

CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades del Estudio

(1) Bases para el Estudio

Este estudio se efectuó en la Sabana de Bogotá, con una población de 7 millones de habitantes, donde se encuentra la capital de Colombia, Bogotá, D.C., y otros municipios. Se estima que la población de la Sabana aumentará a 9 millones en el año 2015, debido a la migración que se produce desde municipios y áreas rurales de todo el país, así como por el aumento natural de la población. El suministro público de agua potable en el área metropolitana depende de fuentes de agua superficial. La cantidad y calidad del suministro público de agua en la actualidad satisface los niveles de suficiencia.

No obstante, nuevas fuentes estables de agua, serán necesarias para responder al aumento futuro de la población y el desarrollo industrial. Aun más, tienen que desarrollarse, de manera urgente, fuentes alternas de agua para suministro de emergencia, para evitar malestares sociales causados por averías en las instalaciones de suministro de agua cuando ocurran desastres naturales y sociales, y para suplir las necesidades durante años anormalmente secos (o el fenómeno de El Niño). El desarrollo de recursos utilizando aguas superficiales implicará costos más altos por la construcción de instalaciones, así como por su funcionamiento y mantenimiento, ya que las fuentes se localizan en áreas más remotas, debido a la disponibilidad limitada del agua superficial cerca de la ciudad.

El desarrollo de aguas subterráneas en la Sabana de Bogotá hasta el presente ha dependido de acuíferos comparativamente poco profundos, todos de origen cuaternario. Hasta ahora se han explotado de manera total, principalmente para la floricultura y la industria manufacturera, las aguas subterráneas de los acuíferos cuaternarios, de tal manera que su desarrollo posterior sería muy difícil. De otra parte, los acuíferos potenciales son comparativamente profundos, denominados acuíferos del Cretáceo, y están aún por desarrollarse. Altos intereses en el potencial de estos acuíferos a largo plazo y como fuentes estables de agua se han de pagar.

El Acueducto formuló el “Plan de Investigación de aguas subterráneas” y comenzó un estudio sobre evaluación del potencial hidrogeológico de los acuíferos profundos en la ciudad de Bogotá 1999. Los resultados obtenidos hasta ahora son aun limitados debido a la insuficiencia de datos e información y capacidad técnica. Un plan de desarrollo de aguas subterráneas debe formularse después de confirmar el potencial de acuíferos profundos para el suministro estable de agua.

Con los antecedentes descritos, el Gobierno de la República de Colombia solicitó al Gobierno de Japón dirigir un “El Estudio para el Desarrollo Sostenible de Aguas Subterráneas en la Sabana de Bogotá” (denominado en este documento “El Estudio”). En respuesta a la solicitud mencionada, la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (denominada en este documento “JICA”) despachó un Equipo de Estudio preparatorio, y se acordó y firmó un alcance de trabajo entre las autoridades pertinentes de Colombia y el equipo del estudio preparatorio en julio del año 2000. De acuerdo con el alcance de trabajo acordado, JICA despachó un equipo para el Estudio (denominado en este documento “el Equipo de Estudio”) el mes de diciembre del año 2000, y se dio comienzo al Estudio. Después de completarse la Fase -1 del Estudio (diciembre de 2000 a marzo del 2001), los resultados del Estudio se consignaron en el “Informe de Avance” Los resultados de los estudios de las Fase I y II fueron consignados en el “Informe Intermedio.” Este “Informe Final” presenta la secuencia de todo el estudio, incluyendo las Fases I, II y III.

(2) Objetivos del Estudio

Los objetivos del estudio se describen a continuación:

- Evaluar el potencial de agua subterránea en la Sabana de Bogotá
- Investigar la situación actual del medio ambiente y su relación con el agua subterránea
- Formular un plan de desarrollo sostenible de aguas subterráneas
- Realizar programas técnicos de transferencia de tecnología al personal de la contraparte en el curso del Estudio.

(3) El Área de Estudio

El área objeto para el Estudio es la Sabana de Bogotá, que incluye Bogotá D.C., capital de Colombia y vecinos del Departamento de Cundinamarca. De acuerdo a la base de datos SIG preparada en el Estudio, el Área de Estudio es de 4268 Km² e incluye 31 municipios.

(4) Alcance y contenido del Estudio

El Estudio se planteó para ser completado en 3 fases.

Fase I: Comprensión general de las condiciones actuales

<12/2000 – 03/2001>

El Equipo llevó a cabo un reconocimiento y estudio de campo, un análisis preliminar para clarificar las condiciones presentes del Estudio, y obtuvo la información necesaria para la evaluación potencial del agua subterránea usando como métodos de evaluación, la prospección Geofísica y la perforación exploratoria

Fase II: Estudio del potencial de agua subterránea

<05/2001 – 02/2002>

El Equipo efectuó una evaluación preliminar del potencial de agua subterránea con la información recolectada y medida en las fases 1 y 2. Una evaluación más efectiva y eficiente se alcanzó utilizando simulaciones de agua subterránea y SIG (sistema de información geográfica).

Fase III: Formulación de un Plan Maestro para el Desarrollo Sostenible de Agua Subterránea

< 05/2002 – 01/2003 >

Un Plan Maestro que incluye planes de perforación, abastecimiento de agua, y planes de mantenimiento y operación será formulado para el Área de Estudio, mientras se establece el potencial de agua subterránea. El Equipo debe planear una proyección sostenible respecto a la construcción y aspectos de mantenimiento, considerando factores tales como la situación financiera, desempeño administrativo y consecución de recursos financieros.

1.2 Resumen de los resultados del Estudio

(1) Condiciones Generales del Área de Estudio

< Condiciones socioeconómicas >

El Área de Estudio comprende la ciudad de Bogotá, D.C. y 30 municipios del departamento de Cundinamarca. Se resumen las condiciones socioeconómicas del Área de Estudio en la tabla-1.1

Tabla-1.1 Condiciones socioeconómicas del Área de Estudio

Items	Conditions	
Area	: 4,268.7 km ²	
Población :Año 2000	: 7.4 millones	
PIB :Año 1999	Área de Estudio	Col\$37.6 billones : 25% de PIB
	Bogotá D.C.	Col\$33.0 billones : 22% de PIB
	D. Cundinamarca	Col\$ 7.5 billones : 5% de PIB
PIB/Capita :Año 1999	Área de Estudio	Col\$5,094 miles : US\$2,890 (1.4 x PIB /capita)
	Bogotá D.C.	Col\$5,261 miles : US\$3,000 (1.4 x PIB /capita)
	D. Cundinamarca	Col\$3,594 miles : US\$2,050 (1.0 x PIB /capita)
Sector económico	Agricultura	Cultivos : Papa (75% del área cultivada)
		Ganado : Pastos (42% del Área de Estudio)
		Floricultura : 5.800 has (92% del total nacional)
	Manufacturas	Bogotá D.C.
D. Cundinamarca		1) Alimentos/Bebidas 2) Cerámica/Vidrio

<Condiciones Naturales>

Geología y Topografía: La altitud del Área de Estudio es i) alrededor de 2600 metros sobre el nivel del mar en la Sabana de Bogotá ii) de 2600 a 3000 metros en las montañas y cerros circundantes. Las clasificaciones Topográficas del Área de Estudio es i) planicies aluviales a lo largo de los ríos existentes ii) planicies diluviales, iii) leves inclinaciones en los pies de las montañas formados por depósitos coluviales, iv) cerros y montañas formadas por el Terciario y Cretáceo. La clasificación geológica del Área de Estudio es, i) Formación de Chipaque – Grupo Guadalupe del cretáceo, ii) Formación de Guaduas – Formación de Cacho – Formación Bogotá – Formación Regadera – Formación Usme del Terciario y, iii) Formación Tilatá – Formación Sabana – Formación Terraza — Aluvión del Cuaternario. La estructura geológica del Área de Estudio es complicada por los pliegues y las fallas.

Meteorología: El promedio anual de lluvias del Área de Estudio es de 600mm a 1300mm. La precipitación es mayor en las montañas y cerros, y menor en las partes planas. El máximo de precipitación mensual se da en mayo y noviembre. En el Área de Estudio, i) el promedio anual de temperatura varía de 10° a 14°, ii) el promedio anual de humedad oscila entre 70% y 80%, iii) el promedio anual de bandeja de evaporación es 800mm a 1,200mm, iv) el promedio anual de radiación solar es de 115cal/cm²/día a 140cal/cm²/día, v) el promedio anual de brillo solar es de 3.5 horas/día a 5 horas/día, vi) el promedio anual de velocidad de viento es de 1.8metros/segundo a 4.2metros/segundo.

Hidrogeología: El principal río del Área de Estudio es el Río Bogotá. La descarga alcanzada del río Bogotá en la parte más baja del Área de Estudio es de 31m³/s. El Área de Estudio fue dividida en 20 sub-cuencas en este estudio, para poder analizar más detalladamente las características Meteorológicas e Hidrológicas. La fluctuación estacional de descarga del río corresponde a la fluctuación estacional de la precipitación. Un total de 12m³/s de agua proveniente de la represa de Chingaza entra al Área de Estudio. Esta agua proviene de otra cuenca fuera del Área de Estudio. Por otra parte, una cantidad considerable de agua se toma del río Bogotá y sus tributarios, para uso doméstico y para uso agrícola.

< Administración de recursos hídricos >

El Decreto No. 2811 de 1974 es la ley fundamental sobre recursos naturales renovables y protección del medio ambiente. El Decreto No. 1541 de 1978 establece los usos que se le deben

dar a las aguas no marinas. La Ley No. 99 de 1993 define la administración pública para los recursos naturales renovables y la protección del medio ambiente, así como las obligaciones de las organizaciones relevantes. Los mayores roles para el manejo de las aguas subterráneas de la Sabana de Bogotá, están a cargo de la CAR, en el área de Cundinamarca, y el DAMA a cargo de Bogotá, D.C o sea, encargado de la zona urbana de la capital. Los problemas identificados después de discusión son i) Las concesiones otorgadas no son consistentes, ii) La evaluación de la disponibilidad del recurso no es confiable, iii) la capacidad institucional no es suficiente para el manejo, y iv) No hay una coordinación entre las diferentes autoridades ambientales.

(2) Investigación y análisis

<Análisis del uso de la tierra con imágenes de satélite>

Las condiciones actuales del uso de los suelos fueron mapeadas por medio del análisis de imágenes del satélite Landsat 7. También, se utilizó una división en 20 cuencas, para obtener información acerca de las condiciones de uso del terreno, división establecida por el Equipo de Estudio. Las condiciones de uso de la tierra en la Sabana de Bogotá (Área de Estudio) fueron: Bosque (19.840 ha o 4,6%), pasto (169.445 ha o 39,7%), tierra cultivada (171.786 ha o 40,2%), tierra baldía (24.589 ha o 5,8%), agua (3.960 ha o 0,9%), área residencial (30.010 ha o 7,0%) e invernaderos (7.147 ha o 1,7%).

<Investigación de campo ambiental >

Río Bogotá: Este río se utiliza en varias actividades como suministro de agua, agricultura e industria. Sin embargo, la calidad del agua del río se ha deteriorado particularmente en las áreas urbanas. Se sugiere incrementar el volumen del agua del río y mejorar el proceso de purificación natural.

Humedales: Existen aproximadamente 1.500 ha de humedales en la Sabana de Bogotá y muchas especies valiosas viven en ellos. Sin embargo, la calidad del agua se ha desmejorado en los años recientes. Se espera poder implementar medidas positivas de conservación.

Subsidencia: La subsidencia del terreno se observa en la Sabana, aunque no hay evidencia de que el fenómeno esté asociado con la extracción del agua subterránea, por el momento. No obstante, no se ha realizado una observación de largo plazo de la subsidencia, y se espera una implementación de la misma.

< Reconocimiento geofísico >

Se aplicó el método geofísico CSAMT para el reconocimiento geofísico del Área de Estudio. El propósito de éste método era conocer la profundidad de distribución del grupo Guadalupe. De acuerdo a los resultados CSAMT, el grupo Guadalupe se distribuye a más de 1,000m o 1,200m de profundidad hacia el centro y occidente de la Sabana de Bogotá. La profundidad se hace menor hacia los bordes de la Sabana de Bogotá. Esto concuerda con los resultados mostrados por otros estudios a profundidad del grupo Guadalupe. Por otro lado, en el este y norte del Área de Estudio, el grupo Guadalupe se distribuye a profundidades menores a los 300 metros en la Sabana de Bogotá.

< Perforación exploratoria>

En este Estudio, fueron perforados seis pozos de exploración en la formación cuaternaria y cuatro pozos en la formación cretácea. Medidores automáticos de niveles de agua subterránea fueron instalados en dichos pozos. Los medidores se encuentran observando continuamente los niveles del agua subterránea.

Pozos de exploración en el cuaternario: Los pozos fueron perforados en las áreas donde se presentaba distribuciones representativas de la formación cuaternaria. De acuerdo con los

resultados de la exploración, los acuíferos cuaternarios representativos de la formación, están constituidos en su mayoría por capas de loditas y arcillolitas, y entre ellos capas de arena separadamente distribuidas a diferentes profundidades. Esas capas de arena forman acuíferos del cuaternario. Los parámetros hidráulicos de los acuíferos cuaternarios en los puntos de perforados fueron analizados del resultado de la prueba de bombeo. De los pozos exploratorios se obtuvo que la capacidad de producción de cada pozo es de 500 m³/día por pozo. Esto prueba que el cuaternario es un acuífero excelente. En el Área de Estudio aproximadamente cerca del 80% del bombeo de agua subterránea se hace de acuíferos cuaternarios.

Pozos exploratorios del cretáceo: Cuatro pozos exploratorios del cretáceo han sido perforados en la ciudad de Bogotá. Las características hidrogeológicas y los parámetros hidráulicos de los acuíferos cretáceos fueron analizados. La producción de los cuatro pozos es de más de 3,000 m³/día por pozo, lo que prueba que el acuífero cretáceo de los cerros orientales es extremadamente bueno. En el pasado, no había pozos profundos en el acuífero cretáceo, en los cerros orientales. Hoy día la información hidrogeológica de estos pozos perforados en esta zona está disponible y es de gran importancia.

<Observación del nivel de las aguas subterráneas>

La observación de los niveles de agua subterránea se llevó a cabo utilizando dos métodos, i) observación simultánea de niveles de agua subterránea y ii) observación continua de niveles de agua subterránea por medidores automáticos. La observación simultánea del nivel de agua subterránea fue llevada a cabo de la fase I y a la fase III del Estudio, que da información de los niveles de aguas subterráneas en diferentes estaciones (seca o húmeda), lo que nos muestra los niveles de agua subterránea en estaciones secas y húmedas. Basados en todos los resultados de los estudios hechos por el Equipo de Estudio y su contraparte colombiana, mencionados anteriormente, se trazaron contornos de nivel para los acuíferos cuaternario y el cretáceo, que cubren toda el Área de Estudio. De otro lado, el Equipo del Estudio realizó observaciones de los niveles de las aguas subterráneas utilizando medidores de registro automáticos, para conocer la fluctuación estacional de los niveles de agua subterránea. Los resultados muestran que el nivel del agua subterránea en la Sabana de Bogotá, el cual se dice que está descendiendo, ya se ha estabilizado.

<Prueba de calidad de aguas para los pozos >

Se realizaron pruebas de calidad de los pozos en 6 áreas de análisis (por ejemplo, pesticidas), en aproximadamente 100 pozos, cubriendo la totalidad del Área de Estudio en esta fase. Los resultados revelan que las aguas subterráneas tienen altas concentraciones de hierro, manganeso, amonio, sulfuro de hidrógeno, bario y E. Coli, en un área amplia. Existe la hipótesis de que el hierro, manganeso, amonio y el sulfuro de hidrógeno se originan de las condiciones geológicas del área. De otra parte, no hay señales de contaminación agrícola o industrial. El análisis geoquímico muestra que el agua subterránea se mueve de los bordes del Área de Estudio, hacia el centro de la misma. Estos resultados, coinciden con los resultados de la simulación del agua subterránea.

<Análisis isotópico>

Se estima que la edad del agua subterránea está entre los 1.700 y los 33.000 años. Aunque pueda ser menor que lo esperado, no hay agua menor de 40 años. El análisis de deuterio y oxígeno-18 indica que el agua subterránea se origina en la precipitación.

<Inventario de pozos>

El inventario de pozos se hizo en la totalidad de los pozos sobre los que existía información en el Área de Estudio. El Equipo de Estudio recolectó información de pozos con la CAR, DAMA,

E INGEOMINAS, y esos datos fueron compilados y analizados para obtener las características de los pozos en el Área de Estudio. De acuerdo a los resultados obtenidos por el inventariado de pozos, se estima que el número total de pozos en el Área de Estudio es cerca de 7.081, y el total de producción de los pozos es 320.000m³/día, o (3.7m³/s). Es decir, el 78% del total producido es extraído de acuíferos cuaternarios y solo un 19% de acuíferos cretáceos. La mayor parte del agua subterránea es bombeada del acuífero cuaternario en el centro y occidente de la Sabana y se considera que la mayoría del agua es usada en la agricultura y la producción de flores. De este resultado, se confirmó de nuevo que en el Área de Estudio, el desarrollo actual del agua subterránea ha estado centrado solamente en acuíferos cuaternarios. Por el contrario, el acuífero cretáceo no ha sido aún totalmente desarrollado hasta ahora, comparado con su alta capacidad de producción.

<Observación meteorológica>

El Equipo de Estudio instaló 11 estaciones de observación meteorológica en el Área de Estudio, para reforzar la red meteorológica existente. Los 11 sitios están localizados en su mayoría en las montañas y cerros donde la información no era suficiente o no existía. La 11 estaciones se encuentran incluidas dentro de una red de trabajo de observación meteorológica existente, y contribuirán a la observación meteorológica, suministrando información de suma importancia sobre las montañas y cerros del Área de Estudio.

(3) Estudio Piloto

El grupo de estudio llevó a cabo un estudio piloto de recarga artificial en el sitio denominado Vitelma que está localizado en los cerros orientales del Área de Estudio. El agua excedente del río se inyecta a los acuíferos por medio de un pozo de recarga artificial, y el agua subterránea almacenada en el acuífero podría ser extraída cuando sea necesario. La recarga artificial de agua subterránea tiene como propósito lo antes citado. El estudio piloto en Vitelma se hizo para calcular la cantidad de agua que puede ser inyectada en el acuífero del Cretáceo en ese punto. De los resultados del Estudio Piloto se concluye que el acuífero del Cretáceo de los cerros orientales tienen una capacidad más alta de inyección de agua que de bombeo.

(4) Elaboración de una base de datos SIG

El Equipo de Estudio ha preparado una base de datos SIG que tiene como propósito apoyar las actividades de campo del Equipo de Estudio, y manejar dicha información que estará bajo control de una institución. Hasta ahora, las organizaciones relacionadas con aguas subterráneas en Colombia han manejado sus propios datos y nunca los han compartido con otras organizaciones. Una vez se complete el estudio SIG, otras organizaciones que tienen relación con las aguas subterráneas estarán en capacidad de usar libremente. Del mismo modo, la visualización de datos SIG hace que la base de datos sea mas practica de usar. Por otra parte, la información SIG ha venido soportando las actividades del Equipo de Estudio. SIG se usa como ayuda en muchos campos: para el manejo, análisis y visualización de los datos obtenidos por la Misión como una herramienta para muchos trabajos de análisis tales como simulaciones de aguas subterráneas, cálculos de balance hídrico y análisis meteorológicos.

(5) Evaluación preliminar del potencial de agua subterránea

<Análisis hidrogeológico>

El Equipo de Estudio realizó secciones geológicas que cubren la mayor parte del departamento de Cundinamarca, con el propósito de implementar la simulación de agua subterránea. Basándose en las secciones geológicas, se formularon modelos tridimensionales de acuíferos cubriendo la mayor parte del Departamento de Cundinamarca. Adicionalmente, el Equipo de Estudio hizo secciones geológicas más detalladas del Área de Estudio. Basados en las

secciones geológicas, los modelos tridimensionales de acuíferos, fueron diseñados para el Área de Estudio. Los parámetros de los acuíferos se analizaron del resultado de las pruebas de bombeo existentes. El Equipo de Estudio examinó el mecanismo de recarga de agua subterránea. El mecanismo fue asumido así: “Precipitación en el Área de Estudio”
“Infiltración de agua lluvia en el suelo” ”Infiltración vertical a acuíferos profundos”
”Flujo de agua subterránea dentro de los acuíferos” ” Agua subterránea que fluye fuera del Área de Estudio”.

<Balance hídrico y recarga de agua subterránea>

El Equipo de Estudio realizó un análisis de balance hídrico y estimó la recarga de agua subterránea basándose en el resultado de este análisis. El análisis de balance hídrico fue hecho en todas las cuencas del área de estudio. En el análisis del balance fueron calculadas la precipitación, la descarga del río, la evapo-transpiración real y humedad del suelo; la recarga de agua subterránea fue estimada con base en los parámetros anteriormente citados. Para la estimación de la evapo-transpiración real, se realizó una simulación del balance hídrico, utilizando un modelo de suelos. A partir de estos resultados, la evapo-transpiración real fue expresada como función de la precipitación, humedad del suelo, y de la evapo-transpiración potencial. De los resultados del análisis del balance hídrico, se calculó la recarga promedio en la Sabana de Bogotá y/o Área de Estudio de agua subterránea en 144 mm/año (19,5 m³/s).

<Simulación de agua subterránea>

El Equipo de Estudio realizó dos tipos de simulación, i) simulación de agua subterránea de un área mayor a la del Estudio, y ii) simulación de agua subterránea del Área de Estudio.

Simulación de agua subterránea del área grande: el Equipo de Estudio hizo un modelo de simulación que incluyó la mayoría del departamento de Cundinamarca y simuló el agua subterránea para examinar las condiciones de flujo en el área grande. En la formulación del modelo, fue diseñado un modelo geológico tridimensional, entonces se asumió un valor de la recarga para el modelo. De acuerdo al resultado de la simulación se concluyó que, el agua subterránea del Área grande está conectada con las aguas subterráneas que salen del Área de Estudio. Aun más, el agua subterránea del Área de Estudio está involucrada en el sistema de flujo del agua subterránea que se origina en el área de estudio y se extiende hacia el suroeste hasta alcanzar el río Magdalena.

Simulación de agua subterránea del Área de Estudio: el Equipo de Estudio llevó a cabo una simulación de agua subterránea en el Área de Estudio. En la formulación del modelo, se hizo un modelo geológico tridimensional, y le fueron dados los parámetros de los acuíferos. Las condiciones de frontera fueron dadas al modelo basándose en los resultados de la simulación de agua subterránea del área mayor, y la distribución actual de pozos con sus bombeos. Además se incluyó, el estimado de recarga del agua subterránea de 144mm/año, el cual fue calculado con base al análisis del balance de agua. Entonces, se reprodujeron los niveles agua subterránea del Área de Estudio por simulación, para la juzgar la precisión del estimativo de recarga de agua subterránea. De acuerdo al resultado de la simulación, se concluyó que el estimado de recarga de agua subterránea de 144mm/año es razonable.

<Potencial de desarrollo de agua subterránea>

El resultado del estudio hasta el momento muestra que el potencial de desarrollo de aguas subterráneas del Área de Estudio es de 144mm/Año (19.5m³/s). En el pasado, Se decía que el agua subterránea del Área de Estudio no estaba fluyendo. Sin embargo, de este estudio se confirma que la fuente de agua subterránea del Área de Estudio es renovable y recibe agua de recarga de la precipitación. Por tanto, la estimación de recarga de agua de 144 mm/año, podría

llamarse el potencial máximo de desarrollo sostenible de agua subterránea en el Área de Estudio. Sin embargo, si se desarrolla el 100% del agua subterránea, ocurrirá un considerable descenso del nivel freático, que afectará los pozos existentes. La relación presente de agua subterránea / uso (agua subterránea - uso ÷ recarga de agua subterránea) por cuenca, tiene su mayor valor en un 65% (en la cuenca de Chicú). Considerando la situación actual del nivel de agua subterránea, se puede decir que un descenso del nivel del agua subterránea es permisible. Por lo tanto, se propone que el rendimiento seguro sea menor de un 60% de la recarga de agua subterránea, lo cual corresponde a una tasa más alta del uso actual del agua subterránea.

(6) Desarrollo de aguas subterráneas, conservación y plan de administración

< Política básica del Plan >

Desarrollo óptimo de aguas subterráneas correspondiente a un rendimiento seguro

En el nuevo plan de desarrollo de aguas subterráneas, los pozos de producción deben diseñarse considerando el rendimiento seguro (60% de la recarga de aguas subterráneas) de la cuenca de la que el nivel de las aguas subterráneas será afectado por este desarrollo de aguas subterráneas. La cantidad de aguas subterráneas producidas por medio del nuevo desarrollo debe ser menor del rendimiento remanente seguro (= rendimiento seguro – tasa de bombeo actual) por cuenca. Debe planearse bien el desarrollo de aguas subterráneas de escala pequeña/media que causar sólo una pequeña influencia, considerando el rendimiento seguro restante por cuenca. El desarrollo de aguas subterráneas de gran escala, que puede causar una influencia grande a otras cuencas debe planearse considerando el total del rendimiento seguro restante de estas cuencas.

- * **Cuaternario:** el acuífero cuaternario es clasificado en dos áreas, i) aquella donde las aguas subterráneas ya se han desarrollado totalmente, y ii) área con desarrollo actual pequeño. En áreas de desarrollo completo, un nuevo desarrollo de aguas subterráneas debe estar sujeto a restricciones, y la conservación de las aguas subterráneas es necesaria para continuar su uso actual. Por otro lado, en áreas con poco desarrollo de aguas subterráneas actual, debe promoverse el desarrollo de las aguas subterráneas dependiendo de su demanda de agua futura.
- * **Terciario:** Sólo un poca cantidad de agua puede bombearse de los pozos del acuífero del Terciario. El desarrollo de aguas subterráneas en pequeña escala es posible en el futuro en este acuífero del Terciario, de la misma manera que se puede actualmente.
- **Cretáceo:** el sistema Cretáceo del Área de Estudio se extiende por las montañas y cerros y en toda la parte profunda de la Sabana de Bogotá. Este sistema del Cretáceo tiene alta capacidad de producción de agua subterránea. Sin embargo, el desarrollo de aguas subterráneas del cretáceo, hasta ahora en cada cuenca del Área de Estudio, es pequeño. Se concluye que el acuífero del Cretáceo es muy prometedor para nuevos proyectos de desarrollo de aguas subterráneas. Sin embargo, el desarrollo de aguas subterráneas del acuífero del Cretáceo profundo tendrá un alto costo y riesgos considerables. Por otro lado, el desarrollo de aguas subterráneas del acuífero Cretáceo que se distribuye por montañas y cerros, tiene pocos riesgos y altas posibilidades. Por consiguiente, los nuevos proyectos de desarrollo de aguas subterráneas de acuíferos del Cretáceo deben llevarse a cabo en las montañas y cerros de la Sabana de Bogotá dependiendo de la demanda de agua. Como el acuífero del Cretáceo se distribuye en toda el Área entero de Estudio y tiene alta capacidad de producción, este acuífero es conveniente para el desarrollo de las aguas subterráneas de gran escala. Es más, el acuífero Cretáceo se extiende más allá de las cuencas de ríos, por tanto, a veces las aguas subterráneas pueden desarrollarse más allá del rendimiento seguro de las cuencas donde se localizan los sitios de desarrollo de aguas subterráneas.

Política básica de desarrollo de las aguas subterráneas por cuenca

- * **Área de alta utilización de aguas subterráneas (tasa de uso presente de aguas subterráneas mayor del 40%):** en esta área, un nuevo desarrollo de aguas subterráneas debe estar sujeto a restricciones. Es más, la conservación de las aguas subterráneas es necesaria para poder continuar con el uso actual de las aguas subterráneas.
- * **Área de utilización media de las aguas subterráneas (tasa actual de uso de aguas subterráneas es de 20 a 40%):** aún hay un potencial de desarrollo de aguas subterráneas en estas áreas. Sin embargo, es necesario planear cuidadosamente un nuevo desarrollo de aguas subterráneas basándose en el manteniendo un rendimiento seguro. Al mismo tiempo, debe formularse un plan de conservación de aguas subterráneas.
- * **Área de baja utilización de las aguas subterráneas (tasa actual de uso de las aguas subterráneas está en menos del 20%):** en esta área, la cantidad actual de bombeo de agua es mucho menor que el rendimiento seguro. Debe promoverse un desarrollo de aguas subterráneas dependiendo de la demanda de agua de esta área.

Política básica del plan de conservación de aguas subterráneas

El plan de conservación de aguas subterráneas se propone para cada área como ilustramos en seguida:

- Area donde la tasa de uso de aguas subterráneas es media a alta.
- Area donde se planea un desarrollo de aguas subterráneas de gran escala
- **Area donde la tasa de uso de aguas subterráneas es media a alta.:** la parte central y occidental de la Sabana de Bogotá están clasificadas en esta área. La producción agrícola es alta y la tasa de uso de aguas subterráneas también es alta en esta área. La conservación de las aguas subterráneas es necesaria para continuar con el uso actual de las aguas subterráneas. El método de conservación se propone es el que describimos como sigue:
 - **Recarga artificial de agua subterránea:** la recarga de aguas subterráneas se propone para compensar el almacenamiento de aguas subterráneas del acuífero cuaternario que se ha consumido por bombeo o extracción. Se almacenará el agua excedente de ríos tributarios aguas arriba de la Sabana de Bogotá central y occidental, estableciendo estanques o piscinas de sedimentación. Esta agua se inyectará al acuífero cuaternario a través los pozos de recarga. Esta recarga artificial contribuirá a la estabilización del suministro de agua para uso en agricultura en la Sabana de Bogotá.
 - **Aligeramiento de la carga de uso de aguas subterráneas:** para aligerar la carga en el uso de agua proveniente de aguas subterráneas, deben promoverse las contra-medidas enunciadas a continuación: uso de agua de otras fuentes para la producción de flores (reutilización de agua drenada, incrementar el uso de aguas lluvias y agua del río Bogotá, cambio de sitio para nuevos proyectos de producción de flores, impulsar estudios para mejorar la eficacia de la irrigación.
- **Area donde se planean desarrollos de aguas subterráneas de gran escala:** La recarga de agua subterránea al acuífero Cretáceo utilizando aguas lluvias es limitada, aunque el acuífero del Cretáceo tenga una productividad alta. Por consiguiente, en desarrollo de las aguas subterráneas de gran escala, la recarga artificial debe hacerse usando agua excedente de río, para minimizar la influencia del desarrollo.

< Proyección de la demanda de aguas subterráneas >

Sistema de Abastecimiento de la EAAB

El sistema de abastecimiento de agua de la EAAB en el año 2001 fue de 14,6m³/segundo, lo cual equivale al 56% de la capacidad productiva para todo el año 2001. (Esta capacidad ha crecido a 26,3 m³/segundo en el año 2001, debido a la recientemente inaugurada planta de El Dorado). El volumen de suministro de agua ha declinado debido a la disminución del consumo causado por 1) un alza abrupta de las tarifas, 2) una reducción en la presión de traspaso de agua, 3) una campaña para ahorrar agua y 4) la desaceleración económica nacional. La capacidad de producción se había considerado satisfactoria hasta el año 2015, cuando se llegue a la más alta demanda, de acuerdo con la proyección hecha, la EAAB, en el momento, mantiene una capacidad suficiente versus la demanda actual y presente, hasta el año 2015. No obstante, la EAAB depende, para casi la mitad de su capacidad productiva de la planta de Wiessner, cuyos recursos hídricos se encuentran localizados en un sitio bastante lejano. Por lo tanto, la planta es considerada vulnerable en caso de desastres naturales, y esto hace que exista una gran preocupación por desarrollar y mantener un nivel confiable y seguro de agua para emergencias, como sequías que le puedan ocurrir al río Bogotá y a otros ríos, que son también fuentes valiosas de agua para la EAAB.

Demanda del Agua Subterránea en el Área de Estudio

Aguas subterráneas se usa, para uso doméstico en 12 municipios (39% de todos los municipios), para uso no doméstico en 18 municipios (58%), para la irrigación de flores en 24 municipios (77%) y para la irrigación agrícola en 20 municipios (71%). Se supone que el uso de la irrigación sería el más predominante en el Área del Estudio. Las 3 áreas con la mayor demanda de aguas subterráneas y por cuenca, son: 1) la cuenca de Río Subachoque (2), 2) Cuenca del Río Chicú, y 3) y la cuenca del río Bogotá, cuenca (3) Oeste. La demanda de agua subterránea se estima en 403.000 m³/día (4,65m³/s) para el año designado 2015, basándose en la tendencia actual de uso de las aguas subterráneas.

Demanda de agua en el area del Plan de Desarrollo y Conservación

- * **Desarrollo de aguas subterráneas y Plan de Conservación para los cerros Orientales:** el área de Desarrollo consta de 2 áreas: los cerros orientales de la Ciudad de Bogotá y la Parte Norte de los cerros orientales. Los cerros orientales de la Sabana de Bogotá se componen de 3 áreas; 1) cerros orientales de la Ciudad de Bogotá, 2) las colinas de Suba y 3) las colinas de Soacha. La población del Área se estima alcanzará las 750,000 personas en año 2015, o sea el 7% de la población total de la ciudad de Bogotá D.C. y Soacha. La demanda de aguas subterráneas en los cerros orientales de la Ciudad de Bogotá se estima en 1.145m³ en el año 2015. Por otro lado, el volumen de aguas subterráneas desarrolladas en la parte norte de los cerros orientales está planeado en 1 m³/segundo. El volumen de desarrollo beneficiará a 750.000 personas. Así, la demanda de agua total para estas 2 áreas se estima en 2.611 m³/segundo en el año 2015.
- * **Plan de conservación del recurso de las aguas subterráneas para el centro de la Sabana de Bogotá:** El plan de conservación del recurso de las aguas subterráneas para el centro de la Sabana de Bogotá contiene 6 cuencas de ríos. En el área, la floricultura y la agricultura convencional demandan grandes volúmenes de aguas subterráneas. Dicha demanda se estima llegará a los 2.611 m³/segundo en el año 2015.

< **Desarrollo y plan de conservación de aguas subterráneas** >

Proyecto de desarrollo de aguas subterráneas y de Conservación para los cerros orientales de la Sabana de Bogotá (Proyecto Oriental)

- * **Área del Proyecto:** las áreas de este proyecto se localizan en los cerros orientales, e incluyen el área de Soacha, Vitelma, San Diego, Santa Ana y el área de Chicó, cerros del área Norte, Yerba Buena y área de Suba.
- * **Propósito del proyecto:** este proyecto es una obra pública para el mejoramiento ambiental, y con el propósito de suministrar agua y mejorar el ambiente de agua.
 - **Suministro de agua para la ciudad de Bogotá:** para asegurar un suministro de agua estable para la Ciudad de Bogotá, se desarrollará en el proyecto propuesto un flujo de agua subterránea de 2 m³/segundo (para uso diario normal: todo el Año) y de 4 m³/segundo (para emergencias: durante 6 meses, una vez/15 años).
 - **Mejoramiento del medio ambiente de las aguas:** el nuevo desarrollo de aguas subterráneas, para el suministro disminuirá el agua captada en la planta de tratamiento de Tibitoc. Esta toma de agua aumenta la descarga neta del río Bogotá y contribuirá a la mejora de la calidad de agua del río Bogotá. La descarga aumentada del río Bogotá i) aumentará el oxígeno disuelto y contribuirá a la mejoría de la calidad del agua aguas abajo de la planta de purificación Tibitoc, y ii) contribuirá a aumentar la generación hidroeléctrica de la estaciones y centrales eléctricas (el funcionamiento actual es de 20m³/s durante todo el año) que se localiza en la parte más baja de la Sabana de Bogotá.
 - **Contenido del Proyecto:** se diseñan pozos de producción para lograr el propósito del proyecto considerando el potencial de las aguas subterráneas y diseñar la demanda de agua. Se diseñan pozos de recarga artificial para la conservación de aguas subterráneas de esta área. En esta área, una cantidad total de 0.5m³/s puede usarse para la recarga artificial, que es tomada actualmente por la planta de tratamiento de Vitelma, ubicada en el río San Cristóbal y en la planta de San Diego, en el río San Francisco. Esta agua se convertirá en agua excedente para la recarga artificial, porque se ha decidido que ambas plantas estén fuera de uso. Sin embargo, en caso de emergencia, se usarán pozos de recarga como pozos productivos.

Tabla-1.2 Plan de pozos del Proyecto Oriental

Área	Acuífero	Tamaño de pozo	Número de pozos	Capacidad máxima (m3/segundo)
Cerros Norte, Santana/Chico, área de Suba. Se perforarán nuevos pozos al lado del tanque existente para suministro de agua	Cretáceo	Longitud de pozo: 300m Diámetro pozo: 10 pulgadas Rendim...: 3.000m3/día/pozo Inyecc.: 3.000m3/día/pozo	12	0.42
Área de Soacha. Se perforarán nuevos pozos al lado del tanque existente para suministro de agua.			8	0.28
Áreas de Vitelma y San Diego.			Pozos de produc: 13 Pozos de recarga: 13	0.45
Cerros de Yerba Buena, al norte de la ciudad de Bogotá.			30	1.04
Total			Pozos de produc: 63 Pozos de recarga: 13	<Producción> Usual: 2.19 Emergencia: 4.00 < Recarga > Usual: 0.45

* **Beneficiarios del Proyecto:** la Población de beneficiarios directos por el suministro de agua de este proyecto será de 1,3 millones de personas. La población de beneficiarios por suministro de agua en caso de la emergencia está en más de 7,7 millones, la misma población a quienes la EAAB les suministra el agua.

Plan de conservación de aguas subterráneas en el área de uso intensivo en la Sabana de Bogotá (Proyecto Occidental)

* **Área del proyecto:** el Área de este proyecto es la cuenca del río Subachoque, la cuenca del río Chicu, la cuenca del río Frio y el área a lo largo del alcance medio aguas abajo del río Bogotá, donde las aguas subterráneas son muy usadas. Estas áreas están en el occidental y centro de la Sabana de Bogotá, donde más de 6,000 pozos bombean extrayendo agua subterránea del acuífero Cuaternario. En años recientes, el bombeo y/o extracción excesiva ha sido muy notorio en estas áreas.

* **Propósito del proyecto:** este proyecto es una obra pública para el medio ambiente, con el propósito de mejorar la calidad del agua como explica en los siguientes párrafos:

- **Recarga de aguas subterránea:** los propósitos de este proyecto son: 1) uso sostenido de las aguas subterráneas sin ningún problema, 2) acumulación de la agua subterránea potencial, para un uso adicional de estas aguas subterráneas donde son muy usadas para irrigación y producción de flores.
- **Aligeramiento de la carga de uso de aguas subterráneas:** para aligerar la carga en el uso de agua proveniente de aguas subterráneas, en áreas donde las aguas subterráneas

son altamente utilizadas, debe promoverse la investigación y el desarrollo de tecnologías, hasta lograr un nivel práctico. Este estudio debe incluir: 1) la utilización de una fuente alterna como recurso hídrico para irrigación y producción de flores. 2) Mejoramientos en la eficiencia de la irrigación.

* **Contenido del Proyecto:** para lograr los propósitos del proyecto, deben llevarse a cabo dos subproyectos, a saber, 1) proyecto de recarga de agua subterránea y 2) investigación y desarrollo de tecnologías para el uso de las aguas subterráneas.

- **Proyecto de recarga de agua subterránea:** la recarga artificial debe llevarse a cabo en la parte alta (aguas arriba) del área donde se encuentran los pozos de bombeo. El recurso hídrico para la recarga artificial es agua, aguas arriba de las cuencas de los ríos Subachoque, Chicu y Frío. En estas áreas, el agua de los ríos es frecuentemente utilizada. Por consiguiente, debe usarse, para la recarga artificial, agua excedente de inundaciones, que se producen durante las estaciones lluviosas.

Tabla-1.3 Proyecto del plan de pozos de Occidente

Área	Acuífero	Tamaño de pozo	Número de pozos de recarga	Capacidad máx. de recarga
Cuenca río Subachoque	Cuaternario	Longitud de pozo: 300m	8 pozos en 4 sitios	0,14
Cuenca río Chicu		Diámetro pozo: 10 pulgadas	10 pozos en 5 sitios	0,18
Cuenca río Frío – aguas arriba		Rendim.: 3.000m ³ /día/pozo Inyecc.: 1.500m ³ /día/pozo	10 pozos en 5 sitios	0,18
Total			28 pozos en 14 sitios	0,50

- **Investigación y desarrollo de tecnología para el uso de aguas subterráneas:** la tecnología para el uso sostenible de las aguas subterráneas debe investigarse y desarrollarse para aligerar la carga sobre el uso de las aguas subterráneas en el Área del Proyecto.
 - Reutilización de agua drenada en la irrigación
 - Incrementar el uso actual de agua lluvia para irrigación
 - Uso de agua del Río Bogotá para irrigación
 - Para nuevos proyectos de floricultoras moverse a nuevos sitios.
 - Mejoramiento de eficacia de la irrigación

* **Beneficiarios del proyecto:** la población beneficiada con este proyecto alcanza las 200 mil personas que pertenecen al sector agrícola.

< Plan de Monitoreo >

El monitoreo de las aguas subterráneas es necesaria para su conservación. Los ítems de monitoreo deben ser: los niveles de aguas subterráneas, producción de los pozos y calidad de aguas subterráneas. El plan de supervisión se resume en la tabla-1.4. Los pozos de monitoreo deben seleccionarse siguiendo los siguientes ítems:

Tabla-1.4 Plan de monitoreo

Item	Número de supervisiones	Frecuencia de observación	Sitio de observación	Propósito de supervisión	Organización a cargo
Nivel de las aguas subterráneas	12	Medidor automático	Pozos cuaternarios	- Fluctuación de nivel de aguas subterráneas a largo plazo en la Sabana de Bogotá. - Resultado de recarga artificial en la Sabana de Bogotá	EAAB
	10	Medidor automático	Pozos del Cretáceo	- Influencia de desarrollo de aguas subterráneas en Cerros orientales - Efecto de recarga artificial en cerros orientales	EAAB
	Aproximadamente 300	4 veces /año	Pozos de monitoreo de la CAR	- Influencia por recarga artificial en Sabana de Bogotá - Nivel de aguas subterráneas de Bogotá	CAR
	280	Una vez/mes	Pozos monitoreados por el DAMA	- Influencia por desarrollo de aguas subterráneas en Cerros orientales	DAMA
Rendimiento	Aprox. 300	4 veces /año	CAR	- Rendimiento	CAR
	Aproximadamente 280	Una vez/ mes	Pozos registrados con el DAMA	- Rendimiento	DAMA
Calidad de aguas	20	Dos veces/año	Los 100 sitios de muestreo de del análisis calidad agua de JICA	- Cambio de calidad de agua en la Sabana de Bogotá	CAR
	10	Dos veces/año	- Pozos cerca a pozos de recarga artificial en cerros orientales - Pozos cerca a pozos de recarga artificial en Sabana de Bogotá	- Cambio de calidad de agua por recarga artificial	DAMA EAAB
Subsistencia	12	Dos veces/año	12 pozos cuaternarios con medidores automáticos de JICA	Subsistencia por descenso de nivel de las aguas subterráneas	CAR DAMA

< Instituciones y Operación & Mantenimiento >

< Los recursos hídricos y la administración de las aguas subterráneas >

* **Establecimiento de la comisión conjunta para la administración de cuencas y Comisión Técnica para la administración de las aguas subterráneas:** se requiere el establecimiento de una comisión conjunta, como define la Ley 1604 de 2002. Es recomendable el establecimiento de la comisión técnica, bajo las órdenes y como apoyo de la comisión conjunta. La Comisión Técnica estará a cargo de lo siguiente:

- Integrar, monitoreos (el volumen de agua extraída, el nivel de agua y su calidad), las actividades y valoración del potencial de las aguas subterráneas y su disponibilidad.
- Colectar y analizar información y estimar el presente y futuro de la demanda de aguas subterráneas.

- Elaborar bosquejos de estándares técnicos y guías para la administración de las aguas subterráneas.
- Llevar a cabo investigaciones y recomendaciones sobre medidas para la protección de las aguas subterráneas, su conservación y desarrollo.

Los miembros de la Comisión Técnica serían representantes o personal especializados en hidrogeología de i) la CAR, ii) el DAMA, así como, otros institutos nacionales iii) IDEAM, iv) INGEOMINAS, v) Usuarios principales, (EAAB, ASOCOLFLORES), vi) la Asociación colombiana de hidrogeólogos, así como vii) las compañías perforadoras.

- * **Operación del monitoreo y la evaluación:** la medición y actividades deben ser llevadas a cabo por las entidades que monitorean los pozos. La Comisión Técnica debe llevar a cabo el análisis y evaluación de los datos obtenidas de la supervisión. La Comisión Técnica debe desarrollar un sistema de información y una base de datos que compartida por las entidades a cargo del manejo. En cuanto a los datos sobre volumen extraído, sería necesario compilar datos enviados por los usuarios al sistema de monitoreo. Es necesario fomentar esto entre los usuarios, para que se instalen medidores y se envíen datos sobre volúmenes de agua extraída a la comisión técnica.
- * **Zonificación y establecimiento de tarifas para el control de la Demanda y el ahorro de aguas subterráneas:** Para mantener un control eficiente de la demanda y conservar el recurso hídrico, mediante la promoción del ahorro en el uso del agua, los precios del agua deben tomar en cuenta las condiciones de la relación demanda - suministro. La Comisión Técnica debe preparar el proyecto de zonificación y tarifas basados en los resultados del Estudio y en el monitoreo y evaluación, para la aprobación por parte de la entidad que maneja el recurso.
- * **Promoción de registro de pozos y establecimiento de registro de compañías perforadoras:** es necesario llevar a cabo una investigación sobre los pozos no registrados y permitir que los usuarios o dueños registren, en cada caso, si los mismos se encuentran en uso, o tomar la determinación de eliminar los pozos de los registros, en caso de que los mismos estén fuera de uso. Para llevar a cabo esta investigación y ejecución de tareas, es necesario definir los procedimientos legales, así como llevar a cabo los arreglos legales para dar al personal de CAR y DAMA, o contratistas, el estatus legal y derechos como pasar a privados las tierras y edificios.

Para los pozos que se han de perforar, es recomendable crear un sistema de registro de perforadores, para poder así desarrollar una solicitud adecuada para perforar los pozos, ejecutar los trabajos de construcción y las pruebas de bombeo; y las solicitudes para la extracción de aguas subterráneas. Cada persona que quiera hacer un trabajo de perforación, tiene que solicitar su registro. En caso de que se ejecuten algunas acciones ilegales, como perforar sin solicitud o permiso, trabajos de construcción que no se ciñan a los planos permitidos, manipulación de datos de pruebas de bombeo, se descubran, el registro se revocará y la persona no podrá perforar durante cierto periodo.

- * **Solicitud de derechos de uso del agua para recarga artificial:** Para los proyectos de recarga artificial, el sistema de derechos de agua recomendable es, que la solicitud no se haga cuando se vaya a inyectar el agua superficial, sino cuando se extraiga agua de las fuentes subterráneas, se haga la solicitud, según el volumen a utilizar. Los proyectos de recarga artificial no se deben considerar como proyectos que utilicen agua, sino como proyectos para conservar las aguas subterráneas, o para aumentar la disponibilidad del recurso de aguas subterráneas como opción.

Investigación y desarrollo para lograr una tecnología eficiente en el uso de aguas subterráneas

Dicho proyecto debe ser llevado a cabo por la Corporación Autónoma Regional, CAR y por ASOCOLFLORES. Las dos organizaciones deben establecer inmediatamente una unidad conjunta para la implementación del proyecto. La implementación inmediata del estudio de factibilidad del proyecto debe ser dirigida por la unidad conjunta.

Los derechos al uso del agua, así como el impuesto suplementario sobre la propiedad inmueble destinados a la conservación de los recursos naturales ambientales y renovables, y que han de cobrarse a los usuarios, deben invertirse en la conservación del recurso hídrico. Cualquier fondo adicional debe ser complementado obtenidos por las dos organizaciones.

Desarrollo del recurso humano

- * **Transferencia tecnológica a través de este Estudio y del Estudio de Factibilidad, aplicando los esquemas de entrenamiento de JICA:** la metodología adoptada en este Estudio y sus resultados deben ser estudiados más adelante por las personas que conforman su contraparte en Colombia. A través del estudio de factibilidad solicitado al Gobierno de Japón, las entidades a cargo de la administración de las aguas subterráneas y su desarrollo, deben aprovechar la oportunidad para lograr una transferencia tecnológica de los expertos que sean despachados al país. Puesto que JICA tiene ya preparados varios cursos de entrenamiento, las entidades a cargo de la administración y desarrollo de las aguas subterráneas pueden utilizarlos para que se produzca la transferencia tecnológica.
- * **Enseñanza mutua a través de las actividades en la Comisión Técnica:** la actualización técnica puede hacerse a través de las actividades de la Comisión Técnica recomendadas en este informe, mediante el intercambio de información y la edificación mutua entre los miembros de la comisión. Se pueden llevar a cabo seminarios para las compañías perforadoras, dirigidos por la Comisión Técnica, que no sólo pueden contribuir a actualización técnica sino también al buen desarrollo de las aguas subterráneas.
- * **Becas:** para la actualización técnica al nivel más alto en el campo de la hidrogeología, las becas puede recomendarse para el personal joven de la CAR, DAMA, etc., para estudiar en cursos de máster o Ph.D. en universidades colombianas o extranjeras. Puede proponérsele al IDEAM que dé la oportunidad al personal de todo el país a cargo de la administración de las aguas subterráneas, preparando un esquema, especialmente para becar a aquéllos que quieran estudiar en el extranjero. Las becas deben reembolsarse cuando el becario deje las entidades públicas o la administración de recursos hídricos, dentro de un cierto periodo, digamos cinco a diez años, una vez hayan terminado sus estudios.

< Diseño y estimación de costos >

Las instalaciones necesarias para los dos proyectos propuestos: (1) proyecto de desarrollo de las aguas subterráneas en los cerros orientales de la Sabana de Bogotá (Proyecto Oriental) y (2) proyecto de conservación de las aguas subterráneas en área donde hay una alta utilización estas aguas subterráneas en la parte occidental de la Sabana de Bogotá (Proyecto Occidental). Se muestran en la tabla-1.5. El costo para los dos proyectos se estimó como se muestra en la tabla-1.6.

Tabla-1.5 Instalaciones para los proyectos

Proyecto	Instalaciones
Proyecto oriental	Pozo de producción/recarga, bomba sumergible, instalaciones eléctricas, instalaciones de purificación, tubería, carretera de acceso, sitio
Proyecto occidental	Presa, canal y estanque de sedimentación, instalaciones de purificación, tanque regulador, pozo de recarga, bomba sumergible, sitio

Tabla-1.6 Desarrollo y conservación de aguas subterráneas en la Sabana de Bogotá

Item	Proyecto de desarrollo y conservación de aguas subterráneas en los cerros orientales	Proyecto de desarrollo y conservación de aguas subterráneas en el área occidental de la Sabana	Total
1. Costo construcción	60,36	25,60	85,96
2. Investigación	-	9,00	9,00
3. Costo de adquisición tierra/compensación	1,65	0,20	1,85
4. Honorarios ingenier	6,04	2,56	8,60
5. Costo de administración	0,67	0,28	0,95
6. Contingencias	6,71	2,84	9,55
	75,43	40,48	115,91
Total	US\$27,9 millones	US\$15,0 millones	US\$42,9 millones
	3.770 millones de yenes japoneses	2.030 millones de yenes japoneses	6.900 millones de yenes japoneses

Nota: IVA incluido en cada ítem

Unidad: millón de Col \$

< Programa de implementación >

La organización de la implementación y consecución de fondos y el período para la implementación de los dos proyectos que fueron propuestos en este Plan Maestro, a saber: 1) proyecto de desarrollo de aguas subterráneas y conservación en los cerros orientales de la Sabana de Bogotá (Proyecto Oriental), 2) proyecto de conservación de las aguas subterráneas en el área donde las aguas subterráneas tienen un alto uso en la parte occidental de la Sabana de Bogotá (proyecto occidental), se proponen como se explica en seguida.

Proyecto de desarrollo y conservación de aguas subterráneas en los cerros orientales de la Sabana de Bogotá

El Ministerio del Medio Ambiente debe dirigir y manejar este proyecto. La organización a cargo de este proyecto debe ser la Ciudad de Bogotá. La organización de su implementación debe estar a cargo de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB). Los fondos para la implementación (75 mil millones de pesos colombianos) deben salir de la inversión en el medio ambiente de la Ciudad de Bogotá, y debe tenerse en cuenta el uso de fondos extranjeros (préstamo blando) para una parte considerable de la implementación.

Proyecto de desarrollo y conservación de aguas subterráneas en el área de alto uso de aguas subterráneas en la parte occidental de la Sabana de Bogotá

El Ministerio del Medio Ambiente debe dirigir y manejar este proyecto. La CAR es conveniente como organización que esté a cargo de este proyecto. La organización de la implementación debe ser una unidad de implementación conjunta (CAR y ASOCOLFLORES) la cual debe formarse pronto. Los fondos para su implementación (63 mil millones de pesos colombianos) deben salir de la inversión en el medio ambiente de la CAR, y deben tenerse en cuenta el uso de fondos de ASOCOLFLORES y fondos extranjeros (préstamo blando) para una parte considerable de la implementación.

Período de implementación

Antes de la implementación de los dos proyectos ambientales, 2 a 3 Años son necesarios para los trabajos de preparación (E/F y contratación de compañía consultora/constructora). Después de la preparación, deben llevarse a cabo los dos proyectos entre los años 2006 a 2014.

<Examen ambiental inicial >

Para determinar el impacto potencial debido a los proyectos propuestos, se realizó un examen ambiental, basado en procesos de selección y establecimiento de criterios. Los resultados muestran el impacto del proyecto son desconocidos y se espera que el estudio continúe.

< Evaluación del proyecto >

Evaluación económica

La evaluación económica se lleva a cabo para 1) el proyecto de desarrollo de aguas subterráneas en los Cerros orientales de la Sabana de Bogotá y 2) el proyecto de conservación de aguas subterráneas en la parte occidental de la Sabana de Bogotá, una vez se establezcan las condiciones previas para la evaluación. Las tasas de retorno interno de la inversión (TIRE) de los dos proyectos son 22% y 21%, respectivamente, y ambos proyectos se evalúan como económicamente factibles, ya que el costo de oportunidad en Colombia es 13% y los dos TIRE exceden el valor mencionado.

Evaluación financiera

*** Proyecto de desarrollo y de aguas subterráneas en los cerros orientales de la Sabana de Bogotá:**

El costo de oportunidad del capital de 14% es el criterio que EAAB usa y que aplica en esta propuesta. El TIRE se calcula como 23% y es más alto que 14%. El proyecto se evalúa como financieramente factible.

*** Proyecto de conservación de aguas subterráneas en la parte Occidental de la Sabana de Bogotá:**

Este proyecto puede proponerse para la implementación conjunta entre el Gobierno y los usuarios de las aguas subterráneas, principalmente los floricultores afiliados a ASOCOLFLORES.

Evaluación social

Los beneficios sociales de los proyectos se estiman como sigue:

*** Proyecto de desarrollo y de aguas subterráneas en los cerros orientales de la Sabana de Bogotá:**

- i) Aseguramiento de suministro de agua en casos de emergencia
- ii) Construcción de instalaciones de suministro de agua en área de escasos recursos -Soacha
- iii) Aseguramiento de agua para cuerpo de bomberos en caso de incendios forestales

*** Proyecto de conservación de aguas subterráneas en la parte Occidental de la Sabana de Bogotá:**

- i) Efecto de prevención de caída de nivel de aguas subterráneas por recarga artificial
- ii) Aumento de disponibilidad de aguas subterráneas por recarga artificial
- iii) Aseguramiento de agua para irrigación en épocas secas

- * **Ambos Proyectos:** se prevé un aumento en el empleo y una consecuente revitalización de la economía. Los efectos de incremento en el empleo se estiman en pesos colombianos es de \$1.300 millones para el proyecto de desarrollo de aguas subterráneas en los cerros orientales de la Sabana de Bogotá y Col\$.2.600 millones por el proyecto de conservación de aguas subterráneas en la parte occidental de la Sabana de Bogotá.