

PERSONAL PARTICIPANTE

Por el Consejo Federal de Inversiones

Secretario General: Ing. Juan José Ciácerá

Coordinación: Ing. Nora Antúnez

Por el Convenio CFI – Prov. De Santa Fe

Coordinación: Ing. Elsa Vinzón

Información Básica: Téc. Ulises Bonfiglio
Prof. Marta Birollo

Área Administrativa: Sr. Miguel Frabotta

Dirección de Proyecto: Ing. Nélida Lozano

Experto Contratado

Ing. Raúl A. Pedraza

Colaboradores

Dinámica Hídrica Superficial : Lic. Carlos R. Zapata

Dinámica Hídrica Superficial: Pto. Antonio Villordo

Tratamiento Imágenes Satelitales: Pto. Norberto Cammisi

CAD: Téc. Fernando Maglianesi y Sr. José Ingaramo

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	3
2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	4
3. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN BÁSICA.....	6
3.1. PLANIALTIMÉTRICA E IMÁGENES SATELITALES.....	6
3.2. HIDROMETEOROLÓGICA.....	8
3.3. HIDROMÉTRICA.....	8
3.4. FREATIMÉTRICA Y ANÁLISIS QUÍMICOS DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	9
3.5. ESTUDIOS ANTECEDENTES.....	9
4. DINÁMICA HÍDRICA SUPERFICIAL.....	11
4.1. OBJETIVOS.....	11
4.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA	12
4.3. GEOFORMAS PRINCIPALES	17
4.4. OBRAS QUE CONDICIONAN LA DINÁMICA HÍDRICA.....	21
4.5. DINÁMICA HÍDRICA SUPERFICIAL.....	23
4.6. CONCLUSIONES.....	25
5. PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES LANDSAT TM Y GENERACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA BÁSICA	27
5.1. PROCESAMIENTO DIGITAL DE LAS IMÁGENES.....	27
5.2. ACTUALIZACIÓN Y DIGITALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA BÁSICA	33
6. SELECCIÓN DE LOS EVENTOS DE CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN	35
6. DETERMINACIÓN DEL EVENTO DE DISEÑO	40
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
8. ÍNDICE DE TABLAS, FIGURAS, PLANOS	50
8.1. TABLAS	50
8.2. FIGURAS.....	50
8.3. PLANOS	51

Con formato

1. INTRODUCCIÓN

Este Informe resume las actividades realizadas en la segunda etapa del estudio “Caracterización Hidrológica y Dinámica Hídrica Superficial del Sistema de los A° Saladillo Dulce y A° Saladillo Amargo (Prov. de Santa Fe)”.

En esta etapa se completó el estudio de la dinámica hídrica superficial, se realizó el procesamiento digital de imágenes satelitales del área en estudio, se actualizó y digitalizó la cartografía básica, se seleccionaron los eventos de calibración y verificación y se determinó el evento de diseño para la aplicación del modelo matemático.

2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se ubica en el sector NE de la Prov. de Santa Fe, entre los 29° 03' y 31° 24' de latitud S y entre 59° 46' y 60° 46' de longitud O, abarcando parte de los departamentos Gral. Obligado, Vera, San Javier, San Justo, Garay y La Capital (Figura N°1).

Se desarrolla longitudinalmente con dirección aproximada N-S. Limita al E con una línea de barranca al pie de la cual se ubica el Río San Javier, curso del Sistema del Río Paraná en su Tramo Medio y al O con la línea divisoria topográfica con la Llanura Santafesina. En forma aproximadamente paralela a los límites E y O se ubican las rutas Prov. N°1 y Nac. N° 11, respectivamente. Estas rutas se constituyen en los límites E y O, respectivamente, en cuanto a aportes superficiales, en gran parte del área de estudio.

Es de destacar que el sistema en estudio ha estado vinculado hidrológicamente con el Sistema del Río Paraná. La morfología de algunas cañadas del Sistema Saladillos obedece a una funcionalidad subactual, cual era coleccionar los derrames del Río San Javier durante períodos de aguas altas de éste. A partir de la sobre-elevación de la Ruta Prov. N° 1, se produjo la desactivación parcial de dicho vínculo.

Existen conexiones artificiales de menor magnitud entre ambos sistemas, consistentes en transfluencias de agua para riego de arroz a través de conductos que tienen su origen (toma e impulsión) en el Río San Javier y atraviesan en forma subterránea la Ruta Prov. N°1.

Para la simulación matemática del área en estudio se han adoptado los siguientes límites N y S, en coincidencia con secciones de control en donde se dispone de información hidrométrica:

- a) Límite N: es la Ruta Prov. N° 87, que intercepta a los arroyos El Toba y El

Espín a la altura de la localidad de Margarita.

b) Límite S: el Aº Leyes y su proyección hacia el E.

Los aportes de estos cursos se considerarán como condiciones de borde externas del modelo matemático. Teniendo en cuenta estos aspectos, en el presente trabajo se consideraron dichos límites N y S para el área de estudio.

También se muestra en la Figura N°1 la ubicación de las estaciones donde se dispone de información hidrometeorológica e hidrométrica (plantas de evaporación, estaciones pluviométricas, hidrométricas, freaticométricas y meteorológicas). El listado de las estaciones se indica en los ítems 3.2 y 3.3, respectivamente.

3. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN BÁSICA

Se realizó la recopilación y análisis de la siguiente información:

3.1. PLANIALTIMÉTRICA E IMÁGENES SATELITALES

- Cartas planialtimétricas, escala 1:50000, soporte papel color, años 1959 a 1961: Vera y Pintado (3160-3-1), Laguna del Cristal (3160-3-2), La Criolla (3160-3-3), Laguna del Platero (3160-3-4), Gdor. Crespo (3160-9-1), Colonia La Brava (3160-9-2), Marcelino Escalada (3160-9-3), Cacique Ariacaiquín (3160-9-4), San Justo (3160-14-2), Ramayón (3160-15-1), Colonia Mascías (3160-15-2), Videla (3160-14-4), Naré (3160-15-3), Saladero Cabal (3160-15-4), Cayastacito (3160-20-2), Las Cañas (3160-21-1), Helvecia (3161-21-2), Reynaldo Cullen (3160-20-4), Los Cerrillos (3161-21-3), Cayastá (3161-21-4), Recreo (3160-26-2) y Santa Rosa (3160-27-1). Fuente: Instituto Geográfico Militar (I.G.M.).
- Cartas planialtimétricas, escala 1:100000, soporte papel color, año 1994, hojas Romang y Alejandra. Fuente: I.G.M.
- Cartas Imagen, escala 1:50000, soporte papel blanco y negro, años 1993 a 1994, hojas: La Criolla, Laguna del Platero, Gobernador Crespo, La Brava, Marcelino Escalada, Cacique Ariacaiquín, San Javier, San Justo, Ramayón, Colonia Mascías, Videla, Naré, Saladero Cabal, Cayastacito, Las Cañas, Helvecia, Reynaldo Cullen, Los Corralitos, Cayastá, Isla La Media Luna, Galente, Santa Rosa-Recreo, Pueblo Brugo. Fuente Servicio de Catastro e Información Territorial de la Provincia de Santa Fe (S.C.I.T.).
- Cartas Imagen Satelital, escala 1:100000, soporte papel color, hojas: Alejandra, Calchaquí, Laguna Paiva, Gobernador Crespo, Naré, San Justo, La Criolla, Romang y Reconquista, fuente: I.G.M.

- Carta Imagen Satelital, escala 1:250000, soporte papel color, departamentos Vera, 9 de Julio y Gral. Obligado, fuente: I.G.M.
- Imágenes Landsat TM, soporte digital (CD), escenas: 227-081 y 227-082, registradas los días 02/12/97 (3 bandas), 19/01/98 (3 bandas), 09/04/98 (3 bandas) y 28/06/98 (7 bandas). Fuente: Comisión Nacional de Actividades Espaciales (C.O.N.A.E.).
- Imagen satelital SPOT, escala 1:50000, soporte papel blanco y negro, área entre paralelos 28º latitud S y 30º latitud S, departamentos Vera, 9 de Julio y Gral. Obligado. Origen: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (I.N.T.A.) – Rafaela.
- Planos de ubicación de relevamientos topográficos (perfiles transversales) para los proyectos Desvío Aº El Toba – Presa de Embalse Laguna del Plata y Rectificación y Profundización de los Aº Saladillo Dulce y Aº Saladillo. Gerencia Proyecto Paraná Medio, Agua y Energía Eléctrica Sociedad del Estado (AyE), 1981.
- Planos con curvas de nivel de la zona aledaña a Colonia Teresa y San Javier entre el Río San Javier y el Aº Saladillo Dulce. Proyecto Agropecuario Colonia Teresa. Gerencia Proyecto Paraná Medio, AyE, 1981.
- Relevamientos topográficos de proyectos de las siguientes rutas: Ruta Nac. Nº11 entre Vera y Reconquista, Ruta Prov. Nº1, Ruta Prov. Nº 36, Ruta Prov. Nº 38, Ruta Prov. Nº 61, Ruta Prov. Nº 62 y puentes sobre Aº El Gusano, Aº El Yacaré y Aº El Espín. Fuentes: Dirección Provincial de Vialidad y Dirección Nacional de Vialidad.
- Estudios topográficos Aliviador Saladillo Dulce y Laguna La Alejandrina: perfil longitudinal, perfiles transversales y planimetría, año 1939. Fuente: Dirección Provincial de Obras Hidráulicas de Santa Fe (D.P.O.H.).
- Estudios Topográficos Anteproyecto Canal Pájaro Blanco por Laguna El Dentado

hasta A° El Toba: perfiles transversales, perfil longitudinal y planimetría prog. km 0.0 – km 20.9, año 1947. Solicitud de construcción e informe. Fuente: D.P.O.H.

3.2. HIDROMETEOROLÓGICA

- Temperatura, humedad relativa y velocidad del viento medias mensuales de las estaciones meteorológicas Angel Gallardo (M01) (período 1941/1970), Vera (M02) (1941/1960) y Reconquista (M03) (1951/1980) (Figura N°1). Heliofanía efectiva media mensual de la estación Reconquista (1961/1980). Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N.).
- Series mensuales de evaporación de tanque de las estaciones meteorológicas: Colonia Mascías (E01) (1982/1998), San Justo (E02) (1981/1998) y Ceres (1972/73). Fuentes: AyE, Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable (S.R.N. y D.S.) y S.M.N.
- Serie de precipitaciones diarias de las estaciones: Alejandra (P01) (1933/1984), Cacique Ariacaiquín (P02) (1933/1998), Gobernador Crespo (P03) (1933/1990), Marcelino Escalada (P04) (1947/1990), Guaraníes (P05) (1933/1990), Helvecia (P06) (1933/1990), Margarita (P07) (1940/1976), Colonia Mascías (P08) (1938/1998), Naré (P09) (1933/1990), Saladero Cabal (P10) (1933/1998), San Javier (P11) (1933/1971) y San Justo (P12) (1933/1998). Fuentes: S.M.N., AyE, S.R.N. y D.S.

3.3. HIDROMÉTRICA

- Caudales diarios en las secciones: A° Saladillo Amargo en Ruta Prov. N°281-S (H01) (Vera Mujica) (1953/1997), A° Saladillo Dulce en Ruta Prov. N° 281-S (H02) (1953/1997), A° El Toba en Margarita (H03) (1976/1997), Río San Javier en Helvecia (H04) (1909/1997), A° Leyes en Ruta Prov. N°1 (H05) (1977/1997) y Canal

Pájaro Blanco en Ruta Prov. Nº 1 (1975/1988). Fuentes: AyE y S.R.N. y D.S.

- Caudales mensuales en las secciones Aº Potrero en Ruta Prov. Nº1 (H6-A) (1977/1997) y Aº Santa Rita en Ruta Prov. Nº1 (H6-B) (1977/1997). Fuentes: AyE y S.R.N. y D.S.
- Aforos líquidos sobre Aº Saladillo Amargo y Aº Saladillo Dulce en la Ruta Prov. Nº61 (Las Cañas), crecida de abril de 1998, realizados por la empresa Evaluación de Recursos Sociedad Anónima (EVARSA). Fuente: D.P.O.H.

3.4. FREATIMÉTRICA Y ANÁLISIS QUÍMICOS DE AGUA SUBTERRÁNEA

- Planos con ubicación de red freaticométrica para Proyecto Agropecuario Colonia Teresa, Recuperación de Tierras y Rectificación y Profundización de Aº Saladillo Dulce y Aº Saladillo. Gerencia Proyecto Paraná Medio, AyE, 1981.
- Planos con curvas isohipsas y de profundidades freáticas mínimas para Proyecto Agropecuario Colonia Teresa y Recuperación de Tierras. Gerencia Proyecto Paraná Medio, AyE, 1981.
- Niveles freáticos mensuales en 4 pozos representativos del área de estudio (F01, F02, F03 y F04) (1975/1980). Gerencia Proyecto Paraná Medio, AyE, 1981.
- Análisis químicos de agua subterránea realizados sobre muestras tomadas en 7 pozos representativos ubicados sobre el perfil Emilia-Cayastacito-Cayastá. Gerencia Proyecto Paraná Medio, AyE, 1981.

3.5. ESTUDIOS ANTECEDENTES

- Proyecto Ejecutivo Aprovechamiento Hidroeléctrico Paraná Medio – Gerencia Proyecto Paraná Medio, AyE, 1981. Tomo Nº I: Estudios. Capítulo III: Hidrología. Ítem III.4: Estudio Hidrológico de Cuencas Afluentes al Aº Saladillo. Sistema Aº El Toba – Laguna del Plata. Determinación de Módulos Mensuales del Sistema Aº

Saladillos. Capítulo VII: Estudios de Drenaje. Ítem VII.1.1: Estudios Freatimétricos Zonales Margen Derecha. Ítem VII.4.2.: Cálculo de Aportes Superficiales a los Aº Saladillo Dulce y Amargo.

- Proyecto Ejecutivo Aprovechamiento Hidroeléctrico Paraná Medio – Gerencia Proyecto Paraná Medio, AyE, 1981. Tomo Nº I: Proyecto. Capítulo VII: Obras de Drenaje. Obras de Desvío Aº El Toba – Presa de Embalse Laguna del Plata. Rectificación y Profundización de los Aº Saladillo Dulce y Aº Saladillo.
- Proyecto Paraná Medio – Propósitos Múltiples. AyE, 1985. Tomo VIII: Desarrollo Agropecuario. Volumen I. Capítulo 3: Suelos, sus Características y Aptitud de Uso.
- Informe de estudios y proyecto de defensa-vertedero Laguna El Cristal, año 1989.

Fuente: D.P.O.H.

4. DINÁMICA HÍDRICA SUPERFICIAL

4.1. OBJETIVOS

El objetivo general de este estudio es caracterizar la dinámica hídrica superficial del Sistema Saladillos.

Como objetivos particulares se tienen:

- a) Identificar las geoformas principales y los distintos componentes del sistema, de acuerdo a sus funciones hidrológicas características.
- b) Determinar la dirección y el sentido de las principales líneas de flujo superficial.
- c) Actualizar la base cartográfica disponible (cartas I.G.M.), a partir de reconocimientos de campo y análisis de imágenes satelitales.

Los resultados de este estudio se sintetizan en dos mapas temáticos en escala 1:100000 (Planos N°1-A (Sector Centro-Sur) y N°1-B (Sector Centro-Norte)).

Primeramente, se realizó un análisis preliminar en base a la interpretación de imágenes satelitales en escala 1:250.000.

Se delimitó el área de aportes superficiales, se identificaron las divisorias de agua de diversa jerarquía, tanto naturales como antrópicas y los componentes funcionales del Sistema Saladillos. Los resultados del estudio preliminar se muestran en el Plano N° 5.

Se utilizó como base planialtimétrica a la información de las cartas topográficas del I.G.M., escala 1:50.000, con curvas de nivel equidistantes en 1.25 m. Debe destacarse que la cobertura del área con cartas del I.G.M. no es total, por lo que en los sectores sin cobertura, se generó la base cartográfica con las imágenes satelitales, debidamente georreferenciadas y ajustadas a proyección Gauss-Krügger (ítem 5.2).

4.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA

El sistema hídrico en estudio es, junto con el del Río Salado, el de mayor desarrollo longitudinal de la Provincia de Santa Fe.

Con formato

Con formato

En cuanto a su dinámica hídrica superficial, puede ser denominado como un sistema de llanura mixto.

Con formato

Con formato

Con formato

Presenta sectores que se pueden caracterizar como subsistemas hidrológicos típicos, con una estructura de cauces organizada y jerarquizada, con relaciones perfectamente definidas entre áreas tributarias y secciones de descarga.

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Sin embargo, otros sectores que componen la mayor parte del área se presentan como subsistemas hidrológicos no típicos, con áreas de flujo superficial multidireccional (zona de interfluvio entre los cursos principales) donde la dirección del flujo depende del nivel de agua de los cursos adyacentes y otros sectores extensos (cañadas y esteros) que se caracterizan por su gran capacidad de actual almacenamiento.

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Presenta una dirección general del escurrimiento aproximadamente N-S y se compone de dos cursos componentes principales, el A° Saladillo Dulce, al E, y el A° Saladillo Amargo, al O, y una gran cantidad de lagunas y bajos anegables de distinto tamaño.

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Las nacientes de estos cursos se ubican en la Cuña Boscosa santafesina, con una divisoria de aguas de escasa jerarquía.

Con formato

Ambos cursos confluyen en proximidades de la Ruta Prov. N°61, dando origen al A° Saladillo, que continúa hacia el S, hasta desembocar en la Laguna Capón (o San Pedro), a unos 35 km al NE de la ciudad de Santa Fe.

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Las denominaciones "Dulce" y "Amargo" obedecen a una diferencia en la calidad de sus aguas, que es particularmente notoria en períodos de aguas bajas. Durante estos períodos, es posible observar cómo se trasladan los animales de la zona

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

(particularmente el ganado bovino) para tomar agua del A° Saladillo Dulce, inclusive atravesando el A° Saladillo Amargo en algunos casos.

Como dato anecdótico respecto a esta particularidad, puede mencionarse que las características de mayores o menores tenores salinos, que se asocia de acuerdo al estado hídrico relativo de ambos arroyos y de las lagunas Setúbal, Leyes y Capón, condicionaba la provisión de agua potable a la ciudad de Santa Fe durante los primeros siglos posteriores a su fundación en el actual emplazamiento.

Diversas ordenanzas de la época mencionaban la necesidad de modificar el tenor salino de las aguas de la "Laguna de los Quiloazas", actual Laguna Setúbal, mediante la ~~un~~construcción de canales que "trajeran agua del Colastiné, que es dulcea y buenadicea...". (Cervera, F. Historia de Santa Fe, Tomo I - Editorial de la Universidad Nacional del Litoral).

~~Estas características deberán ser tenidas en cuenta cuando se analicen alternativas de manejo del agua en el Sistema.~~

A° Saladillo Dulce

Sus nacientes corresponden a las del A° El Toba, próximas a la localidad de Garabato, bajo la forma de cañadas paralelas que se van incorporando a un incipiente curso definido con dirección aproximada N-S, que adquiere jerarquía al S de la Ruta Prov. N° 40. La divisoria de aguas entre este arroyo y los Bajos Submeridionales, es muy poco definida.

El A° El Toba transpone la Ruta Nac. N°11, entre las localidades de Vera y Malabrigo y continúa con dirección aproximada N-S hasta la Ruta Prov. N° 36. Desde allí, su traza cambia a dirección NNO-SSE en un tramo de 22 km. Luego cambia a dirección O-E en un tramo de unos 7 km, desde donde retoma la dirección N-S hasta la Ruta Prov. N° 87-S a Margarita.

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Desde allí toma dirección NNO-SSE por unos 10 km hacia el S, desde donde su curso es captado por el Canal Pájaro Blanco.

Con formato

Con formato

Con formato

Este canal tiene una dirección aproximada O-E y deriva los aportes del A° El Toba hacia el Río San Javier, atravesando el albardón costero. En consecuencia, el canal alteró la morfología y la funcionalidad hídrica del A° El Toba y del A° Saladillo Dulce hacia aguas abajo.

Con formato

Con formato

El canal Pájaro Blanco se ejecutó en la década del '40, denominado así por su cercanía con la estancia del mismo nombre.

Originalmente de pocos metros de ancho, el canal vinculó la Laguna El Dentado con dicho río.

Con formato

Con formato

Con formato

Sin embargo, debido a las características poco consolidadas del suelo y al desnivel importante hacia el Río San Javier, el canal desencadenó uno de los fenómenos de erosión hídrica más severos de la provincia. Captó cuerpos de agua permanentes hasta su colapso, generó fenómenos de erosión de suelos (áreas con extensas cárcavas y lavado de suelos en predios colindantes) y de erosión localizada (provocando la caída de dos puentes de luces progresivamente aumentadas hasta llegar a la actual).

Con formato

Con formato

Con formato

Al captar y derivar los aportes del A° El Toba hacia fuera del Sistema Saladillos, el canal provocó la desactivación del curso natural del A° Saladillo Dulce entre la Laguna El Dentado y la Laguna El Tembleque, en un tramo de aproximadamente 30 km.

Con formato

Con formato

A 1 km al S de la Laguna El Dentado, el A° Saladillo Dulce cruza la Ruta Prov. N°38 y continúa con dirección N-S en un tramo de 3km. Luego cambia a dirección NE-SO en un tramo de unos 10 km, desde donde toma dirección general NNO-SSE por unos 23 km hasta desembocar en la Laguna El Tembleque.

Desde allí toma dirección NNE-SSO por unos 25 km y luego sigue con dirección N-S por unos 20 km hasta cruzar la Ruta Prov. Nº 39, que vincula las localidades de San Javier y Gdor. Crespo.

La desactivación del Aº Saladillo Dulce hacia aguas abajo también se debe a la sobreelevación artificial de la Ruta Prov. Nº1, que en su mayor parte se realizó a partir de la década del '60.

Al S de la Ruta Prov. Nº 39 existe un conjunto de cañadas con dirección NE-SO, que nacen en cercanías del Río San Javier y desembocan en el Aº Saladillo Dulce y en el Aº Saladillo. A los efectos de este estudio estas cañadas se denominan “axiales”, siendo las más importantes el Estero de la Serpiente, de los Chanchos, del Laurel y de los Cerrillos.

La morfología de estas cañadas obedece a una funcionalidad subactual, que consistía en colectar los derrames del Río San Javier (brazo del Río Paraná sobre su margen derecha) durante crecidas. Los desbordes aportaban una escorrentía adicional al Aº Saladillo Dulce y al Aº Saladillo, que contribuían a modelar su morfología.

La sobreelevación de la ruta impide dichas transfluencias y como consecuencia también se produjo la desactivación parcial de estas cañadas, quedando reducidas a colectar escurrimientos provenientes de precipitaciones locales, escurrimientos subsuperficiales esporádicos que se infiltran desde el Río San Javier durante crecidas y eventuales desbordes de éste por sobre la Ruta Prov. Nº1.

Durante la crecida del Río Paraná de 1982/83 se produjo la última activación importante de estas cañadas, debido a desbordes originados por el colapso estructural de la ruta y también al superar el agua la cota de calzada en otros sitios.

Aguas debajo de la Ruta Prov. Nº 39, el Aº Saladillo Dulce continúa con una dirección N-S en un tramo de unos 70 km hasta la Ruta Prov. Nº 61, donde se produce

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

la ~~de la ruta mencionada~~ confluencia con el A° Saladillo Amargo. Desde allí, el curso se denomina A° Saladillo y continúa hacia el S en un tramo de unos 40 km hasta desembocar en la Laguna Capón.

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

A° Saladillo Amargo

Sus nacientes corresponden a las del A° El Espín, próximas a la localidad homónima. La continuidad de este curso da origen al A° Saladillo Amargo.

Con formato

Su tramo inicial tiene dirección aproximada N-S, con una longitud de unos 45km hasta cruzar la Ruta Prov. N° 38 en las cercanías de la localidad de Calchaquí. Desde allí cambia a dirección O-E en un tramo de unos 20 km y luego retoma la dirección original, siguiendo en forma aproximadamente paralela al A° Saladillo Dulce en un tramo de unos 110 km hasta cruzar la Ruta Prov. N° 281-S en proximidades de Vera Mujica.

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

En el tramo comprendido entre la Ruta Prov. N° 38 y Ruta Prov. N° 39, presenta numerosas lagunas de gran tamaño aledañas al cauce principal. En algunos casos el cauce principal se interna en ellas, pudiendo diferenciarse ambos por sus rasgos en períodos de estiaje y aún de aguas medias.

Entre estos cuerpos de agua se destacan las lagunas del Cristal (a partir de la que el curso toma el nombre de Saladillo Amargo), Redonda, del Plata y del Platero.

Desde la Ruta Prov. N° 281-S, el A° Saladillo Amargo cambia a dirección NO-SE en un tramo de unos 20 km hasta su confluencia con el A° Saladillo Dulce, próxima a la Ruta Prov. N° 61.

Con formato

Con formato

Cañada Naré – A° Aguiar

Este último cambio de dirección mencionado del A° Saladillo Amargo es originado por la presencia de una lomada longitudinal de dirección N-S, relativamente elevada, donde se ubica parte de la traza de la Ruta Prov. N° 2 y la localidad de Naré.

Entre esta lomada y el dorso occidental se ubica una zona deprimida cuyo colector es la cañada Naré.

Esta cañada se origina al S de la Ruta Prov. N° 281-S, continúa con dirección N-S en un tramo de unos 50 km hasta desembocar en la Laguna Paiva, cuerpo de agua permanente que da origen por su extremo S al Aº Aguiar.

Este curso sigue con dirección N-S, en forma aproximadamente paralela al Aº Saladillo, del que lo separa una divisoria de poca jerarquía. A unos 5 km al NO de la localidad de Monte Vera se orienta hacia el E hasta desembocar en la Laguna de Leyes.

4.3. B.2. GEOFORMAS PRINCIPALES

Con formato

En un análisis de macroescala, el sistema se puede esquematizar como un *eje central de conducción principal*, con dirección general aproximada N-S, al cual aportan dos *planos laterales de escurrimiento*, uno sobre la margen izquierda (E) y otro sobre la margen derecha (O).

Desde las nacientes y hasta la Ruta Prov. N°61 el eje está constituido por dos cursos: el Aº Saladillo Amargo, al O, y el Aº Saladillo Dulce, al E. Desde dicha ruta hasta la desembocadura en la Laguna Capón, el eje está compuesto por un único curso: el Aº Saladillo.

El nivel de base del sistema total está conformado por el encadenamiento de las lagunas Capón, Leyes (o Santo Domingo) y Setúbal.

Durante crecidas importantes del Sistema del Río Paraná, el efecto de remanso de estos cuerpos de agua se extiende hacia el N por el Aº Saladillo hasta las proximidades de la Ruta Prov. N°62.

La imagen satelital del Plano N°1-A, tomada el 02/12/97, permite observar en color azul el efecto de remanso mencionado. Para esa fecha, la altura de escala del Aº

Leyes en la Ruta Prov. N°1 era 7.89 m, que corresponde a una cota 15.50 m I.G.M.

Los planos laterales de escurrimiento presentan diferencias morfológicas y en consecuencia, distintas dinámicas superficiales.

El *plano lateral de margen derecha*, cuyo extremo O coincide aproximadamente con la Ruta Nac. N° 11, presenta pendientes de terreno natural importantes. En el tramo Calchaquí - San Justo, las pendientes son del orden de los 7.5 m/km, con valores de hasta 10.0 m/km en la zona de la localidad de Silva. Desde San Justo al S, al confluir el A° Saladillo Amargo en el A° Saladillo Dulce, la pendiente de este plano se suaviza, existiendo escasa definición altimétrica respecto a la Cañada Naré.

El interfluvio entre el A° Saladillo Amargo y el A° Saladillo Dulce es una terraza plana con escasa definición, con rasgos morfológicos que conducen los desbordes durante crecidas.

El *plano lateral de margen izquierda* tiene pendientes muy bajas, del orden de pocos centímetros a 1.0 m/km, con presencia de grandes cañadas (“axiales”).

En un análisis a escala más detallada, sobre el esquema anterior se pueden distinguir 5 (cinco) componentes. Cada componente se caracteriza por su posición altimétrica relativa y de acuerdo a la función que cumple en la dinámica hídrica superficial, ya sea de ~~siguiendo el principio de asignaciones de acuerdo al almacenamiento~~ (atenuación o amortiguamiento de las ondas de crecida), de conducción (transferencia de esorrentía) o combinada.

Los componentes son los siguientes:

Áreas de Niveles Elevados (N4):

Se trata de sectores con niveles topográficos positivos, que no son cubiertos por las aguas aún durante eventos extraordinarios. Casi siempre actúan como condicionantes del frente al escurrimiento; o contienen tramos de las divisorias de

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

Con formato

aguas.

Áreas Inertes o de Transición (N3)

Son los sectores circundantes a los (N4).

Tienen escasa capacidad de almacenamiento superficial, con ausencia casi total de cuerpos de agua de gran permanencia.

Sus suelos están sujetos, en general, a una explotación agroganadera, por su aptitud y por ser no anegables, salvo durante eventos extraordinarios. En estos casos, estos sectores son anegados progresivamente por efectos de retención o saturación de los sectores ubicados aguas abajo.

Las áreas N3 y N4 contienen divisorias de distinta jerarquía. Las ubicadas sobre N3, en general no son absolutas sino relativas a la magnitud de los eventos hidrometeorológicos.

Las divisorias internas constituyen líneas condicionantes del escurrimiento y muchas veces coinciden con obras viales y ferroviarias. En general, los condicionantes internos conforman subsistemas hídricos de independencia relativa, cuyo comportamiento adquiere las secuencias de recepción – almacenamiento – conducción, con significativa preponderancia de la segunda función.

Las divisorias externas naturales, que acotan el área de aportes total, no son absolutas en toda su extensión y pueden ser superadas por eventos extraordinarios. Estas divisorias han sido sobreelevadas en gran parte por las rutas Nac. N° 11 y Prov.

N° 1.

Áreas de interconexión de cañadas (N2)

Tienen una mayor capacidad de almacenamiento superficial que (N3). Su función primordial es interconectar a las cañadas durante períodos húmedos, cuando la capacidad de éstas es superada.

Tienen una función mixta de almacenamiento – conducción de la escorrentía hacia otra cañada u otro cuerpo de agua.

En general, son áreas dedicadas a la ganadería extensiva.

Áreas de cañadas y esteros (N1)

Las cañadas y esteros cumplen las funciones de almacenamiento y conducción, predominando netamente la primera para precipitaciones de baja y mediana magnitud. Estos sectores, junto con las lagunas, son los de mayor capacidad de amortiguación del sistema.

Para lluvias de gran magnitud, actúan como elementos de conducción, vinculando las áreas con niveles topográficos superiores con los cursos de agua principales.

Entre las cañadas, se destacan por su extensión las denominadas “axiales”, las cuales fueron descritas en el ítem 4.2.

Otra cañada importante del sistema es la Cañada Naré. Cuando se producen precipitaciones abundantes sobre el dorso Occidental, en esta cañada predomina la función de conducción hacia la Laguna Paiva, conformando un colector paralelo al Aº Saladillo Amargo (en el tramo inferior) que impide que los aportes superficiales provenientes del dorso occidental se incorporen a este curso.

En general, las cañadas y esteros están anegados casi todo el año, con abundantes pasturas naturales.

Cuerpos de agua (N0)

Dentro de este grupo se distinguen las lagunas y los cursos de agua.

En las lagunas predomina netamente la función de almacenamiento. Ejercen una función atenuadora de las ondas de crecida muy importante, ya sea aquéllas vinculadas directamente a los cauces de los colectores principales (por ejemplo sobre

al A° Saladillo Amargo), como las ubicadas en el resto del área, muchas de las cuales se encuentran como parte integrante de grandes cañadas.

Es interesante destacar que las lagunas ubicadas sobre el tramo medio del A° Saladillo Amargo tienen albardones transversales a la pendiente general del arroyo.

Los principales *curso*s de agua naturales del sistema son el A° Saladillo Dulce y A° Saladillo Amargo, descritos en el ítem anterior, en los cuales predomina la función de conducción.

4.4. OBRAS QUE CONDICIONAN LA DINÁMICA HÍDRICA

Canales

Existe una gran cantidad de canales excavados, entre los que se destaca por su magnitud el Canal Pájaro Blanco. Algunos han sido construidos para anegamiento de arroceras y otros para aumentar el drenaje de campos.

El funcionamiento de los canales es distinto de acuerdo al plano lateral de escurrimiento donde se ubican.

Los canales ubicados sobre el plano de escurrimiento de margen derecha, debido a las elevadas pendientes del terreno y a que acompañan el sentido de escurrimiento del plano, tienen altas velocidades de flujo. Provocan intensos procesos erosivos, laminares y de retrogrado.

En general, estos canales tienen dirección O-E. Sus nacientes se ubican en proximidades de la Ruta Nac. Nº 11 y desembocan en el A° Saladillo Amargo, sin actuar como interceptores del escurrimiento regional general (de dirección N-S).

Los canales ubicados sobre el plano de escurrimiento de margen izquierda tienen pequeñas velocidades de flujo, debido a las bajas pendientes y a que interceptan grandes cañadas que tienen sentido de escurrimiento normal u oblicuo a

ellos.

Obras viales

Existen obras viales que generan interferencias significativas en el flujo. Desde sus nacientes hasta su desembocadura en la Laguna Capón, existen rutas y caminos comunales transversales al sentido de escurrimiento general (N-S), que condicionan el flujo durante crecidas.

Cada una de estas obras impone una contracción significativa de la sección de escurrimiento, originando efectos de remanso importantes hacia aguas arriba. Entre la más importantes, de S a N pueden mencionarse las rutas provinciales N° 62, N° 61, N°281-S, N° 73-S, N° 39, N° 93-S, N° 38, N° 87 y N°36.

Como se ha indicado, la sobreelevación de la Ruta Prov. N° 1 respecto al nivel del terreno natural, originó un aislamiento del Sistema Saladillos de los aportes provenientes del Sistema del Río Paraná durante crecidas.

Son dos los efectos principales de esta sobreelevación sobre el Sistema Saladillos:

- a) La obra vial se comporta como un terraplén lateral al Río Paraná y ha generado una *falsa sensación de seguridad* dentro del sistema. Esto ha inducido a productores a realizar inversiones en áreas con riesgo de anegamiento, con el consecuente aumento de los daños originados por las crecidas del Río Paraná que superaron dicha ruta. Las situaciones ocurridas durante las crecidas de los años 1966, 1981 y 1983 fueron caóticas. Al producirse el colapso de la ruta en sectores coincidentes con algunas cañadas axiales, se incorporaron caudales de gran magnitud en el Sistema Saladillos, provocando daños muy significativos sobre su infraestructura vial y aguas abajo (por ejemplo la caída del Puente Colgante de la ciudad de Santa Fe (1983)).

b) La sobreelevación de la ruta es una de las causas principales de la activación experimentada por el A° Leyes en los últimos años, al aumentar el desnivel entre su nacimiento en el Río San Javier y su desembocadura en el encadenamiento de lagunas Capón, Leyes y Setúbal. La activación del A° Leyes origina un aumento del nivel de base del sistema, dado por las lagunas citadas, que produce un efecto de remanso que se extiende hacia aguas arriba por el A° Saladillo hasta proximidades de la Ruta Prov. N° 62.

4.5. DINÁMICA HÍDRICA SUPERFICIAL

Dada las bajas pendientes del sistema, la dinámica hídrica depende de la magnitud del evento. Por ello, se analizará el comportamiento para distintos períodos hídricos: a) secos y normales y b) húmedos.

a) *Períodos hídricos secos y normales:*

Durante estos períodos, el área “activa” de aportes está compuesta por sus nacientes, el plano lateral de margen derecha (excepto el área que aporta a la cañada Naré-A° Aguiar) y los sectores del interfluvio más próximos a los cursos principales.

Los aportes de la cuenca alta son conducidos por el A° El Espín y el A° El Toba, haciendo la salvedad que la mayor parte de los caudales de este último son captados por el Canal Pájaro Blanco y derivados hacia el Río San Javier.

El plano lateral de margen izquierda se comporta en forma “pasiva”, no transfiere escorrentía a los cursos principales. Las cañadas axiales acumulan la escorrentía sin transferirla hacia el A° Saladillo Dulce o A° Saladillo.

En casos excepcionales se producen transferencias desde las cañadas axiales, por intermedio de canalizaciones laterales a las rutas (cunetas) que cortan los albardones de los Saladillos.

Durante estos períodos, las cañadas y esteros permanecen anegados en gran

parte del año.

El proceso de almacenamiento se origina por sus condiciones morfológicas (bajas pendientes), características de los suelos y además por el efecto de retención que ejercen las obras viales que condicionan al escurrimiento y por otras obras menores, tales como bordos, alambrados con alguna acumulación de vegetación, etc.

Debido a la gran planaridad del área, obras de 0.5 a 1.0 m de altura provocan retenciones cuyo efecto se traslada varios cientos de metros hacia aguas arriba.

Los límites laterales de las cañadas axiales son poco definidos. Sin embargo, para eventos normales las cañadas no se conectan transversalmente, es decir, conservan su funcionalidad independientes unas de otras, conectándose solamente en el sentido de su pendiente longitudinal (NE-SO).

El plano lateral de margen derecha contribuye en forma organizada, desde el área elevada próxima a la Ruta Nac. N° 11 hasta el A° Saladillo Amargo, sin almacenamiento superficial y con un tiempo de respuesta breve, debido a las elevadas pendientes del terreno.

En este sector existen procesos erosivos notables, básicamente en retrogrado y laminares, agravados por los tipos de cultivos y prácticas agrícolas que se emplean, en los cuales se incluyen las canalizaciones que contribuyen enormemente a agravar estos procesos.

b) *Períodos hídricos húmedos*

Durante períodos húmedos, con precipitaciones de importante magnitud, la capacidad de almacenamiento de las cañadas axiales se agota y se produce una transferencia de escorrentía con sentido NE-SO, hasta aportar al A° Saladillo Dulce y al A° Saladillo.

De esta manera, a diferencia de lo que ocurre durante períodos hídricos secos y

normales, durante períodos húmedos estos cursos reciben importantes aportes de la cuenca media.

Dentro de la terraza del interfluvio entre el A° Saladillo Amargo y el A° Saladillo Dulce se puede identificar una línea condicionante de escurrimiento que se desarrolla longitudinalmente entre ambos cursos, la cual es superada durante crecidas importantes.

Dicha línea presenta rasgos morfológicos relevantes en el tramo comprendido entre la Laguna La Solitaria por el N y la Ruta Prov. N° 281-S por el S. Al N de La Solitaria, el condicionante pierde jerarquía.

Las transfluencias entre el A° Saladillo Amargo y el A° Saladillo Dulce se producen en uno u otro sentido, de acuerdo al nivel de agua de los cursos. En general, en el sector N del sistema, en proximidades de la Laguna del Cristal, se producen con dirección de NE-SO y en los sectores centro y S, con dirección NO-SE.

4.6. CONCLUSIONES

- a) La dinámica hídrica del Sistema Saladillos se caracteriza por el predominio de la función de almacenamiento por sobre la de conducción, a través de numerosas cañadas, esteros, lagunas y planos bajos en general, que ocupan la casi totalidad del área.
- b) Los impactos producidos por el Canal Pájaro Blanco son evidentes en el entorno próximo a su traza y trascienden hacia aguas abajo en alteraciones de calidad y cantidad del agua disponible.
- c) La sobreelevación de la Ruta Prov. N°1 ha provocado entre otros efectos, la activación del A° Leyes.
- d) Las canalizaciones del dorso occidental provocan intensos procesos erosivos en las áreas teóricamente beneficiadas y una importante contribución en la carga de

sedimentos al A° Saladillo Amargo y al A° Aguiar.

e) Las rutas transversales al sentido general de escurrimiento (N-S) generan un condicionante al flujo durante crecidas, provocando anegamiento de áreas rurales y deterioros en las obras de paso.

b)f) A pesar de los impactos originados por las obras construidas en los últimos 30 años, las condiciones hídricas y ambientales del sistema permiten mantener una aceptable calidad de las aguas del encadenamiento final de lagunas, a orillas del cual se emplaza la ciudad de Santa Fe y del que hace uso en forma intensiva.

Con formato

e)g) Toda modificación que tienda a disminuir el tiempo de permanencia del agua en superficie (por ejemplo canales, desmontes, quemas, etc), podría desencadenar desequilibrios ambientales que impliquen una pérdida de potencialidad productiva. Esto es debido a que los condicionantes salinos de los suelos de los planos medios y bajos del sistema, hacen que su productividad en términos biológicos esté profundamente ligada a la presencia de agua superficial durante una gran parte del año.

Con formato

5. PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES LANDSAT TM Y GENERACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA BÁSICA

5.1. PROCESAMIENTO DIGITAL DE LAS IMÁGENES

El objetivo del procesamiento digital de imágenes LANDSAT TM fue generar productos actualizados que permitan una mejor identificación de las geoformas del sistema, de sus distintos componentes, de la cobertura vegetal y una evaluación areal y temporal del estado hídrico para distintas fechas.

Los resultados obtenidos fueron utilizados para determinar la dinámica hídrica superficial y para actualizar y complementar la cartografía básica.

Para el trabajo se dispuso de las imágenes LANDSAT TM provistas por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) a la Provincia de Santa Fe, correspondientes a las escenas 227-81 (bandas 3,4,5), que cubre el sector Centro-Norte del área de estudio y 227-82 (bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7) que cubre el sector Sur, registradas en las fechas: 02/12/97, 19/01/98 y 28/06/98.

La Tabla N°1 muestra las alturas hidrométricas y caudales diarios registrados en las fechas de captura de las imágenes, en las estaciones: A° Saladillo Amargo en Ruta Prov. N°281-S (H01), A° Saladillo Dulce en Ruta Prov. N° 281-S (H02), A° El Toba en Margarita (H03) y A° Leyes en Ruta Prov. N°1 (H05).

Los procesamientos consistieron en el análisis y selección de combinación de las bandas espectrales, georreferenciación y ajuste a Proyección Gauss-Krügger y realce de las combinaciones. Los mismos se describen a continuación.

A. Análisis y Selección de Combinación de Bandas

Se analizó la calidad espectral de las bandas 2, 3, 4, 5 y 7 de las imágenes. Se probaron distintas combinaciones de bandas con el objeto de seleccionar aquella que permita la mejor identificación (mejor contraste) de las distintas unidades

hidrogeomorfológicas (áreas elevadas, de transición, cañadas, lagunas y cursos de agua), la infraestructura existente (localidades, caminos, ferrocarriles y canales), el estado vegetativo de la cobertura vegetal y el estado hídrico de los cuerpos de agua.

Dado que del sector Centro-Norte (escena 227-81) sólo se dispusieron tres bandas (3,4,5), se optó por probar diferentes combinaciones de estos canales en el sistema de color RGB, tanto en dicho sector cómo en el Sector Sur, a efectos de lograr imágenes comparables.

Luego de un análisis comparativo, se seleccionó la combinación: Banda 3 pintada con azul (B) (0,0,255), Banda 5 pintada con verde (G) (0,255,0) y Banda 4 pintada con rojo (R) (255,0, 0) por ser la que mejor permitió identificar los componentes del sistema.

B. Georreferenciación y Ajuste a Proyección Gauss-Krügger (GK) de las Escenas Registradas el 02/12/97

A efectos de generar una imagen útil para la actualización y complementación de la cartografía básica, se seleccionó el registro del 02/12/97 (Planos N° 1-A y N° 1-B), dado que para esa fecha el sistema en estudio presentaba las siguientes características:

- Nula cobertura de nubes.
- Menor extensión de áreas anegadas que las restantes fechas.
- Bajos niveles hidrométricos en los cursos principales.
- Bajo contenido de humedad del suelo.
- Alta respuesta espectral de la cubierta vegetal asociada al contenido de clorofila (Banda 4 infrarrojo cercano).
- Bajo contenido de humedad en la estructura foliar de algunas especies naturales y cultivos estacionales (Banda 5 infrarrojo cercano-medio).

- Alta respuesta de infraestructura y áreas erosionadas (Banda 3).

Con el objeto lograr la unificación de coordenadas entre las imágenes del 02/12/97 y las capas temáticas (toponimia de interés) digitalizadas desde las cartas de línea del I.G.M., se realizó la georreferenciación y proyección de las imágenes al sistema Gauss-Krüger (GK).

Para ello, se recortaron ventanas de las escenas, que incluyeron el sistema en estudio y una franja adyacente.

La ventana recortada de la escena 227-81 se denominó San Javier (2720 columnas, 5760 filas; 14.000 Km² aproximadamente) y la recortada de la escena 227-82 se denominó Santa Fe (2600 columnas, 2576 filas; 6000 Km² aproximadamente).

Las ventanas se recortaron con una extensión superficial mayor a la del área de estudio, debido a que el proceso de ajuste determina la exclusión de píxels que componen superficies con formas de triángulos rectángulos, dispuestos en algunos de los vértices de la ventana original.

Se seleccionaron 34 puntos de control de la ventana San Javier y 17 puntos de la ventana Santa Fe, con 4 puntos comunes a los dos sectores.

Se determinaron las coordenadas GK (X,Y) de estos puntos de control a partir de las cartas imagen en proyección GK, escala 1:50.000, provistas por el SCIT (confeccionadas con imágenes pancromáticas del Sistema SPOT PAN de 10 m de resolución espacial, registradas en el año 1994).

La georreferenciación y ajuste se realizó con el programa IDRISI para Windows, empleando el módulo RESAMPLE.

Se definieron como parámetros: sistema de referencia plano; remuestreo bilineal (para no exagerar el pixelado de la imagen resultante) y una función de ajuste cuadrática, que determina una precisión planimétrica aceptable en relación a los

condicionantes impuestos por el sistema orbital, a la resolución espacial del barredor multiespectral TM (30m) y a la aplicación de las imágenes resultantes.

El ajuste con menor error cuadrático medio se logró con 25 puntos de control en el sector norte (0.893) y con 16 puntos en el sector S (0.878). Éstos se depuraron del listado original, previamente a la ejecución del remuestreo.

C. Realce de las Combinaciones RGB de las Bandas 354 Ajustadas

Efectuada la combinación R - Banda 4, G - Banda 5 y B - Banda 3, ajustadas todas estas a proyección GK, se realizaron procesamientos de realce de la respuesta espectral, consistentes en el estiramiento lineal sin truncamiento del histograma de cada una de las bandas.

Las respuestas de los píxeles se modificaron linealmente, aprovechando casi la totalidad de los 256 niveles de la escala de grises (8 bit) con que se exhibe cada banda, mejorando consecuentemente el contraste y el brillo del canal resultante de dicha combinación RGB, que se exhibe con una paleta de 16.7 millones de colores (color de 24 bit).

Posteriormente, para obtener mayor definición de los rasgos lineales presentes en el paisaje, tales como caminos, líneas de alambrado, cursos de agua; y de los bordes de unidades y elementos hidrológicos y geomorfológicos, se realizó el perfilado o enfoque del canal resultante RGB.

Esto produce buenos resultados, ya que no genera pixelado de la imagen (si los valores aplicados no son muy altos) y realza tanto la traza de caminos, canales y terraplenes de vías férreas (lo que facilita la actualización de la infraestructura), como los límites entre unidades naturales, facilitando su localización y caracterización.

D. Realce de las Combinaciones RGB de las Bandas 354 de las Escenas Registradas el 19/01/98 y 28/06/98.

La escena del 19/01/98 corresponde a aguas altas, próximo al pico de la crecida 1997/98 (Plano N°2).

Presenta muy buena calidad en todas sus bandas. El alto contenido de clorofila de la vegetación natural e implantada, asociado al alto contenido de humedad en el suelo y a la presencia de agua en superficie en casi la totalidad de las áreas deprimidas, determina una importancia equitativa de todas las bandas en la definición del espacio de color.

En la imagen resultante domina el marrón (rojo desplazado hacia el negro), debido a la disminución de los niveles de respuesta en las bandas 4 y 5, que determina la presencia de agua y humedad en el suelo, en casi toda la extensión del área en estudio.

El procesamiento consistió en un estiramiento lineal sin truncamiento del histograma de cada una de las bandas y del canal compuesto RGB, para mejorar el brillo y contraste de la imagen. En este caso, dado el desplazamiento de los valores medios del histograma hacia el negro, fue necesario estirar el histograma del canal RGB, a efectos de obtener un aumento adicional del brillo y del contraste.

Luego se realizó el perfilado, a efectos de resaltar los rasgos lineales y bordes de unidades hidrogeomorfológicas.

La escena registrada el 28/06/98 corresponde a la recesión de la crecida 1997/98 (Plano N° 3), con caudales en los cursos principales ligeramente superiores a los valores medios.

Presenta cobertura de nubes altas en el sector comprendido entre la Laguna El Cristal y su límite N, lo que disminuye sus posibilidades de utilización en dicho sector.

No obstante, las bandas utilizadas en la combinación presentan regular calidad espectral.

Se observa un menor contenido de clorofila de la vegetación, característica propia del invierno, por lo que la Banda 4 pierde preponderancia frente a un aumento significativo de la importancia de la Banda 5 (en el RGB original predomina el color verde).

El color rojo de la Banda 4, asociado a altos contenidos de clorofila, se observa en pocos sectores: paleocauces anegados con vegetación hidrófila arraigada, forestaciones, algunas pasturas implantadas y cultivos de invierno. Estos son los factores más importantes que inciden en el cambio del espacio de color (del rojo al verde) de este registro frente a los anteriores, correspondientes al verano.

Además, durante la primer quincena del mes de junio se registraron algunas precipitaciones y el cielo estuvo parcialmente nublado, por lo que a la fecha de captura de la imagen el suelo presentaba un alto contenido de humedad. En consecuencia, los valores medios de los histogramas de todas las bandas se desplazan hacia el negro, especialmente de los canales 4 y 5.

El procesamiento de esta escena fue bastante dificultoso, debido a una menor calidad espectral de las bandas, generado entre otros posibles por el factor antes mencionado. El mismo consistió en el estiramiento lineal del canal RGB, luego el de los canales combinados y finalmente fue necesario ajustar adicionalmente el brillo y contraste del canal RGB, para desplazar hacia el blanco los valores medios de los histogramas y obtener una imagen más brillante.

E. Resultados Obtenidos

Los datos generales de las imágenes resultantes del procesamiento digital descrito se consignan en la Tabla N° 2.

5.2. ACTUALIZACIÓN Y DIGITALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA BÁSICA

Debido a que las cartas de línea del I.G.M. en escala 1:50000 disponibles no permiten una cobertura total del área en estudio y a que datan de los años 1959 a 1961, fue necesario complementar y actualizar la cartografía básica.

Además de las cartas de línea mencionadas, se dispuso de cartas imagen de la zona en escalas 1:50000 (fuente: SCEIT) y 1:100000 (fuente: I.G.M.) y de la imagen satelital LANDSAT-TM del 02/12/97, generada específicamente para este fin.

Primeramente, se generaron imágenes “raster” a partir de las cartas de línea del I.G.M. en escala 1:50000 citadas en el ítem 3.1, por medio de un barrido electrónico (scaneado).

Se realizó la georreferenciación y proyección de las imágenes generadas al sistema G-K. Para ello, para cada imagen se consideraron 5 puntos de control de coordenadas (X,Y) G-K conocidas. Los errores encontrados variaron entre 4 m y 20 m, con un error promedio 12 m.

Se digitalizó de la toponimia de interés (red hidrográfica, curvas de nivel e infraestructura) desde el monitor, utilizando cada imagen “raster” como fondo y se generaron las capas temáticas.

Se realizó el procesamiento digital de imágenes satelitarias LANDSAT TM, correspondientes a las escenas 227-081 y 227-082, registradas el 02/12/97, que incluyó la georreferenciación y ajuste de la misma al sistema GK, como se ha descrito en el ítem anterior. A partir de ambas imágenes se elaboró un mosaico satelital georreferenciado, basado en la superposición de las imágenes por coordenadas.

Una vez lograda la unificación de coordenadas entre las capas temáticas digitalizadas con el mosaico satelital, se actualizaron y/o completaron las capas utilizando el mosaico como fondo, digitalizando sobre el monitor.

Además, para la actualización de la ubicación de alcantarillas en las principales rutas provinciales, se utilizó información relevada en reconocimientos de campo y aportada por la Dirección Provincial de Vialidad.

La cartografía básica resultante se muestra en el Plano N° 4-A (Sector Centro-Sur) y N° 4-B (Sector Centro-Norte), ambos en escala 1:100000. La información cartográfica está generada en un archivo computacional que puede ser importado con el sistema AUTOCAD 14 u otro superior.

6. SELECCIÓN DE LOS EVENTOS DE CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN

Para seleccionar los eventos a ser aplicados en la calibración y verificación del modelo matemático, se analizaron los registros disponibles de precipitaciones y caudales en el sistema en estudio.

Las Tablas N°3 y N° 4 muestran los registros de caudales máximo medio diario, mínimo medio diario y medio anual del A° Saladillo Amargo y del A° Saladillo Dulce, ambos en la Ruta Prov. N° 281-S (únicas estaciones con registros hidrométricos sobre estos cursos).

Por otra parte, se generó la serie de precipitaciones anuales medias areales para el sistema total en base a las series de precipitaciones de las estaciones: Alejandra, Cacique Ariacaiquín, Gobernador Crespo, Marcelino Escalada, Guaraníes, Helvecia, Margarita, Naré, Saladero Cabal y San Justo, ponderando la precipitación de cada pluviómetro con su peso relativo (Ítem N° 4.1. del Informe Parcial):

$$\bar{P}_i = \sum_{j=1}^n P_i^j W_j \quad (1)$$

\bar{P}_i : precipitación media areal del sistema para el intervalo de tiempo i (año hidrológico),

P_i^j : precipitación de la estación j en el intervalo de tiempo i, W_j : peso relativo de la estación j en la cuenca (cociente entre la superficie de influencia del pluviómetro y la superficie total de la cuenca).

El peso de cada pluviómetro se determinó con el Método Computacional de Diskin (*7).

Se consideró el año hidrológico con comienzo en el mes de setiembre, a efectos de asegurar la independencia de los valores de la serie.

La Tabla N° 5 muestra las precipitaciones anuales medias areales para el período 1933/1997, ordenadas de mayor a menor.

La Figura N° 2 muestra superpuestos el hietograma de precipitaciones areales medias mensuales (período 1933/1998) y el hidrograma de caudales medios mensuales en la Ruta Prov. N° 281-S (período 1953/1997) (suma de los caudales mensuales del A° Saladillo Amargo más los del A° Saladillo Dulce).

Como se observa en las Tablas N° 3, N°4 y N°5, existe una correspondencia entre los años de mayores precipitaciones y de máximos caudales medios. Los dos años de condiciones más críticas en cuanto a precipitaciones y caudales medios son 1997/98 y 1972/73, por lo que se seleccionó estos eventos críticos como eventos de calibración y verificación, respectivamente.

Se adoptó una duración anual para las corridas de calibración y verificación, teniendo en cuenta el tiempo de base de los hidrogramas de crecida para eventos críticos, lo cual se describe en el ítem N° 7.

Las Figuras N° 3 y N° 4 muestran las isohietas de precipitaciones anuales de los años 1997/98 y 1972/73, respectivamente.

Para el trazado de las isohietas, además de los datos de las estaciones propias de la cuenca se utilizaron los datos de otras ubicadas externamente, a efectos de permitir un ajuste de las curvas con adecuadas condiciones de borde. Las estaciones externas utilizadas fueron:

- a) Para el año 1997/98: Golondrina (1878 mm), El Arazá (2193.4mm), Malabrigo (2473.5 mm), Margarita (1989.5 mm), Pueblo Libertador (2286.4 mm), Feliciano (1955.5 mm), Santa Fe (1195.0 mm) y Chapetón (1294.9 mm).
- b) Para el año 1972/73: Reconquista (2138.6 mm, Esquina (1663.6 mm), La Paz (1451.4 mm) y Paraná (1635.9 mm).

Para los dos años críticos seleccionados, las isohietas denotan un aumento de las precipitaciones anuales en la dirección SSW-NNE, que es característico en las

tormentas de la zona.

El gradiente es mayor para el año 1997/98, mientras que para el año 1972/73 se observa que, superpuesto al gradiente general se produjeron altas precipitaciones en una franja que une las localidades de Crespo y Helvecia.

En base a los mapas de isohietas, se calculó la precipitación anual de las estaciones pluviométricas del sistema sin dato en ese año, interpolando linealmente entre las curvas.

La Tabla N° 6 muestra los valores de precipitaciones anuales en las distintas estaciones para los eventos de calibración (año 1997/98) y de verificación (año 1972/73).

Dado que el período de análisis es prolongado (un año), además de la precipitación y la escorrentía, también adquiere significación en el balance hídrico el término de evapotranspiración.

Con el objeto de visualizar la relación entre estas variables, en las Figuras N° 5 y N° 6 se muestran los valores mensuales medios areales de precipitación y evapotranspiración potencial y superpuesto a ellos los hidrogramas de caudales mensuales en la Ruta Prov. N° 281-S para los eventos de calibración (1997/98) y verificación (1972/73), respectivamente.

Para el evento de 1997/98 se representan los caudales mensuales totales del sistema en la Ruta Prov. 281-S (suma de los caudales del A° Saladillo Amargo más los del A° Saladillo Dulce). El caudal medio total de este año fue de 105.3 m³/s, 4.1 veces el caudal módulo total, de 25.8 m³/s (suma de los módulos del A° Saladillo Amargo (16.7 m³/s) y del A° Saladillo Dulce (9.1 m³/s) en la sección mencionada).

Para el evento 1972/73 sólo se dispuso de datos de caudales del A° Saladillo Amargo en Ruta Prov. 281-S. El caudal medio de ese año fue de 42.5 m³/s, es decir, 2.5

veces su caudal módulo.

Los valores mensuales de evapotranspiración potencial (ETP) se calcularon en base a los datos mensuales de evaporación de tanque, afectando éstos por un coeficiente reductor de 0.7 (*8).

Este valor del coeficiente fue obtenido de tablas y corresponde a un tanque tipo “A”, rodeado de una cobertura vegetal verde baja, para una zona con vientos moderados (entre 7 y 18 km/h), una humedad relativa alta (mayor del 70%) y una distancia a barlovento de la cobertura vegetal al tanque de entre 0 y 10m (la velocidad del viento media anual del área es de 10 km/h y la humedad relativa media anual es del 75%).

La ETP corresponde a una cobertura de referencia, definida como “una superficie extensa de gramíneas verdes de 8 a 15 cm de altura, uniforme, de crecimiento activa, que asoman totalmente el suelo y que no escasean de agua”.

Para el año 1997/98, la ETP se calculó en base a los datos de tanque de las estaciones Colonia Mascías (E01) y San Justo (E02), ponderando con el área de influencia de cada estación.

Para el año 1972/73, la ETP se calculó con los datos de evaporación de tanque de la estación Ceres (fuente: S.M.N.), ubicada al O de la Prov. de Santa Fe a una latitud similar que la localidad de Alejandra, debido a que no se dispuso de datos en las estaciones propias de la cuenca (Colonia Mascías y San Justo).

Al disponer de datos de evaporación de tanque para ambos eventos, no fue necesario aplicar la ecuación de Penman para calcular la de evapotranspiración potencial en base a datos meteorológicos.

En el evento de calibración (1997/98), el período de generación de excesos (meses con diferencia precipitación menos evapotranspiración positiva) se ubica entre

los meses de noviembre a abril, con la máxima diferencia en el mes de enero (Figura N°5).

En el evento de verificación (1972/73), dicho período se extiende entre los meses de febrero a junio, con las mayores diferencias en los meses de abril y junio (Figura N° 6).

Puede observarse que existe una correspondencia temporal entre los mayores excesos mensuales y los máximos caudales mensuales registrados.

6. DETERMINACIÓN DEL EVENTO DE DISEÑO

El *diseño hidrológico* es el proceso de evaluación del impacto de los eventos hidrológicos en un sistema y de determinación de parámetros hidrológicos (caudales, niveles de agua, volúmenes de escurrimiento y velocidades de flujo máximos) necesarios para el diseño de obras y/o para la implementación de medidas no estructurales (ej. zonificación de áreas de riesgo hídrico, pronóstico de crecidas en tiempo real y otras).

El sistema en estudio ha sufrido modificaciones antrópicas en el transcurso del tiempo, como la apertura del canal Pájaro Blanco y los alteos de la Ruta Prov. Nº 1.

Debido a estas alteraciones en las condiciones del sistema, las series históricas de caudales (Tablas Nº 3 y Nº 4) pueden presentar problemas de homogeneidad estadística y además, no ser representativas de condiciones futuras (por ejemplo, si se modifica la situación del canal Pájaro Blanco y/o si se permite el ingreso de agua del Sistema del Paraná al Sistema Saladillos).

Teniendo en cuenta estos aspectos y debido a la insuficiencia de información hidrométrica para realizar un tratamiento estadístico de caudales, para el Diseño Hidrológico se aplicó el *Método de la Tormenta de Diseño*.

Este método permite determinar hidrogramas de proyecto en base a un análisis de probabilidad de las precipitaciones y a una transformación precipitación-escorrentía.

El procedimiento general del método es el siguiente:

- a) Se determina un hietograma areal maximizado, denominado "Tormenta de Diseño", cuya lámina precipitada total es máxima para una recurrencia dada, su duración es igual o mayor al tiempo de concentración de la cuenca y tiene una distribución espacio-temporal crítica en cuanto a la generación de caudales máximos.
- b) Se calcula el hidrograma de escurrimiento generado por la Tormenta de Diseño mediante la aplicación de un modelo matemático de transformación precipitación

-escorrentía. Se asume que la recurrencia del hidrograma calculado es la misma que la de la lámina de precipitación.

Se determinaron los siguientes parámetros de la Tormenta de Diseño: duración, altura total precipitada, distribución temporal, distribución areal, la condición inicial y condiciones de borde del sistema.

A. Duración de la Tormenta de Diseño

La duración de la Tormenta de Diseño debe ser la más crítica en cuanto a la generación de caudales máximos, por lo que para adoptarla se deben tener en cuenta las características de la respuesta hidrológica del sistema.

Como se indicó en el ítem 4.5, el sistema en estudio se caracteriza por el predominio de la función de almacenamiento por sobre la de conducción. El efecto de almacenamiento en esteros, cañadas y bajos origina que el tiempo de retardo del sistema sea mayor que el de una cuenca rural típica.

La condición más crítica de los sistemas de este tipo, en cuanto a caudales máximos a la salida, se alcanza para largas duraciones, una vez que se llenan y desbordan los esteros y cañadas. Para este estado, la totalidad del área aporta en forma 'activa' a la salida.

El efecto de retardo y atenuación de la onda de crecida en el sistema puede visualizarse para el evento crítico 1997/98 (Figura N° 5), para el cual el tiempo de base del hidrograma resultante es de aproximadamente 10 meses.

Teniendo en cuenta este aspecto, se adoptó una duración anual para la Tormenta de Diseño.

B. Altura de Lluvia Total de la Tormenta de Diseño

La *escala de diseño hidrológico* es el rango de la variable de diseño dentro del cual

se debe seleccionar el *valor de diseño*, a partir de las características del proyecto específico y contemplando, si existen, las normativas locales de uso del suelo.

El valor de diseño a adoptar para cada obra debe estar asociado a una recurrencia o tiempo de retorno (T_r), que es el tiempo promedio en años en que un evento es igualado o superado. Es la inversa de la probabilidad (P) de que el evento sea igualado o superado un año cualquiera.

Las obras de drenaje agrícola se diseñan, en general, para los siguientes rangos de recurrencias: canales, entre 2 y 10 años; alcantarillas, entre 2 y 50 años (de acuerdo a la jerarquía y tráfico de los caminos o rutas); azudes en zona rural, entre 2 y 50 años y presas pequeñas con baja amenaza en caso de rotura, entre 50 y 100 años.

Teniendo en cuenta estos valores, la altura de lluvia total se maximizó para las recurrencias 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Se calcularon las precipitaciones anuales areales maximizadas para esas recurrencias a partir del análisis probabilístico de la serie muestral de precipitaciones anuales medias areales.

Se calcularon los estadísticos: media aritmética (\bar{X}), desvío estándar (S_x) y coeficientes de asimetría (A_s) y de variación (C_v) de la serie muestral.

Se ajustaron las funciones teóricas de probabilidad Log Normal de 2 parámetros (LNII), Pearson III (PIII), Log Pearson III (LPIII) y se calcularon las precipitaciones anuales maximizadas para recurrencias de interés (Figura N° 7 y Tabla N° 7). Los procedimientos de estimación de parámetros utilizados fueron: máxima verosimilitud (LNII y PIII) y momentos combinados o mixtos (LPIII).

Para posicionar los valores muestrales en el papel probabilístico se calculó la frecuencia experimental con la expresión de Weibull. La recurrencia calculada en base a la frecuencia experimental, se expresa en forma general:

$$Tr = (N - 2a + 1) / (m - a) \quad (2)$$

Tr: tiempo de retorno [años], N: longitud de la muestra, m: número de orden del valor en la muestra ordenada de mayor a menor (para valores máximos). Para Weibull, $a=0$.

Se evaluó la bondad de los ajustes con los tests de Chi-Cuadrado y Kolmogorov y se calcularon los errores cuadráticos medios de la frecuencia (ECMF) y de la variable (ECMV). Ambos tests dieron como resultado que aceptan la hipótesis que la probabilidad de ocurrencia de los valores de la serie muestral se distribuye según cada función teórica analizada, para un nivel de significación del 0.1 %.

Teniendo en cuenta el análisis gráfico y los resultados de la bondad de ajuste, se adoptó la distribución PIII como representativa para la extrapolación probabilística.

C. Distribución Espacio - Temporal de la Tormenta de Diseño

El sistema en estudio tiene una gran extensión longitudinal y una gran cantidad de cuerpos de agua (esteros, cañadas y bajos).

En consecuencia, la distribución areal de la lluvia y el estado hídrico inicial cobran importancia en la forma del hidrograma de salida del sistema total y en el volumen de escurrimiento.

Para distribuir arealmente la altura de lluvia maximizada, se adoptó como patrón areal a la distribución de las precipitaciones anuales del año hidrológico crítico 1997/98, por las siguientes razones:

- a) El año 1997/98 es el de mayor precipitación media areal y el de mayor caudal medio durante el período de registro.
- b) Durante este período se dispone de aforos líquidos de la crecida en las secciones Aº Saladillo Amargo y Aº Saladillo Dulce en la Ruta Prov. Nº61 (Las Cañas) (fecha: abril de 1998) y de imágenes satelitales que permiten cuantificar el impacto areal y temporal del fenómeno sobre el sistema (superficies máximas anegadas y

permanencia de los anegamientos en distintos sectores).

Para cada estación pluviométrica se calculó la relación R:

$$R = \frac{P_{AC}^j W_j}{\bar{P}_{AC}} \quad (3)$$

P_{AC}^j : precipitación de la estación j para el año crítico seleccionado, W_j : peso relativo del pluviómetro j, \bar{P}_{AC} : precipitación media areal para el año crítico.

Para la Tormenta de Diseño, se asume que el coeficiente R de cada estación es el mismo que el registrado para la tormenta crítica. Por lo tanto, la precipitación de la estación j para la tormenta de diseño, P_{TD}^j , se calculó como:

$$P_{TD}^j = \frac{R \bar{P}_{TD}}{W_j} \quad (4)$$

\bar{P}_{TD} : precipitación media areal de la tormenta de diseño (altura de lluvia maximizada correspondiente a una recurrencia de interés).

La Tabla N° 8 muestra el cálculo de las precipitaciones anuales en las distintas estaciones para la Tormenta de Diseño.

La distribución temporal de la precipitación anual de cada estación para la Tormenta de Diseño se calculó con el método del Hietograma Crítico Adimensional, utilizando como patrón el hietograma de precipitaciones diarias del año 1997/98.

Para cada estación j con datos durante el año crítico seleccionado, el hietograma de precipitaciones diarias para la Tormenta de Diseño, se calculó con la expresión:

$$P_{TD}^j(\Delta t) = P_{TD}^j \frac{P_{AC}^j(\Delta t)}{P_{AC}^j} \quad (5)$$

$P_{TD}^j(\Delta t)$: precipitación en la estación j durante el intervalo Δt (diario) de la Tormenta de Diseño, P_{TD}^j : precipitación total en la estación j para la Tormenta de Diseño, $P_{AC}^j(\Delta t)$:

precipitación en la estación j durante el intervalo Δt del año crítico, P_{AC}^j : precipitación en la estación j durante el año crítico.

Para las estaciones sin datos durante el año crítico seleccionado, se adoptó la distribución temporal del pluviómetro con datos más cercano.

La Figura N° 8 muestra la distribución temporal mensual promedio de la Tormenta de Diseño, calculada ponderando los valores mensuales por el peso relativo de cada estación.

De esta manera, la distribución espacio-temporal de la Tormenta de Diseño conserva la misma distribución, dirección y el movimiento de las tormentas ocurridas durante el año 1997/98.

La Tormenta de Diseño así calculada permitirá simular la condición hidrológica más crítica para el *sistema total* en cuanto al caudal anual máximo.

Sin embargo, debido al extenso desarrollo longitudinal del sistema, pueden existir sectores para los cuales dicha tormenta no represente la condición *local* más crítica para una recurrencia dada.

Una vez que el Comitente seleccione los sectores del sistema donde sea de interés evaluar los efectos hidrológicos de las obras, durante la aplicación del modelo hidrológico-hidráulico eventualmente se calcularán otras Tormenta de Diseño, con la misma metodología pero seleccionando otros años críticos (por ejemplo con el núcleo de máximas precipitaciones sobre el sector en análisis), a efectos de calcular la condición local más crítica para el sector elegido.

D. Condición Inicial del Sistema

Como estado inicial del sistema se considerará una condición promedio, del siguiente modo: a) cursos: con caudales iguales a los módulos en la Ruta Prov. N° 281-S, b) cañadas: con un nivel de agua similar al observado en la imagen del 28/06/98 (para la

cual los caudales del sistema se encuentran próximos (ligeramente por encima) a los valores medios) y c) humedad de suelo y profundidad freática: en una condición media.

E. Condiciones de Borde del Sistema

Se considerarán dos condiciones de borde de aguas arriba y dos condiciones de borde de aguas abajo.

Aguas arriba se analizará la situación actual y otra con un determinado control del canal Pájaro Blanco y eventual derivación de parte de los aportes del Aº El Toba hacia el Aº Saladillo Dulce.

Aguas abajo, se analizarán dos estados del nivel de agua de base del sistema, uno de aguas bajas de Río Paraná (sin efectos de remanso sobre el Aº Saladillo) y otro con un nivel de aguas alto, como el registrado durante la crecida 1997/98.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUA Y ENERGÍA ELÉCTRICA SOCIEDAD DEL ESTADO - Gerencia Proyecto Paraná Medio, 1981. Proyecto Ejecutivo Aprovechamiento Hidroeléctrico Paraná Medio. Tomo Nº I: Estudios. Capítulo III: Hidrología. Ítem III.4: Estudio Hidrológico de Cuencas Afluentes al Aº Saladillo. Sistema Aº El Toba – Laguna del Plata. Determinación de Módulos Mensuales del Sistema Aº Saladillos. Capítulo VII: Estudios de Drenaje. Ítem VII.1.1: Estudios Freatimétricos Zonales Margen Derecha. Ítem VII.4.2.: Cálculo de Aportes Superficiales a los Aº Saladillo Dulce y Amargo.
2. AGUA Y ENERGÍA ELÉCTRICA SOCIEDAD DEL ESTADO - Gerencia Proyecto Paraná Medio, 1981. Proyecto Ejecutivo Aprovechamiento Hidroeléctrico Paraná Medio. Tomo Nº I: Proyecto. Capítulo VII: Obras de Drenaje. Obras de Desvío Aº El Toba – Presa de Embalse Laguna del Plata. Rectificación y Profundización de los Aº Saladillo Dulce y Aº Saladillo.
3. AGUA Y ENERGÍA ELÉCTRICA SOCIEDAD DEL ESTADO - Gerencia Proyectos Litoral, 1985. Proyecto Paraná Medio – Propósitos Múltiples. AyE. Tomo VIII: Desarrollo Agropecuario. Volumen I. Capítulo 3: Suelos, sus Características y Aptitud de Uso.
4. AGUA Y ENERGÍA ELÉCTRICA SOCIEDAD DEL ESTADO - Gerencia Proyectos Litoral, 1985. “Caracterización Área Arroyos Saladillos”. Informe Inédito Sector Recuperación de Tierras.
5. CAMMISI N., SANGUINETTI J., 1985. “Imágenes Landsat en Estudios Fisiográficos (Región Río Paraná Medio”. V Congreso Nacional de Fotogrametría y I Reunión Latinoamericana de Consulta, Comisión VII.

6. CHOW V.T., MAIDMENT D. y MAYS L., 1995. "Hidrología Aplicada". Mc. Graw Hill Interamericana S.A., Bogotá.
7. DISKIN M. H., 1969. "On the Computer Evaluation of Thiessen Weights". Journal of Hydrology 11: p. 69 - 78.
8. DOORENBOS J., PRUITT, W. O., 1976. "Las Necesidades de Agua de los Cultivos", Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Estudio FAO N°24, Roma.
9. FILI M. F., DÍAZ E. L., TUJCHNEIDER O. C., 1°992. "Un Sistema Complejo: Área de Los Saladillos, Valle Aluvial del Paraná Medio – Argentina", XV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Memorias 1, p. 619,630.
10. INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA – MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA DE LA PROV. DE SANTA FE –, 1983. "Mapa de Suelos de la Provincia de Santa Fe", Tomos I y II.
11. KOHLER M. A., 1949. "Double Mass Analysis for Testing the Consistency of Records and for Making Required Adjustments", Bull. Am. Meteorol. Soc., vol.30.
12. SECRETARÍA DE ENERGÍA – MINISTERIO DE ECONOMÍA, OBRAS Y SERVICIOS PÚBLICOS, 1994. "Estadística Hidrológica", confeccionada por Evaluación de Recursos Sociedad Anónima, Tomo I.
13. WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1983. "Guide to Hydrological Practices", Volume II, Analysis, Forecasting and Other Applications.
14. SCHULZ E. F., 1989. "Problems in Applied Hydrology". Water Resources Publications.
15. TUCCI C.E.M., 1993. "Hidrologia, Ciência e Aplicação". Ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

16. TUCCI C.E.M., 1998. "Modelos Hidrológicos". Ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

8. ÍNDICE DE TABLAS, FIGURAS, PLANOS

8.1. TABLAS

1. Alturas hidrométricas y caudales registrados para las fechas de captura de las imágenes satelitales (año 1997/98).
2. Datos generales de las imágenes satelitales resultantes del tratamiento digital de las imágenes LANDSAT-TM.
3. Caudales máximo medio diario, mínimo medio diario y medio anual del A° Saladillo Amargo en Ruta Prov. N°281-S (período 1953/97).
4. Caudales máximo medio diario, mínimo medio diario y medio anual del A° Saladillo Dulce en Ruta Prov. N°281-S (período 1953/97).
5. Precipitaciones anuales medias areales Sistema Saladillos (período 1933/1997).
6. Precipitaciones anuales de las estaciones para los eventos de calibración (1997/98) y de verificación (1972/73).
7. Análisis probabilístico de precipitaciones anuales medias areales Sistema Saladillos (período 1933/97).
8. Cálculo de las precipitaciones anuales de las estaciones para la Tormenta de Diseño (distintas recurrencias).

8.2. FIGURAS

1. Ubicación del área de estudio y estaciones de medición.
2. Precipitaciones y caudales medios mensuales en Ruta Prov. N° 281-S del Sistema Saladillos.
3. Mapa de isohietas evento de calibración (año 1997/98).
4. Mapa de isohietas evento de verificación (año 1972/73).
5. Precipitación, evapotranspiración potencial y caudal mensuales del evento de

calibración (año 1997/98).

6. Precipitación, evapotranspiración potencial y caudal mensuales del evento de verificación (año 1972/73).
7. Análisis probabilístico de precipitaciones anuales medias areales Sistema Saladillos (período 1933/1997).
8. Distribución temporal de la Tormenta de Diseño.

8.3. PLANOS

- 1-A. Dinámica Hídrica Superficial Sector Centro-Sur del Sistema Saladillos. Imagen satelital de fecha 02/12/97. Escala 1:100000.
- 1-B. Dinámica Hídrica Superficial Sector Centro-Norte del Sistema Saladillos. Imagen satelital de fecha 02/12/97. Escala 1:100000.
 1. Imagen satelital de fecha 19/01/98. Escala 1:200000.
 2. Imagen satelital de fecha 28/06/98. Escala 1:200000.
- 4-A. Base cartográfica digitalizada Sector Centro-Sur. Escala 1:100000.
- 4-B. Base cartográfica digitalizada Sector Centro-Norte. Escala 1:100000.
5. Dinámica Hídrica Superficial Sistema Saladillos. Informe de Avance. Escala 1:250000.