



Revista de CIENCIAS AMBIENTALES Tropical Journal of Environmental Sciences



Lineamientos de ordenamiento territorial para el manejo y protección del agua subterránea en la cuenca del río BIRRÍS (Cartago)

Urban Zoning Guidelines for the Management and Protection of Underground Water of the BIRRIS River Watershed (Cartago)

Pablo Ramírez^a y Mario Arias^b

^a El autor es especialista en hidrogeología y manejo de recursos hídricos, es investigador en el Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas y en el Observatorio del Desarrollo de la Universidad de Costa Rica. Además, es profesor en la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional, Costa Rica. ^b El autor es especialista en prospección geofísica y gestión integrada del recurso hídrico, es director del Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas de la Universidad de Costa Rica y docente e investigador en la Escuela Centroame, Costa Rica.

Director y Editor:

Dr. Eduardo Mora-Castellanos

Consejo Editorial:

Enrique Lahmann, UICN, Suiza

Enrique Leff, UNAM, México

Marielos Alfaro, Universidad Nacional, Costa Rica

Olman Segura, Universidad Nacional, Costa Rica

Rodrigo Zeledón, Universidad de Costa Rica

Gerardo Budowski, Universidad para la Paz, Costa Rica

Asistente:

Rebeca Bolaños-Cerdas



Lineamientos de ordenamiento territorial para el manejo y protección del agua subterránea en la cuenca del río Birrís (Cartago)

Pablo Ramírez y Mario Arias

Pablo Ramírez, especialista en hidrogeología y manejo de recursos hídricos, es investigador en el Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas y en el Observatorio del Desarrollo de la Universidad de Costa Rica. Además, es profesor en la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional (pablo.ramirez@ucr.ac.cr). Mario Arias, especialista en prospección geofísica y gestión integrada del recurso hídrico, es director del Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas de la Universidad de Costa Rica y docente e investigador en la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica (mario.ariassalguero@ucr.ac.cr).

Resumen

La cuenca del río Birrís se ubica en la vertiente sureste del volcán Irazú, en ella existen varias unidades hidrogeológicas compuestas por materiales lávicos, laháricos y cenizas, las cuales se comportan como acuíferos y acuitardos agrupados en dos sistemas acuíferos denominados Birrís y Pacayas-Reventado. Estos sistemas acuíferos presentan conexión hidráulica efluente con los drenajes superficiales evidenciado a partir de manantiales que brotan en el contacto y en el frente de flujos de lavas que precisamente limitan su extensión. Considerando el uso de la tierra actual, la recarga de los sistemas acuíferos es de 38 000 000 m³/año. En esta cuenca, el uso actual de la tierra no coincide con la capacidad de

Abstract

The Birrís watershed is located in the southeast slope of the Irazú volcano, in it, exist several hydrogeological units composed by volcanic material, lahar flow and ash, which behave as aquifer and acuitards contained in two denominated aquifer systems Birrís and Pacayas-Reventado, which present an effluent hydraulic connection with the superficial drainages. Considering the use of the current soil, the recharge of the aquifer systems is of 38 000 000 m³/year. In this basin, the current use of the land doesn't coincide with the use capacity, this way 66% of the area is in overuse, impacting negatively to the aquifer systems, because it has happened conversion from the forest areas to shepher-

Introducción

La cuenca del río Birrís, tiene un área un poco mayor de 51 km² y se localiza en la provincia de Cartago. Presenta un relieve de fuerte pendiente y elevaciones que van desde los 800 msnm en la desembocadura del río Reventazón, hasta más de 3 400 msnm en el volcán Irazú (figura 1). Los suelos son derivados principalmente de materiales volcánicos y el uso de la tierra está dedicado en su mayor parte a las actividades agrícolas y de pastoreo. Sus aguas son aprovechadas para el riego, consumo humano, actividades agropecuarias y para la generación hidroeléctrica.

uso, de forma que el 66% del área se encuentra en sobreeso, impactando negativamente los sistemas acuíferos, pues ha ocurrido conversión de las zonas boscosas a zonas de pastoreo y cultivos anuales en los sectores aledaños a los principales manantiales. La propuesta de lineamientos para el manejo de la cuenca incluye entre otras cosas: a) un plan de reforestación en áreas con capacidad de uso forestal, áreas de recarga y de protección de cauces en toda la cuenca de manera que se pueda disminuir la tasa de erosión sin afectar las actividades productivas; b) se debe proteger las zonas de recarga de los manantiales; c) se debe establecer clases de uso del territorio como parques lineales, áreas de baja densidad, áreas protegidas, corredores bioturísticos; d) se debe cartografiar y clasificar las fuentes potenciales de contaminación; e) en general se debe promover un plan de ordenamiento de la cuenca que concilie la producción hídrica de la misma con su capacidad de uso.

Palabras clave: ordenamiento territorial, sistema acuífero, cuenca río Birrís, Costa Rica.

ding areas and annual cultivations in the sectors bordering to the main springs. The proposal of limits for the handling of the basin includes among other things: a) a reforestation plan in areas with capacity of forest use, recharge areas and of protection of beds in the whole basin; b) the areas of recharge of the springs of the basin in a such way should be protected; c) classes of use of the territory like lineal parks should be established, areas of low density, protected areas, bioturistics corridors; d) classify the potential sources of contamination and the measures of prevention; and) in general a plan of classification of the basin should be promoted that reconciles the water production of the same one with its use capacity.

Keyword: land used, aquifer system, Birrís watershed, Costa Rica.

Figura 1. Localización de la cuenca del río Birrís.



Debido a la dificultad de conocer las relaciones estratigráficas y características hidráulicas -por la inexistencia de pozos-, para la determinación de las unidades hidrogeológicas se emplearon los siguientes criterios: litología, distribución y caudal de manantiales, propiedades físicas de la roca en macroscopía y relaciones espacio-temporales de las unidades volcánicas existentes.

El modelo hidrogeológico, establece la existencia de dos sistemas acuíferos: el Birrís y el Pacayas-Reventado (Ramírez, 2007). Estos se encuentran formados por varias unidades hidrogeológicas compuestas por materiales lávicos, lahares y cenizas con propiedades hidráulicas diferentes que permiten la existencia de acuíferos y acuitardos.

Litología y afloramiento de los manantiales

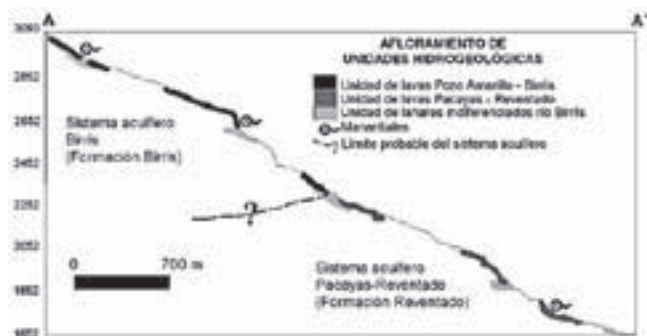
En el mapa geológico (figura 2), se observa como la distribución de los manantiales se concentran en las formaciones Birrís y Reventado miembro superior.

Figura 2. Mapa geológico, se incluyen los manantiales.



En la formación Birris el afloramiento de los manantiales se manifiesta en la unidad de lavas Pozo Amarillo-Birris, en algunos sectores se puede observar como esta unidad está subyacida por la unidad de lahares indiferenciados del río Birris (figura 3).

Figura 3. Afloramiento de unidades hidrogeológicas a lo largo del río Birris.



En el Reventado miembro superior, el brote de manantiales ocurre en la unidad de lavas Pacayas-Reventado. Estos afloramientos se observan muy distribuidos en todo el miembro su-

perior y en algunos lugares se observa la unidad de lavas sobreyaciendo a la unidad de lahares indiferenciados quebradas Pacayas-González o a la unidad de lavas meteorizadas Pacayas-Ortiga.

Una interpretación geomorfológica de la cuenca (figura 4) permite distinguir varios frentes de coladas de lava que condicionan el afloramiento del agua subterránea. Desde el nacimiento del río Birris hasta el límite del sistema acuífero del mismo nombre, la mayoría de los brotes de agua se dan entre zonas de contacto de frente de colada como entre coladas. En el caso del sistema acuífero Pacayas-Reventado este factor es más claro en el sector occidental que en el oriental. Se nota como el afloramiento de varios manantiales está relacionado tanto con el contacto entre las coladas como con los frentes de ellas. Adicionalmente, es importante anotar que el contacto de los frentes de colada en la parte norte de la cuenca, establecido a partir de las curvas de nivel, delimita las formaciones: Birris, Reventado miembro superior y Cervantes, definidas por Krushensky (1972).

Figura 4. Interpretación geomorfológica de la cuenca del río Birris en la cual se delimitan los frentes de coladas y su relación con los manantiales.



Dinámica del flujo del agua subterránea

En el sistema acuífero Birrís se reconoce una relación hidráulica de tipo efluente hacia el río Birrís en toda la zona de manantiales de Pozo Amarillo, los aforos diferenciales realizados en distintos puntos del río indican un aumento de caudal conforme el río avanza. Por su parte, en el sector E, las líneas equipotenciales no reflejan concavidad alguna excepto en la quebrada Laguna Tapada, donde se observa un ligero comportamiento influente, mismo que es reflejado en las equipotenciales. Esta característica se corrobora con el poco caudal que muestra esta quebrada durante todo el año. Con excepción del río Birrís, todos los drenajes en este sistema acuífero mantienen muy poco caudal durante la época seca, lo que indica que las descargas del sistema Birrís se dan principalmente en este río.

En el sistema acuífero Pacayas-Reventado, el modelo de flujo muestra dos zonas de conexión hidráulica efluente en: los manantiales de la confluencia Central-González y los manantiales de la quebrada Pacayas.

Lineamientos y mecanismos de ordenamiento territorial

Con el fin de determinar la relación entre la capacidad de uso de la tierra y el uso actual de ella, se procedió a realizar un análisis espacial mediante un sistema de información geográfico para crear escenarios de conflicto o sobreuso de la tierra, en cuyos sitios se deben enfocar los lineamientos y mecanismos de ordenamiento territorial aplicado al manejo de cuencas (Lucke, 1999). Los resultados de este análisis espacial por superposición de mapas se muestran en la figura 5 y en las tablas 1 y 2.

Figura 5. Sobreuso de la cuenca del río Birrís, generado a partir del análisis espacial por superposición de los mapas de capacidad de uso y uso actual de la tierra.

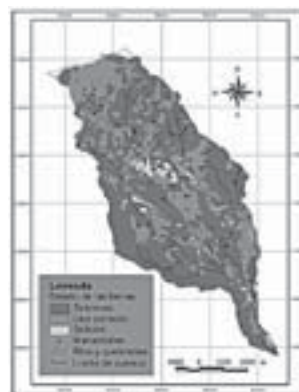


Tabla 1. Capacidad de uso de la tierra y uso actual en la cuenca del río Birrís.

Capacidad de uso	Área (km ²)	Área (%)	Uso actual	Área (km ²)	Área (%)
Conservación	15,16	29,51	Bosque	12,70	24,73
Bosque	24,35	47,40	Pastos	21,49	41,84
Cultivo	11,86	23,08	Cultivos	13,97	27,20
-			Otro	3,20	6,23
Total	51,37	100		51,37	100

Tabla 2. Sobreuso, subuso y uso correcto de la tierra en la cuenca del río Birrís.

Relación espacial capacidad versus uso	Estado de tierras	Área (km ²)	Área (%)
Conservación versus bosque	Uso correcto	7,13	13,88
Bosque versus bosque	Uso correcto	4,39	8,55
Cultivo versus cultivo	Uso correcto	4,73	9,21
Conservación versus cultivos, pastos y otros	Sobreuso	8,04	15,65
Bosque versus cultivo, pastos y otros	Sobreuso	19,95	38,84
Cultivos versus pastos y otros	Sobreuso	5,95	11,58
Cultivo versus bosque	Subuso	1,18	2,30
Total		51,37	100

Según los resultados del análisis espacial, se puede decir que el 66% de la cuenca se encuentra en sobreuso, esto es: bajo usos actuales más intensivos que aquellos correspondientes a la capacidad de uso. Este sobreuso afecta las zonas de bosque destinadas a conservación y a manejo de bosque, dándose la degradación debido a que estas zonas están siendo usadas para cultivos y pastos.

La degradación de tierras en esta cuenca tiene repercusiones en las aguas subterráneas en diversas formas. Al existir un uso de la tierra distinto al propuesto por la capacidad de uso, aumenta la tasa de erosión y, con ello, una mayor compactación del suelo y sedimentación hacia los drenajes superficiales. Debido a las características climáticas de la cuenca, con condiciones

húmedas y muy húmedas, el bosque actúa como un filtro que permite captar no solo la humedad sino también las débiles lloviznas que se dan en la cuenca, provocando una disminución de la escorrentía y, de esta manera, mayor tiempo para que se dé infiltración hacia las zonas acuíferas. Hay que destacar que el cambio de uso de la tierra con respecto al establecido por la capacidad se observa en las variaciones de las velocidades de infiltración realizadas en el campo, en usos como pastos y cultivos, lo que evidencia que el sobreuso afecta la recarga hacia los sistemas acuíferos, pues aunque existan zonas donde la infiltración es alta, existen también zonas donde el suelo está muy compactado por su sobreuso histórico.

Una vez obtenidos los datos de precipitación, evapotranspiración, infiltración, capacidad de campo, punto de marchitez, tipo de suelo, uso actual y capacidad de uso de la tierra, pendiente y tipo de vegetación, se elaboró un balance hídrico de suelos con el fin de determinar la recarga potencial por lluvia a los sistemas acuíferos, a partir del modelo analítico de Schosinsky y Losilla (2000). Por otra parte, al considerar las clases forestales, se realizaron otros balances hídricos de suelos con el fin de comparar y cuantificar la diferencia entre la recarga potencial por lluvia y el uso actual y clases forestales (Fundación Neotropical-CEAP, 1994). Así, la recarga potencial disminuyó de 38 231 538,30 m³/año (recarga potencial por lluvia) a 29 856 077,50 m³/año (recarga potencial según clases forestales).

Considerando los resultados obtenidos en el análisis de cobertura del uso actual y de capacidad de uso, así como el balance hídrico, se han establecido los siguientes lineamientos de manejo de cuenca.

Debido a la alta tasa de erosión en esta cuenca, es necesario que se aplique un plan de reforestación en áreas con capacidad de uso forestal, áreas de recarga y de protección de cauces en toda la cuenca de manera que se puedan

disminuir dichas tasas de erosión sin afectar las actividades productivas de la zona.

Se debe proteger las zonas aledañas a los manantiales de toda la cuenca, de forma que se pueda aumentar la recarga potencial a los acuíferos haciendo un adecuado manejo forestal, debido al efecto de retención que presenta el bosque ante la humedad y la precipitación, de forma tal que se pueda aumentar la disponibilidad de agua al suelo, sin aumentar la tasa de erosión y el riesgo de contaminación.

Se debe establecer espacios diferenciados por uso actual de la tierra y de esta manera determinar zonas como parques lineales, áreas de baja densidad, áreas protegidas y corredores bioturísticos, entre otros.

Debe identificarse y caracterizarse las diferentes fuentes potenciales de contaminación, de manera que se pueda establecer el impacto potencial y real a que se ven amenazados los sistemas acuíferos de la cuenca.

Debe proponerse un plan de ordenamiento de la cuenca que concilie la producción hídrica de la misma con su capacidad de uso.

Si la condición de uso actual de la tierra no cambia y se mantiene con el tiempo, el escenario más probable que puede ocurrir en la cuenca es una mayor condición de sobreuso de la tierra, misma que aumentará la degradación en las áreas de uso forestal ubicadas principalmente en los sectores del Parque Nacional Volcán Irazú y a lo largo de varios cursos de agua como el río Birrís, la confluencia de las quebradas Central y González, así como la Pacayas. Esta degradación podría deberse a una mayor demanda de la tierra para actividades agrícolas y de pastos, así como a la falta de protección de las zonas de manantiales y de los cuerpos de agua superficiales.

Aun cuando la cuenca del río Birrís presenta un paisaje agrícola, de mantenerse el uso actual de la tierra disminuirán las bellezas escénicas que presenta el área, aumentando los paisajes de

terrenos erosionados y degradados, y se pondría en riesgo el volumen de agua de recarga por lluvia que entra a los sistemas acuíferos.

Conclusiones

Las tres unidades geológicas principales: Cervantes, Birrís y Reventado (miembro superior), están compuestas por materiales lávicos principalmente, los cuales permiten la formación de acuíferos; además existen materiales laháticos con diferentes propiedades hidrogeológicas que se comportan como acuitardos y de esta forma permiten el afloramiento de manantiales en distintos sectores de la cuenca del río Birrís.

La delimitación de coladas de lava en la cuenca evidencia y confirma la existencia de varios acuíferos condicionados por las coladas dentro de los sistemas acuíferos de la cuenca. Esto se nota al observar cómo los frentes y límites de las coladas coinciden con el afloramiento de manantiales.

Existe una relación hidráulica efluente tanto en el sistema acuífero Birrís como en el Pacayas-Reventado.

Esta relación hidráulica se evidencia en los manantiales de Pozo Amarillo y Birrís.

A partir de los balances hídricos de suelos, se determina una recarga potencial por lluvia de poco más de 38 millones de m³/año. Por su parte, la descarga del sistema acuífero se encuentra a lo largo del río Birrís.

En esta cuenca, el uso actual no coincide con la capacidad de uso establecida, de forma que un 66% de toda la cuenca se encuentra en sobreuso, lo cual puede ocasionar impactos negativos a los sistemas acuíferos. El principal sobreuso que se da en esta cuenca es la conversión de las zonas boscosas (dedicadas a conservación y manejo forestal) a zonas de pastoreo y cultivos anuales. Por otro lado, la mayor parte de manantiales se en-

cuentran en las zonas de sobreuso, lo cual puede generar erosión, compactación y contaminación.

La elaboración de lineamientos de manejo de cuenca del río Birrís permite aportar mecanismos de ordenamiento territorial, considerando las aguas subterráneas como parte fundamental del desarrollo regional.

Agradecimientos

Esta publicación es un resultado parcial del proyecto N° 830-B0-051, denominado Estudio Hidrogeológico y Manejo de los Recursos Hídricos en el distrito de Cervantes, Cartago, ejecutado desde el Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas, e inscrito en la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica.

Referencias bibliográficas

- Fundación Neotrópica-CEAP. 1999. *Capacidad de uso de la tierra: clases forestales*. Decreto 23214 MAG-MIRE-NEM Instituto Geográfico Nacional. San José.
- Krushensky, R. 1972. *Geology of the Istarú Quadrangle, Costa Rica*. Geological Survey Bulletin 1358. U.S. Geological Survey. Washington, D.C.
- Lucke, O. (1999). *Base conceptual y metodología para los escenarios de ordenamiento territorial*. – en: Dengo, et al.: *Escenarios de ordenamiento territorial en Costa Rica*. MIDEPLAN-BID. San José.
- Ramírez, P. “Caracterización de la dinámica de flujo mediante la aplicación de un modelo numérico hidrogeológico. Caso de la cuenca del río Birrís, Cartago, Costa Rica”, en *Revista Geológica de América Central* 34-35, 2006.
- Schosinsky, G. “Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos”, en *Revista Geológica de América Central* 34-35, 2006.