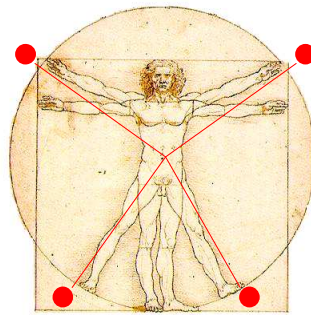


TECNOLOGÍ@ y DESARROLLO

Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

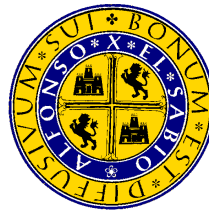
VOLUMEN VI AÑO 2008

SEPARATA



BALANCE HÍDRICO DE LAS SUPERFICIES GRABADAS EN ROCAS
GRANÍTICAS. UN MODELO GEOMORFOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO
CON IMPLICACIONES AMBIENTALES

Juan de Dios Centeno y Manuel García Rodríguez



UNIVERSIDAD ALFONSO X EL SABIO
Escuela Politécnica Superior
Villanueva de la Cañada (Madrid)

© Del texto: Juan de Dios Centeno y Manuel García Rodríguez.
Julio 2008.

http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECMAD08_001.pdf

© De la edición: *Revista Tecnol@y desarrollo*

Escuela Politécnica Superior.

Universidad Alfonso X el Sabio.

28691, Villanueva de la Cañada (Madrid).

ISSN: 1696-8085

Editor: Julio Merino García tecnologia@uax.es

No está permitida la reproducción total o parcial de este artículo, ni su almacenamiento o transmisión ya sea electrónico, químico, mecánico, por fotocopia u otros métodos, sin permiso previo por escrito de la revista.

Tecnol@y desarrollo. ISSN 1696-8085. Vol.VI. 2008.

BALANCE HÍDRICO DE LAS SUPERFICIES GRABADAS EN ROCAS GRANÍTICAS. UN MODELO GEOMORFOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO CON IMPLICACIONES AMBIENTALES

Juan D. Centeno Carrillo (1) y Manuel García Rodríguez (2)

(1) Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. c/ José Antonio Nováis 2, 28040 Madrid. E-mail: juande@geo.ucm.es

(2) Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares. 28871 Madrid. E-mail: manuel.garciaro@uah.es

RESUMEN

Se estudian las relaciones entre aspectos geomorfológicos e hidrogeológicos de las regiones graníticas y, en especial, su influencia en el balance hídrico y su papel fundamental en la interacción entre Geodiversidad y Biodiversidad. Partiendo de un modelo conceptual, se diseña un modelo cuantitativo y se aplica en ocho escenarios que difieren por la proporción de superficie con regolito y afloramientos, la profundidad del regolito y el régimen de precipitaciones.

PALABRAS CLAVE: *Relieves graníticos, Modelos del balance hídrico, Geodiversidad.*

ABSTRACT

This article studies the relationship between geomorphic and hydrogeologic variables and, specially, its influence on the hydric balance and its fundamental role on the interaction between Geodiversity and Biodiversity. A conceptual model is built and then a quantitative version is applied in eight scenarios defined by surficial distribution of regolith and outcrops, regolith depth and rainfall distribution.

KEY WORDS: *Granite Landforms, Water balance modeling, Geodiversity*

SUMARIO: 1. Introducción, 2. Procesos geomórficos básicos en paisajes graníticos: regolito y frente de alteración, 3. Balance hídrico en paisajes graníticos: modelo conceptual, 4. Modelo cuantitativo del balance hídrico, 5. Interpretación del balance hídrico, 6. Conclusiones: relieve, balance hídrico, medio natural y usos del territorio, 7. Agradecimientos, 8. Bibliografía

1. Introducción

Hay una relación entre evolución del relieve y procesos superficiales actuales con la hidrogeología de pequeños acuíferos, vegetación y usos del territorio. La geomorfología granítica ejerce un control sobre la disponibilidad de agua y la biodiversidad. Los modelos numéricos muestran que la evolución del relieve es un factor fundamental para entender el ciclo del agua en este tipo de paisajes. Además, la historia de usos del territorio (tradicionales, industriales o de segunda residencia) muestra una profunda

http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECMAD08_001.pdf

dependencia de los aspectos geomórficos. El modelo suministra un buen ejemplo del importante papel de la Geodiversidad en la conservación de la Biodiversidad.

2. Procesos geomórficos básicos en paisajes graníticos: regolito y frente de alteración

Los relieves más comunes en las regiones graníticas son la alternancia de afloramientos de roca fresca, con domos, bloques y bolos, entre restos de regolito con suelos más o menos evolucionados. Los detalles de los afloramientos graníticos han sido estudiados y explicados en varios trabajos, y es comúnmente aceptado que la mayor parte de los relieves deriva de un proceso de grabado por alteración superficial.

La alteración diferencial es el principal proceso en la evolución de los relieves graníticos, alteración producida por agentes atmosféricos, la hidrosfera y la biosfera. La heterogeneidad que da lugar a la alteración diferencial es casi siempre la densidad de fracturación que, en su variabilidad, da lugar a diferencias en la exposición a los agentes de alteración (figura 1).

Superficies grabadas en granito

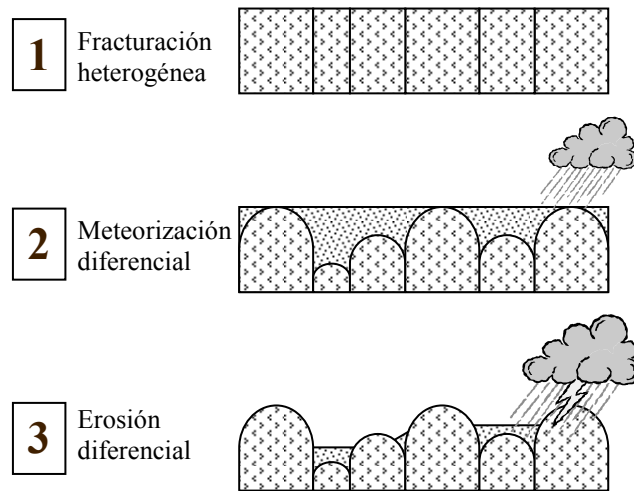


Figura 1. Superficies grabadas: El proceso de grabado en superficies graníticas en sus tres etapas fundamentales.

Una propiedad interesante de las rocas graníticas (y otras rocas granulares) es que el contacto entre la roca fresca y la roca alterada es a menudo una superficie neta, llamada frente de alteración. La alteración diferencial y el carácter neto del frente de alteración

se combinan con los procesos erosivos, que remueven el regolito y exponen el frente de alteración. El resultado es el relieve de afloramientos y regolito que predomina en casi todas las regiones graníticas del mundo. Las posibles combinaciones de alteración, erosión y formas residuales dan lugar a una gran variedad de rugosidad del relieve y heterogeneidad del medio físico (figuras 2 y 3).

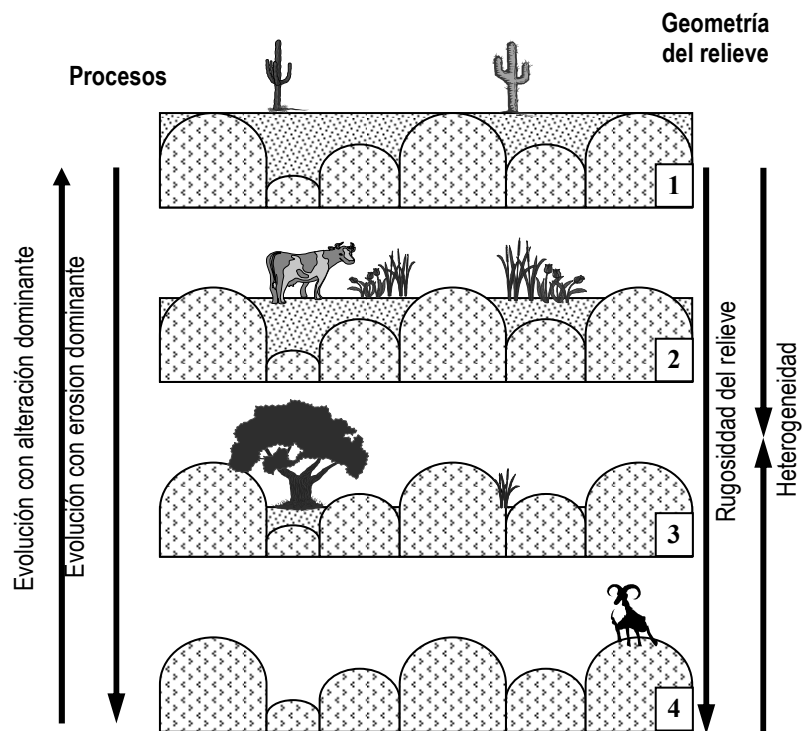


Figura 2. Superficies grabadas, grados de exposición del frente de alteración, suelos, Geodiversidad y Biodiversidad.

Un examen más cuidadoso revela el predominio de algunas formas de relieve: domos (bornhardts), bloques y bolos son las formas más frecuentes en los afloramientos, a la vez que las superficies planas y lagunas son las más frecuentes en las zonas ocupadas por el regolito (figura 4). Además, los afloramientos muestran microformas como pilas, taffoni, acanaladuras, pendientes invertidas o abrigos. Estas formas se dan en todas las condiciones climáticas (salvo en ambientes glaciales) aunque la abundancia relativa y distribución de micro-, meso- y macro-formas puede estar controlada por las condiciones ambientales (ver por ejemplo Domínguez Villar, 2007).

6. Juan de Dios Centeno y Manuel García.



Figura 3. A. Relieves residuales formados por alteración y erosión diferencial. Dartmoor moor (Reino Unido). B. Sección de un manto de alteración que deja bloques frescos en el seno de la alterita. Sierra de Guadarrama (España)

Los detalles sobre la formación de superficies grabadas han sido estudiados por bastantes autores. Los trabajos de Thomas (1974), Twidale (1982), Vidal and Twidale (1998), Centeno (1987) o Domínguez Villar (2007) suministran un marco conceptual suficiente para este trabajo. El trabajo sobre la Pedriza de Manzanares de Pedraza *et al.* (1989) contiene ilustraciones adecuadas en el centro de la Península Ibérica. La figura 4 es un esquema de los relieves de las superficies del piedemonte del Sistema Central Español. Se trata de un conjunto de superficies grabadas, principalmente desarrolladas sobre rocas graníticas y metamórficas. Sin embargo, la falta de un frente de alteración neto hace más difícil reconocer una superficie grabada en otras rocas, como gneises, esquistos o pizarras.

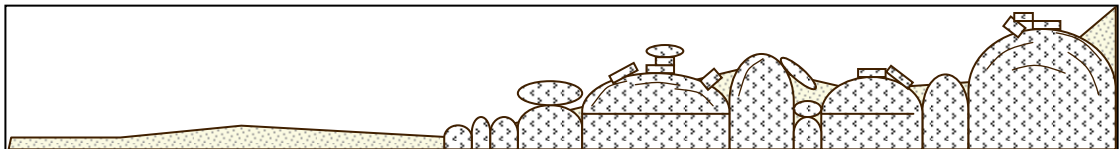


Figura 4. Formas graníticas básicas en el piedemonte grabado de la sierra de Guadarrama: planicies sobre regolito, domos, bloques y bolos.

La alteración diferencial puede progresar varios metros bajo la superficie, bajo el regolito o el manto de alteración. De esta forma, una superficie suave y bastante plana puede esconder un frente de alteración de alta rugosidad. Sin embargo, los procesos erosivos pueden exponer ese frente de alteración transformando el paisaje originalmente plano en un relieve irregular y rugoso. La erosión produce así dos formas de irregularidad: geometría o rugosidad de la superficie y diversidad geológica de la superficie.

Conforme la exposición del frente de alteración avanza, se produce un aumento de rugosidad. En la mayoría de los casos, los paisajes se harán más irregulares, controlados por la alteración diferencial y la estructura, concretamente por la distribución de la densidad de fracturas. Incluso en el caso poco frecuente de una erosión completa del regolito, la alteración progresará más tiempo en las depresiones, donde el agua se acumula y la rugosidad será raramente eliminada por procesos erosivos.

Se pueden encontrar varias clasificaciones de las formas. La siguiente es una clasificación tentativa y sencilla, esencialmente para mostrar el enorme abanico de posibilidades:

- Superficies sobre granito fresco.
- Domos o bornharts, con diaclasado en capas y curvo.
- Crestones, con diaclasado vertical dominante.
- Bloques limitados por fracturas.
- Bolos, que han sufrido alteración tendiendo a aumentar su esfericidad.
- Microformas como pitting, pilas, acanaladuras o taffoni.
- Superficies sobre regolito.
- Superficies con suelos profundos y bien desarrollados.
- Superficies con suelos recientemente erosionados.
- Superficies de zonas deprimidas cubiertas con sedimentos procedentes de las zonas erosionadas del regolito.

El paisaje a escala local depende del balance de alteración y transporte: un periodo de predominio de la alteración crea una planicie de alteración (como en la fase 1 de la figura 2); un periodo de erosión dominante construye un paisaje rocoso y estructural (como en la fase 4 de la figura 2). Sin embargo, en estadios intermedios o largos periodos de alternancia entre erosión y alteración dominante, se produce un paisaje heterogéneo, una superficie grabada semiexpuesta, que puede considerarse una forma de Geodiversidad.

En este tipo de situación, el dominio de fracturas verticales da lugar a crestones con pocos restos de regolito que consiste esencialmente en laderas cubiertas por pedreras y canchales. En estos relieves la escorrentía desde los afloramientos y el flujo dentro de los canchales son muy rápidos, lo que en conjunto no favorece el almacenamiento de agua subterránea en el escaso regolito (figura 5).

8. Juan de Dios Centeno y Manuel García.



Figura 5. Crestones y diaclasado vertical en Las Torres de la Pedriza de Manzanares (Sierra de Guadarrama). Foto: Carlos García Royo. Reproducida con permiso del autor.

En los mismos relieves semiexpuestos, cuando predominan los domos y patrones de fractura más complejos, se encuentra frecuentes porciones de regolito en las depresiones que quedan entre los afloramientos. Como la escorrentía de los afloramientos complejos y el flujo en regolitos de grano más fino (generados más por alteración que por transporte) es más lento, estas condiciones favorecen el almacenamiento de agua subterránea. Un ejemplo interesante es el de la fuente del Yelmo (figura 6) situada al pie de la Peña del Yelmo (Pedriza de Manzanares, Sierra de Guadarrama) que mana de un regolito que recibe toda la escorrentía de los afloramientos que le rodean.

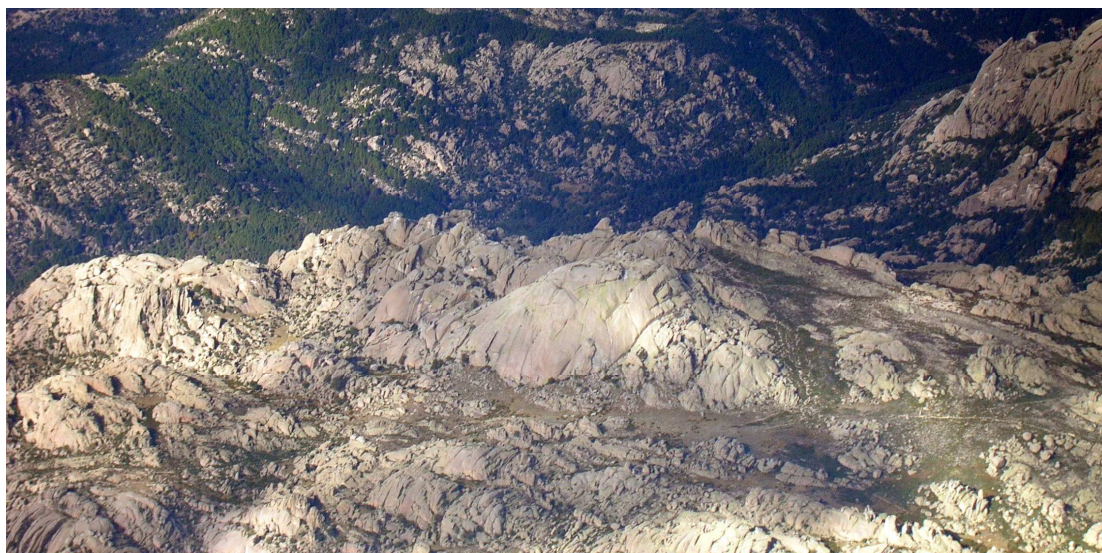


Figura 6. Domos y patrones de fracturación en capas en la Peña del Yelmo de la Pedriza de Manzanares (Sierra de Guadarrama). Foto: Carlos García Royo. Reproducida con permiso del autor.

En cualquier sitio, un aumento de Geodiversidad favorece la Biodiversidad local. La variedad de relieves, las barreras geográficas y la variedad de suelos tienen un efecto evidente sobre la Biodiversidad. A esta tendencia/relación general se suma, en el caso de los paisajes graníticos, una estrecha relación entre relieve y disponibilidad de agua a través del balance hídrico local, ya que cada porción de territorio ocupada por regolito actúa como un pequeño acuífero libre en medio poroso entre afloramientos impermeables. En estas zonas de regolito con disponibilidad de agua es donde mayor biodiversidad encontramos.

3. Balance hídrico en paisajes graníticos: modelo conceptual

En un relieve como el descrito más arriba, el tamaño de las porciones de territorio ocupadas por regolito puede estar entre algunos centímetros cuadrados y varios kilómetros cuadrados. Además, puede haber varios grados de conexión entre parcelas, desde el aislamiento absoluto hasta la conexión subterránea mediante fracturas, la conexión superficial mediante estrechos corredores entre afloramientos y la conexión superficial mediante la red de drenaje.

10. Juan de Dios Centeno y Manuel García.

Localmente, la permeabilidad del granito fresco es nula. Incluso a nivel regional y con un macizo fracturado, la permeabilidad del granito es siempre mucho menor que la del granito alterado (grus, arena, etc.) o el regolito. La tabla 1 muestra los rangos normales de la permeabilidad de estos materiales. Por esta razón, cada unidad de regolito puede considerarse como un acuífero libre (a veces en miniatura) con el frente de alteración que actúa como base impermeable.

<i>Materiales</i>	<i>K (m/día) (1)</i>	<i>K (cm/s) (2)</i>
Granitos	0,0003-0,03	$10^{-11} - 10^{-2}$
Granito fracturado	1-10	
Granito alterado, grus, arena	0,001-1	$10^{-5} - 10^{-1}$
Regolito granítico (Granito alterado más suelo y coluvial)	0,001-0,1	

Tabla 1. Permeabilidad (K): valores comunes en granitos y sus productos de alteración. Adaptado de (1) Brassington (1988) y (2) Fitts (2002).

En un paisaje como los de la figura 3, la infiltración en los afloramientos de granito es casi inexistente y, después de la precipitación, la escorrentía hacia el regolito adyacente alcanza valores altos y tiene tiempos de respuesta bastante cortos.

Por todo ello, el balance hídrico en los suelos y acuíferos depende en gran medida de la cantidad y clase de los afloramientos de roca fresca; muy especialmente de la proporción de territorio ocupada por afloramientos y regolito.

La figura 7 representa un modelo detallado del ciclo hidrológico en estas condiciones. Evidentemente, se trata de una simplificación, pero muestra algunos aspectos interesantes:

- En una cuenca de drenaje, la entrada total de agua en las parcelas de regolito (o en el acuífero) está en relación directa con la proporción de superficie ocupada por los afloramientos de roca fresca, al menos si se asumen tasas muy bajas de evapotranspiración e infiltración en los afloramientos. En consecuencia, la mayor parte de la precipitación se convierte en escorrentía hacia el acuífero. Así, las zonas de regolito pueden recibir varias veces el volumen de agua que correspondería a la precipitación local.

- A esto se añade un reparto heterogéneo del agua en el regolito; sobre todo, como consecuencia de variables como la distribución y geometría de los afloramientos.

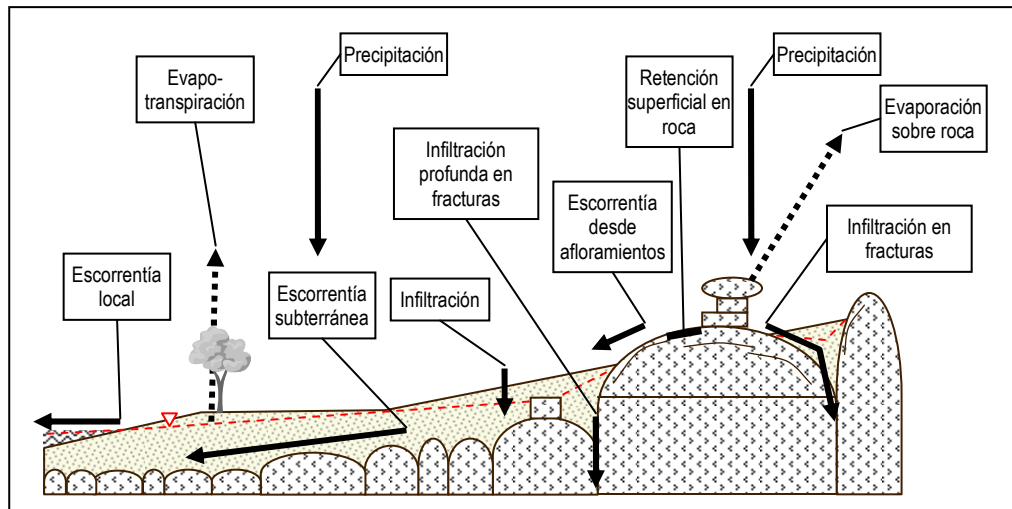


Figure 7. Esquema del balance hidrológico en paisajes graníticos.

Sobre la base de estas ideas podemos proponer un modelo cuantitativo del balance hídrico con el que trabajar sobre casos reales.

4. Modelo cuantitativo del balance hídrico

El balance hídrico consiste en analizar, cuantificando en la medida de lo posible, qué cantidad de agua se infiltra y cuanta se queda retenida en los niveles más superficiales o bien se evapora. Este tipo de balances tienen especial utilidad para determinar la recarga de acuíferos y permanencia del agua en el suelo.

Basado en el balance hídrico del suelo convencional, tal como el método de Thornthwaite, en este trabajo se introducen algunas variaciones que tienen en cuenta cómo influye la superficie de regolito o afloramiento que tengamos. Para ello, ha sido necesario definir nuevos términos en la ficha del balance hídrico.

Para su aplicación, se debe contar con los datos de precipitación y evapotranspiración potencial acumulados del intervalo de tiempo considerado, así como la capacidad de

12. Juan de Dios Centeno y Manuel García.

campo del suelo y su reserva inicial de saturación al inicio del balance. A partir de estos datos se calculan: la evapotranspiración real, el exceso, la falta y la reserva real del suelo al final del intervalo de tiempo considerado (con frecuencia un mes).

En la explicación del modelo cuantitativo, la tabla 2 sirve para explicar los datos de partida del modelo, la tabla 3 explica los términos calculados que intervienen en el balance y sus resultados, y la figura 8 representa el modelo conceptual del balance.

P (L/m ² o mm)	Precipitación en el intervalo de tiempo considerado.
ETP (L/m ²)	Evapotranspiración potencial en el intervalo de tiempo considerado. Se calcula con la fórmula de Thornthwaite mediante parámetros meteorológicos de la red sinóptica (temperatura y precipitación).
Sr (m ²)	Superficie proporcional de regolito. Para conseguir homogenización en las unidades, y obtener resultados expresados directamente en litros, se ha hecho una simplificación en la que toda la superficie (regolito y afloramiento) se asimila a un metro cuadrado. Se calcula haciendo una sencilla proporcionalidad, quedando expresado en m ² . Este valor será siempre inferior a la unidad.
Sa (m ²)	Superficie proporcional de afloramiento. Como Sr. Igualmente se expresa en m ² . y es siempre inferior a la unidad.
Er (m)	Espesor del regolito (Er). Es el espesor o profundidad de la zona alterada o regolito (en metros).
me (adimensional)	Porosidad eficaz del regolito (me). Parámetro adimensional determinado experimentalmente. Se ha considerado para todo el modelo un valor constante de 0,02.
Car (L) = Sr*Er*me*1000	Capacidad máxima de almacenamiento del regolito (Car). Se refiere al volumen de agua que puede almacenar el regolito, que va a ser función de su superficie, espesor y porosidad eficaz. Viene expresado en litros.
Rir (L)	Reserva de saturación inicial del regolito (Rir). Es el volumen de agua (en litros) disponible en el regolito en el momento anterior de iniciar el balance.
Tra (adimensional)	Tasa de retención en afloramiento (Tra). Permite determinar la cantidad de agua que puede quedar retenida en el afloramiento (adimensional). Depende mucho de la geometría del afloramiento, presencia de pilas y/o pilancones, lajamiento superficial, presencia o no de líquenes y/o musgo sobre la superficie rocosa, etc...
Tir (adimensional)	Tasa de infiltración profunda desde el regolito (Tir). Con mucha frecuencia la roca inalterada que constituye el límite inferior del regolito, presenta fracturas más o menos abiertas por las que puede infiltrarse agua subterránea hacia zonas profundas, recargando acuíferos con las particularidades que presentan los acuíferos en medio fracturado. La tasa propuesta es adimensional y da una idea de las pérdidas por infiltración según la abundancia y tipo de fracturas presentes bajo el regolito.

Tabla 2. Datos de partida para la elaboración del modelo cuantitativo.

Balance hídrico de las superficies grabadas en rocas graníticas. Un modelo geomorfológico e hidrogeológico con implicaciones ambientales. 13

ENTRADAS AL AFLORAMIENTO	$Pa (L) = P * Sa$	Precipitación en afloramiento (Pa). Se refiere al volumen de precipitación directa sobre el afloramiento rocoso. $Pa = P * Sa$ y se expresa en litros.
SALIDAS DEL AFLORAMIENTO	$ETRa (L) = Sa * ETP * Tra$	Evapotranspiración real en el afloramiento (ETRa). Son las pérdidas por evaporación desde el afloramiento (en litros). Se determina como el producto $ETRa = Sa * ETP * Tra$
	$Ra (L) = Sa * Tra * P$	Retención en el afloramiento (Ra). El volumen (en litros) de agua retenida en el afloramiento. Se determina como el producto $Ra = Sa * Tra * P$.
	$Ea (L) = Pa - Ra - ETRa$	Escorrentía del afloramiento (Ea). Es el volumen de agua que escurre desde el afloramiento hacia el regolito (en litros). Se determina como $Ea = Pa - Ra - ETRa$
ENTRADAS AL REGOLITO	$Pr (L) = P * Sr$	Precipitación directa en el regolito (Pr). Se refiere al volumen de precipitación directa sobre el regolito. $Pr = P * Sa$ y se expresa en litros.
	$Ea (L) = Pa - Ra - ETRa$	Escorrentía desde el afloramiento (Ea). Volumen de agua procedente del afloramiento por escorrentía (en litros).
	$\Sigma IN REG$	Sumatorio de entradas
SALIDAS DEL REGOLITO	$ETPr (L)$	Evapotranspiración potencial en el regolito (ETPr). Es la ETP empleada como dato inicial, multiplicada por la superficie de regolito. Como la superficie sobre la que aplicamos el balance se ha asimilado a 1 m ² , las unidades de la ETPr vienen expresadas directamente en litros.
	$ETRr (L)$	Evapotranspiración real en el regolito (ETR). Volumen de agua que se pierde desde el regolito (en litros). Coincidirá con al ETPr, siempre y cuando haya agua disponible en el suelo.
	$lpr (L) = Car * Tir$	Infiltración profunda (lpr). Es la cantidad de agua (en litros) que se pierde por infiltración a favor de fracturas hacia niveles más profundos. Se ha definido como el producto de la capacidad de almacenamiento del regolito y de la tasa de infiltración del regolito; $lpr = Car * Tir$
	$\Sigma OUT REG$	Sumatorio de pérdidas
BALANCE	$Rp (L)$	Reserva potencial = Reserva inicial + Entradas regolito - Pérdidas regolito
	$Rr (L)$	Reserva Real de agua en el regolito al finalizar el mes = $Ep - EX$
	$EX (L)$	Exceso o escorrentía

Tabla 3. Términos o variables calculadas en la aplicación del modelo.

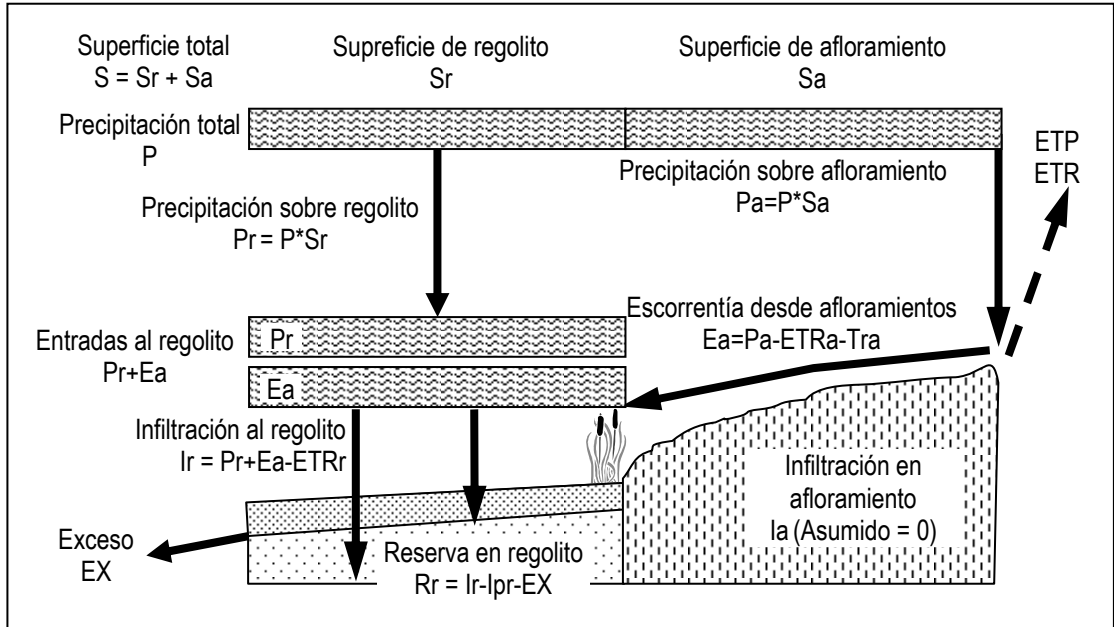


Figure 8. La influencia de los afloramientos en el balance de agua del regolito. Entre paréntesis aparecen valores asumidos para este ejemplo. S=Superficie, P=Precipitación, ETP or ETR=Evapotranspiración, EX=Exceso, E=escorrentía, I=Infiltración, R=Reserva, r=regolito, a=afloramiento.

Para poner en práctica la idea de balance que se propone, se han considerado varios escenarios a partir de la combinación de las siguientes variables:

- Espesor medio de regolito.
- Proporción de superficie ocupada por regolito y afloramiento.
- Distribución mensual de la precipitación.

La tabla 4 muestra la combinación de estas variables, con los escenarios resultantes y la nomenclatura que se usa en el resto de este trabajo. Entre las muchas combinaciones posibles entre estas variables, hemos elegido unas pocas que nos permitan analizar las variables más relevantes: en total se definen ocho escenarios, que en dicha tabla aparecen con fondo gris.

Espesor medio de regolito (m)	Proporción de superficie ocupada por regolito y afloramiento (m ²)		Distribución mensual de la precipitación	
	Regolito	Afloramiento	Constante	Real
2	0,1	0,9	A. 2m-0,1r/0,9a-cte	C. 2m-0,1r/0,9a-real
	0,9	0,1	B. 2m-0,9r/0,1a-cte	D. 2m-0,9r/0,1a-real
10	0,1	0,9	E. 10m-0,1r/0,9a-cte	G. 10m-0,1r/0,9a-real
	0,9	0,1	F. 10m-0,9r/0,1a-cte	H. 10m-0,9r/0,1a-real

Tabla 4. Escenarios de simulación.

Respecto al espesor de regolito se han manejado valores de 2 m y 10 m. El primero es un valor frecuente en los regolitos de las superficies grabadas graníticas semi-expuestas. El segundo es un valor también frecuente cuando el regolito se engrosa con formaciones superficiales más allá de la alteración.

La superficie de regolito y afloramiento se ha expresado como porción de una superficie de 1 m². Esta pequeña simplificación facilita enormemente todo el proceso de cálculo posterior.

Respecto a la proporción superficial del regolito y afloramiento, se han considerado dos casos extremos:

- 0,1 m² de regolito y 0,9 m² de afloramiento.
- 0,9 m² de regolito y 0,1 m² de afloramiento.

Dado que este trabajo parte de observaciones reales en el campo, en la sierra de Guadarrama, los datos meteorológicos de precipitación y evapotranspiración potencial empleados corresponden a la estación de Collado Villalba (Almarza, 1984), estación bastante representativa de la región que inspiró este trabajo.

En el supuesto de precipitación mensual constante, se ha considerado un valor de 50 mm para cada mes, cantidad que resulta de repartir la precipitación media anual de la estación de Villalba en los doce meses del año. El balance realizado con precipitación

uniformemente distribuida se realizó para reducir el número de variables a interpretar y poder estudiar con más detalle el efecto del relieve sobre el balance hídrico.

5. Interpretación del balance hídrico

En las figuras 9 y 10 se representan los balances hídricos de los ocho escenarios supuestos, para un regolito de 2 m y 10 m de espesor respectivamente. En el anexo 1, se incluyen las tablas con la reproducción de la hoja de cálculo (elaborada con el programa Excell 2003) para cada supuesto.

5.1. Balance hídrico con regolito de 2 m de espesor

Con una precipitación uniformemente distribuida y un espesor de regolito de 2 m (figura 9A y 9B), el balance muestra claramente el efecto de la proporción de territorio ocupada por afloramiento o regolito. Una alta proporción de afloramiento aumenta la escorrentía y reduce la reserva durante la mayor parte del año. Al contrario, una mayor proporción de regolito hace que la precipitación se almacene en el regolito y que sólo en los meses de menor evapotranspiración se produzca escorrentía.

Con un regolito de tan poco espesor (pero tan frecuente en superficies grabadas) la extensión de regolito limita la capacidad de almacenamiento y la extensión de afloramientos determina en gran medida las entradas.

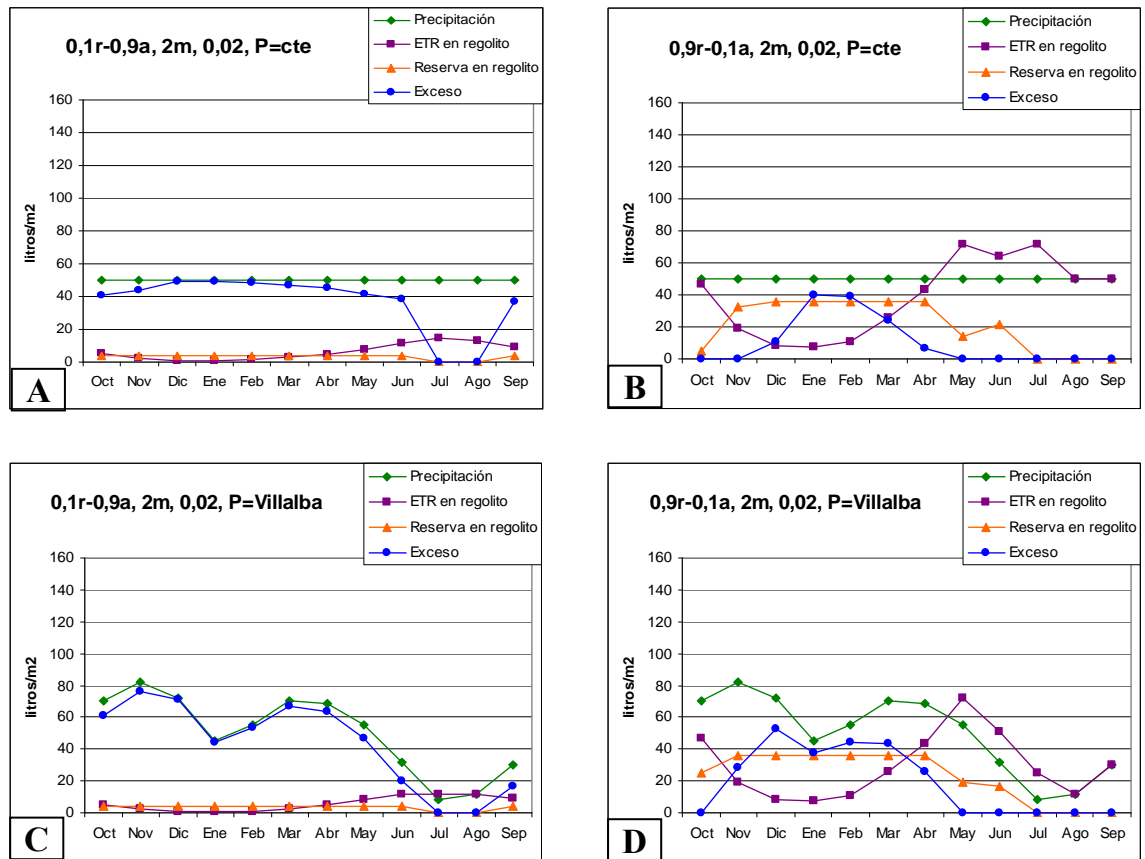


Figura 9. Balance hídrico en distintos escenarios con regolito de 2 m de espesor y porosidad eficaz de 0,02.

- A. Proporción regolito/afloramiento=0,1/0,9 y precipitación constante.
- B. Proporción regolito/afloramiento=0,9/0,1 y precipitación constante.
- C. Proporción regolito/afloramiento=0,1/0,9 y precipitación real (estación de Villalba).
- D. Proporción regolito/afloramiento=0,9/0,1 y precipitación real (estación de Villalba).

Cuando introducimos los datos de precipitación real (figuras 9C y 9D), la evolución anual de las reservas apenas cambia pues, como se indicaba, el volumen de regolito es un factor limitante, pero la escorrentía se hace tanto más paralela a la precipitación cuanto mayor es la proporción de regolito.

5.2. Balance hídrico con regolito de 10 m de espesor

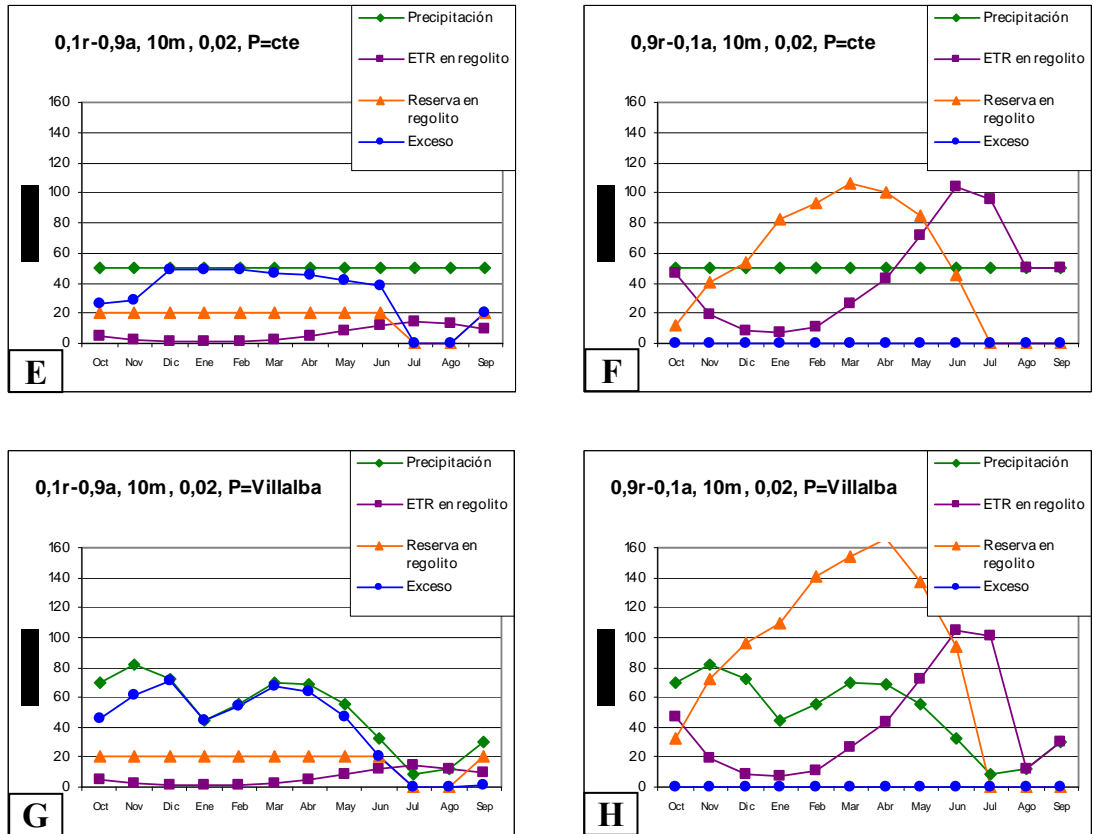


Figura 10. Balance hídrico en distintos escenarios con regolito de 10 m de espesor y porosidad eficaz de 0,02.

- E. Proporción regolito/afloramiento=0,1/0,9 y precipitación constante.
- F. Proporción regolito/afloramiento=0,9/0,1 y precipitación constante.
- G. Proporción regolito/afloramiento=0,1/0,9 y precipitación real (estación de Villalba).
- H. Proporción regolito/afloramiento=0,9/0,1 y precipitación real (estación de Villalba).

Con una precipitación uniformemente distribuida y un espesor de regolito de 10 m (figura 10E y 10F), el balance refleja también el efecto de la proporción de territorio ocupada por afloramiento o regolito. Con alta proporción de afloramiento (10E), la situación es parecida a la del regolito de 2 m, pero aumenta notablemente la reserva en casi todos los meses salvo en los de verano. Con mayor proporción de regolito (10F) la alta capacidad de almacenamiento permite un notable incremento de la reserva.

Comparando 10E y 10F, se observa que una alta proporción de regolito facilita el almacenamiento y, por tanto, la gestión como acuífero de las reservas locales. En cambio, con poco regolito la escorrentía superficial es casi constante salvo en los meses de mayor evapotranspiración que dificulta la gestión local.

Conviene aclarar que el modelo numérico no contempla el hecho de que la evaporación disminuye cuando las reservas de agua están muy profundas. Este hecho es importante porque, en realidad, la evaporación no alcanza más allá de los dos metros de profundidad y, por tanto, las reservas apenas se agotarán en los escenarios de la figura 10.

Un regolito de este espesor no es demasiado frecuente en superficies las superficies grabadas de la Península Ibérica, pero sí se dan ocasionalmente.

Cuando introducimos los datos de precipitación real (figuras 10G y 10H), la evolución anual de las reservas mantiene la misma tendencia que la que se da con precipitación constante, aunque adaptándose a las oscilaciones de precipitación.

6. Conclusiones: relieve, balance hídrico, medio natural y usos del territorio

Los relieves graníticos influyen en los ecosistemas en dos formas principales:

- Dan lugar a una disponibilidad local del agua distinta de la regional. Dependiendo de la proporción regolito/afloramiento, el espesor de regolito y relieve, la disponibilidad de agua para zonas de iguales condiciones climáticas puede ser muy variable.
- Dan lugar a una topografía muy diversa que permite más biodiversidad que otros relieves más homogéneos. La diversidad de relieve suministra espacio para los habitantes de las praderas de gramíneas o de los afloramientos.

La disponibilidad de agua deriva de un modelo de redistribución de agua entre los afloramientos (con baja infiltración) y el regolito (con mayor capacidad de almacenamiento). Distintas combinaciones de relieves dan lugar a diferentes condiciones para el almacenamiento de agua subterránea y el balance hídrico. Los modelos que se presentan en este trabajo muestran las diferencias que puede introducir el relieve.

Como el agua es un factor limitante para los ecosistemas en medios semiáridos, en algunas zonas, la proporción de superficie ocupada por afloramiento o regolito puede ser un factor determinante en el balance hídrico y la Biodiversidad.

Hay buenos ejemplos del aprovechamiento de estas circunstancias en la gestión del agua en medios áridos o semiáridos. Los granjeros de la península de Eyre (Australia del Sur) recogen la escorrentía de los afloramientos graníticos para evitar su infiltración en el regolito y la almacenan en aljibes excavados (figura 11). Más aún, en tiempos del rey Salomón (unos 3000 años antes de nuestra era) los habitantes del desierto del Negev cultivaban los fondos de valle recogiendo agua en las laderas rocosas y almacenándola en aljibes subterráneos (Issar, 1990).

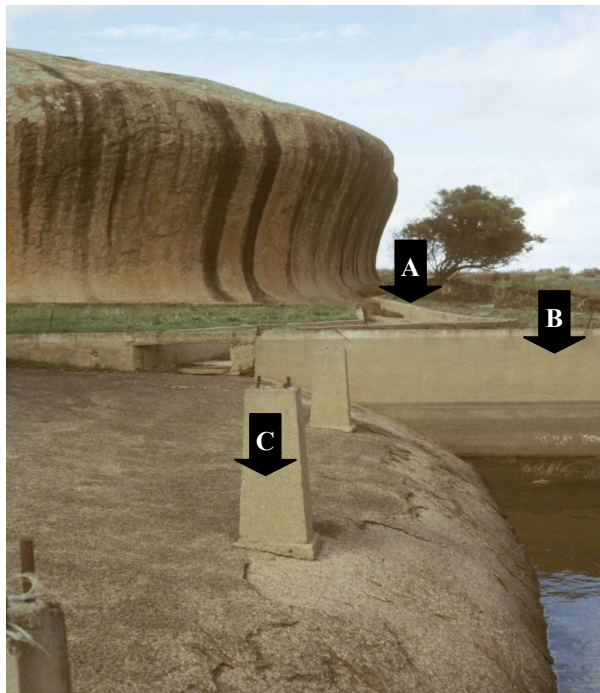


Figura 11. Captación de la escorrentía de los afloramientos graníticos y almacenamiento en balsas excavadas. Yarwondutta Rock (Península de Eyre, Australia del Sur). A. Canal de captación. B. Dique de la balsa excavada. C. Pilar para soportar planchas de protección frente a la evaporación.

Este artículo es una primera aproximación a la cuantificación del balance hídrico en este tipo de relieves. Para ello se ha trabajado con varias combinaciones de unas pocas

variables (proporción de superficie afloramiento-regolito, profundidad de regolito y patrón de precipitación), conscientes de que quedan otras por explorar.

Por ejemplo, será interesante explorar los cambios de evapotranspiración dependiendo de las variaciones de la profundidad de regolito, los efectos de la pendiente en el regolito, la geometría de los afloramientos y el tipo de vegetación en regolito y afloramientos.

Las relaciones entre Geomorfología, Hidrogeología y Biodiversidad en regiones graníticas han sido poco exploradas y este trabajo muestra que hay conexiones que pueden arrojar resultados interesantes.

7. Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a D. Carlos García Royo, geólogo y piloto comercial, por habernos permitido reproducir las fotografías aéreas oblicuas de las figuras 5 y 6, que ilustran perfectamente algunas de nuestras ideas.

8. Bibliografía

- ALMARZA, C. (1984). *Fichas hídricas normalizadas y otros parámetros hidrometeorológicos*. Servicio de Publicaciones del Instituto Nacional de Meteorología.
- CENTENO, J.D. (1988). Morfología granítica de un sector del Guadarrama Occidental. Editorial Complutense. Colección Tesis Doctorales nº262/88.
- DOMÍNGUEZ VILLAR, D. (2007). Análisis morfométrico de pilancones: consideraciones, genéticas, evolutivas y paleoambientales. Tesis Doctoral. Servicio de Publicaciones de la Universidad Complutense de Madrid. 319 pp.
- ISSAR, A. (1990). Water Shall Flow from the Rock. Hydrogeology and Climate in the Lands of the Bible. Springer-Verlag, 213 pp.
- KRUECKEBERG, A.R. (2002). Geology and Plant Life. The effects of Landforms and Rock Types on Plants. University of Washington Press. Seattle and London. 362 pp.
- PEDRAZA, J., SANZ, M.A. Y MARTÍN, A.. (1989). Formas graníticas de la Pedriza. Agencia de Medio Ambiente. Comunidad de Madrid. 205 pp.

22. Juan de Dios Centeno y Manuel García.

- THOMAS, M.F. (1974). Tropical Geomorphology. McMillan Press Ltd. Focal Problems in Geography, London, 322 pp.
- TWIDALE, C.R. (1982). Granite Landforms. Elsevier Scientific Publishing Company, 372 pp.
- VIDAL, J.R. Y TWIDALE, C.R. (1998). Formas y paisajes graníticos. Universidad de la Coruña. Servicio de Publicacións.

Anexo. Balances hídricos de los escenarios simulados.

Para entender las tablas, conviene consultar la tabla 2 del texto principal.

Otras abreviaturas de este anexo:

IN AFL = Entradas al Afloramiento.

OUT AFL = Salidas del Afloramiento.

IN REG = Entradas al Regolito.

OUT REG = Salidas del Regolito.

Tabla A1. Balance hídrico del Escenario 2m-0,1r/0,9a-cte														
Mes		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
DATOS	$P (L/m^2 \text{ o } mm)$	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	$ETP (L/m^2)$	52	21	9	8	12	29	48	80	116	148	134	91	
	$Sr (m^2)$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
	$Sa (m^2)$	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	
	$Er (m)$	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	me (adimensional)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	$Car (L) = Sr*Er*me*1000$	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
	$Rir (L)$	0,2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0	
	Tra (adimensional)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
	Tir (adimensional)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
IN AFL	$Pa (L) = P*Sa$	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	
OUT AFL	$ETRa (L) = Sa*ETP*Tra$	0,0468	0,0189	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	
	$Ra (L) = Sa*Tra*P$	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	
	$Ea (L) = Pa-Ra-ETRa$	44,9082	44,9361	44,91	44,91	44,91	44,91	44,91	44,91	44,91	44,91	44,91	44,955	
IN REG	$Pr (L) = P*Sr$	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
	$Ea (L) = Pa-Ra-ETRa$	44,9082	44,9361	44,91	44,91	44,91	44,91	44,91	44,91	44,91	44,91	44,91	44,955	
	Σ IN REG	49,9082	49,9361	49,91	49,91	49,91	49,91	49,91	49,91	49,91	49,91	49,91	49,955	
OUT REG	$ETPr (L)$	5,2	2,1	0,9	0,8	1,2	2,9	4,8	8	11,6	14,8	13,4	9,1	
	$ETRr (L)$	5,2	2,1	0,9	0,8	1,2	2,9	4,8	8	11,6	14,8	13,4	9,1	
	$Ipr (L) = Car * Tir$	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	
	Σ OUT REG	5,202	2,102	0,902	0,802	1,202	2,902	4,802	8,002	11,602	14,802	13,402	9,102	
BALANCE	Reserva Potencial	44,9062	48,0341	53,008	53,108	52,708	51,008	49,108	45,908	42,308	0	0	40,853	
	Reserva Real (Rr)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0	4	
	Exceso (escorrentía)	40,9062	44,0341	49,008	49,108	48,708	47,008	45,108	41,908	38,308	0	0	36,853	

Tabla A2. Balance hídrico del Escenario 2m-0,9r/0,1a-cte														
Mes		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
DATOS	$P (L/m^2 \text{ o } mm)$	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
	$ETP (L/m^2)$	52	21	9	8	12	29	48	80	116	148	134	91	
	$Sr (m^2)$	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	
	$Sa (m^2)$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
	$Er (m)$	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	me (adimensional)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	$Car (L) = Sr*Er*me*1000$	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	
	$Rir (L)$	1,8	4,9718	32,8749	36	36	36	36	36	36	13,972	22,01	0	0
	Tra (adimensional)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
	Tir (adimensional)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
IN AFL	$Pa (L) = P*Sa$	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
OUT AFL	$ETRa (L) = Sa*ETP*Tra$	0,0052	0,0021	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	
	$Ra (L) = Sa*Tra*P$	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	
	$Ea (L) = Pa-Ra-ETRa$	4,9898	4,9929	4,99	4,99	4,99	4,99	4,99	4,99	4,99	4,99	4,99	4,995	
IN REG	$Pr (L) = P*Sr$	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	
	$Ea (L) = Pa-Ra-ETRa$	4,9898	4,9929	4,99	4,99	4,99	4,99	4,99	4,99	4,99	4,99	4,99	4,995	
	Σ IN REG	49,9898	49,9929	49,99	49,99	49,99	49,99	49,99	49,99	49,99	49,99	49,99	49,995	
OUT REG	$ETPr (L)$	46,8	18,9	8,1	7,2	10,8	26,1	43,2	72	104,4	133,2	120,6	81,9	
	$ETRr (L)$	46,8	18,9	8,1	7,2	10,8	26,1	43,2	72	104,4	133,2	120,6	81,9	
	$Ipr (L) = Car * Tir$	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	
	Σ OUT REG	46,818	18,918	8,118	7,218	10,818	26,118	43,218	72,018	104,418	133,218	120,618	81,918	
BALANCE	Reserva Potencial	4,9718	32,8749	46,8438	75,647	75,172	59,872	42,772	13,972	22,01	0	0	-0,018	
	Reserva Real (Rr)	4,9718	32,8749	36	36	36	36	36	13,972	22,01	0	0	-0,018	
	Exceso (escorrentía)	0	0	10,8438	39,647	39,172	23,872	6,772	0	0	0	0	0	

Tabla A3. Balance hídrico del Escenario 2m-0,1r/0,9a-Real														
Mes		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
DATOS	$P (L/m^2 \text{ o } mm)$	70	82	72	45	55	70	69	55	32	8	12	30	
	$ETP (L/m^2)$	52	21	9	8	12	29	48	80	116	148	134	91	
	$Sr (m^2)$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
	$Sa (m^2)$	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	
	$Er (m)$	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	me (adimensional)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	$Car (L) = Sr*Er*me*1000$	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	$Rir (L)$	0,2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0
	Tra (adimensional)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
	Tir (adimensional)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
IN AFL	$Pa (L) = P*Sa$	63	73,8	64,8	40,5	49,5	63	62,1	49,5	28,8	7,2	10,8	27	
OUT AFL	$ETRa (L) = Sa*ETP*Tra$	0,0468	0,0189	0,0648	0,0405	0,0495	0,063	0,0621	0,0495	0,0288	0,0072	0,0108	0,027	
	$Ra (L) = Sa*Tra*P$	0,063	0,0738	0,0648	0,0405	0,0495		0,063	0,0621	0,0495	0,0288	0,0072	0,0108	
	$Ea (L) = Pa-Ra-ETRa$	62,8902	73,7073	64,6704	40,419	49,401	62,874	61,976	49,401	28,7424	7,1856	10,7784	26,973	
IN REG	$Pr (L) = P*Sr$	7	8,2	7,2	4,5	5,5	7	6,9	5,5	3,2	0,8	1,2	3	
	$Ea (L) = Pa-Ra-ETRa$	62,8902	73,7073	64,6704	40,419	49,401	62,874	61,976	49,401	28,7424	7,1856	10,7784	26,973	
	Σ IN REG	69,8902	81,9073	71,8704	44,919	54,901	69,874	68,876	54,901	31,9424	7,9856	11,9784	29,973	
OUT REG	$ETPr (L)$	5,2	2,1	0,9	0,8	1,2	2,9	4,8	8	11,6	14,8	13,4	9,1	
	$ETRr (L)$	5,2	2,1	0,9	0,8	1,2	2,9	4,8	8	11,6	11,986	11,9784	9,1	
	$Ipr (L) = Car * Tir$	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	
	Σ OUT REG	5,202	2,102	0,902	0,802	1,202	2,902	4,802	8,002	11,602	11,988	11,9804	9,102	
BALANCE	Reserva Potencial	64,8882	80,0053	74,9684	48,117	57,699	70,972	68,074	50,899	24,3404	0	0	20,871	
	Reserva Real (Rr)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	0	4	
	Exceso (escorrentía)	60,8882	76,0053	70,9684	44,117	53,699	66,972	64,074	46,899	20,3404	0	0	16,871	

Tabla A4. Balance hídrico del Escenario 2m-0,9r/0,1a-Real														
Mes		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
DATOS	$P (L/m^2 \text{ o } mm)$	70	82	72	45	55	70	69	55	32	8	12	30	
	$ETP (L/m^2)$	52	21	9	8	12	29	48	80	116	148	134	91	
	$Sr (m^2)$	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	
	$Sa (m^2)$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
	$Er (m)$	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
	me (adimensional)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	$Car (L) = Sr*Er*me*1000$	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
	$Rir (L)$	1,8	24,9698	36	36	36	36	36	36	36	18,971	17,011	0	0
	Tra (adimensional)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
	Tir (adimensional)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
IN AFL	$Pa (L) = P*Sa$	7	8,2	7,2	4,5	5,5	7	6,9	5,5	3,2	0,8	1,2	3	
OUT AFL	$ETRa (L) = Sa*ETP*Tra$	0,0052	0,0021	0,0072	0,0045	0,0055	0,007	0,0069	0,0055	0,0032	0,0008	0,0012	0,003	
	$Ra (L) = Sa*Tra*P$	0,007	0,0082	0,0072	0,0045	0,0055		0,007	0,0069	0,0055	0,0032	0,0008	0,0012	
	$Ea (L) = Pa-Ra-ETRa$	6,9878	8,1897	7,1856	4,491	5,489	6,986	6,8862	5,489	3,1936	0,7984	1,1976	2,997	
IN REG	$Pr (L) = P*Sr$	63	73,8	64,8	40,5	49,5	63	62,1	49,5	28,8	7,2	10,8	27	
	$Ea (L) = Pa-Ra-ETRa$	6,9878	8,1897	7,1856	4,491	5,489	6,986	6,8862	5,489	3,1936	0,7984	1,1976	2,997	
	Σ IN REG	69,9878	81,9897	71,9856	44,991	54,989	69,986	68,986	54,989	31,9936	7,9984	11,9976	29,997	
OUT REG	$ETPr (L)$	46,8	18,9	8,1	7,2	10,8	26,1	43,2	72	104,4	133,2	120,6	81,9	
	$ETRr (L)$	46,8	18,9	8,1	7,2	10,8	26,1	43,2	72	50,9646	25,009	11,9976	29,997	
	$Ipr (L) = Car * Tir$	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	
	Σ OUT REG	46,818	18,918	8,118	7,218	10,818	26,118	43,218	72,018	50,9826	25,027	12,0156	30,015	
BALANCE	Reserva Potencial	24,9698	64,8717	88,8374	73,773	80,171	79,868	61,768	18,971	17,011	0	0	-0,018	
	Reserva Real (Rr)	24,9698	36	36	36	36	36	36	18,971	17,011	0	0	-0,018	
	Exceso (escorrentía)	0	28,8717	52,8374	37,773	44,171	43,868	25,768	0	0	0	0	0	

Tabla A7. Balance hídrico del Escenario 10m-0,1r/0,9a-Real														
Mes		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
DATOS	$P (L/m^2 \text{ o } mm)$	70	82	72	45	55	70	69	55	32	8	12	30	
	$ETP (L/m^2)$	52	21	9	8	12	29	48	80	116	148	134	91	
	$Sr (m^2)$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
	$Sa (m^2)$	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	
	$Er (m)$	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
	me (adimensional)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	$Car (L) = Sr*Er*me*1000$	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	$Rir (L)$	1	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	0	0
	Tra (adimensional)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
	Tir (adimensional)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
IN AFL	$Pa (L) = P*Sa$	63	73,8	64,8	40,5	49,5	63	62,1	49,5	28,8	7,2	10,8	27	
OUT AFL	$ETRa (L) = Sa*ETP*Tra$	0,0468	0,0189	0,0648	0,0405	0,0495	0,063	0,0621	0,0495	0,0288	0,0072	0,0108	0,027	
	$Ra (L) = Sa*Tra*P$	0,063	0,0738	0,0648	0,0405	0,0495		0,063	0,0621	0,0495	0,0288	0,0072	0,0108	
	$Ea (L) = Pa-Ra-ETRa$	62,8902	73,7073	64,6704	40,419	49,401	62,874	61,976	49,401	28,7424	7,1856	10,7784	26,973	
IN REG	$Pr (L) = P*Sr$	7	8,2	7,2	4,5	5,5	7	6,9	5,5	3,2	0,8	1,2	3	
	$Ea (L) = Pa-Ra-ETRa$	62,8902	73,7073	64,6704	40,419	49,401	62,874	61,976	49,401	28,7424	7,1856	10,7784	26,973	
	Σ IN REG	69,8902	81,9073	71,8704	44,919	54,901	69,874	68,876	54,901	31,9424	7,9856	11,9784	29,973	
OUT REG	$ETPr (L)$	5,2	2,1	0,9	0,8	1,2	2,9	4,8	8	11,6	14,8	13,4	9,1	
	$ETRr (L)$	5,2	2,1	0,9	0,8	1,2	2,9	4,8	8	11,6	14,8	11,9784	9,1	
	$Ipr (L) = Car*Tir$	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	
	Σ OUT REG	5,202	2,102	0,902	0,802	1,202	2,902	4,802	8,002	11,602	14,802	11,9804	9,102	
BALANCE	Reserva Potencial	65,6882	80,8053	90,9684	64,117	73,699	86,972	84,074	66,899	40,3404	0	0	20,871	
	Reserva Real (Rr)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	0	0	20	
	Exceso (escorrentía)	45,6882	60,8053	70,9684	44,117	53,699	66,972	64,074	46,899	20,3404	0	0	0,871	

Tabla A8. Balance hídrico del Escenario 10m-0,9r/0,1a-Real														
Mes		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
DATOS	$P (L/m^2 \text{ o } mm)$	70	82	72	45	55	70	69	55	32	8	12	30	
	$ETP (L/m^2)$	52	21	9	8	12	29	48	80	116	148	134	91	
	$Sr (m^2)$	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	
	$Sa (m^2)$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
	$Er (m)$	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
	me (adimensional)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	$Car (L) = Sr*Er*me*1000$	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180	180
	$Rir (L)$	9	32,1698	72,0717	96,037	109,845	140,21	153,71	165,977	136,684	93,552	0	0	
	Tra (adimensional)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
	Tir (adimensional)	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
IN AFL	$Pa (L) = P*Sa$	7	8,2	7,2	4,5	5,5	7	6,9	5,5	3,2	0,8	1,2	3	
OUT AFL	$ETRa (L) = Sa*ETP*Tra$	0,0052	0,0021	0,0072	0,0045	0,0055	0,007	0,0069	0,0055	0,0032	0,0008	0,0012	0,003	
	$Ra (L) = Sa*Tra*P$	0,007	0,0082	0,0072	0,0045	0,0055		0,007	0,0069	0,0055	0,0032	0,0008	0,0012	
	$Ea (L) = Pa-Ra-ETRa$	6,9878	8,1897	7,1856	4,491	5,489	6,986	6,8862	5,489	3,1936	0,7984	1,1976	2,997	
IN REG	$Pr (L) = P*Sr$	63	73,8	64,8	40,5	49,5	63	62,1	49,5	28,8	7,2	10,8	27	
	$Ea (L) = Pa-Ra-ETRa$	6,9878	8,1897	7,1856	4,491	5,489	6,986	6,8862	5,489	3,1936	0,7984	1,1976	2,997	
	Σ IN REG	69,9878	81,9897	71,9856	44,991	54,989	69,986	68,986	54,989	31,9936	7,9984	11,9976	29,997	
OUT REG	$ETPr (L)$	46,8	18,9	8,1	7,2	10,8	26,1	43,2	72	104,4	133,2	120,6	81,9	
	$ETRr (L)$	46,8	18,9	8,1	7,2	10,8	26,1	43,2	72	104,4	101,55	11,9976	29,997	
	$Ipr (L) = Car*Tir$	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	
	Σ OUT REG	46,818	18,918	8,118	7,218	10,818	26,118	43,218	72,018	104,418	101,57	12,0156	30,015	
BALANCE	Reserva Potencial	32,1698	72,0717	96,0374	109,84	140,208	153,71	165,98	136,684	93,5522	0	0	-0,018	
	Reserva Real (Rr)	32,1698	72,0717	96,0374	109,84	140,208	153,71	165,98	136,684	93,5522	0	0	-0,018	
	Exceso (escorrentía)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	