

Análisis de proyección de la demanda de agua para el uso agrícola de un sector de la Sabana de Bogotá¹

Projection analysis of water demand for agriculture in a sector of the Sabana de Bogotá

Carlos Enrique Castro Méndez²

Yolima del Carmen Agualimpia Dualiby³

Fecha de recepción: 15 de octubre de 2014

Fecha de aprobación: 5 de marzo de 2015

Resumen

La planificación local que ejercen las autoridades municipales se encuentra en un proceso de reconstrucción constante. El grado de especificidad territorial requerido conduce a la exploración de enfoques de carácter técnico-administrativo y directrices para tomar decisiones óptimas en el manejo de los recursos naturales sin disminuir los caudales ambientales.

Los municipios de Cota, Tabio y Tenjo en la Sabana de Bogotá afrontan conflictos en razón de la solicitud de los propietarios de predios de cambiar el uso agrícola por el industrial, lo cual condujo a la realización de levantamientos detallados de suelos para definir la aptitud de uso y conocer la capacidad productiva de la región. Esto sirvió para identificar áreas de aptitud agrícola en clases agrológicas 2 y 3, que, en su mayoría, se encuentran en ganadería intensiva. Con los programas de seguridad alimentaria, se reconquistarán estas tierras para la agricultura y la región tendría que planificar los requerimientos de agua.

Palabras clave: caudal ambiental, clase agrológica, necesidades de agua.

Abstract

Local planning exercised by the municipal authorities is in a constant reconstruction process. The degree of required territorial specificity leads to exploration of technical and administrative approaches and guidelines to make optimal decisions in the management of natural resources without reducing environmental flows character.

The municipalities of Cota, Tabio and Tenjo in the Sabana de Bogotá confronts a diverse kind of conflicts due to the request of land owners to change the agricultural use by industrial use, which led to the completion of detailed soil surveys to determine the suitability of use finding the productive capacity of the region. This situation has inducted to identify areas suitable for agriculture in agrologic classes 2 and 3, most of them which are now exploited as intensive farming. By the way of food security programs, these lands for agriculture will be reconquered and the region should have to planify water requirements.

Keywords: environmental flow, agrological class, water needs.

1 Resultado del proyecto de investigación Alternativas Metodológicas para la Determinación del Caudal Ecológico como Estrategia para un Desarrollo Sostenible en Fuentes Superficiales de Agua del grupo de investigación PROGASP de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

2 Magíster en Geografía, UPTC-IGAC. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. cecastro77@gmail.com. (Autor para correspondencia)

3 Doctora en Ciencias Técnicas, ISPJAE (Cuba), Magíster en Ingeniera civil, Universidad de los Andes, y docente investigadora, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. yagualimpiadualiby@gmail.com.

Introducción

La preocupación de los gobiernos locales es la consecución de instrumentos técnicos que les permitan ejercer su autonomía local en estos tiempos de la globalización de la economía. Por ello, en Colombia se requiere superar la etapa de los levantamientos generales de suelos a escala 1:100.000 a otras escalas más grandes, para conocer con mejor grado de detalle las potencialidades y limitaciones que tienen los suelos.

Existe la necesidad de controlar las decisiones que atañen a la distribución de los usos, razón por la cual se han incrementado las solicitudes de levantamientos de suelos a escalas 125 000 y 110 000, con el fin de mejorar los planes de ordenamiento territorial. Colombia se encuentra en el proceso de revisión de estos instrumentos de planeación que tienen la función de ordenar los usos en el contexto municipal y resolver la ocupación de las tierras agrícolas, lo cual constituye una amenaza real a la seguridad alimentaria.

La Ley 3600 del 2007 se ha convertido en un referente legal que permite regular la ocupación de la tierra rural, mediante la restricción de permisos de construcción en aquellos terrenos que tienen alto potencial agrícola. Sin embargo, es necesario utilizar los levantamientos de suelos más allá de un instrumento técnico de tipo restrictivo, para buscar a través de estas iniciativas que posibiliten implementar los manejos y la planeación de los usos legales de la tierra rural.

De acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Cundinamarca, los municipios de Cota, Tabio y Tenjo hacen parte de una zona de alta presión de uso para la construcción y ampliación de parques industriales, así como de residencias de estratos altos que, según estudios generales, corresponde a suelos con alto potencial agrícola. Sin embargo, la utilización que hoy se le da es de ganadería intensiva (13 189,3 ha), cultivos de flores (5407 ha) para mercados internacionales y distribución dispersa de hortalizas (73,1 ha) (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC] y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca [CAR], 2003).

Con el reciente levantamiento de suelos a escala 1:100.000 se encontraron diferentes potencialidades, de modo que, áreas que no siendo aptas para agricultura tampoco lo son para la construcción de viviendas. Surge entonces una duda, el conocer con mayor grado de exactitud cuánta extensión corresponde a los usos agrícolas y, según las características de los suelos y especialmente la relación agua-suelo, cuántas de ellas pueden acondicionarse con riego para tomar decisiones acordes con su potencialidad en este sentido.

Por lo anterior, la pregunta problema por resolver, considerando como caso de estudio áreas con alto potencial agrícola de los municipios de Cota, Tabio y Tenjo en el noroccidente

de la sabana de Bogotá - Colombia, es la que a continuación se detalla:

Al aumentar las necesidades de agua, mediante la intensificación de la agricultura, ¿está la región en capacidad de suministrar la cantidad de agua que se requiere, teniendo en cuenta el factor de reducción de la oferta por los caudales ambientales?

El presente estudio se realizó en áreas con alto potencial agrícola de los municipios de Cota, Tabio y Tenjo situados en la Sabana de Bogotá, al noroccidente de la capital de Colombia, en una región agrícola por excelencia denominada localmente provincia de Sabana Occidente con una extensión total estimada en 15 587,9 ha (figura 1).

Las coordenadas que enmarcaron el área fueron las siguientes: 4° 56' 39.472" norte, 4° 43' 21.409" sur, 74° 04' 46.659" este y 74° 13' 10.998" oeste.

Para conocer el contexto en cual se encuentra el uso de las tierras de la Sabana de Bogotá, se escogieron tres municipios que, por su cercanía a la ciudad capital, presentan problemas en la ocupación de tierras; en muchos casos se trata de habitantes urbanos que a través de un incremento en la demanda de vivienda, buscan mejorar su calidad de vida mediante la adquisición de una primera o segunda vivienda que les permita beneficiarse de los paisajes de la altiplanicie.



Figura 1. Localización del área de estudio en Colombia. Departamento de Cundinamarca y áreas planas de los municipios de Cota, Tabio y Tenjo

Uso actual, caracterización y oferta hídrica

Los usos de las tierras en las áreas planas de los municipios de Cota, Tabio y Tenjo para el más reciente estudio (IGAC y CAR, 2006) arrojan un porcentaje de área ocupado en ganade-

ría de 84,6%, cultivos transitorios 5,6%, bosques plantados y otras coberturas arbóreas 3,0%. Con este nuevo panorama, se detectó que existen algunas áreas que no se contemplaban en el anterior estudio de coberturas que corresponde a zonas de inundación y áreas de cuerpos de aguas que ocupan 2,4% del área, las cuales deben ser incluidas en un plan de ordenamiento de dichos municipios (tabla 1).

Según las estadísticas de la Secretaría de Planeación de Cundinamarca (2010), se obtuvo un cubrimiento neto de 1243,5 ha con tubérculos (7,98% del área) y un cubrimiento neto de 1153,3 ha con cultivos transitorios (7,40% del área). De la misma forma, las actividades agrícolas son menores a las actividades ganaderas, las cuales armonizadas con las demás coberturas serían de 12 007,6 ha copando el 77,03% del área total. Con lo anterior, se deduce que sería adecuado cambiar este elevado uso en ganadería por el de agricultura ya que es la aptitud que presentan estas tierras.

Las zonas de altiplanicie presentan alta susceptibilidad a procesos de desertificación debido a las acciones que realizan los seres humanos sobre la degradación de las coberturas vegetales que, igualmente, están expuestas a la acción de los vientos y tienden a presentar con mayor frecuencia índices pluviométricos irregulares. Por lo anterior, todo uso agrícola que se quiera implementar debería contar con un programa de riegos para poner en funcionamiento soluciones a la fuerte demanda de agua que produciría incrementar las áreas cultivadas.

Congote y García (2014) analizaron la transformación social sucedida con la inversión en infraestructura de riego. En su investigación probaron que la tenencia de la tierra tiende a transformarse con los rendimientos agrícolas; el efecto inmediato es el aumento de las prácticas minifundistas, con lo cual puede esperarse un incremento en las necesidades globales de agua, pues al aumentar el número de usuarios y las posibilidades de métodos de riego pueden aumentar las necesidades de agua.

Tabla 1. Superficie y tamaño medio de predios por cobertura y uso

Cobertura y uso	Superficie ()	N° de fragmentos	Superficie media ()
Bosque plantado	0,5	2,0	0,2
Bosque secundario y galería	8,6	5,0	1,7
Bosque secundario y plantado	459,1	72,0	6,4
Herbáceas y arbustivas	141,4	11,0	12,9
Cultivos transitorios	691,6	149,0	4,6
Hortalizas	73,1	10,0	7,3
Tubérculos	107,6	21,0	5,1
Mosaico de cultivos	342,9	54,0	6,3
Mosaico de pastos y árboles	174,5	26,0	6,7
Mosaico de pastos y cultivos	6768,6	351,0	19,3
Pastos arbolados	716,0	83,0	8,6
Pastos limpios	5530,1	337,0	16,4
Cuerpos de agua circulante	112,9	75,0	1,5
Zonas pantanosas	118,9	91,0	1,3
Zonas canalizadas	4,9	4,0	1,2
Zona urbana	93,8	19,0	4,9
Centros poblados	152,1	21,0	7,2
Zonas de rellenos	32,8	4,0	8,2
Conglomerado industrial	10,0	1,0	10,0
Zonas recreativas	48,5	8,0	6,1
Total	15587,9	1344,0	

Fuente: IGAC y CAR (2006).

Según el análisis de los diagramas ombrotérmicos de los municipios (figura 2), la necesidad de riego se presenta en enero, febrero, julio y agosto; el requerimiento de agua se incrementa en el segundo período para el municipio de Cota entre junio y septiembre.

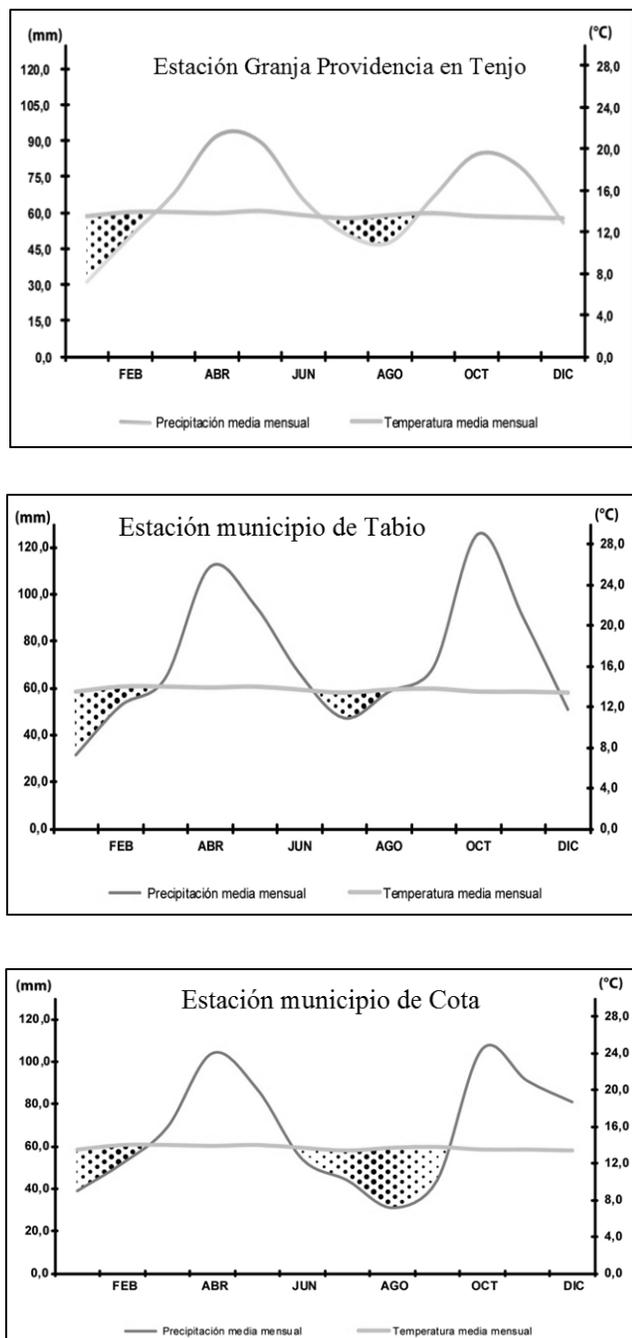


Figura 2. Diagramas ombrotérmicos de los municipios de Tenjo, Tabio y Cota

Fuente: Ideam (2010a).

Las mayores presiones por uso del agua se ejercen con la implementación de sistemas de riego para los cultivos. Por ello, se hace un análisis prospectivo de las necesidades de agua, aclarando que con el uso de nuevas viviendas, la presión por requerimiento de agua aumentaría, máxime si se contempla que los nuevos ocupantes causarían un mayor nivel de complejidad (definido por el número de habitantes y su capacidad económica en la Resolución 1096 de 2000 expedida por el Ministerio de Desarrollo Económico y la Resolución 2320 de 2009 expedida por el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial), reflejándose esto en un mayor consumo de agua.

El área de trabajo se encuentra en relieves planos o moderadamente inclinados, distribuidos en el paisaje de planicie fluvio-lacustre que tuvo origen en una cuenca formada con el levantamiento y plegamiento de la Cordillera Oriental (IGAC, 2000), la cual fue colmatada por arcillas de tipo lacustre, que en algunos sectores puede alcanzar varios centenares de metros de espesor (Montoya y Reyes, 2005). La planicie fluvio-lacustre emergió paulatinamente mediante procesos de desecación dando lugar a tres niveles de terrazas lacustres, separadas entre sí por taludes casi imperceptibles en algunos sectores, pero que en otros pueden alcanzar los ocho metros de altura (IGAC, 2011).

En la zona se presentan elevaciones de tierra que corresponden a cerros del cretácico conformados en su mayoría por areniscas duras, lodolitas y arcillolitas (Montoya y Reyes, 2005) que originaron la formación de piedemontes cortos conformados por varios glacis de acumulación que se convierten en zonas de transición entre la parte quebrada y la plana.

La vegetación natural ha sido destruida casi en su totalidad para dar paso a extensas praderas de pastos kikuyo (*Penisetum*), ryegrass (*Lolium multiflorum*) y pasto azul (*Daelyli glomerata*). Aún se encuentran algunas especies de ciprés (*Cupressu lusitánica*), sauce llorón (*Salix humboldtiana*), aliso (*Alnus acuminata*) y arbustos como la fucsia silvestre (*Fuchsia bolivarencis*) y el laurel de cera (*Morella pubescens*) que se encuentran diseminados.

La zona ha sido remodelada por los cursos de aguas de los ríos Bogotá, Chicú y Frío que en el pasado generaron una intensa dinámica fluvial que se caracteriza por la conformación de un valle estrecho, rodeado de vegas y bajos acompañados en su recorrido por taludes altos en los niveles de terrazas inferiores. El comportamiento del río es de tipo meándrico con algunos cauces abandonados (figura 3).

El área se encuentra en altitudes que comprenden los 2580 y 2640 m s. n. m. que corresponden al piso térmico frío. La zona se caracteriza por presentar tres sectores con precipitaciones promedio diferentes, así: 863,2 mm/año en el sector alto correspondiente a Tabio, 781,2 mm/año en el sector medio y en el bajo de 802,0 mm/año. En promedio, se tiene una precipitación de 815,5

mm/año, valor que se considera bajo. La temperatura promedio es de 13,7°C en los municipios de Tabio y Cota y de 13,6°C en Tenjo, lo cual lleva a una mayor acumulación de materia orgánica en Tenjo. La evapotranspiración potencial promedio es de 662 mm/año, lo que indica una relación de evapotranspiración precipitación de 0,83 que indica un déficit de humedad por lo cual se considera de condición seca. Para efectos de este informe el clima sería frío-seco en los municipios de Cota y Tenjo y transicional al frío-húmedo en el municipio de Tabio.



Figura 3. Panorámica de la condición del río Chicú en el municipio de Tenjo

Fuente: Castro (2011).

La zona cuenta con dos ríos principales, el Chicú y el Bogotá, y algunos cuerpos de agua como el humedal San José, que se encuentra asociado al sistema hídrico. La zona ha sido modificada en sus regímenes e inundaciones mediante la construcción de diques y jarillones en el río Bogotá, disminuyendo de esta forma las zonas de amortiguación y control natural de crecientes (figura 4).

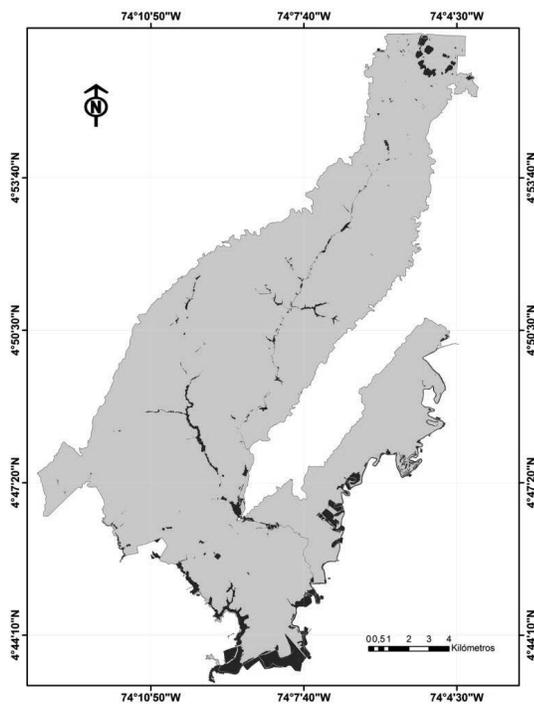


Figura 4. Localización de cuerpos de agua

Fuente: IGAC (2011).

El río Bogotá es el máximo afluente y se localiza al sureste del área estudiada, en límites con Bogotá, capital colombiana; este río por discurrir en el altiplano es de tipo meándrico (Villota, 1991).

El río Chicú, a su vez, atraviesa dos niveles de terrazas lacustres, formando en algunos sectores valles estrechos conformados por bajos y vegas. Tiene mayor extensión, siendo el colector central de los afluentes menores que nacen en las vertientes montañosas que afloran en la planicie; el Chicú es tributario del río Bogotá.

La región cuenta con innumerables pozos de donde se extraen aguas subterráneas a diferentes profundidades, las cuales han sido utilizadas para el consumo humano y para riegos, especialmente, en las naves dedicadas a cultivos de flores tipo exportación.

En la investigación realizada por los autores sobre caudales ecológicos, a partir de la cual se generó esta reflexión, se definieron las variables que inciden en la regulación del agua en los suelos cuyas representaciones en el espacio se realizan mediante el análisis del relieve, la clase textural y el drenaje natural. A su vez, fue necesario precisar la condición hidráulica mediante la interpretación de varias características de los suelos como son la estructura, la consistencia, la distribución de los poros, la presencia de capas compactadas, la humedad natural y la retención de humedad.

Desarrollo metodológico

El presente trabajo corresponde a la interpretación de resultados del levantamiento detallado de suelos realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), para la Gobernación de Cundinamarca, el cual tenía por objetivo revisar la potencialidad de los suelos (IGAC, 2011). Como un aporte a este avance en el conocimiento de la potencialidad de los suelos, en este artículo se plantea una nueva visión relacionada con la disponibilidad de agua para los procesos productivos que se llevarán a cabo en esta zona, una vez se implemente este programa técnico. Uno de los autores de este artículo coordinó el levantamiento, realizó actividades de reconocimiento y fue guía en la ejecución de los trabajos de campo realizados por siete edafólogos. Otro de los autores aplicó su conocimiento en el análisis del manejo y aprovechamiento de aguas desde un enfoque ambiental, con relación a los usos de las aguas en esta parte del territorio Colombiano.

El procedimiento consistió en el diseño y la conformación de una base de datos orientada a la interpretación de la aptitud de las tierras, con posibilidades de implementación de sistemas de riego y drenaje, las cuales se dirigieron exclusivamente al uso y al manejo relacionado con la necesidad de agua para los procesos productivos que se piensan llevar a cabo en el futuro. También se precisaron las posibilidades de desarrollar los cultivos que están implementándose de manera puntual en la región y contrastarlos con los requerimientos de riego.

Para determinar la aptitud de las tierras se realizó, en primera instancia, la clasificación por capacidad de uso de las tierras a escala 1:100.000, por lo cual se extrayeron las que tienen clases agrológicas de la 1 a la 3, las cuales se definen por su alta capacidad para el desarrollo agrícola y pecuario (figura 5). En segunda instancia, se analizaron los suelos que cumplen con las características de ser almacenadores o conductores de agua y su función ecológica, al igual que su relación con el entorno a través de los índices de productividad de los suelos agrícolas.

También, se determinó la aptitud de las tierras mediante el análisis de cuatro enfoques directamente asociados con los rendimientos de los cultivos: penetrabilidad de las raíces, disponibilidad de oxígeno y disponibilidad de nutrientes y de agua.

En cuanto a las áreas que requieren riego se evaluaron sus necesidades de agua mediante un balance hídrico en el que fueron consideradas la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, la precipitación efectiva y el uso consuntivo del cultivo que se quiere implantar.

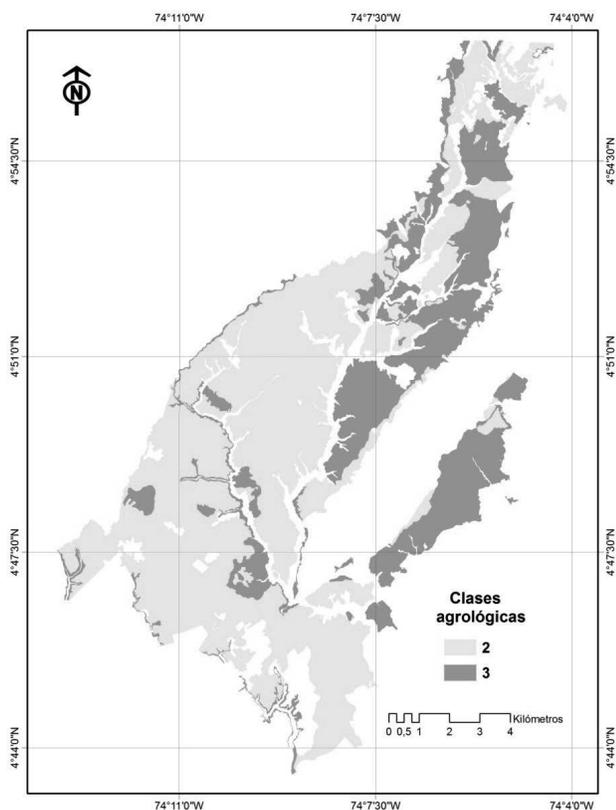


Figura 5. Distribución de las clases agrológicas en las áreas planas de Cota, Tabio y Tenjo

Fuente: IGAC (2011).

Resultados

En las áreas planas de los municipios de Cota, Tabio y Tenjo en el departamento de Cundinamarca, el 74,66% de las 15 132 ha que lo conforman, es decir, el 11 297 ha, corresponden a clases agrológicas 2 y 3. No se encontraron suelos de clase 1 porque la región es susceptible a las heladas, porque no hay agua suficiente para los procesos productivos agrícolas o porque, aunque tenga suelos de óptima calidad, los riesgos a la pérdida de cosechas, las condiciones de acidez o las necesidades de riego en algunos periodos del año no permitieron delimitarlos.

Las tierras de clase agrológica 2 se encuentran en el clima frío-húmedo. Las formas de terreno más significativas son el plano y talud de la terraza nivel medio de la planicie fluvio-lacustre y la parte distal del glacis de acumulación del paisaje de lomerío. La extensión total de esta unidad agrológica es de 8081 ha. Estas tierras se caracterizan por pendientes menores al 7%, drenaje natural moderado a bien drenado. Tienen suelos profundos rara vez afectados por inundaciones, texturas moderadamente gruesas o moderadamente finas, sin fragmentos de roca superficial en el suelo, fertilidad natural entre moderada y muy alta, con menos del 5% de las tierras afectadas con sales, o cuando estas se presentan. Las capas se encuentran localizadas a más 100 cm de profundidad, los regímenes de humedad de los suelos son údico, es decir, dotados con agua suficiente para dos cosechas.

Las tierras de la clase agrológica 3 se encuentran en los climas frío-húmedo y frío-seco. Las formas de terreno significativas son el plano y el talud de la terraza nivel inferior en la planicie fluvio-lacustre y en las partes proximal y distal del glacis de acumulación del paisaje de lomerío. La extensión total de esta unidad agrológica es de 3216 ha. Estas tierras se caracterizan por encontrarse en pendientes menores al 12%, tener drenaje natural moderado a bien drenado, suelos moderadamente profundos o profundos, ocasionalmente afectados por inundaciones, contar con texturas moderadamente gruesas, moderadamente finas o finas permeables, tener hasta 15% de fragmentos de roca superficial o en el suelo, fertilidad natural entre moderada y baja, con menos de 15% de las tierras afectadas por sales y en capas localizadas a más de 100 cm de profundidad, con regímenes de humedad de los suelos entre údico y ústico (aguas suficientes para una cosecha), es decir, con necesidades de drenaje. En la tabla 2 se resumen las áreas ocupadas con cultivos específicos según la Secretaría de Agricultura.

Tabla 2. Áreas ocupadas por cultivos específicos

Cultivo	Municipio	Área sembrada (ha)	Área cosechada (ha)	Producción (ton)	Rendimiento (ton/ha)
Acelga	Cota	5,7	5,7	204,8	36,0
Arveja	Tenjo	65,0	35,0	105,0	3,0
	Tabio	72,0	64,0	256,0	4,0
Brócoli	Cota	37,1	37,1	927,9	25,0
Cilantro	Cota	137,0	137,0	1473,0	10,8
Coliflor	Cota	64,4	64,0	2344,0	36,6
Espinaca	Cota	259,0	259,0	6100,0	23,6
Hortalizas	Tenjo	85,0	85,0	850,0	10,0
Lechuga	Tenjo	70,0	70,0	840,0	12,0
	Cota	82,9	82,0	3010,0	36,7
Maíz	Tabio	86,0	80,0	648,0	8,1
	Tenjo	620,0	300,0	1.200,0	4,0
	Cota	181,0	180,0	1800,0	10,0
Papa	Cota	177,5	177,0	7080,0	40,0
	Tenjo	782,0	675,0	12474,0	18,5
Perejil Crespo	Cota	8,6	8,6	118,6	13,7
Rabano rojo	Cota	10,0	10,0	183,9	18,4
Remolacha	Cota	6,0	6,0	216,0	36,0
Zanahoria	Tenjo	165,0	160,0	2480,0	15,5
	Tabio	103,0	95,0	2850,0	30,0

Fuente: Secretaría de Planeación de Cundinamarca (2010).

Según la información reportada por la Secretaría de Planeación de Cundinamarca, 3017,2 ha están ocupadas con cultivos transitorios, que son aptos para la clase agrológica 2, por lo cual quedan 5068,8 ha que deben cambiar los usos actuales en ganadería por cualquiera de los cultivos mencionados. Para el análisis de prospección de necesidades de agua, se

escoge para la clase 2 el cultivo de papa y como cultivo alternativo el maíz, por ser los usos agrícolas preferentes en esta región.

Para las tierras clasificadas con clase agrológica 3, las cuales presentan limitaciones moderadas para el uso, puede escogerse

el cultivo de espinaca como principal y como un referente alternativo el cultivo de zanahoria, para una extensión de 3213.

Los cultivos transitorios intensivos como la papa y el maíz requieren la preparación de terrenos, mediante mecanización; la papa es un cultivo de tipo semestral y el maíz puede sembrarse sin problemas dos veces al año.

Los cultivos semiintensivos de espinaca y zanahoria son aptos para sembrarlos en tierras de clase agrológica 3 y tienen períodos vegetativos de tres y seis meses, respectivamente. Por lo tanto, el cultivo de espinaca puede sembrarse en dos períodos anuales y la zanahoria en un período anual.

Los cálculos de consumo de agua de cada cultivo se realizaron mediante el balance hídrico edáfico propuesto por IGAC y el Ministerio del medio ambiente (2007) para definir los usos alternativos sostenibles. Los datos de coeficiente de cul-

tivo se compilaron en el manual de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) del año 2006.

Con el fin de obtener una propuesta acorde con la distribución de las lluvias presentadas en estas áreas agrícolas, se determina que las siembras deben realizarse al inicio de las lluvias en el mes de marzo y para segundas siembras en el mes de septiembre. Con ello se podría analizar el impacto que genera la ampliación de las áreas cultivadas, únicamente, para períodos de humedad de las tierras.

En la tabla 3 se presentan los resultados de los balances hídricos realizados a suelos que tienen capacidad de reserva de aguas de 90 mm, cuyo almacenamiento permite conservar la humedad del suelo durante todo el año. Los cultivos evaluados para el municipio de Cota fueron la zanahoria, la papa, el maíz y la espinaca.

Tabla 3. Proyección de la demanda de agua para cultivos índices en el municipio de Cota

Balance hídrico atmósfera-suelo- cultivo	Primer trimestre			Segundo trimestre			Tercer trimestre			Cuarto trimestre			Total
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
Temp (°C)	13,5	14,0	14,0	13,9	14,0	13,7	13,4	13,7	13,8	13,5	13,5	13,4	
Precipitación media (mm)	39,0	52,0	69,0	104,0	87,0	54,0	44,0	31,0	44,0	106,0	91,0	81,0	802,0
Evapotr. Potencial (ETP)	55,1	52,8	58,4	57,3	60,1	56,7	56,7	57,8	56,2	55,6	53,5	54,0	674,2
Coef. Cultivo zanahoria (Kc)	0,1	0,3	0,5	1,1	0,8	0,2	0,1	0,3	0,4	0,9	1,0	0,2	
Uso consuntivo = (Kc*ETP)	5,5	15,8	26,3	60,2	45,1	11,3	5,7	17,4	22,5	50,1	53,5	10,8	324,1
Déficit (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Reserva (mm)	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	
Excedentes (mm)	1,2	23,2	25,5	17,8	20,1	29,2	27,3	5,9	10,5	29,4	14,8	50,0	254,9
Coef. Cultivo papa (Kc)	0,1	0,3	0,4	0,8	1,2	1,0	0,1	0,3	0,4	0,9	1,0	0,2	
Uso consuntivo = (Kc*ETP)	5,5	15,8	23,4	45,8	69,2	56,7	5,7	17,4	22,5	50,1	53,5	10,8	376,3
Déficit (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Reserva (mm)	90,0	90,0	90,0	90,0	86,1	69,8	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	
Excedentes (mm)	1,2	23,2	28,4	32,2	0,0	0,0	7,2	5,9	10,5	29,4	14,8	50,0	202,7
Coef. Cultivo maíz (Kc)	0,1	0,3	0,5	0,8	1,2	0,9	0,1	0,3	0,4	0,9	1,0	0,2	
Uso consuntivo = (Kc*ETP)	5,5	15,8	26,3	43,0	69,2	48,2	5,7	17,4	22,5	50,1	53,5	10,8	367,8
Déficit (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Balance hídrico atmósfera-suelo- cultivo	Primer trimestre			Segundo trimestre			Tercer trimestre			Cuarto trimestre			Total
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
Reserva (mm)	90,0	90,0	90,0	90,0	86,1	78,4	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	
Excedentes (mm)	1,2	23,2	25,5	35,0	0,0	0,0	15,7	5,9	10,5	29,4	14,8	50,0	211,2
Coef. Cultivo espinaca (Kc)	0,1	0,3	0,5	0,6	1,0	0,9	0,1	0,3	0,5	0,6	1,0	0,9	
Uso consuntivo = (Kc*ETP)	5,5	15,8	26,3	34,4	60,1	51,1	5,7	17,4	25,3	33,4	53,5	48,6	377,0
Déficit (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Reserva (mm)	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	79,4	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	
Excedentes (mm)	1,2	23,2	25,5	43,6	5,1	0,0	16,8	5,9	7,7	46,1	14,8	12,2	202,0

Fuente: elaboración propia con base en balances hídricos por el método de Thorthwaite, 2014.

Para las condiciones ambientales del municipio de Cota, cuya oferta media de precipitaciones anuales es de 802 mm, la sumatoria de uso consuntivo mensual corresponde a las necesidades de agua del cultivo y los valores excedentes corresponden a las aguas que alimentan los ríos. De acuerdo con lo anterior, los cultivos que requieren menor cantidad de agua son la zanahoria y el maíz, y los que requieren más agua son la papa y la espinaca.

De acuerdo con los valores de precipitación mayores y las áreas actuales sembradas en papa, es aconsejable ampliar estos cultivos que tienen consumo de agua de 376,3 mm/anuales para las tierras con clases agrológicas 2 y clase 3 de cultivo de espinaca, cuyos consumos anuales son de 377 mm.

En la tabla 4 se presentan los resultados de los balances y las necesidades de agua de los cultivos en el municipio de Tabio.

Tabla 4. Proyección de la demanda de agua para cultivos índices en el municipio de Tabio

Balance hídrico atmósfera-suelo-cultivo	Primer trimestre			Segundo trimestre			Tercer trimestre			Cuarto trimestre			Total
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
Temp (°C)	13,5	14,0	14,0	13,9	14,0	13,7	13,4	13,7	13,8	13,5	13,5	13,4	
Precipitación media (mm)	31,5	52,5	64,3	111,7	95,5	66,3	47,3	58,5	69,1	125,8	90,2	50,9	863,5
Evapotr. Potencial (ETP)	55,1	52,8	58,4	57,3	60,1	56,7	56,7	57,8	56,2	55,6	53,5	54,0	674,2
Coef. Cultivo Zanahoria (Kc)	0,1	0,3	0,5	1,1	0,8	0,2	0,1	0,3	0,4	0,9	1,0	0,2	
Uso consuntivo = (Kc*ETP)	5,5	15,8	26,3	60,2	45,1	11,3	5,7	17,4	22,5	50,1	53,5	10,8	324,1
Déficit (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Reserva (mm)	85,6	109,2	131,1	135,0	135,0	135,0	135,0	135,0	135,0	135,0	135,0	135,0	
Excedentes (mm)	0,0	0,0	0,0	19,7	26,5	38,4	29,8	26,5	29,4	44,3	14,2	27,4	256,0
Coef. Cultivo Papa (Kc)	0,1	0,3	0,4	0,8	1,2	1,0	0,1	0,3	0,4	0,9	1,0	0,2	
Uso consuntivo = (Kc*ETP)	5,5	15,8	23,4	45,8	69,2	56,7	5,7	17,4	22,5	50,1	53,5	10,8	376,3
Déficit (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Continúa

Balance hídrico atmósfera-suelo-cultivo	Primer trimestre			Segundo trimestre			Tercer trimestre			Cuarto trimestre			Total
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
Reserva (mm)	85,6	109,2	134,0	135,0	135,0	128,0	135,0	135,0	135,0	135,0	135,0	135,0	
Excedentes (mm)	0,0	0,0	0,0	36,9	2,4	0,0	22,8	26,5	29,4	44,3	14,2	27,4	203,8
Coef. Cultivo Maíz (Kc)	0,1	0,3	0,5	0,8	1,2	0,9	0,1	0,3	0,4	0,9	1,0	0,2	
Uso consuntivo = (Kc*ETP)	5,5	15,8	26,3	43,0	69,2	48,2	5,7	17,4	22,5	50,1	53,5	10,8	367,8
Déficit (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Reserva (mm)	85,6	109,2	131,1	135,0	135,0	135,0	135,0	135,0	135,0	135,0	135,0	135,0	
Excedentes (mm)	0,0	0,0	0,0	36,9	2,4	1,5	29,8	26,5	29,4	44,3	14,2	27,4	212,3
Coef. Cultivo Espinaca (Kc)	0,1	0,3	0,5	0,6	1,0	0,9	0,1	0,3	0,5	0,6	1,0	0,9	
Uso consuntivo = (Kc*ETP)	5,5	15,8	26,3	34,4	60,1	51,1	5,7	17,4	25,3	33,4	53,5	48,6	377,0
Déficit (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Reserva (mm)	85,6	109,2	131,1	135,0	135,0	133,7	135,0	135,0	135,0	135,0	135,0	124,6	
Excedentes (mm)	0,0	0,0	0,0	45,4	11,4	0,0	28,4	26,5	26,5	61,0	14,2	0,0	213,5

Fuente: elaboración propia con base en balances hídricos por el método de Thorthwaite, 2014.

El municipio de Tabio presenta mayores condiciones de humedad en esta parte de la Sabana de Bogotá (863,5 mm/año), correspondiendo al sector más alto. Por lo tanto, es conveniente mantener las aguas que alimentan las partes bajas. Para esta zona es conveniente impulsar los cultivos de zanahoria, debido

a que presentan pocas necesidades hídricas (324,1 mm/año) en áreas clasificadas con clase 3 y cultivos de maíz en sectores de clase 2 cuyos consumos de agua son de 367,3 mm/año. En la tabla 5 se presentan los resultados del balance hídrico para los cuatro cultivos índices del municipio de Tenjo.

Tabla 5. Proyección de la demanda de agua para cultivos índices en el municipio de Tenjo

Balance hídrico atmósfera- suelo-cultivo	Primer trimestre			Segundo trimestre			Tercer trimestre			Cuarto trimestre			Total
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
Temperatura (°C)	13,5	13,9	13,9	13,8	14,0	13,6	13,3	13,6	13,8	13,5	13,4	13,3	
Precipitación media (mm)	31,3	50,1	68,0	92,0	89,7	65,4	51,0	47,7	66,5	84,4	79,2	55,9	781,2
Evapotr. Potencial (ETP)	55,3	52,5	58,1	57,0	60,4	56,4	56,3	57,5	56,4	55,9	53,2	53,7	672,7
Coef. Cultivo Papa (Kc)	0,1	0,3	0,4	0,8	1,2	1,0	0,1	0,3	0,4	0,9	1,0	0,2	
Uso consuntivo = (Kc*ETP)	5,5	15,7	23,2	45,6	69,4	56,4	5,6	17,3	22,6	50,3	53,2	10,7	375,6
Déficit	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Reserva	85,5	90,0	90,0	90,0	87,8	80,4	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	
Excedentes	0,0	17,3	27,7	23,4	0,0	0,0	23,0	18,5	27,3	13,0	6,3	31,2	187,8
Coef. Cultivo Zanahoria (Kc)	0,1	0,3	0,5	1,1	0,8	0,2	0,1	0,3	0,4	0,9	1,0	0,2	
Uso consuntivo = (Kc*ETP)	5,5	15,7	26,2	59,8	45,3	11,3	5,6	17,3	22,6	50,3	53,2	10,7	323,5
Déficit (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Reserva (mm)	85,5	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	

Balance hídrico atmósfera-suelo-cultivo	Primer trimestre			Segundo trimestre			Tercer trimestre			Cuarto trimestre			Total
	Enc.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
Excedentes (mm)	0,0	17,3	24,8	9,2	21,9	37,8	32,6	18,5	27,3	13,0	6,3	31,2	239,9
Coef. Cultivo Maíz (Kc)	0,1	0,3	0,5	0,8	1,2	0,9	0,1	0,3	0,4	0,9	1,0	0,2	
Uso consuntivo = (Kc*ETP)	5,5	15,7	26,2	42,7	69,4	48,0	5,6	17,3	22,6	50,3	53,2	10,7	367,2
Déficit (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Reserva (mm)	85,5	90,0	90,0	90,0	87,8	88,9	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	
Excedentes (mm)	0,0	17,3	24,8	26,3	0,0	0,0	31,5	18,5	27,3	13,0	6,3	31,2	196,2
Coef. Cultivo Espinaca (Kc)	0,1	0,3	0,5	0,6	1,0	0,9	0,1	0,3	0,5	0,6	1,0	0,9	
Uso consuntivo = (Kc*ETP)	5,5	15,7	26,2	34,2	60,4	50,8	5,6	17,3	25,4	33,5	53,2	48,3	376,0
Déficit (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Reserva (mm)	85,5	90,0	90,0	90,0	90,0	88,3	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	83,6	
Excedentes (mm)	0,0	17,3	24,8	34,8	6,8	0,0	30,9	18,5	24,5	29,8	6,3	0,0	193,7

Fuente: elaboración propia con base en balances hídricos por el método de Thornthwaite, 2014.

El municipio de Tenjo presenta los valores más bajos de precipitación (781,2 mm/año); sin embargo, se beneficia de las aguas de escorrentía del municipio de Tabio que se concentran en el río Chicú. Además, tiene algunos cuerpos de aguas de poca profundidad que permiten mantener la humedad en estas tierras. Si se amplían las áreas sembradas con cultivos de papa, se incrementarían los consumos de agua, lo cual puede afectar los volúmenes de aguas que llegan al río Chicú o provocar el descenso del nivel de agua en el humedal San José.

Para las clases 2 se esperaría ampliar los cultivos de maíz (consumos de agua de 367,2 mm/año) y para las clases 3 los cultivos de zanahoria (consumos de agua 323,5 mm/año).

Para el cambio de uso de la ganadería semiintensiva que ocupa gran parte de las tierras planas de los municipios de Cota, Tabio y Tenjo, deben tenerse en cuenta las limitaciones de la región en cuanto a su oferta natural basada en la precipitación. Para dar impulso o promoción a una intensificación en las siembras, se puede observar esta proyección de la demanda de agua, que según los planteamientos presentados antes, muestran los índices de consumo (tabla 6).

Tabla 6. Indicadores de oferta y consumo de agua en áreas planas de los municipios de Cota, Tabio y Tenjo.

Municipios	Área sembrada (año)	Oferta de aguas pluviom.	Demanda de agua		Índice de consumo de agua		Índice de consumo Promedio
			cultivos transitorios intensivos	cultivos semi-intensivos	cultivos transitorios intensivos	cultivos semi-intensivos	
		mm/año	mm/año	mm/año			
	A	B	C	D	E=(C/D)*100	clase 3	
Cota	2065,1	802,0	376,3	377,0	46,9	47,0	47,0
Tabio	847,5	863,5	367,8	324,1	42,6	37,5	40,1
Tenjo	5369,2	781,2	367,2	323,5	47,0	41,4	44,2
Totales y promedios	8281,8	815,6	370,4	341,5	45,5	42,0	

Fuente: elaboración propia (2014).

La implementación de siembras de cultivos transitorios intensivos en suelos de clase agrológica 2 y cultivos semiintensivos en suelos clase 3 ocasionaría una presión por uso del agua de categoría media-alta según los parámetros establecidos por el Ideam (2010b), que se agudizaría en el municipio de Cota y cuya intensidad sería menor en el municipio de Tabio. Esto requiere el mejoramiento de los sistemas de riego para cubrir las demandas de agua en los primeros meses del año. La intensificación de la agricultura en la Sabana de Bogotá constituiría una amenaza a los sistemas hídricos, dado que el aumento en el consumo de agua puede disminuir notablemente las aguas de escorrentía por la excesiva utilización de agua en riego y la extracción de agua de humedales y reservorios.

Conclusiones

- Se encontró que hay subutilización ligera para el uso agrícola de las tierras debido al dominio de prácticas ganaderas en el 77% del área de estudio.
- Los cultivos de papa requieren mayor cantidad de agua, por lo cual las áreas proyectadas para la siembra deben ser objeto de una cuidadosa planificación, pues al establecer sistemas de riego los consumos serían muy altos.
- Se recomienda la implantación de cultivos que consuman la menor cantidad de agua posible, para ello se tomaron como referentes los cultivos de maíz para tierras clase 2, localizadas en terrazas lacustres medias y altas, que tienen mejor drenaje.
- Las tierras clase 3 tienen menor productividad, por lo que se recomiendan los cultivos de zanahoria, menos exigentes en agua y suelo.
- Antes de iniciar programas de incentivación de la agricultura en los municipios de Cota, Tabio y Tenjo, hay que revisar la protección de los cauces, incentivar la siembra de especies arbóreas y arbustivas naturales para regular las aguas de escorrentía y establecer distritos de riego.
- Aun con la siembra de cultivos de menor consumo, la oferta de agua en estos municipios es muy baja (815,6 mm/año). Esto ocasionará el consumo del 44% de esta oferta.
- El incremento de las áreas sembradas con papa provocaría la disminución del caudal ambiental con la muerte de especies riparias a lo largo de los ríos Bogotá y Chicú.

Referencias

Coefficientes de los cultivos (kc). (2012). Recuperado de <http://www.gatfertilizados.com/kc.swf>

Congote, B. y García, J. (2014). Dos hipótesis sobre el efecto que tiene en la forma de explotación agropecuaria aplicar subsidios a sistemas de riego. El caso del Alto Chicamoc (Boyacá-Colombia). *Cuaderno de economía*, 33(62), 259-295.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2010a). Registros oficiales. Bogotá: Ideam.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2010b). *Estudio Nacional del Agua 2010*. Recuperado de <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?lServicio=Publicaciones&lTipo=publicaciones&lFuncion=loadContenidoPublicacion&id=1507>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2000). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca. Escala 1:100.000*. Bogotá: Subdirección de Agrología (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (2011). *Levantamiento detallado de suelos de las áreas planas de los municipios de Cota, Tabio y Tenjo. Departamento de Cundinamarca. Escala 1:10.000*. Bogotá: Subdirección de Agrología (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). (2006). *Mapa de cobertura y uso de la tierra de Cundinamarca escala 1:25.000*. Bogotá: IGAC-CAR.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). (2006). *Levantamiento de la cobertura vegetal y uso del suelo del área de jurisdicción CAR. Escala 1:25000*. Bogotá: IGAC-CAR.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). (2007). *Definición de usos alternativos y sostenibles para la ocupación de las tierras a nivel nacional (Colombia)*. Bogotá: IGAC-MAVDT.

Montoya, D. y Reyes, G. (Comp.) (2005). *Mapa geológico de la Sabana de Bogotá. Plancha escala 1:100.000*. Bogotá: Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas).

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2006). *Estudio FAO Riego y Drenaje 56. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma: FAO.

Secretaría de Planeación de Cundinamarca. (2010). *Estadísticas de cundinamarca*. Bogotá D.C.: Gobernación de Cundinamarca.

Secretaría de Planeación de Cundinamarca. (2012). *Plan de Ordenamiento Territorial (POT), de Cundinamarca. Documentos técnicos y jurídicos*. Recuperado de http://www.planeacion.cundinamarca.gov.co/BancoConocimiento/D/dc-sig_pota-c/dc-sig_pota-c.asp

[planeacion.cundinamarca.gov.co/BancoConocimiento/D/dc-sig_pota-c/dc-sig_pota-c.asp](http://www.planeacion.cundinamarca.gov.co/BancoConocimiento/D/dc-sig_pota-c/dc-sig_pota-c.asp)

Villota, H. (1991). *Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras*. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) – Subdirección de Docencia e Investigación.