141,488
7	2022	141,488	260907501	11910	24765	504043	888345	801905	1095933	-468775	260438727	141,469
8	2022	141,469	260438727	28864	227767	835732	889254	801113	1073792	106713	260545439	141,474
9	2022	141,474	260545439	612309	1382149	1130796	861443	801293	758041	2427363	262972802	141,568
10	2022	141,568	262972802	435526	1047367	2084618	891057	805394	1628860	2024315	264997117	141,647
11	2022	141,647	264997117	123727	223429	2222624	863179	808813	2644577	-20431	264976686	141,646
12	2022	141,646	264976686	810016	1611181	2849414	892841	808779	2804019	2550654	267527340	141,744
1	2023	141,744	267527340	179595	383408	2423434	893725	813086	2522041	545035	268072375	141,765
2	2023	141,765	268072375	759483	1120397	1925052	808031	814007	1889901	1909054	269981429	141,839
3	2023	141,839	269981429	1542040	4499667	2654635	895481	817230	871496	7903096	277884525	142,140
4	2023	142,140	277884525	0	0	1550898	867437	830570	773581	814183	278698708	142,170
5	2023	142,170	278698708	52601	250905	1018823	897217	831944	671864	715738	279414446	142,197
6	2023	142,197	279414446	29030	115872	435596	869108	833152	1078691	-462238	278952208	142,180
7	2023	142,180	278952208	12034	25669	527743	898935	832372	1137572	-505563	278446645	142,161
8	2023	142,161	278446645	29443	232467	874995	899787	831519	1114548	90626	278537271	142,164
9	2023	142,164	278537271	617519	1395345	1183873	871582	831672	786780	2449867	280987138	142,257
10	2023	142,257	280987138	440034	1050983	2182145	901477	835805	1690366	2048467	283035605	142,334
11	2023	142,334	283035605	123727	220717	2326351	873209	839261	2744133	-39390	282996214	142,332
12	2023	142,332	282996214	820106	1653843	2982282	903150	839195	2909471	2610715	285606929	142,430
1	2024	142,430	285606929	179677	385035	2536052	903979	843598	2616684	544461	286151391	142,450
2	2024	142,450	286151391	764404	1129255	2014422	817243	844517	1960737	1920070	288071460	142,522
3	2024	142,522	288071460	1555232	4606862	2777528	905625	847755	904048	8093444	296164905	142,821
4	2024	142,821	296164905	0	0	1622331	877201	861400	802295	835837	297000742	142,852
5	2024	142,852	297000742	53428	256871	1065729	907253	862809	696789	723682	297724424	142,878
6	2024	142,878	297724424	29030	154376	455633	878768	864028	1118668	-464890	297259535	142,861
7	2024	142,861	297259535	12034	25488	552035	908864	863245	1179764	-544589	296714946	142,841
8	2024	142,841	296714946	29567	236986	915237	909663	862327	1155842	73284	296788230	142,844
9	2024	142,844	296788230	623846	1409445	1238270	881088	862451	815898	2474300	299262529	142,934
10	2024	142,934	299262529	443052	1083340	2282103	911248	866621	1752687	2100435	301362964	143,011
11	2024	143,011	301362964	126787	223790	2432792	882613	870160	2845163	-49340	301313624	143,009
12	2024	143,009	301313624	823869	1743684	3118685	912816	870077	3016539	2712438	304026062	143,108
1	2025	143,108	304026062	182158	391181	2651864	913593	874647	2712990	551160	304577222	143,128
2	2025	143,128	304577222	769449	1139017	2106357	825880	875575	2032847	1932279	306509502	143,198
3	2025	143,198	306509502	1565529	4560043	2903952	915136	878830	937187	8128643	314638145	143,489
4	2025	143,489	314638145	0	0	1695308	886356	892520	831279	857865	315496010	143,520
5	2025	143,520	315496010	53428	256871	1113649	916663	893964	721950	724697	316220707	143,546
6	2025	143,546	316220707	29030	134672	476097	887826	895184	1159005	-526565	315694142	143,527
7	2025	143,527	315694142	12034	25127	576781	918173	894298	1222203	-584386	315109755	143,506
8	2025	143,506	315109755	30146	240421	956229	918922	893314	1197376	55028	315164783	143,508
9	2025	143,508	315164783	631703	1399683	1293678	890000	893406	845183	2476476	317641259	143,596
10	2025	143,596	317641259	445492	1097621	2383820	920408	897576	1815292	2134473	319775732	143,672
11	2025	143,672	319775732	126787	225417	2541020	891431	901168	2946551	-63065	319712667	143,670
12	2025	143,670	319712667	839293	1694515	3257353	921878	901062	3123965	2688013	322400680	143,765
1	2026	143,765	322400680	184598	454630	2768939	922607	905586	2808959	616230	323016910	143,786
2	2026	143,786	323016910	774494	1154924	2199532	833978	906624	2104932	1951372	324968283	143,855
3	2026	143,855	324968283	1579175	4653138	3032121	924054	909907	970328	8308254	333276536	144,145
4	2026	144,145	333276536	0	0	1769757	894940	923885	860492	880320	334156856	144,176
5	2026	144,176	334156856	55454	267355	1162537	925485	925365	747309	738157	334895013	144,201
6	2026	144,201	334895013	30601	158714	496986	896318	926607	1199689	-543677	334351336	144,182
7	2026	144,182	334351336	12613	24946	602089	926901	925692	1265109	-624253	333727083	144,161
8	2026	144,161	333727083	30229	243494	998152	927604	924643	1239368	35467	333762550	144,162

Mes	Año	NLI(IGM)	V.Ini.(m³)	V.B.(m³)	V.E.(m³)	V.P.(m³)	VPT(m³)	V.I.(m³)	V.Ev.(m³)	ΔV (m³)	V. F.(m³)	NLF(IGM)
9	2026	144,162	333762550	635259	1421737	1350343	898357	924702	874789	2506205	336268755	144,249
10	2026	144,249	336268755	452026	1109732	2487965	928997	928917	1878679	2171125	338439880	144,324
11	2026	144,324	338439880	129682	228309	2651842	899698	932568	3049219	-72256	338367624	144,321
12	2026	144,321	338367624	844917	1806230	3399374	930376	932447	3232774	2815677	341183301	144,418
1	2027	144,418	341183301	186997	401485	2889624	931059	937181	2906959	565024	341748325	144,437
2	2027	144,437	341748325	781979	1174447	2295097	841571	938131	2178084	1976879	343725204	144,505
3	2027	144,505	343725204	1600637	4658381	3163610	932416	941454	1003969	8409619	352134823	144,791
4	2027	144,791	352134823	0	0	1845870	902989	955589	890021	903249	353038072	144,821
5	2027	144,821	353038072	56860	275490	1212517	933758	957107	772943	748575	353786647	144,847
6	2027	144,847	353786647	30601	169922	518338	904281	958364	1240806	-576029	353210619	144,827
7	2027	144,827	353210619	12613	26211	627943	935085	957397	1308438	-663983	352546636	144,805
8	2027	144,805	352546636	31428	251448	1040980	935744	956281	1281776	21543	352568179	144,806
9	2027	144,806	352568179	642744	1440356	1408245	906192	956317	904698	2536523	355104702	144,891
10	2027	144,891	355104702	453266	1113348	2594387	937050	960579	1942713	2194759	357299461	144,965
11	2027	144,965	357299461	130426	231744	2765020	907450	964266	3152862	-82489	357216973	144,962
12	2027	144,962	357216973	855959	1792130	3544409	938343	964128	3342611	2824101	360041074	145,057
1	2028	145,057	360041074	189478	405823	3012231	938984	968872	3005259	572385	360613459	145,076
2	2028	145,076	360613459	789463	1189631	2392428	848690	969833	2251688	1998692	362612151	145,143
3	2028	145,143	362612151	1608039	4694353	3297506	940256	973191	1037813	8529151	371141301	145,425
4	2028	145,425	371141301	0	0	1923433	910535	987513	919755	926700	372068002	145,456
5	2028	145,456	372068002	56901	270609	1263451	941514	989069	798755	744651	372812653	145,480
6	2028	145,480	372812653	31883	169741	540085	911746	990319	1282177	-619042	372193611	145,460
7	2028	145,460	372193611	12613	26392	654262	942759	989280	1352011	-705266	371488344	145,437
8	2028	145,437	371488344	31428	251267	1084576	943376	988096	1324419	-1868	371486476	145,437
9	2028	145,437	371486476	650146	1478498	1467162	913539	988093	934758	2586495	374072971	145,522
10	2028	145,522	374072971	459635	1128170	2702761	944601	992435	2007139	2235594	376308565	145,595
11	2028	145,595	376308565	133776	236082	2880358	914718	996187	3257234	-88488	376220077	145,592
12	2028	145,592	376220077	861128	1725969	3692238	945813	996039	3453246	2775862	378995939	145,683
1	2029	145,683	378995939	192290	412873	3136891	946414	1000698	3103977	583793	379579731	145,702
2	2029	145,702	379579731	792027	1199935	2491404	855365	1001678	2325622	2011432	381591164	145,767
3	2029	145,767	381591164	1625697	4731772	3433613	947606	1005053	1071791	8661843	390253007	146,048
4	2029	146,048	390253007	0	0	2002316	917611	1019587	949627	950713	391203720	146,078
5	2029	146,078	391203720	59382	278201	1315252	948786	1021181	824688	755752	391959472	146,102
6	2029	146,102	391959472	31883	158533	562216	918746	1022449	1323777	-674848	391284624	146,081
7	2029	146,081	391284624	12613	26754	681032	949953	1021317	1395796	-746762	390537862	146,057
8	2029	146,057	390537862	31428	249821	1128920	950532	1020064	1367270	-26633	390511229	146,056
9	2029	146,056	390511229	650146	1463494	1527086	920427	1020020	964962	2576172	393087401	146,139
10	2029	146,139	393087401	462695	1153839	2812709	951680	1024341	2071668	2284915	395372316	146,212
11	2029	146,212	395372316	133776	236082	2997411	921532	1028173	3361819	-101192	395271124	146,208
12	2029	146,208	395271124	870101	1736634	3842223	952817	1028004	3564068	2809703	398080827	146,298

Siendo:

- NLI = nivel laguna inicial.
- V. Ini. = volumen inicial.
- V. B. = volumen bombeado.
- V. E. = volumen de escurrimiento superficial.
- V. P. = volumen de precipitaciones.
- VPT = volumen de plantas de tratamiento.
- V. I. = volumen infiltrado.
- V. Ev. = volumen evaporado.
- ΔV = variación de volumen.
- V. Fin. = volumen final.
- NLF = nivel laguna final.

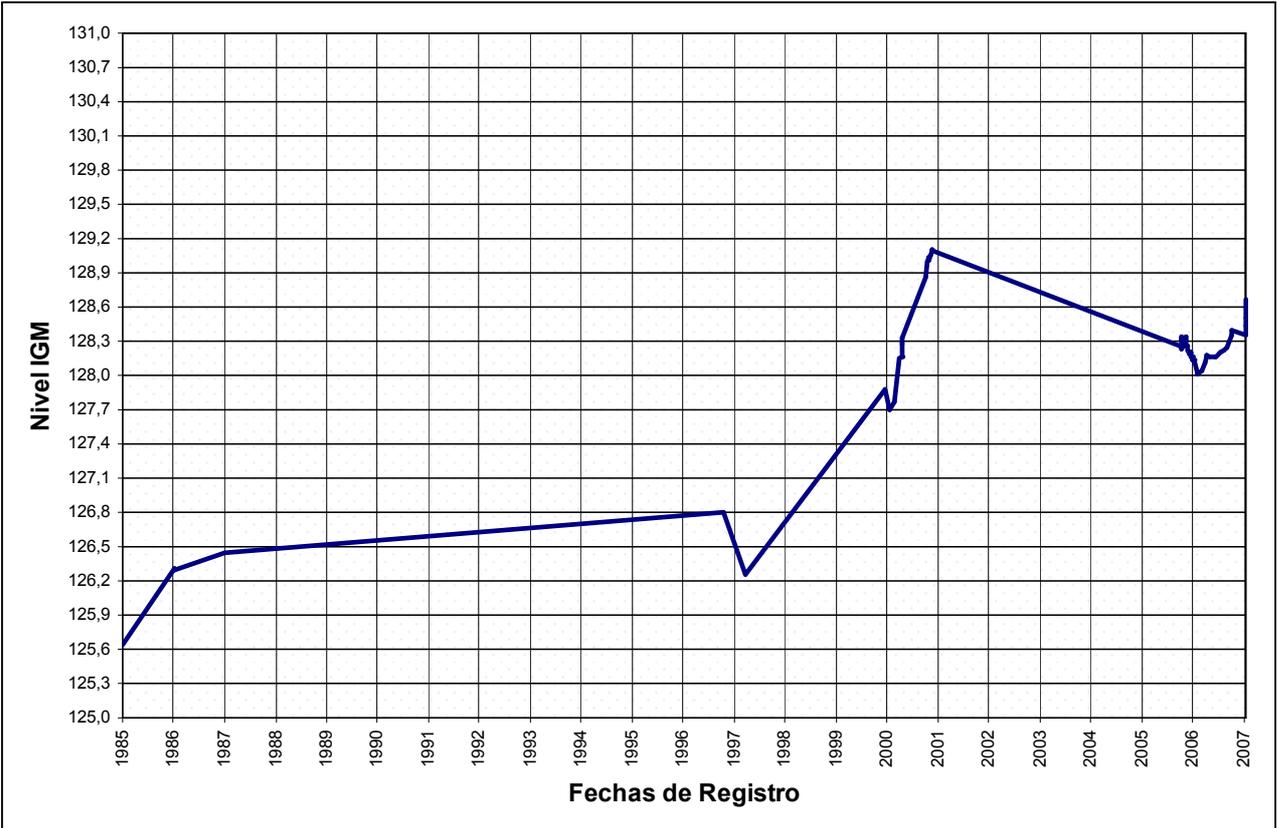


Gráfico A.6.1 Niveles medidos Laguna Bajo Giuliani (período 1985-2007)