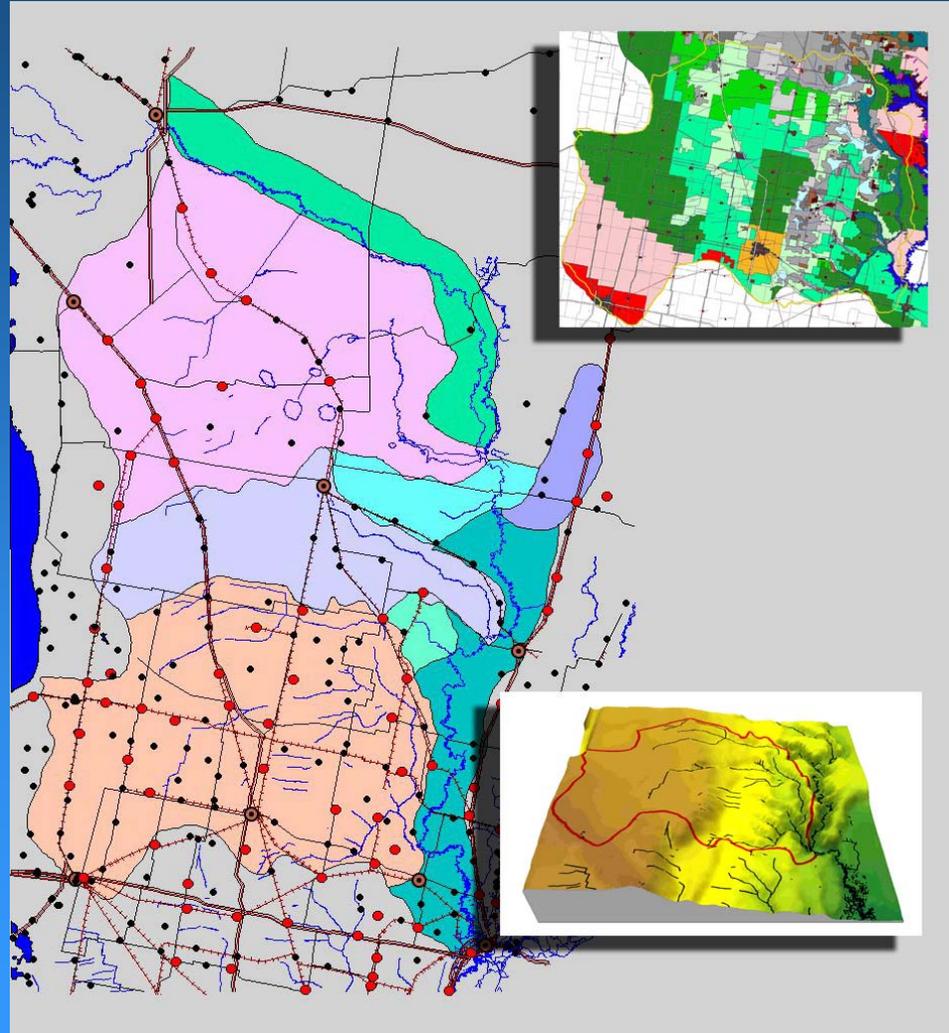
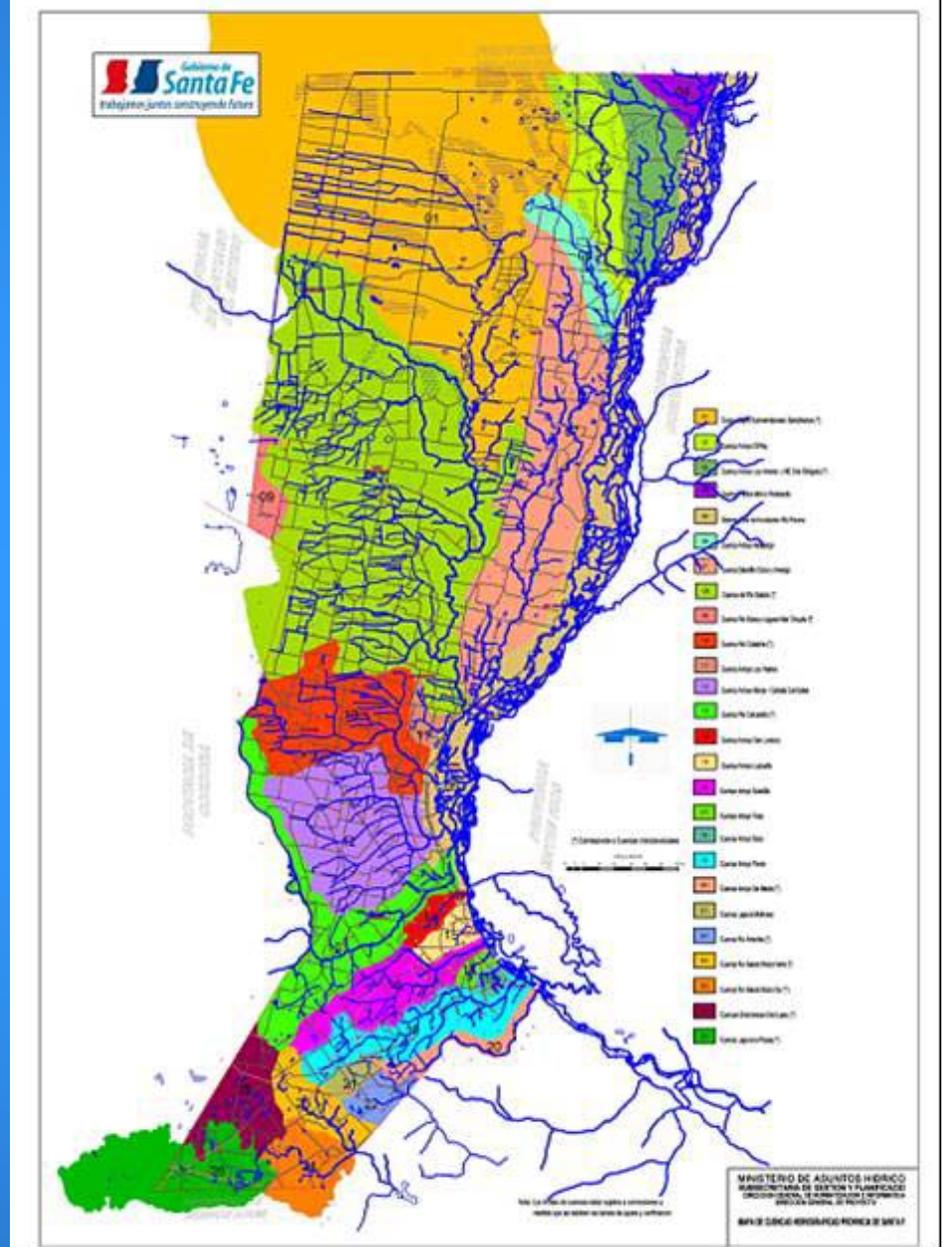
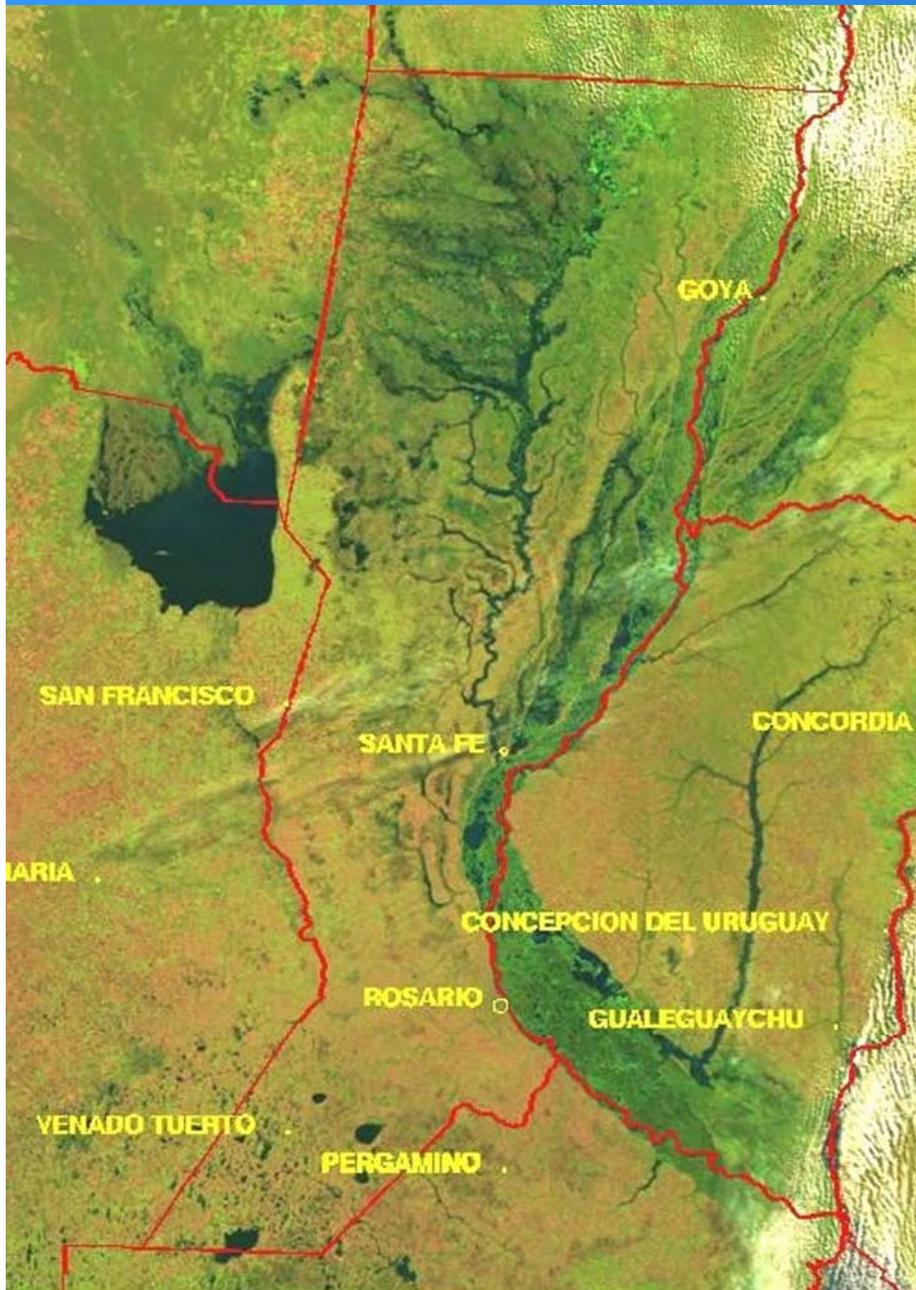


INFLUENCIA DE LOS CAMBIOS FÍSICOS Y CLIMÁTICOS EN EL RÉGIMEN DE ESCURRIMIENTO DEL RIO SALADO



Provincia de Santa Fe- INA-INTA-UNL – Año 2007

CUENCAS HIDRICAS DE LA PROVINCIA DE SANTA FE



OBJETIVOS DEL ESTUDIO

PRIMERO

Evaluar la incidencia de los cambios físicos producidos en la cuenca inferior del río Salado sobre el régimen de escurrimiento del río, debido al efecto de obras de drenaje y a partir de modificaciones en el uso del suelo

Efecto de canalizaciones

Deforestación

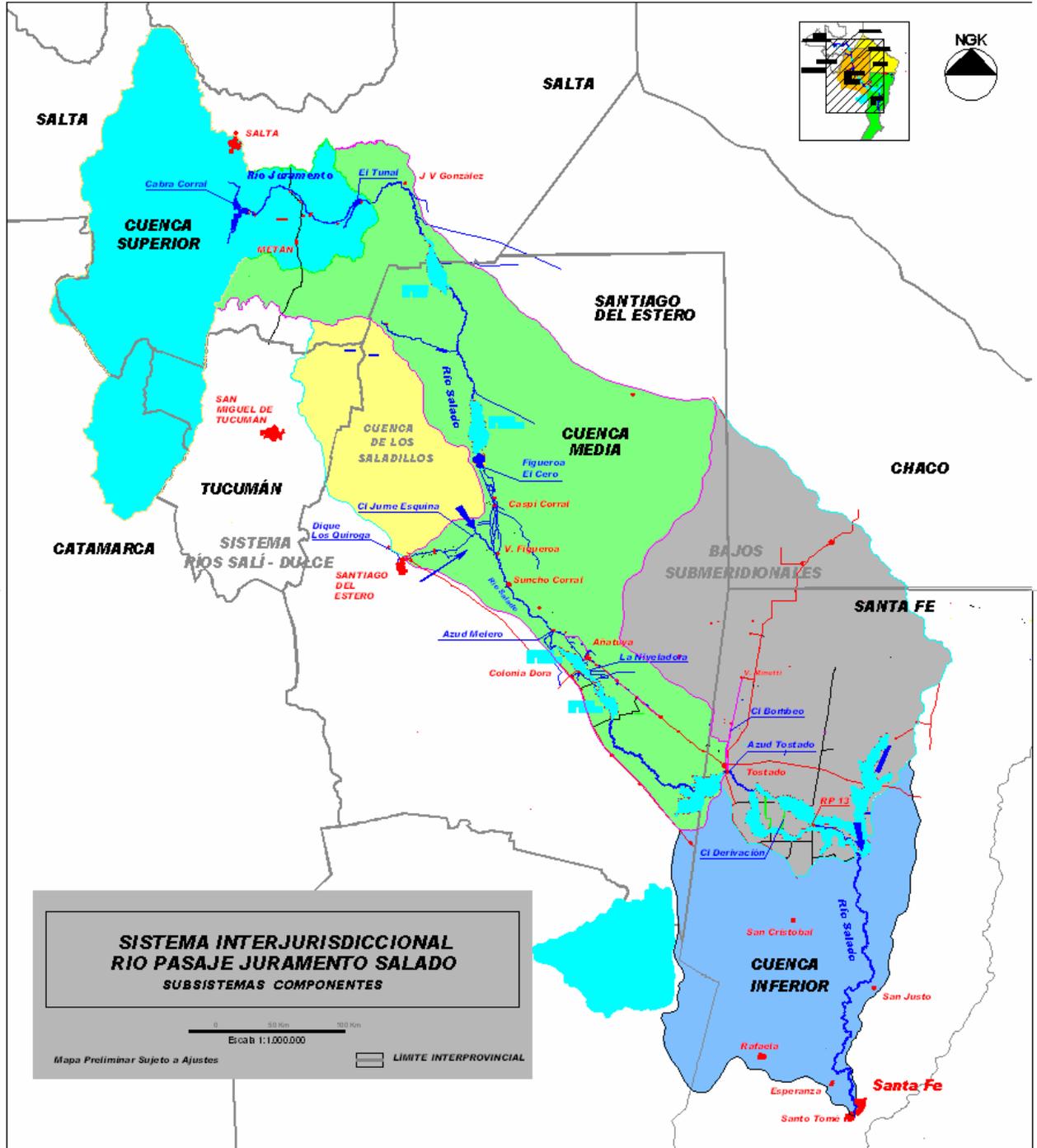
Agriculturización

SEGUNDO

Determinar la influencia de incremento del régimen de precipitaciones sobre los niveles freáticos y caudales del río Salado

TERCERO

Analizar posibles respuestas del régimen del río Salado ante distintos escenarios hipotéticos de cambios físicos y climáticos, y la incidencia relativa de cada uno



**SISTEMA INTERJURISDICCIONAL
RIO PASAJE JURAMENTO SALADO
SUBSISTEMAS COMPONENTES**

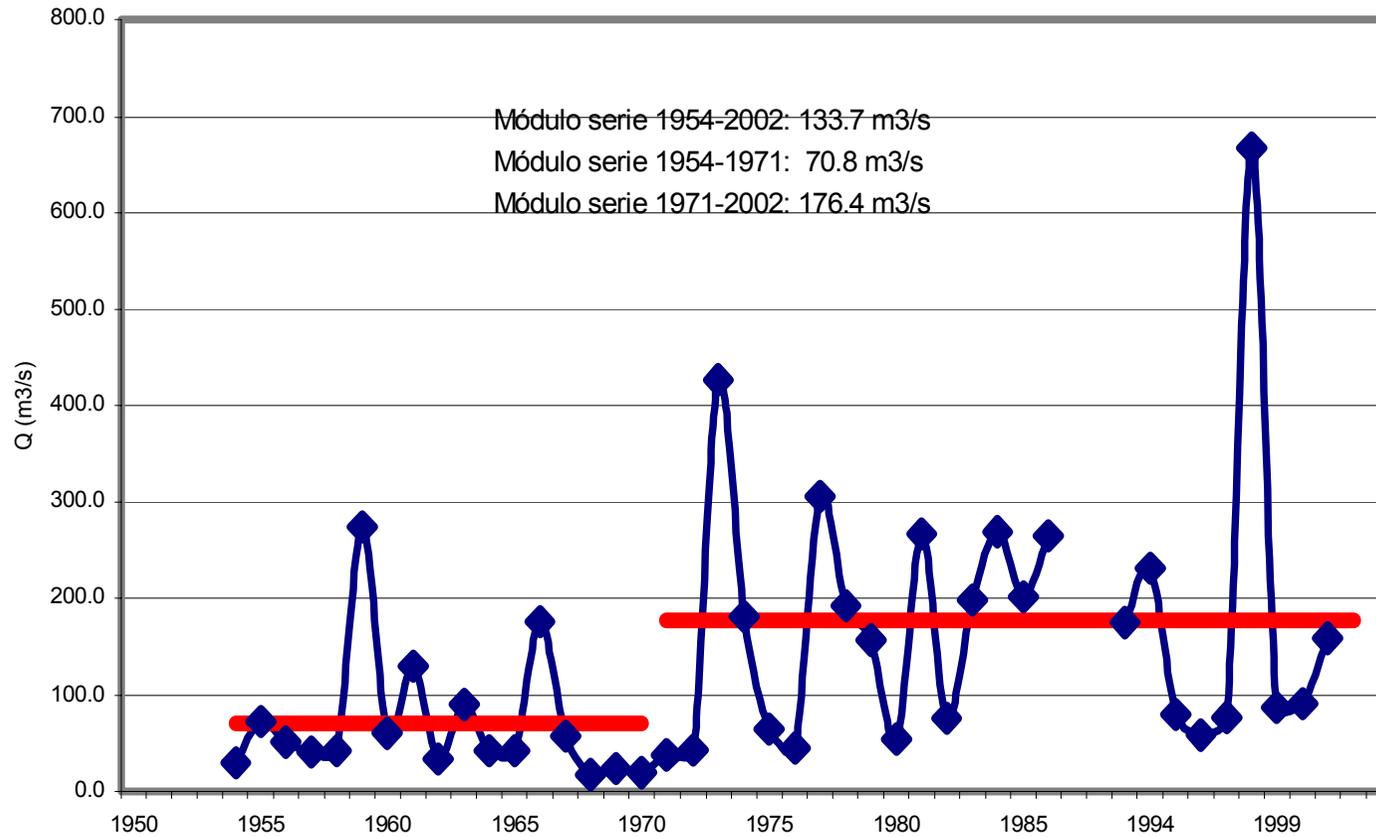
0 50 km 100 km
Escala 1:1.000.000

Mapa Preliminar Sujeto a Ajustes ▬▬▬ LIMITE INTERPROVINCIAL

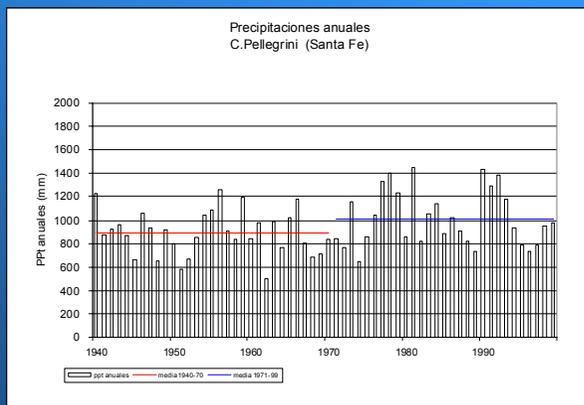
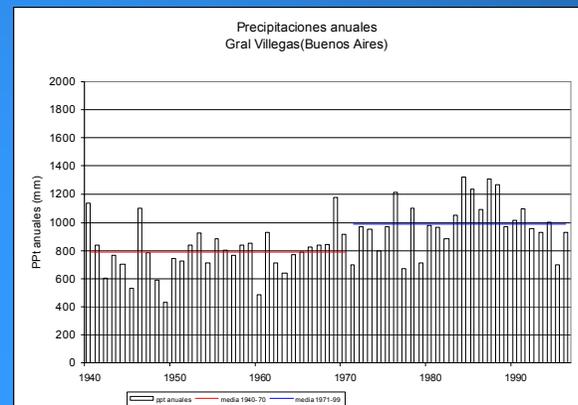
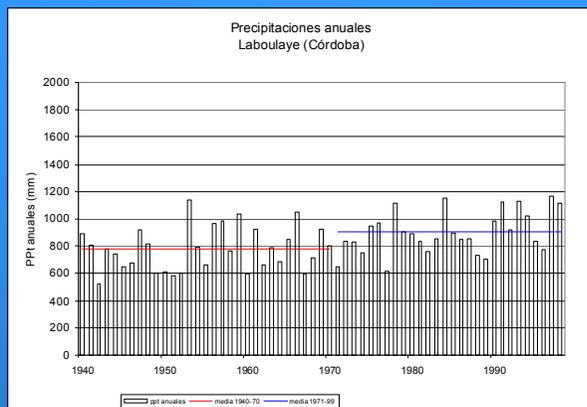
Regimen hidrico

Rio Salado -Ruta 70

Caudales medios anuales

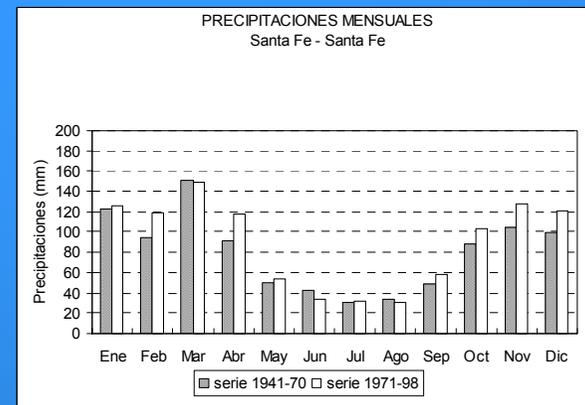
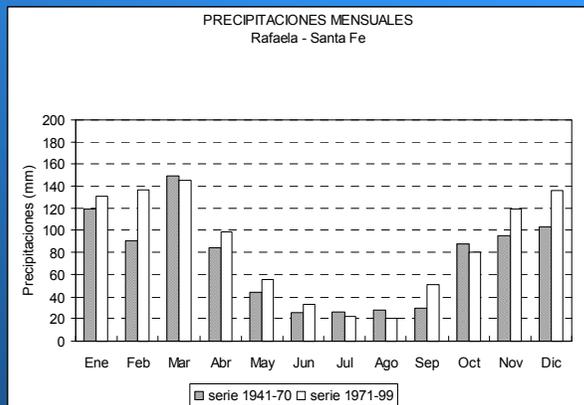
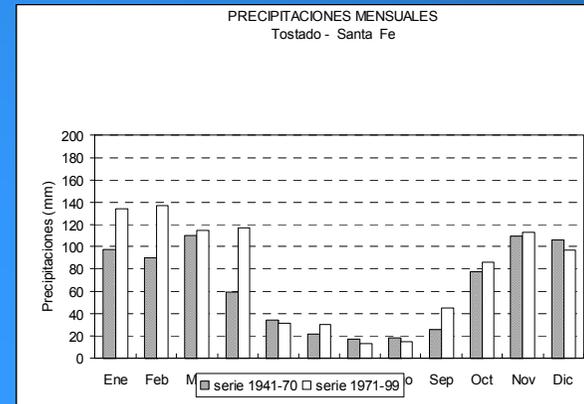
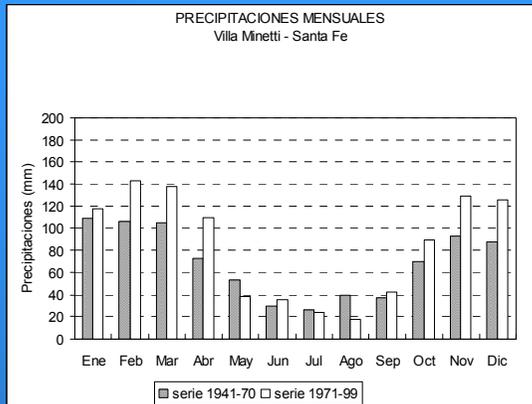


DISTRIBUCION PRECIPITACIONES ANUALES:

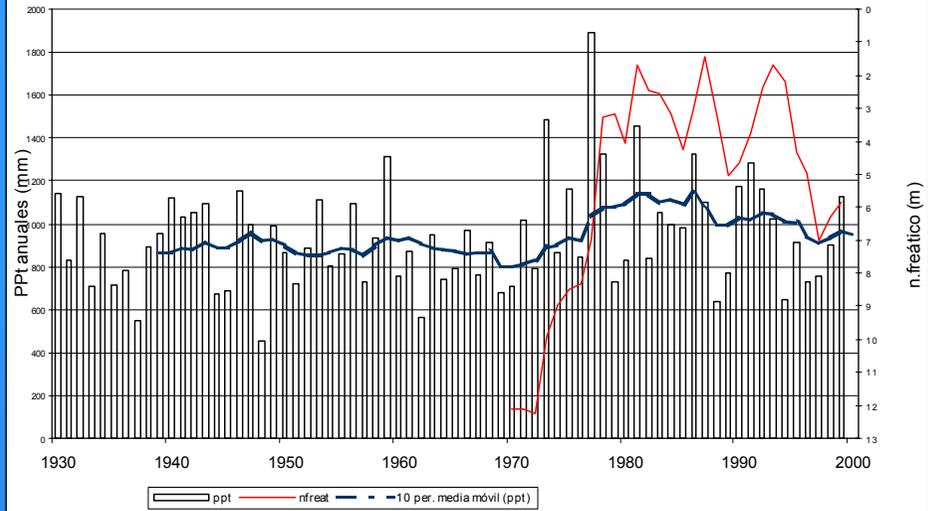


| | Ppt media anual (mm) | | |
|------------|----------------------|---------|--------------|
| | 1940/70 | 1971-99 | Incremento % |
| V. Minetti | 830 | 1009 | 22 |
| Tostado | 769 | 935 | 22 |
| Rafaela | 890 | 1032 | 16 |
| Santa Fe | 958 | 1069 | 12 |
| Pellegrini | 891 | 1015 | 14 |
| Laboulaye | 779 | 901 | 16 |

DISTRIBUCION PRECIPITACIONES MENSUALES

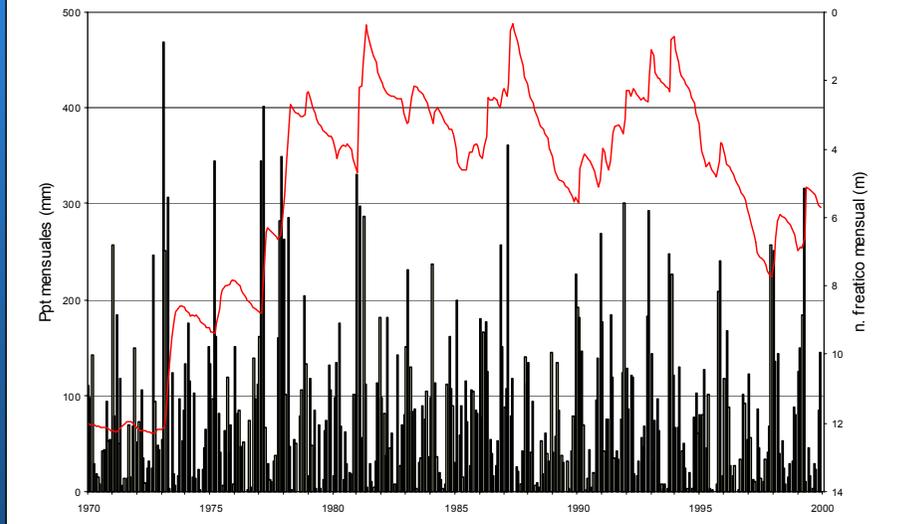


Relación precipitación - n.freático
Rafaela (Santa Fe)



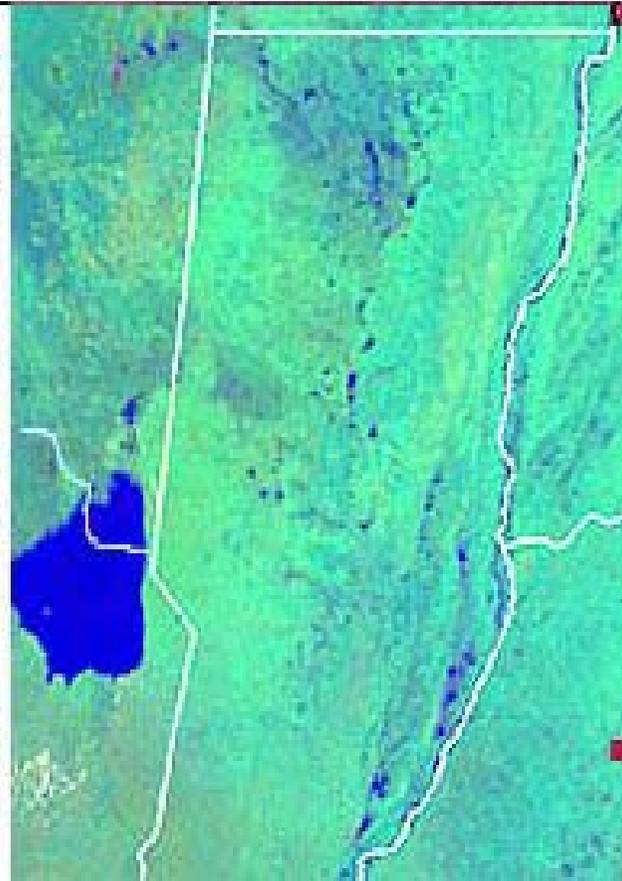
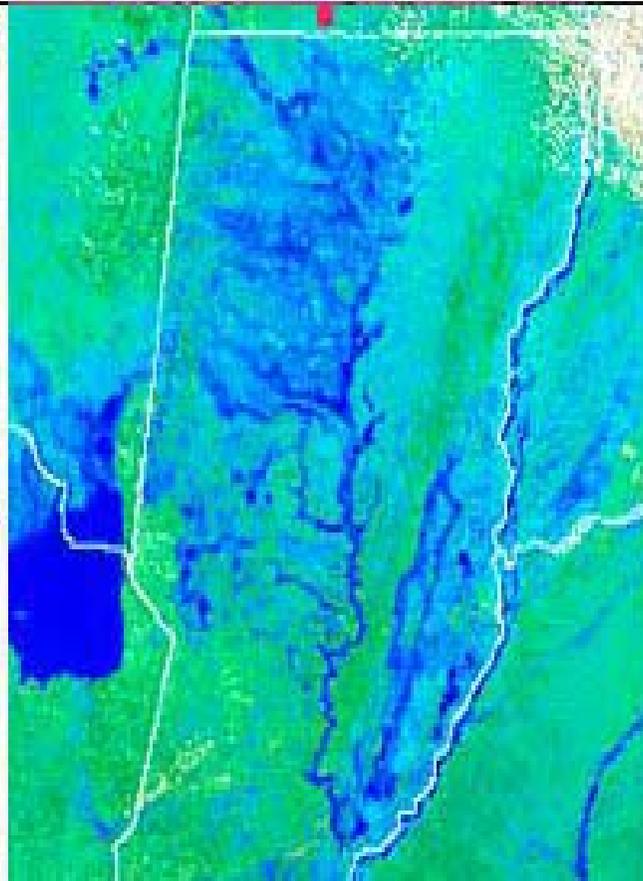
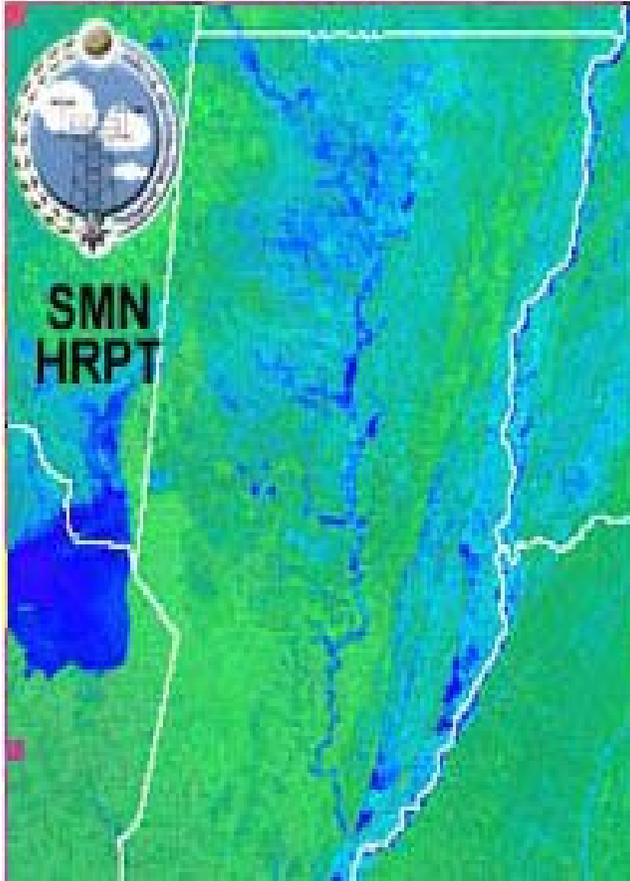
VARIACION ANUAL Y MENSUAL DE LOS NIVELES FREATICOS

Relación precipitación - niveles freaticos
Rafaela (Santa Fe)





SMN
HRPT



ÁREA DE MODELACION HIDROLOGICA

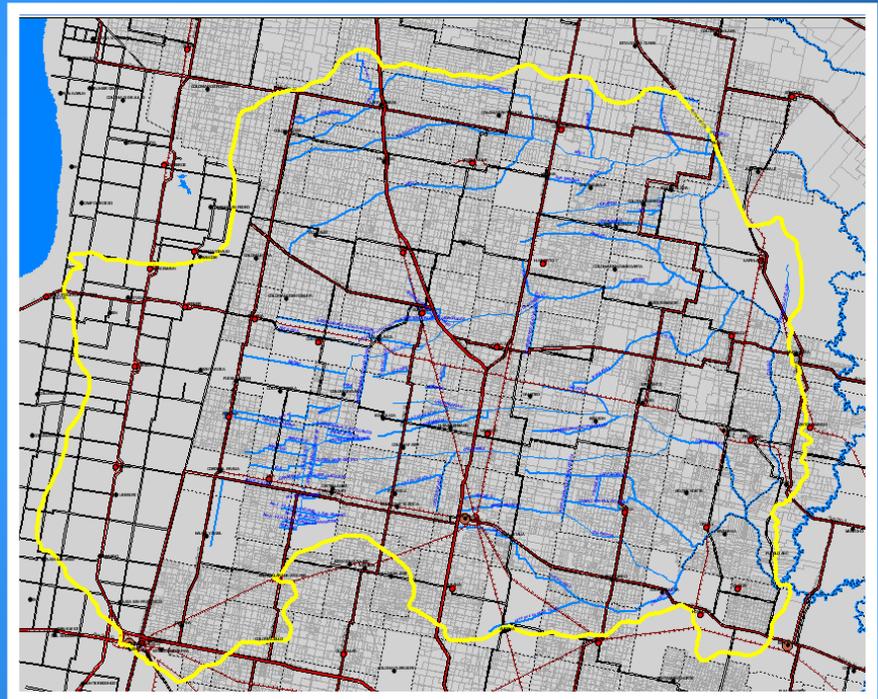
CUENCA RIO SALADO



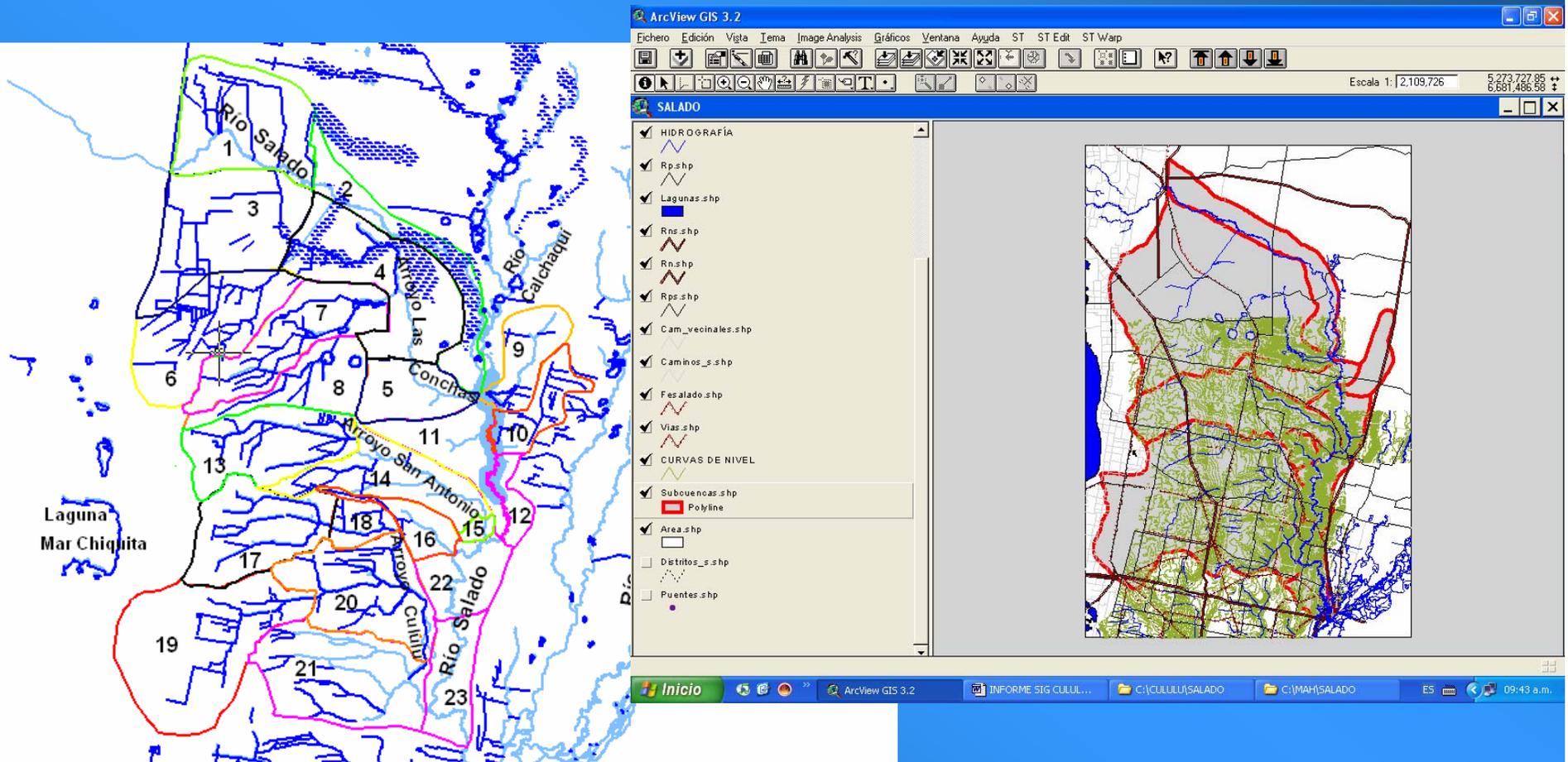
C:\BALADO\CUENCA SALADO APR
VISTA: INFORME\INA
MAPA: PLANO 1



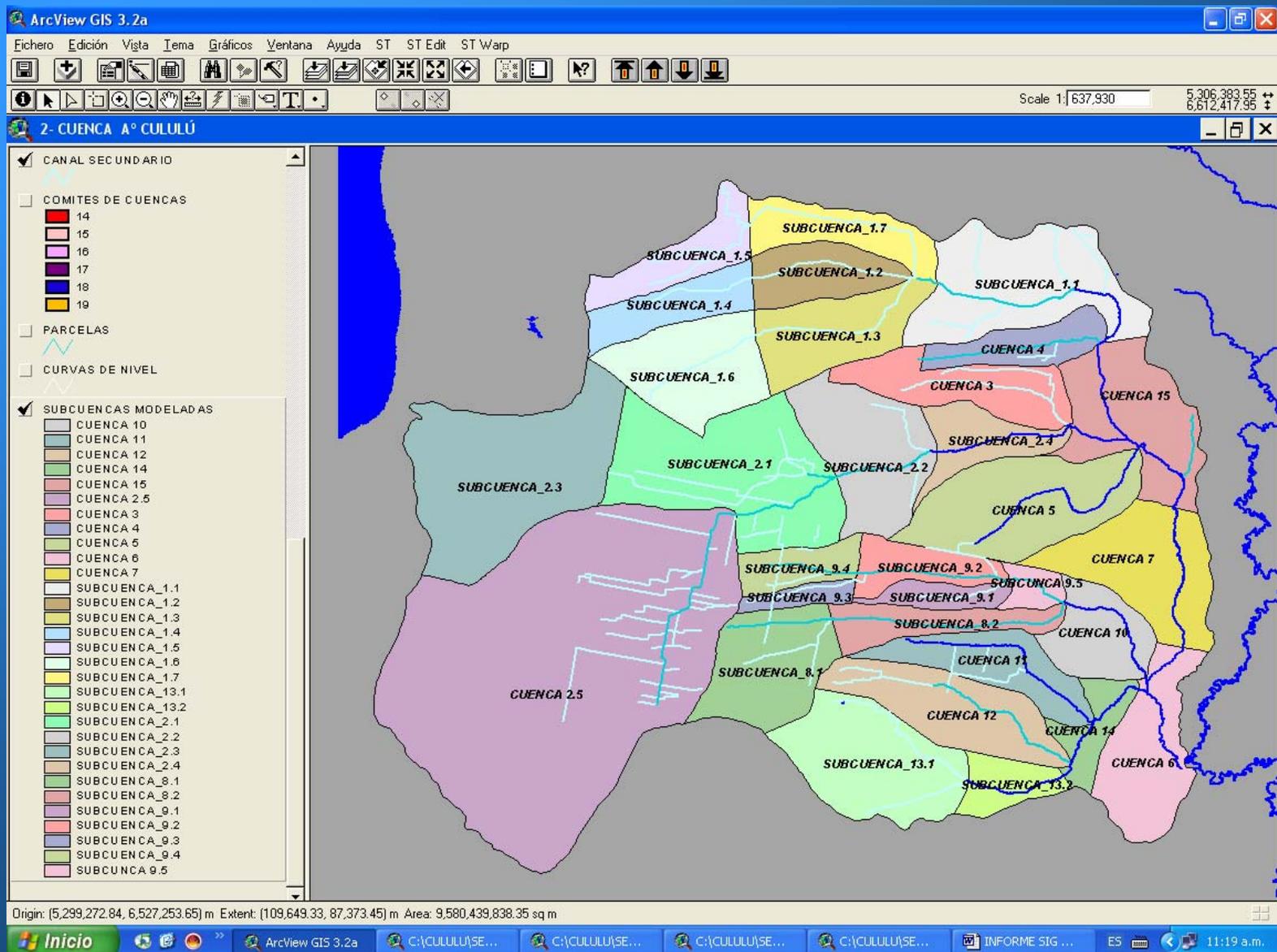
CUENCA ARROYO CULULÚ



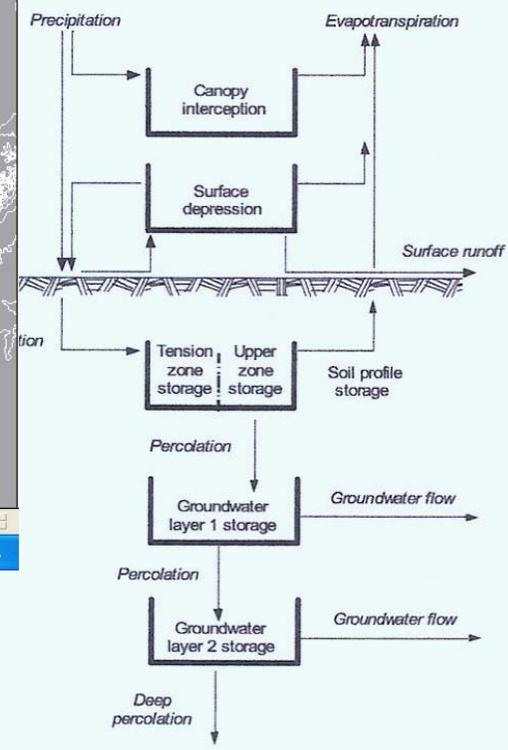
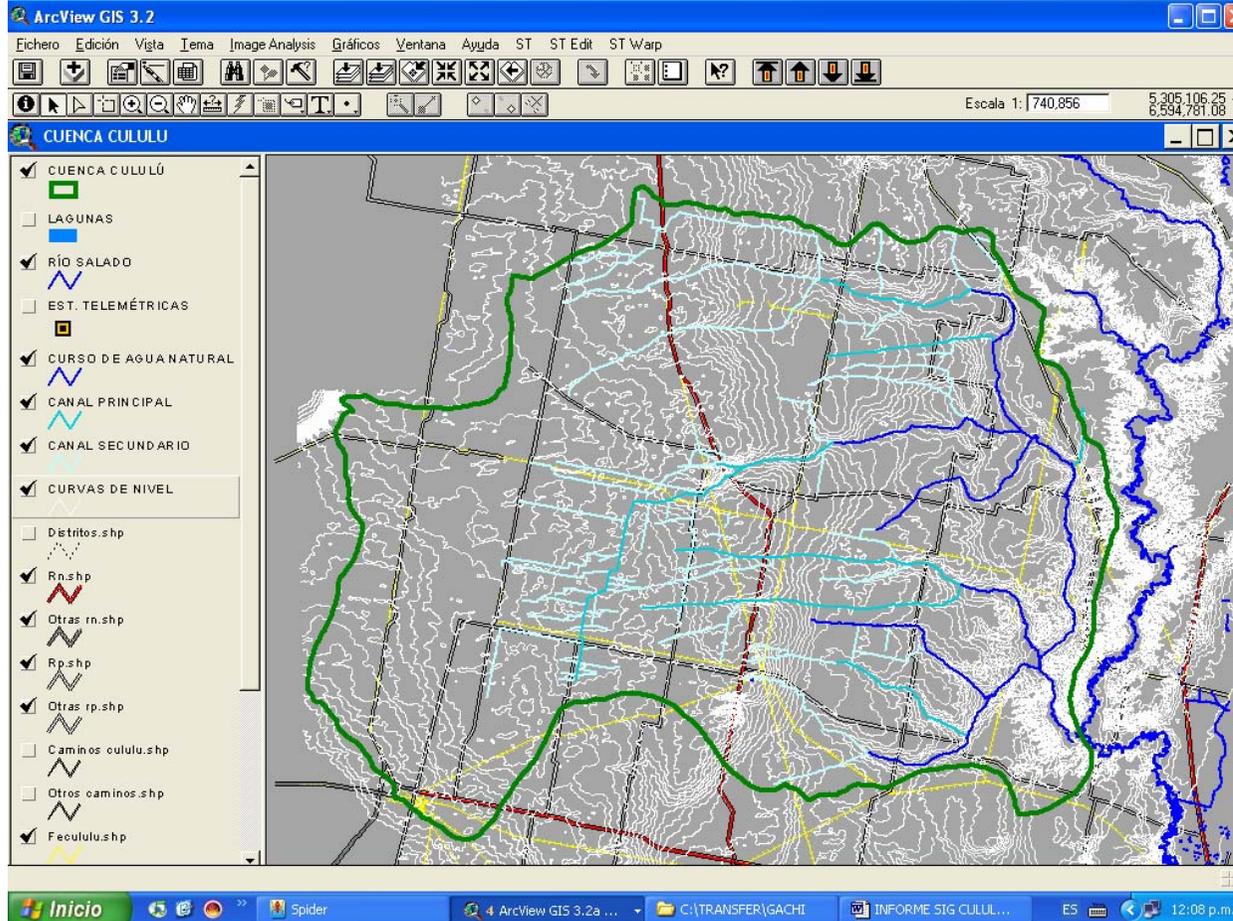
Discretización para la modelación hidrológica



SUBCUENCAS MODELADAS A° CULULÚ

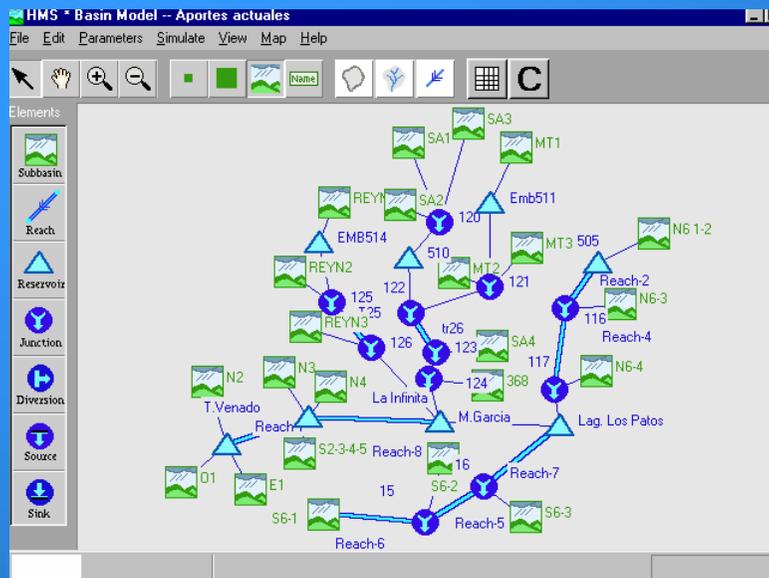


Cuenca Rio Salado- Subcuenca A. Cululú

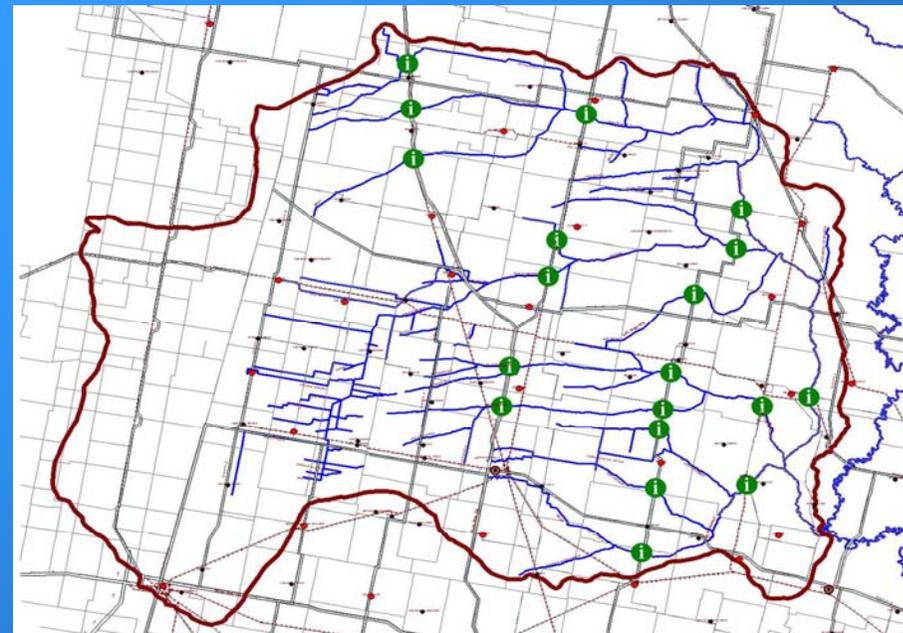
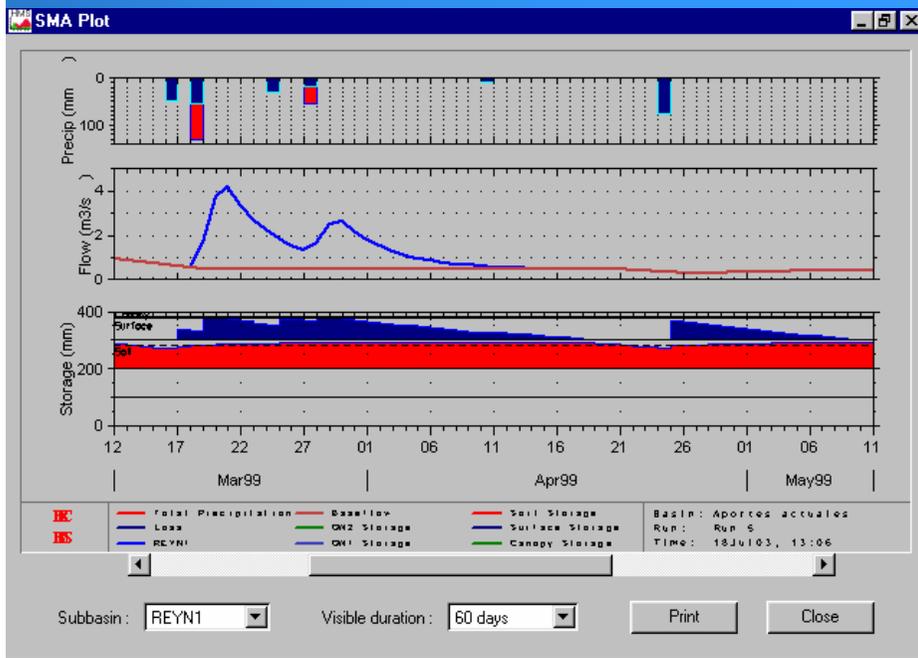


Modelo utilizado HEC HMS: Soil moisture account (SMA)

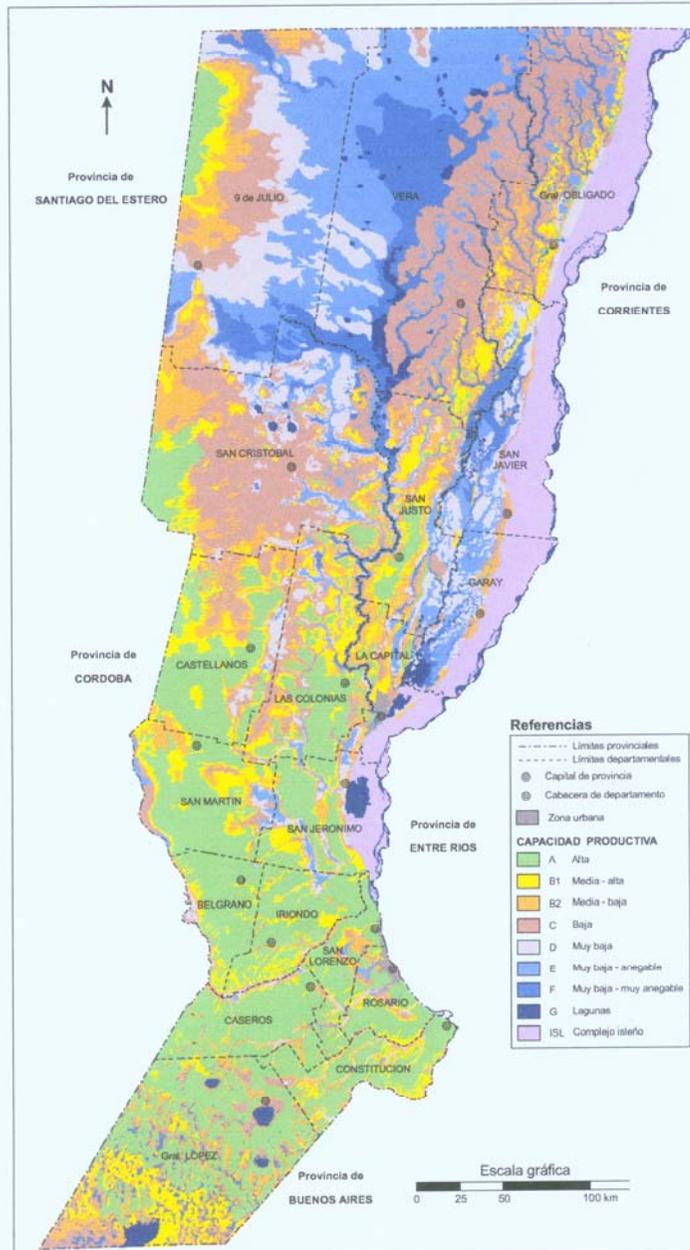
Resultados HEC HMS



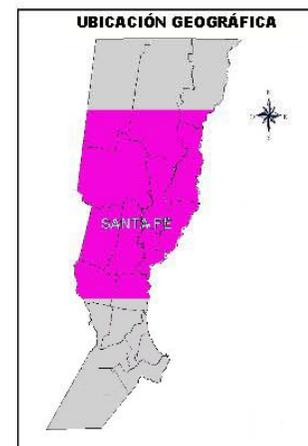
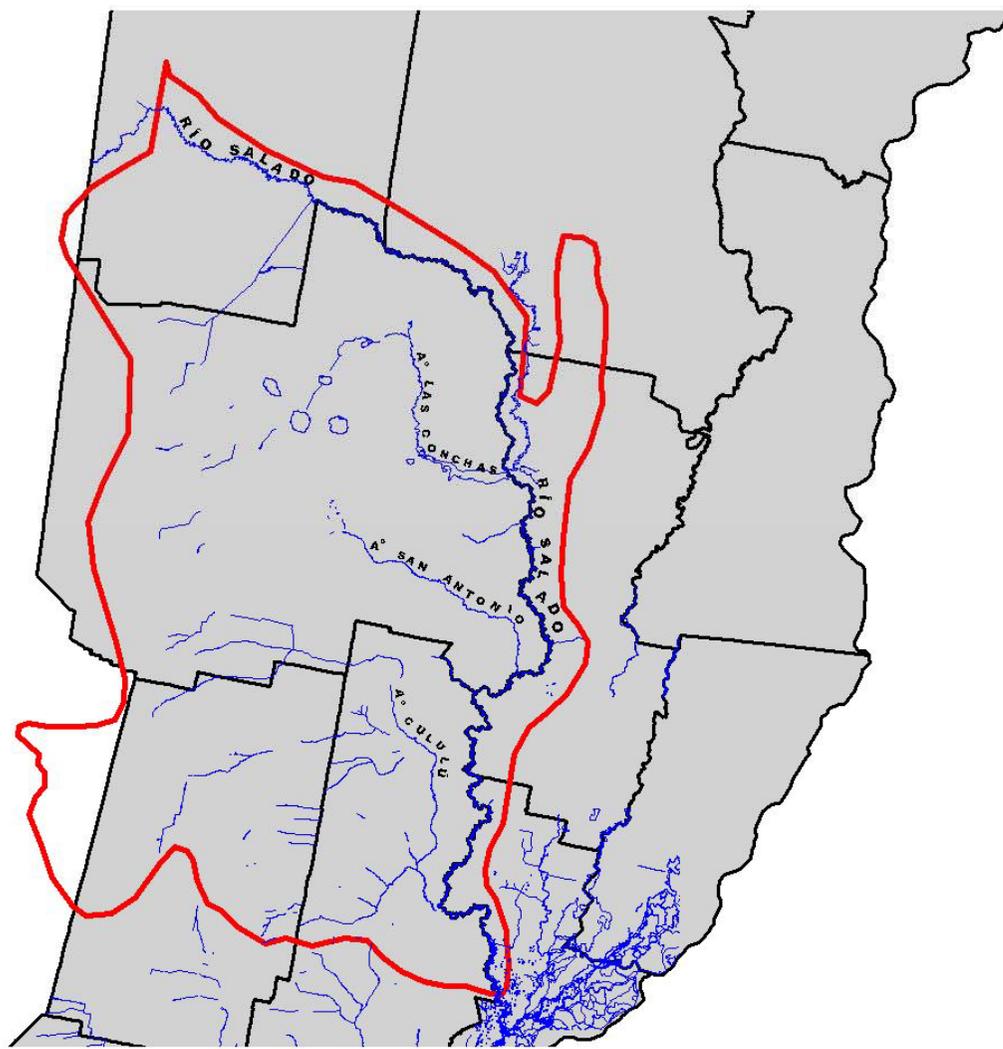
Secciones de control



PROVINCIA DE SANTA FE
CAPACIDAD PRODUCTIVA DE LAS TIERRAS PARA USO AGRICOLA



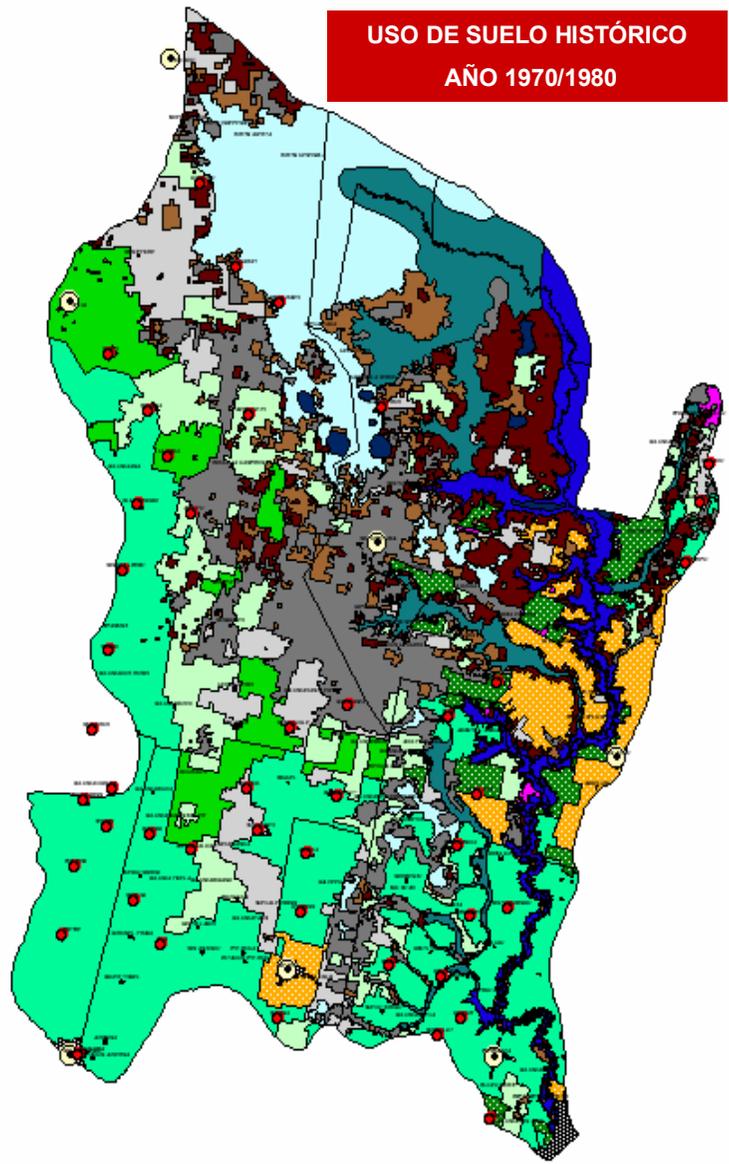
**Mapa de
capacidad
productiva de las
tierras para uso
agrícola**



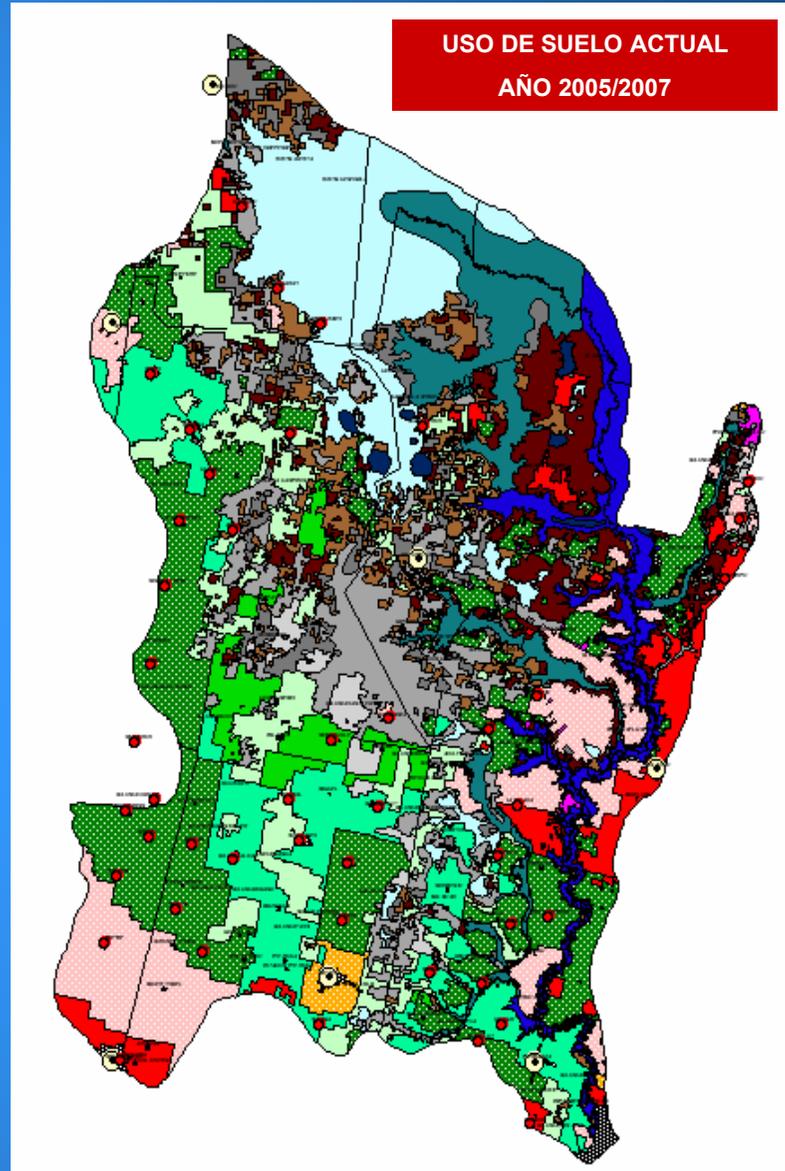
**PROVINCIA DE SANTA FE
CUENCA INFERIOR RÍO SALADO**

USO DE SUELOS

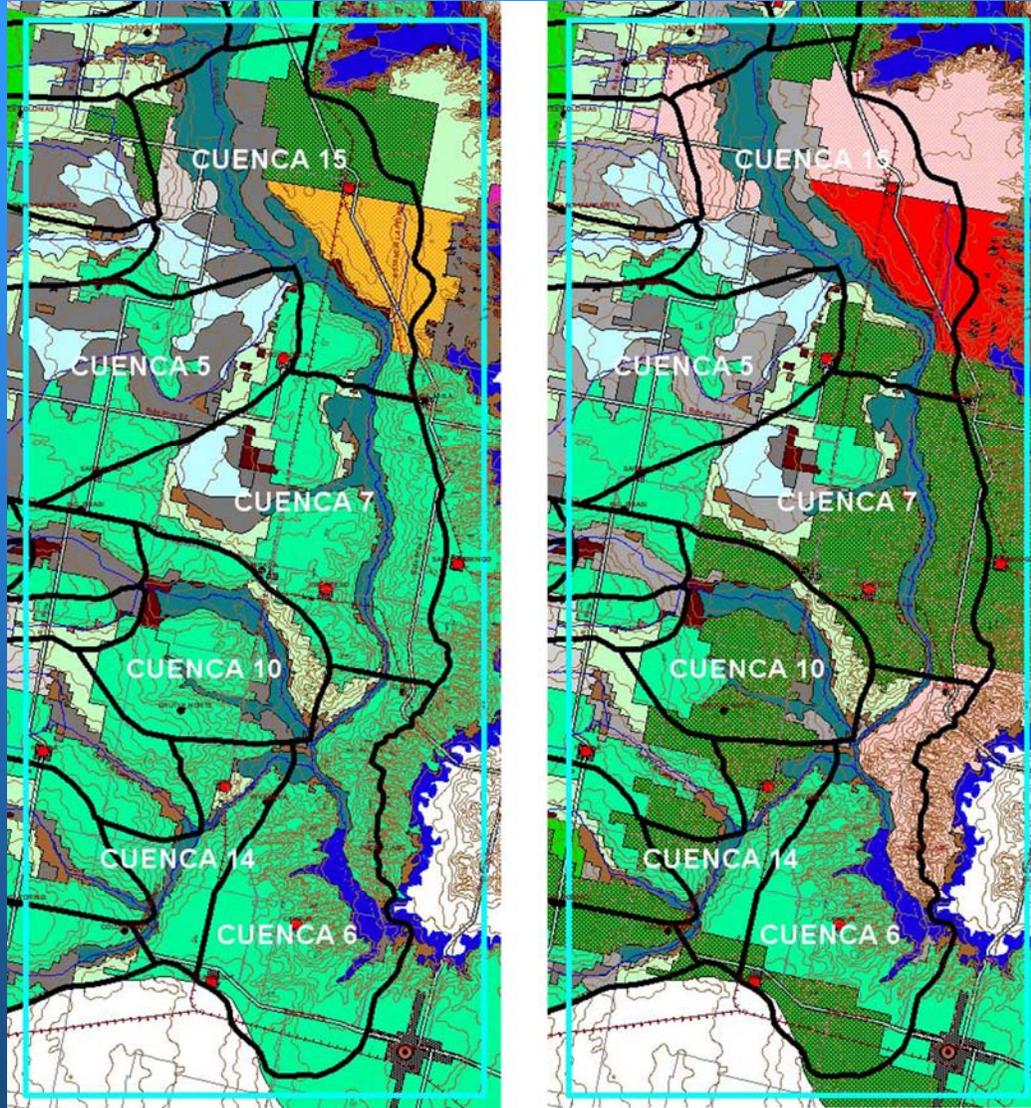
USO DE SUELO HISTÓRICO
AÑO 1970/1980



USO DE SUELO ACTUAL
AÑO 2005/2007



Aporte directo al cauce del A. Cululú, C15, C7, y C6: 1080 km², (11% de la superficie total) contribuyen en 40 % del QP en la desembocadura del Cululú

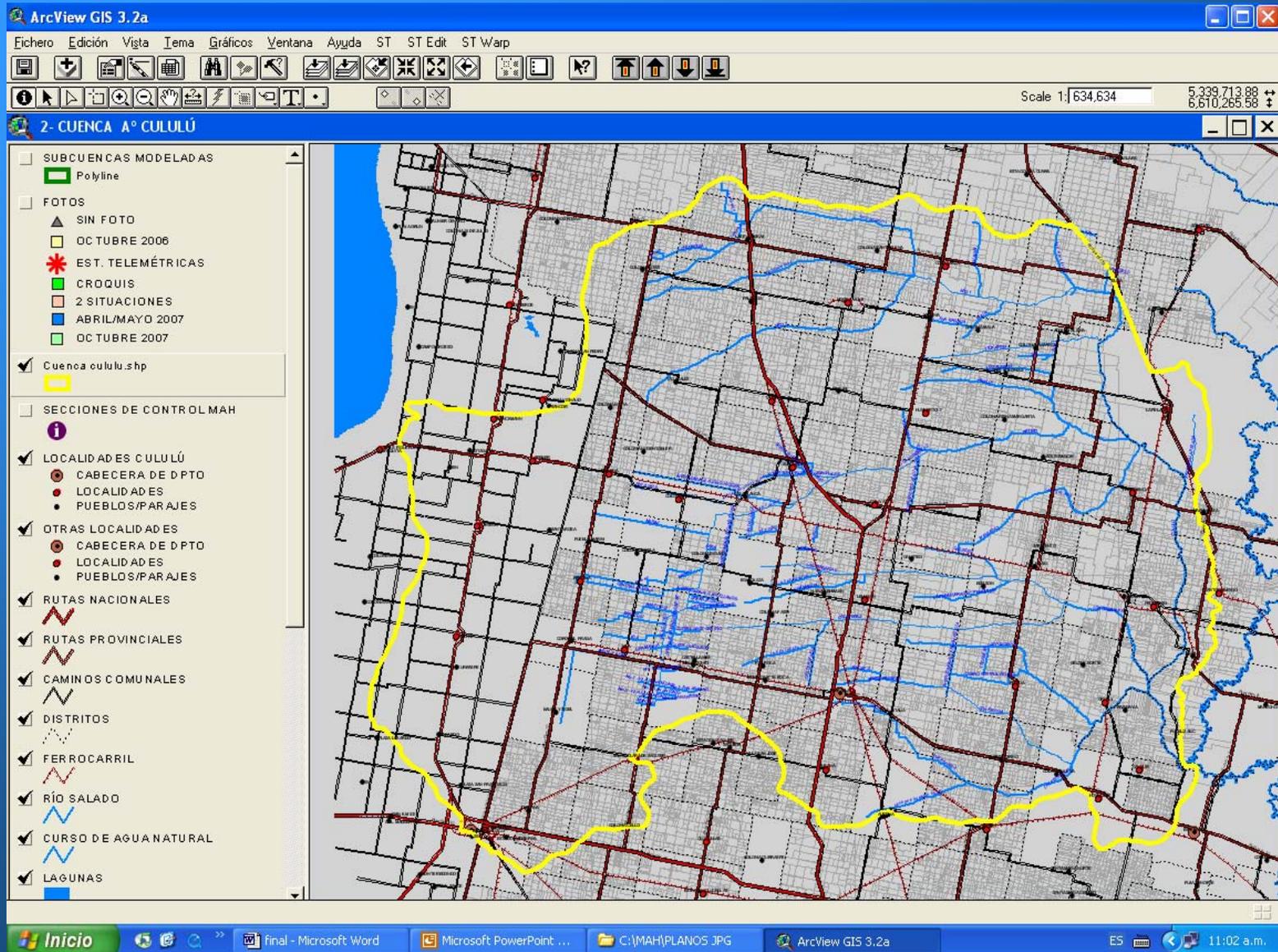


Cambios de uso actual de las tierras se traduce en incrementos de caudales en un rango de 12-24 % en relación al periodo 1970-80

RED VIAL Y FERROVIARIA – DISTRITOS Y LOCALIDADES

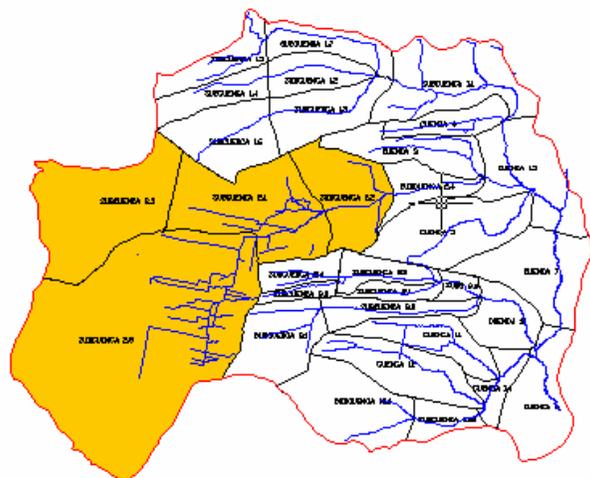
RED HIDROGRÁFICA – DIVISIÓN PARCELARIA

CUENCA A° CULULÚ



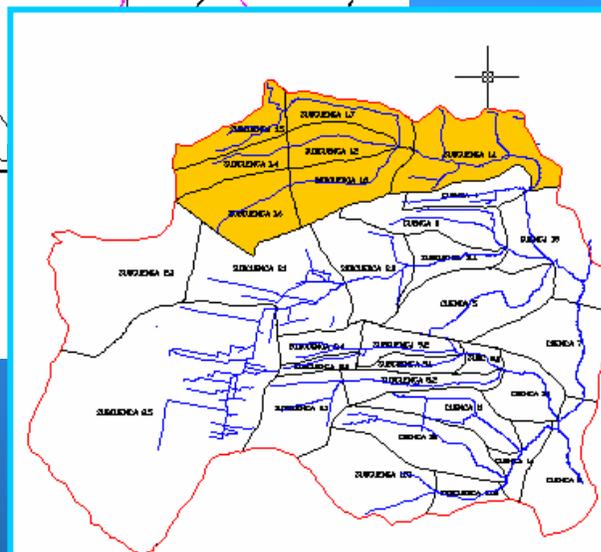
Influencia de la red de canales

| | Area (km ²) | Long. red de drenaje | Densidad drenaje (km/km ²) | Cota máxima Cota mínima | ΔH | Pendiente ponderada (m/km) |
|----------------|----------------------------|----------------------------|--|-------------------------------|------------|----------------------------------|
| Subcuenca 1.1. | 464.3 | 79.7 | 0.17 | 80.0-47.5 | 32.50 | 0.7736 |
| Subcuenca 1.2. | 179.26 | 25.15 | 0.14 | 93.75-72.5 | 21.25 | 0.7084 |
| Subcuenca 1.3. | 262.97 | 28.8 | 0.11 | 95.0-70.0 | 25.00 | 0.7803 |
| Subcuenca 1.4. | 162.44 | 17.6 | 0.10 | 98.75-92.5 | 6.25 | 0.2373 |
| Subcuenca 1.5. | 175.31 | 38.8 | 0.22 | 97.5-92.5 | 5.00 | 0.1700 |
| Subcuenca 1.6. | 309.75 | 20.0 | 0.06 | 98.75-93.75 | 5.00 | 0.2195 |
| Subcuenca 1.7. | 186.45 | 33.6 | 0.18 | 93.75-70.0 | 22.50 | 0.6005 |



CUENCA SALADO INFERIOR

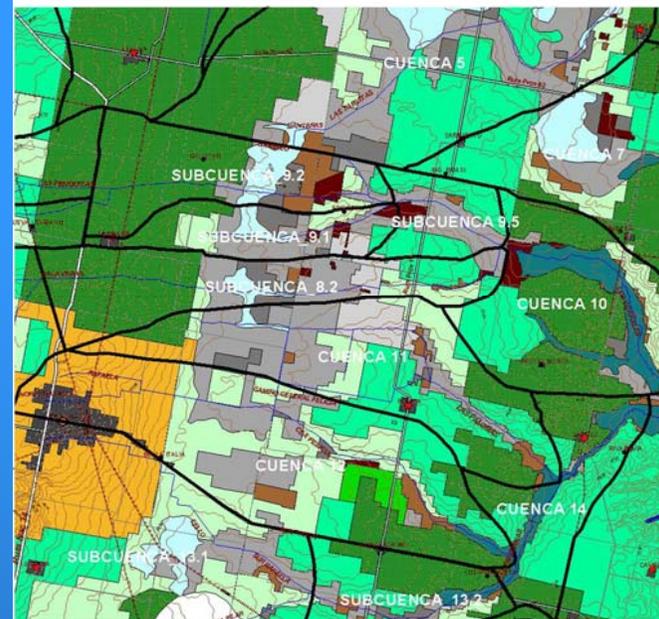
CUENCA CULULU



CUENCA DEL CULULU

CUENCA SALADO INFERIOR

La red de canales secundarios y terciarios y caminos con desarrollo oeste, dan lugar a que esta zona que naturalmente fue de almacenamiento de los excedentes hídricos superficiales actualmente estén conectados a la red hídrica natural (A. Las Prusianas. Cañada Felicia, A. Las Palomas, A Los Corrales)



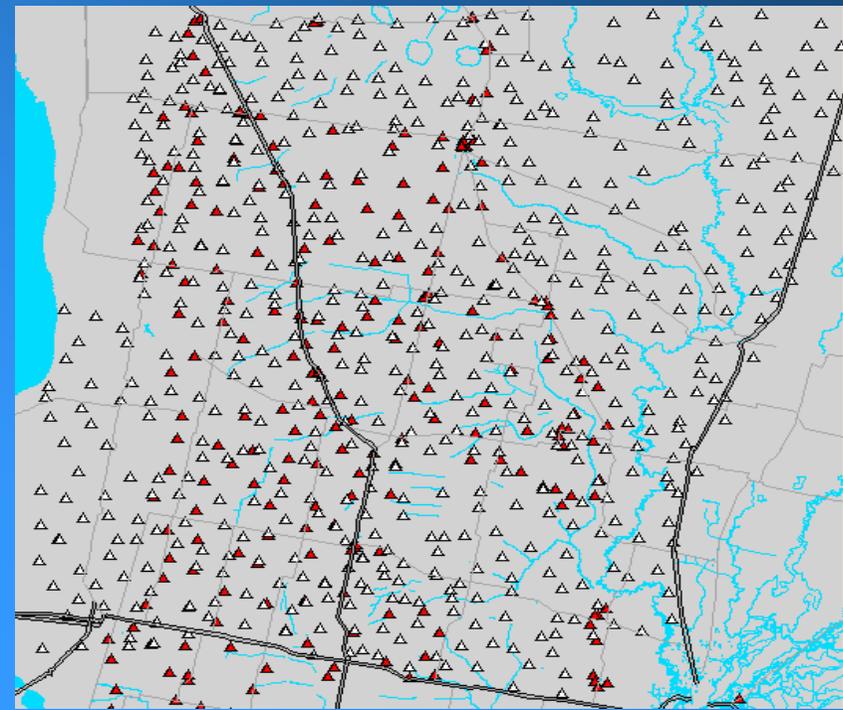
El incremento de la escorrentía es gravitante para eventos de recurrencias menores a 10 años que son los que la red de caminos y canales puede conducir. Para situaciones extremas como la del año 2003, en que la capacidad de conducción de dichas obras es ampliamente sobrepasada, la franja entre ruta 10 y 13 actúa como un embalse retardador.

Para un evento hidrológico con precipitaciones de 72 hs y 186 mm (Tr del orden 10 años), el contraste de los escenarios 1970-80 con el actual da como resultado que los caudales a la salida de la cuenca por cambios en el uso de los suelos, se incrementan de 760 a 850 m³/seg, es decir un 11%.

sequias

CENSO DE POZOS

AÑO 1981: 560 POZOS
AÑO 2000: 730 POZOS

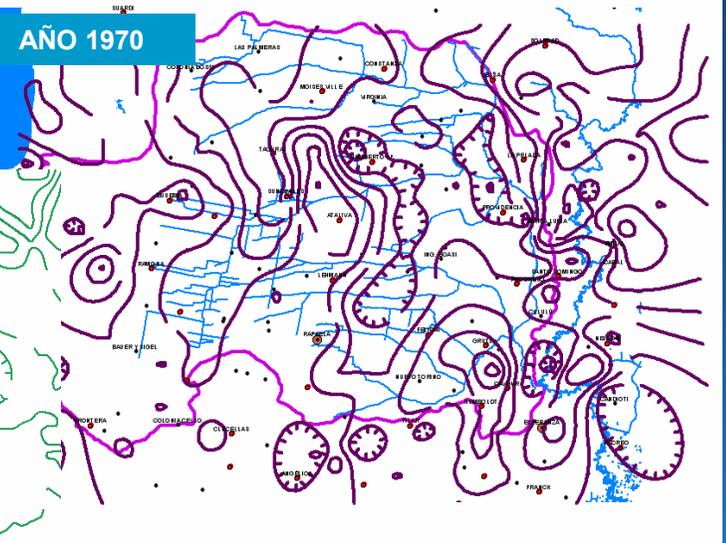


Atributos de CENSO 1981

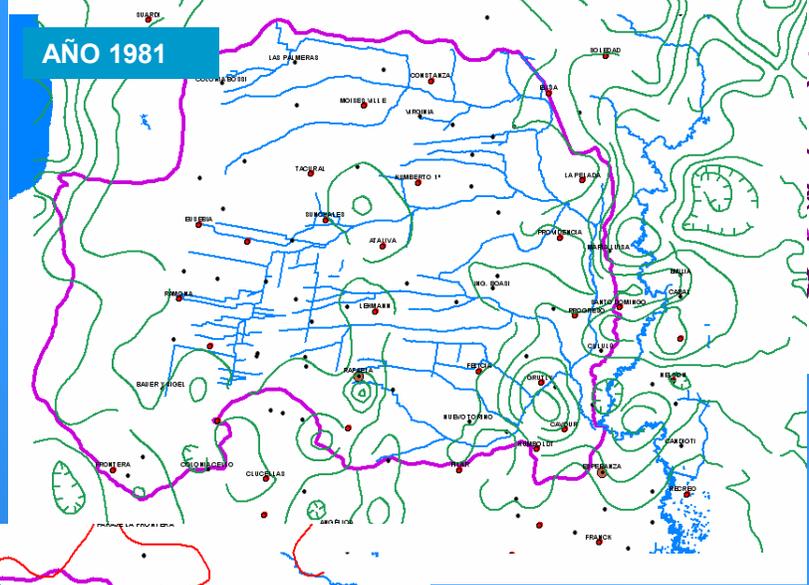
| ID | CA | Pozo | Propietari | E | N | Y | X | M | M | M | D-m-aa | M | M | §c | Mts/cen | Nombre | Nº | Fecha | Cota sup | Prof. agua | Nivel agua | Conductivi | 81-2 | |
|----|----|-------|-----------------|---------|---------|---------|---------|------|------|------|----------|-------|--------|----|---------|------------|------|--------|----------|------------|------------|------------|-------|-----|
| 1 | C | C177 | Sordiro | 4617970 | 6529900 | 6529013 | 5332472 | 6.44 | 0.10 | 6.34 | 30-Oct-8 | 105.1 | 98.76 | 25 | 3001 | Sta. C. de | 1109 | 720615 | 105 | | | 8000 | 98 | |
| 2 | C | C184 | NN | 4605530 | 6526960 | 6525734 | 5320114 | 1.85 | 0.15 | 1.70 | 30-Oct-8 | 103.0 | 101.30 | 24 | | Sta. C. de | 1109 | 720616 | 104 | 9.80 | 94 | | 4950 | 7 |
| 3 | C | C187 | Calvo | 4596900 | 6531150 | 6529688 | 5311371 | 2.77 | 0.28 | 2.49 | 30-Oct-8 | 104.0 | 105.51 | 22 | 3001 | Sta. C. de | 1109 | 720616 | 104 | | | | 4200 | 105 |
| 4 | C | C199 | Pinia | 4609460 | 6524180 | 6523061 | 5324120 | 1.31 | 0.00 | 1.31 | 30-Oct-8 | 105.9 | 104.59 | 24 | | Sta. C. de | 1109 | 720613 | 106 | 10.40 | 96 | | 3700 | 8 |
| 5 | C | C201 | Mondino | 4611080 | 6527930 | 6526855 | 5325637 | 4.46 | 0.80 | 3.66 | 30-Oct-8 | 105.3 | 101.64 | 22 | 3001 | Sta. C. de | 1109 | 720615 | 106 | | | | 4600 | 101 |
| 6 | C | C214 | Gerbaudo Carl | 4597950 | 6523050 | 6521617 | 5312642 | 6.19 | 0.94 | 5.25 | 30-Oct-8 | 107.2 | 101.95 | 20 | 3001 | Sta. C. de | 1109 | 720610 | 109 | | | | 5200 | 101 |
| 7 | C | C22 | NN | 4632740 | 6513150 | 6512670 | 5347696 | 0.15 | 0.15 | 0.00 | 1-Nov-81 | 75.3 | 75.30 | 20 | 3000 | Anglica | 1210 | 720608 | 75 | | | | 10000 | 75 |
| 8 | C | C223 | NN | 4604720 | 6519520 | 6518273 | 5319507 | 2.98 | 0.16 | 2.82 | 30-Oct-8 | 106.9 | 104.08 | 22 | 3001 | Sta. C. de | 1109 | 720610 | 107 | 10.90 | 96 | | 3400 | 8 |
| 9 | C | C234 | Bailarino Nesto | 4617340 | 6521580 | 6520677 | 5332069 | 5.70 | 0.25 | 5.45 | 30-Oct-8 | 105.9 | 100.45 | 21 | 3001 | Sta. C. de | 1109 | 720613 | 106 | 12.60 | 93 | | 1400 | 7 |
| 10 | C | C241 | Botero | 4596970 | 6517380 | 6515921 | 5311817 | 6.75 | 0.72 | 6.03 | 30-Oct-8 | 111.3 | 105.27 | 19 | 1150 | Sta. C. de | 1109 | 720610 | 111 | 12.40 | 99 | | 5800 | 6 |
| 11 | C | C256 | Boscarol | 4612800 | 6592700 | 6591662 | 5325605 | 1.13 | 0.00 | 1.13 | 6-Oct-81 | 98.0 | 96.87 | | | Cnia. San | 1105 | 721019 | | | | | 3800 | 96 |
| 12 | C | C27 | Cantatore | 4640560 | 6513750 | 6513484 | 5355497 | 1.40 | 0.00 | 1.40 | 1-Nov-81 | 74.8 | 73.40 | 20 | 2000 | Anglica | 1210 | 720608 | 75 | | | | 2300 | 73 |
| 13 | C | C278 | Berra | 4612540 | 6578020 | 6576977 | 5325739 | 1.31 | 0.80 | 0.51 | 21-Oct-8 | 100.0 | 99.49 | | | Eusebia | 1106 | 721020 | 100 | 15.00 | 85 | | 4300 | 14 |
| 14 | C | C288 | Ea. El Cerezo | 4640120 | 6597140 | 6596833 | 5352799 | 1.63 | 0.20 | 1.43 | 7-Oct-81 | 88.3 | 86.87 | 18 | 225 | Palacios | 1205 | 721023 | 89 | 4.50 | 84 | | 5600 | 2 |
| 15 | C | C324 | Escamuso Frai | 5400600 | 6571150 | 6570937 | 5400540 | 1.63 | 0.20 | 1.43 | 19-Nov-8 | 46.8 | 45.37 | 20 | 1560 | Providenci | 1406 | 721024 | | | | | 2400 | 45 |
| 16 | C | C4088 | Gerlero | 4578600 | 6570600 | 6568643 | 5292000 | 3.00 | 0.80 | 2.20 | 23-Oct-8 | 102.7 | 100.50 | | 3000 | PorteRa | 1007 | 580913 | 103 | 10.00 | 93 | | 2100 | 7 |
| 17 | C | C4090 | Tessio J. | 4588100 | 6569650 | 6567949 | 5301526 | 2.90 | 0.90 | 2.00 | 23-Oct-8 | 102.9 | 100.90 | | | PorteRa | 1007 | 580918 | 103 | 9.40 | 94 | | 3200 | 6 |
| 18 | C | C4101 | Gallo | 4593100 | 6561000 | 6559434 | 5306760 | 4.90 | 0.90 | 4.00 | 23-Oct-8 | 104.0 | 100.00 | | 2200 | PorteRa | 1007 | 580917 | 104 | 18.70 | 85 | | 3900 | 15 |
| 19 | C | C4105 | Leal | 4581750 | 6563000 | 6561127 | 5295356 | 4.90 | 0.20 | 4.70 | 23-Oct-8 | 106.3 | 101.60 | | 2570 | PorteRa | 1007 | 580904 | 106 | 11.90 | 94 | | 4300 | 7 |
| 20 | C | C4112 | Dotti | 4573200 | 6558250 | 6556145 | 5286934 | 5.40 | 0.15 | 5.25 | 23-Oct-8 | 106.3 | 101.05 | | 5550 | PorteRa | 1007 | 580904 | 106 | 11.50 | 94 | | 4500 | 7 |
| 21 | C | C4115 | Trosero | 4587400 | 6556550 | 6554830 | 5301181 | 4.20 | 0.40 | 3.80 | 23-Oct-8 | 106.5 | 102.70 | | 6000 | PorteRa | 1007 | 581219 | 106 | | | | 4200 | 102 |
| 22 | C | C4267 | Aris Anselmo | 4575300 | 6532850 | 6530799 | 5289724 | 4.73 | 0.14 | 4.59 | 28-Oct-8 | 112.8 | 108.21 | 22 | | San Franc | 1009 | 581218 | 113 | 10.50 | 102 | | 7500 | 6 |
| 23 | C | C4276 | Peretti | 4580620 | 6529450 | 6527544 | 5295137 | 5.25 | 0.47 | 4.78 | 28-Oct-8 | 113.8 | 109.02 | 21 | 1800 | San Franc | 1009 | 581218 | 114 | 10.90 | 103 | | | 6 |
| 24 | C | C4287 | Germanetto Pe | 4578160 | 6525100 | 6523127 | 5292795 | 1.70 | 0.00 | 1.70 | 28-Oct-8 | 107.6 | 105.90 | 20 | 2950 | San Franc | 1009 | 590305 | 109 | 8.10 | 101 | | | 4 |
| 25 | C | C4298 | Julien | 4581050 | 6517200 | 6515305 | 5295902 | 1.82 | 0.70 | 1.12 | 28-Oct-8 | 108.1 | 106.92 | 19 | 960 | San Franc | 1009 | 581218 | 108 | 7.30 | 101 | | 3000 | 5 |

CURVAS DE ISOPROFUNDIDAD

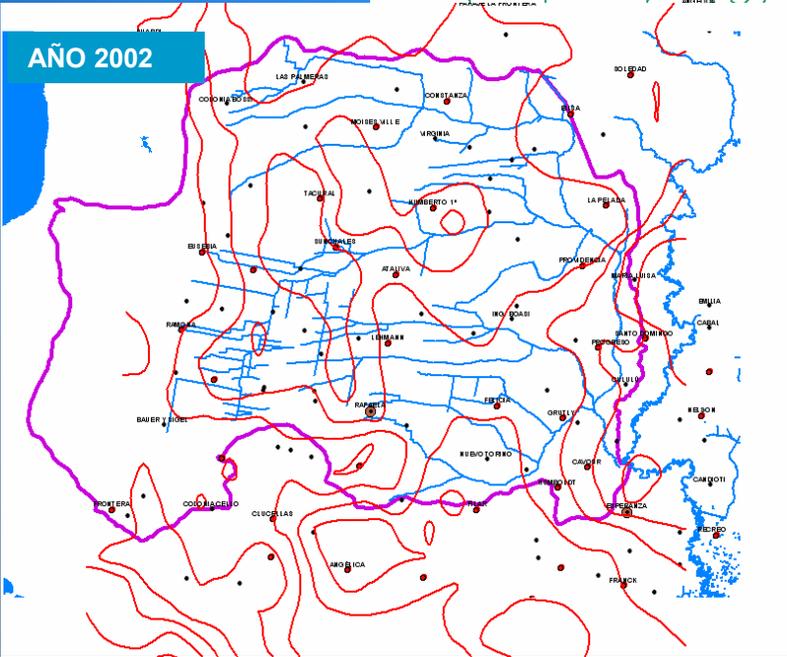
AÑO 1970



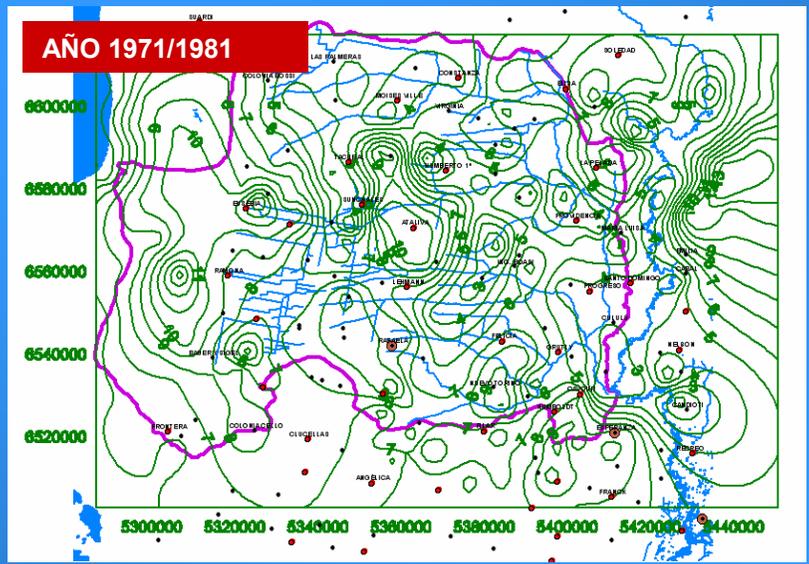
AÑO 1981



AÑO 2002



AÑO 1971/1981





**CUANTIFICACIÓN DEL
INCREMENTO DE
NIVELES FREÁTICOS Y
SU INFLUENCIA EN LA
FRECUENCIA Y
MAGNITUD DE LOS
ANEGAMIENTOS**

**INFLUENCIA DE LA RED
DE CANALES SOBRE EL
FLUJO BASE EN LA
CUENCA DEL ARROYO
CULULU**



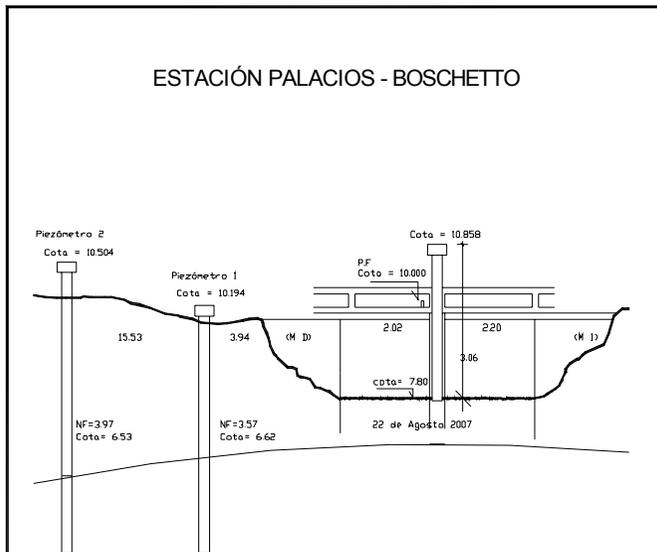
2006 | OCTUBRE | 2006

Rafaela Prof. Freática 4.11 m



ESTACIONES DE MONITOREO

ESTACIÓN PALACIOS - BOSCHETTO



UBICACIÓN EN CARTA 1:50000 I.G.M.

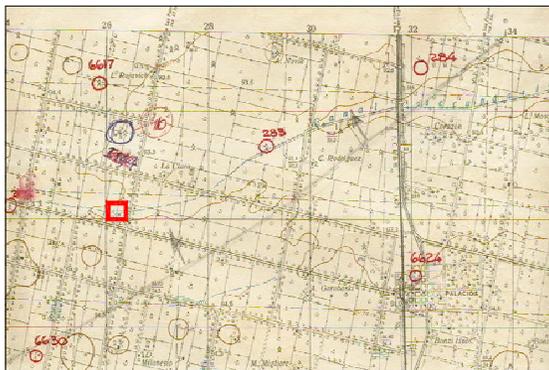
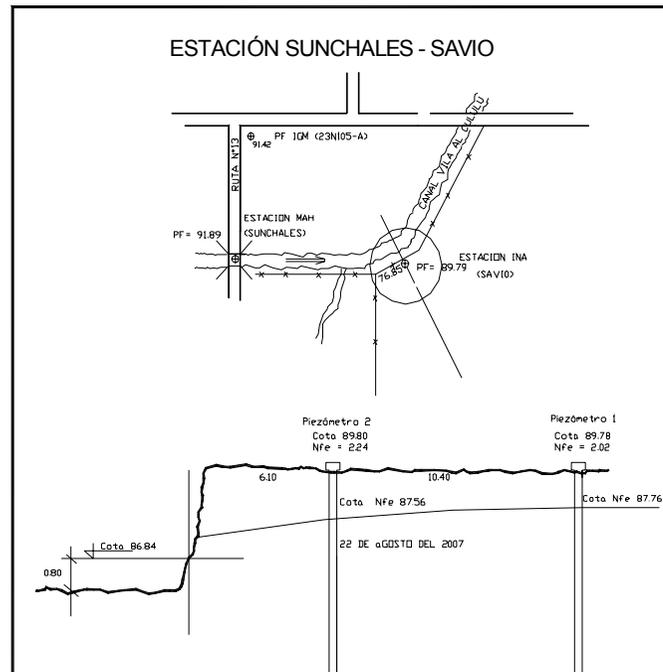


FIGURA 16-15

ESTACIÓN SUNCHALES - SAVIO



UBICACIÓN EN CARTA 1:50000 I.G.M.

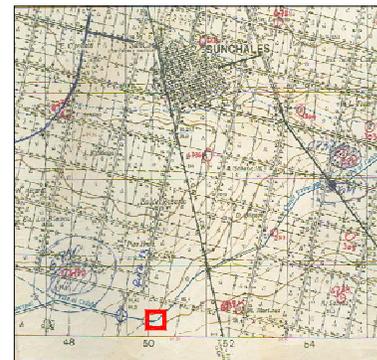
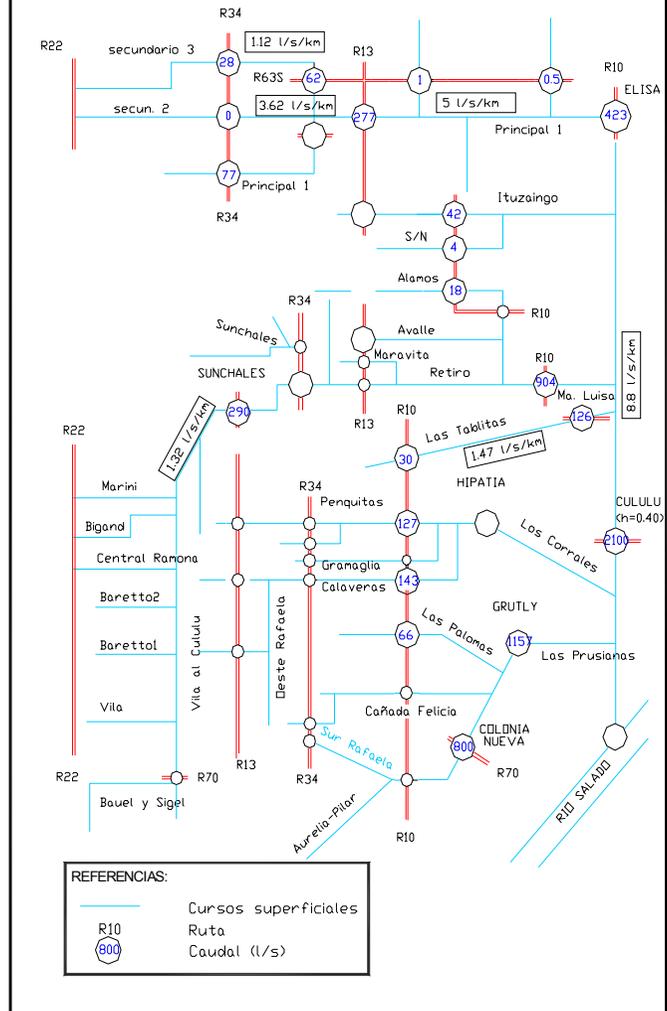


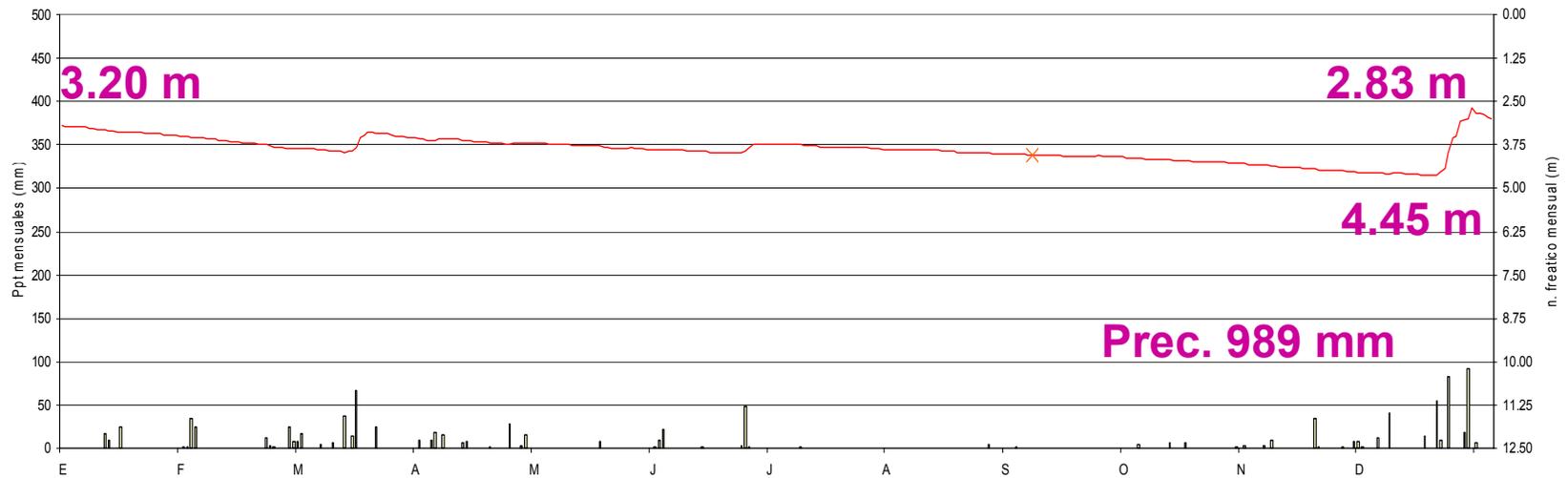
FIGURA 16-14

DETERMINACIÓN DEL FLUJO BASE

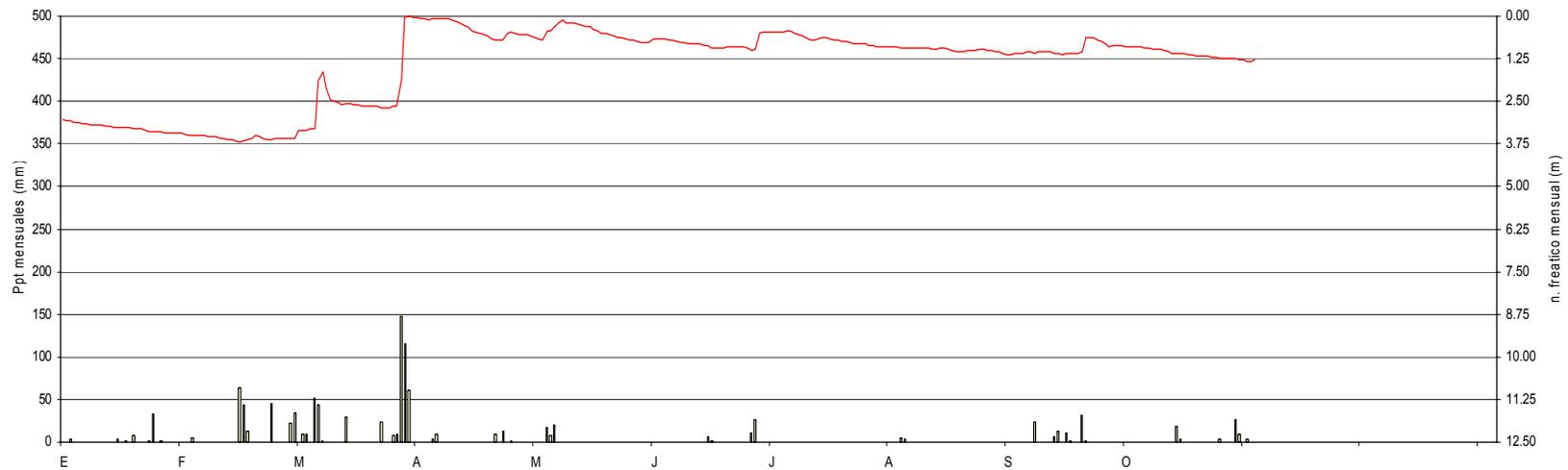
MEDICIÓN DE FLUJO BASE EN TRAMOS DE CANALES DE LA CUENCA DEL A° CULULÚ - (Setiembre 2007)



Rafaela - 2006



Rafaela - 2007



CONCLUSIONES

INCIDENCIA DE LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS EN EL RÉGIMEN DE ESCORRENTÍA

- ◆ El factor principal y desencadenante de los excesos hídricos en toda la región, es de origen meteorológico y está dado por la sucesión de años con valores de precipitaciones superiores a la media en un orden del 5 al 22%.
- ◆ A partir de 1971 se registra un importante incremento de los caudales medios del río Salado. Para el período 1954-70 el módulo es de 70.8 m³/s, en tanto entre 1971-2002 es de 176.4 m³/s, lo que indica un incremento de más del 100% en términos anuales.

INCIDENCIA DE LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS EN EL RÉGIMEN DE ESCORRENTÍA

- ◆ El incremento de los niveles freáticos con valores próximos a nivel de terreno en el sector oeste de la cuenca del río Salado y específicamente la del A. Cululú es consecuencia de que a partir de una mayor disponibilidad de agua precipitada, el agua permanece prolongados períodos de tiempo sobre la superficie favoreciendo los procesos de infiltración y recarga. Para retrotraer estos valores a los iniciales se requieren varios años con precipitaciones inferiores a la media histórica.
- ◆ Los procesos de reposición de agua, acotados a breves períodos de tiempo, dan lugar a que de un estado de sequía agronómica se pase rápidamente a un estado de inundación.

INCREMENTO DE LA ESCORRENTÍA POR CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO

- ◆ En la cuenca inferior del río Salado, existen escasas superficies con cobertura de monte, y no se observan variaciones entre los periodos 1970-80 y el actual. En la cuenca del arroyo Cululú, las áreas de monte son de extensiones muy pequeñas, localizadas en franjas aledañas a los cursos de agua, y entre el período 1980 y el actual no se registran modificaciones significativas.

INCREMENTO DE LA ESCORRENTÍA POR CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO

- ◆ En las áreas con agricultura se registra un incremento de la superficie ocupada desde los '80 a la fecha. En términos generales ocurre en tierras de buena aptitud antes dedicadas a ganadería y que ahora al ser utilizadas bajo agricultura intensa, las tierras quedan con escasa cobertura vegetal desde fines del verano. Esto es un factor de suma importancia por cuanto en dicho período se registran las precipitaciones de mayores magnitudes e intensidades. La superposición de ambos factores en áreas con pendientes (como las áreas de aporte directo al río Salado y A. Cululú) para escenarios como el registrado en los años 2003 y 2005, se traduce en un importante incremento de la escorrentía superficial

INCREMENTO DE LA ESCORRENTÍA POR CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO

- ◆ Las áreas de aporte directo al cauce del A. Cululú , denominadas (C15, C7, y C6), suman 1080 km², es decir un 11% de la superficie total de la cuenca y contribuyen en un 40 % en la conformación del caudal pico en la desembocadura del Cululú.

Estas tres áreas de aportes tienen un fuerte potencial de escurrimiento debido al gradiente topográfico, por lo que los cambios de uso de las tierras tienen una fuerte incidencia en el incremento de caudales para un mismo evento. Ello se traduce en incrementos de caudales en un rango de 12-24 % en relación al período 1970-80.

INCREMENTO DE LA ESCORRENTÍA POR CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO

- ◆ En las áreas de aportes localizadas al oeste de ruta 34, los cambios de uso del suelo, no influyen significativamente en la escorrentía. Debido a que la pendiente topográfica es muy baja, los mayores excesos hídricos superficiales son transferidos en forma muy restringida hacia aguas abajo.

INCREMENTO DE LA ESCORRENTÍA POR EFECTO DE LAS CANALIZACIONES EN LA CUENCA DEL A° CULULÚ

- ◆ La cuenca del A. Cululú no tiene un funcionamiento hidrológico uniforme. El relieve es heterogéneo, con pendientes comprendidas entre 0.20 a 2.35 m/km, resultando para un evento de lluvia de similares características, respuestas hidrológicas muy disímiles.
- ◆ El escurrimiento superficial de las áreas localizadas al oeste de ruta 34 está gobernado por la escasa pendiente del terreno, y tiene escasa incidencia en los empuntamientos de los hidrogramas a la salida de la cuenca.

INCREMENTO DE LA ESCORRENTÍA POR EFECTO DE LAS CANALIZACIONES EN LA CUENCA DEL A° CULULÚ

- ◆ En la cuenca del A. Cululú, la franja comprendida entre las rutas 10 y 13, y es atravesada por los Canales Sur y Norte Rafaela, Las Palomas, Calaveras Las Penquitas. Antes de que dichas obras fueran ejecutadas los excedentes hídricos superficiales provenientes de las zonas rurales de Susana, Rafaela y Lehmann, eran retenidos en esta zona y laminarmente conducidos a los cursos de los A. Las Prusianas, Cañada Felicia y Las Palomas.

Estos canales le otorgan una continuidad hidráulica y tienen una incidencia en el incremento de los caudales para precipitaciones de 5 a 10 años de recurrencia. Para recurrencias de 50 o más años, los volúmenes de agua superan ampliamente la capacidad de conducción de los canales por lo que la influencia de los canales pierde gravitancia. La mayor parte de los excesos hídricos escurren sobre el terreno en el sentido de la pendiente topográfica y por caminos con traza en el mismo sentido de la pendiente topográfica que actúan como verdaderos canales.

IMPLICANCIA DE LOS NIVELES FREÁTICOS EN LA FRECUENCIA Y MAGNITUD DE LOS ANEGAMIENTOS EN LA CUENCA DEL A° CULULÚ

- ◆ En el período 1971-2006 en la Estación Rafaela del INTA, el 47% de los valores de niveles freáticos se mantuvieron entre 5-2,5 m. Desde la década del 80 en adelante se han presentado 7 años con niveles comprendidos entre 2,5 a 0 m, lo que genera periódicas situaciones críticas de anegamiento ante la ocurrencia de precipitaciones del orden de 150 mm. Después de 1972 nunca se presentaron niveles por debajo de los 10 m.

EFECTO DE LAS CANALIZACIONES SOBRE EL FLUJO BASE

- ◆ En períodos de excesos hídricos como el escenario registrado en 1981, a partir del censo de pozos se determinó que la freática drena en todos los cursos superficiales.
- ◆ Los canales en la zona oeste tienen menores valores de flujo base variando entre 1.12 a 1.32 l/s/km. En la cuenca baja el aporte es mayor y va desde 2.5 a 5 l/s/km.
- ◆ En el cauce del arroyo Cululú los valores se encuentran en el orden de 8.5 l/s/km.
- ◆ El radio de influencia del canal monitoreado en Sunchales es inferior a 10 m.

Muchas gracias por su atención

Rosario, Septiembre 2012

