

Cartografia de les àrees de recàrrega de la reserva de la biosfera del Montseny

MARTA PUIGURIGUER FERRANDO¹, JORDI FONT CAPÓ^{1,2}, ROGER MATA LLEONART¹ i OIHANE ASTUI ZULAIKA³

¹Axial Geologia i Medi Ambient, SL

²Hidrogeòleg consultor

³Agència Vasca del Agua (URA)

Resum

Conèixer la capacitat de recàrrega potencial del Parc Natural i Reserva de la Biosfera del Montseny és clau a l'hora de gestionar l'espai, desenvolupar estratègies i crear mesures de protecció dels aqüífers, els rius i les surgències. Des d'aquesta perspectiva, s'ha dut a terme una cartografia digital que defineix diferents zones del territori segons la seva capacitat de recàrrega hídrica. A través d'un sistema d'informació geogràfica (SIG), s'ha donat un valor a cada una de les unitats territorials (25 m²) en funció d'uns paràmetres relacionats directament amb la capacitat de recàrrega: litologia, usos del sòl, pendent, cursos fluvials, estructures tectòniques, orientació i precipitació - evapotranspiració potencial (ETP). Per simplificar el resultat, s'han establert cinc categories per qualificar les zones de recàrrega: molt baixa, baixa, mitjana, alta i molt alta.

Paraules clau

Zona de recàrrega, hidrogeologia, recàrrega hídrica, Montseny

Resumen

Cartografía de las áreas de recarga de la Reserva de la Biosfera del Montseny

Conocer la capacidad de recarga del Parque Natural y Reserva de la Biosfera del Montseny es clave a la hora de gestionar el espacio, desarrollar estrategias y crear medidas de protección de los acuíferos, los ríos y las surgencias. Desde esta perspectiva, se ha llevado a cabo una cartografía digital que define diferentes zonas del territorio según su capacidad de recarga hídrica. A través de un sistema de información geográfica (SIG), se ha dado un valor a cada una de las unidades territoriales (25 m²) en función de unos parámetros relacionados directamente con la capacidad de recarga: litología, usos del suelo, pendiente, cursos fluviales, estructuras tectónicas, orientación y precipitación - evapotranspiración potencial (ETP). Para simplificar el resultado, se han establecido cinco categorías para calificar las zonas de recarga: muy baja, baja, media, alta y muy alta.

Palabras clave

Zona de recarga, hidrogeología, recarga hídrica, Montseny

Abstract

Mapping the Montseny Biosphere Reserve's Recharge Zones

Identifying the recharge capacity of the Montseny Nature Park and Biosphere Reserve is crucial to managing the area, devising strategies and implementing measures to protect its aquifers, rivers and springs. Digital mapping was undertaken to define the territory's zones by their groundwater recharge capacity. Using a geographic information system (GIS), a value was given to each of the territorial units (25 m²) based on parameters directly related to recharge capacity: lithology, land use, slope, watercourses, tectonic structures, direction faced and precipitation - potential evapotranspiration (PET). To simplify the results, the recharge zones were classified into five categories: very low, low, medium, high and very high.

Key words

Recharge zone, hydrogeology, groundwater recharge, Montseny

Introducció

Durant l'any 2017 es va desenvolupar la cartografia de les zones de recàrrega hídrica superficial de la reserva de la biosfera del Montseny amb la finalitat de tenir una eina que doni suport a les estratègies i mesures de gestió i protecció dels aquífers, cursos d'aigua superficial i surgències. Identificar les zones prioritàries en aquest sentit aproxima, a més, a conèixer la geodiversitat de la zona.

En termes generals, es denomina recàrrega el procés pel qual s'incorpora a un aquífer l'aigua procedent de fora del contorn que el limita. Les procedències d'aquesta recàrrega són diverses, des de la infiltració de l'aigua de pluja (en general, la més important) i de les aigües superficials fins a la transferència d'aigua des d'un altre aquífer (CUSTODIO; LLAMAS, 1976). Les àrees on es produeix la recàrrega són llocs on la capacitat d'infiltració pot ser variable en funció de les característiques de cada zona i dels usos que se'n fa.

Els aquífers es recarreguen principalment a través de la precipitació que arriba als sòls amb alta capacitat d'infiltració o a través de les roques permeables superficialment; per tant, és important identificar les zones que, per les seves característiques, faciliten la infiltració, és a dir, aquelles que ofereixen les aportacions de recàrrega hídrica més grans i, dins d'aquestes, aquelles que, per les seves particularitats específiques, siguin susceptibles de disminuir el seu potencial de recàrrega en ser sotmeses a una gestió diferent de la seva capacitat. Aquestes àrees es denominen zones crítiques de recàrrega hídrica (INAB, 2003).

El resultat de la cartografia que es presenta és la zonificació del territori segons la seva capacitat com a àrea de recàrrega hídrica superficial. A través d'un SIG, s'ha donat un valor a cada una de les unitats territorials (25 m²) en funció de set paràmetres: litologia, usos del sòl, pendent, cursos fluvials, estructures tectòniques, orientació, precipitació-ETP. Per simplificar el resultat, s'han establert cinc categories per a qualificar les zones de recàrrega: molt baixa, baixa, mitjana, alta i molt alta.

L'àmbit de l'estudi se circumscriu en el context de la reserva de la biosfera del Montseny (50.104 ha) i, en conseqüència, a la totalitat de l'espai natural protegit del Parc Natural del Montseny (30.063,90 ha). Des del punt de vista geològic, la zona se situa en el Sistema del Mediterrani, concretament a la Serralada Prelitoral Catalana. Geològicament, el massís del Montseny s'estructura en dues parts ben diferenciades: el sòcol, format per roques ígnies i metamòrfiques (de l'era paleozoica, fa entre 550 i 300 milions d'anys), i la cobertora, constituïda fonamentalment per roques sedimentàries (de les eres geològiques mesozoica i cenozoica, des de fa uns 300 milions d'anys fins a l'actualitat). A la zona apareixen un total de cinquanta-quatre litologies, les quals corresponen a roques de diferent edat i composició.

La diversitat litològica determina la capacitat de recàrrega. Com més permeables siguin els materials, més capacitat tindrà la zona per a acollir l'aigua que

arriba de la pluja. Les litologies sorrenques, associades als dipòsits al·luvials i col·luvials, són les més permeables, mentre que els cossos rocosos menys fracturats, com els de les pissarres, junt amb les litologies argiloses, són els menys permeables. A la zona on apareixen els granits, la fissuració del material i la transformació d'un gruix important del granit en sauló afavoreix la capacitat de recàrrega, malgrat que aquests granits són, d'entrada, poc permeables.

El clima del Montseny és de tipus mediterrani, amb hiverns temperats i estius eixuts, amb precipitacions màximes concentrades a la primavera i la tardor. La precipitació mitjana anual oscil·la entorn de 800-1.100 mil·límetres, si bé és variable i va des de 700 mil·límetres al sector occidental fins a 1.200 mil·límetres a Santa Fe del Montseny. La temperatura mitjana descendeix regularment amb l'altura, de 12-15 °C als pobles del peu del massís a 6,5 °C a les àrees culminants. A les planes de la Depressió Prelitoral i a les valls tancades és freqüent el fenomen de la inversió tèrmica. La precipitació és l'element essencial per a determinar la capacitat de recàrrega d'una zona, ja que és el factor portador d'aigua, ja sigui en forma de pluja, gel o neu. A partir de les dades de pluja i de temperatura es calcula l'evapotranspiració, la qual serà un factor que restarà la capacitat de recàrrega final.

La xarxa hídrica se situa dins de la demarcació de les conques internes de Catalunya i està distribuïda en tres conques hidrogràfiques: de la Tordera, del Ter i del Besòs. La xarxa de drenatge esdevé un dels factors clau a l'hora de determinar la capacitat de recàrrega, ja que com més drenada sigui la zona, és a dir, com més cursos d'aigua hi hagi, més gran serà la capacitat de recàrrega.

El comportament hidrogeològic dels materials, tant els aflorants com els del subsol, determinen la distribució dels sistemes aquífers. Les zones de recàrrega no han de correspondre necessàriament als aquífers més productius; per aquest motiu, cal conèixer quina és la distribució de les principals zones de recàrrega a fi de protegir-les. Cal tenir en especial consideració les zones de recàrrega que coincideixin amb els espais on es desenvolupen aquífers productius.

Objectius

L'objectiu general de l'estudi que s'ha dut a terme ha estat elaborar la base cartogràfica de les zones recàrrega hídrica relativa en l'àmbit de la reserva de la biosfera del Montseny. Els objectius específics d'aquest treball són: determinar i ponderar tots aquells elements del medi físic que condicionen que una zona tingui un potencial més gran per a l'entrada d'aigua als aquífers; crear una base temàtica que esdevingui una eina àgil i útil per a la gestió correcta de l'espai des de la perspectiva hidrogeològica; identificar les zones més rellevants com a superfícies prioritàries de recàrrega hídrica relativa.

Metodologia

La recàrrega subterrània es produeix quan l'aigua procedent de la zona no saturada s'introdueix en la zona saturada que hi ha sota la superfície piezomètrica. Des d'aquesta premissa, s'estructura una metodologia que té per objectiu determinar la capacitat que té el territori perquè es doni aquesta circumstància, és a dir, la de determinar els paràmetres que fan que una zona pugui esdevenir una zona de recàrrega millor o pitjor.

Per a fer aquest treball s'han considerat diferents metodologies, desenvolupades en diverses zones i que avaluen un conjunt de característiques pròpies del terreny i diversos factors climàtics. Específicament, s'han pres com a referència els treballs de SHABAN *et al.*, 2006; TWEED *et al.*, 2006; BATELAAN *et al.*, 2007; KARAMI *et al.*, 2016; YEH *et al.*, 2009 i 2016, i HUANG *et al.*, 2013. Tots aquests autors de referència utilitzen diversos paràmetres com a factors limitadors o potenciadors de les zones de recàrrega hídrica al subsòl: geologia (litologia i densitat de lineaments), geomorfologia (pendent i densitats de drenatge), climatologia (precipitació, ETP i orientació) i usos del sòl.

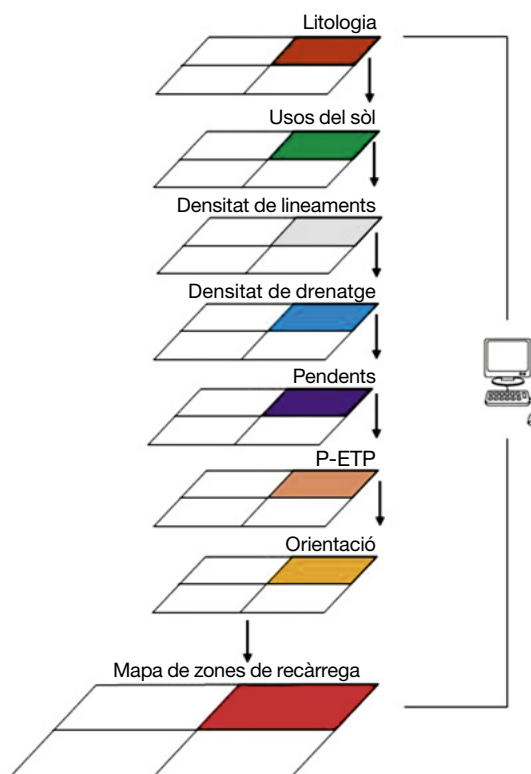
La cartografia que s'ha elaborat al Montseny és una zonificació del territori en diverses àrees delimitades segons la seva categoria com a zones de recàrrega hídrica. La categoria de cada zona és el resultat de l'avaluació de set paràmetres combinats:

- Pendent. Quantifica la influència de la inclinació del terreny (mesurada en graus) a partir del model digital d'elevacions del terreny 5 × 5 (ICC).
- Litologia. Quantifica cada un dels materials geològics presents segons la seva capacitat hidrogeològica i a partir de la Cartografia geològica de Catalunya 1:50.000 (ICC-ICGC). A partir del model proposat pel Soil Conservation Service (SCS) i adoptat per l'ACA (ACA, 2003), es determina el tipus de sòl corresponent a cada una de les litologies presents. Aquest model té en compte els tipus de sòls, els usos, les condicions d'humitat i el pendent. Per a cada unitat litològica, s'ha determinat un valor d'escorrentia superficial, de manera que, a partir d'una certa precipitació diària amb les condicions d'humitat existents en el sòl, es considera que no hi ha més capacitat d'infiltració per a valors superiors i tot l'excedent s'escola per superfície. La resta de l'aigua, en primer lloc, satisfà les necessitats d'ETP. L'aigua disponible, en segon lloc, s'afegeix a la reserva del sòl. Si aquesta reserva supera la reserva màxima, l'excés percola per gravetat fins al nivell freàtic i, per tant, es considera recàrrega útil.
- Sòl. Quantifica els usos del sòl segons la seva capacitat de recàrrega a partir del Mapa d'usos del sòl de Catalunya (CREAF, 2009). El mètode de l'SCS proposa una correlació de categories de sòl en funció del seu ús.
- Lineament. Quantifica el territori segons la densitat de fracturació (falles, lineaments) a partir de la Cartografia geològica de Catalunya 1:50.000 (ICC-ICGC). La densitat de lineaments s'ha calculat segons el nombre de lineaments per àrea.

- Drenatge. Quantifica el territori segons la densitat de drenatge (cursos d'aigua) a partir del Mapa de conques internes de Catalunya (ACA). La densitat de drenatge s'ha calculat segons el nombre total de cursos fluvials per àrea.
- Precipitació-ETP. Quantifica les dades de precipitació i ETP. Es crea un mapa de P-ETP, segons cada 500 metres (altures), a partir de les dades del Servei Meteorològic de Catalunya (sèrie 1990-2015). Hi intervenen els observatoris: Malgrat de Mar, Breda, Cardedeu, Dosrius - PN Montnegre Corredor, Viladrau, Tagamanent - PN Montseny, Turó de l'Home - Puig Sesolles a partir de les dades recollides per Mas-Pla (2016).
- Orientació: Quantifica la manera com les orientacions condicionen el grau d'humitat en funció dels vents influents i la distribució d'obaga o solell a partir del Model digital de terreny 5 x 5 (ICC). Es considera que les orientacions a nord suposen un benefici per a la recàrrega (valor 10) respecte a les que són a oest (valor 1).

Cada paràmetre correspon a una base cartogràfica independent, en la qual cada píxel (unitat de superfície de 25 m²) té associat un valor segons l'aportació a la recàrrega hídrica potencial. Per exemple, el mapa litològic té associat un valor d'1 a 10 per cada una de les litologies segons la seva capacitat davant la recàrrega, en què el valor 1 correspon als materials impermeables i el 10 als més permeables.

Figura 1. Esquema del procés de tecnologia SIG utilitzada en la integració i l'anàlisi espacial per a delimitar la zona de recàrrega hídrica potencial



Font: elaboració pròpia.

De la combinació d'aquestes bases, segons el seu valor i el pes que s'ha atorgat a cada índex, s'ha obtingut un mapa que mostra una zonació de la diferent capacitat de recàrrega. El pes de cada índex s'ha determinat d'acord amb la bibliografia consultada i el coneixement que es té de la zona. La fórmula final que expressa el valor de la recàrrega és la següent:

$$\text{Recàrrega} = 15 * \text{pendent} + 17 * \text{litologia} + 15 * \text{usos del sòl} + 11 * \text{densitat de lineaments} + 9 * \text{densitat de drenatge} + 21 * \text{P-ETP} + 12 * \text{orientació}$$

El rang de valors de la recàrrega està entre 100 i 1.000. Al Montseny els valors obtinguts varien de 197 a 817; per tant, s'han depreciat aquells que estan per sota de 197 i per sobre de 817. A partir d'aquest rang (de 197 a 817) s'ha fet una reclasificació relativa, expressada en valors d'1 a 10, en què 1 són les zones amb menys recàrrega i 10 les zones de màxima recàrrega. Sobre la base d'aquesta classificació, s'han establert cinc categories per a qualificar les zones de recàrrega: molt baixa, baixa, mitjana, alta i molt alta.

Cal dir que no tots els paràmetres tenen la mateixa importància o pes. Per tal de donar un valor numèric a cada un dels factors, s'ha fet una mitjana del pes que tenen les diferents capes segons els autors consultats.

Taula 1. Índex de cada una de les categories considerades. Els valors finals corresponen a una mitjana arrodonida segons una adaptació de les característiques de la zona

Categoria	YEH <i>et al.</i> , corregit	SHABAN <i>et al.</i> , corregit	KARAMI <i>et al.</i> , corregit	Mitjana arrodonida
Pendent	9.1	No es fa servir	15.8	15
Litologia	18.9	21.5	9.3	17
Ús del sòl	15.6	13.4	No es fa servir	15
Lineament	12.4	16.1	12.1	11
Drenatge	9.1	13.4	4.6	9
Carst	No es fa servir	No és considerat	No és considerat	No és considerat
Precipitació-ETP	No es fa servir	No es fa servir	21.4	21
Orientació	No es fa servir	No es fa servir	14.3	12

Font: elaboració pròpia.

Un altre dels aspectes en què s'ha treballat és l'avaluació de la recàrrega hídrica sobre la base de la precipitació mitjana anual, la qual s'ha calculat en 785,9 mil·límetres. Segons la bibliografia consultada, la recàrrega de l'aigua de pluja en capes freàtiques varia entre el 15 i el 28 % de la precipitació (MAS-PLA, 2016); altres autors situen aquest valor en el 31 % (CARMONA, 2009). En aquest estudi s'ha aplicat

un valor intermedi del 26 %; per a la zona de categoria molt baixa s'ha considerat un 16 % i per a la zona amb màxima capacitat de recàrrega, un 36 %.

Discussió

Algunes de les condicions del medi, com els usos del sòl, la precipitació o la temperatura, poden ser canviants al llarg del temps. Davant d'aquesta situació, es planteja un sistema basat en una proposta de SIG en la qual les bases de referència es poden anar adaptant als possibles escenaris de futur. D'aquesta manera, la cartografia final és el resultat d'una jerarquització dels diferents components, que permeten establir la importància individual de cadascun i, en conseqüència, la possible afecció davant de qualsevol canvi futur, com ara incorporació de cartografies de base més detallades o revisades, escenaris de canvi climàtic o canvis en els usos del sòl. L'estructura del model digital, a més, permet afegir nous índexs o fer una nova reclassificació sobre la base de nous criteris.

Un dels aspectes que genera discussió és el que fa referència als usos del sòl, en concret el paper que té la cobertura vegetal en el procés de recàrrega hídrica. En aquest treball s'ha quantificat la importància dels boscos com a facilitadors de la recàrrega d'acord amb diversos autors i treballs (DARWICH, 2003; SHABAN, 2006; BATELAAN, 2006, i ZOMLOT, 2015, entre d'altres). Cal tenir present que el factor més limitador per a considerar les zones boscoses com a àrees de recàrrega baixa és l'ETP, però aquest paràmetre s'ha considerat en la capa específica de pluviometria-ETP; per tant, la zona boscosa és considerada com a un paràmetre que afavoreix la recàrrega hídrica. L'augment de la capacitat d'infiltració en zones boscoses es justifica pels aspectes següents:

- La destrucció de les estructures horitzontals del sòl per acció dels organismes vegetals i animals associats a la cobertura vegetal afavoreix la infiltració.
- L'efecte para-sol que fa la cobertura vegetal, sobretot si és boscosa, damunt del sòl ajuda a mantenir la humitat de la superfície del terreny.
- Les plantes tenen facilitat per a reduir i minimitzar que l'aigua de pluja es transformi en escorrentia superficial.
- La cobertura del sòl permet un major contacte amb el terra, disminueix la velocitat del vessament, l'erosió, l'impacte de la gota de pluja i la sequedat causada pels raigs del sol.
- La presència de diversos estrats de cobertura vegetal ajuda a conservar les característiques del sòl, fet que va a favor de la recàrrega. Es consideren bàsicament tres estrats: els arbres, els arbustos i l'herbada. Tots ells garanteixen una millor coberta vegetal, més quantitat de matèria orgànica, més retenció d'aigua i més infiltració.

Resultats

El rang de valors de la recàrrega del Montseny és de 197 a 817. A partir d'aquest rang s'ha fet una reclassificació relativa, expressada en valors d'1 a 10, en què 1 són les zones amb menys recàrrega i 10 les zones de màxima recàrrega. A partir d'aquí s'han establert cinc categories per a qualificar les zones de recàrrega: molt baixa, baixa, mitjana, alta i molt alta. Segons aquest criteri, a partir de l'anàlisi de cada un dels índexs de càlcul de la recàrrega hídrica s'ha obtingut la informació següent:

- **Pendent.** Una bona part de la zona presenta un pendent entre 17 i 33 graus, i els valors són de 3 i 4. Aquesta magnitud indica que una gran part de la superfície no és plana i, per tant, l'índex de pendent presenta una debilitat davant la recàrrega.
- **Litologia.** Segons la superfície que ocupa cada tipus de sòl (en la classificació SCS), el 49 % dels materials de la zona corresponen a sòls del tipus C, en els quals l'aigua s'infiltra lentament quan estan molt humits; un 38 %, a sòls del tipus B, els quals quan estan molt humits tenen una capacitat d'infiltració moderada; un 8 %, a sòls del tipus A, en què l'aigua s'infiltra ràpidament encara que estiguin humits, i un 5 %, a sòls del tipus D i, per tant, amb una infiltració molt lenta quan estan molt humits. Els sòls del tipus A corresponen als que afavoreixen millor la recàrrega, i els D als que l'afavoreixen pitjor. Al Montseny un 86 % de la superfície està representada per sòls amb un valor entre 3 i 6 (sòls dels tipus C i B); per tant, el valor per a la recàrrega és mitjà.
- **Usos del sòl.** Un 78 % correspon a superfície forestal, un 7 % a conreus, un 9 % a matollars i herbassars, un 5 % a zones urbanes i vials; la resta de la superfície està ocupada per roquissars, tarteres, sòl nu, vivers de fruiters, oliveres, moviments de terres, espais aquàtics i hivernacles. Considerant que els boscos tenen un paper molt destacat a favor de la recàrrega hídrica, i donat el domini forestal del Montseny, una bona part de la zona està representada per un valor de 8, que és, per tant, elevat.
- **Densitat d'alineaments.** No s'ha tingut accés a un mapa estructural detallat per a poder tenir una bona cobertura dels alineaments; aquest fet determina que l'índex tingui uns valors molt baixos, de magnitud 1.
- **Densitat de drenatge.** Els valors mitjans que s'han obtingut són de l'ordre de 5 i 3 principalment i, per tant, amb una capacitat mitjana davant la recàrrega hídrica.
- **Pluviometria-ETP.** Aquests càlculs s'han fet a partir de l'altura, i com a resultat s'ha obtingut que al 52 % de la superfície li correspon un valor de 6; al 35 %, un de 4, i al 15 %, un de 8.
- **Orientació.** La distribució de les diferents orientacions segons la superfície que ocupen indica que el 21 % del territori està orientat al nord, amb un va-

lor de recàrrega 10; el 24 % a l'est, amb un valor de 7; el 24 % al sud, amb un valor de 3, i el 31 % a l'oest, amb un valor d'1.

El resultat cartogràfic obtingut mostra el següent:

- El 57,5 % de la superfície es considera zona de recàrrega mitjana.
- El 28,3 % se situa dins d'una zona de recàrrega baixa.
- El 13 % se situa dins d'una zona de recàrrega alta.
- El 0,65 % se situa dins d'una zona de recàrrega molta baixa.
- El 0,22 % se situa dins d'una zona de recàrrega molta alta.

Les zones de recàrrega hídrica molt alta i alta representen el 13 % de tot el territori (6.600 ha) i corresponen a nou sectors principals:

- Entre Aiguafreda i el Brull (W)
- Malla (NW)
- Riera Major (N)
- Matagalls (centre-nord)
- Les Agudes - Santa Fe del Montseny (centre-E)
- De Breda a Riells i Viabrea (E)
- Gualba (SE)
- Sector de la Tordera (Sant Esteve de Palautordera) (S)
- Joanet (NE)

Taula 2. Superfícies de distribució de les zones de recàrrega segons el seu valor relatiu

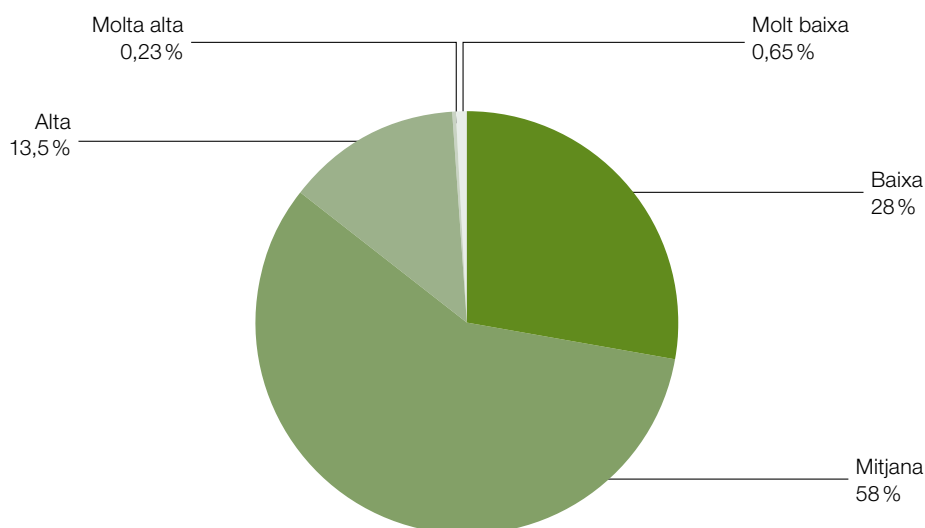
Valor	Rang R*	Superfície (ha)	Superfície (%)	Categoria	Superfície (%)	Superfície (ha)
1	197-259	23,06	0,05	Molt baixa	0,99	497
2	259-321	473	0,95			
3	321-383	3.783	7,55	Baixa	28,31	14.185
4	383-445	10.401	20,76			
5	445-507	16.585	33,10	Mitjana	57,53	28.827
6	507-569	12.241	24,43			
7	569-631	5.431	10,84	Alta	12,94	6.484
8	631-693	1.052	2,10			
9	693-755	110,61	0,22	Molt alta	0,22	112
10	755-817	1,24	0,002			

* Recàrrega (valor obtingut d'aplicar la fórmula). Font: elaboració pròpia.

Les zones de recàrrega hídrica de categoria mitjana representen el 57,5 % (28.827 ha) i són les més abundants, sobretot als sectors nord i nord-est, on afloren principalment els granits, amb un domini de massa forestal espessa i pendents que oscil·len entre 10 i 25 graus.

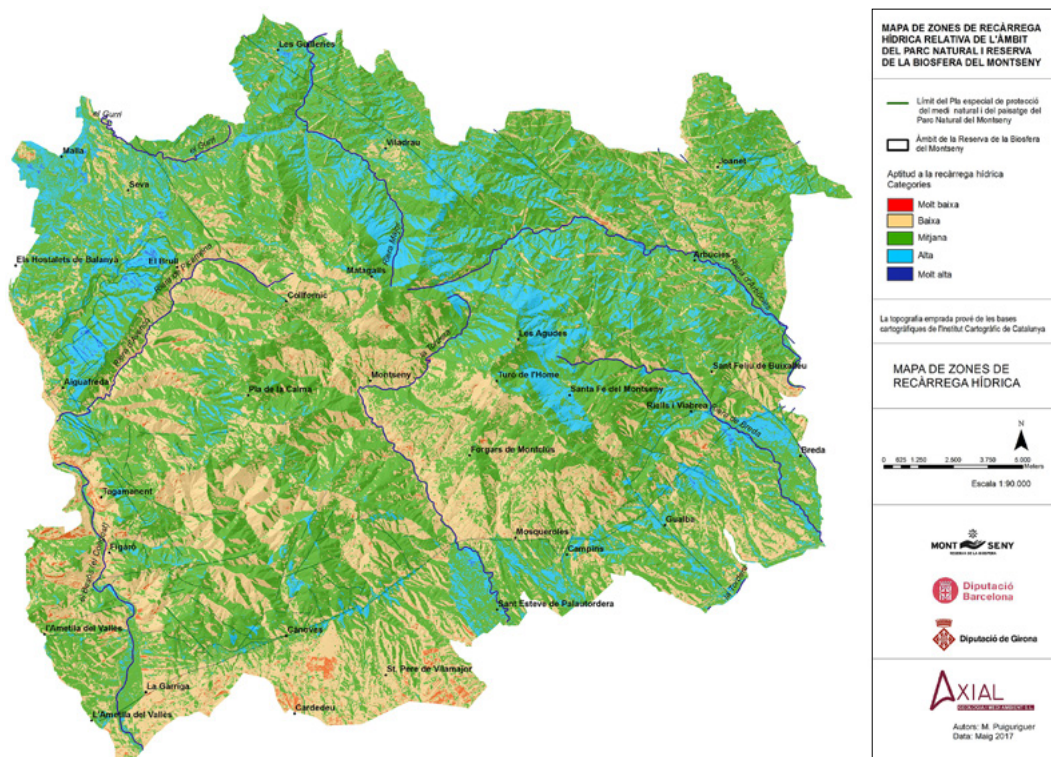
Les zones de recàrrega hídrica baixa i molt baixa corresponen a una superfície del 29 % (14.682 ha); en aquestes zones hi ha 497 ha (1 %) de zones impermeables, les quals corresponen a vials, construccions, hivernacles, etc. La resta de la zona de recàrrega baixa es localitza principalment allà on afloren les pissarres, al sector central i est, i a la resta del territori on dominen els pendents extrems o bé on la cobertura vegetal està representada per matollars o prats.

Gràfic 1. Percentatge de distribució de les superfícies de les zones de recàrrega hídrica segons la seva categoria



Segons el mapa de zones de recàrrega hídrica obtingut, observem que aquesta recàrrega no és homogènia, de manera s'han aplicat diversos percentatges d'infiltració de l'aigua de pluja segons la categoria de cada zona: un 16 % a la zona de categoria molt baixa i un 36 % a la zona amb màxima capacitat de recàrrega. Sobre la base d'aquests escenaris adaptats a cada zona, de tota l'aigua de pluja que va a parar potencialment als aqüífers, la principal recàrrega es produeix a les zones de categoria mitjana, les quals representen un 57 % de la superfície del Montseny i acullen una recàrrega de gairebé el 60 %. Seguint aquest criteri, el 23 % de l'aigua que recarrega les capes freàtiques ho fa a les zones de recàrrega baixa; un 16 %, a les zones de recàrrega alta; un 0,6 %, a les zones de categoria molt baixa, i un 0,3 %, a les zones considerades de molta capacitat de recàrrega.

Mapa 1. Zones de recàrrega hídrica relativa de la reserva de la biosfera del Montseny segons categories



Font: elaboració pròpia.

Taula 3. Càlcul de la recàrrega hídrica a nivells subterranis, a partir de la pluja que arriba a cada zona, segons la seva capacitat de recàrrega

Categoria de zones de recàrrega	Superfície (%)	Recàrrega teòrica (%)	Recàrrega màx. potencial (mm)	Recàrrega real (mm)	Recàrrega real (%)
Molt baixa	0,99	16 %	125,7	1,2	0,6
Baixa	28,31	21 %	165,0	46,7	23,6
Mitjana	57,53	26 %	204,3	117,6	59,5
Alta	12,94	31 %	243,6	31,5	15,9
Molt alta	0,22	36 %	282,9	0,6	0,3

Conclusions

La zona de la reserva de la biosfera del Montseny no presenta cap àrea on la recàrrega relativa estigui per sota del valor 197; cal tenir present que es considera el valor 100 com el mínim. Per tant, es pot concloure que en tot l'àmbit es produeix recàrrega.

Amb les condicions geogràfiques i el tipus d'ús del sòl, la recàrrega relativa màxima que es produeix a la zona arriba al valor de 817, essent 1.000 el valor teòric màxim.

La major part de la superfície té una potencialitat mitjana per a la recàrrega, i la recàrrega majoritària oscil·la entre 448 i 569.

Segons aquests índexs, les zones amb més capacitat de recàrrega hídrica compleixen els criteris següents:

- Pendent suau: de 0 a 10 graus.
- Litologia dominada per materials de porositat i transmissivitat elevades.
- Ús del sòl dominat per roca nua o per zones amb recobriment forestal.
- Densitat estructural elevada.
- Densitat de drenatge elevada.
- Precipitació menys ETP màxima.
- Zones orientades al nord.

La recàrrega potencial dels aquífers de la zona a partir de la pluja que arriba al Montseny anualment (785,9 mm) és de 204,3 mil·límetres.

La principal recàrrega dels aquífers es produeix a les zones de categoria mitjana, les quals representen el 57 % de la superfície de la zona, espai que acull una recàrrega del 60 % de tota l'aigua que arriba. El 23 % de l'aigua que recarrega les capes freàtiques ho fa en les zones de recàrrega baixa. Per tant, es pot concloure que la gestió i protecció de les zones de categoria mitjana han de ser prioritàries i no han de ser depreciaades per no ser catalogades com a zones d'alta capacitat.

Bibliografia

- AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA (2003): *Guia tècnica. Recomanacions tècniques per als estudis d'inundabilitat d'àmbit local*. Documents tècnics 1.
- AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA. *Catàleg de descàrrega cartogràfica de l'Agència Catalana de l'Aigua* [en línia]. <<http://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/>> [Consulta: març de 2017].
- BATELAAN, O.; DE SMEDT, A. B. F. (2007): «GIS-based recharge estimation by coupling surface–subsurface water balances». *Journal of Hydrology*, núm. 337; p. 337-355.
- CARMONA, J. M.; PUIGSERVER, D. (2009): *Análisis de los datos existentes sobre las características hidrogeológicas, hidrodinámicas, hidroquímicas, demandas y extracciones de aguas subterráneas del parque natural del Montseny, para la diagnosis del estado de sus recursos hídricos*. Facultat de Geologia. Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica (Grup d'Hidrogeologia). Universitat de Barcelona.

- CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. (1976): *Hidrogeologia Subterrànea I/II*. Barcelona: Omega.
- CREAF. Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya (2009) [en línia]: <<https://geoserveis.icgc.cat/servei/catalunya/cobertes-sol/wms?>> [Consulta: febrer 2017].
- DARWICH, T.; KHAWLIE, M.; FAOUR, G.; MASRI, T.; HADDAD, T.; AWAD, M.; BOU KHEIR, R.; SHABANA JOMAA, I.; ABDALLAH (2003): *Dynamic factors of land degradation in Lebanon. Workshop on: Ecosystem-based assessment of soil degradation to facilitate land users' and land owners' prompt actions (ECOLAND)*. Adana, Turkey, p. 2-7.
- HUANG, C.C.; YEH, H.F.; LIN, H.I.; LEE, S.T.; HSU, K.C.; LEE, C.H. (2013): «Groundwater recharge and exploitative potential zone mapping using GIS and GOD techniques», *Environ Earth Sci.* núm. 68; p. 267-280.
- HSIN-FU YEH*; YOUG-SIN CHENG; HUNG-I. LIN; CHENG-HAW LEE (2016): «Mapping groundwater recharge potential zone using a GIS approach in Hualian River», *Taiwan Sustainable Environment Research*, núm. 26; p. 33-43.
- KARAMI, G. H.; BAGHERI, R.; RAHIMI, F. (2016): «Determining the groundwater potential recharge zone and karst springs catchment area: Saldoran region, western Iran». *Hydrogeol J.* núm. 24; p. 1981-1992.
- IGME. INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA. Escala 1:50.000. Fulls: 332 (Vic), 333 (Santa Coloma de Farners), 364 (La Garriga), 365 (Blanes).
- INAB (INSTITUTO NACIONAL DE BOSQUES) (2003): *Metodología para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural. Manual técnico*. Guatemala. GT. 106 p.
- INSTITUT CARTOGRÀFIC DE CATALUNYA. *Descàrrega de bases cartogràfiques digitals* [en línia]: <<http://www.icc.cat/vissir3/>> [Consulta: gener 2017]*.
- MAS, J. (2016): *Aproximació al càlcul del balanç hídric al PN del Montseny: estudi de la precipitació, els cabals disponibles i proposta d'ubicació d'estacions d'aforament*. Centre de Recerca en Geologia i Cartografia Ambiental. Geocamb. Universitat de Girona Institut Català de Recerca de l'Aigua - ICRA.
- NABLA. (2009): *Estimació de la recàrrega per infiltració directe d'aigua de pluja i retorns de reg a la massa 18*. Agència Catalana de l'Aigua.
- O'LEARY, D. W.; FRIEDMAN, J. D.; POH, H. A. (1976): «Lineaments, linear, lineations: some standards for old terms». *Geol Soc Am Bull*, núm. 87; p. 1463-1469.
- SHABAN, A.; KHAWLIE, M.; ABDALLAH, C. (2006): «Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zones: the case of Occidental Lebanon». *Hydrogeol J*, núm. 14; p. 433-443.
- TWEED, S. O.; LEBLANC, M.; WEBB, J. A.; LUBCZYNSKI, M. W. (2007): «Remote sensing and GIS for mapping groundwater recharge and discharge areas in salinity prone catchments, southeastern Australia». *Hydrogeol J*, núm. 15; p. 75-96.
- YEH, H. F.; LEE, CH; HSU, K. C.; CHANG, P. H. (2009): «GIS for the assessment of the groundwater recharge potential zone». *Environ Geol*, núm. 58; p. 185-95.

- YEH, H. F.; YOUNG-SIN, C.; LEE, C. H. (2016): «Mapping groundwater recharge potential zone using a GIS approach in Hualian River, Taiwan». *Sustainable Environment Research*, Tainan, Taiwan: Department of Resources Engineering. National Cheng Kung University, núm. 26; p. 33-43.
- ZOMLOT, Z.; VERBEIREN, B.; HUYSMANS, M.; BATELAAN, O. (2015): «Spatial distribution of groundwater recharge and base flow: Assessment of controlling factors». *Journal of Hydrology: Regional Studies*, núm. 4; p. 349-368.