

CAPITULO V HIDROLOGIA

Se evaluó el comportamiento de las aguas superficiales dentro del escenario de subcuencas presentes en el cantón occidental de Grecia, para luego relacionarlo con la descarga o recarga potencial a los acuíferos de toda el área de estudio. Se detalla específicamente: la microcuenca del río Sarchí, la del río Agualote y la del río Rosales. Se realizaron dos campañas de aforos en Enero y Febrero del 2006 (época seca), en sitios seleccionados de los drenajes principales. Además se elaboraron balances hídricos de los suelos mediante el uso del método descrito por Schosinsky & Losilla (2000) y Schosinsky (2007, en prensa).

5.1. CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Se determinó que a nivel regional las aguas superficiales escurren hacia un punto en común ubicado en la confluencia del río Grande con el río Poás, en el límite sur de la zona de estudio. Las cuencas de estos dos ríos sobrepasan por mucho el área de investigación, extendiéndose principalmente en gran parte de las hojas topográficas Naranjo y Barva, a escala 1:50 000 del IGN.

La red hidrográfica del cantón occidental de Grecia corresponde fundamentalmente con los cursos de agua de las cuencas del río Sarchí y del río Agualote (afluentes del río Colorado) y los de la cuenca del río Rosales, todas ellas cuencas menores de la macrocuenca del río Grande. El río Sarchí y los ríos secundarios que alimentan al río Rosales nacen en la parte alta de la zona de interés, colindando con la Cordillera Volcánica Central, mientras que el río Agualote empieza su recorrido en la parte media. Las cuencas de estos ríos (figura 5.1) se caracterizan por ser alargadas en sentido NE-SW, desarrollando principalmente un patrón de drenaje de tipo paralelo a subparalelo.

La cuenca del río Sarchí es ancha en su parte alta y media, se hace angosta en el último tercio de su longitud culminando en un vértice o punto de salida de las aguas, está conformada por la siguiente red de drenes naturales: río Sarchí, quebrada Lajas, quebrada Sanguijuela, río Cocobolo, río San Juan, quebrada Ángeles, río Vigía, quebrada Bosque, quebrada Matapalo, río Chagüite, quebrada Monte y pequeños afluentes estacionales.

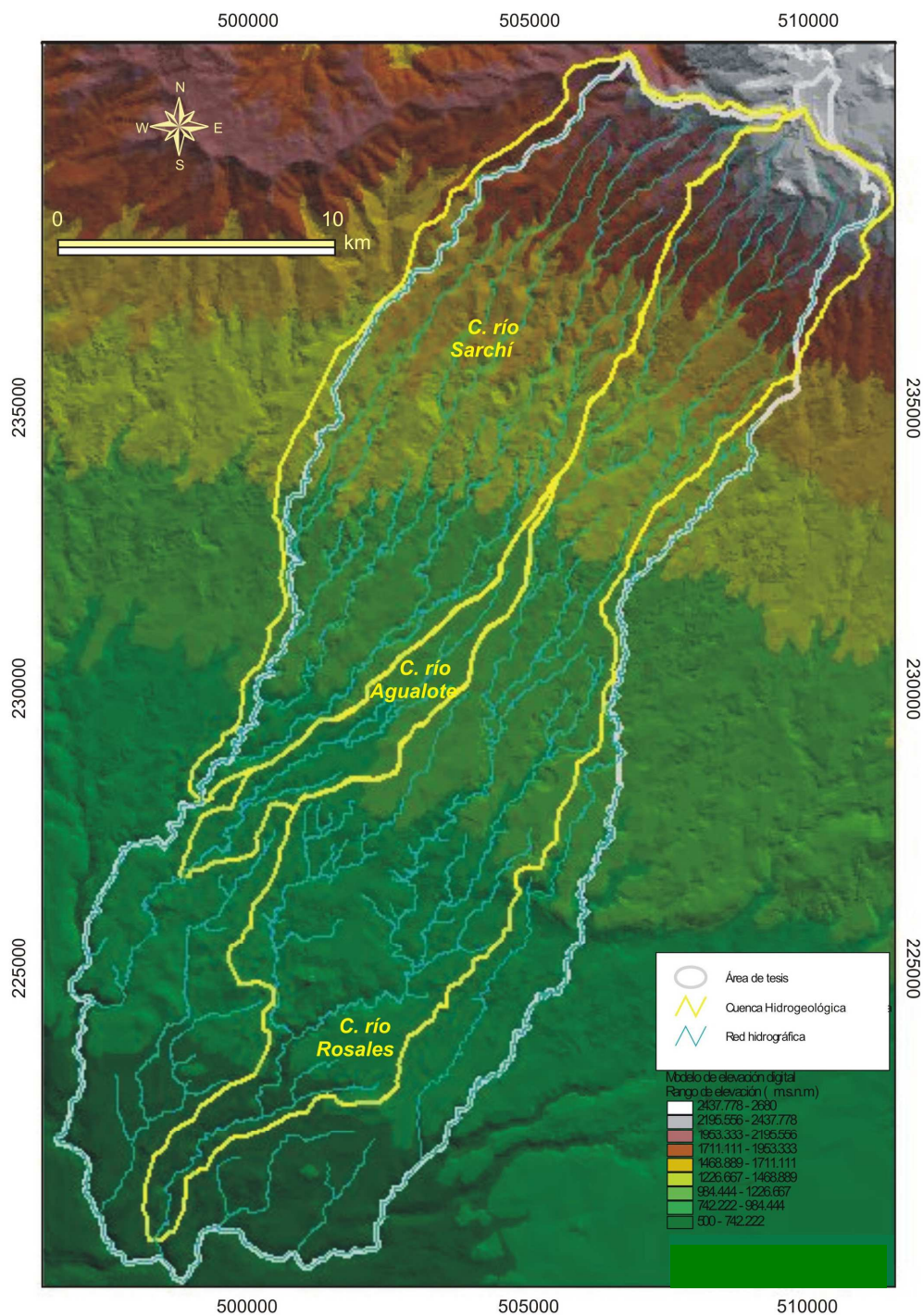


Figura 5.1 Cuencas hidrográficas en la zona de estudio

El río Agualote se ubica entre las cuencas de los ríos Sarchí y Rosales, su cuenca es angosta y tiene un patrón de drenaje poco desarrollado, cuenta con cuatro tributarios permanentes en época lluviosa. La cuenca del río Rosales es de forma irregular, se extiende longitudinalmente a través del sector este del área de estudio, ensanchándose hacia la parte media donde se desarrollan el río Poró y sus afluentes, para finalmente

estrecharse hacia el punto donde la cuenca vierte sus aguas hacia el río Grande. Esta cuenca tiene la siguiente red hídrica: río Poró, quebrada Lomas, río Rosales, yurro Seco, quebrada Seca, río Achiote, quebrada Higuerilla, río Pilas, quebrada Arenas y quebrada Pilitas, principalmente. Cabe destacar que en la parte media y sur de la cuenca del río Rosales existe una complicada distribución de acequias o canales artificiales (pajas de agua), que interconectan varios tramos de los drenajes principales; lo cual representa fugas o trasvases de agua de una microcuenca hacia otra(s).

Otros drenajes asociados a las cuencas del río Grande y Poás, que se encuentran en la zona de estudio son: la quebrada Puente de Arco que desagua en la quebrada Arrozal, ésta junto con la quebrada Valverde son tributarios del río Grande que reciben agua del cantón occidental de Grecia; los afluentes del río Poás como el río Espabel, la quebrada Guachipelín y colectores principales de los ríos Tacares y Prendas (estos dos ríos reciben aporte de aguas de fuera del cantón).

5.2. AFOROS

Se calculó el caudal en 78 secciones transversales de características uniformes, en sitios de la red hídrica donde la pendiente fuera casi nula y no existieran grandes obstáculos. Se utilizó el método del flotador (campaña 1) y como técnica de comprobación el molinete, tal como lo muestra la figura 5.2 (campaña 2). El uso de un método u otro (o ambos) estuvo en función de los cambios de nivel del agua a lo largo del cauce, del caudal y de aspectos de seguridad de los operarios. Ambas campañas se llevaron a cabo en la época seca.

Se utilizaron bolitas multicolores de goma de 10 cm de diámetro y molinetes de la marca Gurley que trabajan con un error de $\pm 2\%$. Se empleó un molinete price modelo 622 con audífono y un pigmeo modelo 625 análogo; el primero tiene un rango de operación para velocidades de 0,06 a 7,6 m/s mientras que el otro es ideal para zonas poco profundas con un mínimo de 7,6 cm de profundidad y opera de 0,02 a 0,9 m/s.

La campaña 1 se realizó en 28 secciones de los drenajes de la cuenca del río Sarchí, en 23 de la cuenca del río Rosales y en 6 de la cuenca del río Agualote, a su vez la campaña 2 corroboró 5 aforos en la cuenca del río Sarchí, 6 en la cuenca del río Rosales y 2 en la cuenca del río Agualote. Los ocho restantes se llevaron a cabo en microcuencas aledañas a las de interés, la información detallada se adjunta en el *anexo capítulo 5*. Ambos campañas dan resultados similares, por lo que se considera que los caudales calculados con el método del flotador son confiables.



Figura 5.2. Aforo en el río Achiote

Con los aforos y mediante observaciones de campo se pudo comprobar que durante la estación seca los niveles de agua de algunas quebradas descienden considerablemente, ya para finales de febrero se hacía más evidente la disminución de sus caudales y en ciertos casos algunas llegaron a desaparecer (por ejemplo: yurro Seco). En los meses de Enero y Febrero del año 2006 se dieron varios frentes fríos, lo que ocasionaron lluvias torrenciales esporádicas especialmente en la zona cercana al volcán Poás, en vista de que aumentaron bruscamente los caudales de los ríos de las partes altas de las cuencas Sarchí y Rosales (inclusive de pequeños arroyos), no se aforó en los días que prevalecieron esas condiciones.

Con base en los datos puntuales de caudal se determinaron tramos de la red hidrográfica donde existe una conexión hidráulica con el sistema acuífero del área de estudio, esto es donde los ríos presentan un comportamiento efluente o influente. En el área evaluada (figura 5.3) predominan los sectores de influencia, donde los ríos o quebradas le aportan agua a los acuíferos, por lo que estas trayectorias son indicio de verdaderas zonas de recarga al sistema. Los tramos efluentes constituyen sitios de descarga de aguas subterráneas hacia la superficie.

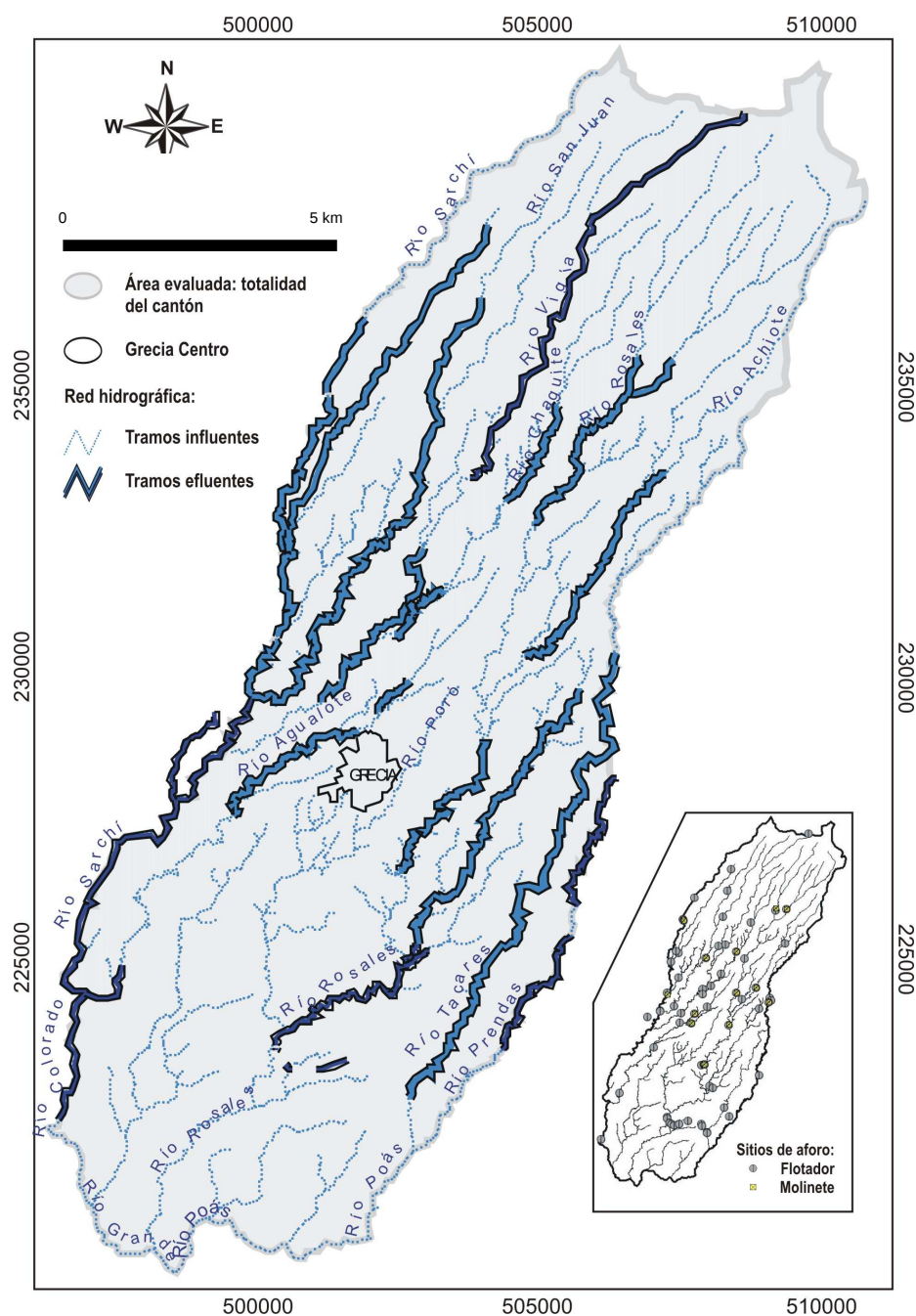


Figura 5.3. Tramos de efluencia e influencia en la red hidrográfica

5.3. BALANCES HÍDRICOS DE SUELOS

En relación con los datos de estaciones meteorológicas cercanas o existentes en el área del proyecto y con base en los coeficientes de infiltración básica de los materiales de origen volcánico que conforman la cobertura de los acuíferos en la zona, se elaboraron cuatro balances hídricos de suelos, esto con el fin de advertir la recarga potencial por lluvia que llega al sistema acuífero dentro del escenario de cuencas establecido y en la totalidad del cantón.

5.3.1. El método

Schosinsky & Losilla (2002) han expuesto detalladamente los principales fundamentos y aplicaciones de un modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. Además se cuenta con una hoja de cálculo para realizar los balances hídricos de los suelos (Schosinsky, 2006, en prensa), los resultados de la aplicación de esta hoja electrónica se presentan en el anexo *capítulo 5*.

5.3.2. Datos meteorológicos mensuales

Los Cuadros 5.1 y 5.2 resumen los datos meteorológicos concernientes al cantón occidental de Grecia. Se consultaron los registros de las estaciones: La Argentina en Grecia, La Luisa en Sarchí, Berlín en San Ramón y Fabio Baudrit (IMN-MINAE, 2005, 2006), ninguna cuenta con datos de brillo solar. El Cuadro 5.1 presenta la información básica para el cálculo de la ETP [mm/mes] por Blaney-Cridle y en el Cuadro 5.2 se aprecian los resultados obtenidos de estos cálculos y el registro de la precipitación promedio mensual.

Cuadro 5.1 Temperatura media (Temp. Media) y por ciento de horas de sol (P)

Mes	E	F	Mz	Ab	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D
Temp. Media prom. [°C/mes]	23,1	23,7	24,2	24,4	23,5	22,9	22,9	22,9	22,5	23,1	22,7	21,9
P [%/mes]*	8,13	7,47	8,45	8,37	8,81	8,60	8,86	8,71	8,25	8,34	7,91	8,10

*indica que el P [%] _{total} se da en un año, el cual equivale al 100% de luz solar (datos para Costa Rica, 10° latitud N)

Cuadro 5.2. Evapotranspiración potencial (ETP) y precipitación media (P)

Mes	E	F	Mz	Ab	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D
ETP prom. [mm/mes]	150,6	140,3	160,6	159,9	164,7	158,4	163,2	160,6	150,7	154,3	145,3	145,6
P prom. [mm/mes]	20,8	10,7	13,7	58,6	256,3	334,9	235,0	309,3	438,6	420,8	171,5	35,5

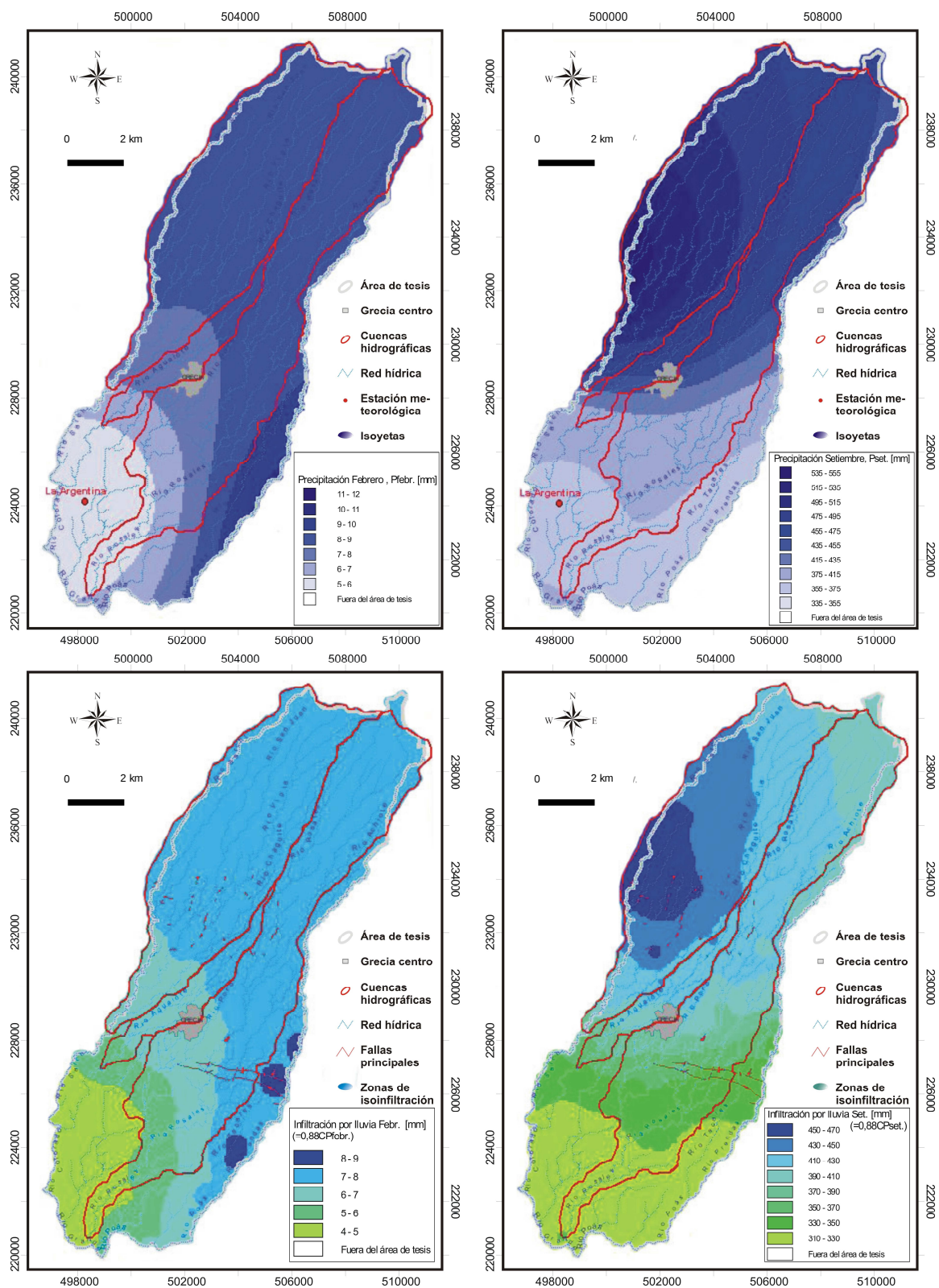
*indica que el registro de P prom. [mm/mes] es el de las cuatro estaciones.

La información de temperatura que aparece aquí son valores promedios de los datos mensuales dados por las estaciones. Las temperaturas medias mensuales de la estación La Luisa se calcularon a partir de los datos diarios de temperatura máxima y mínima, para cada mes, durante los dos años de registro disponible. La estación Berlín no reporta datos de temperatura. El tratamiento de los datos y la información meteorológica de cada estación se detalla en el anexo *capítulo 5*.

5.3.3. Precipitación que infiltra (Pi), infiltración básica (fc), coeficiente de infiltración por textura del suelo (Kfc) y densidad de los suelos (DS)

Se elaboraron mapas de precipitación y modelos de infiltración por lluvia mediante SIGs, con el fin de ilustrar la precipitación que infiltra en las áreas evaluadas (Pi). Son notorias

las variaciones de estos fenómenos de verano a invierno. En la época seca la precipitación se distribuye de forma decreciente con rumbo NE-SW y generando zonas potenciales de infiltración en ese sentido; mientras que en la época lluviosa la repartición de las lluvias cambia de NW-SE, con una pequeña desviación N-S, lo que da por resultado áreas de infiltración potencial con una distribución en esas direcciones. En los meses secos, la P_i es insuficiente para que se dé la recarga potencial de acuíferos; en tanto que en los lluviosos la P_i da la máxima recarga potencial (Setiembre), como se discutirá más adelante. Los valores de P_i por mes pueden leerse de las hojas de balance hídrico de suelos para cada área evaluada (anexo *capítulo 5*). La Figura 5.4 muestra los mapas de distribución de la precipitación y los modelos de infiltración por lluvia.



Izquierda: Época seca (verano) / Derecha: Época lluviosa (invierno)

Figura 5.4. Mapas de distribución de precipitación y modelos de infiltración por lluvia.

Con respecto a la densidad de los suelos (DS), se tiene que para los suelos de las cuencas evaluadas y del cantón occidental de Grecia, el f_c promedio es de 1087,73 mm/d, el K_{fc} promedio es de 0,97631 y la densidad promedio es de 2,61 g/cm³. La Figura 5.5, relaciona las áreas de K_{fc} obtenidas, con la zonificación de otros coeficientes de infiltración. En el cantón occidental de Grecia predominan los K_{fc} de tobas líticas, cineríticas, pumíticas y sus transiciones a suelos de tipo franco.

5.3.4. Factor de pendiente (K_p), factor por vegetación (K_v), profundidad de raíces (PR) y porcentaje de lluvia retenida

La pendiente se determinó mediante observaciones de campo en complemento con mapas de pendientes elaborados con SIGs (Figura 5.5) y se llegó a la conclusión de que hay más pendientes “algo planas” que pendientes “promedio” y “fuertes”; excepto en la cuenca del río Sarchí donde hay cantidades semejantes de pendientes “algo planas” y “fuertes” (terminología establecida en el balance). Esto equivale a un valor de factor de pendiente (K_p) promedio de 0,125 para el cantón y las cuencas de los ríos Rosales y Agualote, mientras que para la cuenca del río Sarchí se estimó un K_p promedio de 0,105.

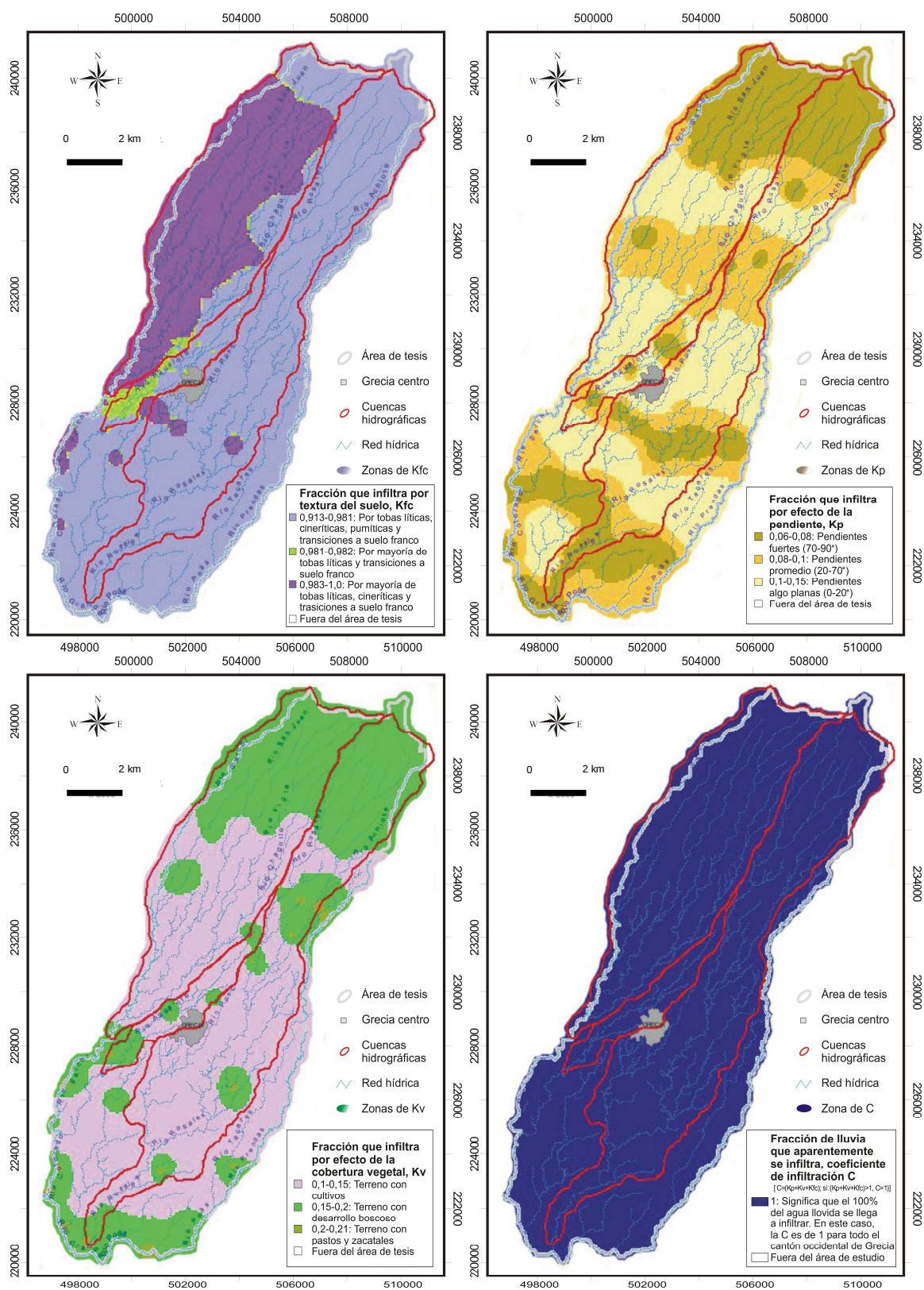


Figura 5.5. Modelos de coeficientes de infiltración K_{fc} , K_p , K_v y C ($C=K_{fc}+K_p+K_v$)

En las cuatro áreas estudiadas hay más terrenos cultivados que bosques y que cobertura por zacate u otros, excepto en las partes altas de las cuencas donde predominan aún las zonas boscosas (Figura 5.5), esto corresponde con un valor promedio de factor de vegetación (Kv) de 0,17. La caña de azúcar, bosques y pastos, representan la cobertura vegetal predominante en el lugar, lo que resulta en un valor de profundidad de raíces (PR) promedio de 2000 milímetros para todas las zonas evaluadas. Existe una minoría de otros cultivos como café, tomates y hortalizas. Los datos de tipo de cobertura vegetal y profundidad de raíces fueron determinados a través de observaciones de campo. Se estima un 12% de lluvia interceptada por el follaje (0,12 para efectos de la hoja de cálculo del balance), debido a que predominan tipos de vegetación diferentes a bosques, como ya se mencionó. Los resultados pueden ser consultados en el *anexo capítulo 5*.

5.3.5. Capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP), rango de agua disponible (CC-PM) y humedad del suelo inicial (HSi)

A partir de los valores de capacidad de campo obtenidos para las muestras, se construyeron polígonos de Thiessen de CC, los cuales se utilizaron para interpolar la CC de los suelos de las áreas de interés. Para determinar el punto de marchitez permanente se recurrió al rango de valores que se leen de la hoja electrónica del balance, la cual establece un PMP de 8 a 12 %peso, para un CC de 18 a 26 %peso, para un suelo franco. El rango de agua disponible para cada área fue calculado con la hoja electrónica (*anexo capítulo 5*). La humedad disponible esperada en la cobertura de suelos de origen volcánico del cantón occidental de Grecia es de 605,52 mm. Los resultados se pueden leer en el Cuadro 5.3.

Cuadro 5.3 Valores de capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y rango de agua disponible (CC-PM) de los suelos

Área evaluada Textura del suelo: Franco	CC [%peso]	PMP [%peso]	CC-PM [%peso]	CC-PM [mm]
Cuenca río Sarchí	20,88%	9,46%	11,42%	605,26
Cuenca río Agualote	21,28%	9,64%	11,64%	605,28
Cuenca río Rosales	21,70%	9,83%	11,87%	605,37
Cantón occidental de Grecia	21,20%	9,60%	11,60%	605,52

Se escogió como humedad del suelo inicial (HSi) el valor de la capacidad de campo (CC), para el mes que se indica en los balances. Para el cantón occidental de Grecia y sus cuencas hidrográficas se tiene que el mes de Noviembre es el mes con que inicia la Hsi, lo que se concluyó a partir del estudio de los registros de datos meteorológicos mensuales, como se discute a continuación.

5.3.6. Análisis de resultados de los balances hídricos de los suelos

A partir de las observaciones de campo y de los resultados de los cuatro balances hídricos de suelos realizados (Figura 5.6 y *anexo capítulo 5*), se puede concluir que la escorrentía superficial no se ve favorecida sobre la recarga potencial ($ESC < R_p$); esto es debido más que todo al factor de retención de agua por parte de la cobertura vegetal ampliamente distribuida en toda la zona de investigación y a que eventualmente “toda el agua producto de la precipitación se infiltra”.

Los lugareños aseguran que para el mes de Abril el verano está completamente establecido y los problemas de escasez de agua empiezan a desaparecer más o menos a partir de Agosto, cuando ya hay lluvia. Comparando los valores de los parámetros de humedad del suelo inicial y precipitación que infiltra, se concluye que aproximadamente durante Setiembre y hasta principios de Diciembre los suelos del cantón están a capacidad de campo. Se cree que más o menos a mediados de Diciembre este comportamiento cambia y el sistema deja de acumular agua (principios de Enero).

Comparando mes a mes los datos de precipitación y evapotranspiración potencial se puede estimar que el umbral entre la capacidad de campo y el punto de marchitez se presenta específicamente en Noviembre. Es notorio que la evapotranspiración real es menor que la evapotranspiración potencial excepto para los meses en que se da la recarga potencial, periodo donde ETP y ETR son de igual magnitud, por lo que si se comparan los valores de evapotranspiración real contra los de precipitación se llega a la misma conclusión.

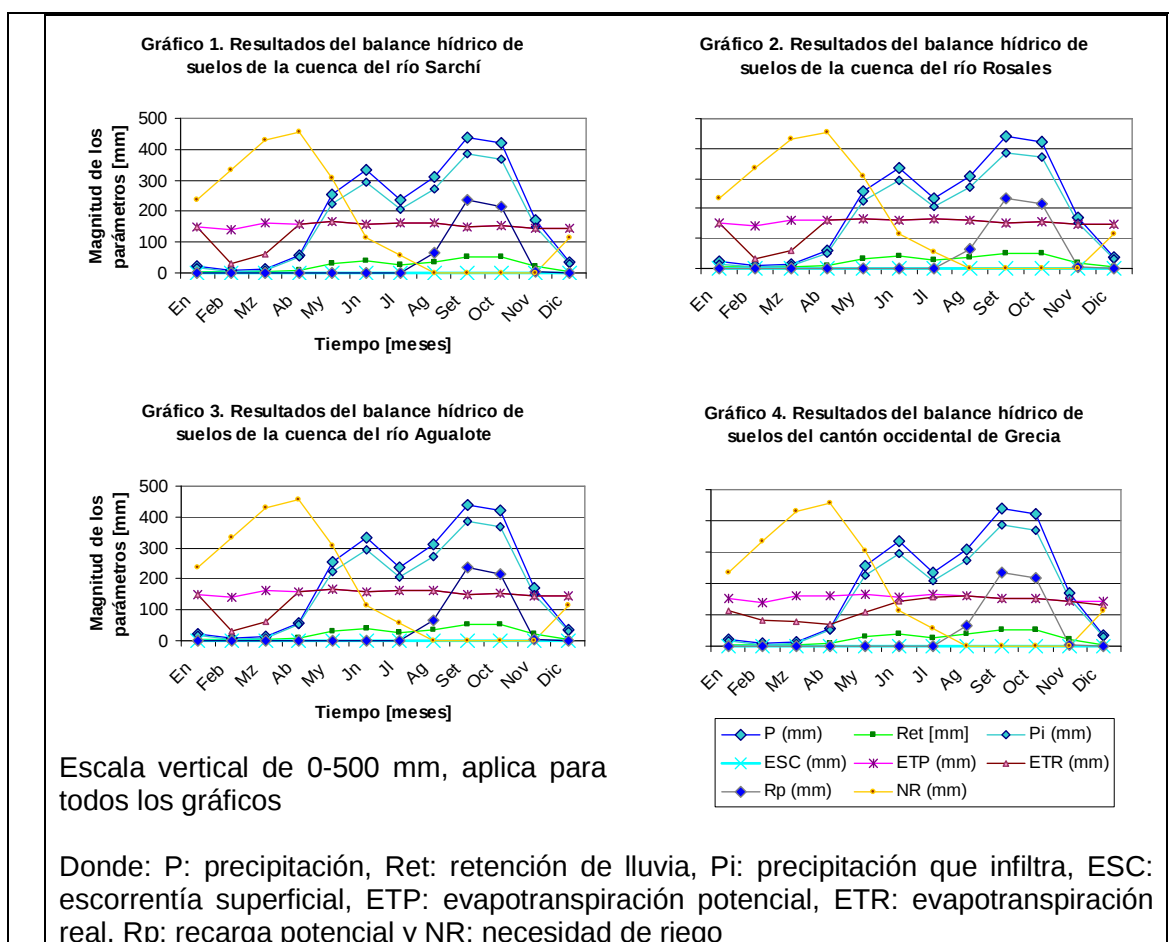


Figura 5.6. Gráficos de resultados de los balances hídricos de suelos de las cuencas de interés y de la totalidad del cantón

La recarga potencial a los acuíferos con cobertura de suelos de origen volcánico del cantón occidental de Grecia es de 520,91 milímetros por año, esto quiere decir que de los

605,52 mm de humedad disponible esperada en el sistema, al menos 520,91 mm de agua recargaron los acuíferos de la zona de estudio y un excedente de 84,61 mm fue posiblemente desviado en el proceso o retenido subsuperficialmente, o sea, fue almacenado por los suelos. En otras palabras, el rango de agua disponible en estos materiales (principalmente tobas de ceniza, tobas de lapilli y regolita producto de la meteorización de lavas, ignimbritas y depósitos recientes) es utilizado en un 86,03% para la recarga potencial de los acuíferos del cantón.

Conforme a las recargas potenciales estimadas mediante el balance hídrico de los suelos (Rp) y estableciendo las áreas de las cuencas de interés y del cantón, se procedió al cálculo del volumen potencial de agua que genera cada una de ellas por año, los resultados se resumen en el Cuadro 5.4.

Cuadro 5.4. Volumen potencial de agua generado en las cuencas de interés y en el área de estudio

Zona a evaluar	Área [km ²]*	Rp [mm/año]	Volumen [m ³ /año]
Cuenca del río Sarchí	47,08	520,99	24528209,2
Cuenca del río Agualote	7,46	520,98	3886510,8
Cuenca del río Rosales	55,49	520,96	28908070,4
Cantón occidental de Grecia (área total)	142,13	520,91	74036938,3

*indica datos calculados

Además se calculó el volumen para los 32,1 km² restantes, o sea, el área que está fuera de las cuencas estudiadas pero dentro de los linderos del cantón, ésta aporta aproximadamente 16 714 000 m³ de agua por año. Otro dato interesante que brindan los balances es la necesidad de riego de los suelos (NR), la cual ocurre de Diciembre a Julio y es más inminente entre Febrero y Mayo, alcanzando su pico máximo en Abril (meses en los que no se da recarga potencial a los acuíferos).