

Universidad Nacional de Cuyo - Facultad de Ciencias Agrarias.

Ingeniería en Recursos Naturales Renovables.

Mendoza- Argentina.



TESIS DE GRADO

**Relación entre el régimen hidrológico superficial y los niveles de agua
subterránea en el Valle de Uco, Mendoza.**

Autora: Anabela Laudecina

Director: Ing. Agr. Leandro Mastrantonio

Lugar de Trabajo: Facultad de Ciencias Agrarias- UNCuyo

2016

ÍNDICE

1-	Resumen	1
2-	Introducción y Fundamentación	2
3-	Objetivos.....	6
3.1-	Objetivo general.....	6
3.2-	Objetivos específicos	6
4-	Hipótesis.....	6
5-	Marco Teórico.....	7
5.1-	Ciclo Hidrológico	7
5.2-	Balance Hidrológico	8
5.2.1-	Relación entre agua superficial y subterránea a través del Balance Hídrico para la Cuenca del Río Tunuyán Superior	10
5.3-	Modelación de Sistemas Hidrológicos (Campos A. et al., 1998).	11
6-	Descripción del Área de Estudio	14
6.1-	Localización	14
6.2-	Recursos Económicos – Población e industria.....	16
6.2.1-	Uso del Recurso Hídrico	16
6.3-	Clima	19
6.4-	Características Hidrológicas, red de riego y drenaje	19
6.5-	Características Geológicas y Geomorfológicas	21
6.6-	Conformación de los Suelos	22
6.7-	Características Hidrogeológicas.....	23
7-	Materiales y Métodos.....	28
7.1-	Recopilación de la Información existente.	28
7.1.1-	Información de campo	28
7.2-	Generación de Bases de Datos	28
7.2.1-	Base de datos superficial.....	28
7.2.2-	Base de datos subterránea.....	29
7.3-	Análisis Estadístico	29
7.3.1-	Evolución Temporal de Caudales	29
7.3.2-	Análisis Descriptivo	30
7.3.3-	Evaluación de la variabilidad espacial de los niveles estáticos del agua subterránea.	30
7.3.4-	Análisis Inferencial.....	30
8-	Resultados y Discusión.....	31
8.1-	Descripción de la variabilidad temporal de caudales del río Tunuyán y de los arroyos afluentes.....	31
8.2-	Análisis Estadístico Descriptivo.....	35

8.2.1- Análisis estadístico descriptivo correspondiente a la cuenca superficial del Valle de Uco.....	35
8.2.2- Análisis estadístico descriptivo correspondiente a la cuenca subterránea del Valle de Uco.....	37
8.3- Evaluación de la variabilidad espacial de los niveles estáticos del agua subterránea de los acuíferos.....	38
8.3.1- Análisis Variográfico.....	38
8.3.2- Generación de Mapas de diferencia de cota de agua.....	39
8.4- Evaluación de la relación entre caudales y niveles estáticos.....	48
9- Conclusiones y Contribuciones.....	51
10- Bibliografía.....	53

1- RESUMEN

La cuenca del Valle de Uco, es un área con presentes conflictos de expansión y usos de su recurso hídrico, con una complejidad de actores sociales producto de las relaciones sociales profundamente desiguales y la concentración económica.

Este trabajo, está proyectado como una herramienta útil para el abordaje a futuro de un balance hídrico de la cuenca del Valle de Uco, proporcionando análisis espaciales y temporales de las variabilidades de los caudales y niveles estáticos involucrados, bajo la hipótesis planteada de que la hidrología superficial se vincula temporalmente, con la hidrología subterránea de la cuenca del Valle de Uco.

Para llevarlo a cabo se recopiló información de caudales medios mensuales históricos del río Tunuyán en la estación Valle de Uco y de los arroyos afluentes, como también de los niveles estáticos de agua subterránea de la red de pozos de monitoreo del Instituto Nacional del Agua. De esta manera se trabajó con los caudales medios anuales de 26 arroyos, desde el ciclo 1975/1976 hasta 1996/1997, y de los caudales medios del río Tunuyán desde 1972 hasta 2011, y con 225 pozos georreferenciados (POSGAR 94) y sus respectivas cotas de agua, desde 1972 hasta 2011.

La descripción de la relación entre las cuencas, superficial y subterránea, se realizó a través de análisis estadístico descriptivo, análisis geoestadístico, gráficos de evolución temporal, análisis de krigeado ordinario, mediante el sistema de información geográfica QGIS 2.10.1 y análisis de correlación lineal y análisis de regresión lineal simple.

Se concluyó que los caudales de los cauces superficiales de la cuenca del Valle de Uco se relacionan temporalmente con los niveles estáticos del agua subterránea de la cuenca. También se determinó que la variabilidad total de los niveles estáticos de la cuenca, responden de forma directa al la variabilidad del caudal del río Tunuyán y del arroyo Manzano.

Esta conexión entre el régimen hidrológico superficial y el subterráneo, es relevante al momento de tomar decisiones administrativas y/o de gestión, que involucren a cualquiera de las partes, o al sistema en sí. Este tipo de decisiones pueden ser: asignar mejor el recurso, detectar puntos donde son necesarias inversiones y mejoras en el sistema, proteger la calidad y cantidad del recurso hídrico y los ecosistemas relacionados, entre otros.

Palabras Claves: hidrología superficial, hidrología subterránea, balance hídrico.

2- INTRODUCCIÓN Y FUNDAMENTACIÓN

El régimen de los caudales de los ríos argentinos, cuyas nacientes se encuentran sobre la Cordillera de los Andes, dependen de diversos factores, relacionados principalmente con las latitudes sobre las que descansa su cuenca (Compagnucci et al., 2005). Por un lado, existen variaciones de la temperatura en altura y por ende el comportamiento de la nieve, es decir procesos de acumulación o de fusión. Por otro lado, el volumen de precipitación caído en alta montaña principalmente se hace en forma sólida. A todo esto se suman fuentes de variación de los caudales en ciclos de periodos decenales o inter-decenales a partir de algunos forzantes propios del sistema climático. En el caso de las cuencas hídricas del oeste argentino, aparece especialmente importante el evento climático El Niño-Oscilación Sur, ENSO por sus siglas en inglés (Boninsegna et al., 2013), gobernando las variaciones interanuales de los caudales de muchos ríos y sistemas fluviales. Maturana et. al (2004) definen el ciclo ENSO como un evento climático que se desarrolla en el océano Pacífico ecuatorial central, compuesto por una fase cálida conocida como El Niño que se manifiesta principalmente por un aumento de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) y una disminución de los vientos alisos en el lado este del pacífico, generando fuertes precipitaciones. Relacionando comportamientos de caudales a las zonas adyacentes a los eventos del ENSO, Hoffman (1969) explica que las precipitaciones en el centro de Chile, especialmente Santiago, están estrechamente relacionadas con la acumulación de nieve en las altas altitudes en las laderas orientales de los Andes, justo donde se encuentran las cabeceras de los ríos en Cuyo. Además, Menegazzo y Radicella (1982, en Compagnucci et al., 2005) han demostrado que a pesar de la separación espacial de los ríos mendocinos – Mendoza, Tunuyán, Atuel, Diamante, Malargüe y Grande -, sus caudales se encuentran altamente correlacionados entre sí, teniendo todos el mismo comportamiento ante eventos de mayor o menor precipitación por El Niño o La Niña, respectivamente.

Por otro lado el Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por su nombre en inglés) establece que “el calentamiento del sistema climático es inequívoco, como es evidente de las observaciones de las temperaturas globales promedio de la atmósfera y los océanos, del derretimiento de la nieve y hielo generalizado y del aumento global del nivel medio del mar”. Las temperaturas promedio del aire han aumentado 0,74°C [0,56 a 0,92] entre 1906 y 2005, y las temperaturas oceánicas se han incrementado en profundidades hasta de 3.000 m (Conde-Álvarez et al., 2007). Diversos escenarios de cambio climático generados sobre la base de modelos de Circulación General de la Atmósfera (CGA), acoplados con océanos, con distintos umbrales de gases de efecto invernadero (GEI) coinciden en que, para la región de los llanos de Cuyo, durante las décadas futuras (más allá del 2080, por ejemplo), habrá mayores tasas de precipitación en la estación lluviosa sobre Argentina subtropical incluyendo los llanos de Cuyo. La

vinculación entre el cambio de la precipitación en Cuyo y el cambio de las temperaturas superficiales del mar (TSM) en el Pacífico central, está en un cambio de la circulación atmosférica sobre el cono sur de Sudamérica que favorece una mayor advección de humedad desde latitudes tropicales hacia Argentina subtropical y una menor actividad ciclónica en latitudes medias. El cambio de fase de la TSM del Pacífico durante la década de los 1970s forma parte de una variación de muy baja frecuencia, característica de la cuenca del Pacífico y que se la conoce como la variabilidad tipo-El Niño (Agosta y Cavagnaro 2010).

En la provincia de Mendoza se encuentra el Río Tunuyán, que es uno de los seis ríos que atraviesa su territorio. Este cauce, tiene un caudal promedio de 30 m³/s y ha permitido el desarrollo del oasis centro de la provincia (Chambouleyron et al., 2002). El río Tunuyán riega -en su subcuenca superior- 54.000 ha (Valle de Uco: Departamentos de Tupungato, Tunuyán y San Carlos) y -aguas abajo- en la subcuenca inferior alrededor de 80.000 ha. La importancia económica actual del área de estudio (moderna viticultura, Malbec como variedad emblemática, grandes inversiones multinacionales asociadas con capitales locales, etc.) obliga al conocimiento y permanente control de la calidad del agua para vigilar la sostenibilidad de los modelos productivos de ambas cuencas (Salatino et al.).

En los años 1993/94 la industria vitivinícola empieza a descubrir las bondades agroclimáticas de la cuenca superior del Río Tunuyán. En efecto, las uvas tintas que en ella se cosechan tienen superlativamente más color que las de la zona este (llana) de Mendoza, dado que las bajas temperaturas de las noches favorecen la concentración del mismo. Esta noticia determina que en poco tiempo se produzca una verdadera explosión de plantación de vides de variedades finas de vinificar protagonizado no sólo por los industriales mendocinos sino, además, por la radicación de importantes empresas extranjeras. Éstas, poco a poco, han ido comprando y/o fusionándose con las principales bodegas locales para incorporarse al negocio del vino de exportación. Este fenómeno está ocurriendo -fundamentalmente- en el Departamento de Tupungato donde el recurso utilizado -casi en exclusividad- es el agua subterránea. Según un relevamiento realizado en 1999 por el INA (a través de un convenio con el DGI), la superficie cultivada regada exclusivamente con agua subterránea se ha incrementado sólo en 697 ha, la superficie regada haciendo uso conjunto en 906 ha y la superficie cultivada con agua superficial disminuyó en 1.889 ha, lo que permite resumir que un 40% de los cultivos son regados con agua superficial exclusiva, un 35% con agua subterránea y el 25% restante, con uso conjunto. Cabe destacar que este súbito crecimiento de la superficie implantada con vid en el valle se ha producido utilizando - en gran parte- agua subterránea, debido a que en los nuevos emprendimientos predomina el riego presurizado (localizado). Esto hace que día a día disminuya de manera significativa el caudal de los arroyos y vertientes que egresan de la zona de

riego. Esos cauces (afluentes del Río Tunuyán aguas abajo del Dique Valle de Uco y aportantes del Dique El Carrizal para el riego de la zona del Tunuyán Inferior) son responsables de la paulatina reducción del nivel estático de los acuíferos subterráneos de la zona alta (Chambouleyron et al., 2002).

En la provincia de Mendoza, la importancia atribuida al agua se explica por las condiciones propias de su clima árido y la consiguiente necesidad de sistematizar los limitados recursos hídricos disponibles. Pero también se observan desfasajes entre ofertas y demandas, manifestados en el tiempo y en el espacio, que justifican los esfuerzos de planificación y la urgencia de implementar su correcta aplicación. Asimismo, la magnitud del desarrollo actual de los oasis agrícolas-industriales-urbanos, ratifica esta necesidad de planificación. En síntesis, el recurso hídrico es uno de los principales factores para el crecimiento provincial, por lo que su planificación debe atender también a un desarrollo armónico que posibilite valorar y explotar las potencialidades existentes, y a la vez contribuir a la mitigación de las inequidades territoriales y sociales (DGI, 2006).

Erice (2013) habla de la necesidad de transparencia y legalidad en la gestión y uso del agua subterránea, ya que en Mendoza las aguas subterráneas son un recurso natural indispensable para la subsistencia y de gran importancia para el desarrollo provincial, al tener un valor no solo económico y estratégico, sino también social y ambiental. La prevención de la sobreexplotación de los acuíferos y de la contaminación de estas aguas constituye una de las preocupaciones más serias a la que se enfrentan los encargados de gestionar su uso eficiente. Para ello resulta necesario aplicar políticas de ahorro y conservación, contar con un moderno Derecho de Aguas preciso, claro, coherente y conservacionista, encaminado a dar soluciones eficaces a los problemas que hoy se presentan, y que la gestión se realice con rectitud, transparencia y respetando la Constitución y las leyes.

Miranda (2012) hace hincapié al uso sostenible de los recursos hídricos, el cual requiere adoptar un enfoque integrado entre la demanda –representada por los distintos usos, usuarios- y, la oferta que proviene de las diferentes fuentes de agua superficial y subterránea. Por lo que las reformas necesarias para apuntar a una gestión integrada requieren, entre otras cosas, de información oportuna de tipo física, pero también el uso de instrumentos de gestión, donde la utilización conjunta, o coordinada, podría definirse como una forma eficiente de satisfacer las demandas de agua del hombre, que se basa en aprovechar los recursos hídricos, superficiales y subterráneos, de forma coordinada, incrementando la disponibilidad, economizando su empleo en base a una racional modificación del ciclo hidrológico, en armonía y respeto a las demandas del medio natural.

Por lo expuesto anteriormente es que a través del presente trabajo, se propone una herramienta útil para el abordaje a futuro de un balance hídrico de la cuenca del Valle de Uco, proporcionando análisis espaciales y temporales de las variabilidades de los caudales y niveles estáticos involucrados. Se considera que con ello se aportará a un enfoque generalizado del sistema y sus condiciones respecto a la disponibilidad del agua, de modo que sirva como base a la hora de tomar decisiones aplicadas a distintos aspectos involucrados en el desarrollo de una cuenca, tales como: asignar mejor el recurso, detectar puntos donde son necesarias inversiones y mejoras en el sistema, proteger la calidad y cantidad del recurso hídrico y los ecosistemas relacionados, entre otros.

3- OBJETIVOS

3.1- OBJETIVO GENERAL

Evaluar la relación espacial y temporal entre los caudales históricos del río Tunuyán Superior y los arroyos afluentes, y los niveles estáticos del agua subterránea de los acuíferos de la cuenca del Valle de Uco.

3.2- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir la variabilidad temporal de caudales del río Tunuyán y de los arroyos afluentes.
- Describir la variabilidad temporal de los niveles estáticos del agua subterránea de los acuíferos.
- Evaluar la variabilidad espacial de los niveles estáticos del agua subterránea de los acuíferos.
- Evaluar la relación entre caudales y niveles estáticos.

4- HIPÓTESIS

Los caudales de los cauces superficiales de la cuenca del Valle de Uco se vinculan temporalmente con los niveles del agua subterránea de la cuenca.

5- MARCO TEÓRICO

5.1- CICLO HIDROLÓGICO

El ciclo hidrológico es un término académico útil, desde el cual se inicia el estudio de la hidrología, es un término descriptivo aplicable a la circulación general del agua en la tierra, el cual se define como: “sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la atmósfera a la tierra y volver a la atmósfera: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y reevaporación”. (Campos Aranda, 1998).

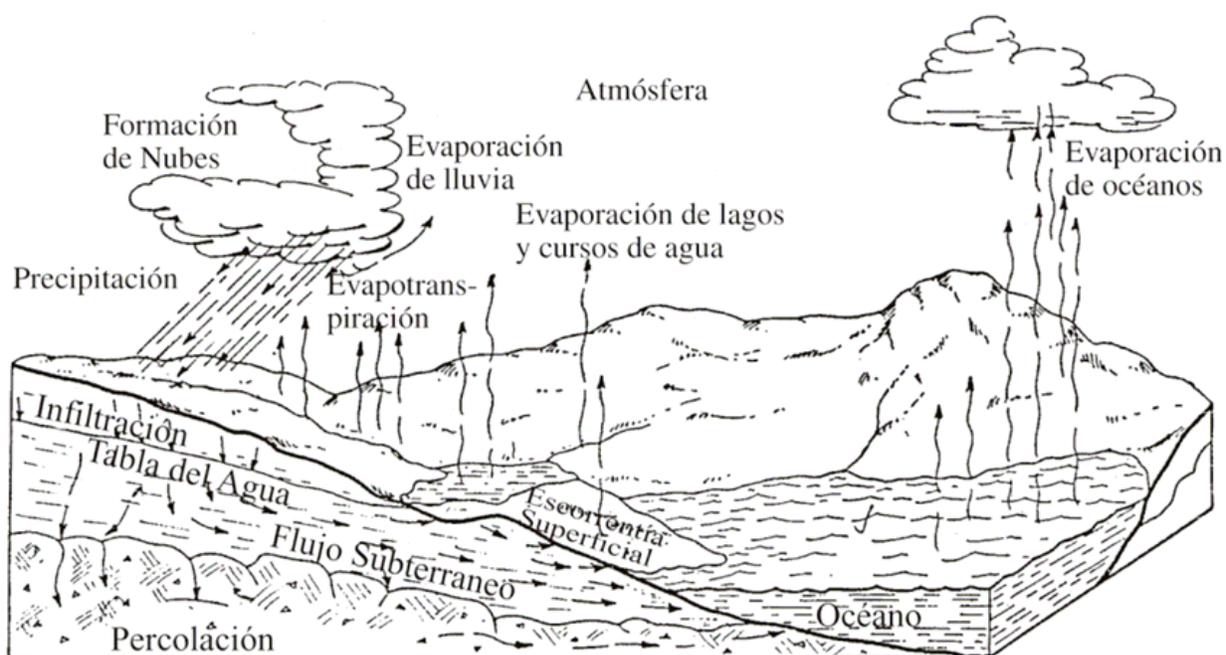


Figura 5.1: Representación pictórica del ciclo hidrológico Fuente: Fattorelli y Fernandez (2011).

En la Figura 5.1 se puede observar una representación muy simplificada de los procesos del sistema hidrológico general. Se puede suponer con fines didácticos que el ciclo empieza con la evaporación del agua de los océanos. El vapor del agua que resulta de la evaporación es trasladado por las masas de aire en movimiento y puede enfriarse, condensar y formar nubes. Si las condiciones son favorables al proceso de condensación continúa y aumentan los núcleos hasta que alcancen una dimensión suficiente para precipitarse. Parte de esta precipitación puede evaporarse en la atmósfera antes de llegar a la superficie de la tierra. Una gran parte de la precipitación cae directamente sobre los océanos y otra parte cae en la tierra.

La transferencia de agua desde la superficie de la Tierra hacia la atmósfera, en forma de vapor de agua, se debe a la evaporación directa, a la transpiración por las plantas y animales y por sublimación (paso directo del agua sólida a vapor de agua). La cantidad de agua movida, dentro del ciclo hidrológico, por el fenómeno de sublimación es insignificante en relación a las cantidades movidas por evaporación y por transpiración, cuyo proceso conjunto se denomina evapotranspiración. El vapor de agua es transportado por la circulación atmosférica y se condensa luego de haber recorrido distancias que pueden sobrepasar 1000 km. El agua condensada da lugar a la formación de nieblas y nubes y, posteriormente, a precipitación.

La precipitación puede ocurrir en la fase líquida (lluvia) o en la fase sólida (nieve o granizo). El agua precipitada en la fase sólida se presenta con una estructura cristalina, en el caso de la nieve, y con estructura granular, regular en capas, en el caso del granizo. La precipitación incluye el agua que pasa de la atmósfera a la superficie terrestre por condensación del vapor de agua (rocío) o por congelación del vapor (helada) y por intercepción de las gotas de agua de las nieblas. El agua que precipita en tierra puede tener varios destinos. Una parte es devuelta directamente a la atmósfera por evaporación; otra parte escurre por la superficie del terreno, escorrentía superficial, que se concentra en surcos y va a originar las líneas de agua. El agua restante se infiltra penetrando en el interior del suelo; esta agua infiltrada puede volver a la atmósfera por evapotranspiración o profundizarse hasta alcanzar las capas freáticas.

Tanto el escurrimiento superficial como el subterráneo van a alimentar los cursos de agua que desembocan en lagos y en océanos. La escorrentía superficial se presenta siempre que hay precipitación y termina poco después de haber terminado la precipitación. Por otro lado, el escurrimiento subterráneo, especialmente cuando se da a través de medios porosos, ocurre con gran lentitud y sigue alimentando los cursos de agua mucho después de haber terminado la precipitación que le dio origen. (Fattorelli et. al., 2011)

Si bien, aparentemente, la descripción del ciclo hidrológico da la impresión de ser un proceso continuo, por el cual el agua se mueve a velocidad constante, tal idea debe ser descartada, pues tal movimiento, en cada fase del ciclo, es errático tanto temporal como espacialmente. Cabe hacer notar además, que las cualidades del agua, también cambian durante su paso a través del ciclo hidrológico, siendo el gran mecanismo de desalinización de la naturaleza. (Campos Aranda, 1998)

5.2- BALANCE HIDROLÓGICO

El Balance Hidrológico relaciona las variables que intervienen en el ciclo hidrológico: precipitación, evapotranspiración, escurrimiento superficial, almacenamiento superficial y subterráneo

y flujo de agua subterránea. Se aplica cuando se realiza una distribución de los recursos hidráulicos a nivel global, o en cuencas particulares. Es imprescindible en los estudios de regulación de embalses y en los proyectos de suministro de agua para acueducto, riego y generación hidroeléctrica.

El cálculo del balance hídrico en una cuenca o en una región determinada permite obtener información sobre: el volumen anual de escurrimiento o excedentes; el período en el que se produce el excedente y por tanto la infiltración o recarga del acuífero; y el período en el que se produce un déficit de agua o sequía y el cálculo de demanda de agua en ese período.

El establecimiento de un balance supone la medición de flujos de agua (caudales) y almacenamientos de la misma (niveles). Se pueden establecer balances de forma general, incluyendo aguas superficiales y subterráneas, y parciales de sólo aguas superficiales, de un acuífero, del agua del suelo, etc. En cualquier caso, a la hora de establecer el balance se examinan las entradas y las salidas en el sistema analizado, es decir, se aplica la Ecuación de Continuidad sobre un volumen de control delimitado por una superficie de referencia a través de la cual el agua se mueve desde la parte interna a la externa y viceversa, siendo un sistema abierto a flujos de masa, cantidad de movimiento y de energía. Así, el balance se reduce a la cantidad de agua que queda almacenada (Fattorelli et al., 2011).

De esta manera la ecuación general del Balance Hidrológico en una cuenca determinada tiene la siguiente forma (Fig. 5.2_a):

$$\text{Cambio en el almacenamiento} = \text{Salida} - \text{Entrada}$$

$$\Delta S = (S_o + G_o + ET) - (P + S_i + G_i)$$

S_o : flujo de salida de las aguas superficiales (escorrentía, extracción de agua superficial para uso urbano, irrigación y uso privado)

G_o : flujo de salida de las aguas subterráneas

ET : evaporación y evapotranspiración (evaporación de embalses, lagos, sublimación de nieves)

P : precipitación (escorrentía)

S_i : flujo de entrada de agua superficial (flujo superficial de otras entidades, efluentes urbanos)

G_i : flujo de entrada de agua subterránea

Donde ΔS es el cambio en almacenamiento superficial (en los cuerpos hídricos superficiales o en el manto nieve) y subterráneo (la fracción de agua en la zona no saturada del suelo y el acuífero). Incluye almacenamiento en cauces, embalses, suelo y acuíferos. (Essam, 2007)

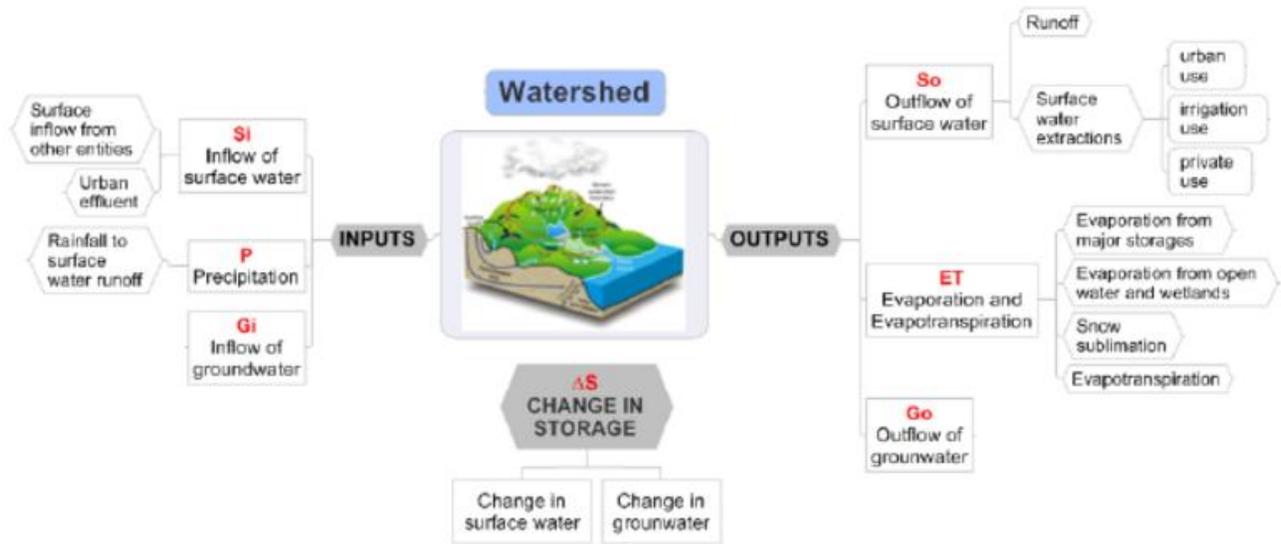


Figura 5.2_a: Entradas, salidas y cambios en el almacenamiento de una cuenca hidrográfica.
Fuente: Essam (2007).

5.2.1- RELACIÓN ENTRE AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA A TRAVÉS DEL BALANCE HÍDRICO PARA LA CUENCA DEL RÍO TUNUYÁN SUPERIOR

La provincia de Mendoza posee un clima árido, por lo cual para asegurar un adecuado desarrollo de los cultivos se requiere la aplicación de riego. De allí la importancia que tienen los recursos hídricos para la provincia, limitados a las escasas precipitaciones, el agua acumulada en la cordillera (nieve y hielo), el agua circulante en sus ríos y arroyos, al agua acumulada en las lagunas y embalses superficiales y también al agua almacenada en los reservorios subterráneos. . (Morábito J., et. al. 2009)

Las cuencas hidrográficas de los ríos de curso permanente y las cuencas hidrogeológicas con sedimentos depositados durante la era cuaternaria, con las que aquellas se encuentran asociadas, dan lugar a la formación de distintos sistemas hídricos. En general, estos sistemas, tienen un comportamiento similar, pero existen aspectos particulares en cada uno de ellos que es necesario tener en cuenta al momento de planificar su aprovechamiento sustentable. (Morábito J., et. al. 2009)

En la zona Alta del río Tunuyán, el mecanismo de carga y descarga de agua, de la oferta superficial y de recarga de los acuíferos, es muy complejo. Puede verse cómo el agua generada en la montaña, que llega a la zona en forma de cauces superficiales, es aprovechada con fines de riego. (Chambouleyron et al, 2002)

Las pérdidas (percolación de agua aplicada como riego más pérdidas de los cauces naturales) alimentan al acuífero subterráneo que, una vez alcanzado un determinado nivel, vuelca los excedentes al río Tunuyán en la figura de arroyos y vertientes. Es importante comentar que parte de este caudal es aprovechado en el área intermedia del sistema, a través de tomas directas (particulares) para riego. Esto hace muy aleatoria la medición de dichos caudales en el punto de su incorporación al cauce del río. A su vez, la casi totalidad de los arroyos del área trabaja como colectores de drenaje en determinadas épocas del año. Este manejo de los cauces explica la concentración salina de sus aguas y su variabilidad en el tiempo. (Chambouleyron et al, 2002)

El área de estudio presenta caudales de ingreso y de egreso que hacen posible el cultivo de las hectáreas empadronadas bajo riego. Entre los primeros se encuentran los caudales superficiales y subsuperficiales de ríos y arroyos más las precipitaciones. Entre los egresos computados se encuentran los producidos por la evapotranspiración de los cultivos y de las plantas autóctonas más los caudales que salen del área sea por escurrimiento subsuperficial o por bombeo de los acuíferos subyacentes. (Chambouleyron et al, 2002)

5.3- MODELACIÓN DE SISTEMAS HIDROLÓGICOS (CAMPOS A. ET AL., 1998).

5.3.1- Sistemas Hidrológicos y su simulación

5.3.1.1- Sistemas Hidrológicos

Un sistema hidrológico se puede definir como un conjunto de elementos o procesos físicos unidos a través de alguna forma de interdependencia, que actúa sobre un grupo de variables de entrada para convertirlas en salida. En estos sistemas cada uno de los elementos o procesos integrantes es el resultado de complejas interrelaciones de muchos factores de gran variabilidad espacial y temporal, cuyas características físicas prácticamente no son medibles y por ello no son calculables.

Los sistemas hidrológicos son tan complejos que aún no se han desarrollado leyes exactas que puedan explicar completa y exactamente los fenómenos hidrológicos naturales, utilizándose por lo tanto, los modelos de simulación de tales sistemas, para reproducir o predecir su funcionamiento.

5.3.1.2- Modelos de simulación determinista y estocásticos

Existen dos criterios o enfoques básicos para simular sistemas hidrológicos: el primero, a través del uso de un Modelo Determinístico y el segundo, en base a un Modelo Estocástico.

Un modelo es determinístico cuando cualquiera que sea el valor de la variable de tiempo, la respuesta a una entrada dada es siempre la misma, para un mismo estado inicial del sistema. En estos modelos el problema se reduce principalmente a la determinación y ajuste de los parámetros que describen el sistema, por ello tales modelos son llamados también Paramétricos.

Debe hacerse notar, que en la realidad no es posible formular y simular un sistema hidrológico natural, en términos estrictamente determinísticos, debido a la variabilidad en el tiempo de dichos sistemas, variabilidad que se origina por los cambios introducidos por el hombre directa o indirectamente y a los procesos naturales de erosión, cambios climáticos y otros fenómenos que constituyen la evolución geomorfológica de la tierra; además, de las dificultades en la formulación matemática de los complejos procesos físicos involucrados.

En los modelos de simulación estocástica, se evalúan los parámetros estadísticos que describen la respuesta del sistema y se utilizan posteriormente en la generación de series de datos hidrológicos estadísticamente indistinguibles de las series observadas.

Con los modelos determinísticos se pretende simular de manera continua en el tiempo una sucesión de eventos hidrológicos a intervalos cortos (horas o días) y la comprobación de la validez del modelo se realiza por comparación con la sucesión de eventos observados; en cambio con los modelos estocásticos no se busca una simulación continua de eventos, sino la generación de series hidrológicas no observadas de igual probabilidad de ocurrencia que las observadas, es decir, fundamentalmente consiste en predecir a grandes intervalos (mes o año) los valores característicos de la respuesta del sistema y no su valor instantáneo.

Cada uno de los dos enfoques expuestos tiene sus ventajas y limitaciones que los hacen aconsejables para distintos tipos de problemas o diseños hidrológicos.

5.3.2- Modelos de simulación analíticos y empíricos

Los modelos Empíricos o de Caja Negra, están determinados, en términos generales, sólo por los datos de entrada y salida disponibles y no interesa o no se conoce su funcionamiento interno, un ejemplo clásico lo constituye, el análisis de las relaciones lluvia-escurrimiento de una cuenca. En cambio, los modelos Analíticos o de Caja Blanca están basados en las ecuaciones de la

hidrodinámica y los constituyen los modelos matemáticos de simulación de cuenca, los cuales tratan de reproducir todos los procesos físicos involucrados.

En la hidrología, debido a que muchos procesos no son aún suficientemente conocidos, todos los modelos tienen algo de empirismo; incluso los analíticos algunas veces incluyen porciones empíricas, originándose en la práctica los Modelos Semiempíricos.

6- DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

6.1- LOCALIZACIÓN

La Cuenca del Río Tunuyán abarca una vasta superficie de la región central de la provincia de Mendoza, en la que corre su cauce en toda su longitud desde los glaciares de la Cordillera Principal atravesando el Valle de Uco y alcanzando la presa El Carrizal, luego traspone la sierras de las Huayquerías extinguiéndose en la travesía del este hasta el Río Desaguadero. El Departamento General de Irrigación divide la cuenca del Río Tunuyán en dos partes, desde un enfoque operativo, la Superior, aguas arriba del Dique Embalse el Carrizal, y la Inferior, aguas abajo del mismo.

La cuenca superficial del Río Tunuyán Superior (Fig. 6.1_a) abarca una longitud de aproximadamente 90 km., entre $33^{\circ} 20'$, Cerro Tupungato, extremo Norte, y $34^{\circ} 50'$, Cerro El Gorro, extremo Sur (Ferrari, 1994). Limitan la región por el oeste, los cordones montañosos andinos (Cordón del Plata, Cordón del Portillo, y el Cordón de las Lletas) que forman la Cordillera Frontal; al norte la divisoria de aguas del río Mendoza y al sur la divisoria de aguas del río Diamante. Pertenecen a esta cuenca los departamentos San Carlos, Tunuyán, Tupungato y parte de Luján de Cuyo (Chambouleyron et al, 2002).



Figura 6.1_a: Ubicación de la zona de estudio. Cuenca superficial del Valle de Uco.

Fuente: Elaboración propia sobre base cartográfica Google Earth.

La cuenca del agua subterránea del río Tunuyán superior bajo estudio (Fig. 6.1_b), es una faja que se extiende aproximadamente, desde el Río Anchayuyo, al norte, hasta el Arroyo de Las Cortaderas al sur, abarcando todo el oasis del Valle de Uco. Comprende parte de los departamentos

de Tupungato, Tunuyán y San Carlos, con una superficie aproximada de 3180 km². Se ubica entre las coordenadas geográficas:

- Latitud: N 33°03' S 34° 17'
- Longitud: O 69° 27' E 58° 68'

Sus límites físicos son: al norte, los afloramientos neógenos de la cerrillada pedemontana que se manifiestan desde la Estación Zapata hacia el oeste; al sur, las sedimentitas neógenas de escasa permeabilidad cuyas elevaciones determinan la divisoria de aguas superficiales que drenan hacia la cuenca Centro o hacia la del río Diamante; al este, se ha asumido como límite el de la falla observada que, desde por la localidad de Zapata, se desarrolla hacia el sur pasando al este de la ciudad de Tunuyán y de la localidad de Chilecito; y al oeste, la Cordillera Frontal (Martinis et al., 2002).

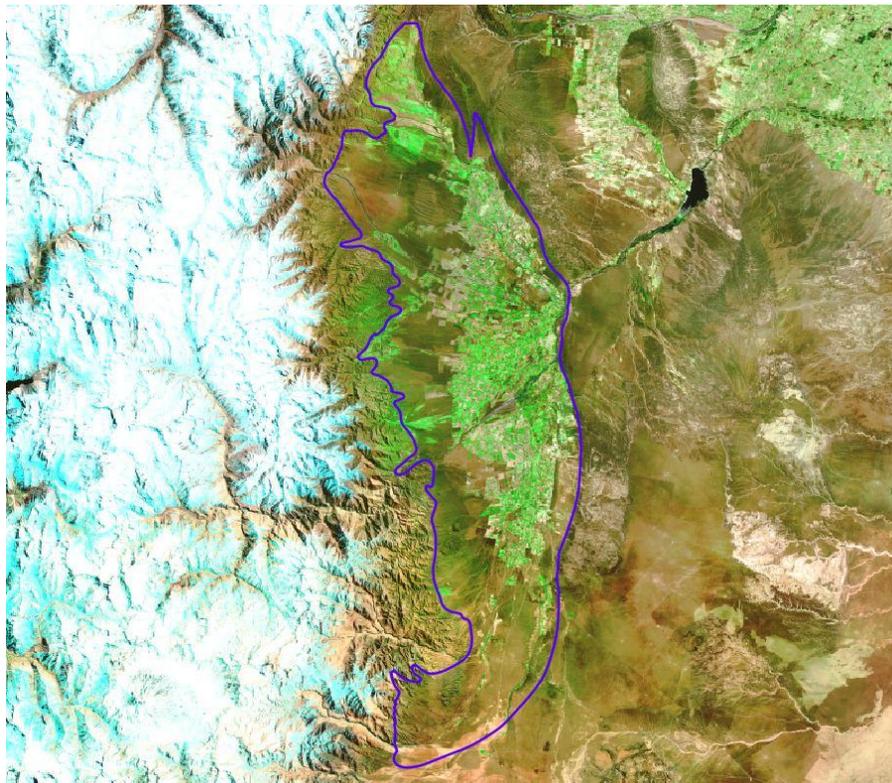


Figura 6.1_b: Ubicación de la zona de estudio. Cuenca subterránea del valle de uco. Fuente: Elaboración propia sobre base cartográfica QGIS.

6.2- RECURSOS ECONÓMICOS – POBLACIÓN E INDUSTRIA

Históricamente el Valle de Uco fue identificado por su producción de frutales de pepita (peras y manzanas), sobre todo en Tunuyán y una viticultura con pequeños productores de variedades viníferas de calidad en San Carlos y Tupungato. Asimismo la producción de nueces en Tupungato es tradicional tanto como el desarrollo forestal para la provisión de maderas para envases en San Carlos.

Actualmente el panorama está modificado: la zona alta del valle, ha sido colonizada por importantes emprendimientos vitivinícolas; muchos de ellos con capitales internacionales; que avanzaron sobre el piedemonte ampliando la frontera irrigada para la producción de uvas finas para vino. La escasez de nueces y su alto precio asimismo promovieron nuevas radicaciones de plantaciones con esta especie. En la década del 90, se llevaron a cabo importantes inversiones frutícolas, hoy en plena producción. En el gráfico 6.2_a se puede observar los tipos de cultivos, observando la dominancia de frutales y vid, respecto al resto.

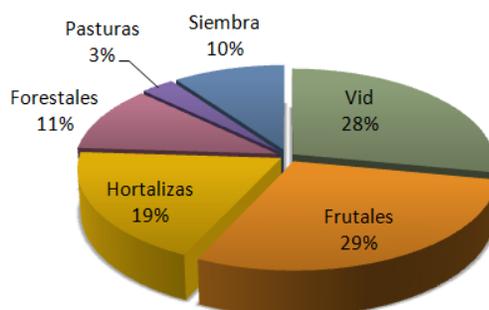


Gráfico 6.2_a: Tipo de cultivos, dentro de las 54.000 has cultivadas el valle de Uco. Fuente: elaboración propia a partir de Schilardi et al., (2011).

“El contexto económico productivo sumado a la trayectoria del territorio, dan como resultado una población con grupos sociales diferenciados, producto de las relaciones sociales profundamente desiguales y la concentración económica que produce el modelo de desarrollo hegemónico. La mayoría de los habitantes son asalariados, tanto industriales como agrarios, pero también ocupan el espacio los dueños de algunas empresas tradicionales, empleados públicos y comerciantes, entre otros” (Pizzolato y Costella 2012).

6.2.1- USO DEL RECURSO HÍDRICO

Dentro del Valle de Uco, la fuente de agua para riego utilizada, es tanto la superficial como la subterránea y también su uso conjunto. El método de riego más utilizado es el superficial, seguido con mucho menos porcentaje, el riego por goteo. (Gráfico 6.2.1_a y 6.2.1_b).



Gráfico 6.2.1_a: Fuente de agua para riego, dentro de las 54.000 has cultivadas el valle de Uco. Fuente: elaboración propia a partir de Schilardi et al., (2011).

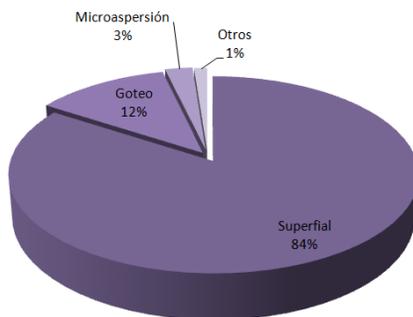


Gráfico 6.2.1_b: Métodos de riego dentro de las 54.000 has cultivadas el valle de Uco. Fuente: elaboración propia a partir de Schilardi et al., (2011).

La construcción de perforaciones ha respondido, en términos generales, a una estrategia de acumulación de un grupo de productores en base a la ampliación de la superficie cultivada por encima de la empadronada, con derechos de riego en base al uso exclusivo de agua subterránea Schilardi et al., (2011).

De oeste a este se distinguen en la cuenca subterránea, del área de estudio, las siguientes áreas: la subzona Alta, con acuífero libre; la segunda subzona-intermedia, definida como área de conducción o tránsito y la tercera o área de descarga, da nacimiento a los arroyos y vertientes que permiten el egreso del agua subterránea desde el acuífero libre por desnivel topográfico (Chambouleyron et al., 2002) (Figura 6.2.1_c).

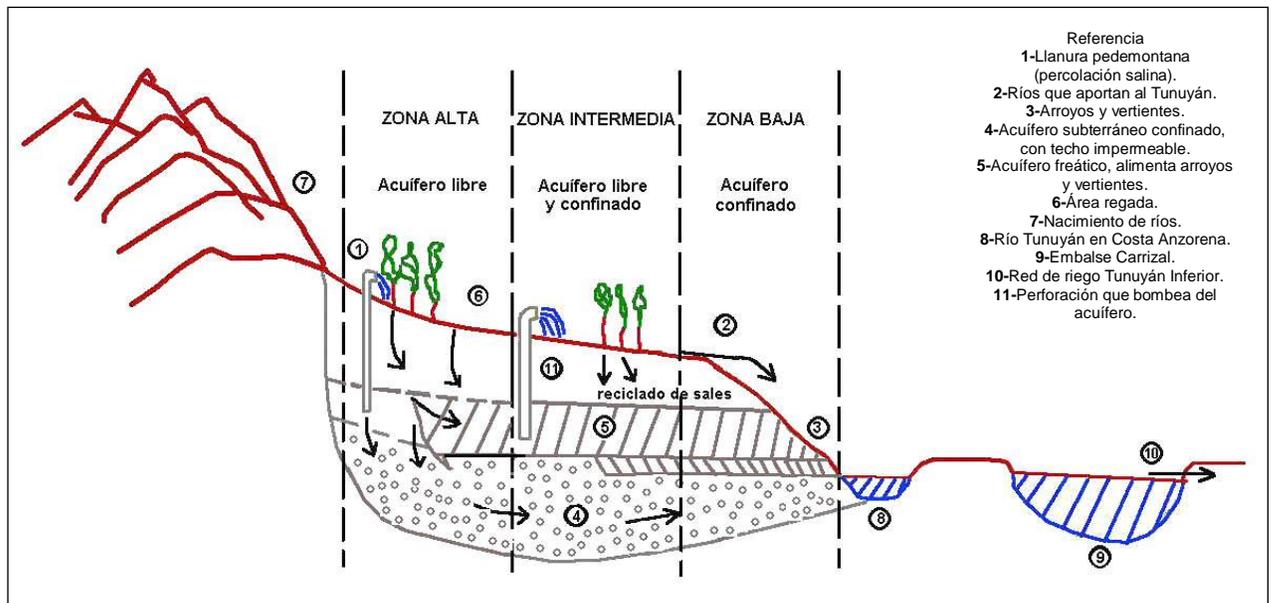


Figura 6.2.1_c: Esquema de uso del agua. Río Tunuyán Superior. Fuente: Chambouleyron et. al., (2002).

La mayor explotación del recurso subterráneo se encuentra concentrada en la zona intermedia, donde en la actualidad existen unas 2.250 perforaciones, de las cuales hay activas unas 1.500 que extraen agua de profundidades que oscilan entre los 80 m (acuífero libre) y los 250 m (acuífero confinado). En este último se han encontrado zonas de surgencia con presiones que superan los 15 m de altura. Además, en algunas regiones se han encontrado acuíferos más profundos (superan los 250 m) con surgencias que alcanzan los 60 m de altura (Chambouleyron et al., 2002).

Hasta el presente, la explotación del agua subterránea estuvo concentrada en la subzona intermedia en la que las perforaciones extraían el agua del acuífero libre o de la zona de freática. Este mecanismo de bombeo desde el nivel freático sumado a la percolación salina del área regada trajo como consecuencia la salinización paulatina del acuífero, generando contaminación salina en los caudales de los arroyos y vertientes. En la actualidad, debido al crecimiento de la nueva zona destinada a la plantación de vides finas, la explotación del agua subterránea se ha expandido a la subzona alta o área de recarga de los acuíferos, acción que intensificará la recarga salina del acuífero libre. Se producirá así el incremento de la salinidad de los arroyos y vertientes del área y con ello un incremento de la salinidad del agua del río Tunuyán (Chambouleyron et al., 2002).

Por último se puede agregar que el aumento del bombeo y extracción de agua subterránea, que responde a un nuevo modelo de acumulación capitalista, caracterizado por la transnacionalización

de la agricultura y el protagonismo de los complejos agroindustriales, con fuertes insumos tecnológicos, va a impactar fuertemente en el área de influencia del río Tunuyán inferior, que es una zona mucho más dependiente del agua subterránea, verá disminuido el caudal y calidad del agua superficial y subterránea (Chambouleyron et al., 2002).

6.3- CLIMA

Su clima es continental, mesotermal y árido, según la clasificación de Papadakis e índices de Knoche, De Martonne, Thornwaite y Blair. La temperatura media es próxima a los 15°C, con máxima y mínima absolutas de 38°C y -12°C, respectivamente. La precipitación anual media es de 320 mm y se distribuye presentando una mayor frecuencia, intensidad y cantidad en los meses de verano. La radiación solar es intensa y el porcentaje de nubosidad es bajo. Todo ello contribuye a que sus suelos sean decrepitos, deficitarios en materia orgánica y, consecuentemente, no estructurados en general (Martinis et al., 2002).

En otras palabras, los factores determinantes del clima, la altitud respecto al nivel del mar y latitud geográfica, como así también la lejanía al Océano Atlántico y la anteposición de la cordillera de Los Andes a los vientos húmedos provenientes del océano Pacífico, hacen que no exista atemperización de los parámetros meteorológicos y por lo tanto en general el clima responda al tipo continental, con las consideraciones antes mencionadas (Ferrari et al., 1994).

6.4- CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS, RED DE RIEGO Y DRENAJE

Los recursos hídricos de la provincia provienen fundamentalmente de las precipitaciones meteóricas que ocurren en su territorio. En la cordillera se han acumulado grandes reservas de agua almacenada en glaciares, campos de nieve, y retenida por procesos de congelamiento en el perfil permeable de las formaciones rocosas, allí se originan los ríos Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel, Malargüe, Grande y Barrancas, que tienen en conjunto un caudal medio de unos 320 m³/s y una cantidad importante de arroyos cordilleranos. (Morábito et al., 2009).

Desde su nacimiento el río Tunuyán corre en su mayor parte fuertemente encajonado y luego de su confluencia con el río Salinillas fluye hacia el este por un estrecho cañón granítico y atravesando la Sierra del Melocotón se desvía hacia el N-E para alcanzar la Estación de aforos Valle de Uco. Continúa su curso y al ampliarse el valle, llega 8 km aguas abajo, al Dique derivador Valle de Uco. En éste se realiza la primera partición de las aguas para el riego de la zona alta del Tunuyán (una superficie empadronada con derechos de riego de 17.000 has). De esta obra de partición se alimenta la red de riego para Campo Los Andes, La Consulta, Vista Flores, San Carlos, Eugenio

Bustos y Tunuyán. Unos 4 km al sur de la ciudad de Tunuyán el río recibe el aporte del Arroyo San Carlos que, a su vez, colecta las aguas de los arroyos Aguanda, Yaucha, Del Rosario, Alvarado y del Cepillo, provenientes de las estribaciones de la Sierras de las Lletas. Otros afluentes como los Arroyos Manzano y Grande se originan en el Cordón del Portillo. Los ríos Las Tunas y Santa Clara descienden, respectivamente, de las estribaciones orientales del Cordón del Portillo y del Cordón de Santa Clara. Los arroyos Chupasangral, La Carrera y Anchayuyo drenan las aguas provenientes de los faldeos correspondientes al Cordón del Plata y contribuyen a aumentar los aportes hídricos de la región. Existen en la zona en estudio otros arroyos que hacen aportes al río Tunuyán pero -a diferencia de los antes mencionados- nacen de las pérdidas por percolación de aquellos (Chambouleyron et al, 2002).

Los mecanismos de pérdidas de los ríos y arroyos de la región han formado poderosos acuíferos subterráneos los que, colmada su capacidad de almacenaje, afloran a la superficie en forma de numerosos cauces que escurren por la llanura hasta ingresar como afluentes al río Tunuyán superior. Entre los arroyos más importantes se encuentran el Arroyo Claro, Guiñazú, La Estacada y Salas Caroca. A raíz de este mecanismo de carga- descarga de la cuenca alta se computa el aporte de 21 arroyos y vertientes al río Tunuyán y al acuífero subterráneo (Chambouleyron et al, 2002). Es importante aclarar que para el presente trabajo se han tomado en cuenta 20 arroyos que ingresan a la cuenca y 6 arroyos que egresan de la misma.

Aguas abajo, en los últimos contrafuertes de la Cordillera de los Andes y en la localidad homónima perteneciente a los departamentos de Luján de Cuyo y Rivadavia se encuentra ubicado el Dique de embalse El Carrizal. Éste tiene una capacidad de almacenaje de 390 hm^3 con sólo 353 hm^3 útiles. (Es importante comentar que unos pocos kilómetros aguas arriba del dique de embalse ingresa al río Tunuyán el Arroyo El Carrizal que nace de las pérdidas del sistema del río Mendoza y por pertenecer a otra cuenca no será tomado en cuenta en este trabajo) (Chambouleyron et al., 2002).

La compleja cuenca hidrológica del río Tunuyán superior y sus sectores de carga y de descarga, se puede dividir en cuatro zonas. La primera es la zona norte (5.360 km^2) y en ella se concentra el mayor número de cauces, destacándose por su importancia los Arroyos Villegas y Anchayuyo y el río Las Tunas. A este último corresponde la zona de riego del departamento Tupungato. La segunda zona (2.380 km^2) es la del río Tunuyán y ya ha sido descripta. La tercera es la zona sur (3.490 km^2) que riega el Departamento de Tunuyán junto a los arroyos San Carlos, Yaucha y Aguanda. Por último, la cuarta zona (3.490 km^2) está formada por los cauces secos de la Sierra de Las Huayquerías que sólo poseen agua cuando ocurren lluvias torrenciales en el verano. La superficie total de las distintas subcuencas en estudio es de 14.720 km^2 (Chambouleyron et al, 2002).

De acuerdo a los datos aportados por la estación de aforos del DGI, se puede indicar que el caudal medio del río Tunuyán es de 30,25 m³/s con un aporte volumétrico a la cuenca de 954 hm³ anuales (sólo quedan en la cuenca 162 hm³ (17 %) (Chambouleyron et al, 2002).

La suma de todos los ingresos a la zona del estudio es de 1.891 hm³ y la de los egresos (arroyos y vertientes) de 242 hm³. En este balance provisorio hay que computar que el río Tunuyán sólo deriva a la zona alta el 17% de su caudal ya que el resto del agua continúa por el cauce hasta el Dique de embalse El Carrizal para regar el área de influencia del río Tunuyán inferior (Chambouleyron et al, 2002).

Debido a que la suma de todos los egresos que se producen en la zona Baja - aguas arriba de Carrizal (teniendo en cuenta arroyos, caudal pasante del río y Arroyo San Carlos) es de 1145 hm³, la diferencia respecto de lo ingresado que queda a disposición de la zona Alta de la cuenca, es de 746 hm³ (1891 – 1145 = 746). Este volumen, en su gran mayoría, es usado para riego, uso poblacional e industrial (Chambouleyron et al, 2002).

6.5- CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOMORFOLÓGICAS

El valle de Uco, desde el punto de vista geomorfológico, es considerado como una llanura o planicie agradacional pedemontana y forma parte de la Depresión de los Huarpes - Graben de Tunuyán, constituyendo un elemento negativo, deprimido y más o menos aplanado. Representa una gran depresión que fue rellenada continuamente con depósitos aluviales desde el Neógeno al Cuaternario. Más precisamente es una de las unidades geomórficas de la Depresión de los Huarpes que, ubicada en su extremo norte, se conoce como "Bajada Joven al Graben de Tunuyán" (Martinis et al., 2002).

En la Fig. 6.5_a, se representa por regiones las unidades geomórficas del valle de Uco

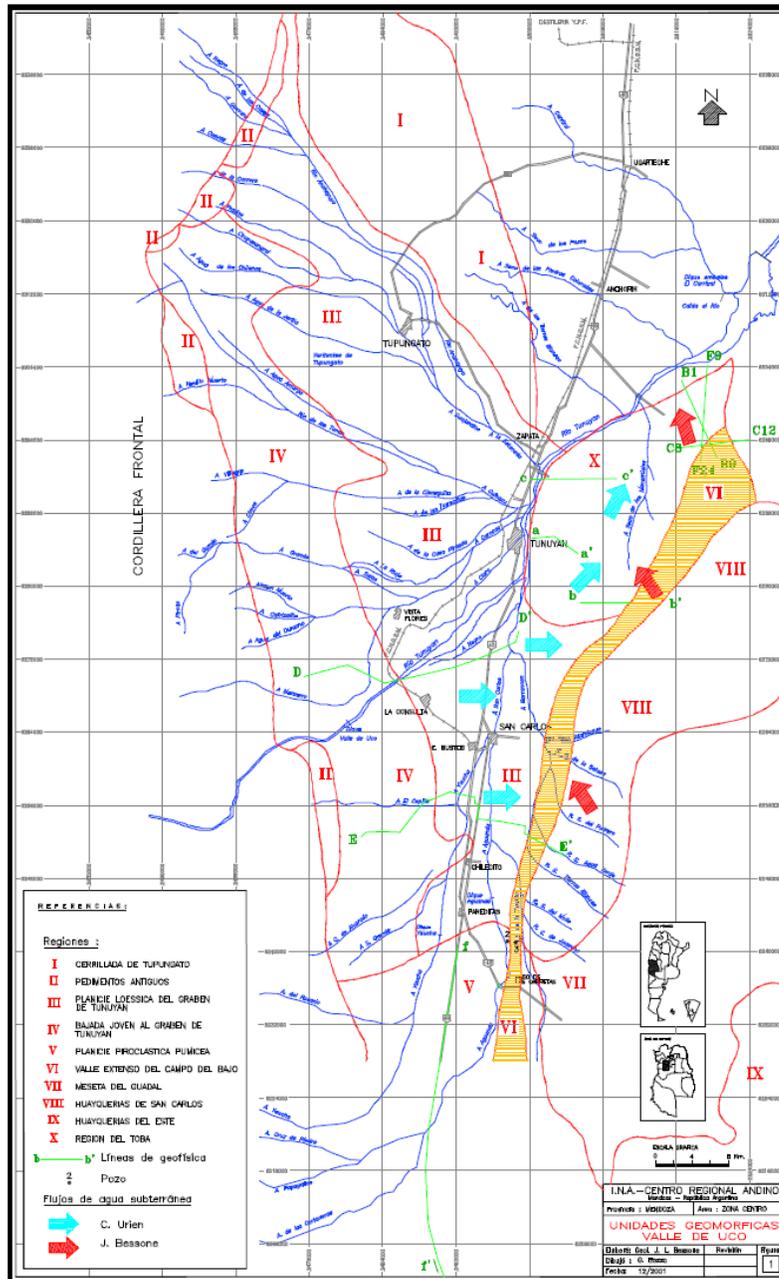


Figura 6.5_a: Unidades Geomórficas del Valle de Uco. Fuente Martinis, et al. (2002).

6.6- CONFORMACIÓN DE LOS SUELOS

Los suelos están formados por rellenos aluviales y/o eólicos provenientes de materiales madre, originados en los diferentes tipos de rocas de la cordillera desintegradas y paulatinamente descompuestas por intensos procesos de meteorización. Los detritos resultantes edafizados “in situ” formaron suelos primarios o fueron arrastrados y acumulados en otros lugares para dar lugar a los suelos secundarios que dominan el área (Chambouleyron et al., 2002).

Las condiciones climáticas de aridez determinan que en la zona no se encuentren perfiles desarrollados puesto que los procesos de maduración del perfil son prácticamente nulos. Predominan los suelos sueltos, estratificados con texturas franco arenosas y arenosas en profundidad. En general tienen buena permeabilidad con una capacidad de almacenaje de agua que puede calificarse como media. En algunas zonas es importante la presencia de perfiles arenosos, lo que disminuye el almacenaje y la fertilidad natural de los suelos (Chambouleyron et al., 2002).

6.7- CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS

Desde el punto de vista hidrogeológico, la Cuenca Centro se define como aquella parte de la Depresión de los Huarpes ubicada en su extremo norte rellena con sedimentos cuaternarios aluviales, que constituyen el medio físico que permite la conducción y acumulación del agua aportada por la infiltración de los arroyos y ríos ingresantes desde la cordillera. Es una cuenca intermontana alargada de norte a sur y con marcada pendiente hacia el noreste (Chambouleyron et al., 2002). (Fig. 6.7_a)

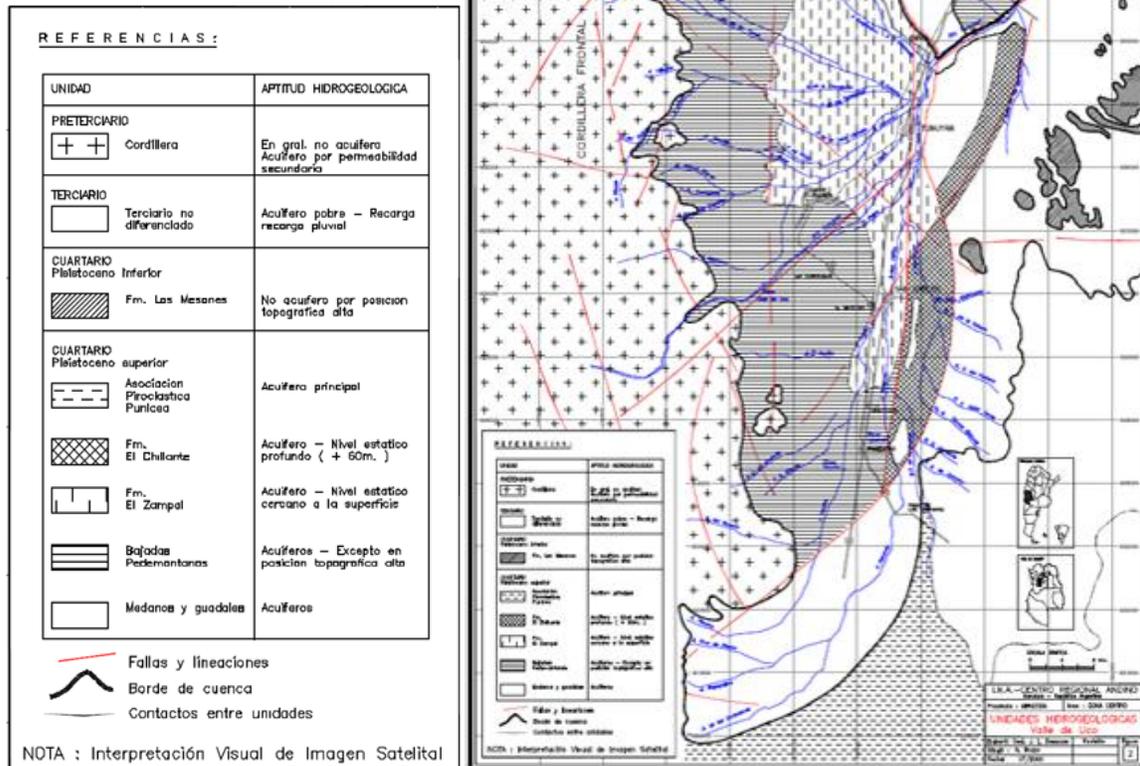


Figura 6.7_a: Unidades Hidrogeológicas de la cuenca del Valle de Uco. Fuente Martinis, et al., (2002).

El esquema hidrogeológico de la cuenca es sencillo, ya que la misma se adosa a la Cordillera Frontal mediante una bajada pedemontana que culmina en una escasamente desarrollada llanura aluvial. Ésta se ve interrumpida al este y norte por una fractura que produce el levantamiento del Neógeno infrayacente, de características hidrogeológicas diferentes. Es decir, se trata de una cuenca conformada por sedimentos cuaternarios de buena permeabilidad, cerrada al norte, este y sur por sedimentitas terciarias de escasa o nula permeabilidad, y que tiene como único punto de egreso al río Tunuyán en el centro-este de la misma (Chambouleyron et al., 2002).

El proceso de colmatación de la depresión, provocado por la depositación de los materiales acarreados por los ríos y arroyos, se produjo a través de una sedimentación selectiva, dejando los

clastos más gruesos cerca de la cordillera y los más finos en la parte distal, al este-noreste. Esto, y la topografía general que indica un descenso desde el oeste al este y desde el sur al norte, determinan la presencia de una zona de recarga y otra de descarga de los acuíferos (Chambouleyron et al., 2002).

Los principales acuíferos se encuentran en la cubierta sedimentaria de edad neógena, cuaternaria y reciente. El sustrato está formado por sedimentos impermeables del Neógeno sobre los que se acumulan depósitos aluvionales y fluviales del Neógeno (Plioceno) hasta actuales (Chambouleyron et al., 2002).

Los sedimentos cuaternarios constituyen el relleno de la cuenca, y son el medio físico que permite la conducción y acumulación del agua (Chambouleyron et al., 2002).

En la zona occidental, el elevado gradiente topográfico, da origen a sedimentos de grano grueso en todo su desarrollo vertical, conformando acuíferos que se comportan como libres. Es el área principal de recarga de la cuenca. Hacia el este, la disminución del gradiente, de la velocidad y pérdida de capacidad de transporte fluvial, generan una disminución granulométrica de los sedimentos y determinan que la parte oriental del área sea zona de descarga de agua subterránea, dando origen además, a la existencia de acuíferos confinados y una extensa área de surgencia (Chambouleyron et al., 2002).

El sector oriental tiene características hidrogeológicas óptimas para la extracción de agua subterránea, ya que allí se hallan las menores profundidades. Además, se caracteriza por tener altos índices de productividad debido a la elevada permeabilidad de las formaciones acuíferas (Chambouleyron et al., 2002).

Los afloramientos de sedimentos pre cuaternarios comprenden depósitos continentales del Paleógeno a Neógeno, localizados especialmente en el borde oriental de la cuenca y que por sus características sedimentológicas actúan como basamento impermeable para el agua subterránea. Los afloramientos aislados dentro de la cuenca son de importancia fundamental en el movimiento del agua, porque actúan como barrera tanto en superficie como en profundidad (Chambouleyron et al., 2002).

De oeste a este se distinguen en la cuenca subterránea (Fig. 6.7_b) las siguientes áreas: la primera o área de infiltración (subzona Alta) con acuífero libre, situada en el pedemonte andino caracterizada por una infiltración rápida. La segunda (subzona-intermedia), definida como área de conducción o tránsito, es un reservorio con menor tamaño de granulometría de sedimentos que

posee un acuífero libre y otro confinado, con un techo impermeable que permite, en ciertos lugares, generar presión y/o surgencia. La tercera o área de descarga, da nacimiento a los arroyos y vertientes que permiten el egreso del agua subterránea desde el acuífero libre por desnivel topográfico (Chambouleyron et al., 2002).

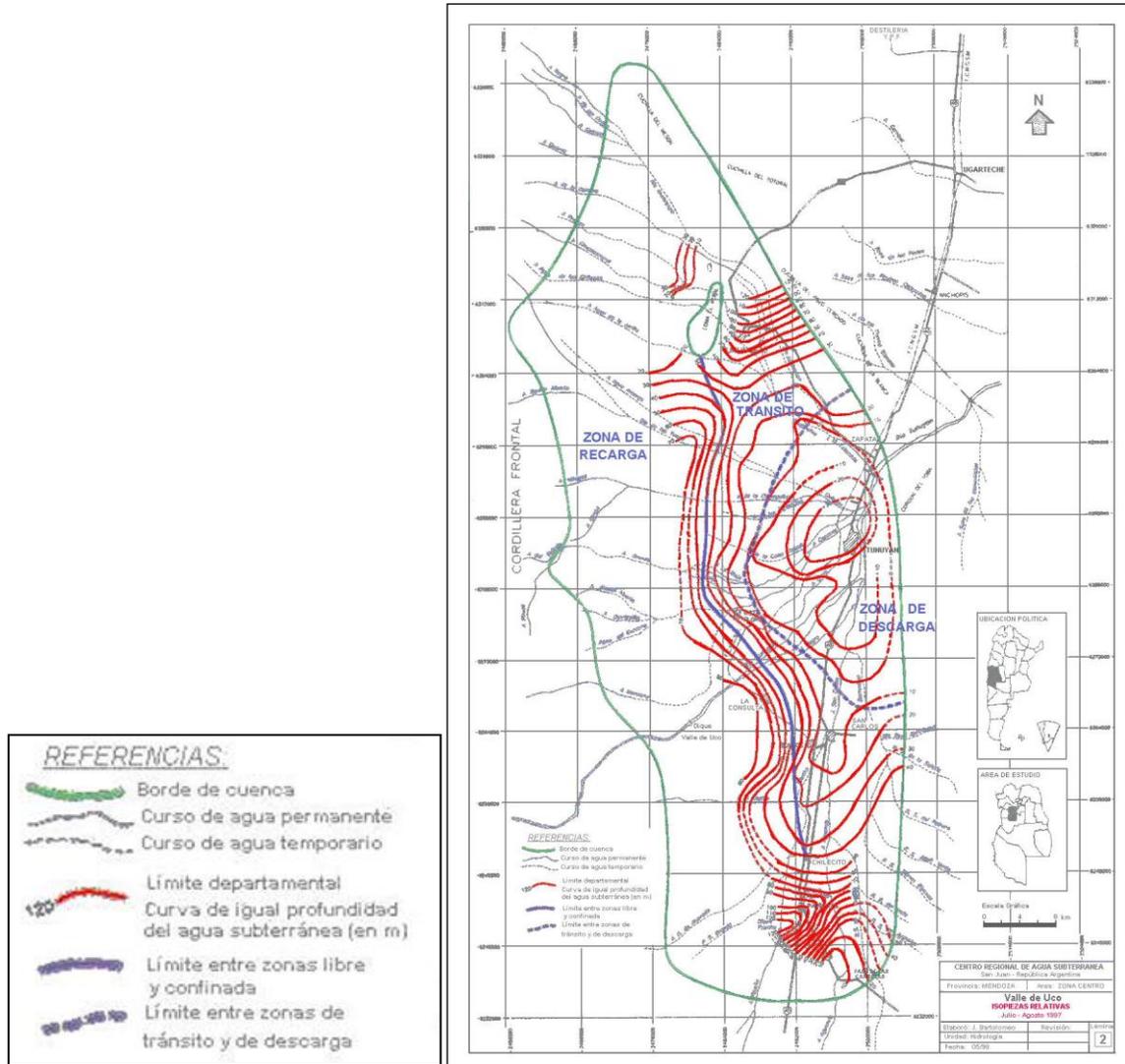


Figura 6.7_b: Areas de carga y descarga del río Tunuyán Superior. Fuente: Chambouleyron et al. (2002).

La zona de infiltración o de recarga y de tránsito rápido del agua subterránea debido al elevado gradiente hidráulico, es una extensa franja de dirección norte-sur adosada a la cordillera que comprende a las unidades que se presentan como remanentes de la serranía pedemontana (antes del hundimiento que originó la Depresión de los Huarpes) y de conos aluviales constituidos por

fanglomerado grueso en bloques grandes, y a los sedimentos gruesos acumulados en la bajada pedemontana y en la parte proximal de la llanura aluvial (Martinis et al., 2002).

En la zona de descarga, comienza la intercalación de materiales finos con otros más gruesos, la que se acentúa hacia el este donde la fuerte intercalación de capas de gravas, arenas, limos y arcillas da lugar al confinamiento de los acuíferos. Y donde los desniveles topográficos producen los principales afloramientos de agua subterránea, puestos de manifiesto no sólo por el drenaje de los arroyos egresantes sino también por la surgencia de las perforaciones, donde el agua subterránea ejerce una presión tal que puede elevarse, en algunos casos, más de 20 metros por sobre el suelo (Martinis et al., 2002).

7- MATERIALES Y MÉTODOS

7.1- RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE.

Se recopiló información de caudales medios mensuales históricos del río Tunuyán en la estación Valle de Uco, (Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, www.hidricosargentina.gov.ar), y de los arroyos afluentes (Instituto Nacional del Agua). También se recopiló información histórica de los niveles estáticos de agua subterránea de la red de pozos de monitoreo del Instituto Nacional del Agua.

7.1.1- INFORMACIÓN DE CAMPO

Se realizaron salidas a campo para hacer reconocimiento de la zona, Valle de Uco, e intercambiar información con los miembros del INTA de La Consulta, se tomó conocimiento de los estudios y proyectos, que se están ejecutando y de los planeados para un futuro, con el objetivo de tener una visión más integral de la cuenca bajo estudio.

7.2- GENERACIÓN DE BASES DE DATOS

7.2.1- BASE DE DATOS SUPERFICIAL

Se generó una nueva base de datos (Anexo 7.2.1), a partir de los datos otorgados por el INA, en la cual se dispuso de caudales medios anuales de 26 arroyos (20 ingresos y 6 egresos), desde el ciclo 1975/1976 hasta 1996/1997, y de los caudales medios del río Tunuyán desde 1972 hasta 2011.

No todos los valores de caudales medios anuales de los arroyos son medidos, si no que en su mayoría son datos inferidos a partir de una relación funcional con los caudales de otro cauce, como se especifica a continuación:

Tabla 7.2.1_a: Arroyos de la cuenca del Valle de Uco. Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos del INA-CRA.

ARROYOS					
INGRESO			EGRESO		
1-	NEGRO Ing	0,085852 x Q (A. de la Carrera)	1-	NEGRO Egr	Medido
2-	CUEVAS	0,94467 x Q (A. de la Carrera)	2-	SAN CARLOS	Medido
3-	GUEVARA	0,0884172 + (A. de la Carrera)	3-	CLARO	Medido
4-	DE LAS CASAS	0,3853 x Q (A. de la Carrera)	4-	SALAS CAROCA	Medido
5-	DE LA CARRERA	Medido	5-	GIÑAZU	Medido
6-	OLMOS	0,1755678 x Q (A. Grande)	6-	LA ESTACADA	Medido
7-	NOVILLO MUERTO	0,212174 x Q (A. Grande)			
8-	VILLEGAS	0,490397 x Q (A. Grande)			
9-	GRANDE	Medido			
10-	PIRCAS	0,618536 x Q (A. Grande)			
11-	LAS TUNAS	Medido			
12-	SANTA CLARA	Medido			
13-	CHUPASANGRAL	0,213522 x Q (A. las Tunas)			
14-	CEPILLO	0,095864 x Q (A. Yaucha)			
15-	YAUCHA	Medido			
16-	CRUZ DE PIEDRA	0,071265 x Q (A. Yaucha)			
17-	CORTADERAS	0,061388 x Q (A. Yaucha)			
18-	ROSARIO	0,770263 x Q (A. Yaucha)			
19-	PAPAGALLOS	0,606957 x Q (A. Yaucha)			
20-	MANZANO	Medido			

El periodo de tiempo elegido para los ciclos involucrados, fue fijado en base a los registros disponibles para cada ciclo, ya sea superficial (caudal medio anual) y subterráneo (cota de agua).

7.2.2- BASE DE DATOS SUBTERRÁNEA

De la base de datos de los pozos registrados por el INA desde el año 1972 hasta el año 2012, se generó una nueva base de datos (Anexo 7.2.2) donde sólo se tomaron aquellos años que disponían de suficientes registros como para hacer análisis estadístico.

De esta manera se trabajó con 225 pozos georreferenciados (POSGAR 94) y sus respectivas cotas de agua (CA), desde 1972 hasta 2011. Los años faltantes de registros son 1984, 1996, 1998, 2000, 2002, 2008, 2010 y 2012. Se calculó la diferencia de cota entre años sucesivos, para cada pozo, de manera tal que una diferencia positiva indica recarga y una diferencia negativa indica descarga. Es por ello que, debido a la falta de mediciones en los años mencionados, no fue posible calcular la diferencia de cota anual durante los periodos 1995 a 2003 y de 2007 a 2011. Es importante aclarar además que no todos los pozos fueron medidos todos los años.

7.3- ANÁLISIS ESTADÍSTICO

7.3.1- EVOLUCIÓN TEMPORAL DE CAUDALES

Para describir la variabilidad temporal de caudales del río Tunuyán y de los arroyos afluentes, se realizaron gráficos de evolución temporal para los caudales medios anuales (m^3/s) de los mismos,

desde el ciclo correspondiente a los años 1975/1976 hasta 1996/1997, y para los caudales medios del río Tunuyán desde 1972 hasta 2011.

7.3.2- ANÁLISIS DESCRIPTIVO

Se calcularon estadígrafos descriptivos de las variables caudales de ríos y arroyos, y de cotas de agua subterránea.

7.3.3- EVALUACIÓN DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE LOS NIVELES ESTÁTICOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA.

Para evaluar la variabilidad espacial de los niveles estáticos del agua subterránea, se aplicó análisis geoestadístico con el fin de determinar los parámetros de los modelos de ajuste a los variogramas experimentales. A partir de los parámetros de variabilidad estructural se obtuvieron mapas de niveles estáticos para toda la cuenca.

7.3.3.1- ANÁLISIS VARIOGRÁFICO

En el programa SAGA GIS 2.1.2, se realizó el análisis variográfico (Fig. 8.3.1_a), donde se obtuvieron los tres parámetros en base al año con mayor cantidad de registros (pozos) medidos, utilizando de esta manera al año 2011. Se probaron modelos esférico, exponencial y gaussiano, ajustándose mejor el modelo esférico, de manera que se procedió con tal modelo.

7.3.3.2- GENERACIÓN DE MAPAS DE NIVELES ESTÁTICOS Y DE DIFERENCIA DE COTA DE AGUA SUBTERRÁNEA

Se trabajó con CA (Cota de Agua = Cota Topográfica- Nivel Estático), de la base de datos de pozos del INA, de la serie histórica 1972-2011.

Mediante el sistema de información geográfica QGIS 2.10.1 se aplicó análisis de krigeado ordinario, utilizando los parámetros obtenidos en el análisis variográfico o estructural.

En primer lugar se hicieron mapas de cota de agua, para cada año, luego se calculó la diferencia de cota de agua entre años sucesivos.

7.3.4- ANÁLISIS INFERENCIAL

Para evaluar la relación entre caudales de ríos y arroyos y diferencia de cota de agua subterránea, se llevó a cabo análisis de correlación lineal y análisis de regresión lineal simple. Se utilizó el software Infostat/P (Di Rienzo et al, 2012).

8- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1- DESCRIPCIÓN DE LA VARIABILIDAD TEMPORAL DE CAUDALES DEL RÍO TUNUYÁN Y DE LOS ARROYOS AFLUENTES.

En el siguiente gráfico se muestra la variabilidad temporal del caudal medio anual del río Tunuyán, expresado en m^3/s , desde el año 1972 hasta el año 2011 (Gráfico 8.1_a). En el mismo se puede observar que los ciclos hidrológicos correspondientes a los años 1972/1973, 1982/1983, 1986/1987, 1987/1988, 2001/2003 y 2005/2006, fueron ciclos ricos en caudal, con valores entre 38 y 54 m^3/s ; y los años 1976/1977, 1981/1982, 1990/1991, 1996/1997 y 2004/2005, fueron ciclos pobres en caudal, cuyos valores oscilan entre 15 y 23 m^3/s .

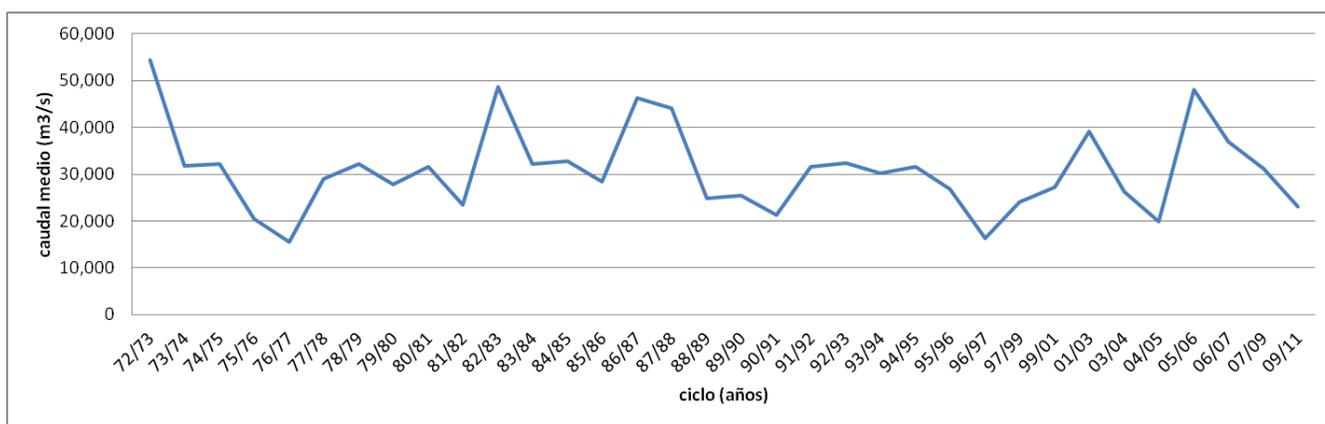
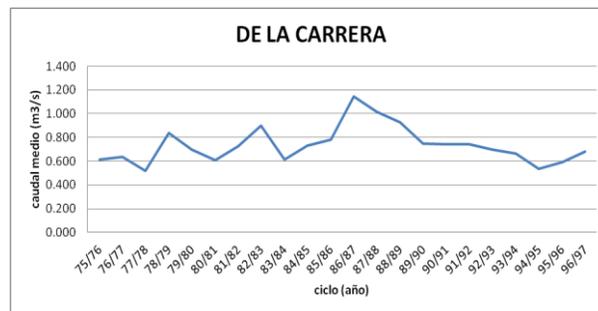
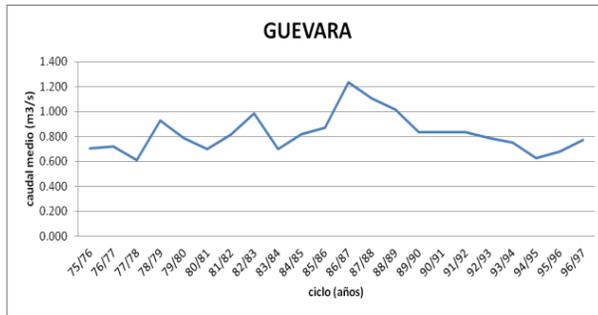
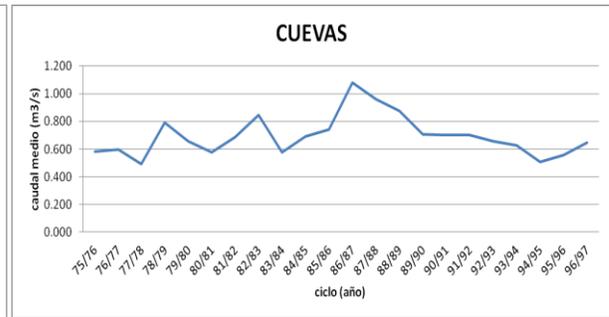
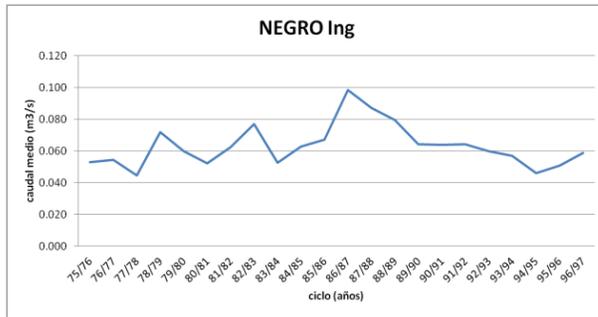
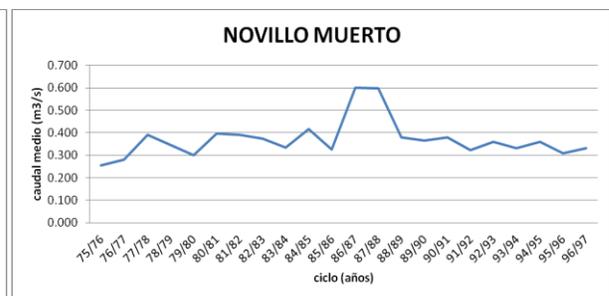
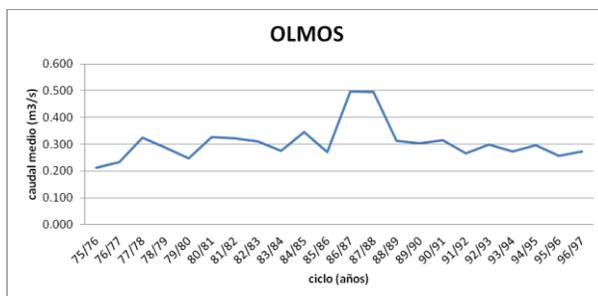


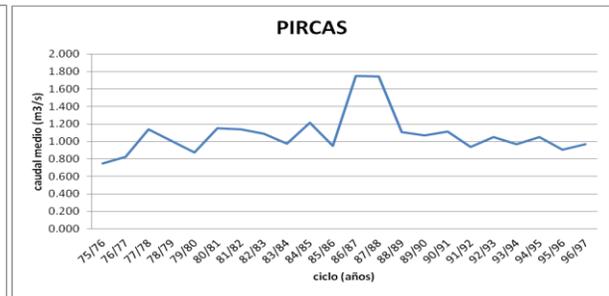
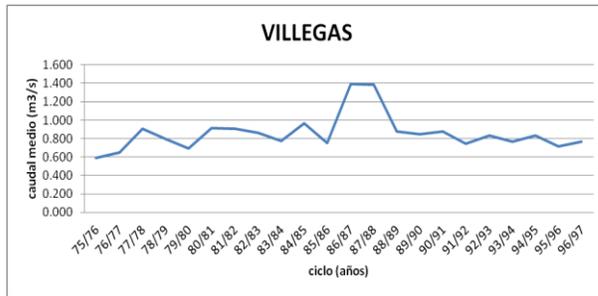
Gráfico N°8.1_a: Caudales medios (m^3/s) del río Tunuyán Superior, desde el ciclo correspondiente a los años 1972/1973 hasta 2009/2011.

Respecto a los arroyos de la cuenca del Valle de Uco, y su variabilidad temporal de los caudales medios anuales (m^3/s), adecuados a los ciclos hidrológicos de 1975/1976 hasta 1996/1997, se puede determinar en los siguientes gráficos (Gráfico 8.1_b, c, d, e, h) las observaciones correspondientes.

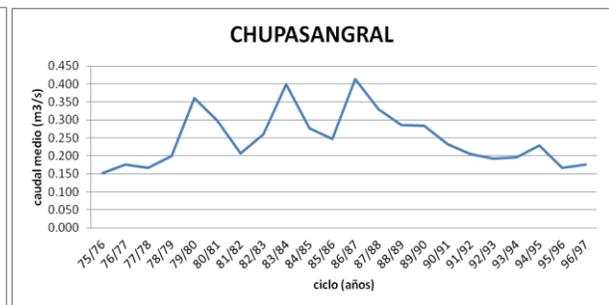
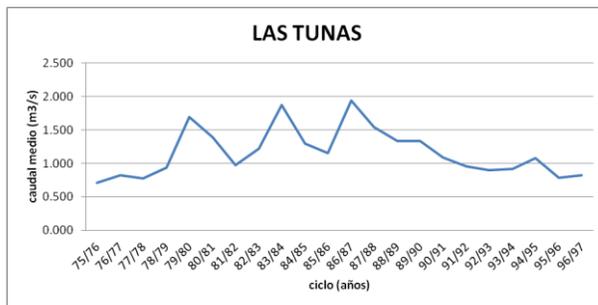


Gráficos N° 8.1_b: Caudales medios (m³/s) de los arroyos Negro Ing., Cuevas, Guevara, De las Casas y De la Carrera, desde el ciclo correspondiente a los años 1975/1976 hasta 1996/1997.





Gráficos N° 8.1_c: Caudales medios (m³/s) de los arroyos Olmos, Novillo Muerto, Villegas, Grande y Pircas desde el ciclo correspondiente a los años 1975/1976 hasta 1996/1997.



Gráficos N° 8.1_d: Caudales medios (m³/s) de los arroyos Las Tunas y Chupasangral desde el ciclo correspondiente a los años 1975/1976 hasta 1996/1997.

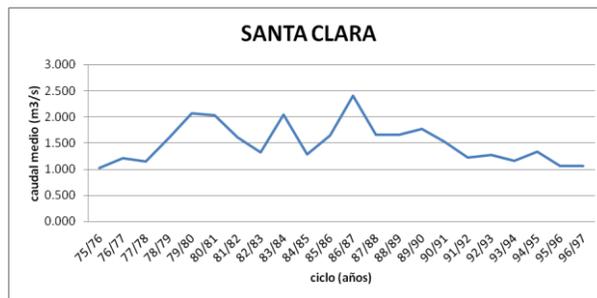
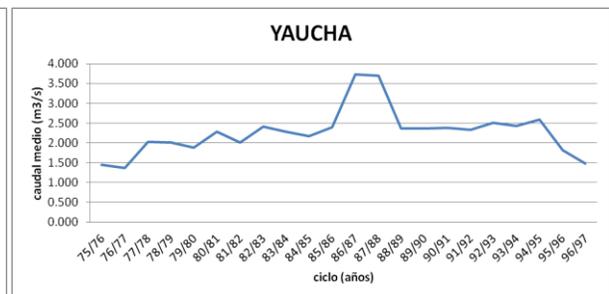
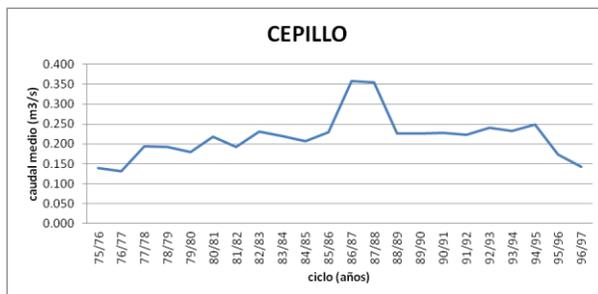
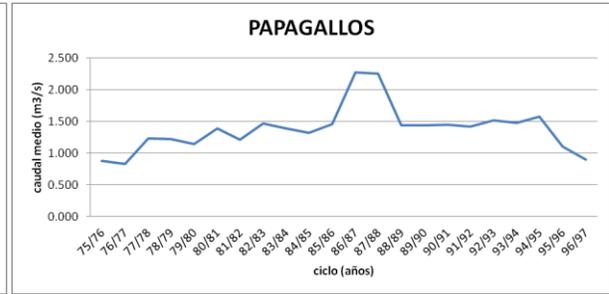
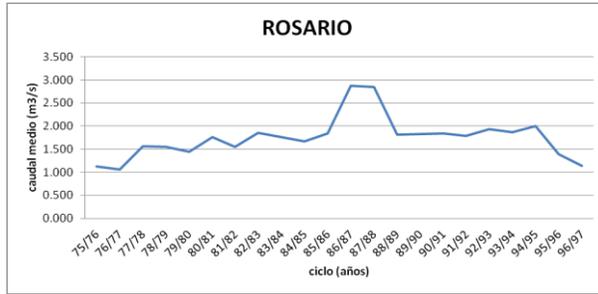
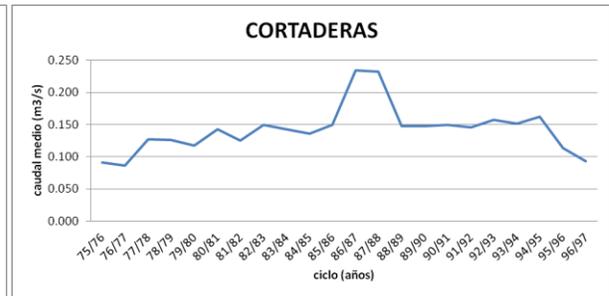
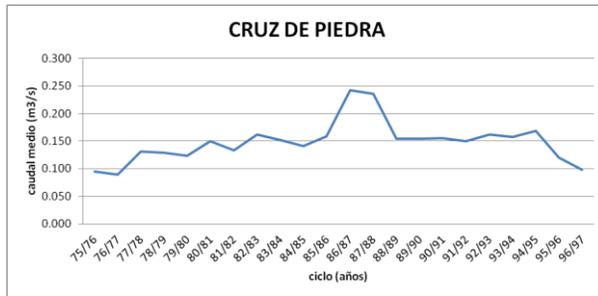


Gráfico N° 8.1_e: Caudales medios (m³/s) del arroyo Santa Clara, desde el ciclo correspondiente a los años 1975/1976 hasta 1996/1997.





Gráficos N° 8.1_f: Caudales medios (m³/s) de los arroyos Cepillo, Yaucha, Cruz de Piedra, Cortaderas, Rosario y Papagallos, desde el ciclo correspondiente a los años 1975/1976 hasta 1996/1997.

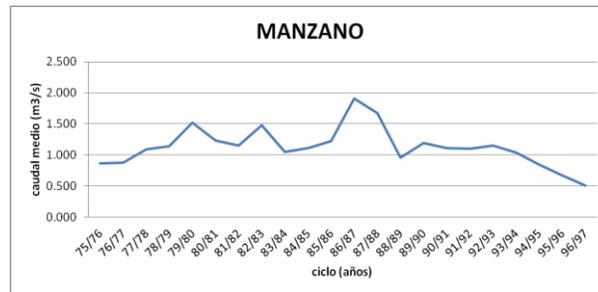
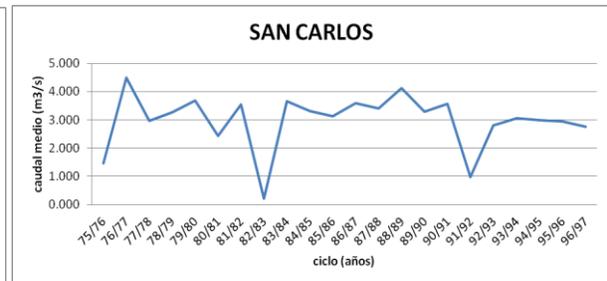
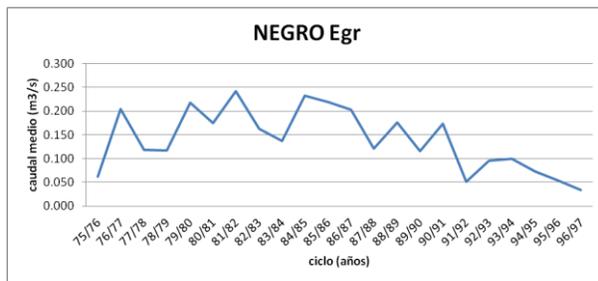
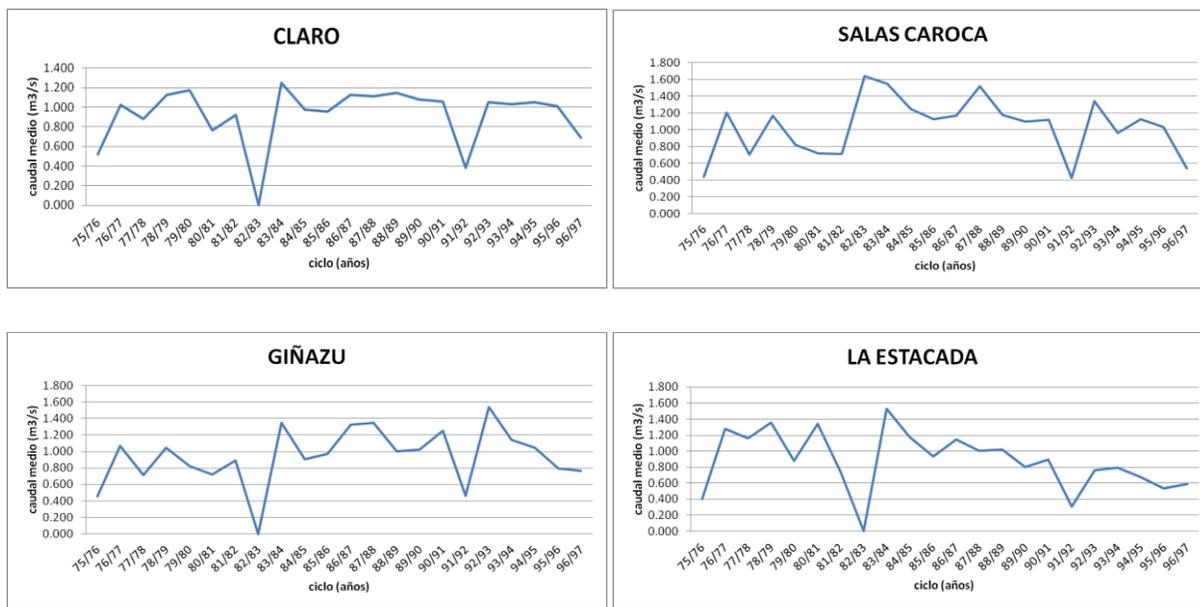


Gráfico N° 8.1_g: Caudales medios (m³/s) del arroyo Manzano desde el ciclo correspondiente a los años 1975/1976 hasta 1996/1997.





Gráficos N° 8.1_h: Caudales medios (m^3/s) del arroyo Negro Egr., San Carlos, Claro, Salas Caroca, Guñázu y La Estacada, desde el ciclo correspondiente a los años 1975/1976 hasta 1996/1997.

En relación a los caudales de los arroyos que ingresan a la cuenca (Gráfico 8.1_b, c, d y e), se puede apreciar que los ciclos correspondientes a los años 1979/1980, 1982/1983, 1983/1984 y 1986/1987 fueron ciclos hidrológicos ricos en caudal, siendo el último de éstos, el ciclo de mayor valor observado. Mientras que los años 1975/1976, 1995/1996 y 1996/1997 fueron los ciclos hidrológicos pobres en caudal.

Para los arroyos que egresan de la cuenca (Gráfico 8.1_h) se observan algunas diferencias respecto a los que ingresan. En cuanto a los ciclos hidrológicos ricos, los picos en caudales se observan en los años 1976/1977, 1983/1984 y 1988/1989 a modo general. Y en lo que respecta los ciclos hidrológicos pobres, se destacan los siguientes cuatro ciclos 1975/1976, 1982/1983, 1991/1992 y 1996/1997.

8.2- ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO

8.2.1- ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO CORRESPONDIENTE A LA CUENCA SUPERFICIAL DEL VALLE DE UCO.

En la siguiente tabla (Tabla 8.2.1_a) se muestra el análisis estadístico descriptivo de los caudales medios anuales, medidos en m^3/s , correspondiente al río Tunuyán, desde el año 1972 hasta el año 2011, y de los arroyos del Valle de Uco desde el año 1975 hasta 1997.

Tabla 8.2.1_a: Análisis estadístico descriptivo de los caudales medios anuales (m^3/s) correspondiente al río Tunuyán (1972/2011) y los arroyos del valle de Uco (1975/1997).

Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
Tunuyán	35	30.31	8.89	15.50	54.40
Manzano	22	1.13	0.31	0.51	1.91
San Carlos	21	3.12	0.79	0.97	4.49
Claro	21	0.97	0.22	0.38	1.25
Negro Ing	22	0.06	0.01	0.04	0.10
Cuevas	22	0.69	0.14	0.49	1.08
Guevara	22	0.82	0.15	0.61	1.23
De Las Casas	22	0.28	0.06	0.20	0.44
De La Carrera	22	0.73	0.15	0.52	1.14
Olmos	22	0.31	0.07	0.21	0.50
Novillo Muerto	22	0.37	0.08	0.26	0.60
Villegas	22	0.86	0.19	0.59	1.39
Grande	22	1.75	0.40	1.21	2.83
Pircas	22	1.08	0.24	0.75	1.75
Las Tunas	22	1.16	0.36	0.71	1.94
Santa Clara	22	1.51	0.38	1.02	2.41
Chupasangral	22	0.25	0.08	0.15	0.41
Cepillo	22	0.22	0.06	0.13	0.36
Yaucha	22	2.27	0.58	1.37	3.74
Cruz De Piedra	22	0.15	0.04	0.09	0.24
Cortaderas	22	0.14	0.04	0.09	0.23
Rosario	22	1.75	0.45	1.06	2.88
Papagallos	22	1.38	0.35	0.83	2.27
Negro Egr	22	0.14	0.06	0.03	0.24
Salas Caroca	22	1.04	0.34	0.43	1.64
Giñazu	22	0.94	0.35	0.00	1.54
La Estacada	22	0.88	0.37	0.00	1.53

En lo que respecta al río Tunuyán, se determina, a partir de 35 datos registrados, que presenta un caudal medio anual de 30,31 m³/s (DE 8,89 m³/s), con valores que van de 15,50 a 54,40 m³/s.

En cuanto a los arroyos de la cuenca, a partir de un promedio de 22 datos registrados, se determina un caudal medio anual de 0,92 m³/s, con valores que van de 0 m³/s (DE 0,37 m³/s), correspondiente al arroyo La Estacada, a valores de 4,49 m³/s (DE 0,79 m³/s) correspondiente al arroyo San Carlos.

También se observa que el arroyo con mayor aporte a la misma es el arroyo San Carlos con un caudal medio anual de 3,12 m³/s (DE 0,79 m³/s), seguido por el arroyo Yaucha 2,27 m³/s (DE 0,58 m³/s) y en menor medida el arroyo Grande y el arroyo Rosario con caudales medio anual de 1,75 m³/s (DE 0,40 m³/s, DE 0,45 m³/s respectivamente). Por otro lado dentro de los arroyos que menos aportan a la cuenca se destacan tres con los registros más bajos, siendo el de menor aporte el arroyo Negro, con un caudal medio anual de 0,06 m³/s (DE 0,01 m³/s) al ingresar a la cuenca y 0,14 m³/s (DE 0,06 m³/s) al egresar de la misma, seguido, con un aporte igual al anterior de 0,14 m³/s (DE 0,04 m³/s) el arroyo Cortaderas, y por último el arroyo Cruz de Piedra con un caudal medio de 0,15 (DE 0,04 m³/s).

8.2.2- ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO CORRESPONDIENTE A LA CUENCA SUBTERRÁNEA DEL VALLE DE UCO.

A continuación se presenta la tabla 8.2.2_a, donde se muestra el análisis estadístico descriptivo de las cotas de aguas (m), de la cuenca del Valle de Uco, desde el año 1972 al 2011.

Tabla 8.2.2_a: Análisis estadístico descriptivo de las cotas de aguas (m) desde el año 1972 al año 2011.

Variable	N	Media	D.E.	Mín.	Máy.
CA.1972	28	1019.6	151.3	852.7	1378.5
CA.1973	64	1032.4	147.2	845.6	1393.5
CA.1974	62	1033.3	149.8	845.9	1393.4
CA.1975	74	1018.4	141.6	845.5	1392.8
CA.1976	96	1007.4	136.5	846.0	1391.8
CA.1977	105	994.9	127.9	846.1	1376.1
CA.1978	102	997.8	134.1	846.0	1388.7
CA.1979	95	999.0	132.5	820.2	1393.5
CA.1980	94	1002.3	139.2	820.3	1393.5
CA.1981	92	1001.1	133.5	820.5	1374.7

Variable	N	Media	D.E.	Mín.	Máx.
CA.1982	90	1001.2	134.6	820.0	1394.2
CA.1983	91	1006.5	139.4	819.8	1399.6
CA.1985	88	1004.0	138.6	820.0	1399.7
CA.1986	91	1001.0	134.8	819.9	1398.2
CA.1987	86	1003.2	136.8	819.9	1399.4
CA.1988	89	1000.8	135.9	820.4	1402.6
CA.1989	85	1001.8	133.2	819.8	1400.6
CA.1990	78	1013.7	142.1	830.5	1398.1
CA.1991	74	978.7	96.9	834.7	1398.3
CA.1992	91	1003.2	134.7	851.5	1398.1
CA.1993	103	995.0	129.1	819.2	1398.7
CA.1994	100	985.7	113.1	819.2	1398.1
CA.1995	97	986.7	115.6	852.2	1398.2
CA.1997	91	989.3	120.0	851.1	1364.6
CA.1999	99	993.3	129.2	819.7	1396.8
CA.2000	3	1124.8	221.4	983.9	1379.9
CA.2001	31	1071.5	205.9	850.0	1396.9
CA.2003	22	1076.1	210.8	850.0	1399.6
CA.2004	27	1034.6	193.4	821.4	1397.8
CA.2005	72	1007.7	147.6	852.0	1397.7
CA.2006	72	984.7	121.3	796.7	1399.5
CA.2007	69	1004.2	138.4	796.7	1405.6
CA.2009	77	999.2	136.6	796.0	1377.6
CA.2011	86	998.0	124.6	795.7	1402.1

A partir del análisis mencionado se determina que los años 2000, 2001, 2003 y 2004 presentaron los valores de Cota de Agua más altos, 1124,8 m (DE 221,4 m), 1071,5 m (DE 205,9 m), 1076,1 m (DE 210,8 m) y 1034,6 m (DE 193,4 m) respectivamente; correspondiéndose con los años de menor cantidad de datos registrados. A demás se observa que el año 1991, con una CA media de 978,7 m (DE 96,7 m), es el de menor valor relativo, seguido por los años 2006, 1994 y 1995, con CA media de 984, 7 m (DE 121,3 m), 985,7 m (DE 113,1 m), 986,7 m (DE 115,6 m) respectivamente.

8.3- EVALUACIÓN DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE LOS NIVELES ESTÁTICOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA DE LOS ACUÍFEROS.

8.3.1- ANÁLISIS VARIOGRÁFICO

Del análisis variográfico (Fig. 8.3.1_a), se obtuvieron los tres parámetros en base al año con más registros medidos, el cual es el año 2011.

Parámetros:

- Pepita= 0
- Rango = 40.000 m
- Meseta = 20.000

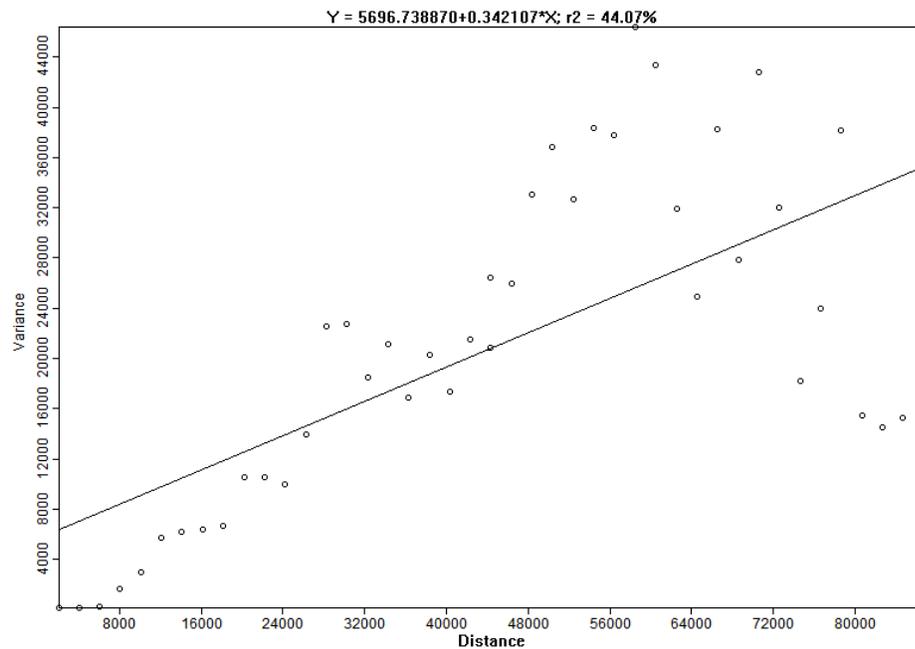
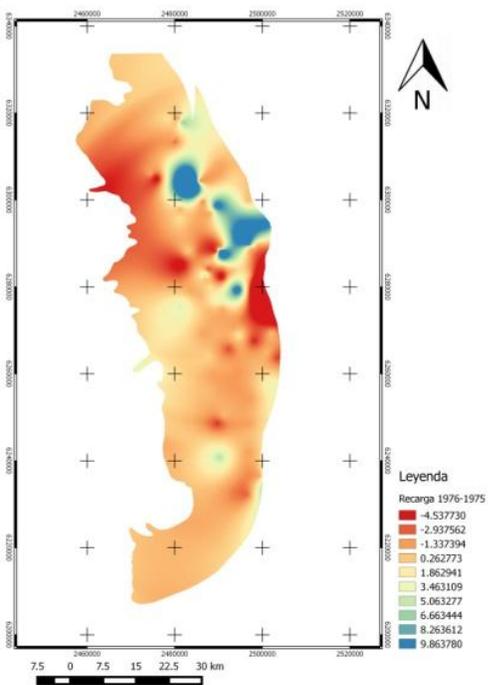
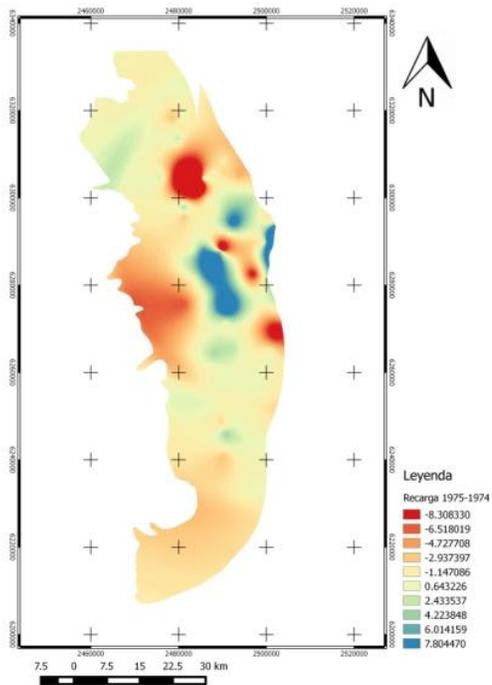
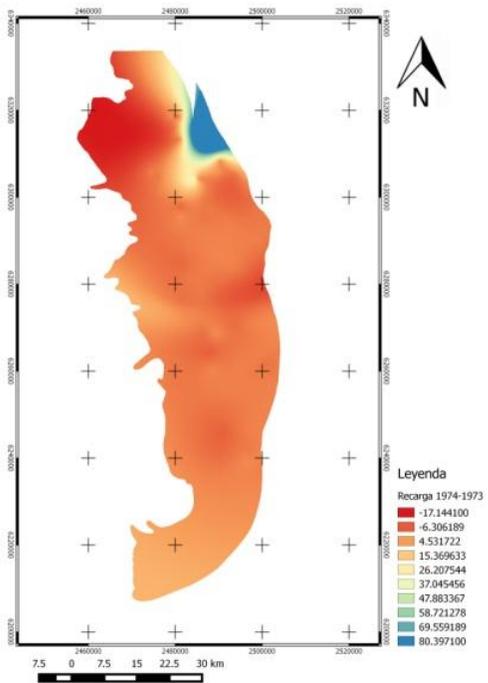
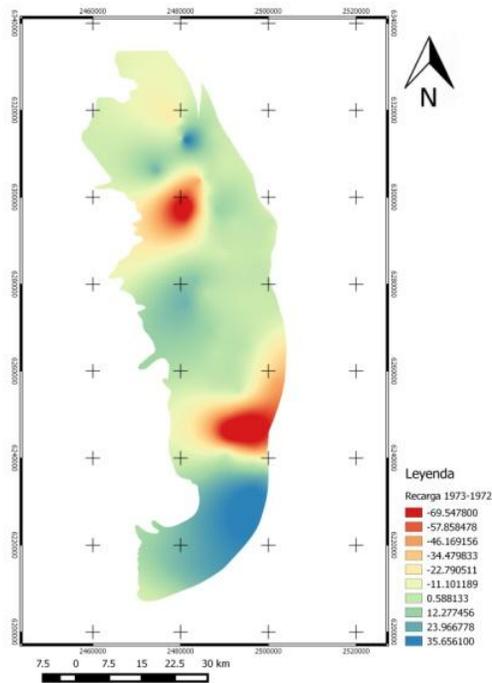


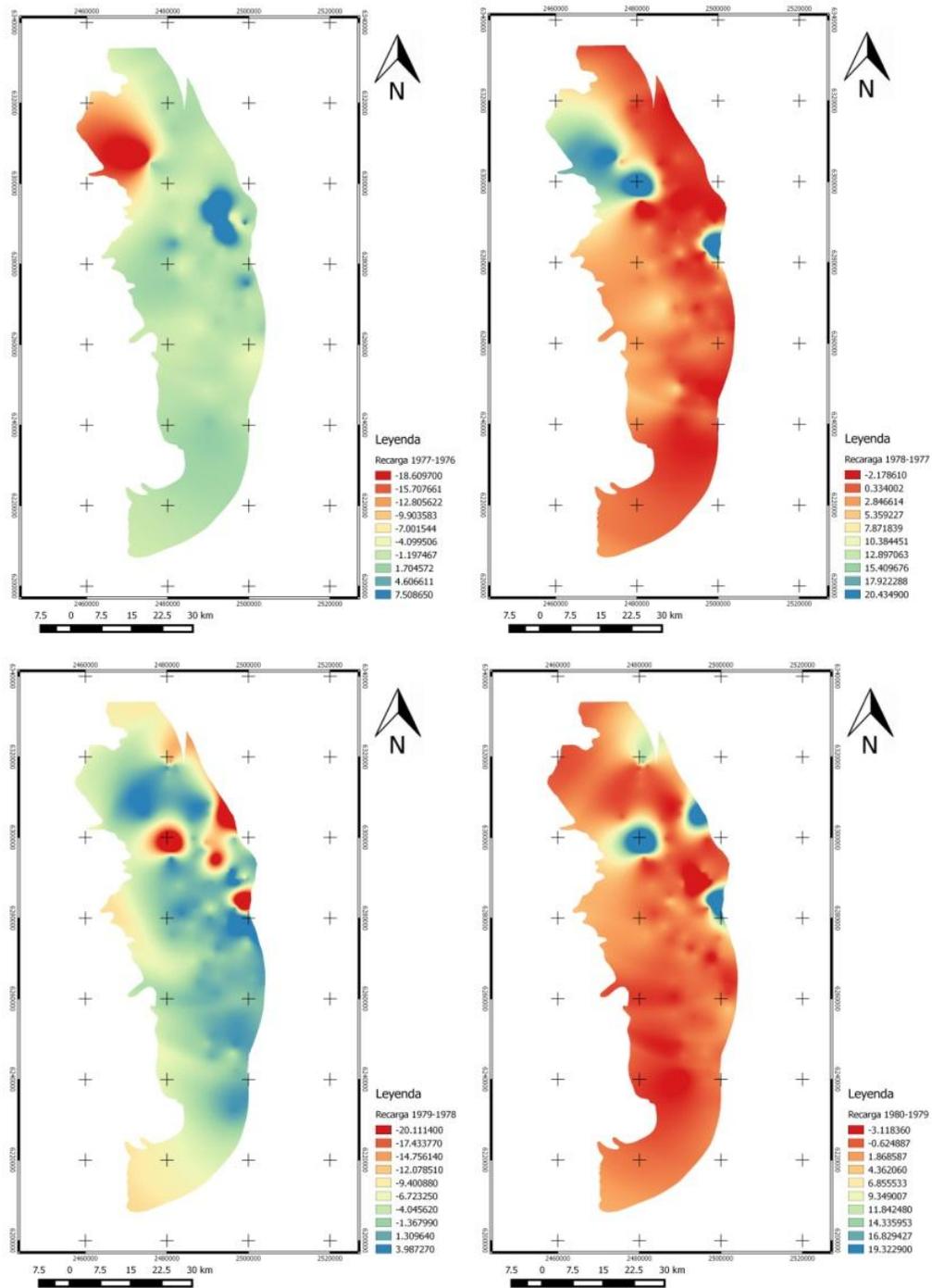
Figura 8.3.1_a: Variograma experimental.

8.3.2- GENERACIÓN DE MAPAS DE DIFERENCIA DE COTA DE AGUA

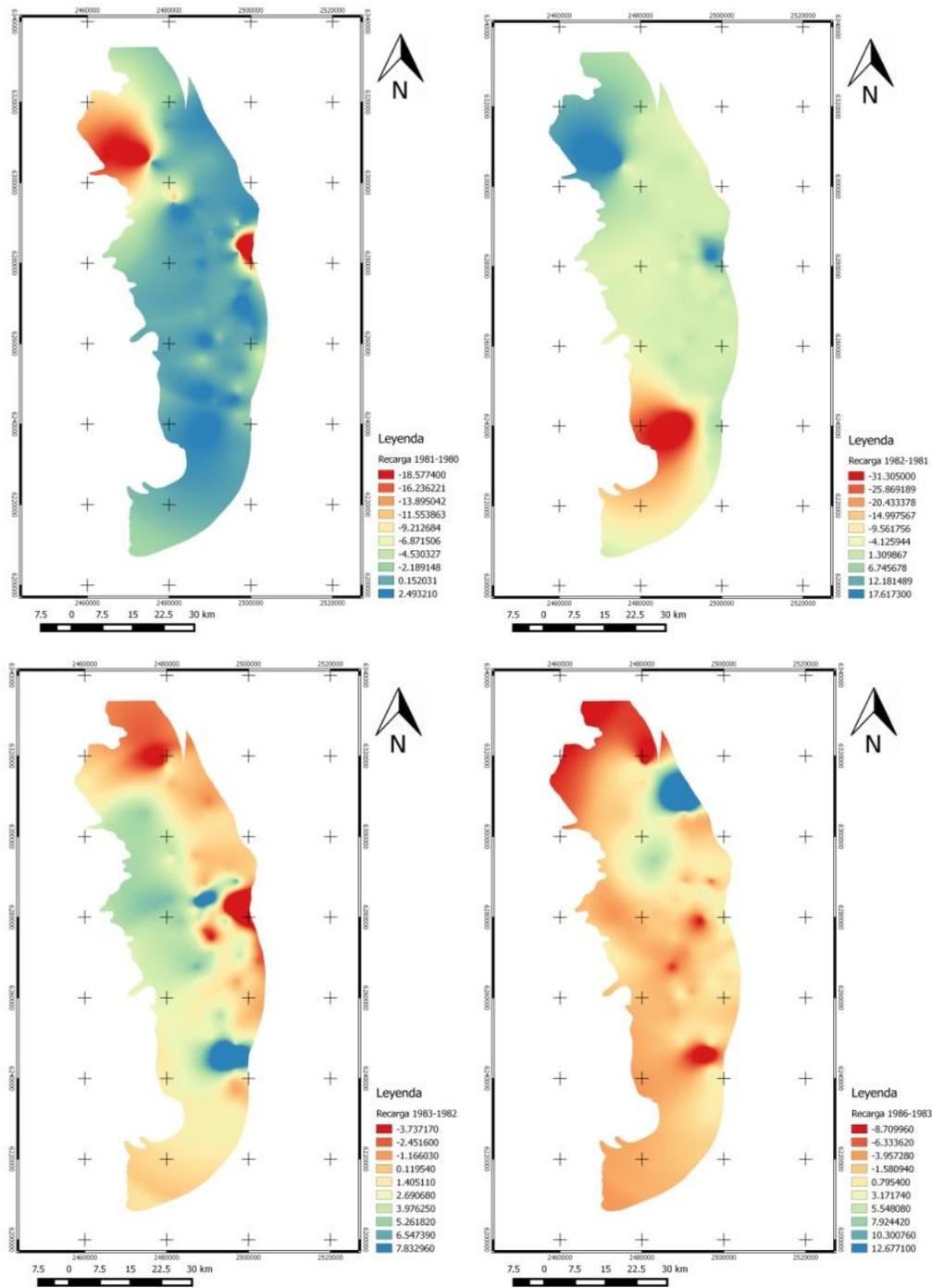
En las siguientes figuras (Fig. 8.3.2_a, b, c, d) se muestran los mapas producto de la diferencia de cota de agua subterránea entre años sucesivos, donde se puede observar que no se define un patrón de variación temporal y espacial general que caracterice el comportamiento de la cuenca subterránea.



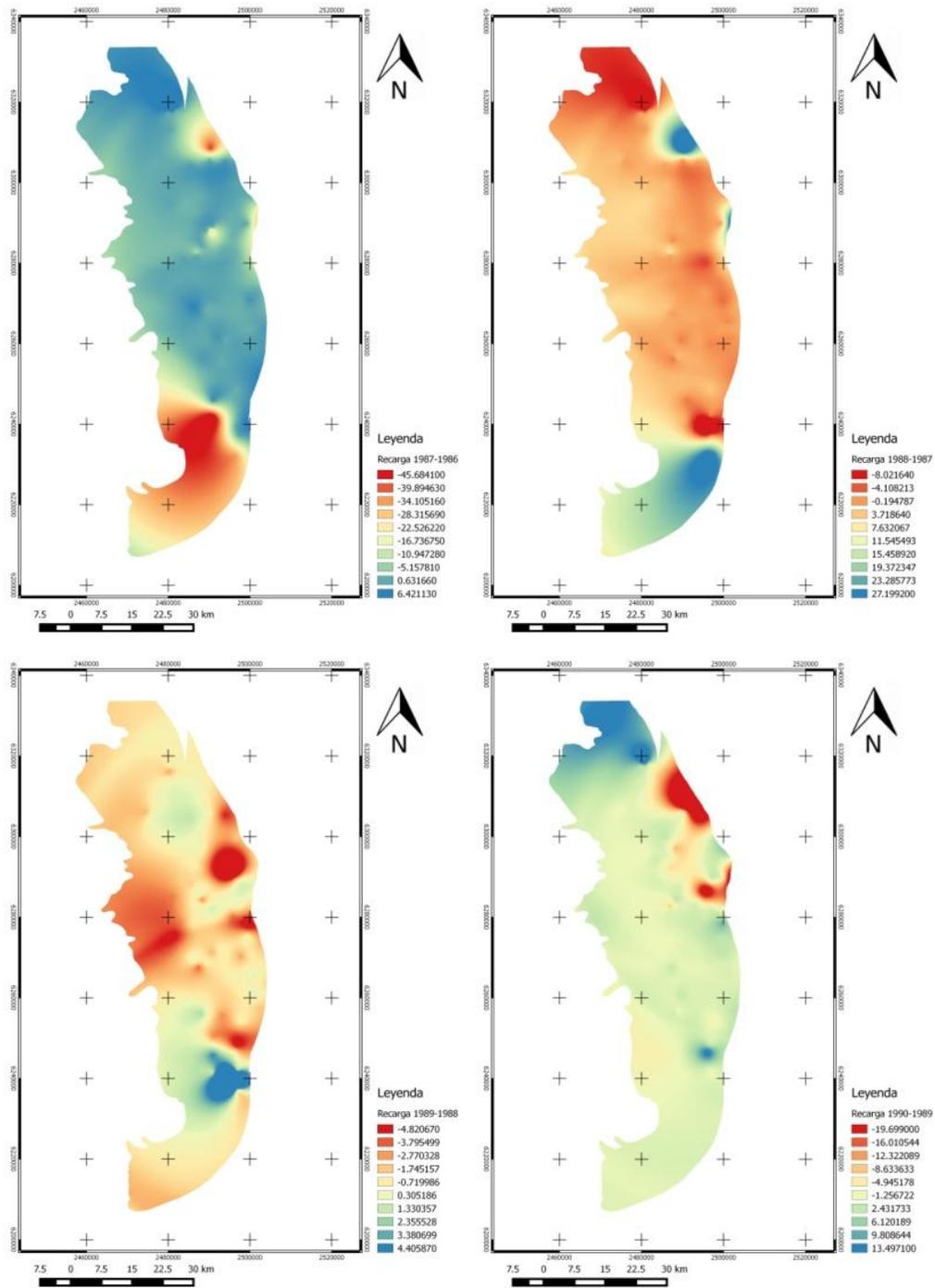
Figuras 8.3.2_a: Diferencia de cota de agua de la Cuenca del Valle de Uco, períodos 1973/1972 a 1976/1975.



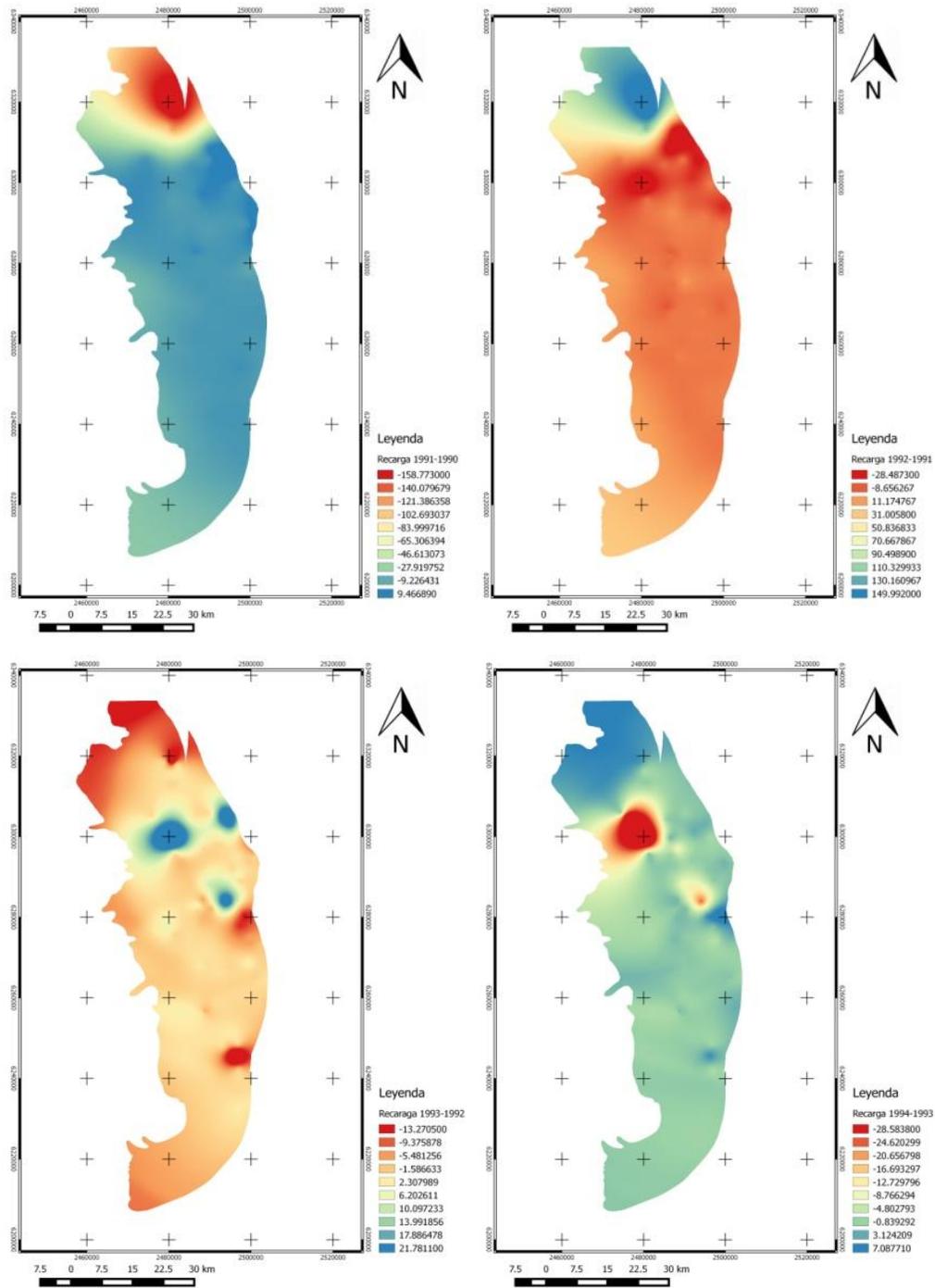
Figuras 8.3.2_b: Diferencia de cota de agua de la Cuenca del Valle de Uco, períodos 1977/1976 a 1980/1979.



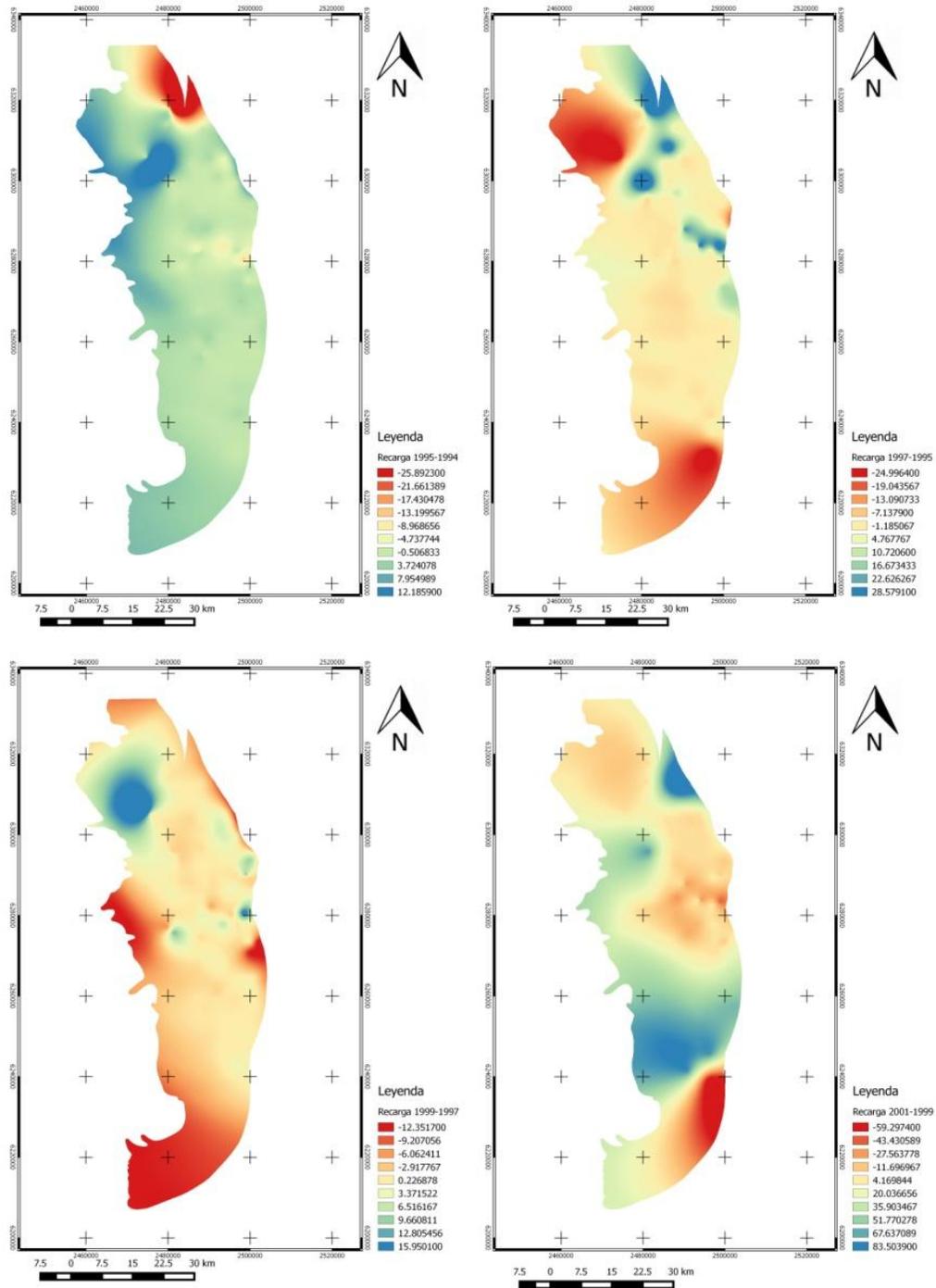
Figuras 8.3.2_c: Diferencia de cota de agua de la Cuenca del Valle de Uco, períodos 1981/1980 a 1986/1983.



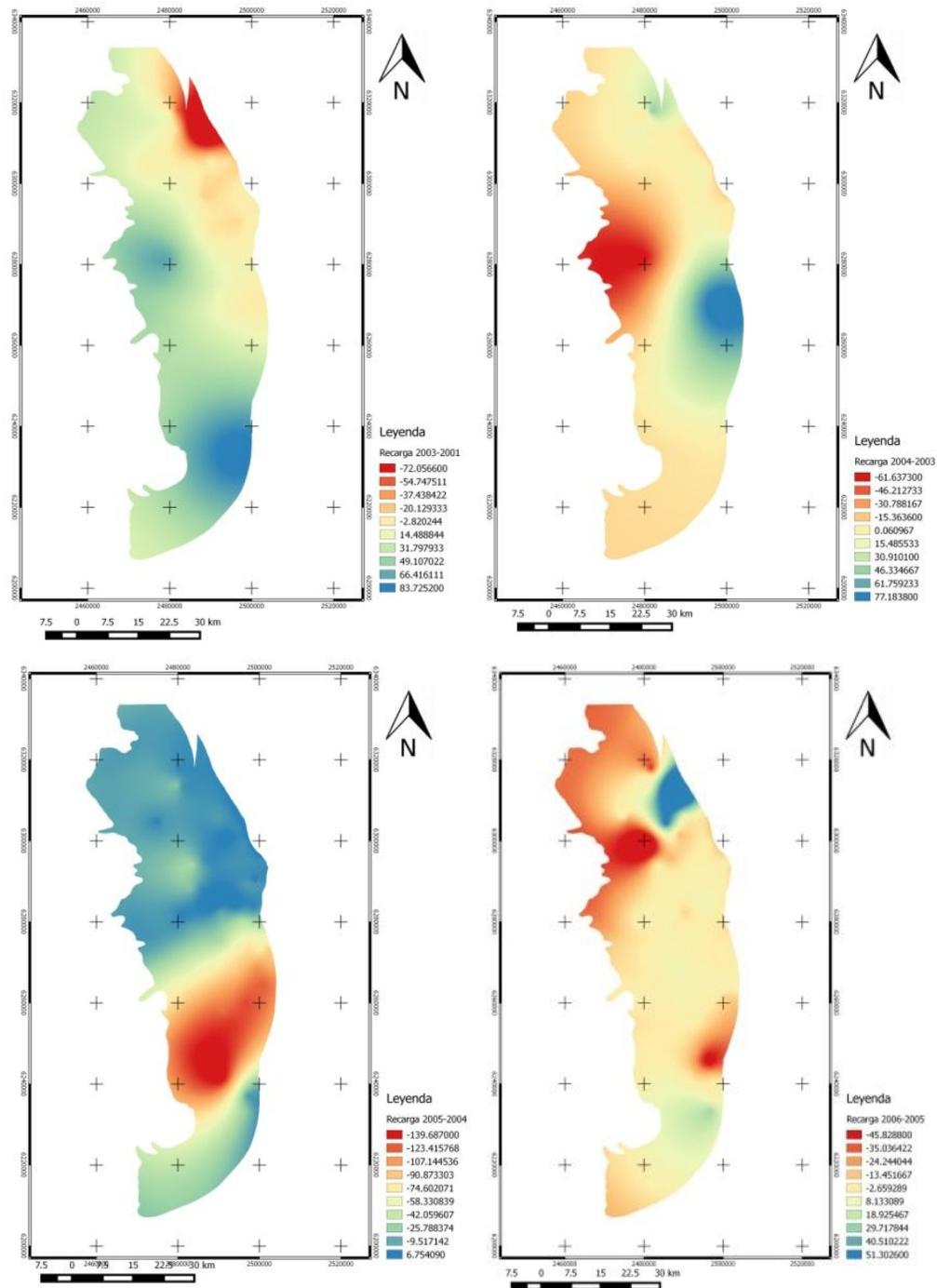
Figuras 8.3.2_d: Diferencia de cota de agua de la Cuenca del Valle de Uco, períodos 1987/1986 a 1990/1989.



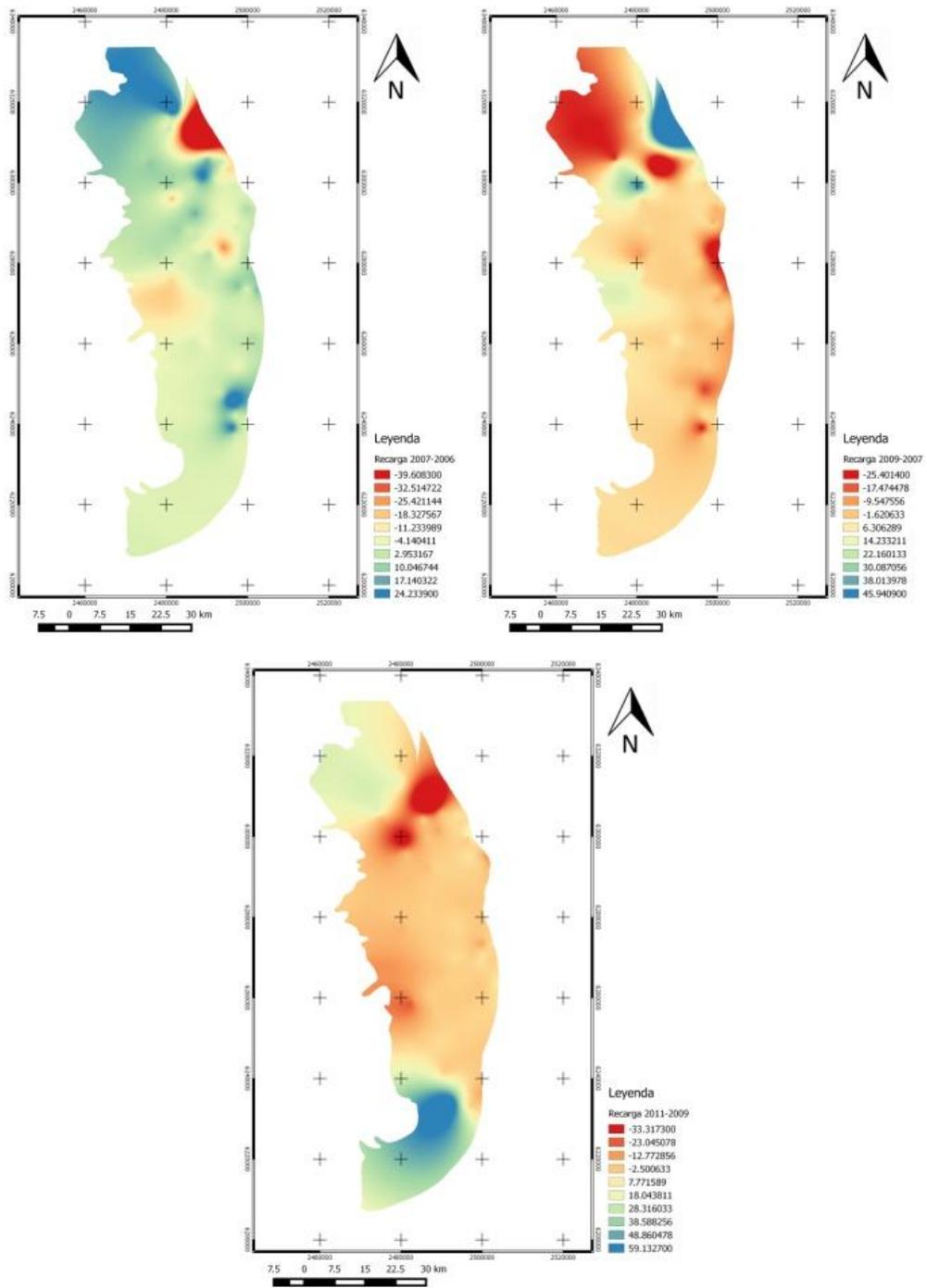
Figuras 8.3.2_e: Diferencia de cota de agua de la Cuenca del Valle de Uco, períodos 1991/1990 a 1994/1993.



Figuras 8.3.2_f: Diferencia de cota de agua de la Cuenca del Valle de Uco, períodos 1995/1994 a 2001/1999.



Figuras 8.3.2_g: Diferencia de cota de agua de la Cuenca del Valle de Uco, períodos 2003/2001 a 2006/2005.



Figuras 8.3.2_h: Diferencia de cota de agua de la Cuenca del Valle de Uco, períodos 2007/2006 a 2011/2009.

8.4- EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE CAUDALES Y NIVELES ESTÁTICOS.

En el Gráfico 8.4_a, se muestra la evolución temporal de caudales del río Tunuyán y de la diferencia de cota de agua subterránea media para la cuenca. El mismo sugiere una asociación positiva entre los valores de ambas variables, es decir, para aquellos ciclos hidrológicos donde el caudal del río es alto, se produce una recarga de los acuíferos subterráneos. Sin embargo, tal apreciación sólo es válida para el período 1972 a 1995, a partir del cual no se registran datos de diferencia de cota (por falta de años de medición de niveles estáticos), sino hasta el período 2003 a 2007. En estos últimos años la asociación es negativa.

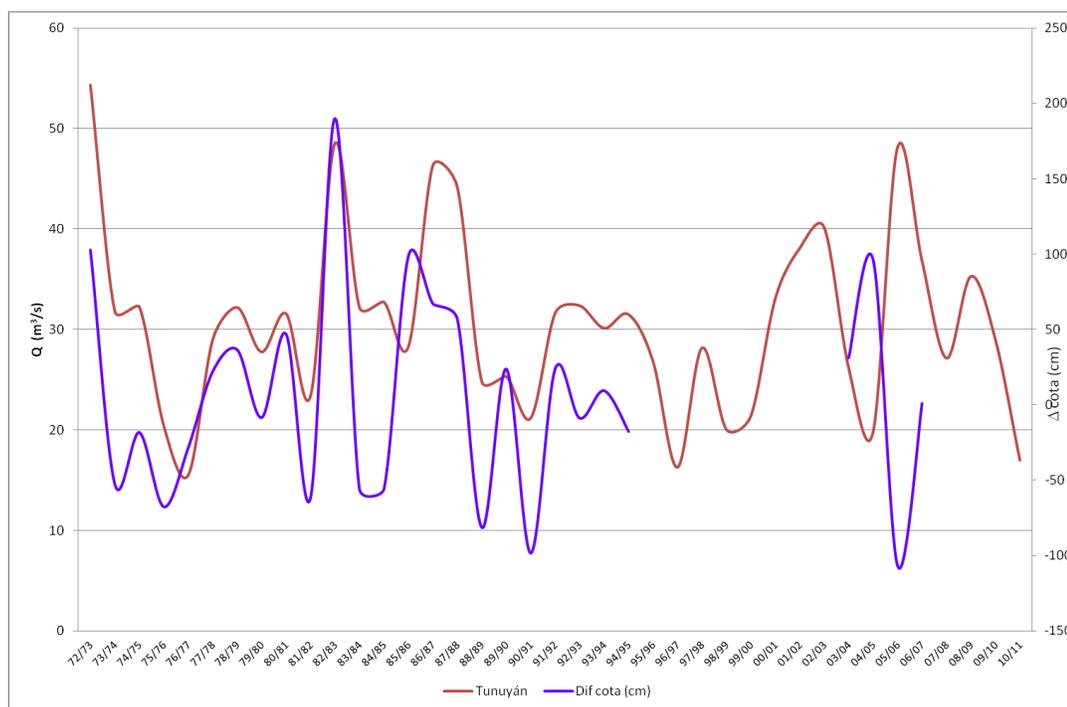


Gráfico 8.4_a: Evolución temporal del caudal del río Tunuyán (m³/s) y de la diferencia de cota de agua media (cm).

Por lo expuesto anteriormente, y por el hecho que los datos de caudales de los arroyos cubren el período 1975 a 1997, sólo se evaluó el período comprendido entre los años 1972 y 1997.

En la siguiente tabla (Tabla 8.4_a) se muestran los coeficientes de correlación de Pearson y el p-valor entre la diferencia de cota de agua y los caudales de ríos y arroyos. Se observa que sólo los caudales del río Tunuyán y del Arroyo Manzano están correlacionados significativamente y en forma positiva con los valores de diferencia de cota de agua subterránea. Es decir, a mayor caudal de estos cauces, se produce la recarga de los acuíferos en toda la cuenca. Lo mismo puede observarse en la figura 8.4_a.

Tabla 8.4_a: Análisis de la Correlación de Pearson, entre la diferencia de cota de agua y los caudales del río Tunuyán y los arroyos de la cuenca del Valle de Uco.

<u>Variable(1)</u>	<u>Variable(2)</u>	<u>n</u>	<u>Pearson</u>	<u>p-valor</u>
Dif cota (cm)	Tunuyán	23	0.71	0.0001
Dif cota (cm)	Manzano	20	0.58	0.0079
Dif cota (cm)	San Carlos	19	-0.18	0.4617
Dif cota (cm)	Claro	19	-0.04	0.8678
Dif cota (cm)	Negro Ing	20	0.38	0.1026
Dif cota (cm)	Cuevas	20	0.38	0.1028
Dif cota (cm)	Guevara	20	0.38	0.1029
Dif cota (cm)	De Las Casas	20	0.38	0.1029
Dif cota (cm)	De La Carrera	20	0.38	0.1029
Dif cota (cm)	Olmos	20	0.27	0.2447
Dif cota (cm)	Novillo Muerto	20	0.27	0.2449
Dif cota (cm)	Villegas	20	0.27	0.2451
Dif cota (cm)	Grande	20	0.27	0.2450
Dif cota (cm)	Pircas	20	0.27	0.2450
Dif cota (cm)	Las Tunas	20	0.15	0.5301
Dif cota (cm)	Santa Clara	20	0.14	0.5634
Dif cota (cm)	Chupasangral	20	0.15	0.5301
Dif cota (cm)	Cepillo	20	0.38	0.1030
Dif cota (cm)	Yaucha	20	0.38	0.1031
Dif cota (cm)	Cruz De Piedra	20	0.39	0.0866
Dif cota (cm)	Cortaderas	20	0.37	0.1063
Dif cota (cm)	Rosario	20	0.38	0.1031
Dif cota (cm)	Papagallos	20	0.38	0.1031
Dif cota (cm)	Negro Egr	20	-0.02	0.9279
Dif cota (cm)	Salas Caroca	20	0.27	0.2515
Dif cota (cm)	Giñazu	20	-0.37	0.1053
Dif cota (cm)	La Estacada	20	-0.29	0.2176

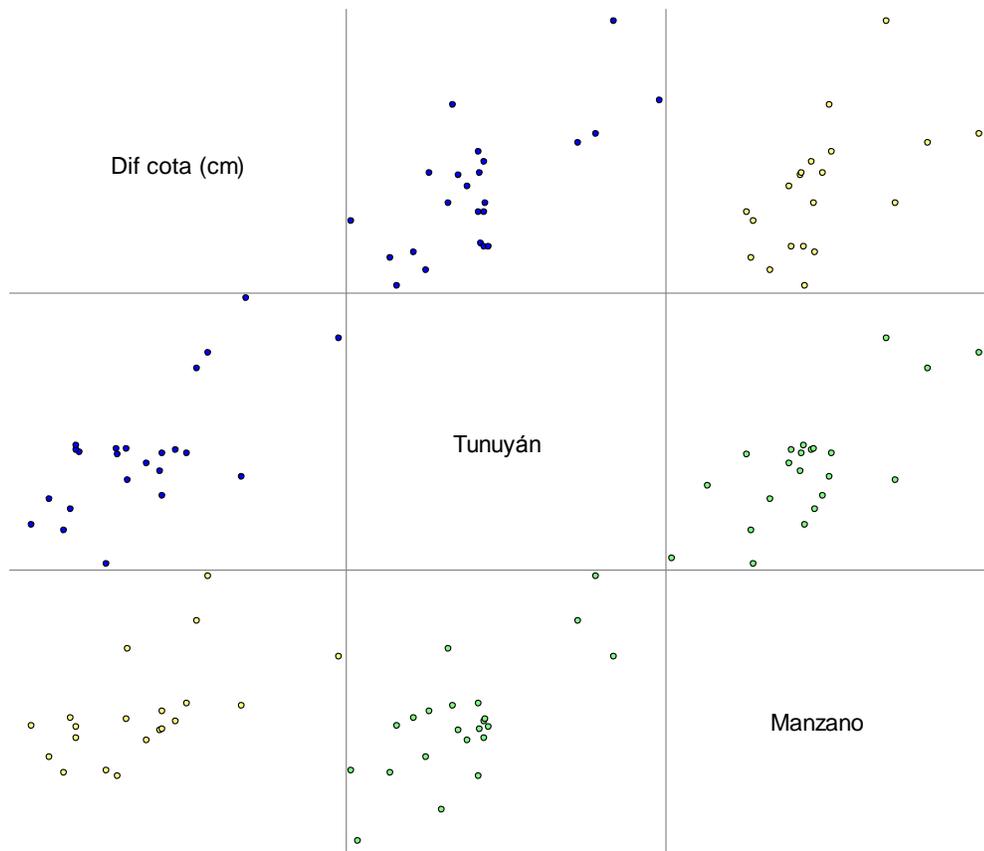


Figura 8.4_a: Diagramas de dispersión caudales- Δ cota

Además, la relación funcional entre la diferencia de cota de agua subterránea y el caudal del río Tunuyán es:

$$\Delta cota = 5,34Q_{Tunuyán} - 163,7 \quad R^2=0,51$$

Se observa que el caudal del río Tunuyán explica el 51 % de la variabilidad total de diferencia de cota promedio en toda la cuenca.

De igual forma la relación funcional entre la diferencia de cota de agua subterránea y el caudal del arroyo Manzano es:

$$\Delta cota = 147,01Q_{Manzano} - 169,91 \quad R^2=0,33$$

Donde se observa que el caudal del arroyo Manzano explica el 33 % de la variabilidad total de diferencia de cota promedio en toda la cuenca.

9- CONCLUSIONES Y CONTRIBUCIONES

A partir del análisis estadístico descriptivo, analítico y gráfico, sobre la variabilidad temporal de caudales del río Tunuyán (1972-2011) de los arroyos de la cuenca del Valle de Uco (1975-1997) se puede concluir que, lo que concierne al río Tunuyán, presenta un caudal medio anual histórico constante. En cuanto a los arroyos de la cuenca se determina que el arroyo con mayor aporte a la misma es el arroyo San Carlos, seguido por el arroyo Yaucha. Por otro lado dentro de los arroyos que menos aportan a la cuenca se destacan el arroyo Negro, el arroyo Cortaderas y el arroyo Cruz de Piedra. Además se pudo observar que los años pertenecientes a ciclos hidrológicos ricos en caudal para el río Tunuyán no coinciden, en su mayoría, con los años de los ciclos hidrológicos ricos en caudal para los arroyos de la cuenca del Valle de Uco, lo mismo sucede con los ciclos correspondientes a años pobres en caudal. Tal diferencia de años se manifiesta en forma totalmente opuesta en el ciclo hidrológico correspondiente a los años 1982/1983, el cual es rico en caudal para el río Tunuyán y Pobre para los arroyos efluentes de la cuenca.

En base al análisis estadístico descriptivo de cota de agua subterránea de la cuenca, desde el año 1972 hasta 2011, se pudo analizar la variabilidad de los niveles estáticos de agua subterránea de la cuenca, los que presentaron variabilidad temporal como espacial, en el registro de años analizados. En cuanto a los mapas de diferencia de cota que se realizaron, se pudo determinar que no se define un patrón de variación temporal y espacial general que caracterice el comportamiento de la cuenca subterránea.

Evaluando la relación entre caudales y niveles estáticos se pudo observar una asociación positiva entre caudales del río Tunuyán y diferencia de cota de agua subterránea media para la cuenca, a través del tiempo, para el período de años de 1972 a 1995. De manera que para aquellos ciclos hidrológicos donde el caudal del río es alto, se produce una recarga de los acuíferos subterráneos. En el período de años que va de 2003 a 2007, se observó una asociación negativa. Como resultado de análisis estadístico inferencial se comprobó que sólo los caudales del río Tunuyán y del Arroyo Manzano están correlacionados significativamente y en forma positiva con los valores de diferencia de cota de agua subterránea. Es decir, a mayor caudal de estos cauces, se produce la recarga de los acuíferos en toda la cuenca. De esta manera se determina que el caudal del río Tunuyán explica, un poco más de la mitad, de la variabilidad total de diferencia de cota promedio en toda la cuenca.

Considerando estos resultados se concluye que los caudales de los cauces superficiales de la cuenca del Valle de Uco se relacionan temporalmente con los niveles estáticos del agua subterránea

de la cuenca. También se determina que la variabilidad total de los niveles estáticos de la cuenca, responden de forma directa al la variabilidad del caudal del río Tunuyán y de un arroyo, el Arroyo Manzano.

Esta conexión entre el régimen hidrológico superficial y el subterráneo, es relevante al momento de tomar decisiones administrativas y/o de gestión, que involucre a cualquiera de las partes, o al sistema en sí, tales como: asignar mejor el recurso, detectar puntos donde son necesarias inversiones y mejoras en el sistema, proteger la calidad y cantidad del recurso hídrico y los ecosistemas relacionados, entre otros.

10- BIBLIOGRAFÍA

- Agosta E. A. y Cavagnaro M. (2010) Variaciones interanuales de la precipitación de verano y el rendimiento del cultivo de la vid en Mendoza-GEOACTA Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas 35, 1-11, ISSN 1852-7744
- Boninsegna J.A., Villalba R., Urrutia R. (2013). El cambio climático y los servicios del agua en la Cordillera de los Andes. Pp 263-280. En Lara A., Laterra P., Barrantes G. eds 2013 Servicios ecosistémicos hídricos: estudios de caso en América Latina y el Caribe. Valdivia, Chile. Red ProAgua CYTED.
- Cabrera A L. (1976). Regiones Fitogeográficas Argentinas. En: W. F. Kugler (Ed.). Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Editorial ACME. Buenos Aires. Tomo 2 Fascículo 1. 85pp.
- Campos Aranda D.F., (1998). Procesos del ciclo hidrológico, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México. Facultad de Ingeniería. Tercera reimpresión. ISBN-968-6194-44-4 .Pág. 30.
- Chambouleyron J. L., Salatino S. E., Drovandi A. A., Filippini M. F., Medina R., Zimmermann M., Nacif N., Dediol C., Camargo A., Campos S., Genovese D., Bustos R. M., Marre M., Antonioli R. M., (2002) Conflictos Ambientales en tierras regadías evaluación de impactos en la cuenca del río Tunuyán, Mendoza, Argentina. ISBN 987-1024-17.7 199 pp
- Compagnucci R., Araneo D. (2005) Identificación de áreas de homogeneidad estadística para los caudales de los ríos andinos argentinos y su relación con la circulación atmosférica y la temperatura superficial del mar. Departamento de Ciencias de Atmósfera y los Océanos. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. CONICET. Vol. 30 n° 1y 2. Pp 97-103
- Conde-Álvarez C, Saldaña-Zorrilla S (2007) Cambio climático en América Latina y el Caribe: Impactos, vulnerabilidad y adaptación1 - Revista Ambiente y Desarrollo 23 (2) Pp 23 - 30, Santiago de Chile.
- Departamento General de Irrigación (2006) Plan Director del Río Tunuyán- Proyecto PNUD/FAO/ARG/00/008 – Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación- Gobierno de Mendoza.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión (2012). Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Essam M. (2007). Water Flow and Chemical Transport in a Subsurface Drained Watershed, Universidad de Illinois , Estados Unidos de América. ISBN 9780549339915. Pág. 189
- Erice, M.V. (2013) Necesidad de transparencia y legalidad en la gestión y usa de las aguas subterráneas (El reciente caso de la provincia de Mendoza) Revista Derecho y Ciencias Sociales. N°9 (La problemática del agua en el mundo actual) .Pgs. 191-202 ISSN 1852-2971 Instituto de Cultura Jurídica y Maestría en Sociología Jurídica. FCJ y S. UNLP

- Fattorelli S. S., Fernandez P. C., (2011). Diseño Hidrológico, Segunda Edición en español, edición digital. ISBN: 978-987-05-2738-2. Pág 531.
- Ferrari Bono Bruno, (1994). Estructuras institucionales para el manejo de cuencas hidrograficas, Programa de desarrollo institucional ambiental, Informe síntesis, Provincia de mendoza. Secretaria De Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable. Disponible en http://www.mendoza-conicet.gob.ar/ladyot/valle_de_uco/07_documentos/INFORME.pdf
- Hoffman, J. A., (1969) Proóstico del tiempo a largo plazo (2da. parte). Primeras Jornadas de Nivo-Glaciología, Fac. Cs. Pol. Y Soc. UNC, Mendoza, Argentina.
- Martinis, N., Alvarez, A., Hernández, J., Villalba, J, L. Fornero., (2002). *Proyecto: Evaluación hidrogeológica de la cuenca del Valle de Uco*. Tomo 1, 2 y 3. Publicación Interna IT N° 15-CRA. Instituto Nacional del Agua. Centro Regional Andino. 520pp.
- Maturana J., Bello M., Manley M., (2004) Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación Sur. Revista "El Niño-La Niña 1997-2000, sus efectos en Chile". CONA, Chile, Valparaíso. Pp13-27
- Miranda, S.,Baron, J.,Paris, M.,Morábito, J.(2012).Modelo conceptual de modelación hidrológica ante futuros escenarios de conflictos hídricos. Herramienta para toma de decisiones en el uso conjunto del agua (superficial y subterránea) en cuencas de montaña. 1er Encuentro de Investigadores en Formación de Recursos Hídricos-IFRH 2012. Ezeiza. Buenos Aires.Argentina. .Disponible en: http://www.ina.gov.ar/pdf/ifrrh/03_010_Miranda.pdf. ISSN 978-987-20109-6-6.
- Morábito J., Álvarez A., Drovandi A., Hernández J., Hernández R., Martinis N., Maza J., Mirábile C., Salatino S. y Vargas A. (2009). El agua en Mendoza y su problemática ambiental. CRA-INA. Publicado en diario Los Andes. Mendoza – Argentina.
- Pizzolato, D. (2012). Reestructuración de los sistemas agroalimentarios y diferenciación social agraria en el Valle de Uco, Mendoza. Implicancias para la extensión Rural. Estrategias y Experiencias para el trabajo en extensión. Disponible en http://www.aader.org.ar/XV_Jornada/trabajos/espanol/Estrategias_y_experiencias/ensayos/Trabajo%202022%20Completo.pdf
- Pizzolato, D., Costella, L. (2012). Propuesta metodológica para la construcción de grupos sociales en estudios sociales agrarios. El caso del distrito de Vista Flores, Tunuyán, Mendoza. Agencia de Extensión Rural INTA La Consulta.
- Salatino S., Morábito J., Filippini M., Bermejillo A., Medina R., Zimmermann M., Nacif N., Campos S., Dediol C., Mastrantonio L., Hernández R., Genovese D. y Stocco A. Evaluación de la calidad del agua en áreas de regadío del río Tunuyán Superior (Prov. de Mendoza) para un aprovechamiento racional y sustentable. Disponible en <http://www.ina.gov.ar/pdf/Cra-cali-3.pdf> .
- Schilardi, C.; Morábito, J.; Vallone, R.. (2011). Surface Irrigation Performance in the upper Tunuyán River Basin Mendoza, Argentina. ACTA HORTICULTURAE. Viña del Mar: Acta Horticultora. vol. n°. p513 - 519. ISSN 0567-7572.