

PROVINCIA DE MISIONES

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

**"SISTEMA ACUIFERO GUARANI EN LA PROVINCIA DE
MISIONES"**

INFORME DE AVANCE N° 1

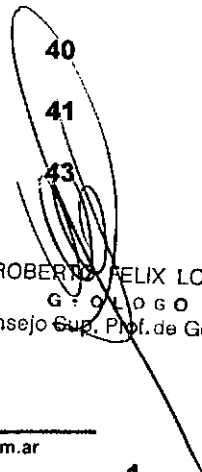
-TOMO UNICO-

DICIEMBRE DE 2006

LIC. ROBERTO FELIX LONGARZO

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. PLAN DE TAREAS	2
3. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE	2
3.1. Recopilación y Sistematización de la Información Antecedente	2
3.2. INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA, AEROFOTOGRAMÉTRICA Y SATELITAL	
3.2.1. Hardware	8
3.2.2. Software	8
3.3. INFORMACIÓN SOBRE GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA	10
4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO Y CLIMATOLÓGICO. BALANCE HÍDRICO	12
4.1. MARCO CONCEPTUAL Y ALCANCES	12
4.2. OBJETO DEL ESTUDIO	12
4.3. CRITERIOS TÉCNICOS	14
4.4. INFORMACIÓN CLIMÁTICA E HIDROLÓGICA DISPONIBLE	16
4.5. ANÁLISIS DE LA SERIE DE CAUDALES	18
4.5.1. COMPARACIÓN ENTRE LOS CAUDALES DEL RÍO PARANÁ Y DEL RÍO YABEBIRÍ.	19
4.5.2. ANÁLISIS DE LA CUENCA INTERMEDIA	21
4.6. DETERMINACIÓN DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL	24
4.6.1. BALANCE HÍDRICO DE LA ESTACIÓN CERRO AZUL	24
4.6.2. BALANCE HIDROLÓGICO DE LA ESTACIÓN SANTO PIPÓ	30
4.6.3. COMPARACIÓN CON BALANCES HÍDRICOS ANTERIORES	36
4.7. DETERMINACIÓN DE LOS VOLÚMENES INFILTRADOS	36
4.8. CONCLUSIONES	39
4.9. RECOMENDACIONES	40
4.10. BIBLIOGRAFÍA	41
MAPA DE LA RED HIDROGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO	43


 Lic. ROBERTO FÉLIX LONGARZO
 G E O L O G O
 Mat. Consejo Sup. Prof. de Geólogo 1195

➤ **introducción y plan de tareas**

INFORME DE AVANCE N° 1

1. INTRODUCCIÓN.

El Primer Informe de Avance que a continuación se presenta tiene por objeto exhibir las actividades desarrolladas en el marco del estudio "**Sistema Acuífero Guaraní en la Provincia de Misiones**", conforme al Expediente N° 7934 00 01 que viabiliza el contrato entre el Consejo Federal de Inversiones y el profesional interviniente (Consultor), habiéndose cumplido el plazo de noventa días de vigencia del mismo.

2. PLAN DE TAREAS.

El plan de trabajo aprobado prevé que en este primer informe se efectúe la elaboración y confección de las tareas identificadas como;

1. Recopilación de la Información Existente.
2. Análisis hidrológico y climatológico. Balance hídrico.

En ese marco a continuación se desglosan las actividades ejecutadas.

3. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE.

3.1. *Recopilación y Sistematización de la Información Antecedente.*

A continuación se detallan los trabajos que fueron consultados.

- *ARDOLINO, A. y MENDIA, J. 1989.* Geología del área de San Ignacio y alrededores, Provincia de Misiones. Dirección Nacional de Geología y Minería. Informe Inédito.
- *AVILA, F.; PORTANERI, J. 1999.* Breve Diagnóstico Geológico Minero de la Provincia de Misiones. Inédito. Dirección General de Geología y Minería (DIGEOMIN).
- *BARBOZA, F.; CARDOZO, J.; CARLINI, A.; FARIAS, F.; HILLNER, U.; HOFFMAN, R.; KONIG, W.; KRUCK, W.; MEDINA NETTO, A.; MERELES, F.; PASIG, R.; ROJAS, C. 2001.* Proyecto Sistema Ambiental de la Región Oriental del Paraguay–SARO. Secretaría del Ambiente (SEAM)–Dirección General de Gestión Ambiental-Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Asunción. Paraguay.
- *C.A.R.T.A. 1963.* Mapa geológico de la provincia de Misiones. Escala 1:50000. Informe Provincia Misiones. Compañía Argentina Relevamientos

Topográficos. y Aerofotogramétricos Buenos Aires. Informe inédito. En poder del Consultor.

- *CORTELEZZI, C. F. y V. GÓMEZ. 1965.* Los basaltos tholeíticos de la perforación Nogoyá (provincia de Entre Ríos). Aplicación de métodos químicos para determinación FeO en minerales y rocas. Acta Geol. Lilloana, S. M. de Tucumán, 6: 87.1998.
- *DE SANTANA, HÉCTOR; FERNANDEZ GARRASINO, CESAR; FULFARO, V.J. 2006.* Proyecto para la protección ambiental y desarrollo sostenible del Sistema Acuífero Guaraní (Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay). Primer Informe Geológico. Consorcio Guaraní. Global Environment Facility (GEF)– International Bank for Reconstruction and development World Bank)– Organización de los Estados Americanos (OEA). 4-126
- *FERNÁNDEZ LIMA, J. C. y H. J. DE LA IGLESIA. 1963.* Informe sobre el mineral de hierro de la provincia de Misiones. Inf. Técnico Dirección General de Geología y Minería (DIGEOMIN), 16: 5-14.
- *GENTILI C. A. y RIMOLDI H. V. 1979,* Mesopotámica. Academia Nacional Ciencias. Segundo Simposio de Geología Regional Argentina Córdoba: 1: 185-223.
- *CICCIOLI S. E., GARRIDO L. B. y GÓMEZ J.C. 2005.* Aspectos mineralógicos y geoquímicos de los basaltos de Eldorado. Provincia de Misiones, orientados a su posible utilización en la industria cerámica.
- *Actas del XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata. Tomo II: 855–862.*
- *HERBST, R. 1971.* Esquema estratigráfico de la provincia de Comentes, República Argentina. Revista Asociación Geológica Argentina, Bs. As., 26 (2): 221-243.
- *MARENGO H., PALMA, Y., TCHILINGUIRIAN, P., HELMS, F., KRUCK, W., ROVERANO, D. 2005.* Geología del área de San Ignacio. Provincia de Misiones. Actas del XVI Cong. Geol. Argentino, La Plata. Tomo I: 141–148.
- *MARENGO H., PALMA, Y. 2005.* Diques y coladas en los basaltos de Serra Geral. Area de San Ignacio. Misiones.
- *MONTAÑO J.; TUJCHNEIDER O.; AUGÉ M. y otros 1998.* Acuíferos Regionales en América Latina. Sistema Acuífero Guaraní. Capítulo

- argentino uruguayo. Centro de Publicaciones, Universidad Nacional del Litoral Actas del XVI Cong. Geol. Argentino, La Plata. Tomo I: 487–492.
- *PADULA, E. L. 1973.* Subsuelo de la Mesopotámica y regiones adyacentes. Geol. Regional Argentina Academia Nacional Ciencias. Córdoba: 213,–~37.
 - *POPOLIZIO, E. 1972.* Geomorfología del relieve de plataforma de la provincia de Misiones y zonas aledañas. An. Soc. Arg. Eit. Geogr. GAEA, Bs. As., 15: 17,84.
 - *RIGGI, J. C. y FELIU de RIGGI, N. 1964,* Meteorización de basaltos en Misiones. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 19: (1) 57 - 70
 - *RIMOLDI H.V. 1972 b.* Sondeos de reconocimiento en las áreas de Yabebiry, Corpus, Punta Ingá y Puerto Bosetti. Tecnoconsult S. A. Subsecretaría. Recursos Hídricos, Dirección Nacional Hidrometeorología, Planeamiento Proyecto Grupo Alto Paraná y Cuencas Misioneras. Bs. As. Informe inédito.
 - *SEGEMAR–DIGEOMIN. 2001.* Evaluación del Recurso Geotérmico en la zona de Oberá.
 - *Proyecto de Perforación Termal-Primera Etapa.* Estudio Geológico. Informe Inédito.
 - *TECHNOSTONE S. P. A. 1989.* Búsqueda de Tierras Raras en la Provincia de Misiones. Argentina. Informe de Primera Etapa (Informe Específico Nº 1). Inédito. Dirección General de Geología y Minería (DIGEOMIN)
 - *TERUGGI, M. E. 1955.* Los Basaltos Tholeiíticos de Misiones. Notificación Museo La Plata; Geol., 18 (70): 259-278.
 - *Estudio Hidrogeológico de Emplazamiento Itacúa.* 1985. Comisión Mixta Argentino Paraguaya del Río Paraná. Inédito. COMIP. En poder del Consultor que fue integrante del equipo profesional que llevó adelante el estudio.
 - *Estudio Hidrogeológico-Red de Monitoreo Freatimétrica. Oscilación de la Superficie Freática en el Area de Influencia del proyecto Corpus Christi.* 1988. Miguel Auge y Roberto Longarzo. Comisión Mixta Argentino Paraguaya del Río Paraná. Inédito. COMIP. En poder del Consultor que fue integrante del equipo profesional que llevó adelante el estudio.

- *Evaluación del Recurso Geotérmico en la Localidad de Leandro N. Alem para un Proyecto de Captación. 2005. Cooperativa Tabacalera de Alem. Inédito. En poder del Consultor que fue el solicitante del estudio.*
- *Descripción de los Sigüientes Perfiles Geológicos de Perforaciones para Captación de Agua Potable. Ejecutados en distintas épocas desde 1991 a 1996 por el Consultor.*

Ubicación	Localidad	Profundidad (m)
San Marcos	Posadas	127
Sur Argentino	Posadas	80
I. Mini Chico	Posadas	85
San Onofre	Posadas	120
Paraíso	Posadas	150
San Jorge 1	Posadas	100
Poujade 1	Posadas	120
Poujade 2	Posadas	70
Madariaga	Posadas	112
Latinoamérica	Posadas	78
San Isidro	Posadas	60
San Lorenzo	Posadas	50
I. Mini	Posadas	65
San Lucas	Posadas	130
Chacra 96	Posadas	80
Parma	Posadas	125
Villa Lanus	Posadas	130
San Jorge 2	Posadas	100
Escuela 613	Tobuna	115
Colonia. Guaraypo	Montecarlo	66
Km. 12	25 de Mayo	100
Escuela 519	Jardín América	72
Yacuti. Escuela 642	Deseado	60
La Mer Escuela 272	Eldorado	70
Cuenca Lechera	Alem	120
Salita	Cerro Moreno	140
Escuela 506	Puerto. Mado	73
Escuela 104 Villa Hermosa	9 de Julio	66
Escuela 707 Ruta 24	Soberania	60
Monte Hermoso	Azara	140
Barrio Jansen	Alem	135
Barrio 25 de Mayo	Alem	132

- *Perfil de la Perforación al SAG en la Localidad de Oberá. 2003-2006. Inédito. En poder del Consultor.*
- *Análisis químico del agua captada del SAG en la localidad de Oberá. Octubre 2006. Estudio ejecutado por el CERIDE-CONICET. Solicitado por el*

Ministerio de Recursos Naturales Renovables y Turismo de la Provincia de Misiones en consenso son el Consultor que actúa como asesor de dicho organismo. En poder del Consultor.

- *Perfiles de las Perforaciones al SAG en las Localidades de Cerro Azul y Posadas. 2006.* Descripción encargada por el Consultor al SEGEMAR por medio de un Convenio de Colaboración con la Provincia de Misiones. Actualmente en ejecución.
- *Estudio Geotécnico del Proyecto Corpus en el Emplazamiento Pindoí.* Este estudio fue coordinado por el Consultor desde la elaboración de los T de R hasta la selección del Consorcio adjudicatario, para luego dirigir el equipo de inspección. El material de consulta obtenido es inédito y se encuentra en poder del Consultor. 2005-21006.

Al final del acápite referente al Balance Hídrico se menciona la bibliografía específica utilizada para la realización de ese estudio en particular.

Antecedentes de Interés en Proceso de Búsqueda.

- Remedias de la superficie freática efectuadas por la COMIP hasta fines de la década de 1980 en la red de monitoreo de la zona del Proyecto Corpus Christi. Una buena parte de las campañas mensuales de dicha remediada fueron efectuadas por el Consultor. Por ser un material que se encuentra sin procesar y a nivel de planillas de campo, es posible que lograr su concurso presente proveyéndose alguna dificultad en la obtención.

Material Existente No Procesado.

- *Descripción Pendiente Perfiles Geológicos de Perforaciones para Captación de Agua Potable.* Ejecutados en distintas épocas desde 1991 a 1996. Se menciona como dato de inventario que se encuentran en poder del Consultor las muestras de los perfiles que a continuación se detallan y que no han sido todavía descriptos. La explicación es que las anteriores descripciones fueron ejecutadas con el objeto de compilar en lo posible la geología del subsuelo de la provincia para generar el conocimiento que, aun hoy, es muy fragmentario. Obviamente aquel trabajo se realizó de forma oficiosa y a título de colaboración, requiriéndose solamente que las empresas

perforistas efectúen una buena toma del cutting en la boca de pozo y la disposición adecuada de dichas muestras. Es importante señalar que la descripción de estas perforaciones esta aun pendiente y las muestras se encuentran en poder del Consultor.

Ubicación	Localidad	Profundidad (m)
Capilla San Isidro	Gra. Urquiza	125
Aeroclub	Posadas	275
Escuela 119 Col Santa María	Caaguazú	78
Escuela 623 San Isidro	C de la Sierra	75
Escuela 713 Soberanía	Andresito	130
Escuela 553	Loma de Acaragúa	138
Escuela 9 Bella Vista	San Vicente	120
Cooperativa Agroforestal	Andresito	?
Villa Industrial	Oberá	80
Escuela 292 Coronel. Pringles	Alba Posse	163
Escuela. 65	San José	104
Itacaruaré		132
Escuela 636	Esperanza	140
P-1	Andresito	112
P-2	Andresito	69
Escuela 314	9 de Julio	150
Escuela 75 Parodi	Montecarlo	115
Escuela 443	Aristóbulo Chico	140
Paraje Saltito	25 de Mayo	115
Cooperativa de Agua	Itacaruaré	132
Salto Km. 18 Salta	Eldorado	160
Barrio Ita	Monte Carlo	80
Km. 25 Ruta 212	San Vicente	140
Escuela 716 Paraje La Uva	Alba Posse	?
Escuela 36	Campo Viera	160
Barrio Prosol	Jardín América	70
Monte Hermoso	Azara	100
Cooperativa de agua	Campo Grande	80
Escuela 444 Km. 17 S.J. Calanzanz	El Soberbio	117
Club Ciclista	Posadas	150

Material en Proceso de Generación.

- "CONTRATACION DE CONSULTORIA EN GEÓLOGIA Ó HIDROGEOLOGIA PARA LA INSPECCION DE LA PERFORACIÓN N° 1 (Ruta Provincial N° 213 y Avenida N° 186). OBRA N° 934: "PERFORACIONES PROFUNDAS EN LA CIUDAD de POSADAS-MISIONES". Este trabajo se encuentra en ejecución y la responsabilidad de su inspección a la empresa Contratista que lo lleva adelante el Consultor.

➤ **información topográfica**

3.2. INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA, AEROFOTOGRAMÉTRICA Y SATELITAL.

En el abordaje de elaboración de los mapas del presente estudio, se definió previamente la utilización de un Sistema de Información Geográfico (SIG) en formato digital, para lo cual se investigaron los antecedentes digitalizados existentes en las instituciones públicas de la provincia y las empresas privadas. A continuación se detallará la cartografía seleccionada y las herramientas de trabajo utilizadas.

3.2.1. Hardware

- Geoexplorer 3. Trimble. Sistema GPS diferencial de mapeo y GIS. Utilizado para el relevamiento y captura de datos en el campo.
- Garmin Vista cx etrex. Navegador personal.

3.2.2. Software

- Windows 98.
- Programa GIS Arc View 3.3 para la elaboración de la base de datos y la construcción de los mapas.
- Pathfinder Office 2.8, para procesar la información recolectada con el navegador y luego volcarla al software de sistema de información geográfica. Dirección General de Geología y Minería de la Provincia de Misiones.
- Capas Temáticas realizadas por la Dirección de Procesamiento de Información Satelital y Cómputos. Ministerio de Ecología, Recursos Naturales Renovables y Turismo.
- Compuesto de Ríos, Rutas, Departamentos, ciudad-pueblos, conos urbanos, Arroyos, lote de biosfera, reservas provinciales, perímetros, línea municipal, lago Urugua-í.
- Mapa Físico y Político de la Provincia de Misiones. Ministerio de Cultura y Educación de la Provincia de Misiones. Escala 1:250.000. Autor: Miguel Ángel Stefañuk. Actualizado noviembre de 2004.
- Mapa de relieve de la Provincia de Misiones, obtenido en base al modelo digital del terreno elaborado por la NASA "The Shuttle Radar Topography

Misión (SRTM). Elaborado a partir del sobrevuelo del transbordador espacial Space Shuttle Endeavour. Febrero de 2000, de aproximadamente 90 metros de resolución espacial y con una exactitud horizontal y vertical absoluta de 20 metros. Dirección de Procesamiento de Información Satelital y Cómputos. Ministerio de Ecología, Recursos Naturales Renovables y Turismo.

- Imágenes Satelitales Landsat 5 TM obtenidas en noviembre de 2005 y agosto de 2006. Dirección de Procesamiento de Información Satelital y Cómputos. Ministerio de Ecología, Recursos Naturales Renovables y Turismo.
- Relevamiento aerofotogramétrico realizado por C.A.R.T.A. (Compañía Argentina de Relevamientos Topográficos y Aerofotogramétricos), años 1962- 1963. Compuesto por hojas topográficas (escala 1:10.000 y 1:20.000), hojas geológicas (escala 1:50.000), hojas edafológicas (escala 1:50.000) y pares estereoscópicos de las diferentes corridas. Dirección General de Catastro de la Provincia de Misiones.
- Mapa de la Provincia de Misiones del Instituto Geográfico Militar (IGM) de escala 1:100.000.
- Doce mapas (digitalizados y georeferenciados) que componen el Anexo cartográfico del Estudio Geocientífico Aplicado al Ordenamiento Territorial, San Ignacio, Misiones. SEGEMAR–BGR, ellos son: De base (altimetría, planialtimetría y catastral), Geológico, Geomorfológico, Vegetación, Hidrogeológico e Hidrológico, Suelos, Usos actuales del suelo, Caracterización social y urbana, Peligrosidad natural, Ubicación para ubicación de un relleno sanitario y Aptitud para la urbanización.
- Mapa de Integración Geológica de la Cuenca del Plata y Áreas Adyacentes. Escala 1:2.500.000, Mercado Común del Sur–1998.

➤ **información sobre geología, geomorfología e hidrogeología**

3.3. INFORMACIÓN SOBRE GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA.

Del análisis de la información de mayor relevancia, obtenidas de la revisión bibliográfica, a continuación se describen sintéticamente las conclusiones más destacadas y de interés en función de los alcances del presente estudio.

- a. En el territorio de la Provincia de Misiones predominan en toda su extensión los basaltos del sistema de Serra Geral (Jurásico Superior-Cretácico Inferior) con espesores que superan los 1.500 metros; característicos de la Cuenca del Paraná.
- b. La región se caracteriza por la presencia de coberturas de alteración de tipo laterítico con espesores variables entre 0 m y 30 a 40 metros, con frecuentes niveles oolíticos y/o acorazados de óxidos e hidróxidos de hierro.
- c. En un pequeño sector de la Provincia afloran areniscas de ambiente continental, consideradas por los distintos autores como básales (Triásico Superior?) o intercaladas (Cretácico Inferior) respecto a los basaltos.
- b. Se establecen regiones morfológicas que se distinguen por diferentes caracteres orográficos e hidrográficos.
- e. En su conjunto el territorio provincial presenta las características morfológicas de un "Plateau" modelado por un sistema de drenaje medianamente evolucionado con marcadas variaciones.
- f. Se individualizan numerosas estructuras lineares y circulares de distintas medidas y orden de superposición. Algunas de estas estructuras presentan rasgos morfológicos análogos al de las regiones adyacentes del Brasil y del Paraguay.
- g. Los resultados de los estudios sobre antecedentes estructurales, muestran el fuerte control tectónico en la red de drenaje.
- h. El estudio de los mantos acuíferos y su legislación en cuanto al uso es un proceso que se encuentra en sus inicios y en forma incipiente.
- I. Solo se puede poner en valor en esta etapa un estudio en la zona que será objeto de interés de este trabajo, donde participo el Consultor, pero que remite una antigüedad de veinte años y es previo a los efectos del denominado fenómeno de "cambio climático" y en el análisis del balance se hace referencia al mismo y su influencia en la zona de estudio particularizada.

Descripción de la actividad.

Los temas que fueron considerados como de interés en la investigación bibliográfica del presente trabajo están orientados a:

- Geología regional del sector correspondiente al MERCOSUR y de las regiones adyacentes a la Provincia de Misiones.
- Características geológicas específicas de la Provincia de Misiones.
- Legislación y cuidado de las aguas subterráneas en general.

Parte del material bibliográfico, sobre todo los documentos de carácter general, fueron seleccionados de las bibliotecas de organismos del Estado Provincial, Nacional y Organismos Binacionales mientras que otros fueron obtenidos de la actividad privada en poder del Consultor.

Es importante indicar que esta revisión y análisis bibliográfico ha sido efectuado en reiteradas oportunidades por el equipo profesional interviniente en el presente estudio, además, de que buena parte de este material fue tomado como insumo para diferentes trabajos en el transcurso de varios años.

En algunos casos, como podrá verse en el acápite 3.1, los miembros del presente equipo han participado, juntos o separadamente, en algunos de los estudios indicados.

-
-
- **análisis hidrológico y climatológico, balance hídrico**

4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO Y CLIMATOLÓGICO. BALANCE HÍDRICO.

4.1. MARCO CONCEPTUAL Y ALCANCES.

En el marco del "Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del Sistema Acuífero Guaraní", financiado por los países miembros y con fondos provenientes del Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF), se ha escogido, en la vecina República del Paraguay, una zona de estudio denominada Proyecto Piloto Itapúa. Dicha zona aparentemente fue seleccionada debido a que las denominadas areniscas de la Fm Misiones o Fm Tacuarembó se sitúan aflorando o muy próximas a la superficie.

En la Provincia de Misiones dicha formación fue ubicada en la porción occidental sobre una parte de la margen izquierda del Río Paraná y aflorando parcialmente en las localidades de Santa Ana, San Ignacio, Gobernador Roca y Corpus, para desaparecer en superficie entre esta última y la de Santo Pipo.

En la metodología propuesta originalmente tanto el balance, que se presenta en este informe, como el estudio particularizado estará referido al sector mencionado.

Es evidente que el estudio geológico encarado en este contrato pretende acercar cierta claridad sobre la presencia significativa de la Fm Misiones en otros sectores del territorio provincial, donde solo se han obtenido menciones esporádicas sin una caracterización muy definida en cuanto a la extensión y potencia de dichos afloramientos.

4.2. OBJETO DEL ESTUDIO.

La finalidad de este trabajo es determinar los volúmenes de infiltración que se producen en las cuencas de los ríos o arroyos de la Provincia de Misiones, afluentes del río Paraná y ubicadas en el área de las localidades mencionadas en el acápite anterior.

En el Cuadro N° 1, se han volcado algunos datos básicos de estas cuencas, individualizadas, de sur a norte, en función del nombre de sus emisarios. Para los cauces sin aforos el caudal módulo está estimado de diferentes fuentes y corresponde a distintos períodos, la más de las veces no indicados en los informes.

CUADRO N° 1

DATOS BÁSICOS DE LAS CUENCAS EN ESTUDIO

Río/Arroyo	Progresiva Km. (1)	Área Km ²	Observaciones	Caudal m ³ /s (2)
San Juan	1606	140	Sin aforos	2,4
Santa Ana	1619	85	Sin aforos	1,5
Yabebirí (3)	1624	650	Aforado	11,9
Yabebirí (4)	1624	1000 (5)	Semi aforado	19,4 (4)
Curupaty	1653	36	Sin aforos	0,6
Santo Pipó	1666	81	Sin aforos	1,4

Observaciones del Cuadro.

1. "Servicio de Hidrografía Naval. Armada Argentina". "Croquis del Río Paraná desde Confluencia a Iguazú". Año 1971.
2. Los caudales estimados se han obtenido de diferentes fuentes tales como: "Estudios de prefactibilidad y factibilidad del proyecto Corpus Christi" LEHMAYER-HARZA y Asociados". Años 1977/1982 (ver Ítem 9 "Bibliografía, referencias 1 y 2) y "Estudio hidrológico e hidráulico de tributarios del río Paraná" de Litwin y Molas. Año 1987 (Referencia 4).
3. La estación Colonia Mártires, funcionó hasta el año 1977 Se dispone de 21 años de aforos, 17 de ellos continuos (1952/1968) y 4 años discontinuos.
4. En la estación Yabebirí, en la desembocadura, coexisten aforos dispersos y estimaciones. En el citado estudio de prefactibilidad, del año 1977, se consigna un caudal de 26 m³/s y en otros estudios se adoptan 22 m³/s.
5. En los diferentes informes consultados también se dan distintos valores para el área de aporte del río Yabebirí en la desembocadura: 1520 km² y 1620 km². Es posible que el valor del Cuadro, considere el remanente respecto del área hasta la estación Mártires. En el presente estudio se adoptará este último criterio.

Es importante señalar que toda la información regional disponible (aforada y estimada) corresponde a fines de la década del 70, comienzo del 80, cuando los efectos del denominado "cambio climático" recién comenzaban a percibirse.

Las cuencas seleccionadas, como se dijo, se caracterizan por la presencia de las areniscas de la Formación Tacuarembó o Misiones y los basaltos de la Formación Serra Geral. Las infiltraciones pueden producirse directamente en las areniscas que afloran (y a través de sus suelos residuales), o bien a través de la porosidad secundaria de los basaltos alterados que cubren, en algunos casos someramente, a dichas areniscas.

Las tierras están cubiertas con vegetación de bosques nativos y cultivados, agricultura perenne y anual, si bien estas últimas en menor proporción, especialmente en la margen izquierda del río. Las cuencas, en especial la del río Yabebirí, tienen elevadas pendientes en su origen, la que disminuye a medida que se acercan a la desembocadura. Las cuencas menores (Curupayty y San Ana) tienen pendientes menos pronunciadas.

4.3. CRITERIOS TÉCNICOS.

Los volúmenes que se infiltran en una cuenca, provienen de la diferencia entre las precipitaciones, la retención inicial, la evapotranspiración y el agua de escurrimiento superficial, tal como se consigna en la expresión (1):

$$P = L + E_v + E_s + F \quad (1)$$

Los diferentes términos, que deben considerarse en el mismo tiempo t , significan:

P La precipitación que, en el caso que se estudia, es exclusivamente de origen pluvial.

L Es la pérdida inicial, retenida fundamentalmente en la vegetación que cubre la cuenca.

E_v Es la evapotranspiración potencial o real.

E_s Es la escorrentía superficial que alimenta al emisario de la cuenca.

F Es el agua infiltrada.

En el presente estudio el resultado de la ecuación (1) se expresará anualmente, si bien, para su resolución deberá utilizarse información a nivel mensual.

Todos los términos se expresarán comúnmente en mm o en pulgadas cuando sea necesario recurrir a tablas o cuadros en unidades inglesas.

La conversión de los términos de la expresión (1) a unidades de volúmenes (hm^3) se efectúa tomando en cuenta la superficie de las áreas de las cuencas en Km^2 .

Las descargas anuales de los emisarios se expresarán en m^3/s adoptando, para tal fin, $31,6 \times 10^6$ segundos en el año.

La pérdida inicial (L) solamente se produce al comienzo de las precipitaciones y su agota una vez que las hojas de los árboles, donde queda retenida, se han "saturado de agua", desde donde posteriormente se evapora. En regiones en que el régimen pluviométrico está dado por numerosos aguaceros cortos y de baja intensidad la intercepción inicial adquiere cierta importancia. En cambio, cuando las precipitaciones totales anuales son elevadas (como es el caso de la Provincia de Misiones) y se forman por la suma de precipitaciones de larga duración y, especialmente, cuando vienen acompañadas por viento, la retención inicial pierden significación. Por su parte la retención inicial sobre el monte bajo queda incorporada a la precipitación total P, debido a que los pluviómetros de las estaciones meteorológicas están ubicados a 1,50 m del suelo. Por todo lo anterior la expresión L de la ecuación (1) no se tomará en cuenta.

El volumen infiltrado (F), que es el parámetro a definir, constituye lo que se denomina "agua de gravedad", que termina alimentando los cuerpos freáticos. Queda excluida del concepto de volumen infiltrado el agua sub-superficial o humedad del suelo que, tanto se convertirá en agua superficial o alimentará la evapotranspiración en los períodos de déficit. Los "balance hidrológicos"¹ que se analizan en los ítem siguientes, se han elaborados de acuerdo al criterio de Thornthwaite y Mather, quienes consideran que la humedad del suelo se utiliza y se repone continuamente. El valor adoptado (en realidad la diferencia entre la capacidad de campo y punto de marchitez de los suelos) es prácticamente irrelevante, ya que en todas cuencas en estudio existen excedentes anuales.

Por lo tanto, para la determinación de los volúmenes infiltrados en las cuencas, es necesario conocer la precipitación anual, la evapotranspiración y la

¹ También conocidos indistintamente como "balances hídricos"

escorrentía total [suma de los términos E_s y F de la (1)]. La precipitación es un dato aportado por las estaciones meteorológicas, la evapotranspiración potencial se calculará mediante la fórmula de Thornthwaite (por tratarse de una región húmeda y con cobertura vegetal completa) y la E_s se obtendrá en función de las descargas de los emisarios de las cuencas.

Con posterioridad, como diferencia entre todos los términos conocidos o calculados de la expresión (1) se obtendrá la altura de infiltración (F) o, lo que es lo mismo, el volumen infiltrado.

Como se ha afirmado, deberá determinarse si la escorrentía superficial es la que aporta los caudales de los emisarios de las cuencas en estudio, pero previamente los mismos deberán ser actualizados para abarcar períodos similares a los de la estación Cerro Azul, que será la utilizada en este informe por las razones que se vuelcan mas adelante.

4.4. INFORMACIÓN CLIMÁTICA E HIDROLÓGICA DISPONIBLE.

Para el cálculo del "balance hidrológico" es indispensable conocer la precipitación, la temperatura y la radiación solar, en todos los casos a nivel mensual, más allá, que de acuerdo a lo manifestado, el resultado final se exprese a nivel anual. En la fórmula utilizada, otros parámetros climáticos que intervienen en la evapotranspiración como el viento y la humedad del aire, no se toman en consideración por su escasa influencia frente a la temperatura y la radiación solar.

La información climatológica disponible proviene del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y de cuadros que dan coeficientes que tienen en cuenta la radiación solar en función de la latitud del lugar². La información hidrológica proviene, o bien de la ex Empresa Agua y Energía o bien de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación³.

El SMN da los datos mensuales, como promedio de decenios (diferentes para cada estación), habiéndose presentado la información del INTA de manera similar. El SMN suministró información, sin costo, hasta el decenio 1981/90, siendo muy oneroso la obtención de datos con posterioridad a esa fecha. Esta

² Son los que permiten transformar la evapotranspiración sin ajustar en ajustada

³ En este último caso a través de la empresa EVAR S.A.

situación crea un inconveniente ya que deja de disponerse de información de temperaturas y de precipitaciones que manifiesten los primeros síntomas del "cambio climático".

El INTA, en cambio, suministra información hasta el año 2005, como así también la Subsecretaría de Recursos Hídricos. Este hecho hace recomendable trabajar con la información de estos dos últimos organismos, si bien en algunos casos, de ser necesario, se hará referencia a la información de otras estaciones de la región.

Las fuentes a utilizar están indicadas en el Cuadro N° 2, en el cual la precipitación media anual en se expresa en mm, la temperatura media anual en grados centígrados (Celsius), el coeficiente de radiación solar mediante un número y el caudal módulo anual en m³/s.

CUADRO N° 2

FUENTES DE INFORMACIÓN CLIMÁTICA E HIDROLÓGICA

Estación	Tipo	Latitud	Longitud	Altura	Periodo	Pres. (mm) Q(m ³ /s)	Tem °C
Posadas	Clim.	27° 22'	55° 58'	133	1953/85	1691	21,2
Loreto	Clim.	27° 21'	55° 30'	63	1941/70	1769	20,4
Cerro Azul	Clim.	27° 39'	55° 26'	283	1967/05	1966	20,9
Santo Pipó	Clim.	27° 14'	55° 41'	150	1999/05	1923	20,5
La Mina	Hidrol..	27° 27'	55° 48'	80	1904/2005 (1)	12.430	
Mártires	Hidrol..	27° 23'	55° 18'	116	1952/73 (2)	11,9	

Observaciones del Cuadro.

- 1) Río Paraná: 1904/2000 aforos en La Mina, de esa fecha en adelante aforos a cargo del Ente Binacional Yacyretá (EBY) en la central-vertedero de la presa.
- 2) Río Yabebirí: 1952/68 en forma continua y luego años 1972/73 y 1976/77

La estación de Cerro Azul, como se ha dicho, es la que dispone de una información climática actualizada, si bien tiene el inconveniente de estar a una altura elevada respecto a la altura media reinante en las cuencas a estudiar,

con la excepción de la parte superior de la cuenca del río Yabebirí. En estudios futuros de mayor profundidad debería analizarse si el alto valor de la precipitación anual de Cerro Azul se debe a su mayor altura (influencia orográfica) o al efecto del "cambio climático". Observar que es un 11% mayor que en Loreto (con datos hasta el año 1970), pero tan sólo un 2% mayor que en Santo Pipó, que tiene una altura intermedia. De lo anterior se puede concluir que, en primera instancia, es mayor la influencia del "cambio climático" que la diferencia de altura.

Por su ubicación geográfica y por su menor altura, esta última estación es la que debería utilizarse en el análisis, pero el escaso período de registro existente no hace muy recomendable su uso, si bien se recurrirá a ella con fines exclusivamente comparativos (ver Ítem 8 "Recomendaciones")

Con referencia a los caudales, los datos disponibles son, con excepción del río Paraná en La Mina-Presa de Yacyretá, anteriores a la década del 90, razón por la cual, para efectuar comparaciones válidas, es indispensable actualizar los datos.

4.5. ANÁLISIS DE LA SERIE DE CAUDALES.

Como se ha expresado precedentemente es indispensable actualizar la serie disponible en la estación de aforos Mártires, sobre el río Yabebirí. Para tal fin se seguirán dos caminos diferentes que a continuación se describen.

- Comparar las series hidrológicas existentes en esta estación con las series de La Mina, en el río Paraná. En este caso debe tomarse en cuenta que se están comparando cuencas de muy diferente magnitud. La cuenca del río Paraná, hasta La Mina, cubre una superficie de 975.400 Km², por lo cual siempre existirá la posibilidad de tormentas en parte de la cuenca y, consecuentemente, una disponibilidad continua de descargas anuales. Es cierto, sin embargo, que las clasificaciones climáticas entre ambas cuencas son muy semejantes y la correlación, a nivel anual, podría compensar diferencias que se presentarían si se procurará comparar descargas diarias o mensuales. No cabe duda que esta hipótesis es muy simplificada y debería ser analizada con mayor profundidad, en estudios más avanzados. De todas maneras, ante la ausencia de información directa es conveniente tomarla en consideración.

- Analizar la situación hidrológica de la cuenca intermedia entre la desembocadura del río Iguazú (Km. 1927) y la estación La Mina (Km. 1606) que abarca una superficie de unos 28.740 Km². En este caso se están comparando sub-cuencas con superficies menos diferentes entre si. Sin embargo no existe absoluta homogeneidad entre ambas márgenes, ya que en Paraguay existe una mayor proporción de tierras cultivadas, una mayor extensión de cauces y una pendiente más reducida. Los aportes son mayores desde margen argentina. Igual que en caso anterior, el rigor técnico no es absoluto pero es, también un camino explorable.

4.5.1. COMPARACIÓN ENTRE LOS CAUDALES DEL RÍO PARANÁ Y DEL RÍO YABEBIRÍ.

En este primer caso se actualizará la serie de caudales de la estación Mártires en función de los caudales de La Mina. Ahora bien, como posteriormente se compararán dichos caudales con el balance hídrico para el período 1967/2005 (registro de la estación de Cerro Azul) el proceso de cálculo consistirá en:

- a. Comparar los caudales de las estaciones de aforos Mártires y La Mina para los 21 años del registro de la primera.
- b. Obtener para cada estación el caudal módulo para el período 1967/2005.

Previo al análisis de los caudales del río Paraná es conveniente levantar el mito vulgar de que el funcionamiento de las presas brasileñas ha alterado los caudales módulos anuales del río Paraná. Los embalses de dichas presas provocan una alteración de la curva de duración de caudales mensuales, pero el aporte anual (ritmo al que se efectúa el presente estudio) es independiente de dichas obras. En cambio si es de esperar una modificación en la esorrentía anual debido al desmonte en ambas márgenes del río Paraná, contiguo entre el Brasil y el Paraguay, especialmente si el agua infiltrada se desvía naturalmente a cuerpos freáticos sin comunicación con el río Paraná. Tal efecto no existirá si dichas fuentes freáticas volcaran sus descargas aguas abajo en el citado río.

⁴ Ver Referencia 6

De todas maneras la mayor parte del aumento de los caudales registrados se debe a los fenómenos derivados del "cambio climático".

El caudal módulo del río Paraná en la Mina, para el mismo periodo discontinuo de la estación Mártires fue de 11.620 m³/s y el aporte para el periodo 1967/2005 fue de 14.186 m³/s. Es decir que el caudal ha sufrido un incremento del 22%.

Como se ha indicado en el Cuadro N° 2 el caudal módulo del río Yabebirí en Mártires (medido) fue de 11,9 m³/s, razón por la cual, aceptando un incremento similar al calculado para el río Paraná en La Mina, el caudal módulo para el período 1967/2005, hubiese sido de 14,5 m³/s. A este caudal módulo le corresponde una escorrentía superficial (para su área de aporte de 650 Km²) de 0,022 m³/s. Km².

En el marco del estudio de las descargas de caudales y volúmenes se aceptará que todas las cuencas tienen características geomorfológicas (vegetación, tipo de suelos, pendiente, efectos ambientales) similares por lo cual sus coeficientes de escorrentía también lo serán.

En el Cuadro N° 3 se muestra el cálculo correspondiente.

CUADRO N° 3

CAUDALES Y VOLUMES ESCURIDOS ACTUALMENTE EN LAS CUENCAS BAJO ESTUDIO DE ACUERDO AL SUBÍTEM 4.1

Rio/Arroyo	Progresiva	Area (Km ²)	K (m ³ /s km ²)	Q (m ³ /s)	V (hm ³) (4)
San Juan	1606	140	0,022	3,08	97
Santa Ana	1619	85	0,022	1,87	59
Yabebirí (1)	1624	650	0,022	14,3	451
Yabebirí (2)	1624	1000	0,022	22,0 (3)	694
Curupayty	1653	36	0,022	0,79	25
Santo Pipó	1666	81	0,022	1,78	56

Observaciones del Cuadro.

- 1) Considerando la cuenca total hasta la estación Mártires.
- 2) Considerando la cuenca remanente hasta su desembocadura.
- 3) El caudal total en la desembocadura sería del orden de los 36 m³/s

4) Es el volumen que escurre por el emisario fuera de la cuenca.

4.5.2. ANÁLISIS DE LA CUENCA INTERMEDIA.

La cuenca de aporte al río Paraná, comprendida entre el río Iguazú y la estación La Mina, está representada en el Gráfico N° 1 y abarca, como se ha dicho, una superficie de aproximadamente 28.740 Km².

El aporte hídrico de esta cuenca no ha sido medido en forma rigurosa. Existen, en los diversos trabajos de referencia análisis de balances hídricos del tramo, como así también análisis hidrológicos entre los aportes del río Paraná en Guará (o bien a la salida de la presa de Itaipú) del río Acaray y del río Iguazú.

En el punto trifinio existe dos hidrógrafos, uno de cada margen, R 11 (de Itaipú Binacional) en la margen derecha e Ita Cajón (de la Subsecretaría de Recursos Hídricos, de la Argentina en la margen izquierda). Si bien suelen tener diferencias diarias, los caudales medios mensuales son coincidentes, razón por la cual se pueden comparar las descargas en este punto, utilizando cualquiera de los dos hidrógrafos, con los aforos en La Mina.

Los ajustes realizados para los últimos veinte años de registros dan, para esta cuenca intermedia, siempre con referencias a los caudales medidos en La Mina, diferente información. Así por ejemplo para el período 1971/82 dan un 4,9%, para el período 1971/98, el porcentaje aumenta al 5,9%, valor análogo para el período 1971/2002. En la referencia 6, se consideran aportes medios anuales comprendidos entre el 4% y el 7%, el primer valor para elevados caudales en La Mina. En el presente estudio se adoptará el valor promedio entre estos dos últimos valores, es decir un 5%, tomando en consideración que reina una época de caudales altos. Estudios realizados durante la etapa de prefactibilidad del proyecto Corpus Christi, para un caudal medio de 11.900 m³/s en La Mina, dieron un valor de ajuste cercano al 6%. (Referencia 1).

Resulta, por lo tanto, que el caudal medio de aporte de dicha cuenca, para el período 1967/2005 es de $(0,05 \times 14.186 \text{ m}^3/\text{s})$ 709 m³/s, que proporciona un caudal específico de 0,025 m³/s. km² de cuenca, es decir un 12% mayor que el obtenido mediante la comparación de los caudales del sub-ítem 4.1.

Los resultados respectivos pueden observarse en el Cuadro N° 4, de formato análogo al Cuadro N° 3.

CUADRO N° 4

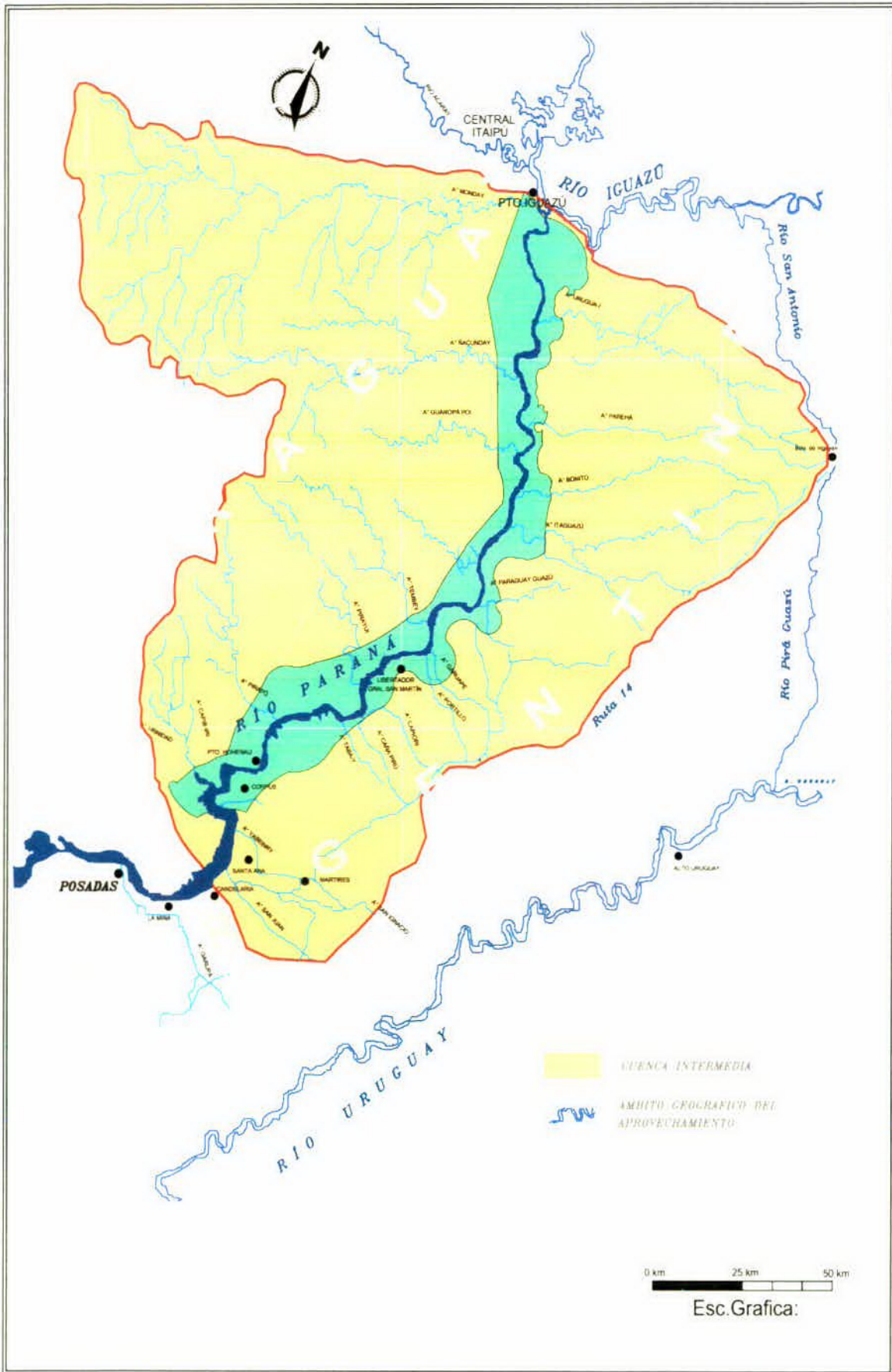
CAUDALES Y VOLUMES ESCURIDOS ACTUALMENTE EN LAS CUENCAS
BAJO ESTUDIO DE ACUERDO AL SUBÍTEM 4.2

Río/Arroyo	Progresiva	Área (Km ²)	K (m ³ /s km ²)	Q (m ³ /s)	V (hm ³)
San Juan	1606	140	0,025	3,5	110
Santa Ana	1619	85	0,025	2,1	66
Yabebiri (1)	1624	650	0,025	16,2	511
Yabebiri (2)	1624	1000	0,025	25,0 (3)	788
Curupayty	1653	36	0,025	0,9	28
Santo Pipó	1666	81	0,025	2,0	63

Observaciones del Cuadro.

- 1) Considerando la cuenca total hasta la estación Mártires.
- 2) Considerando la cuenca remanente hasta su desembocadura.
- 3) El caudal total en la desembocadura sería del orden de los 41,2 m³/s.

GRAFICO N° 1



4.6. DETERMINACIÓN DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL.

Para la obtención de la escorrentía superficial (Es) es necesario, previamente efectuar el "balance hídrico" con el objeto de determinar el exceso de precipitación, es decir la suma de Es y F. Se han efectuado los balances correspondientes a las estaciones Cerro Azul y Santo Pipó. A su vez se definirán climáticamente ambas estaciones de acuerdo al criterio de Thornthwaite (1948 y 1967), que fue uno de los primeros Climatólogos en utilizar algunos elementos del "balance hídrico" para definir el clima de un determinado lugar.

Como se ha expresado el "balance hídrico" es la relación que existe entre la cantidad de agua que llega al suelo, debido a las precipitaciones y la que se pierde como consecuencia de la evapotranspiración. Luego las precipitaciones pluviales y la evapotranspiración potencial, son los dos elementos básicos del balance hidrológico.

4.6.1. BALANCE HÍDROLÓGICO DE LA ESTACIÓN CERRO AZUL.

El cálculo se puede observar en el Cuadro N° 5, donde están indicados los diferentes parámetros utilizados. Durante el período promedio utilizado no se ha observado déficit mensuales y la precipitación total anual (1966 mm) supera en un 89% a la evapotranspiración potencial, que coincide con la real. La humedad del suelo adoptada (200 mm) no es utilizada en ningún mes debido que en todo el año la precipitación mensual es mayor que la evapotranspiración, con lo cual son iguales la EVP y EVR. El exceso total (Es + F) es de 926 mm.

Los valores finales indicados en el Cuadro N° 5 se han ajustado a números enteros, pero los resultados obtenidos con la aplicación de un modelo matemático dan valores ligeramente diferentes, tal como se indica en el Gráfico N° 2. En él se han volcado los valores medios mensuales, más exactos, de EVP y ER de la localidad de Cerro Azul. Los valores medios mensuales de EVP, variaron entre un máximo de 148 mm, registrado en el mes de enero y un mínimo de 37 mm, correspondiente al mes de junio. A su vez los valores medios mensuales de ER, presentaron un máximo de 143 mm, ocurrida en el mes de enero y un mínimo de 37 mm, registrado en el mes de junio.

Observando el cambio de estas dos variables a lo largo del año puede apreciarse la dependencia directa que tienen con el régimen de temperaturas mensuales

CUADRO Nº 5

BALANCE HIDRICO-ESTACION CERRO AZUL

LATITUD: 27° 39'S

LONGITUD: 55° 26'W

ALTURA: 283 m/s/n/m

Serie: 1967/2005

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
T M °C	25,7	25,0	23,9	20,9	17,9	15,9	15,9	17,4	18,7	21,2	23,0	25,1	20,9
I C	11,92	11,44	10,68	8,72	6,9	5,76	5,76	6,61	7,37	8,91	10,08	11,5	105,7
E.P. s/a	4,2	4,0	3,5	2,7	1,9	1,4	1,4	1,7	2,0	2,7	3,3	3,9	
f. d. c.	35,7	30,6	31,8	28,5	27,9	25,8	27,3	29,1	30,0	33,3	33,9	36,0	
E.P.	150	122	111	77	53	36	38	49	60	90	112	140	1040
P	179	181	163	188	161	149	115	124	158	212	159	177	1966
P - EP	29	59	52	111	108	112	77	74	98	122	47	36	
P P a a													
A	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
V.A.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
E.R.	150	122	111	77	53	36	38	49	60	90	112	140	1040
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ex.	29	59	52	111	108	112	77	74	98	122	47	36	926

T °C	:	Temperatura media mensual
IC	:	Índice Calórico
E.P. s/a	:	Evapotranspiración Potencial sin ajustar
E.P.	:	Evapotranspiración Potencial
P	:	Precipitación
P - EP	:	Pérdida potencial de agua acumulada
A	:	Agua almacenada
V.A.	:	Variación de agua almacenada
E.R.	:	Evapotranspiración Real
D	:	Déficit
Ex.	:	Exceso

Todos los parámetros excepto T y IC están en mm

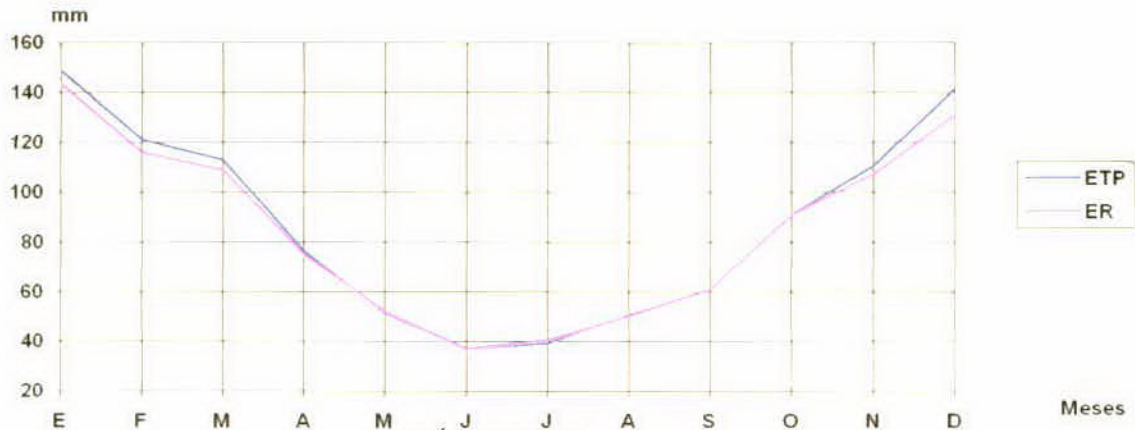


GRÁFICO N° 2
EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL Y REAL NORMALES
REGISTRADAS EN LA ESTACIÓN CERRO AZUL
PERÍODO 1967-2005

Por otra parte en el Gráfico N° 3, se han volcado los porcentajes de años con déficit y excesos, que se produjeron en la localidad de Cerro Azul durante el período 1967-2005.

En los meses de enero, febrero y diciembre los porcentajes de años con deficiencias, superaron 30 %. En los meses de mayo, junio y julio los porcentajes con deficiencias fueron muy bajos, de 0 a 5 % de los años. Los porcentajes de años con excesos superaron en todos los meses el 45 %, alcanzando en el mes de junio el 95 % de años con excesos. El mes de enero fue el que presentó el menor porcentaje de años con excesos, 46 %. En el período de marzo a noviembre, donde se produce menor evapotranspiración debido a las temperaturas mas bajas, los porcentajes de años con excesos superaron el 60 %.

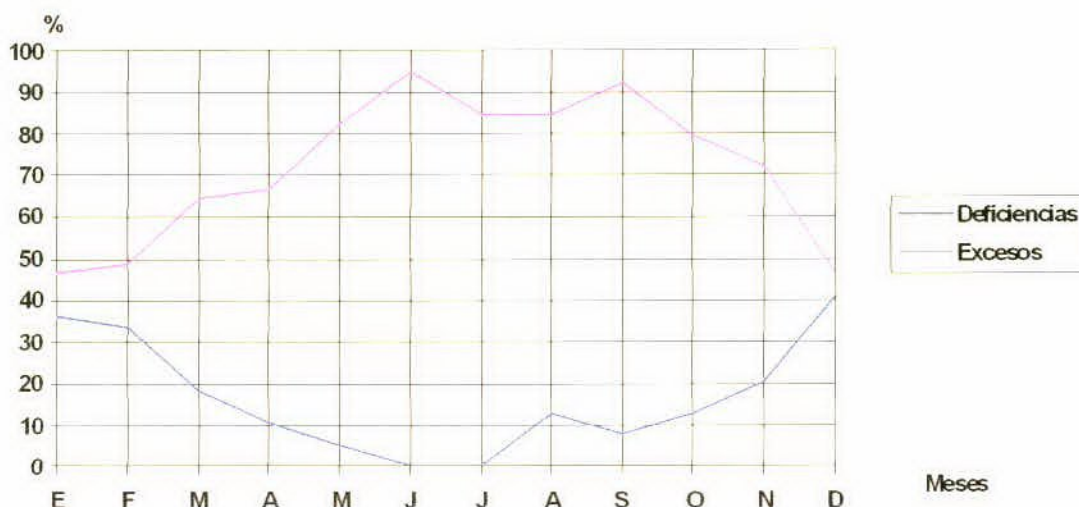


GRÁFICO 3

PORCENTAJE DE AÑOS CON DISTANCIAS Y EXCESOS, REGISTRADO EN CERRO ASUL, PERÍODO 1967-05.

Como se ha comentado, los “balances hidrológicas” constituyen una herramienta de gran valor para la definición climática de una determinada región, utilizando el criterio de Thornthwaite. En el Cuadro N° 6 se han volcado las designaciones y las características que el autor utiliza para sus clasificaciones.

A tal fin utiliza el “*índice hídrico anual*” expresado, según la ecuación (2) por:

$$2) I_m = I_h - 0,6 \cdot I_a$$

Expresión en la que I_h es el “*índice de humedad*” e I_a el “*índice de aridez*”, expresados respectivamente por:

$$3) I_h = 100 \cdot s/n$$

$$4) I_a = 100 \cdot d/n$$

CUADRO N° 6

REGIONES HÍDRICAS (Thornthwaite, 1967)

Símbolo	Designación	Vegetación	Índice Hídrico
A	Per-húmedo	Selva	100 o >
B4	Húmedo	Bosque	100 a 80
B3	Húmedo	Bosque	80 a 60
B2	Húmedo	Bosque	60 a 40
B1	Húmedo	Bosque	40 a 20
C2	Sub-húmedo húmedo	Pradera de pastos altos	20 a 0
C1	Seco Sub-húmedo	Pastos bajos	0 a -20
D	Semiárido	Estepa	-20 a -40
E	Arido	Desierto	-40 a -60

Luego, en el Cuadro N° 7 se ha calculado el índice de aridez (Ia), que para la estación de Cerro Azul resulta igual 0, ya que como puede apreciarse en el Cuadro N° 5 esta localidad tuvo poca o ninguna deficiencia de agua, (r). Posteriormente se determinaron las regiones térmicas, tomando como base valores anuales de evapotranspiración potencial, ya que esta variable depende de la temperatura y la longitud del día. En el Cuadro N° 8 considerando que la ETP media anual de Cerro Azul es de 1.040, le corresponde un tipo climático Mesotermal B'4. Por último se consideró la concentración estival de la efectividad térmica. Considerando que la localidad de Cerro Azul tiene una concentración estival de la eficiencia térmica del 48 %, observando el Cuadro N° 9 se aprecia que le corresponde un tipo climático a'.

Cuadro N° 7

VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA EFICIENCIA HÍDRICA

Thornthwaite (1948)

Climas Húmedos (A, B, C2)	Índice de Aridez
r Poca o ninguna deficiencia de agua	0 a 16,7
s Moderada deficiencia de agua en verano	16,7 a 33,3
w Moderada deficiencia de agua en invierno	16,7 a 33,3
s2 Deficiencia grande de agua en verano	más de 33,3
w2 Deficiencia grande de agua en invierno	más de 33,3

CUADRO N° 8

REGIONES TÉRMICAS (Thornthwaite, 1948)

Indice de Eficiencia Térmica mm	Símbolo	Tipo climático
>1140	A'	Megatermal
de 1140 a 997	B'4	Mesotermal
" 996 a 855	B'3	Mesotermal
" 884 a 712	B'2	Mesotermal
" 711 a 570	B'1	Mesotermal
" 569 a 427	C'2	Microtermal
" 426 a 285	C'1	Microtermal
" 284 a 142	D'	Tundra
<142	E'	Helado

CUADRO N° 9.

CONCENTRACIÓN ESTIVAL DE LA EFICIENCIA TÉRMICA
(Thornthwaite, 1948)

Porcentaje de Concentración Estival	Tipo Climático por Concentración Estival
< 48,0	a'
51,9	b'4
56,3	b'3
61,6	b'2
68,0	b'1
76,3	c'2
88,0	c'1
> 88,0	d'

En consecuencia, según la clasificación climática de Thornthwaite (1948), la localidad de Cerro Azul tiene un clima húmedo, con un promedio de evapotranspiración anual menor a 1140 mm, con poca o ninguna deficiencia de agua y con escasa concentración estival de eficiencia térmica (**B3 B'4 r a'**).

4.6.2. BALANCE HIDROLÓGICO DE LA ESTACIÓN SANTO PIPÓ.

Como se ha expresado precedentemente la estación de Santo Pipó tiene un registro muy corto como para ser utilizado en las determinaciones hidrológicas de la región. Sin embargo se efectuará un análisis similar al de la estación Cerro Azul, a fin de ser utilizado como información complementaria. En el Cuadro N° 10 se ha volcado el "balance hídrico" correspondiente a la estación Santo Pipó.

CUADRO N° 10

BALANCE HIDRICO-ESTACION SANTO PIPÓ

LATITUD: 27° 14'S

LONGITUD: 55° 41'W

ALTURA: 150 m

Serie: 1999/2005

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
T M °C	24,9	24,4	24,4	21,2	16,5	17,0	14,5	17,2	18,3	21,2	22,6	23,9	20,5
I C	11,37	11,02	11,02	8,91	6,10	6,38	5,01	6,49	7,13	8,91	9,82	10,68	102,8
E.P. s/a	4,0	3,8	3,8	2,8	1,6	1,7	1,2	1,7	2,0	2,8	3,1	3,5	
f. d. c.	35,4	30,6	31,5	28,8	21,9	26,1	27,6	29,1	30,0	33,3	33,6	35,7	
E.P.	142	116	120	81	35	44	33	49	60	93	104	125	1003
P	159	185	137	209	161	150	101	102	147	235	174	164	1923
P - EP	17	68	17	128	126	106	68	52	87	142	70	39	
P P a a													
A	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
V.A.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
E.R.	142	116	120	81	35	44	33	49	60	93	104	125	1003
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ex.	17	68	17	128	126	106	68	52	87	142	70	39	921

T °C	:	Temperatura media mensual
IC	:	Índice Calórico
E.P. s/a	:	Evapotranspiración Potencial sin ajustar
E.P.	:	Evapotranspiración Potencial
P	:	Precipitación
P - EP	:	Pérdida potencial de agua acumulada
A	:	Agua almacenada
V.A.	:	Variación de agua almacenada
E.R.	:	Evapotranspiración Real
D	:	Déficit
Ex.	:	Exceso

Todos los parámetros excepto T y IC están en mm

La precipitación total alcanza los 1923 mm y la evapotranspiración, tanto potencial como real, es de 1003 mm, resultando un exceso anual de 921 mm, prácticamente coincidente con el de la estación Cerro Azul.

Trabajando en forma similar a la estación Cerro Azul se obtienen los Gráficos N° 4 y 5.

Se puede observar que los valores medios mensuales de ETP, variaron entre un máximo de 140 mm, registrado en el mes de enero y un mínimo de 32 mm, correspondiente al mes de julio. Por su parte los valores medios mensuales de ER, presentaron un máximo de 134 mm, ocurrida en el mes de enero y un mínimo de 32 mm, registrado en el mes de julio.

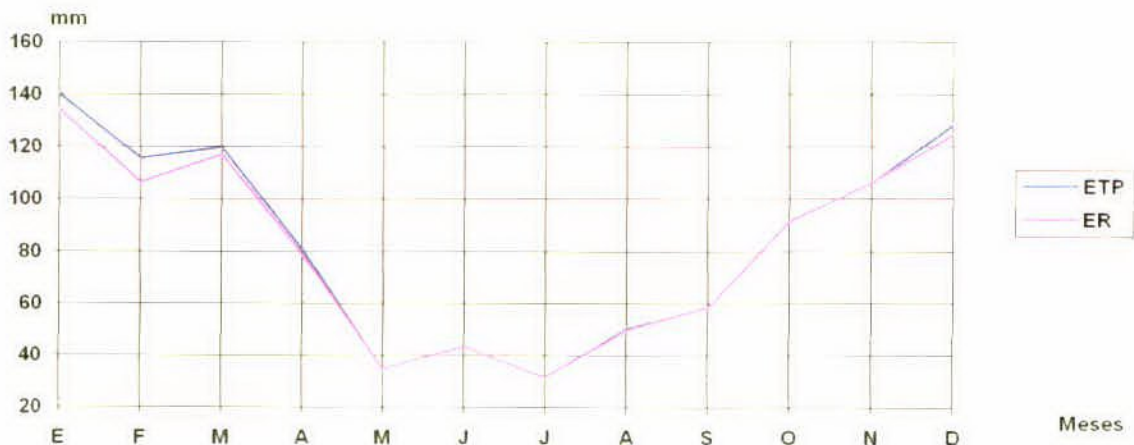


GRAFICO N° 4
EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL Y REAL NORMALES
REGISTRADAS EN SANTO PIPÓ
PERÍODO 1999 2005.

Observando la variación de estas dos variables a lo largo del año, puede apreciarse que es muy notable la dependencia de estas respecto de las temperaturas medias mensuales que se registran. Si bien las temperaturas medias mensuales de los meses de Febrero y Marzo son iguales, este último mes presenta un total mensual superior, debido a la mayor cantidad de días que posee el mismo.

En el Gráfico N° 5, pueden observarse los porcentajes de años con deficiencias y excesos, que se produjeron en la localidad de Santo Pipó durante el período 1999-05.

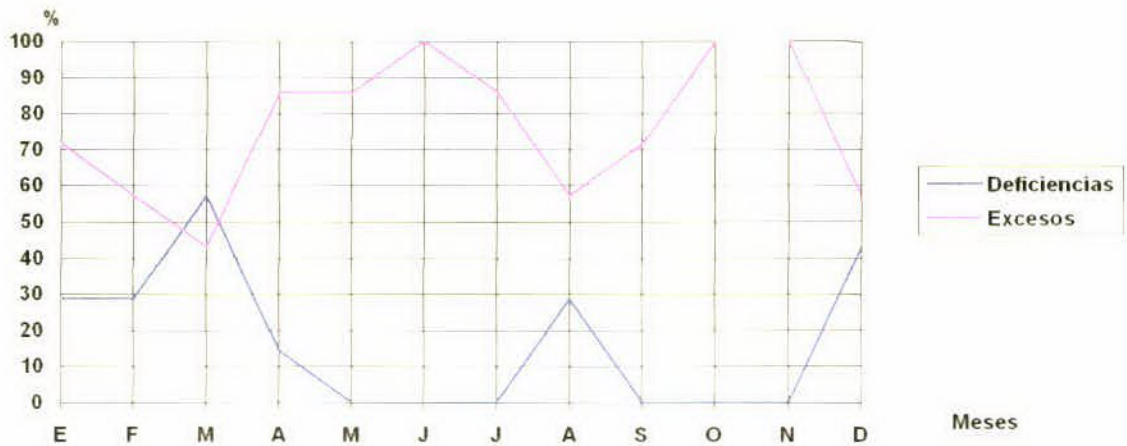


GRAFICO N° 5.
PORCENTAJE DE AÑOS CON DEFICIENCIAS Y EXCESOS REGISTRADOS
EN SANTO PIPO
PERÍDO 1999 2005.

En los meses de marzo y diciembre los porcentajes de años con deficiencias, superaron el 40 %. Es muy llamativo lo que sucede en marzo, pero se debe a que las precipitaciones pluviales presentan una disminución muy notable respecto al mes de febrero, mientras que las temperaturas medias se mantienen estables, eso hace que la Evapotranspiración sea relativamente abundante y se registren deficiencias en muchos casos. En los meses de enero, febrero y agosto los porcentajes de años con deficiencias se ubican entre 20 y 30 %. Hay seis meses del año donde nunca se registraron deficiencias hídricas (mayo, junio, julio, septiembre, octubre y noviembre). Los porcentajes de años con excesos superaron en todos los meses el 40 %, alcanzando los meses de junio, octubre y noviembre el 100 % de años con excesos. Las conclusiones referidas a la clasificación climática según Thornthwaite, se puede analizar en los Cuadros N° 11, 12 y 13.

CUADRO N° 11.

VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA EFICIENCIA HÍDRICA

Climas Húmedos (A, B, C2)	Índice de Aridez
r Poca o ninguna deficiencia de agua	0 a 16,7
s Moderada deficiencia de agua en verano	16,7 a 33,3
w Moderada deficiencia de agua en invierno	16,7 a 33,3
s2 Deficiencia grande de agua en verano	más de 33,3
w2 Deficiencia grande de agua en invierno	más de 33,3

CUADRO N° 12

REGIONES TÉRMICAS

Índice de eficiencia térmica mm	Símbolo	Tipo climático
>1140	A'	Megatermal
de 1140 a 997	B'4	Mesotermal
" 996 a 855	B'3	Mesotermal
" 884 a 712	B'2	Mesotermal
" 711 a 570	B'1	Mesotermal
" 569 a 427	C'2	Microtermal
" 426 a 285	C'1	Microtermal
" 284 a 142	D'	Tundra
<142	E'	Helado

CUADRO N° 13

CONCENTRACIÓN ESTIVAL DE LA EFICIENCIA TÉRMICA

Porcentaje de Concentración Estival	Tipo Climático por Concentración estival
< 48,0	a'
51,9	b'4
56,3	b'3
61,6	b'2
68,0	b'1
76,3	c'2
88,0	c'1
> 88,0	d'

En consecuencia, según la clasificación climática de Thornthwaite (1948), la localidad de Santo Pipó tiene un clima húmedo, con un promedio de evapotranspiración anual menor a 1140 mm, con poca o ninguna deficiencia de agua y con escasa concentración estival de eficiencia térmica (**B3 B'4 r a'**) coincidente con la calculada para la estación Cerro Azul.

4.6.3. COMPARACIÓN CON BALANCES HÍDRICOS ANTERIORES.

En el informe "Estudio Hidrológico del Emplazamiento Itacuí" (Cosentino–Udaguaga), realizado para el período 1941/80, la precipitación total en Cerro Azul alcanzaba los 1858 mm, es decir un 6% menor que la registrada hasta la fecha y la evapotranspiración era de 1001 mm, con lo cual el la escorrentía superficial ($E_s + F$) de la expresión (1) alcanzaba los 857 mm, valor menor que el resultado actual de 926 mm. Esta información pone de manifiesto que el incremento de las precipitaciones, como así también de los caudales, es una realidad.

Por otra parte en el estudio "Vulnerabilidad de los recursos hídricos en el Litoral–Mesopotámia", Tomo II, (año 2005) elaborado por la Facultad de Ciencias Hídricas de la Universidad del Litoral (referencia 8) los excedentes superficiales medias (tomando en consideración información actualizada de la estación Posadas) son de unos 850 mm. Este estudio considera que, con el tiempo, disminuirá la escorrentía, culpando de tal situación al cambio climático y a la modificación sustancial de la vegetación natural y al incremento de las construcciones. De acuerdo a dicho estudio la escorrentía superficial (E_s) tiende a aumentar respecto a las infiltraciones F .

Es conveniente divulgar que de acuerdo a las conclusiones del citado estudio, en el decenio 2081/2090, pese al aumento de las precipitaciones los excesos superficiales en el área de Posadas disminuirán hasta los 500 mm, fundamentalmente por el incremento de la evapotranspiración, debido a aumentos de la temperatura media anual por sobre 2,5° C.

4.7. DETERMINACIÓN DE LOS VOLÚMENES INFILTRADOS.

En el Cuadro N° 14 se han volcado los resultados finales, partiendo de la determinación de la escorrentía superficial (E_s) medida en mm, que le corresponde, en función del área de la cuenca, para producir los caudales de los emisarios calculados de acuerdo al Cuadro N° 3, en la hipótesis de comparar los caudales del

río Paraná (La Mina) con los del río Yabebirí (Mártires) expresado en el acápite 4.5.1. La diferencia entre la precipitación (P), la evapotranspiración real (EVR), que en este caso coincide con la potencial, y de la escorrentía superficial (Es) permite calcular el agua infiltrada (F), de acuerdo a lo indicado en la ecuación (1).

Por su parte en el Cuadro N° 15 se han volcado los porcentajes correspondientes a cada parámetro de la expresión (1), en unidades de mm y de volumen.

Tomando en consideración los Cuadro N° 3 y 10, es fácil determinar el volumen precipitado en toda el área en estudio, que es de 3916 hm^3 ($1992 \text{ Km}^2 \times 1,966 \text{ m}$) el evaporado que alcanza a 1844 hm^3 ($1992 \text{ Km}^2 \times 1,040 \text{ m}$) y el exceso resultante ($1992 \text{ km}^2 \times 0,926 \text{ m}$)

Los valores globales encontrados son del mismo orden que los establecidos, para la margen izquierda del río Paraná, en el citado "Estudio Hidrogeológico del Emplazamiento Itacúa", si bien allí están calculados en altura de agua en vez de volúmenes y con la información climatológica de la estación Posadas del SMN, para años anteriores a la década del 80. En realidad, tomando en consideración la modificación sustancial del uso del suelo debería verificarse, en los últimos años, un incremento de la escorrentía superficial versus la subterránea a diferencia de lo que sucede en este análisis.

CUADRO N° 14

VOLÚMENES INFILTRADOS SEGÚN HIPÓTESIS SUBÍTEM 4.5.1

Río/arroyo	Área km ²	V exc. hm ³ (1)	Q m ³ /s (2)	V esc. hm ³ (3)	V inf. hm ³ (4)
San Juan	140	130	3,08	97	33
Santa Ana	85	79	1,87	59	20
Yabebirí (M)	650	602	14,3	451	151
Yabebirí (D)	1000	926	22,0	694	232
Curupayty	36	33	0,79	25	8
Santo Pipó	81	75	1,78	56	19
TOTAL	1992	1845		1385	462

Observaciones del Cuadro.

1. Volumen de exceso área x 0,926 m.
2. Caudal resultante (ver Cuadro N° 3).

3. Caudal por el número de segundo del año.
4. El volumen infiltrado es la diferencia entre el V_{exc} y el V_{esc} . Da lugar a un caudal módulo anual de $14,6 \text{ m}^3/\text{s}$.

CUADRO N° 15**PORCENTAJE DE CADA PARÁMETRO (ÍDEM)**

V_p hm^3	%	V_{ev} hm^3	%	V_{es} hm^3	%	V_f hm^3	%
3916	100	2072	53	1385	35	462	12

Por su parte en los Cuadros N° 16 y N° 17 se han volcado los resultados partiendo del análisis de la escorrentía en la cuenca intermedia, correspondiente a los criterios volcados en el sub-ítem 4.5.2.

CUADRO N° 16**VOLÚMENES INFILTRADOS SEGÚN HIPÓTESIS SUBÍTEM 4.5.2**

Río/arroyo	Área km^2	V_{exc} hm^3 (1)	Q m^3/s (2)	V_{esc} hm^3 (3)	V_{inf} hm^3 (4)
San Juan	140	130	3,5	110	20
Santa Ana	85	79	2,1	66	13
Yabebirí (M)	650	602	16,2	511	91
Yabebirí (D)	1000	926	25,0	788	138
Curupayty	36	33	0,9	28	5
Santo Pipó	81	75	2,0	63	12
TOTAL	1992	1845		1566	279

CUADRO N° 17**PORCENTAJE DE CADA PARÁMETRO (ÍDEM)**

V_p (hm^3)	%	VEV (hm^3)	%	V_{esc} (hm^3)	%	V_f (hm^3)	%
3916	100	2072	53	1566	40	279	7

No existe una regla general que vincule porcentualmente a los distintos parámetros de la fórmula (1), los que dependen fundamentalmente de las características de las

cuencas, pero la bibliografía señala que es cercana al 10% de la precipitación total. Un balance hidrológico realizado para el período 1901/204, en la provincia de Buenos Aires, en la cuenca del río Pescado, en las cercanías de la ciudad de La Plata daba, para una precipitación promedio anual de 1060 mm, una infiltración de 224 mm, es decir del orden del 21%. Debe observarse que los menores valores alcanzados en la Provincia de Misiones, en cualquiera de los dos casos, señala la elevada impermeabilidad de las cuencas. Por su parte Custodio y Llamas (ver Ítem 9 "Bibliografía") consideran una media mundial del orden del 11%.

Otro camino para encontrar el agua infiltrada hubiese sido utilizar el criterio del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los EE UU, pero este método es estrictamente válido para precipitaciones de corta duración, durante las cuales el "numero de curva" (CN) varía muy poco, pero en caso de precipitaciones anuales las condiciones antecedentes son muy difíciles de establecer y el estado hidrológico de los suelos cambia de mes a mes, con lo cual el CN variaría permanentemente a lo largo de un año.

4.8. CONCLUSIONES.

Las conclusiones obtenidas con el presente trabajo son las siguientes;

- El procedimiento utilizado, basado en la actualización de los caudales de los emisarios de las cuencas en estudio, tomando en cuenta las modificaciones sufridas por el caudal módulo del río Paraná en La Mina–Presa de Yacretá tiene el inconveniente de comparar cuencas en las que, no sólo existe una gran diferencia de superficie, sino que tienen diferencias geomorfológico y ambientales.
- En la cuenca superior del río Paraná, especialmente en la margen brasileña, es preponderante la agricultura anual y existen numerosos centros poblados.
- Por su parte la utilización de la cuenca promedio y el porcentaje de caudales aportado en el tramo si bien tiene una relación de áreas de cuencas no tan desproporcionada toma en consideración el aporte de la margen derecha del río, también con grandes extensiones de cultivos anuales. Sin embargo debe reconocerse que utiliza las cuencas de la margen izquierda en estudio.
- Por otra parte el coeficiente adoptado para relacionar los caudales medidos en el punto trifinio con los de La Mina (5%) incluye el error medio que se comete en

aforos realizados desde embarcaciones con correntómetros, o bien con relaciones del tipo $Q \text{ (m}^3/\text{s)} = f(h)^5$ utilizadas hasta el año 2000.

- Se considera que el procedimiento de utilizar la cuenca intermedia se ajusta más a la realidad y es por lo tanto la que se aconseja tomar en consideración, pese a que los valores resultantes son menores a los recomendados a nivel global. Paradójicamente el criterio que toma en cuenta la relación entre los caudales, con un fundamento teórico menos ajustado, da valores más parecidos a los valores estándares mundiales.
- Leves variaciones en el coeficiente de ajuste de los caudales en La Mina, modifican fuertemente los resultados. De allí la importancia que requiere seleccionar adecuadamente el período de análisis.
- Por otro lado, en ambos casos debe tenerse en cuenta que la cuenca del río Yabebirí tiene una dimensión muy grande respecto al resto de las cuencas, lo que también puede contribuir a dar resultados no ajustados a la realidad. Por otra parte, en ambos criterios, el caudal que aporta el río Yabebirí es, a criterio de informantes, calificados algo elevado.
- Es importante aconsejar que los resultados obtenidos, sean tomados como válidos para un estudio a nivel de perfil o, a lo sumo de prefactibilidad, siendo indispensable profundizar las tareas de investigación si se quieren utilizar los datos obtenidos para estudios de un mayor nivel de definición.
- Debe tomarse en consideración que el volumen infiltrado puede seguir diferentes caminos: puede moverse a lo largo de estratos impermeables y alimentar, aguas abajo, al río Paraná, quedar retenido como almacenaje (S) en areniscas permeables del suelo o bien, si encuentra caminos adecuados en la formación basáltica puede alimentar el Sistema Acuífero Guaraní.

4.9. RECOMENDACIONES.

Es indispensable conocer la relación entre la escorrentía superficial y las infiltraciones, siendo el procedimiento más adecuado el de la investigación de campo, sobre bases hidrogeológicas utilizando las series hidrológicas como herramientas auxiliares

⁵ En la actualidad el uso de aparatos tipo efecto doppler (como los que utiliza EVAR S:A) en sus mediciones han disminuido sensiblemente.

En tal sentido la cuenca del arroyo Santo Pipó, ofrece cualidades especiales. Se trata de una cuenca pequeña (81 km²), ubicada en las cercanías de las localidades de Roca y Corpus y atravesada por la Ruta Nacional N° 12. Dispone de una estación meteorológica del INTA en funcionamiento y con estudios geológicos adecuados. Sólo sería necesario investigar los valores de infiltración (por el método del doble anillo o similar) en forma sistemática, colocar freatómetros en puntos adecuados y efectuar aforos en el río, con lo cual se evitarían la necesidad de correlacionar registros.


Claro está que se trata de un proceso de años pero los resultados que se alcancen pueden extenderse a numerosas cuencas regionales, incluidas la del río Uruguay, lo que justificaría el esfuerzo.

4.10. BIBLIOGRAFÍA.

La documentación utilizada ha sido, en su mayor parte, trabajos oficiales realizados en la provincia de Misiones y textos de Hidrología:

1. "Aprovechamiento del río Paraná en el tramo limítrofe comprendido entre la desembocadura del río Iguazú y la sección Encarnación-Posadas". LEHMAYER-HARZA y Asociados. Año 1977.
2. "Estudio de factibilidad del proyecto Corpus Christi (en especial Apéndice A "Hidrología y climatología") LEHMAYER - HARZA y Asociados. Año 1982.
3. Estudio Hidrogeológico del Emplazamiento Itacuí". José Cosentino y Estanislao Udagawa. Año 1986.
4. "Estudio Hidrológico e Hidráulico de Tributarios del río Paraná, en el Tramo Comprendido Entre el río Iguazú y la Sección Encarnación Posadas". César Litwin y Pedro Molas. Año 1987
5. "Oscilación de la Superficie Freática en el Area de Influencia del Proyecto Corpus Christi. Emplazamiento Itacuí". Miguel Auge y Roberto Longarzo. Año 1988.
6. "Estudio del Impacto Ambiental de la Presa de Embalse de Propósito Múltiple de Corpus Christi" HARZA-IATASA-TECMA. AÑO 2002
7. "Variaciones de niveles freáticos en la cuenca del arroyo El Pescado (Provincia de Buenos Aires)". Laurencena, Kruse, Rojo, Deluchi Carol. Año 2005.
8. "Vulnerabilidad de los Recursos Hídricos en el Litoral-Mesopotamia". Convención marco de la UN sobre cambio climático. TF 51287/AR" Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral. Año 2006

9. "Hidrología Subterránea" Custodio-Llorente. Editorial Omega. Año 1983
10. "Hidrología en la Ingeniería". Monsalve Sáenz. Editorial Alfaomega. Año 1996.



Lic. ROBERTO FÉLIX LONGARZO
G. S. G. O.
Mat. Consejo Sup. Prof. de Geólogo 1195

➤ **red de drenaje del área de estudio**

RED DE DRENAJE DEL AREA DE ESTUDIO

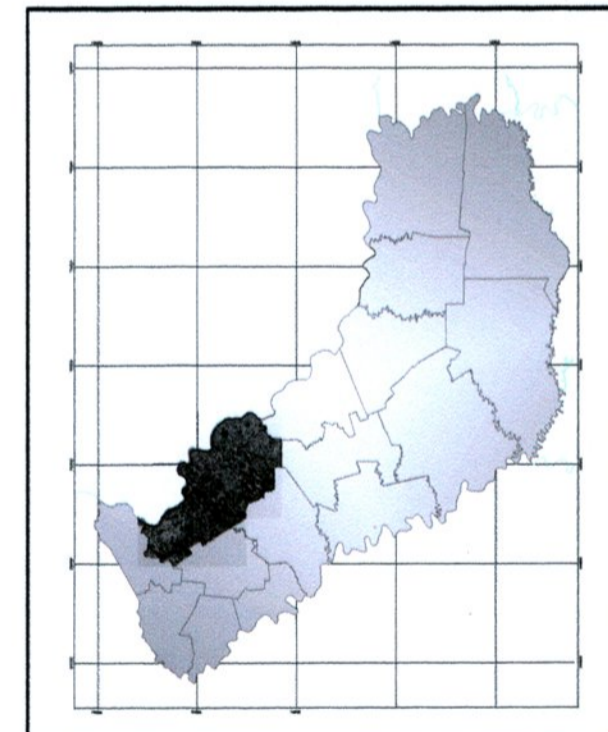
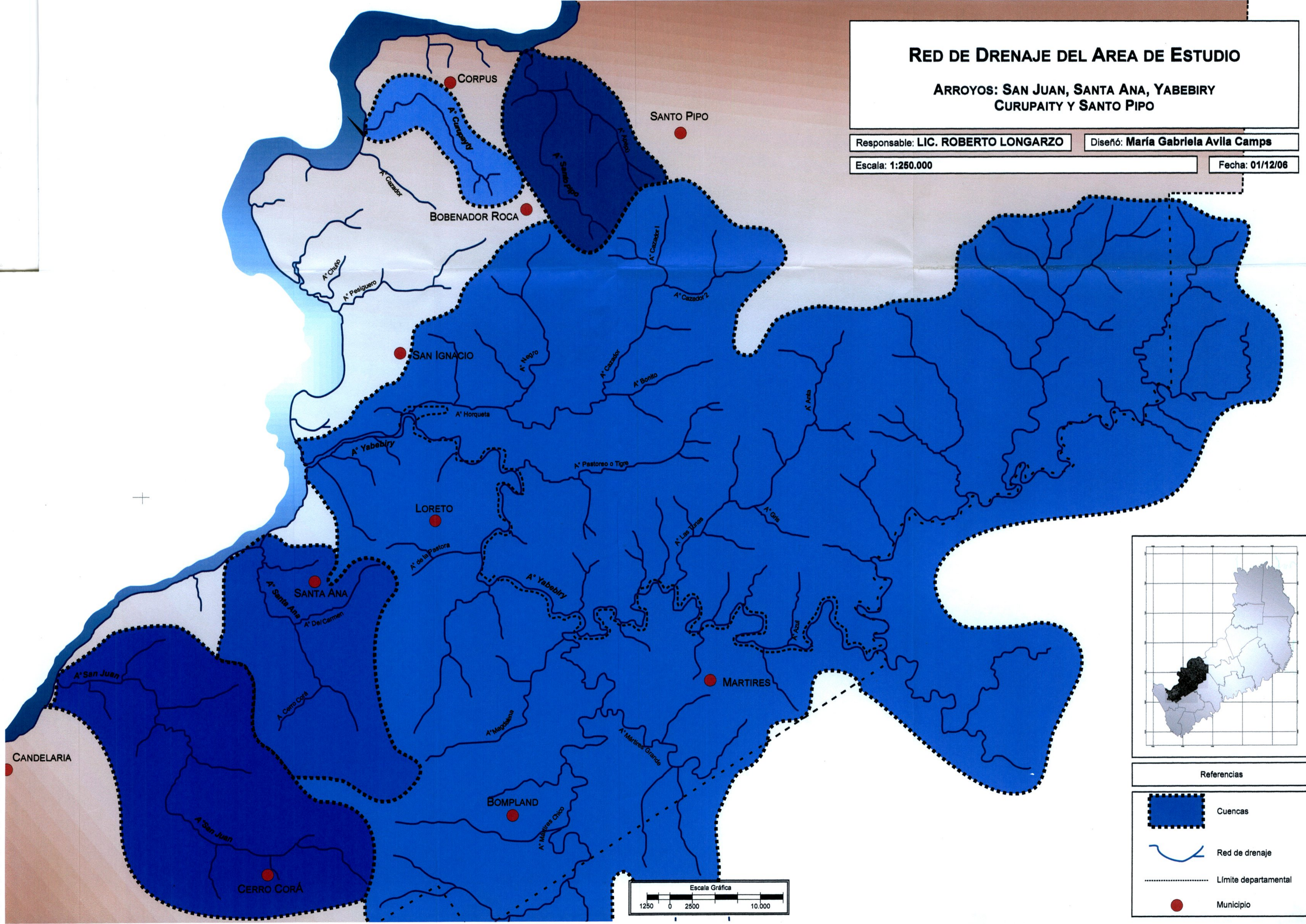
ARROYOS: SAN JUAN, SANTA ANA, YABEBIRY
CURUPAITY Y SANTO PIPO





Responsable: LIC. ROBERTO LONGARZO

Diseño: María Gabriela Avila Camps

Escala: 1:250.000

Fecha: 01/12/06



Referencias	
	Cuencas
	Red de drenaje
	Límite departamental
	Municipio

