

8 2 7

CO 84

**DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION
FONADE**

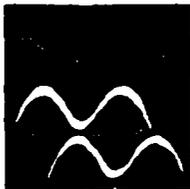
ESTUDIO NACIONAL DE AGUAS

INFORME FINAL

PRIMERA FASE

RESUMEN

Bogotá, Abril 1984



CONSULTORES

MEJIA MILLAN Y PERRY LTDA.

LD 5392

827C084-1752

**DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION
FONADE**

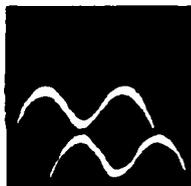
ESTUDIO NACIONAL DE AGUAS

INFORME FINAL

PRIMERA FASE

RESUMEN

Bogotá, Abril 1984



CONSULTORES

MEJIA MILLAN Y PERRY LTDA.

05392 1513 1753
027 COB4

100 5392

ESTUDIO NACIONAL DE AGUAS

VOLUMEN I

INFORME PRINCIPAL

ESTUDIO NACIONAL DE AGUAS
INFORME PRINCIPAL

INDICE DE CONTENIDO

CAPITULO		Página
1	INTRODUCCION	1
2	MARCO GENERAL DEL ESTUDIO	5
3	METODOLOGIA PARA REALIZAR LOS BALANCES	18
3.1	Cuantificación de disponibilidades	18
3.2	Demandas de agua a efectos del balance	22
3.3	Conceptualización de la cuenca para efecto de los balances	23
3.4	Operación del Modelo	25
4	DISPONIBILIDAD DEL RECURSO	28
4.1	Disponibilidad de agua superficial	28
4.1.1	Información utilizada	31
4.1.2	Regionalización de parámetros estadísticos de las series de caudales	33
4.1.3	Precipitación y evaporación	43
4.1.4	Modelo de Generación de eventos hidrológicos	46
4.1.5	Regionalización de Caudales máximos	50
4.1.6	Caudales máximos	53
4.2	Las aguas subterráneas en Colombia	54
5	USOS DEL AGUA	82
5.1	INTRODUCCION	82
5.2	Demanda Residencial por agua	85
5.3	Consumos Industriales	94
5.4	Consumo agrícola	96

5.5	Hidroelectricidad	123
5.6	Transporte fluvial	126
5.7	Pesca	128
5.8	Calidad de aguas	129
6	SISTEMA DE INFORMACION	132
7	RESULTADOS	137
8	MARCO LEGAL Y DIAGNOSTICO JURIDICO INSTITUCIONAL	160
8.1	MARCO LEGAL	160
8.1.1	Normas básicas	160
8.1.2	Funciones de las entidades del sector	161
8.1.3	Planeación y coordinación Institucional	161
8.2	Diagnóstico jurídico Institucional	165
8.2.1	Marco Institucional de manejo del recurso	165
8.2.2	La planeación en el sector hídrico	170
8.2.3	La administración de las aguas	172
8.2.4	INDERENA	173
8.2.5	HIMAT	174
8.2.6	Corporaciones Regionales de Desarrollo	176
8.2.7	INGEOMINAS y las aguas subterráneas	181
8.2.8	Conclusiones	187
9	DIAGNOSTICO DEL SECTOR	192
9.1	Consumo humano	192
9.2	Situación actual del sistema de adecuación de tierras	197
9.3	Transporte	199
9.4	Pesca	206
9.5	Calidad del agua	209
9.6	Erosión	212
9.7	Diagnóstico general	218
	<u>Apéndice "Subzonas Hidrográficas"</u>	245

ESTUDIO NACIONAL DE AGUAS
INFORME PRINCIPAL

INDICE DE CUADROS

Cuadro No.		Página
7.1	Cuencas de Orden 2. Características	145
7.2	Demanda Agrícola Media para los Meses en que ésta es más importante.A. Baja	146
7.3	Demanda Agrícola Media para los Meses en que ésta es más importante.A. Alta	147
7.4	Demanda media total. Alternativa Baja	148
7.5	Demanda media total. Alternativa Alta	149
7.6	Cuencas de tercer orden que con $P > 5\%$ tienen una relación demanda/Disponibilidad apreciable y meses en que ocurre. Alternativa con demandas bajas	150
7.7	Cuencas de tercer orden que con $P > 5\%$ tienen una relación demanda/Disponibilidad apreciable y meses en que ocurre	151
7.8	Cuencas de tercer orden que presentan déficits y meses en que ocurren. Alternativas con demandas bajas.	152
7.9	Cuencas de tercer orden que presentan déficits y meses en que ocurren	153
7.10	Calidad del agua de fuentes con información, localización de éstas y demandas para consumo humano de la cuenca respectiva	154
7.11	Calidad de agua de fuentes con información, localización y demandas para riego de la cuenca respectiva	157
9.1	Población total servida y cobertura del servicio de acueducto en cabeceras municipales. 1981	223
9.2	Cobertura por Departamento, 1981	224
9.3	Servicio de acueducto en el sector rural	225
9.4	Bogotá - Servicio de Acueducto 1982	226
9.5	Medellín - Servicio de Acueducto 1981	227

Continuación Índice de Cuadros

Cuadro No.		Página
9.6	Cali - Servicio de Acueducto 1982	228
9.7	Barranquilla - Servicio de Acueducto 1982	229
9.8	Movilizaciones Fluviales de Carga, Pasajeros y Ganado, 1982	230
9.9	Movimiento de carga Río Magdalena 1982	231
9.10	Pesca marina y continental	232
9.11	Esfuerzo Pesquero - Cuenca del Magdalena	233
9.12	Pesca Cuenca Magdalena por Temporada	234

ESTUDIO NACIONAL DE AGUAS
INFORME PRINCIPAL

	<u>INDICE DE GRAFICAS</u>	Página
Figura		
4.1	Distribución de la precipitación en el territorio nacional	78
4.2	Distribución de los isorrendimientos en el territorio nacional	79
4.3	Distribución mensual de la esorrentía	80
4.4	Distribución mensual de los coeficientes de variación	81
6.1	Sistema de Información-Estructura general	136-A
6.2	Sistema de Información-Oferta de agua	136-B
6.3	Sistema de Información-Demanda de agua	136-C
6.4	Sistema de Información-Demanda de agua	136-D
7.1	Cuencas de 1o. y 2o. orden	159
9.1	Calados - Río Magdalena	235
9.2	Localización esquemática estaciones poblaciones y afluentes río Bogotá	236
9.3	Variación de OD río Bogotá 1981	237
9.4	Variación de DBO Río Bogotá 1981	238
9.5	Localización esquemática estaciones poblaciones y afluentes río Medellín	239
9.6	Variación de OD promedio río Medellín 1981	240
9.7	Variación de DBO promedio río Medellín 1981	241
9.8	Localización esquemática estaciones con datos de calidad de agua-río Cauca CVC	242
9.9	Variación de OD río Cauca 1982	243
9.10	Variación de DBO río Cauca 1982	244

CAPITULO 1

INTRODUCCION

Este informe presenta los resultados de la primera fase del Estudio Nacional de Aguas (ENA) contratado por el FONADE con el objeto de elaborar una herramienta que sirva al planeamiento global del sector.

En el curso de la primera fase del Estudio se llevaron a cabo los estudios básicos necesarios para estimar la disponibilidad de aguas, la demanda por este recurso, la calidad de las aguas y la erosión de los suelos. También se desarrollaron los instrumentos de planeamiento a ser utilizados en la segunda fase del estudio. Los elementos anteriores permitieron realizar un diagnóstico del sector, básico para la segunda fase del Estudio en donde se llevarán a cabo los trabajos orientados a la elaboración del plan y a diseñar los mecanismos para la actualización de éste.

El presente informe consiste en un informe principal y de varios anexos. Dadas las limitaciones en espacio del informe principal, solo se presenta un breve resumen del trabajo realizado. Por lo tanto, para obtener una visión completa del trabajo debe recurrirse a los Anexos que forman parte del estudio.

En el Capítulo 2 se presenta una visión global de la estructura del Estudio, donde puede apreciarse la forma como se integran los diversos estudios básicos realizados en la primera fase con los instrumentos de planeamiento cuyo desarrollo se inició en la primera fase y se complementará en la segunda.

La metodología empleada para llevar a cabo los balances demandas-disponibilidades se discute en el Capítulo 3. Estos aspectos se amplían en el Anexo H, el cual también incluye los resultados obtenidos al realizar los balances actuales.

El Capítulo 4 incluye un breve resumen de los aspectos relativos a la oferta del recurso. En una primera sección se trata lo referente al agua superficial, aspecto que es cubierto más a fondo en el Anexo A. Los estudios realizados en el área de agua subterráneas se discuten en una segunda sección de dicho capítulo y, en mayor extensión, en el Anexo B.

El Capítulo 5 está dedicado a los usos del agua. Una primera sección de dicho capítulo se refiere a las demandas de agua para consumo humano; lo relativo a los usos industriales se trata en la segunda sección. Estos aspectos son ampliados en el Anexo D.1, donde se discute lo referente a la demanda potencial por el recurso, y en el Anexo D.2, donde se propone un modelo para priorizar las inversiones en agua potable, cuya aplicación ayudará a estimar las demandas reales en este campo. Los aspectos relativos a la demanda de agua en la agricultura son tratados en forma muy somera en la tercera sección del Capítulo 5. Una visión más completa de los trabajos realizados en este campo se encuentran en los Anexos E.1, E.2, y E.3. En el Anexo E.1 se discute la metodología a seguir para priorizar las inversiones en adecuación de tierras, de donde surgirán las demandas futuras para riego. La demanda nacional por productos agrícolas es analizada en el Anexo E.2. Finalmente, en el Anexo E.3 se presentan los estudios realizados para suplir los insumos requeridos

para la priorización de las inversiones, tales como estudios relativos a costos interregionales de transporte de productos agrícolas, costos de producción de los diferentes cultivos, costos de adecuación de tierras, etc. Además, en el Anexo C.2 se presentan los aspectos relativos a la disponibilidad y uso actual de la tierra, en lo referente a la utilización de agua. En la cuarta sección del Capítulo 5 y en el Anexo F.1 se discute lo pertinente a la hidroelectricidad. El transporte fluvial es analizado en la quinta sección de dicho capítulo y en el Anexo F.2. La sexta sección del Capítulo 5 y el Anexo F.3 están dedicados al tratamiento dado a la pesca continental.

Los aspectos relativos a calidad de las aguas y la erosión se presentan en las siguientes secciones del Capítulo 5. La calidad de las aguas es discutida en un mayor detalle en el Anexo G. El Anexo C.1 discute en profundidad los aspectos relacionados con la erosión. En el Anexo C.3 se presentan los resultados de una revisión bibliográfica llevada a cabo sobre las relaciones existentes entre la cobertura del suelo y la escorrentía.

El Capítulo 6 se refiere al sistema de información propuesto. El Anexo I cubre este aspecto en mayor detalle. En el Capítulo 7 se presentan los resultados de los balances actuales. El Capítulo 8 presenta un diagnóstico del sector en lo referente a los aspectos institucionales y jurídicos, tema que es ampliado en el Anexo J. Finalmente, el Capítulo 9 presenta un diagnóstico de la situación actual del sector.

No hace parte del texto del informe principal las pautas para la evaluación de proyectos hidráulicos que se presentan en el Anexo K.

Forman parte del informe los planos a escala 1:500.000 con la información referente a isoyetas, isorrendimientos y aguas subterráneas.

CAPITULO 2

MARCO GENERAL DEL ESTUDIO

El Estudio Nacional de Aguas (ENA) ha sido concebido por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) para que "el país complete o desarrolle los instrumentos de una planeación coherente, técnica y previsorá del recurso agua".

Para llevar a cabo el objetivo anterior se han previsto dos fases en el desarrollo del mismo. La primera fase, cuyos resultados se consignan en el presente informe, presenta un diagnóstico de la situación actual del sector y realiza las investigaciones básicas requeridas para desarrollar los trabajos de la segunda fase. Durante dicha fase se efectuarán las investigaciones necesarias para completar los instrumentos de planificación del recurso que serán utilizados en forma recurrente a lo largo del tiempo para producir los diferentes planes de manejo del mismo.

Puesto que la primera fase del Estudio se refiere principalmente al desarrollo de las investigaciones básicas en los diferentes campos, a continuación se explica la forma como interactúan dichos estudios para la planificación global del recurso.

La Figura No. 2.1 presenta un diagrama general de las diferentes componentes del estudio y la forma como interactúan entre sí. En primer lugar, existen dos piedras angulares, de las cuales han de depender directamente o indirectamente, todos los resultados. Se trata, por una parte, de los estudios físicos sobre disponibilidad de

aguas, desarrollados durante la primera fase del Estudio y que serán utilizados durante la segunda fase en los diferentes modelos y herramientas analíticas propuestos y, por la otra, de los estudios de prospección socioeconómica que permitirán definir la evolución más probable de las variables pertinentes, lo mismo que escenarios alternativos (pesimista, optimista, etc.) sobre tal evolución. Los modelos prospectivos han sido desarrollados en la primera fase para ser utilizados de acuerdo con los escenarios y opciones analizadas en la segunda fase del Estudio. Obviamente, no es posible efectuar una serie de proyecciones únicas, debido, en primer lugar, a la incertidumbre sobre el comportamiento de importantes variables determinantes de la demanda o la oferta. También es importante efectuar proyecciones que contemplen la aplicación de determinadas políticas con el propósito de investigar su impacto.

Las variables que definen un escenario no son susceptibles de manejo por parte del planificador del recurso de aguas sino que están determinadas por estrategias globales de desarrollo, la situación mundial de la economía o cambios en los procesos naturales que no es posible controlar. Aquellas variables que están dentro del control de la planeación, o mejor dicho, que pueden ser influenciadas por la acción de las políticas a definirse en este estudio se denominarán opciones. La división anterior entre escenarios y opciones es coherente con la adoptada en el Estudio Nacional de Energía (ENE). A pesar de que en algunos estudios las diferencias entre opciones y escenarios no son las mismas adoptadas acá, consideramos que es importante discriminar lo que es posible modificar de los aspectos que representan simplemente incertidumbre sobre el futuro.

La disponibilidad de agua (oferta) caracterizada por los parámetros estimados durante la primera fase, deberá

7

confrontarse con las demandas, directas y derivadas, condicionadas por el escenario socio-económico analizado y por las opciones de política pertinentes. Debe señalarse que dentro del ENA el tratamiento dado a los distintos usos del agua no es único, debido a que la caracterización de los mismos es también diferente en cuanto a sus propiedades (uso consuntivo y no consuntivo), su importancia económica, el nivel de conocimiento con respecto a algunos procesos ó fenómenos físicos pertinentes, el grado de avance en la planificación de ese uso, etc. Por consiguiente, mientras que en algunos casos se propone el uso de modelos matemáticos que faciliten las labores de planificación, más concretamente en el análisis de los proyectos de hidrogenación eléctrica, en los proyectos para suministro de agua potable, en otros, como los campos de los recursos hidrobiológicos, el transporte fluvial y el control de la erosión, apenas se tiene como meta profundizar en su estudio con el fin de poder en un futuro dar un tratamiento más formal a la planificación del uso del agua y otros factores en relación con tales aspectos. A pesar de la importancia de los consumos agrícolas dentro del sector, no se consideró adecuado realizar un análisis por medio de modelos del desarrollo de la agricultura en Colombia, lo que hubiera implicado llevar a cabo un modelo global de planificación agrícola. Las razones que justifican la anterior decisión se encuentran consignadas en el Anexo correspondiente a dicho uso.

Retornando a la Figura 2.1, la demanda por agua para generación hidroeléctrica, por ser una demanda derivada, será el resultado de la aplicación de modelos de planeamiento, que determinen la combinación de plantas térmicas e hidroeléctricas con las cuales se satisfará la demanda

de energía eléctrica en el país. La expansión así definida no diferirá sustancialmente de la expansión que se realice en la práctica. En el caso del sector agrícola se generará una serie de alternativas de expansión del área regada bajo diferentes conjuntos de compuestos; la expansión que se da en la práctica podrá diferir de las halladas debido a que el comportamiento de los agricultores individuales y del mercado no necesariamente se ajusta en cada momento a los criterios utilizados. Además, el resultado en la práctica dependerá de políticas del gobierno en cuanto a investigación tecnológica, subsidio a los insumos agrícolas, etc., que pueden cambiar los coeficientes de rendimientos y costos utilizados.

En cuanto a las demandas de agua para uso doméstico, comercial y público, se estimarán utilizando los resultados de los modelos que sobre el particular se han desarrollado durante la primera fase del estudio. Para los balances futuros, las demandas de agua potable en los sectores urbano y rural podrían verse desde dos puntos de vista: como demandas potenciales las cuales estarían determinadas por las proyecciones de población y de las variables socioeconómicas y bajo el supuesto de una cobertura total en la prestación del servicio; ó como demandas reales las cuales comprenden los consumos acordes con la capacidad de la infraestructura del servicio supuesta para el año bajo análisis y los consumos estimados para la población por fuera del servicio institucional. Tales demandas reales podrían determinarse por medio del modelo de priorización de inversiones en este sector, del cual es posible

bajo ciertos supuestos hallar la expansión de la infraestructura del servicio. En cualquier caso las demandas por agua potable deben incluir supuestos sobre el comportamiento futuro de las pérdidas y el racionamiento.

Las demandas para usos industriales se determinarán mediante las proyecciones sobre el crecimiento de las industrias clasificadas como altamente consumidoras de agua utilizando los coeficientes de consumo encontrados durante la primera fase. El resto del sector será agregado a los consumos totales.

El otro aspecto para el cual se ha adoptado un enfoque modelístico es el de calidad de las aguas. El modelo de calidad de aguas propuesto por el ENA permitirá analizar, para los tramos pertinentes de los cauces identificados como críticos dentro del diagnóstico de la primera fase, los perfiles de calidad, en términos de DBO y oxígeno disuelto, resultantes de la interacción entre las cargas poluidoras producidas en el escenario socio-económico analizado, las características hidráulicas de los tramos estudiados y los caudales para los cuales se realice tal análisis.

En este punto, una vez discutidos en forma aislada los aspectos modelísticos asociados con los usos del agua ^{1/}

^{1/} Se está considerando la calidad como un "uso" aunque en realidad es una característica del agua que afecta su uso en algunas actividades.

es necesario hacer referencia al elemento concebido como integrador dentro del estudio que es el modelo de balances. Parece oportuno en este momento discutir sus características más generales con el fin de tener una idea relativamente clara acerca de su papel como elemento de integración entre las diferentes componentes del ENA. Este es un modelo que simula en forma estocástica multivariada el comportamiento de las cuencas del país, confrontando las disponibilidades de agua con los requerimientos de los diferentes usos. Para efectos de la confrontación anteriormente indicada se ha adoptado la regionaliza-ción en cuencas hidrográficas utilizada por el Himat, por medio de la cual se ha dividido el país en cuencas de primero, segundo y tercer orden. Las cuencas de primer orden comprenden las principales vertientes del país (Atlántico, Pacífico, Magdalena-Cauca, Orinoquía y Amazonía); el segundo nivel, al cual hemos denominado cuencas de segundo orden, subdivide las vertientes anteriores en 39 cuencas; finalmente éstas se subdividen en 346 cuencas de tercer orden.

En el Anexo A se presentan las cuencas agregadas de acuerdo con la clasificación anterior. Forma parte de este in-forme, así mismo, una copia del mapa del país elaborado por el Himat que muestra dicha división a escala 1:1.500.000. Los balances se efectúan a nivel de las cuencas de tercer orden cubriendo todo el país con excepción de gran parte de la Orinoquía y la Amazonía. Estas regiones han sido excluidas de los balances debido a la escasez de informa-ción existente (para algunas de estas zonas no se dispone siquiera de información topográfica), la cual no permite cuantificar las disponibilidades y los usos con el mismo nivel de confiabilidad que para el resto del país. Adi-cionalmente, los usos del agua en esa región, tanto

actuales como las previsibles en el futuro cercano, no son apreciables debido a la baja densidad poblacional por lo que se deduce que los conflictos que pueden surgir en el aprovechamiento en dichas áreas son mínimos. Sin embargo, la metodología seguida para las otras regiones del país es aplicable a dichas áreas y éstas podrán ser incorporadas a los balances una vez la información básica sea recolectada.

Es conveniente dejar en claro que esta regionalización es la base para la realización de los balances. Sin embargo, a lo largo del estudio fué preciso adoptar regionalizaciones diferentes para algunos aspectos específicos que pueden ser reducidas a la regionalización básica adoptada.

Debe precisarse el sentido que pueden tener los resultados obtenidos de los balances anteriormente mencionados. La ausencia de conflictos con respecto a la utilización a nivel de cuenca implica que la disponibilidad de la cuenca con las obras de regulación consideradas es suficiente para atender los usos que se presentan dentro de ella, sin necesidad de recurrir a obras de regulación adicionales o desviaciones desde otras cuencas. Sin embargo, los balances pueden excluir problemas locales que se presentan en sitios puntuales dentro de la cuenca. Por lo tanto, el método de los balances permite detectar problemas importantes a nivel global, aunque debe complementarse examinando eventuales problemas puntuales. Así mismo, los déficits que se identifiquen en los balances tienen el sentido de un déficit global y no asociado a un uso específico. Es claro que en caso de presentarse dichos déficits deben existir prioridades para algunos usos tal como está reglamentado en el Código de Recursos Naturales

en el cual el consumo humano tiene una prioridad absoluta. Igualmente, el modelo de balances no permite identificar los déficits que se presentan por insuficiencia en la infraestructura existente.

Del modelo de expansión del sector eléctrico, el modelo de balances recibirá la información sobre los desarrollos existentes en un momento dado del tiempo y unas reglas de operación que al desagregarse podrán, eventualmente, imponer restricciones para los demás usos. Por su parte, el patrón de expansión del área regada, al definir las diferentes áreas de cultivos definirá también los requerimientos de agua durante cada uno de los meses del período de cultivo. Tales requerimientos se satisfarán parcialmente con la precipitación del período y se completarán con riego, en las áreas donde tal posibilidad exista. Las demandas por agua potable se sumarán a los requerimientos agrícolas y esa demanda total se confrontará con las disponibilidades del período. Al hacer esta confrontación se tendrán en cuenta las restricciones impuestas por la operación del sistema eléctrico.

El modelo de balances, por otra parte, interactúa con los modelos de planeamiento, siguiendo las siguientes ideas:

i) En el caso del sector agrícola al efectuar las comprobaciones propias del modelo de balances, es posible encontrar que las zonas propuestas para ser adecuadas con infraestructura de riego deben modificarse por problemas de disponibilidad de aguas.

ii) En lo que toca con el sector eléctrico, podrían eventualmente requerirse modificaciones en su operación, a fin de resolver los conflictos de uso identificados en algunas de las cuencas estudiadas. Para la determinación de la cantidad de generación hidroeléctrica a realizarse en cada período se utiliza un modelo agregado que optimiza los costos de operación existentes. Sin embargo, la operación agregada (generación hidráulica vs. generación térmica) la cual se encuentra minimizando el valor presente de los costos de operación del sistema, no incluye los otros usos del agua. En caso de existir competencia por el agua, competencia que en el caso del sector eléctrico se dará principalmente en cuanto a su asignación intertemporal, y cuando el costo de oportunidad en los otros usos lo amerite, deberían revisarse las reglas de operación con el fin de resolver los conflictos potenciales.

iii) El modelo de calidad de aguas encontrará los desbalances entre la calidad resultante y los estándares o normas al respecto. Estos podrán resolverse mediante soluciones combinadas de plantas de tratamiento y dilución de caudales, para lo cual se pueden introducir al modelo de balances restricciones de caudales mínimos cuya factibilidad deberá revisarse en dicho modelo. Como resultado de tal revisión podrán requerirse iteraciones adicionales de flujo de información entre los dos modelos.

Como puede inferirse de los puntos anteriores, el modelo de balances cumplirá un papel coordinador de los demás modelos de planeamiento, y señalará los conflictos entre ellos y las posibles incoherencias en sus resultados. En ese sentido se entiende el papel central que el Departamento Nacional de Planeación ha otorgado al modelo de balances, ya que sin el mismo no sería clara la identificación de los conflictos en el uso del recurso y el planeamiento de su uso se desarrollaría en forma independiente dentro de los diferentes sectores usuarios del agua.

Ahora bien, el procedimiento descrito hasta acá permite realizar una identificación de los proyectos aparentemente prioritarios que tienen relación con el recurso agua, y cuya identificación en cada caso puede resumirse de la siguiente forma:

- En el sector eléctrico a partir del modelo de expansión.
- En irrigación y adecuación de tierras a partir de la priorización de áreas a ser adecuadas.
- En agua potable, a partir de los estudios de las empresas encargadas del servicio, y el modelo de priorización del ENA.
- En calidad de aguas, a partir de los estudios existentes y los análisis del ENA.

Todo lo anterior, con los ajustes realizados mediante la utilización del modelo de balances.

El inventario de proyectos relacionados con los usos anteriormente mencionados debe incluir, adicionalmente, los proyectos relacionados con otros aspectos del recurso como son el transporte fluvial, erosión y conservación de cuencas, la pesca y las aguas subterráneas. El hecho de que dentro del ENA no se integren totalmente tales aspectos con los demás, como puede verse en la Figura 2.1, se debe básicamente a las menores posibilidades de adelantar un planeamiento formal en tales casos, por lo menos en la actualidad; lo anterior no impide, sin embargo, que aún en este momento puedan establecerse algunas relaciones claras entre tales usos y el resto del diagrama, como puede observarse en la Figura. Así, los estudios sobre erosión y aguas subterráneas serán de gran importancia para los aspectos agrícolas ya que, en el primer caso, podrán imponer restricciones a las posibilidades de uso agrícola de los suelos, mientras que en el segundo se identificarán alternativas de extracción de agua para riego a través de la perforación de pozos que pueden ser altamente ventajosos debido a sus costos. Desde otro punto de vista, el modelo de balances, al producir la distribución de probabilidad de las profundidades de los tramos navegables, aportará información que puede ser utilizada con provecho dentro de los estudios de planeamiento del sector transporte, en cuanto tiene que ver con el transporte fluvial.

Finalmente, en años futuros, podrían establecerse más estrechos nexos entre los anteriores aspectos y los demás usos, a través del modelo de balances. Así, el sector transporte podría imponer restricciones sobre

caudales mínimos al modelo de balances, en forma semejante a como actualmente se está proponiendo con respecto a la calidad de las aguas. Algo semejante podría suceder con respecto a la pesca. Inclusive, eventualmente podrían postularse interrelaciones entre proyectos de manejo de cuencas y los parámetros que caracterizan la distribución intertemporal de las aguas superficiales. Lo anterior, no obstante, presupone un conocimiento y un nivel de modelación hidrológica que aún no están suficientemente desarrollados a nivel internacional y mucho menos en el país.

De igual forma y para años futuros se propone que los proyectos identificados a través de estudios sectoriales, una vez resueltos en forma preliminar sus conflictos e inconsistencias a través del modelo de balances, sean sometidos a un proceso riguroso de evaluación, dentro de cada sector, en el cual se debe hacer énfasis en los aspectos relacionados con el uso múltiple del agua y los posibles conflictos entre propósitos. En ese proceso de evaluación, se seguirán las pautas para la evaluación de proyectos propuestas por el ENA, se utilizarán preliminarmente los estimativos de costo de oportunidad del agua en los diferentes usos, y se refinarán tales estimativos, lo mismo que los de costos, hasta obtener resultados confiables sobre la conveniencia de los proyectos, acordes con su nivel de estudio. Como resultado de este proceso se tomarán las decisiones sobre los proyectos a ejecutar durante el período del plan (plan de inversiones).

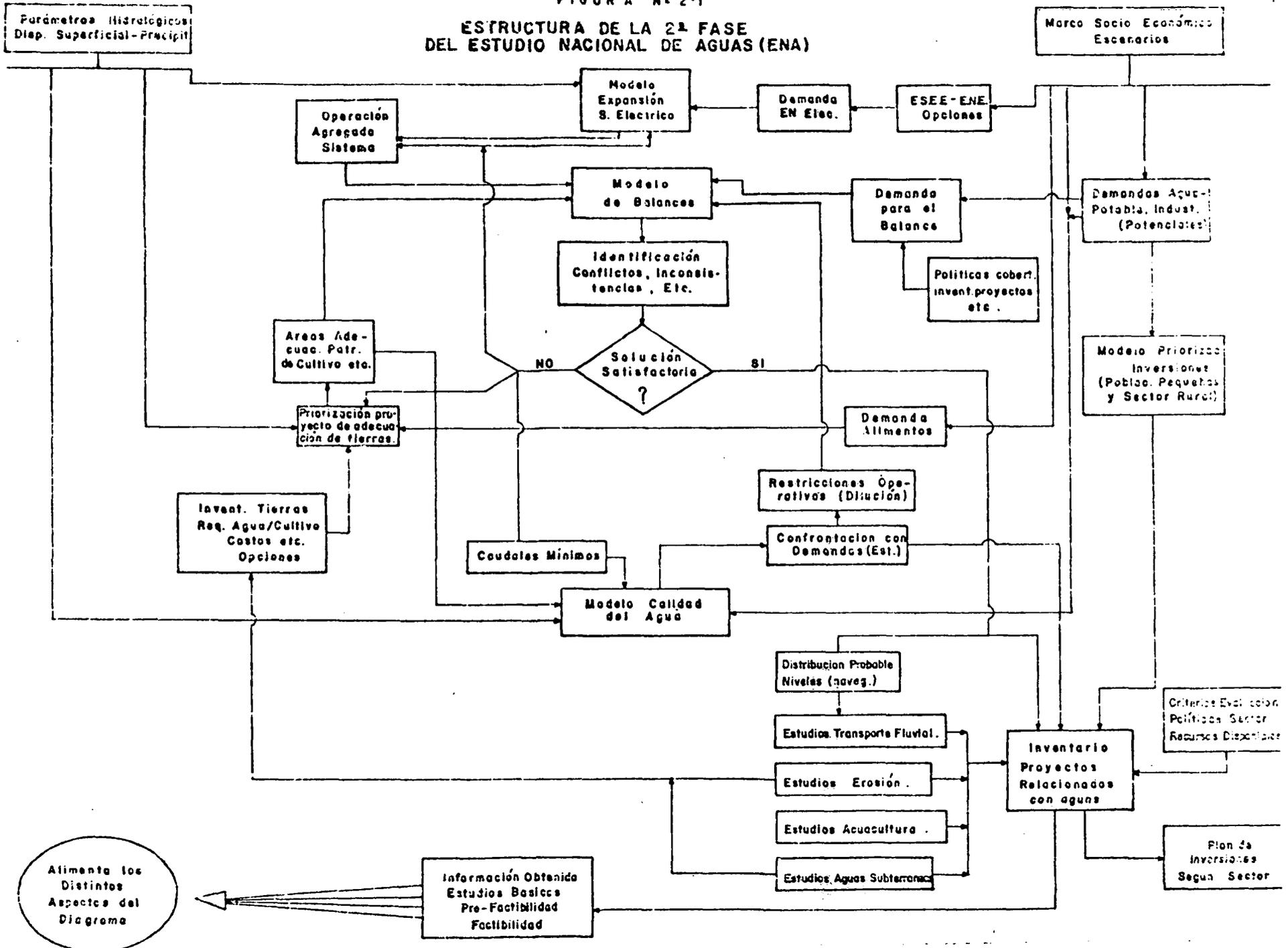
Al utilizarse un procedimiento como el aquí descrito, se garantizará que si bien la decisión final sobre los proyectos a ejecutar se toma dentro del contexto de las políticas sectoriales en cada caso, lo relacionado con el conflicto por el uso del recurso ha sido debidamente tenido en cuenta en las diferentes etapas del proceso de

planeamiento, desde la identificación de los proyectos hasta la decisión final sobre su implementación.

Finalmente, las herramientas para toma de decisiones sobre ejecución de proyectos, el inventario global y los resultados parciales que se vayan obteniendo indicarán la necesidad de avanzar en el desarrollo de estudios básicos, de pre factibilidad y factibilidad, los cuales producirán información que deberá ser incorporada a los diferentes modelos a los cuales sea aplicable. Así, de tales estudios, se tendrá información más detallada sobre costos, sobre alternativas tecnológicas, cuantificación de disponibilidades, etc. Al retroalimentar los modelos en esta forma, se tendrá lo que en los términos de referencia se llamó la "recursión del plan", es decir, la forma como el proceso de planeamiento propuesto se torna dinámico y permite la revisión paulatina de sus prioridades de acuerdo con un marco socio-económico cambiante.

FIGURA Nº 2-1

**ESTRUCTURA DE LA 2ª FASE
DEL ESTUDIO NACIONAL DE AGUAS (ENA)**



CAPITULO 3

METODOLOGIA PARA REALIZAR LOS BALANCES

3.1 CUANTIFICACION DE DISPONIBILIDADES

La cantidad de agua disponible para ser usada en la cuenca i se define como:

$$Q_i = P_i - ET_i + \sum_{j \in I_i} Q_j^S - \Delta S_i \quad (1)$$

donde:

Q_i = cantidad de agua disponible para la cuenca i .

P_i = precipitación total de la cuenca.

ET_i = evapotranspiración total de la cuenca.

I_i = conjunto de cuencas cuya disponibilidad sobrante descarga en la cuenca i .

Q_j^S = disponibilidad sobrante de agua de la cuenca j .
Es la cantidad total de agua disponible en tal cuenca, menos la cantidad total consumida en la misma.

ΔS_i = cambio en el almacenamiento de agua en la cuenca i .

La anterior es una definición muy general de la disponibilidad de agua de una cuenca, que será precisada más adelante teniendo en cuenta las siguientes observaciones.

a) Las cantidades que aparecen en la definición son todas variables aleatorias, aspecto que debe ser tenido en cuenta para poder realizar una correcta interpretación de

la misma. Para comenzar, podría tomarse el valor esperado de la ecuación en cuyo caso los balances se realizarían sobre la base de las cantidades anuales promedio.

b) Al observar la definición se notará que la disponibilidad de aguas subterráneas no se presenta en forma explícita. Lo anterior se debe a que el rendimiento de la cuenca, calculado como $P_i - ET_i$, incluye la infiltración anual de la cuenca la cual podrá tener uno de los siguientes tres destinos finales:

i) Se manifestará como escorrentía superficial en algunos de los cauces de la cuenca.

ii) Para un año determinado podrá haber un incremento en el almacenamiento subterráneo de agua en la cuenca. Sin embargo, este mayor almacenamiento aumentará el caudal de los cauces en los años de precipitación baja. En otras palabras, los cambios de almacenamiento multianuales se cancelan unos con otros.

iii) Podrían presentarse transferencias subterráneas de agua entre cuencas, debido a que la delimitación de las mismas se efectúa suponiendo que el drenaje se produce por vía superficial (criterios topográficos).

En los estudios de planeamiento global similares al ENA ^{1/} se ha supuesto que los trasvases entre cuencas mencionados

^{1/} Azpurua, P.P., y Gabaldón, A.J., Recursos Hidráulicos y Desarrollo. Editorial Tecnos, 1975.

Wollman y Bonem, G.W., The Outlook for Water. Quality, Quantity, and National Growth. The Johns Hopkins Press, 1971.

en iii) son despreciables, y que por tanto, de acuerdo con lo expuesto en i) y ii) las aguas subterráneas no constituyen disponibilidad adicional sino, que por así decirlo, su extracción constituye una alternativa tecnológica para obtener parte del agua disponible en la cuenca. Dentro de este planteamiento, la excepción estaría dada por los recursos hidráulicos no renovables o reservas subterráneas, es decir, volúmenes acumulados a lo largo de muchos años en las formaciones geológicas. Tales reservas podrían eventualmente ser utilizadas, teniendo en cuenta que constituyen un recurso que tarde o temprano ha de agotarse, dependiendo de la tasa a la cual se realice su extracción. Por esa razón, las reservas subterráneas no se incluyen dentro de las disponibilidades a efectos del balance, dejando su estudio y decisión de ser utilizadas para el análisis de los casos concretos en que se vea tal posibilidad.

c) Las disponibilidades cuantificadas mediante la ecuación (1) vendrían dadas a nivel anual. El año, sin embargo, puede ser un período demasiado largo para la realización de los balances, dadas las variaciones intranuales tanto en la oferta como en la demanda de agua. Por esta razón se decidió realizar los balances a nivel mensual.

d) La ecuación (1) muestra en forma clara que las cantidades disponibles no pueden evaluarse en forma independiente de los usos en las cuencas que drenan en la cuenca analizada. Lo anterior hace necesario que los balances se realicen en forma secuencial, partiendo de las cuencas para las cuales toda el agua disponible se genera en la misma cuenca, y así sucesivamente, definiendo el orden de análisis de tal forma que para una cuenca determinada se cumpla la condición de que todas las cuencas que drenan en ella hayan sido previamente analizadas.

e) A pesar de que los balances se plantean en términos agregados para cada cuenca, haciendo abstracción de los problemas espaciales al interior de cada una de ellas, es claro que el análisis en términos de valores esperados no es suficiente: las demandas (tomadas como valores determinísticos) pueden ser iguales al valor esperado de las disponibilidades y, sin embargo, dada la naturaleza aleatoria de la oferta, puede darse una probabilidad alta de que la oferta de un mes determinado sea inferior a la demanda del mismo mes. Por tal razón, los balances sólo tienen sentido si los mismos proveen información sobre el nivel de confiabilidad con que las demandas son satisfechas.

f) Asociado con el punto anterior, pueden construirse obras de infraestructura (embalses) para el almacenamiento y regulación de las disponibilidades incrementando así la confiabilidad con la que es posible satisfacer las necesidades de la cuenca. Por esta razón, la capacidad de regulación existente en una cuenca en un momento dado será un parámetro fundamental para la construcción de los balances.

g) En los balances se hace abstracción de los problemas espaciales al interior de cada una de las cuencas y por lo tanto no permiten detectar problemas reales en sitios puntuales de ésta. Sin embargo, el tamaño escogido para las cuencas en la realización de los balances permite afirmar que las obras de conducción necesarias para resolver dichos problemas son de una magnitud relativamente pequeña.

3.2 DEMANDAS DE AGUA A EFECTOS DEL BALANCE

Los usos del agua pueden clasificarse como consuntivos y no consuntivos. Ahora bien, debe hacerse la distinción entre demandas brutas y demandas netas. Las primeras corresponden a las cantidades totales requeridas por el proceso de uso del agua, mientras que las segundas equivalen a las cantidades que se pierden en tal proceso y que por consiguiente ya no estarán disponibles para uso en ninguna de las cuencas estudiadas.

Para la elaboración de los balances dentro del Plan Hidráulico de Venezuela se utilizaron las demandas brutas, con el fin de incorporar un factor adicional de seguridad dentro del análisis. Para los balances hídricos de EEUU se consideraron las demandas netas de la parte "alta de las cuencas y las demandas brutas de las partes bajas". Esta metodología impone un elemento de arbitrariedad en esta división, que en el caso de EEUU tiene sentido dado el gran tamaño de las cuencas seleccionadas. Nótese, sin embargo, que en forma más precisa podría realizarse tal análisis dividiendo cada cuenca en dos, correspondientes a la parte alta y la parte baja, y tomando como demandas las demandas brutas. En el ENA se ha trabajado con las demandas brutas dado el nivel de detalle de la regionalización adoptada ^{1/}. Para las cuencas que reciban aportes de otras cuencas localizadas aguas arriba de ellas se han considerado los retornos provenientes de los usos que tengan lugar en dichas

^{1/} EEUU se dividió en 22 regiones mientras que en el ENA se utilizarán cerca de 250. Dado los tamaños relativos de los dos países, es claro que existe una diferencia sustancial en el nivel de detalle de los dos estudios.

cuencas.

La metodología para el cálculo de las demandas actuales y futuras, para los tres usos considerados se explica de talladamente en los capítulos correspondientes. Para efecto de la realización de los balances basta señalar que tales demandas serán tratadas como cantidades conocidas, para cada uno de los meses del año y que, igualmente, los factores de retorno para cada uso en cada región se supondrán conocidos.

3.3 CONCEPTUALIZACION DE LA CUENCA PARA EFECTO DE LOS BALANCES

Para la realización de los balances, cada una de las cuencas de tercer orden del Himat fué conceptualizada de acuerdo a los siguientes principios generales.

Los aportes propios de cada cuenca se han dividido en aportes que tienen regulación dentro de la cuenca y aquellos sin regulación o a filo de agua. Cada uno de ellos a su vez se subdivide en aportes que son aprovechados hidroeléctricamente y los que no lo son. Es de cir, la cuenca se ha subdividido en cuatro unidades que corresponden a las siguientes cuatro características:

1. Porción de la cuenca regulada por embalses dentro de ella, utilizados para aprovechamientos hidroeléctricos.
2. Porción de la cuenca regulada por embalses dentro de ella, sin aprovechar hidroeléctricamente.
3. Porción de la cuenca no regulada, aprovechada hidroeléctricamente.

4. Porción de la cuenca sin regulación sin aprovechar hidroeléctricamente.

Cada una de las 4 subcuencas mencionadas anteriormente recibe los aportes de las cuencas de tercer orden localizadas aguas arriba de ellas, así como la posibilidad de transvases realizados desde otras cuencas.

Se consideraron los embalses existentes en las subcuencas 1 y 3 en forma agregada; es decir, la totalidad de los embalses existentes dentro de dicha subcuenca se agrupan para representarse como un embalse único.

Las características asociadas con los desarrollos hidroeléctricos estarán dadas por la potencia de la planta correspondiente a cada subcuenca así como su factor de conversión de agua a energía considerados también en forma agregada.

Existen diversas posibilidades de trasvase hacia otras cuencas, de acuerdo a las combinaciones de subcuencas que pueden aportar a dicho trasvase.

Finalmente, se atienden las demandas de la cuenca conceptualmente ubicados a la salida de ésta y se consideran los retornos de dichas demandas, hallándose el caudal disponible para la cuenca localizada aguas abajo.

La anterior es una conceptualización general de la cuenca, es decir, es posible que en algunos casos no existan algunos de los elementos de tal representación. Así, existirán cuencas para las cuales los embalses agregados sean cero, otras para las cuales todos los aportes sean generados en la misma cuenca, algunas donde no se haga distinción entre la demanda para agua potable y usos industriales, etc. Sin embargo, la anterior representación permite considerar los

casos particulares.

3.4 OPERACION DEL MODELO

La elaboración de los balances se realiza mediante la simulación del sistema anterior, generando sintéticamente las entradas hidrológicas al sistema. Para los rendimientos propios de cada cuenca, los parámetros estadísticos han sido estimados a través del estudio de disponibilidad de aguas superficiales; para las disponibilidades sobrantes de aguas arriba, tales parámetros serán resultado del análisis previo de las cuencas correspondientes. Nótese, sin embargo, el problema inherente a la estimación de la estructura de correlación entre las series de rendimientos naturales y las series de disponibilidades sobrantes, la cual no puede conocerse a priori. Por esta razón se construyen simultáneamente los balances de todas las cuencas, generando en forma multivariada los rendimientos propios de las cuencas y operándolas en forma jerárquica de tal manera que para la simulación de un período dado se simulen previamente las cuencas que drenan a la que se va a analizar, como se explicó anteriormente.

La operación de los embalses se realiza en tal forma que se busca primero satisfacer la demanda eléctrica nacional y posteriormente los faltantes para satisfacer la demanda de los usos consuntivos. El orden anteriormente indicado tiene simplemente un carácter operativo y no se refiere a las prioridades que existen en la asignación del agua para los diferentes usos.

La operación del sistema se efectúa en tres ciclos tal como se describe a continuación: en el primer ciclo la cantidad de agua utilizada es aquella que no puede ser

regulada, es decir la que no llega a un embalse, o aquella que llega a los embalses pero es vertida. En este ciclo, se calcula la energía generada con los vertimientos y las aguas que llegan a las plantas a filo de agua. Además, con el agua no regulada se cuantifica la demanda satisfecha en otros usos.

En el segundo ciclo se busca satisfacer la demanda eléctrica del período en consideración.

Dicha demanda se puede suplir con energía generada en plantas térmicas o en hidroeléctricas. La cantidad de energía hidroeléctrica a generar se determina por medio de los resultados de un modelo de programación dinámica estocástica que optimiza la operación del sistema agregado. Dicho programa fué utilizado en el Estudio Nacional de Energía ENE. La desagregación del desembalsamiento entre los diferentes embalses del sistema se efectúa de acuerdo a una regla heurística, por medio de la cual se asignan prioridades de desembalsamiento a los diferentes segmentos en que pueden dividirse los diversos embalses que tienen posibilidades de generación eléctrica.

Luego de realizar los respectivos desembalses para suplir la demanda de energía se simulan las cuencas por donde pasará el agua, supliendo las diversas demandas en donde sea necesario.

Por último, si las demandas en usos consuntivos de una cuenca no han sido satisfechas se efectuarían desembalses de los embalses donde no existen posibilidades de generación hidroeléctrica hasta suplir la demanda por dichos usos o no poderse satisfacer, en cuyo caso se llevarán estadísticas sobre los déficits que se originan.

Pueden definirse puntos de control en algunas cuencas en las cuales es posible llevar estadísticas sobre la frecuencia de diversos eventos de caudal. Dichas estadísticas permiten estudiar los caudales mínimos que se presentan con sus implicaciones sobre la calidad de las aguas y la navegación.

Los resultados que se han obtenido para propósitos del diagnóstico requerido en la primera fase del estudio simulan las cuencas teniendo en cuenta los embalses con fines diferentes a la generación de energía eléctrica. Esta primera aproximación de los balances puede ser aceptada como representativa de la situación actual del país si se tiene en cuenta que los embalses con fines de generación eléctrica existentes están localizados en cuencas en donde no existen conflictos entre los diferentes usos excepto en la cuenca del río Bogotá y del río Medellín.

CAPITULO 4

DISPONIBILIDAD DEL RECURSO

4.1 DISPONIBILIDAD DE AGUA SUPERFICIAL

Los requerimientos del Estudio Nacional de Aguas en lo referente a disponibilidad de aguas superficiales deben permitir cuantificar los caudales naturales con el propósito de identificar las posibilidades de aprovechamiento del recurso de agua en el país y determinar los problemas inherentes tanto por deficiencia como por exceso de los caudales.

El caudal en un sitio determinado de un cauce no tiene un valor constante sino que presenta variaciones temporales, algunas de las cuales se pueden asociar con el tiempo mientras que otras se consideran producto del azar, por lo que se ha aceptado universalmente el tratar las variables hidrológicas como series de tiempo de variables estocásticas. Se ha encontrado que los estudios donde se halla involucrada la confiabilidad del suministro es suficiente sustituir la serie continua de caudal por una serie discreta de valores mensuales donde cada punto representa el promedio aritmético de los caudales del mes. Esta serie de valores mensuales deja por fuera los caudales máximos los cuales son determinantes de los problemas de desbordamiento e inundaciones y los caudales mínimos de interés en los problemas de aprovechamiento en los cuales no se tiene ninguna disponibilidad de regulación. Sin embargo, es aceptable hacer inferencias sobre los máximos y mínimos instantáneos a partir de las propiedades de la serie de valores mensuales y de características físicas de las cuencas.

El esfuerzo de la cuantificación y descripción del recurso de agua superficial en esta primera etapa se ha concentrado en convertir la información puntual disponible en una información global que permite evaluar las características generales de la escorrentía en cualquier punto del país. Para la caracterización del caudal se ha considerado importante la determinación de los siguientes valores:

- a) Caudal medio multianual, el cual se obtiene a partir de los rendimientos expresados en litros por segundo por kilómetro cuadrado presentados en planchas a escala 1:500.000.
- b) Caudales medios mensuales. Para obtenerlos se ha dividido el país en 14 zonas con distintas formas de distribución de la escorrentía durante el año. Debemos anotar que las 14 zonas anotadas se refieren a zonas con características similares de repartición intraanual del caudal medio anual. Por lo tanto, ellos no coinciden con la división en cuencas hidrográficas del HIMAT sobre las cuales se efectúan los balances. Para efectos de dichos balances se identifica la cuenca bajo estudio y a partir de dicha identificación es posible conocer las características de dicha cuenca.
- c) Variabilidad, para lo cual se han formulado formas indicadoras de la varianza de las series mensuales en las mismas zonas.
- d) Persistencia, o dependencia temporal, definida como la tendencia a repetirse caudales altos o bajos en una corriente, para la cual se ha tomado la información de la estación considerada más representativa de cada región.

e) Dependencia espacial, para lo cual se ha formulado una estructura de correlación espacial entre las 14 regiones y una estructura de correlación espacial para los caudales en los diversos cauces dentro de cada región.

Este tipo de representación permite el montaje de un modelo de generación sintética de caudales mensuales simultáneamente en todo el país que sirve de base para la formulación de balances y modelos de simulación de manejo y aprovechamiento del recurso. En el Anexo A a este informe se presenta la metodología utilizada para regionalizar todos los parámetros que constituyen esta representación hidrológica del país, todos los cuales están sujetos a comprobación y revalidación a medida que se aumente la información tanto en el tiempo como en la cobertura de la red.

En esta presentación se considera la disponibilidad del recurso como estacionaria, es decir que no se identifican variaciones de largo plazo en los parámetros de las series a través del tiempo. La longitud de las series disponibles se ha considerado (en muchos casos por fuerza mayor) apenas suficiente para determinar los parámetros de la serie pero no del tamaño adecuado para formular hipótesis verificables estadísticamente sobre tendencias de variación de estos parámetros en el tiempo.

Se presentan así mismo, los modelos utilizados para la generación de caudales y de precipitación y la regionalización efectuada para la determinación de los períodos de retorno de caudales máximos.

4.1.1. INFORMACION UTILIZADA

Se utilizaron los planos topográficos del IGAC, a escala 1:500.000 los cuales cubren el país, en 18 planos, con excepción de la región oriental de la Orinoquía y de la Amazonfa.

La información hidrológica utilizada fué principalmente de dos tipos:

- 1) Registros históricos de caudales y precipitación suministrada por el HIMAT.
- 2) Estudios hidrológicos a nivel nacional y regional.

El HIMAT suministró copia en cinta magnética de sus archivos, el cual contiene información de las estaciones operadas por la entidad y por otras entidades tales como las Empresas Públicas de Medellín, la CAR, la CVC, etc.

La información suministrada consiste básicamente en las series mensuales de las estaciones de medición de caudales y metereológicos. De las series suministradas se seleccionaron aquellas que contaban con más años de registro o consideradas más importantes por su ubicación. En las zonas de escasa información se procuró tener en cuenta toda la información disponible.

Se consultaron además diversos estudios hidrológicos a nivel nacional efectuados en el pasado entre los que cuentan:

Estudio del Sector de Energía Eléctrica, ESEE. Inventario de los Recursos Hidráulicos. Anexos Hidrológicos,

1979. Dicho estudio contiene una recopilación de la información hidrológica más importante del país, el cual para tal efecto dividió el país en 6 vertientes: Magdalena, Cauca, Sierra Nevada, Guajira, Orinoquía, Catatumbo, Atrato, Pacífico y Amazonía. Para estas regiones se presentan en el estudio mapas de isoyetas medias anuales los cuales se basaron en estudios anteriores (mapas de isoyetas del HIMAT y los registros históricos de las estaciones de precipitación disponibles en el momento de realizarse el estudio. También se presentan mapas de isorrendimientos medios anuales que cubren parcialmente la extensión del país. Estos rendimientos se calcularon estableciendo relaciones entre el rendimiento y la altura o entre el rendimiento y el área de la cuenca.

Mapas de Isoyetas Medias Anuales de Colombia, presentado en la Revista Colombia Geográfica No.2 Vol. IV. IGAC. Presenta un mapa de isoyetas para toda Colombia en escala 1:2'000.000. El estudio considera la ubicación de Colombia en la zona tórrida y el efecto del paso del Ecuador climático por el territorio nacional. Considera además - los efectos locales debidos a la topografía de la zona, estableciendo relaciones de precipitación contra altura. Se emplearon sólo las estaciones con más largos períodos de registro, para los cuales se presentan la variación media anual en el mismo plano.

Estudio Hidroclimático del Caribe. Presentado por el Instituto Geográfico agustín Codazzi. en este informe se - presentan regionalizaciones de precipitación media anual, evapotranspiración real y potencial y los regímenes y frecuencias pluviométricas. También se realizan balances de agua para riego.

Estudios de Isoyetas del HIMAT. De los varios estudios realizados por el HIMAT se emplearon en el ENA: El mapa de isoyetas de Colombia en escala 1:1'500.000 publicado en 1972 con información de la precipitación media anual en el país y los estudios parciales realizados posteriormente, tales como el de la Costa Norte y el de la Orinoquía y la Amazonía, así mismo, a escala 1:1'500.000 con la información de la precipitación media anual y media mensual. estos últimos dos estudios no han sido publicados.

Estudio Ecológico o de Zonas de Vida. Preparado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1972. Se zonifica el territorio Colombiano siguiendo la clasificación de L.R. Holdridge para las formaciones vegetales o zonas de vida. Esta clasificación depende principalmente de la precipitación y temperatura medias anuales y sus resultados se presentan en 19 planchas a escala 1:500.000 y una especial para la Orinoquía y la Amazonía.

4.1.2 REGIONALIZACION DE PARAMETROS ESTADISTICOS DE LAS SERIES DE CAUDALES.

Utilizando, la información básica arriba mencionada se llevaron a cabo los estudios orientados a la estimación de los principales parámetros que deciden el comportamiento de las series de tiempo hidrológicas.

a) Caudal medio multianual

El primero y principal parámetro que define la serie cronológica del caudal es el valor medio multianual. Para representarlo se elaboraron los mapas de isorrendimientos para todo el país con excepción de las zonas planas de la Orinoquía y Amazonía no cubiertas por las planchas 1:500.000 del IGAC.

Se conoce como rendimiento el caudal medio multianual por unidad de área que se genera en un punto dado de una cuenca. Por lo tanto, las líneas de isorrendimientos son aquellas que unen puntos de igual valor del rendimiento en una cuenca.

Para llegar a dichos valores de isorrendimientos se siguieron básicamente dos procesos paralelos: Por un lado se trasladaron a planchas 1:500.000 las curvas de isorrendimientos medios multianuales, para las zonas montañosas, desarrolladas por el ESEE, y con base en otros informes se completaron los valores para las zonas planas no presentadas en el ESEE. Paralelamente, se dibujaron en planchas a la misma escala las curvas de isoyetas medias multianuales con base en la información suministrada por el HIMAT y a mapas de isoyetas generales o regionales elaborados en otros estudios. Igualmente, se cruzó esta información con los respectivos mapas ecológicos desarrollados por el IGAC, en la misma escala de los cuales es posible deducir los valores de la precipitación media anual.

Los valores de precipitación se compatibilizaron con los de escorrentía restando a la primera el estimativo de la evapotranspiración usando la fórmula de Turc¹. Esta fórmula ha sido comprobada en varios estudios llevados a cabo por Mejía Millán y Perry Ltda. en las cuencas donde se cuenta con una buena información de precipitación y de caudales. Se localizaron en dichos planos las estaciones hidrométricas más representativas de las cuencas de tercer orden clasificación del HIMAT, escogiendo las estaciones con mayor área de drenaje y algunas consideradas importantes por la longitud de la serie histórica registrada.

¹ Ver Anexo A.

Del archivo de información del HIMAT, se obtuvo el caudal medio multianual histórico de estas estaciones, haciendo una revisión somera sobre la calidad de la información, - descartándose algunos valores que presentan cifras dudosas e inconsistencias con estaciones vecinas.

Haciendo una integración de los rendimientos sobre las áreas de drenaje aferentes a las estaciones se obtiene el caudal medio multianual de la cuenca, el cual debe ser, dentro de límites aceptables, similar al caudal histórico registrado. Se procedió entonces, mediante un proceso de tanteo y error, a modificar las líneas de isorrendimientos y las isoyetas hasta obtener un ajuste aceptable entre los parámetros históricos de las series de caudales y de precipitación y los planos de isorrendimientos e isoyetas presentados.

En el Anexo A se presentan los resultados obtenidos para cada una de las cuencas de tercer orden del país.

Además, forma parte del presente informe el conjunto de planos del país a escala 1:500.000 en los cuales se muestran las isoyetas e isorrendimientos encontrados.

Es posible determinar a partir de los mapas de isorrendimientos el caudal medio multianual en cualquier sitio interno de una cuenca integrando los isorrendimientos sobre el área afluente al punto en consideración. Su utilización debe hacerse teniendo en mente que este trabajo es el resultado de un intento de sintetizar la información disponible y en ningún momento se pretende minimizar la importancia de los valores históricos observados, los cuales no pueden ser sustituidos en estudios más profundos de proyectos específicos.

En las figuras 4-1 y 4-2 se muestra la distribución geográfica de las medias multianuales de precipitación e isorrendimientos.

b) Distribución estacional de la esorrentía.

En Colombia se observan varias distribuciones estacionales de la precipitación y esorrentía que son producto de aspectos meteorológicos globales. Así, por ejemplo, la zona central del país está sujeta al régimen producido por el movimiento de la garganta de baja presión denominada frente intertropical de convergencia, la cual produce dos estaciones húmedas y dos secas cuya magnitud y período varía de acuerdo a la latitud del lugar. Teniendo en cuenta este fenómeno y la distribución geográfica del país y sobre la base de la información histórica de caudales se dividió el país en 14 regiones con tipos diferentes de distribución anual de la esorrentía. Tal como se discutió anteriormente la división en regiones homogéneas desde el punto de vista del comportamiento estacional de la esorrentía tiene únicamente un carácter operacional; a partir de dicha división es posible hallar el comportamiento estacional para las unidades básicas del estudio (cuencas de orden tres). Estas regiones se muestran en la figura 4-3 y en mayor detalle en los mapas de isorrendimientos que forman parte de este informe.

Las zonas identificadas corresponden a las siguientes regiones:

- 1) Comprende la vertiente del Amazonas; cubre además la parte alta del Magdalena y algunas intrusiones en las cuencas del Cauca y Patía.

- 2) Corresponde a la vertiente del Orinoco con algunas intrusiones en la cuenca del Magdalena siendo interesante su manifestación en las cabeceras del Saldaña.
- 3) Cubre la cuenca del Catatumbo y unas pequeñas manifestaciones en los nacimientos del Arauca.
- 4) Corresponde a la Guajira y las faldas norte y oriental de la Sierra Nevada con parte importante de la cabecera del Cesar.
- 5) Corresponde a la región del Chocó, incluyendo la mayoría del Atrato y llegando por el Pacífico hasta el Departamento del Cauca.
- 6) Cubre la cuenca del Mira, y la parte sur de la cuenca del Patía.
- 7) Se manifiesta en las cuencas del Patía, del Micay y otros ríos del Pacífico, así como en las cabeceras del Cauca.
- 8) Describe la parte alta del Sinú y del San Jorge.
- 9) Identifica el régimen en la Costa Atlántica comenzando desde las partes bajas del Atrato hasta la cuenca del Cesar y llegando por el sur hasta la altura de la cuenca del Lebrija.
- 10) Corresponde a las cuencas del Sogamoso, del Carare y unas partes del Lebrija.
- 11) Cubre el alto Magdalena hasta Girardot.

12) Se manifiesta en el Valle Medio del Magdalena, con presencia en una parte media del Cauca.

13) Describe el régimen en el Valle del Cauca.

14) Corresponde a la parte baja del Cauca, el Nechí y las partes altas de tributarios del Magdalena en el Departamento de Antioquia.

Un análisis de las series históricas en cada una de las regiones anteriores permitió observar que la relación en tre el caudal medio mensual y el caudal medio multianual para estaciones que tienen el caudal generado dentro de una misma región permanece aproximadamente constante. Debemos notar que existen estaciones de caudal que cubren el caudal generado en varias zonas, aspecto que se tuvo en cuenta apropiadamente.

En el Anexo A se presentan dichos valores para cada una de las regiones y cada uno de los meses del año. La mis ma información se presenta en los planos de is or r e n d i m i e n t o s.

Los valores presentados corresponden a un promedio de los valores históricos encontrados en las series de caudales correspondientes a cada una de estas regiones. En algunos casos se dió más peso a estaciones con gran cubrimiento dentro de la región.

La figura 4-3 muestra la distribución intraanual, en porcentaje, de la media multianual para las diferentes regio nes del país.

c) Variabilidad.

Para propósitos del estudio se describe la variabilidad de los caudales por la desviación típica mensual de los mismos. Para cada uno de los meses se considera un parámetro adimensional conocido como coeficiente de variación, el cual es susceptible de ser regionalizado fácilmente, y que, conjuntamente con la regionalización de la distribución estacional de la escorrentía, provee la información requerida para hallar la desviación típica mensual.

Aunque en teoría el coeficiente de variación disminuye, con el tamaño de la cuenca, para efectos del presente estudio se supone que éste se preserva dentro de cuencas de tercer orden a causa de la pequeña extensión de las mismas.

Así, la desviación típica de una corriente de agua originada completamente en una de las cuencas de tercer orden está dada por:

$$\sigma_j = CV_j \bar{u}_j$$

donde CV_j es el coeficiente de variación del mes j para la cuenca en consideración, μ y media del caudal para el mes j .

La varianza de los caudales en ríos cuyo caudal esté compuesto por rendimientos de más de una cuenca de tercer orden, está dada por la expresión estadística para la varianza de una suma de variables aleatorias, donde cada una de ellas es el caudal en el mes dado correspondiente a las cuencas de tercer orden. Tal expresión involucra, además de la varianza de las cuencas de tercer orden,

la covarianza entre los caudales de las diferentes cuencas de tal orden; para el cálculo de los coeficientes de variación típicos en cada una de las 14 regiones se utilizó la información de las estaciones existentes en dicha región.

Siendo este parámetro más sensible a la longitud de la serie que el promedio, debe darse más peso a las estaciones con mayor longitud de registro. Para simplificar este proceso se descartaron algunas series en las cuales la presencia de un dato dudosamente alto o bajo parecía distorsionar la varianza y se normalizaron, dividiendo los valores reales por la media de cada mes, en series con promedio 1 y varianza igual al coeficiente de variación.

Estas series de cada zona se agregaron en una sola serie continua y se calculó el coeficiente de variación mensual de cada una de estas series obteniéndose así un valor ponderado para cada región.

Los valores correspondientes de cada mes y cada una de las regiones se presentan en el Anexo A. Además, se ilustra en la figura 4-4.

d) Dependencia en el tiempo.

El análisis de las series hidrológicas en diferentes regiones del país ha permitido poner en evidencia que el valor del coeficiente de correlación serial de la serie mensual normalizada es bastante uniforme dentro de grandes zonas del país.

Por consiguiente, este parámetro se supuso constante para las áreas geográficas que están sujetas al mismo régimen.

En principio, podría suponerse que al aumentar el área de drenaje en un cauce aumentaría la dependencia en el tiempo debido al efecto regulador de la cuenca; sin embargo, la información existente no presenta evidencias sobre la justificación de este supuesto.

La variabilidad de este parámetro con el tamaño de la muestra es grande por lo cual no se encontró justificable examinar los parámetros de todas las series sino que se adoptó el de la estación más larga y representativa de cada región.

En el Anexo A. se presentan los coeficientes de correlación serial adoptados para cada región.

e) Dependencia en el espacio.

La dependencia en el espacio de los caudales es necesario conocerla para efectuar análisis de sistemas que involucren simultáneamente varias cuencas tales como el caso del sistema eléctrico interconectado. Para modelar la dependencia espacial se utilizaron básicamente dos modelos. A nivel del país se seleccionó una estación representativa de cada uno de los diferentes regímenes y se estimó una estructura de correlación similar al modelo multivariado propuesto por Matalas^{1/}. Por medio de dicho modelo se expresa la evolución de la serie de tiempo desestacionalizada por medio de la tipificación de sus valores como función de los caudales del mes anterior más una componente aleatoria. Este procedimiento permite preservar las matrices de correla-

^{1/} Matalas N.C. Mathematical Assessment of Synthetic Hydrology. Water Resources Research 3(4) 987-945

ción de rezago 0 y rezago 1 entre las diferentes estaciones incluídas en el modelo. Estas estaciones sirven como los nexos de unión a nivel del país dentro de modelos regionales simplificados y condicionados a las ocurrencias en dichas estaciones.

Para el cálculo de la estructura de correlación entre diversas regiones se utilizó la metodología de estimación propuesta por Crosby y Maddock^{1/} la cual permite estimar las matrices de correlación de rezago cero y uno utilizando series de longitud variable, efectuando las transferencias de información de las series más largas a las más cortas. Se garantiza, además, la consistencia de las matrices resultantes en tal forma que pueda estimarse el modelo propuesto. En el Anexo A se presentan las estaciones tomadas como representativas de cada régimen y las matrices de correlación de rezagos 0 y 1 halladas.

Para la estructura de correlación dentro de cada región se siguió un procedimiento para buscar únicamente la matriz de correlación de rezago cero. El modelo de generación de datos dentro de cada región no preserva la totalidad de la matriz de correlación de rezago uno sino sólo su diagonal que corresponde al primer coeficiente de correlación serial. Para determinar la correlación espacial entre las cuencas de cada región se calcularon las correlaciones entre las estaciones en cada región y se planteó una relación entre la correlación y la distancia entre los centroides de las cuencas.

En el Anexo A. se presentan las correlaciones encontradas y las funciones definidas para cada una de la regiones.

^{1/} Crosby D.S. y T. Maddock III 'Estimating coefficients of a generator for monotone samples of data'. Water Resources Research 6 (4) 1079 - 1086, 1970.

4.1.3 PRECIPITACION Y EVAPORACION

La precipitación no sólo es importante en el cálculo de los isorrendimientos, sino que también se utiliza en el cálculo de la demanda real para irrigación.

La precipitación, como el caudal, se trata como series de variables estocásticas discretas a nivel mensual, unidad de tiempo adoptada para la realización de los balances.

El resultado de esta primera etapa, en cuanto a precipitación se refiere, es una información general que permite evaluar las características de la lluvia en cualquier punto del país. La caracterización de la precipitación está representada por los siguientes valores.

- a) Precipitación media multianual, presentada por medio de isoyetas, expresadas en milímetros por año y elaboradas en planchas 1:500.000.
- b) Precipitación media mensual. Para las 14 zonas en que se dividió el país se determinó la distribución de la precipitación a través del año.
- c) Variabilidad. Se determinaron los coeficientes de variación de las series mensuales de las mismas regiones.
- d) Probabilidad de que no ocurra precipitación alguna en un mes determinado; Se calculó para los sitios potencialmente regables.

Otro parámetro de importancia para el cálculo de las demandas de riego requeridas para los balances es la evaporación

de tanque tipo A. En este numeral se describe el tratamiento dado a este parámetro.

1) Precipitación media multianual.

La principal característica de la lluvia es su valor medio multianual. Para su representación se elaboraron los mapas de isoyetas de escala 1:500.000 para todo el país con excepción de las zonas de la Orinoquía y Amazonía.

Dichos mapas, se elaboraron con base en la información suministrada por el HIMAT, luego de ser depurada y en mapas de isoyetas generales y regionales de diferentes estudios de los cuales los principales se describieron en el numeral 3.1.2. Igualmente, se cruzó esta información con las planchas de zonas ecológicas desarrolladas por el IGAC.

Como se describió en la sección relativa al caudal medio multianual, los resultados se compatibilizaron con los de escoorrentía de tal manera que los rendimientos calculados a partir de la precipitación coincidieron aproximadamente con los caudales medios de los registros históricos de las diferentes estaciones hidrométricas tenidas en cuenta en el estudio.

En el Numeral A-4 del Anexo A se presentan los resultados obtenidos con respecto a la precipitación media multianual.

2) Medias Mensuales.

Por consistencia se adoptaron para definir la distribución estacional de la precipitación las mismas 14 zonas empleadas en la regionalización de caudales.

En el Numeral A.4 del Anexo A se presentan los resultados obtenidos al respecto.

3) Otras características.

La variabilidad y la probabilidad de que la precipitación sea igual a cero son características importantes para la definición de la distribución probabilística mensual de la lluvia.

En cuanto a la variabilidad, se regionalizó el coeficiente de variación que conjuntamente con la regionalización de la estacionalidad en la media provee la información requerida para estimar la desviación típica mensual.

Así, la desviación típica de la precipitación mensual en un punto dado está dada por:

$$\sigma_j = CV_j \mu_j$$

donde CV_j es el coeficiente de variación del mes; y μ_j la precipitación media del mes j para el punto en consideración.

Los coeficientes de variación de las 14 zonas se calcularon siguiendo el procedimiento utilizado en la distribución estacional.

Por último, para tener una definición total de la distribución se requiere la probabilidad de que no ocurra precipitación durante el mes. Esta característica es importante en zonas seca, en regiones cuya precipitación media multianual sea inferior a los 1500 mm.

Esta característica no presenta homogeneidad dentro de cada una de las 14 zonas, siendo una propiedad específica para regiones muy pequeñas. Para efecto de los balances, se calculó dicha característica para cada sitio potencialmente regable.

Los resultados a este respecto se presentan en el Numeral A.4 del Anexo A.

4) Evaporación.

La evaporación mensual de tanque tipo A es el otro parámetro meteorológico necesario para completar el balance. Este parámetro se supuso constante año a año, más no mes a mes, debido a la poca variabilidad que presentaban los registros históricos. Las evaporaciones mensuales para los diferentes sitios potenciales de riego se presentan en el Numeral A.4 del Anexo A.

4.1.4 MODELO DE GENERACION DE EVENTOS HIDROLOGICOS.

Los resultados de los balances deben mostrar para una configuración dada la confiabilidad del suministro de agua en los diferentes usos y además presentar los conflictos entre los diferentes usos en cada una de las cuencas geográficas definidas.

Debido a las interrelaciones existentes entre los usos en las cuencas de aguas arriba y los aportes a las cuencas de aguas abajo, así como la flexibilidad que implica el suministro de la demanda eléctrica nacional, se consideró necesario formular un modelo de simulación que efectuase los balances a nivel mensual simultáneamente para la mayoría

de las cuencas de tercer orden del territorio nacional.

El modelo de simulación anteriormente mencionado, el cual se discute en el Anexo H, requiere ser alimentado por un modelo de generación multivariado de caudales y de precipitación a nivel mensual que permita generar dichos valores para las cuencas de tercer orden del país. Se incluye la generación de la precipitación para las cuencas potencialmente regables debido a que ésta nos define la demanda real de los diferentes cultivos regados.

Un modelo que preserve la dependencia espacial y temporal de los caudales de todas las cuencas de tercer orden del país sería inmanejable por su tamaño. Por lo tanto, por razones operativas, se decidió dividir el país en regiones de características hidrológicas similares, tal como se describe en el numeral 4.1.2.

Para preservar la dependencia espacial entre caudales de diferentes regiones se seleccionó una estación por región (estación pivote) con una buena base de información histórica la cual se utilizó para la estimación de los parámetros del modelo multivariado propuesto por Matalas ^{1/}.

Estas estaciones sirven como los nexos de unión a nivel del país con modelos regionales simplificados y condicionados a las ocurrencias de dichas estaciones que permiten la generación de caudales para las cuencas de tercer orden utilizadas para la realización de los balances.

^{1/} Matalas N.C. Mathematical Assessment of Synthetic Hydrology. Water Resources Research 3 (4) 987 - 945.

1) Modelo de generación de las estaciones pivote.

El modelo utilizado para la generación sintética de los caudales de las estaciones pivote fué implementado de acuerdo con los siguientes supuestos:

a) La distribución de los caudales a nivel mensual sigue una distribución lognormal. Este tipo de distribución permite preservar la media y desviación típica de los caudales mensuales y, además sólo considera valores positivos para la serie de caudales de acuerdo con la ocurrencia del fenómeno. Se han planteado numerosas distribuciones en la literatura sin haberse podido concluir sobre una distribución única debido a que las pruebas de hipótesis realizadas sobre los datos existentes admiten varias distribuciones.^{1/} La distribución lognormal ha tenido una amplia aceptación entre los hidrólogos y los autores han efectuado pruebas de hipótesis a datos de ríos colombianos con resultados satisfactorios.

b) La tipificación de los logaritmos de los caudales (al logaritmo del caudal se le sustrae la media mensual de los logaritmos y se divide por la desviación típica de éstos) transformando en estacionaria la serie. Es decir, al efectuar la transformación anteriormente indicada, los datos para una estación correspondiente a un mes dado, no pueden distinguirse de los datos transformados de la misma estación en otro mes. El supuesto anterior es ampliamente justifica-

^{1/} Marcovic R.D. Probability Functions of best fit to Distribution of Annual Precipitation and Runoff. C.S.U. Hydrology paper #8, Agosto 1965.

do en la literatura sobre series de tiempo hidrológicas.

c) Se supuso que los logaritmos tipificados evolucionan en el tiempo de acuerdo al modelo multivariado postulado por Matalas.

2) Modelo de generación regional.

Para la generación de caudales de las cuencas de tercer orden se utilizaron modelos regionales condicionados a las estaciones pivote.

1. Debido a las dificultades inherentes a la regionalización de la matriz de correlación de rezago uno y a la escasa información que ella agrega se decidió utilizar un modelo que sólo preservase la matriz de correlación de rezago cero entre las cuencas que forman una región dada, así como el primer coeficiente de correlación serial de éstas. Las correlaciones espaciales existentes entre las cuencas de las regiones se preservan sólo a través de la correlación existente entre los pivotes de dichas regiones.

3) Modelo de generación de la precipitación.

En el modelo de balance, se requiere la precipitación para determinar la demanda efectiva de riego por cultivo en las cuencas de tercer orden. Debido al carácter estocástico de la lluvia, se incluyó un modelo de generación sintética de precipitación mensual implementado bajo los siguientes supuestos.

a) La distribución de la precipitación a nivel mensual sigue una distribución lognormal mixta. Es decir, existirá, una cierta probabilidad de que dicha precipitación sea igual a cero y la distribución de la precipitación, dado que ella

es mayor que cero, tendrá distribución lognormal. El tipo de distribución propuesto permite preservar la probabilidad de no ocurrencia de precipitación, así como la media y la desviación típica de esta, lo que, se juzgó apropiado para propósito del estudio.

b) El modelo de generación de caudales establece que el caudal del mes siguiente, depende de una porción del caudal del mes anterior (efecto de recesión) y de una parte aleatoria debida a la precipitación del mes en curso. Se supuso que la probabilidad de ocurrencia de la porción aleatoria de los caudales tiene la misma probabilidad de ocurrencia de la precipitación. Por ejemplo, si la porción aleatoria del caudal propio de una cuenca de tercer orden ocurrida en un mes dado tiene una probabilidad de no ser excedida en un 70%, la precipitación ocurrida en el mismo mes en esa cuenca debe tener 70% de probabilidad de no ser excedida. La generación de precipitación se efectúa transformando la porción aleatoria del caudal a precipitación utilizando las respectivas funciones acumuladas de precipitación.

4.1.5 REGIONALIZACION DE CAUDALES MAXIMOS

El objetivo de esta sección es presentar unas herramientas con las que sea posible estimar las frecuencias de las crecientes en la mayoría de los ríos del país.

Se han propuesto diversas distribuciones que pueden ajustarse a los caudales máximos instantáneos que se presentan en un río determinado. Algunas de estas distribuciones se caracterizan por dos parámetros, los cuales pueden estimarse a partir de la media y desviación típica de la variable

aleatoria; otras, sin embargo requieren la estimación de tres o aún más parámetros, lo que hace necesario incluir momentos de mayor orden para su estimación tales como el coeficiente de asimetría.

Para propósito del estudio se adoptó la distribución Gum bel como la que se ajusta a los máximos instantáneos anuales. Para su estimación sólo requieren conocerse la media y desviación típica de dichos máximos.

Desde el punto de vista de planeamiento, la estimación de las frecuencias con base en la distribución Gumbel es suficientemente aproximada. En el caso en que se decida realizar el estudio de un proyecto específico, se requerirá efectuar pruebas de hipótesis sobre la distribución que mejor se ajusta a los registros históricos y sobre esta base efectuar la estimación de las respectivas frecuencias.

Teniendo en cuenta lo expuesto, se regionalizaron la media y la desviación típica de los caudales máximos anuales. Es de notar que el ejercicio de regionalización se intentó realizar, así mismo, para el coeficiente de asimetría, sin llegar a obtenerse resultados aceptables.

Debe resaltarse el hecho de que la media y desviación típica regionalizadas pueden utilizarse en la estimación de funciones de distribución diferentes de la Gumbel que solo estén parametrizados por 2 valores.

Para efectuar la regionalización se plantearon modelos que relacionan la media y la desviación típica de los caudales

máximos con variables meteorológicas tales como el caudal medio multianual, la precipitación máxima anual en 24 horas, etc. y variables fisiográficas tales como el área drenada, la pendiente, la longitud del cauce, la cobertura vegetal, la litología, etc. Se emplearon tanto modelos lineales como logarítmicos.

En algunos casos la media y la desviación de los caudales máximos anuales son dependientes entre sí. Por lo tanto, la estimación de dichos parámetros no puede hacerse independientemente. En tales casos, para la estimación de la variabilidad de los caudales máximos, se regionalizó el coeficiente de variación que, conjuntamente con la regionalización de la media provee la información requerida para estimar la desviación típica mensual.

En las variables explicativas se incluyeron aquellas que fueran de fácil medición, tales como el caudal medio multianual, área de la cuenca drenada, longitud, relación ancho-largo y la pendiente media del río en porcentaje. La longitud se obtiene midiendo en los planos 1:500.000 del IGAC, lo mismo que la pendiente media. El ancho promedio de la cuenca se calcula como el área dividida por la longitud del río.

Desde el punto de vista de crecientes el país se dividió en 10 regiones que se consideraron homogéneas. Estas regiones son: Ríos de cordillera pertenecientes a las vertientes de la Amazonía y la Orinoquía, tributarios de la vertiente oriental del Magdalena, tributarios de la vertiente occidental del Magdalena, río Magdalena, tributarios de la vertiente oriental del río Cauca, vertiente del

Pacífico, vertiente del Catatumbo y la parte plana de la vertiente del Atlántico sin incluir los ríos Magdalena y Cauca. De nuevo la regionalización anterior permite realizar el cálculo de los caudales máximos anuales con diferente período de retorno para las cuencas de tercer orden incluidas en los balances.

Para cada una de las regiones se encontraron los mejores modelos lineales y exponenciales. Es decir, los modelos con las variables independientes que explicaran el comportamiento de la media y la desviación típica o coeficiente de variación de las crecientes de una manera significativa.

Los resultados obtenidos se presentan en el Numeral A.6 del Anexo A. A partir de la media y desviación típica regionalizada es posible estimar los parámetros de la distribución Gumbel y obtener los períodos de retorno para diversos eventos hidrológicos.

4.1.6 Caudales Mínimos.

La determinación de caudales mínimos en una cuenca tiene una gran trascendencia especialmente debido a que ellos determinan déficits que puedan presentarse en la utilización del recurso así como las condiciones críticas de los ríos en cuanto a calidad de las aguas. Para la definición del caudal mínimo pueden adaptarse diversos períodos de agregación; así, se habla de caudales mínimos absolutos, de los mínimos diarios, del mínimo correspondiente al promedio de 7 días y del caudal mínimo mensual, períodos que han sido adoptados en diversos estudios. Los caudales mínimos se

encuentran afectados, en alto grado por las obras de regulación existentes en la cuenca así como por los usos que se efectúen en la parte de aguas arriba de ésta. Por lo tanto, un estudio para la determinación de los períodos de retorno de tales caudales debe tener en consideración el hecho anterior. Por lo tanto, a través del modelo de balances utilizado en el estudio es factible hallar empíricamente la distribución de los caudales mínimos mensuales para la cuenca de tercer orden del país. Ello se logra puesto que es factible conocer dichos caudales para cada uno de los años que se simulan por medio del modelo. Posteriormente es factible efectuar el ajuste de una distribución probabilística a los datos generados de acuerdo con el procedimiento anterior.

4.2 LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN COLOMBIA

El estudio sobre las aguas subterráneas en Colombia comprende la sectorización del país en 28 zonas hidrogeológicas; la descripción de la hidrogeología general de cada una de estas zonas realizada por medio de una recopilación de la gran mayoría de estudios realizados en el país en este campo; cifras sobre la dimensión de los acuíferos; identificación de áreas con problemas de sobreexplotación del recurso; el cálculo de costos de extracción; un diagnóstico sobre aspectos institucionales, jurídicos y problemas no resueltos; y la iniciación de un Banco de Datos Hidrogeológicos. Es de notar que la sectorización en 28 zonas hidrogeológicas se llevó a cabo siguiendo criterios de una relativa homogeneidad desde el punto de vista hidrogeológico. De nuevo, ésta se ubica dentro de las zonas anteriores cada una de las cuencas de tercer orden en el país. Los resultados de la investigación anterior se presentan en el Anexo B y en el anexo sobre aspectos Institucionales. En la segunda fase se utilizarán los resultados de los estudios llevados a cabo en este campo

para examinar alternativas de utilización de los recursos hidrogeológicos bien sea en forma aislada o en combinación con el recurso superficial. La profundidad con que pueda llevarse a cabo este análisis dependerá del nivel de estudios en que se encuentra la información disponible puesto que para gran parte de las zonas sólo se cuenta con información que no permite hacer cuantificación en forma confiable. A continuación se presenta un breve resumen de las características hidrogeológicas de cada una de las regiones en que fué dividido el país. Forman parte del informe los mapas hidrogeológicos a escala 1:500.000 elaborados donde se delimitan precisamente las zonas a que se hace referencia.

1. La zona del Atrato.

No dispone de estudios hidrogeológicos específicos, aunque la geología regional indica que hay abundante agua subterránea en la zona plana. La Cordillera Occidental contiene rocas básicamente impermeables, mientras que la Serranía de Baudó tiene un núcleo de rocas impermeables, sobrepuestas por formaciones consolidadas con permeabilidad primaria y agua salobre: las formaciones Clavo, Salaquí, Uva, Napipí y Sierra. Entre la Cordillera y la Serranía está la formación Quibdó predominante impermeable. El extenso valle aluvial del río Atrato y del río León contiene sedimentos no consolidados con alta permeabilidad. En particular, se destacan los aluviones de la zona bananera de Urabá, donde se han contruido no menos de 50 pozos con caudales grandes. Es necesario adelantar aquí un estudio hidrogeológico que permita conocer en detalle las características de los acuíferos.

4. La Zona del Sinú.

No dispone de acuíferos conocidos de buenas características. La mayor parte de las rocas que conforman la Serranía de Abibe- las Palomas, y algunos núcleos de las Serranías de San Jerónimo y San Jacinto son impermeables. Tanto del lado occidental del valle del Sinú como del lado oriental hay rocas marinas del Terciario Medio y Superior con permeabilidad primaria con aguas salobres connatas, las formaciones La Risa, Charrura, Floresanto, Ciénaga de Oro, Sabaneta y Toluviejo. La formación Tuchín y su equivalente, la formación Carreto, son unidades de rocas consolidadas con permeabilidad secundaria y con agua subterránea dulce. La propia planicie del río Sinú contiene un relleno irregular de sedimentos fluvio-lacus tres no consolidados, con acuíferos libres y confinados de poco rendimiento y con aguas de inferior calidad. En la planicie costanera que da frente al Golfo de Morrosquillo hay un relleno fluvial - litoral del Cuaternario con acuíferos semi-confinados de moderada permeabilidad en paleocauces. La cuña de agua salada penetra un máximo de 2300 m tierra adentro en el sector de Zaragozilla y 1000 m en el área de Tolú. Es necesario estudiar en mucho mayor detalle la hidrogeología de las formaciones Tuchín-Carreto y los depósitos fluvio-lacus tres y fluvio-litorales de la región.

3. La Zona Dique-Bocas.

tiene rocas predominantemente impermeables en la Serranía de Luruaco y los Montes de María. Entre estas se intercalan cinco formaciones del Terciario con permeabilidad primaria pero con aguas connatas saladas o salobres: las formaciones Arroyo

de Piedra, Gallinazo, Tubará, Juan de Acosta y Chorrera. Estas aguas son aprovechadas en algunas localidades por carencia de otras. La formación Popa es un acuífero con permeabilidad secundaria con agua dulce; donde está aledaña al mar hay un delgado lente de agua dulce sobre las aguas saladas de la cuña marina. En la región del Canal del Dique, - las Ciénagas del Guájaro y Totumal, y en la región al NE de Cartagena, hay sedimentos no consolidados fluvio-lacustres de baja permeabilidad y litorales. En la región del Canal del Dique y las mencionadas Ciénagas hay aguas subterráneas dulces; en las barras de arena litorales hay delgados lentes de agua dulce flotando sobre agua salada. El Ingeominas actualmente adelanta una investigación en la región.

4. Zona Sierra Nevada Norte.

La hoya baja de los ríos Gaira y Manzanares tiene un grueso relleno aluvial del Cuaternario, la formación Manzanares. Es este un excelente acuífero libre, con una alta tabla de agua, y alta permeabilidad, con agua de muy buena calidad, en el cual se han perforado unos 40 pozos. Cinco de ellos abastecen en parte el acueducto de Santa Marta y ocho el de Rodadero Gaira. El sobrebombeo ha provocado la intrusión salina en el frente de la bahía de Santa Marta y se tiene como consecuencia la pérdida de dos pozos del acueducto y los dos pozos del Batallón Córdoba. Sin embargo, un uso racional de la formación Manzanares sin duda permitiría a ACUAMARTA la solución de los permanentes problemas de los acueductos en estas ciudades. Además, de la formación Manzanares hay aluviones no consolidados presumiblemente de alta permeabilidad en numerosas ensenadas de la Costa Caribe y en los valles bajos de los ríos Guachaca, Buriticá, Don

Diego, Palomino y Tapias. Fuera de éstas en el área de Tomarrazón hay terrazas perlinarmente clasificadas como de moderada permeabilidad y rocas consolidadas potencialmente con permeabilidad secundaria en la hoya del río Corual. - También hay algunas rocas del Terciario Superior con aguas connatas saladas o salobres al pié de la Sierra Nevada. La propia Sierra Nevada de Santa Marta está compuesta por rocas ígneas y metamórficas impermeables.

5. La zona de la Península de la Guajira.

Ha sido una de las regiones más estudiadas desde hace 30 años en cuanto al agua subterránea. Los núcleos antiguos, las Serranías de Macuira, Jarara, Parashi, Carpintero, Simarúa y Cosinas, están compuestas por rocas ígneas y metamórficas impermeables. Adosados a éstas y extendida por toda la Alta y Media Guajira está la formación Uitpa, impermeable. En la Alta Guajira hay acuíferos en los campos de dunas (tabla de agua profunda), en depósitos de cauce aluvial (tabla de agua profunda), en las formaciones Jimol y Castilletes (calizas fracturadas) y posiblemente en varias otras formaciones calcáreas. En la Media Guajira hay extensas terrazas con sedimentos semiconsolidados potencialmente de moderada permeabilidad, depósitos de cauce aluvial con acuíferos de tabla de agua profunda, y numerosas rocas consolidadas potencialmente acuíferas debido a su fracturamiento o disolución que pueden producir cantidades bajas de agua para uso local, como las formaciones Ranchogrande, Uitpana, Cheterlô, Cajú, Chinapa, Palanz, Poschachi, Moina, Yaruma Superior, Maraca, La Luna, Guaralamai y Siamana. En la Baja Guajira las condiciones hidrogeológicas son más favorables. Muy buena parte de la llanura aluvial de esta región está constituida por la formación Uribia, un acuífero libre de permeabilidad moderada captado por cientos de aljibes y pozos tubulares.

Los caudales en general son bajos y la calidad es variable (dulce, salobre, salada). Debajo de la formación Uribia - yace la formación Mongui, acuífero semiconfinado en calizas poco compactas con alta permeabilidad descubierto recientemente. La formación Mongui tiene agua dulce en la región de Riohacha mientras que al SE de Maicao y Jojoncito es salobre a muy salobre.

b. La Zona del Catatumbo.

Donde está situada la ciudad de Cúcuta, es una región que se está estudiando hace más de 50 años. La parte occidental de la zona, en el Macizo de Santander tiene rocas impermeables, con excepción de las rocas del Valle de Abrego. Aquí hay aluviones potencialmente de alta permeabilidad y la formación Algodonal clasificada preliminarmente entre los sedimentos semiconsolidados de alta permeabilidad. En la parte oriental hay rocas consolidadas con permeabilidad secundaria como las formaciones Rionegro, Aguardiente y Barco; calizas potencialmente acuíferas como las formaciones Tibú, Mercedes, Cogollo y La Luna; rocas consolidadas con permeabilidad primaria pero con agua salobre connata, las formaciones Mirador y Carbonera; un conjunto de rocas sedimentarias impermeables; y encima el grupo Guayabo, con algunos niveles acuíferos pobres, con agua dulce. Los aluviones Cuaternarios de Cucutilla, Arboledas, el río Peralonso, Chinácota, y los ríos Pamplonita, Táchira y el Zulia, contienen acuíferos libres y semiconfinados de alta hasta moderada permeabilidad, con aguas dulces, duras, incrustantes, de tipo cálcico-sódico bicarbonatadas. Hace dos años se terminaron los estudios hidrogeológicos para la ciudad de Cúcuta, con recomendaciones concretas sobre construcción de varios pozos en los aluviones

Cuaternarios de la zona de El Mosquito, La Libertad y Villa del Rosario, con caudales entre 50 lps y 14 lps.

7. La Zona de San Andrés y Providencia.

La isla de San Andrés se abastece totalmente con agua subterránea proveniente del bombeo de un campo de pozos en calizas diaclasadas karstificadas de la formación San Andrés. El acuífero es libre en la parte central y más elevada de la isla y tiene la forma de un típico lente de agua dulce flotando sobre y rodeado por agua salada. La recarga sobre la hoya del Cove es apenas de 1 millón de m^3 /año, razón por la cual se debe tener un extremo cuidado en el bombeo máximo de cada uno de los pozos, no sobrepasando el límite superior de cloruros de 150 ppm para evitar la intrusión salina. Se ha recomendado alimentar la escorrentía superficial del arroyo El Cove al acuífero. Tanto en San Andrés como en Providencia hay calizas coralinas del Pleistoceno con agua subterránea salobre. En Providencia y en Santa Catalina hay rocas volcánicas del Terciario Superior potencialmente acuíferas.

La Altiplanicie de Popayán

La región del Cauca se subdividió en cinco áreas: la Altiplanicie de Popayán; el propio Valle del Cauca; la zona de las mesetas de Manizales, Aranzazu, Armenia y Pereira; el Valle Medio del Cauca y el Cañon del Cauca.

Tiene rocas impermeables en la Cordillera Occidental, en el Sector montañoso entre Silvia y Corinto, y en cerros aislados en las cercanías de Sotará, Panitá, La Tetilla y Mondo-mo. Tiene sedimentos no consolidados con acuíferos de alta

a moderada permeabilidad, como la formación Pubenza en el subsuelo de Popayán y otras en cortos trechos de los ríos Quinamayo, Jambaló y San Francisco. La formación Esmita tiene rocas consolidadas potencialmente con permeabilidad primaria al oriente del río Cauca, y las formaciones del Grupo del Cauca, que pueden ser acuíferos con permeabilidad secundaria al occidentes del mismo río. La unidad geológica más extendida en toda el área de la Altiplanicie es la formación Popayán, de origen prioclástico, con acuiferos libres de moderada permeabilidad en la superficie y acuiferos confinados o semiconfinados entre capas de acuitardos. Los numerosos volcanes recientes de la zona tienen una amplia gama de propiedades geohidráulicas. Por su gran extensión sería conveniente un estudio hidrogeológico específico de la formación Popayán.

9. El Area del Valle Del Cauca.

Es la zona mejor conocida en cuanto al agua subterránea de todo el país. Las rocas de las Cordilleras Occidental y Central son consideradas como prácticamente impermeables. En el borde de la Cordillera Occidental al sur de Cali, aparecen las formaciones Chimborazo, Guachinche y Ferreira, (Consolidadas, con permeabilidad secundaria); al norte de Yumbo se encuentran las calizas de la formación Vijes; entre el río Bugalagrande y el río La Vieja, en el borde de la Cordillera Central, se encuentra la formación Cinta de Piedra (consolidada, con permeabilidad secundaria). La formación La Paila, bordeando la zona plana al oriente del Valle entre Buga y el río Risaralda y presente en el subsuelo de la zona plana es una formación de rocas consolidadas con permeabilidad primaria, que ha probado tener acuiferos confinados o semiconfinados de buenas características en la parte norte del Departamento. La formación Zarzal,

que se extiende entre Bugalagrande al sur y Cartago al norte, al oriente del río Cauca, contiene acuíferos confinados captados por algunos pozos al SW de Cartago. Pero indudablemente los mejores acuíferos de toda el área se encuentran en la formación Valle, el relleno aluvial de la zona plana, incluyendo el valle bajo del río Risaralda. Esta unidad tiene gruesos acuíferos libres y semi- confinados separados por acuitardos. Los acuíferos son excelentes por su continuidad, alta permeabilidad, recarga, niveles y calidad. CVC desde mediados de 1967 lleva a cabo el estudio de las aguas subterráneas y en la actualidad hace el control y manejo del recurso, sobre 1280 pozos con un caudal agregado de 116.453 lps.

10. El Area de las Mesetas de Manizales, Aranzazu, Armenia y Pereira.

La mayor parte de las rocas antiguas constituyentes del flanco occidental de la Cordillera Central es impermeable. Las formaciones Amagá y Abejorral pueden ser acuíferas debido a permeabilidad secundaria. Los depósitos piroclásticos de las mesetas mencionadas, denominadas colectivamente formación Armenia tienen un acuífero libre de moderada permeabilidad y acuíferos confinados o semiconfinados entre capas de acuitardos. Por su amplia dispersión y suelos de excelente calidad estos depositos ameritan estudios hidrogeológicos específicos. Adicionalmente hay sedimentos no consolidados potencialmente acuíferos en los aluviones recientes de los ríos Quindío, Barragán y Guacaira.

11. El Valle Medio del Cauca

No dispone de estudios hidrogeológicos, por lo cual las apre

ciaciones sobre el área se basan en estudios geológicos regionales. La mayor parte de la zona tiene rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias impermeables. En la parte central se considera que la formación Amagá puede ser acuífera con permeabilidad secundaria y que la formación Combia (Volcánica-sedimentaria) puede catalogarse dentro de las unidades con permeabilidad primaria. Los aluviones depositados a lo largo de varios trechos de los ríos Cauca, El Supía y el Bolívar se incluyen dentro de las unidades de alta permeabilidad.

12. El Cañón del Cauca.

Entre Santa Fé de Antioquia y Puerto Antioquia está compuesto por rocas prácticamente impermeables. Sólomente en zonas de alta fracturación pueden estas rocas ígneas y metamórficas conducir agua subterránea.

La región del Valle del Río Magdalena se dividió en Alto, Medio y Bajo Magdalena, y cada una de estas zonas en varias áreas, así: Alto Magdalena, en las áreas de San Agustín-Hobo, Hobo-Purificación, Saldaña, Facatativa-Colombia, y Sabana de Bogotá; Medio Magdalena, en las áreas de Guataquí-San Pablo, Sogamoso, y San Pablo-La Gloria; Bajo Magdalena, en las áreas de Mompós, Cesar y Delta del Magdalena.

13. El Area de San Agustín-Hobo.

Tiene rocas metamórficas e ígneas impermeables en la cumbre de las Cordilleras Central y Oriental y rocas sedimentarias prácticamente impermeables de las formaciones Saldaña, Villeta y Guaduas en la fosa del Magdalena. Localmente algunos niveles calcáreos de Villeta tienen permeabilidad secundaria por disolución. Las formaciones Caballos, Guadalupe y Gualanday pueden ser acuíferas por fracturamiento. En forma

preliminar se piensa que las siguientes unidades pueden tener permeabilidad primaria: las formaciones Gigante, Honda, Guacacallo, el Lahar de Altamira y los Basaltos de Acevedo.

A lo largo de los ríos Paéz, La Plata, localmente en el río Magdalena, y en las regiones de Pitalito, Guadalupe y Guaya_{ba}l, así como en las terrazas de Gigante y Altamira, hay valles aluviales con depósitos Cuaternarios, presumiblemente de alta o moderada permeabilidad, los cuales no se han estudiado hidrogeológicamente. Esta tarea es una de las cuales debe estudiarse en detalle ya que la escasez de aguas superficiales implica que el desarrollo del sur del Huila debe apoyarse en las aguas subterráneas.

14. El Area de Hobo-Purificación.

También tiene rocas plutónicas y metamórficas impermeables en las dos Cordilleras y las formaciones Saldaña, Villeta y Guaduas (impermeables) en los flancos del Valle y en el subsuelo del mismo. Las formaciones Caballos, Guadalupe y Gua_{lan}day pueden ser acuíferos con permeabilidad secundaria. La formación Honda ha probado ser un acuífero con permeabilidad primaria o secundaria en varias partes del centro y norte del Huila, con caudales bajos y medianos. Además a lo largo del río Magdalena y en el Valle del Río Neiva hay una angosta faja de depósitos aluviales Cuaternarios, presumiblemente de alta permeabilidad. Esta área semi-desértica también es una de las que debe estudiarse hidrogeológicamente en detalle, como se viene planteando desde 1958.

15. Area del Río Saldaña

La mitad occidental del Area del Saldaña en el flanco de la Cordillera Central está compuesta por rocas metamórficas e ígneas impermeables. En la otra mitad también hay unos

núcleos de estas rocas y las formaciones Luisa, Saldaña, Villeta, Guaduas y Cira que se consideran impermeables. En las franjas remanentes de la mitad oriental hay rocas permeables potencialmente o definitivamente acuíferas: las formaciones Caballos, La Tabla, Gualanday y el Grupo Olini (permeabilidad secundaria por fracturación) y la formación Payandé (kárstica). Además la formación Honda contiene acuíferos libres y confinados en rocas con permeabilidad primaria y secundaria, y en el Abanico de Ibagué y la Terraza del Guamo hay extensos depósitos piroclásticos con acuíferos de características muy variables. Finalmente hay aluviones, predominantemente de moderada permeabilidad, en las angostas planicies de inundación de numerosos ríos provenientes de la Cordillera Central y en el amplio Abanico de Espinal. Es necesario realizar mayores investigaciones hidrogeológicas en toda esta fértil región, inclusive para suplementar los sistemas de riego existentes.

16. El Area de Facatativa-Colombia.

Tiene un amplio predominio de rocas impermeables en las formaciones Saldaña, Villeta, Gualanday y Cira, además de algunos pequeños cuerpos intrusivos de cuarzodiorita Jurásica en la parte sur del área. Las formaciones Guadalupe y Gualanday constituyen normalmente los cerros periféricos de los amplios sinclinales que caracterizan esta región y tienen permeabilidad secundaria. La formación Honda en el centro del sinclinal de Girardot-Agua de Dios y la parte sur del sinclinal del Carmen de Apicalá puede ser un acuífero consolidado con permeabilidad primaria. Los sedimentos aluviales Cuaternarios presentan en general una moderada a baja permeabilidad, pudiendo proporcionar cantidades pequeñas de agua en aljibes para uso local.

17. La situación hidrogeológica del Area de la Sabana de Bogotá.

Está conocida en líneas generales. El grupo Villeta, impermeable, subyace toda el área y en el núcleo de varios de los numerosos sinclinales de este sector de la Cordillera Oriental se encuentran las formaciones Guaduas, Bogotá y Usme, igualmente impermeables. Encima de, o entre estas formaciones, se encuentran rocas consolidadas con permeabilidad secundaria, por fracturación, los miembros de la formación Guadalupe; y además las formaciones Arenisca del Cacho y Regadera, rocas consolidadas con permeabilidad primaria. La formación Guadalupe es un acuífero de unos 700 m de espesor probado en numerosas partes de la Sabana. Se ha comprobado que la circulación de agua ocurre en zonas angostas de alta fracturación y que la calidad en general es buena aunque algo ferruginosa. El flujo anual de recarga al acuífero en las hoyas aguas abajo de Puente Vargas (Cajicá) ha sido calculado en 58.4 millones de m³. Mucho tememos que con la gran cantidad de pozos de alto caudal perforados en esta unidad en los últimos años se esté llegando al límite de la extracción segura. Por otra parte las formaciones Tilatá y Sabana, que conjuntamente forman el relleno Cuaternario de la hoya fluvio-lacustre de la Sabana de Bogotá, también son acuíferos, siendo unidades semiconsolidadas de alta o de moderada permeabilidad respectivamente. Tienen acuíferos libres, acuíferos colgados, acuitardos, acuicierres, y acuíferos confinados. La formación Sabana, en particular, es el acuífero más explotado de la región, con miles de aljibes y pozos tubulares. El nivel del agua subterránea está descendiendo en varias zonas de la Sabana, seguramente por sobrebombeo. La CAR, con la colaboración de varias entidades nacionales y extranjeras, desde 1968 comenzó a estudiar las aguas subterráneas en el área de su jurisdicción y tiene información

parcial de quince municipios. Lamentablemente, ahora que es urgente conocer bien los acuíferos ya que se están detectando preocupantes descensos de niveles la CAR no cuenta con la necesaria información precisa ni la infraestructura de personal para conocer y controlar este recurso natural renovable. Para la región es de vital importancia que la CAR tome medidas inmediatas para subsanar esta crítica situación ya que toda la comunidad se está viendo perjudicada.

18. El Area de Guataquí - San Pablo.

Una de las más extensas del Valle del Magdalena, consta de tres grandes fajas. La faja occidental, en la Cordillera Central está compuesta casi íntegramente por rocas impermeables. Sólomente se exceptúan los Mármoles del Nus, con permeabilidad secundaria por disolución y extensos fenómenos kársticos por ejemplo en el codo del río Samaná Norte y en el río Alicante. La faja oriental, sobre la Cordillera Oriental, está compuesta en buena parte por rocas sedimentarias impermeables, de formaciones lutíticas y arcillosas del Cretáceo y Terciario Inferior. El resto, las formaciones Seca, Hoyón, San Juan de Rioseco, La Paz y Mugrosa Superior, son rocas consolidadas con permeabilidad secundaria, por fracturación; o bien las formaciones Rosablanca, Tablazo y Caliza del Salto, todas unidades cálcareas, con permeabilidad secundaria, por disolución. La faja central, lo que es propiamente la semi-fosa del Magdalena, contiene rocas consolidadas con permeabilidad primaria en el grupo Honda (formaciones Cambrás, San Antonio y Los Limones), y su equivalente al norte de Puerto Triunfo, el grupo Real. Las características hidrogeológicas específicas de las diferentes formaciones de los grupos Honda y Real no se han estudiado

sino parcialmente. Sobre el flanco oriental de la Cordillera, en el sur, y en el Valle del río Magdalena hasta la latitud del río La Miel, hay depósitos piroclásticos con cierta compactación y permeabilidad primaria, los lahares de los volcanes del Tolima, Ruiz y Cerro Bravo, el cono de Lérida y la formación Mesa. Al norte de los ríos la Miel y Negro la formación Mesa está ampliamente extendida en el Valle medio del Magdalena. Tiene acuíferos confinados de regular capacidad probados por pozos en el acueducto de Puerto Boyacá y en el área de Barrancabermeja donde se bombean para la recuperación secundaria del petróleo. Finalmente en la planicie de inundación del río Magdalena hay entre 28 y 29 m de aluviones Cuaternarios con moderada permeabilidad, con acuíferos libres recargados por el río.

19. El Area del Sogamoso.

En Boyacá y Santander, tiene rocas ígneas y metamórficas impermeables en los Macizos de Santander y de Floresta, y un gran número de formaciones sedimentarias igualmente impermeables. Sobre y dentro de este complejo de rocas plegadas y talladas que constituyen la Cordillera Oriental están las siguientes formaciones que se catalogan preliminarmente como rocas consolidadas con permeabilidad secundaria por fracturación: La Rusia, Arcabuco Inferior, Ritoque, Tambor, Arenisca de Chiquinquirá, Guadalupe, La Paz y Mugrosa Superior. Además, están las siguientes rocas consolidadas calcáreas con permeabilidad secundaria por disolución: las formaciones Diamante, Rosablanca, Tablazo, Tibasosa y Churuvida. Las formaciones Socha Inferior y Picacho de la región del Alto Chicamocha, y la formación Arenisca del Cacho del

valle de Ubaté-Chiquinquirá se han catalogado dentro de las rocas consolidadas con permeabilidad primaria, con agua subterránea dulce. Dentro de los sedimentos semiconsolidados de moderada permeabilidad se clasificaron la formación Tila tá de Boyacá, los depósitos fluvio-lacustres de Ubaté-Chiquinquirá y de la altiplanicie Paipa-Duitama-Sogamoso y las terrazas del área de la Gómez-Sabaneta-SanClaver, al NE de Barrancabermeja. En los valles de Ubaté-Chiquinquirá y Paipa-Duitama-Sogamoso se hace un uso intenso del agua subterránea mediante aljibes y pozos tubulares. Los depósitos aluviales recientes de los ríos Chucurí, bajo Sogamoso, Lebrija y Chicamocha se catalogaron preliminarmente como sedimentos no consolidados de alta permeabilidad y la Terraza de Bucaramanga como de moderada permeabilidad. Recientemente se publicó un excelente estudio del INGEOMINAS sobre la hidrogeología de Ubaté-Chiquinquirá.

20. El Area de San Pablo- La Gloria.

Tiene rocas ígneas y metamórficas impermeables en la Serranía de San Lucas y en la parte norte del Macizo de Santander. Además, en los bordes de las dos Cordilleras aparecen las formaciones sedimentarias predominantemente impermeables Bocas, Jordán, Girón, La Luna (parte), Umir, Lisama, Mugrosa y parte de la formación Colorado. Son unidades de rocas consolidadas con permeabilidad secundaria por fracturación la formación Esmeraldas y el miembro superior de la formación mugrosa; la formación La Luna en parte tiene rocas calcáreas con permeabilidad secundaria por disolución. El grupo Real tiene acuíferos con agua dulce en rocas consolidadas con permeabilidad primaria, mientras que parte de la formación Colorado tiene aguas saladas connatas. La formación Mesa tiene

sedimentos semiconsolidados, probablemente acuíferos de moderada permeabilidad, aflorantes en varios lugares y presentes bajo los aluviones recientes en la mayor parte del Valle del Magdalena. Estos aluviones se catalogaron preliminarmente, como sedimentos no consolidados de moderada permeabilidad - aunque es presumible que tengan mejores características acuíferas en las vecindades de las dos Cordilleras. Hay un solo estudio específico para aguas subterráneas en esta región.

21. El Area de Mompós.

Es la más grande del Valle del Magdalena, abarcando incluso el valle de Aburrá en las cabeceras del río Porce o Medellín. La parte sur, sobre la Cordillera Central y la Serranía de San Lucas, es predominantemente impermeable. En el núcleo y el borde oriental de las Serranías de San Jerónimo y San Jacinto las formaciones San Cayetano, Chalán, Luruaco y Porquerro-Carmen se consideran impermeables. Sobre el basamento metamórfico de la Cordillera, en el flanco oriental de las Serranías anotadas y en la parte NW del área, reposa una secuencia sedimentaria del Eoceno Medio hasta el Mioceno, de origen marino, con permeabilidad primaria con las formaciones Ciéna-ga de Oro, Chengue, San Jacinto, Cerrito, y el grupo Apure. Por su posición topográfica, aún están saturadas con aguas salobres connatas que no han podido ser desplazadas por aguas dulces meteóricas.

Bordeando todo el flanco oriental de la Serranía de San Jacinto hay un grueso conjunto de rocas sedimentarias detríticas continentales del Plioceno con agua subterránea dulce. Es lo que se ha llamado el grupo Corozal, constituido por las formaciones San Antonio, Sincelejo Inferior, Sincelejo Superior y Morroa. En estas formaciones hay acuíferos confi

nados de buenas características. El mejor acuífero está en la formación Morroa y de ella se abastecen numerosas poblaciones: Sincelejo y Corozal (24 pozos), Sahagún (9 pozos), Chinú (15 pozos), Sampués (3 pozos), Los Palmitos (1 pozo), Carmen de Bolívar y Ovejas (11 pozos). Las aguas son duras, de tipo magnésico-cloruro-bicarbonatadas. Al oriente de los afloramientos del grupo Corozal y hasta llegar al río San Jorge hay una amplia zona de sabanas, las antiguas Sabanas de Bolívar, con la formación Betulia. Contiene sedimentos no consolidados de moderada permeabilidad con aguas subterráneas duras, potables, con tablas de agua relativamente profundas. Finalmente, el centro del área, la célebre Depresión Momposina, tiene extensos y gruesos depósitos fluvio-lacustres del Holoceno que constituyen acuíferos no consolidados con permeabilidad moderada. Mención aparte merecen los aluviones del arroyo Rastra en un pequeño valle entre San Jacinto y San Juan Nepomuceno, donde hay un campo de pozos que abastecen estas dos poblaciones. Es un excelente acuífero confinado de muy poco espesor, con aguas muy duras que requieren tratamiento. El valle de Aburrá, donde está la ciudad de Medellín, tiene un grueso relleno aluvial, clasificado preliminarmente como de moderada permeabilidad.

22. El Area del Cesar.

Tiene rocas predominantemente impermeables en la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá. En los flancos de estas regiones montañosas aparecen varias unidades consolidadas de rocas sedimentarias que podrían ser acuíferas en zonas de fracturamiento: Las formaciones Floresta, Los Indios, Corual, Rionegro y Cuervos Medio. Además, la formación La Luna, presente en ambos lados del Va

lle del Cesar y del Ranchería, consta de calizas con características hidrogeológicas muy variables, pero que pueden tener suficiente porosidad y permeabilidad secundarias en sitios de alto fracturamiento, para considerarse acuífero aprovechable. La formación Santa Rosa, aflorante entre Fundación y Bellavista en la parte norte del Valle del Ariguaní y presente en el subsuelo de dicho valle demostró contener acuíferos confinados de moderada permeabilidad, con aguas de tipo magnético-cálcico-bicarbonatadas de buena calidad en la parte superior y aguas cloruro sódicas de inferior calidad debajo. El grupo Apure, aflorante al occidente del Ariguaní, contiene acuíferos consolidados con aguas salobres connatas. Los valles del Cesar y Ariguaní tienen gruesos depósitos aluviales no consolidados del Cuaternario, en los cuales hay acuíferos libres y semiconfinados de alta permeabilidad. En esta extensa región se han llevado a cabo estudios hidrogeológicos para irrigación en cuatro áreas: la de Codazzi-Becerril-Loma El Loro, la de San Juan del Cesar, la de Valledupar, y el Valle del Ariguaní al norte de la carretera Bosconia-Plato. En todas ellas se probó que hay buenos acuíferos con aguas de buena calidad para irrigación (C1-S1 o C2-S1). Ante la relativa escasez de aguas superficiales en estas regiones, de clara vocación agrícola, es altamente recomendable el aprovechar las aguas subterráneas para irrigación. Con los pozos perforados para abastecer varias poblaciones de estos valles se ha seguido comprobando la buena calidad de los acuíferos. Es indudable que si se implementa técnicamente el desarrollo de los grandes recursos de aguas subterráneas de esta área, con el tiempo se podría tener aquí una agricultura moderna tan pujante como la del Valle del Cauca.

23. El Area del Delta del Río Magdalena.

Tiene rocas metamórficas e ígneas impermeables en la Sierra Nevada de Santa Marta y rocas sedimentarias de las formaciones Perdices e Hibácharo, también impermeables, en la Serranía de Luruaco. La formación Popa, aflorante en Barranquilla, es un acuífero de calizas con permeabilidad secundaria que contiene aguas dulces. Las formaciones Tubará y Chorrera tienen rocas consolidadas con permeabilidad primaria pero contienen aguas salobres. La formación Santa Rosa, al SE de Fundación, tiene acuíferos semiconfinados de moderada permeabilidad. Entre Sabanalarga y la Ciénaga del Guajaro, en una estructura sinclinal se halla la formación Sabanalarga. Constituye un buen acuífero con sedimentos semiconsolidados de moderada a alta permeabilidad. La población de Sabanalarga se abastece de un campo de pozos que capta areniscas friables en condiciones hidrogeológicas confinadas. Entre el río Fundación, la Ciénaga Grande de Santa Marta y la Sierra Nevada hay un grueso depósito aluvial no consolidado de alta permeabilidad. Allí hay un complejo de acuíferos confinados, semi-confinados y libres, recibiendo una fuerte recarga de todos los ríos que bajan de la Sierra Nevada. El tipo de agua predominante es bicarbonatada cálcico-magnésica, C2-S1 para irrigación. La interfase agua dulce-agua salada se extiende hasta 5 Km tierra adentro desde la Ciénaga Grande en el sector Sevillano-Candelaria. Esta también es una de las regiones donde la abundancia de agua subterránea justifica un mayor uso para suplementar los sistemas de riego con aguas superficiales existentes. En el resto del área del Delta del río Magdalena - hay depósitos aluviales de moderada permeabilidad. Las

poblaciones de Baranoa, Polonuevo y Pivijay se abastecen de acuíferos confinados en estos materiales.

24. La zona Hidrogeológica del Orinoco.

Se conoce deficientemente en cuanto al agua subterránea. Una gran parte de la Cordillera Oriental, la Serranía de la Macarena y los territorios al oriente y sur del río Meta tienen rocas impermeables. Sin embargo, y con carácter preliminar, las siguientes unidades se catalogaron - dentro de las rocas consolidadas potencialmente acuíferas con permeabilidad secundaria: Las formaciones Güejar, Araracuara, Areniscas de Gutiérrez, Cuarcita de Ambica, - Capas Rojas del Guatiquía, Clarín, Chingaza, Batá, Rionegro, Areniscas de las Juntas, Cáqueza Inferior, Alto de Cáqueza, Une, Aguardiente, Guadalupe, Macarena, grupo Palmichal, Areniscas del Limbo, Calizas del Guavio, y Calizas del grupo Farallones. Las formaciones Socha Inferior, Picacho y Arenisca de la Regadera de la parte alta de la Cordillera, y la formación Diablo del piedemonte llanero se incluyen preliminarmente entre las rocas consolidadas con permeabilidad primaria. La formación La Corneta del piedemonte en la región de Tauramena es potencialmente un acuífero con sedimentos semiconsolidados de alta permeabilidad. En forma preliminar se clasificaron como sedimentos no consolidados con alta permeabilidad los extensos aluviones recientes de las cuencas de los ríos Meta, Arauca, Ariari medio y las terrazas altas del río Inírida. En la cuenca del Meta se han perforado pozos para Villavicencio, Granada, San Martín y Puerto López con resultados positivos. En general se considera que hay una gran variación en las propiedades hidrogeológicas de los sedimentos de esta extensa región.

25. La zona Hidrogeológica del Amazonas .

También tiene muy escasa investigación. En esta vasta región la mayor parte de las rocas son impermeables. Buena parte de la Cordillera Central y el Macizo de Garzón están compuestas por rocas metamórficas e ígneas. Igualmente hay algunos núcleos con rocas semejantes en la Saliente del Vaupés. Además, se han catalogado como impermeables las formaciones sedimentarias Motema, Rumiyaco, Orito, Terciario Inferior Amazónico y Terciario Superior Amazónico. Las formaciones Caballos, Pepino y Villeta clasificaron como rocas consolidadas con permeabilidad secundaria, potencialmente acuíferas en el piedemonte del Putumayo. Las formaciones Ospina, Guamués y Caimán son rocas consolidadas con permeabilidad primaria; las rocas piroclásticas de la Victoria y de la Laguna de la Cocha pueden contener acuíferos; y las rocas volcánicas del Cerro Patascocoy, Cerro Alcalde y otras, posiblemente tengan un potencial acuífero. Los ríos San Miguel, Rumiyaco, Guamués, Orito, Putumayo, Mocoa y Caquetá tienen rellenos aluviales con sedimentos aluviales potencialmente acuíferos. Hay información local de Puerto Asís y Leticia.

La región del Pacífico se dividió en tres áreas: el Alto Patía, La Franja Costanera Pacífica y Baudó Occidental.

26. El Area del Alto Patía.

Tiene en la parte occidental rocas metamórficas impermeables del grupo Dagua intruídas por stocks de cuarzodiorita y además rocas sedimentarias y volcánicas impermeables del grupo Diabásico; del lado oriental hay rocas metamórficas en el núcleo de la Cordillera Central la formación

Mosquera, que aflora en angostos cinturones plegados del lado oriental de la fosa del Patía, al norte del río Juanambú puede constituir acuíferos con permeabilidad secundaria. Se catalogaron como unidades consolidadas con posible permeabilidad primaria las formaciones Puerres, Esmita, Galeón, Popayán y las lavas andesíticas de los volcanes Doña Juana, Bordoncillo, Galeras, Azufra, Cumbal y Chiles. Las angostas planicies aluviales de los ríos Patía, Mayo, Guachicono, San Jorge y Guátara pueden constituir acuíferos de alta permeabilidad; esto se probó en la población de Patía. Adicionalmente, en el Altiplano Nariñense y en el Valle del Patía hay una serie de mesetas con depósitos fluviolacustres de moderada permeabilidad: La Cocha, Pasto, Guachucal, Cumbal y las terrazas del Patía. Es necesario hacer investigaciones hidrogeológicas detalladas en muchas partes de esta compleja área.

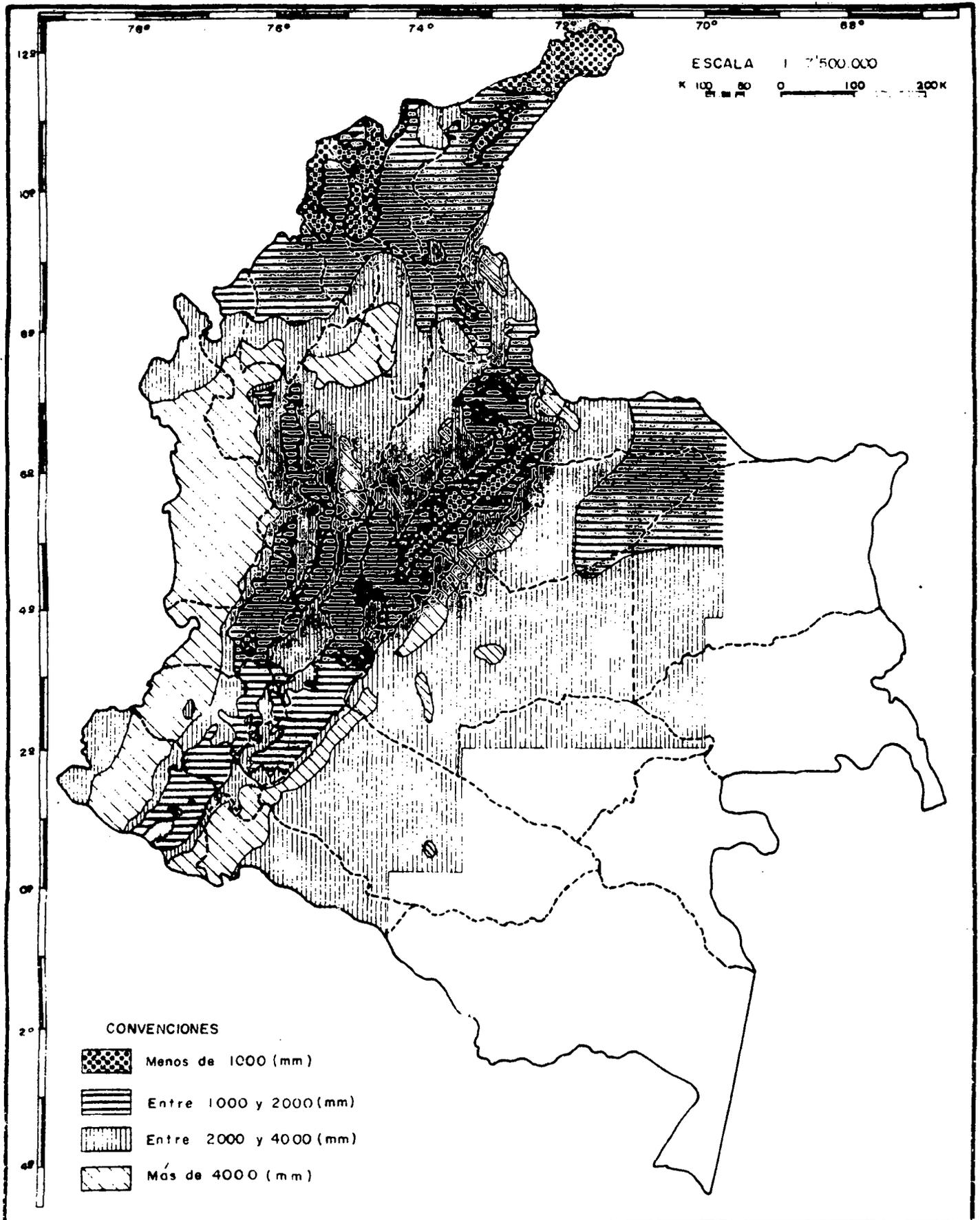
27. La Franja Costanera Pacífica.

Tiene rocas impermeables en la mayor parte de la Cordillera Occidental, los grupos Diabásico y Dagua; y además rocas sedimentarias predominantemente de grano fino y prácticamente impermeables en las formaciones Guapí y Naya. Entre el Diviso y Espriella y entre el río Patía y el Río Mataje hay rocas piroclásticas potencialmente acuíferas de moderada permeabilidad. Las calizas del grupo Pacífico se catalogaron como potencialmente acuíferas con permeabilidad secundaria. Al norte del Patía y aledaños al cordón montañoso con las rocas del Grupo del Pacífico hay unas terrazas o abanicos no estudiados hidrogeológicamente. Los aluviones del río San Juan entre Playa de Oro y Bebedó se catalogaron preliminarmente como de alta permeabilidad. Todos los demás depósitos aluviales de los ríos

que drenan al Pacífico se incluyen entre los sedimentos no consolidados de moderada permeabilidad. En el delta del río Mira hay en estos depósitos acuíferos comprobados de dos tipos: acuíferos costaneros y acuíferos continentales. Los costaneros son lentes de agua dulce yaciendo sobre y rodeados por agua salada, como los que abastecieron en los años 50 y 60 a Tumaco; los continentales están saturados de agua dulce y lo suficientemente alejados de la costa para no tener sino una interfase lateral con el agua salada; como los sedimentos aluviales de la región de Chilví. En el delta del Mira el crecido número de canales superficiales comunicados directamente con el mar y la gran oscilación de las mareas permite la fácil penetración de las aguas salinas hasta 12 km tierra adentro.

28. El Area de Baudó Occidental.

Consta en general de rocas prácticamente impermeables. En la cuenca del río Baudó las formaciones Clavo, Salaquí, Uva, Napipí y Sierra son rocas consolidadas con permeabilidad primaria pero con aguas subterráneas salobres connatas. Los aluviones recientes del río Baudó así como los de las playas a lo largo de la costa del Pacífico se catalogaron preliminarmente como de moderada permeabilidad.



**DEPARTAMENTO NACIONAL DE
PLANEACION**

MEJIA MILLAN Y PERRY LTDA

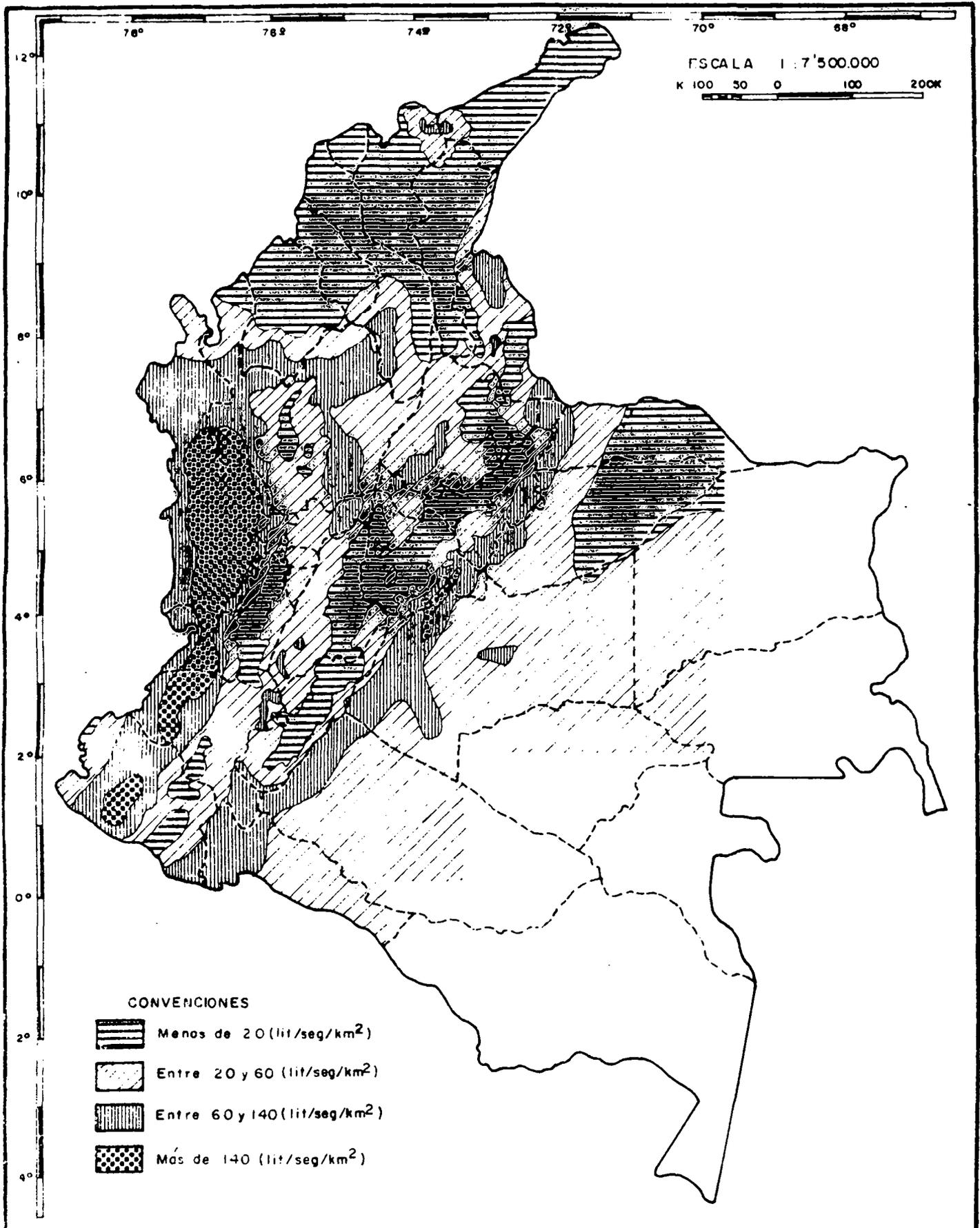
ESTUDIO NACIONAL DE AGUAS

**DISTRIBUCION DE LA PRECIPITACION
EN EL TERRITORIO NACIONAL**

FECHA:
Noviembre de 1983

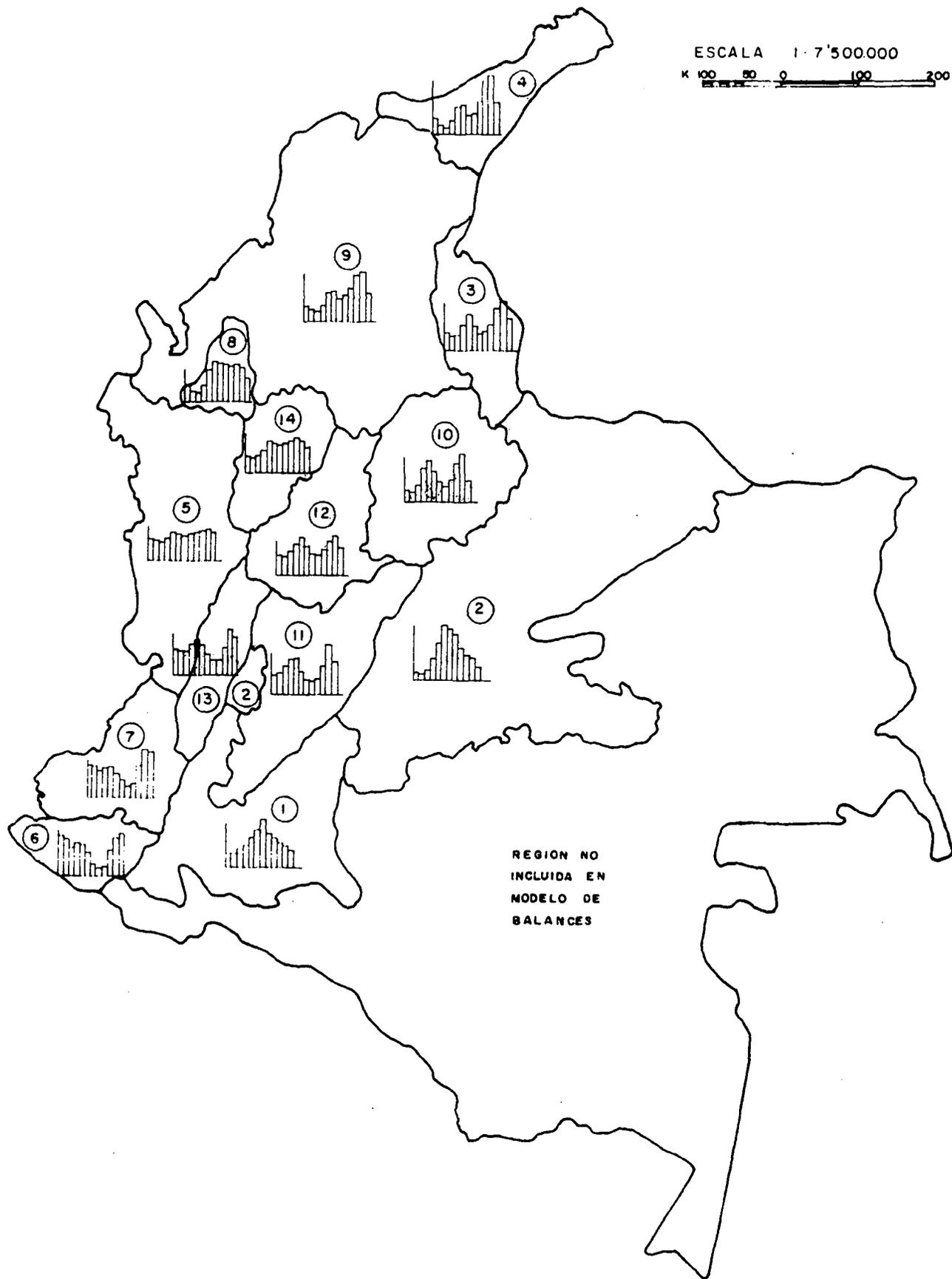
FIGURA N.º:

4.1



DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION	ESTUDIO NACIONAL DE AGUAS	FECHA: Noviembre de 1983.
MEJIA MILLAN Y PERRY LTDA	DISTRIBUCION DE LOS ISORRENDIMIENTOS EN EL TERRITORIO NACIONAL	FIGURA Nº : 4.2

ESCALA 1:7'500.000
 K 100 80 0 100 200K



REGION NO
 INCLUIDA EN
 MODELO DE
 BALANCES

DEPARTAMENTO NACIONAL DE
 PLANEACION

ESTUDIO NACIONAL DE AGUAS

FECHA:
 Noviembre de 1983

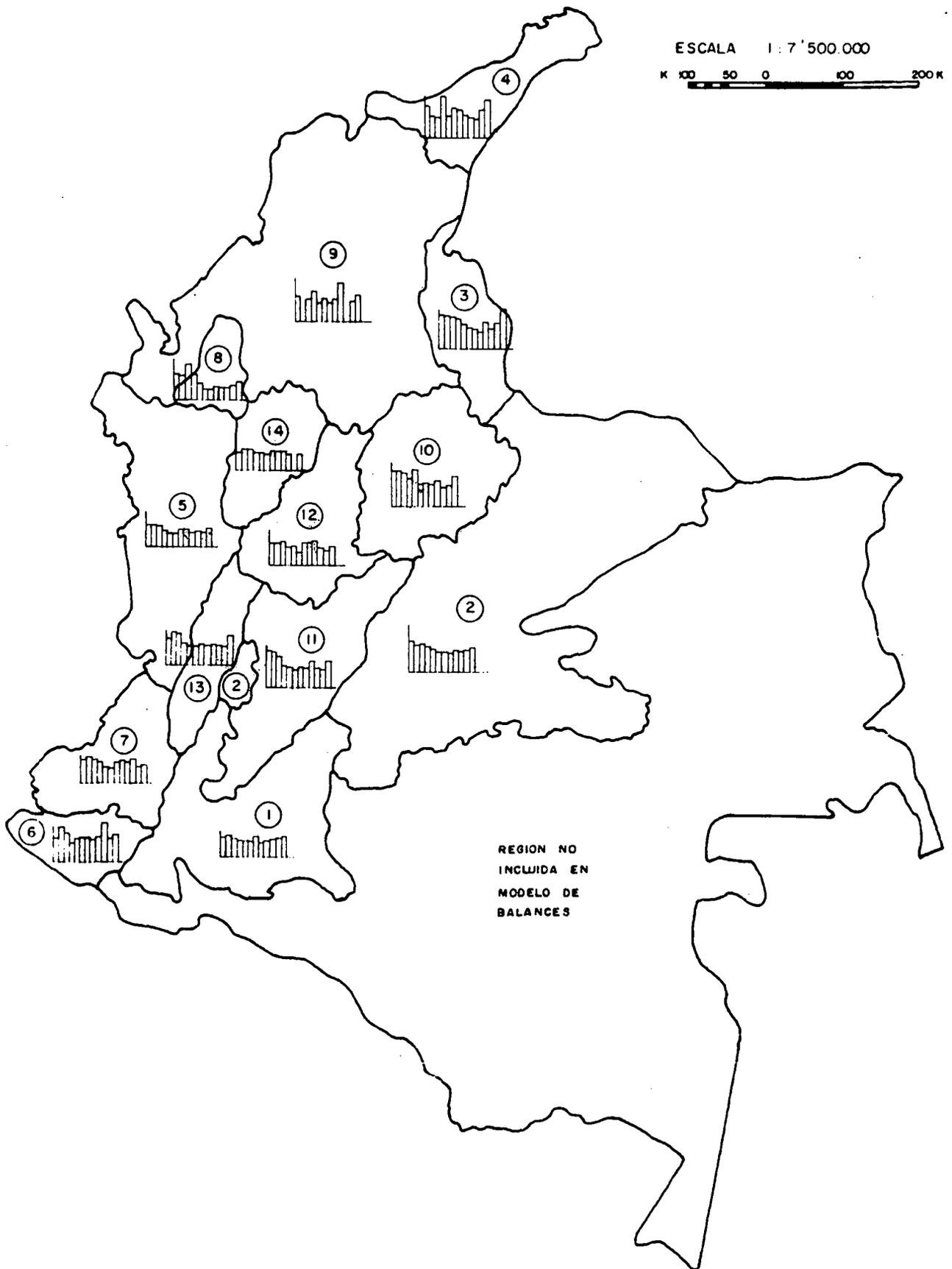
MEJIA MILLAN Y PERRY LTDA

DISTRIBUCION MENSUAL DE LA ESCORRENTIA
 (en %)

FIGURA Nº:
 4.3

ESCALA 1:7'500.000

K 100 50 0 100 200 K



REGION NO
INCLUIDA EN
MODELO DE
BALANCES

DEPARTAMENTO NACIONAL DE
PLANEACION

ESTUDIO NACIONAL DE AGUAS

FECHA:
Noviembre de 1983

MEJIA MILLAN Y PERRY LTDA

DISTRIBUCION MENSUAL DE LOS COEFICIENTES
DE VARIACION

FIGURA N.º:

4.4

CAPITULO 5

USOS DEL AGUA

5.1 INTRODUCCION

En este capítulo se describen los estudios realizados para cuantificar las demandas actuales para los diferentes usos y llevar a cabo en la segunda fase del estudio las estimaciones necesarias para proyectar los usos del agua en los diferentes sectores. Tal como se mencionó anteriormente tales proyecciones dependerán de los escenarios y opciones que se analicen en dicha fase de los estudios.

Aunque la definición de los escenarios será responsabilidad del estudio, será fundamental la participación del DNP, puesto que, ella debe ser coherente con el Plan Nacional de Desarrollo y con los supuestos realizados en otros estudios sectoriales, para lo cual sería deseable que el DNP aportara la información económico-demográfica requerida, y de ser posible, las herramientas a ser utilizadas en las proyecciones. Para su elaboración intervienen fundamentalmente aspectos relativos al desarrollo de los aspectos económicos, sociales y demográficos en el futuro. También podrían plantearse escenarios especiales que permitan visualizar la importancia relativa de los aspectos de los procesos de la naturaleza y avance de la tecnología sobre los cuales se tenga incertidumbre.

Dentro de los aspectos referentes a las variables económicas, naturalmente que se encuentra el crecimiento producido en la economía durante el horizonte de planeamiento, haciendo énfasis en el sector intensivo en el uso del agua (industrias intensivas en usos de agua y contaminantes y la agricultura).

La proyección de los ingresos familiares también puede ser un factor determinante en las demandas por agua potable.

El segundo grupo de variables que deben definir la composición de los escenarios se refiere a los aspectos demográficos. Estos valores son definitivos en la determinación de la demanda por agua potable, por electricidad y por producción agrícola (naturalmente que las proyecciones de demanda por electricidad son las efectuadas en el ENE y convendría tratar de lograr coherencia con los escenarios de dicho estudio). Las proyecciones demográficas requieren diferente nivel de desagregación para los diferentes usos. Así por ejemplo, para agua potable es necesario efectuar proyecciones de los consumos a nivel de cuenca debido a la dificultad de transportar agua, mientras que para energía eléctrica este detalle no es necesario.

En todos los casos se trabajará en estrecha colaboración con el Departamento Nacional de Planeación para garantizar que dichas proyecciones sean coherentes con los estudios existentes. Es importante aclarar que el ENA utilizará las proyecciones disponibles agregando o desagregando.

El tercer grupo de variables que afecta la conformación de los escenarios se refiere a las condiciones del mercado del comercio internacional. Es importante señalar que está completamente fuera del alcance del presente estudio el llevar a cabo un análisis, así sea superficial, de los mercados internacionales de los productos agropecuarios.

En consecuencia, se procederá de la siguiente forma:

- 1) Se tomarán las proyecciones de precios internacionales del Banco Mundial (o de otras entidades internacionales) y se ajustarán por estimativos de fletes para determinar precios FOB en el caso de las exportaciones y CIF en el de las importaciones; 2) Se supondrán unos topes máximos de exportación para los productos exportables. Estos topes máximos se definirán de común acuerdo con OPSA y el DNP; 3) En cuanto a las importaciones se considerarán escenarios que incluyen restricciones a las importaciones que respondan a una política deliberada de sustitución. Como en el caso de las exportaciones, se examinarán unas dos o tres alternativas.

El cuarto grupo de variables que interviene en la conformación de los escenarios sería, finalmente, el referente a incertidumbre en los procesos naturales o en el estado de la tecnología. Así por ejemplo, podría plantearse el impacto de tendencias en la disponibilidad de agua o en la eficiencia en su utilización. Naturalmente, que en la definición de los escenarios estos deben incluir casos que garanticen la coherencia con otros estudios sectoriales tales como el ENE y, en general, en las consideraciones que se realicen en el planeamiento económico. Para garantizar esta coherencia se trabajará estrechamente con el Departamento Nacional de Planeación.

Dentro de las opciones de política disponibles podrían mencionarse aquellas que afectan de manera directa el consumo y producción de agua o las disponibilidades y aquellas que lo afectan de manera más indirecta.

Dentro del primer grupo se podrían considerar las siguientes:

Políticas tarifarias sobre el agua potable o de riego, políticas de cobertura del servicio, políticas sobre proyectos de propósito múltiple, medidas tendientes a una mayor eficiencia en el uso del agua (por ejemplo control de pérdidas), etc.

En el segundo grupo podrían considerarse: políticas del sector agropecuario que conllevan a un aumento en la producción, como por ejemplo, acción más agresiva en exportación de productos agrícolas, aumento de apoyo institucional a la agricultura, asistencia técnica, política de adecuación de tierras y cobro de valorización, etc.

5.2 DEMANDA RESIDENCIAL POR AGUA

Para estudiar la demanda residencial por agua se debería contar con información sobre una amplia muestra de los hogares, durante un período suficientemente largo, de modo que se pueden estudiar las modificaciones en los patrones de consumo a lo largo del tiempo. La estructura de las tarifas en Colombia y el incremento mensual con el fin de contrarrestar la inflación prevista y el nivel de agregación de la información existente han limitado el estudio de las elasticidades precio e ingreso y otras

variables que inciden en el patrón de consumo. En el Anexo No. D.1 se presenta el resumen de una detallada revisión bibliográfica sobre valores típicos obtenidos para estos parámetros a nivel mundial. Los patrones de consumo en las ciudades grandes presentan características propias, por lo que para los casos de Medellín y Bogotá, en donde existe mejor información, se elaboraron modelos de sección transversal del consumo per cápita en función del ingreso real per cápita, porcentaje de hogares con conexión, personas por vivienda, las horas de racionamiento y habitantes por circuito estudiado. Para los dos casos tan solo se observó significancia del ingreso; los modelos estimados son:

Bogotá ^{1/}	$C = 2.58 Y^{0.497}$	$R^2 = 0.62$
		$T = 4.61$
Medellín ^{2/}	$C = 2.31 Y^{0.443}$	$R^2 = 0.789$
		$T = 6.66$

Vale la pena destacar la similitud de la elasticidad ingreso entre los dos modelos. Los análisis de elasticidad precio no mostraron significancia de este factor.

Para estudiar las demandas a nivel urbano en todo el país, se utilizó la información de la encuesta elaborada por los Consultores a diferentes empresas en todo el país y

^{1/} El ingreso en este caso está dado en pesos de 1978

^{2/} Ingreso medido en pesos de 1981.

la suministrada por Insfopal. Se analizaron las relaciones del consumo con un gran número de variables, entre ellas: temperatura, ingreso per cápita^{1/}/ porcentaje de cobertura de alcantarillado, porcentaje de medidores en servicio, racionamiento. Se realizaron regresiones separadas para las ciudades de la costa dado que en esta zona existen bajas coberturas de alcantarillado y por tanto se presentan problemas de correlación con la temperatura, al tomar estas ciudades en conjunto con otras del interior.

De los cinco modelos estudiados, los cuales están ampliamente documentados en el Anexo D.1, se escogió el último para hacer las estimaciones de consumo de aquellas poblaciones sin información en 1981, por ser el único para el cual es posible disponer de información para estos municipios.

El modelo utilizado para los balances es:

$$C = 34.68 Y^{0.872} T^{0.497} \quad R^2 = 0.56$$

tamaño de la muestra = 47

C = litros/habitante/día facturado

Y = Ingreso medio per cápita por municipio (\$ 1973)

T = Temperatura media ("C).

^{1/} Se utilizó la única información disponible, el censo de 1973, y se espera que esta relación de ingresos refleje la situación actual. Los resultados con otros indicadores como impuestos, consumo de energía, etc. no fueron satisfactorios.

Debe destacarse que las elasticidades ingreso observadas en los modelos municipales son superiores, como era de esperarse, a las de ciudades como Bogotá y Medellín, y superiores a las observadas en países desarrollados.

Las pérdidas, que deben ser agregadas a los consumos estimados según el modelo seleccionado, se ha observado que varían notablemente entre regiones, encontrándose las mayores deficiencias en la Costa. Las pérdidas, utilizadas en los balances son: 47.2% en la Costa, 44.5% en Antioquia y el Viejo Caldas, 35% en Caquetá, Huila, Meta y Tolima, 33.6% en el Valle, 29.4% en Cauca y en Nariño, 28.5% en los Santanderes y 25.8% en Boyacá y Cundinamarca. Estas pérdidas son altas en comparación con las observadas en USA donde se presentan valores entre 20 y 30%.

En el sector rural prácticamente no existen sistemas de distribución de agua con medidores. En estas condiciones no es posible verificar las diversas hipótesis sobre las variables que afectan los consumos, las cuales son discutidas en detalle en el Anexo D.1. Los programas ordinarios del INS se construyen con dotaciones que oscilan entre 80 y 140 lhd. dependiendo del clima, aquí se incluyen las pérdidas estimadas normalmente en un mínimo de 30%.

Las estimaciones sobre consumo de agua para uso humano se aplicaron al nivel de las cuencas de tercer orden según la zonificación hidrográfica del HIMAT. Los cálculos realizados para la alimentación de los balances se hicieron desde el punto de vista de la demanda potencial a partir de los promedios de consumo de la actual población servida en cada municipio y la dotación media del INS para acueductos rurales.

Para proyectar la población urbana y rural de cada municipio se emplearon como base documentos preparados por el DNP en 1982^{1/} y los datos de población del Censo de 1973. La división de la población por cuencas hidrográficas se realizó asignando la cabecera municipal a la cuenca respectiva y la población rural proporcionalmente al área del municipio en cada cuenca.

La determinación de los consumos urbanos actuales se derivó empleando el modelo estimado a partir de la muestra nacional.

La aplicación del modelo estima el consumo en litros/habitante/día en las cabeceras municipales, el cual se afectó según el promedio regional de pérdidas para obtener la producción total de agua. En las ciudades de la muestra se dejaron los consumos y pérdidas reales observados. La demanda per cápita de agua así derivada se extendió en todos los casos a la población total de la cabecera municipal.

Para los consumos rurales de agua se utilizó la misma metodología del INS para el cálculo de dotaciones: asignación de 140 lhd para climas cálidos, 120 lhd para clima medio y 80 lhd para clima frío. Los climas se determinaron según la temperatura media, así:

Caliente:	24°ó +
Medio:	17° - 23°
Frío:	16°ó -

^{1/} DNP-UDS-DP 'Dinámica demográfica y proyecciones de población del país, los territorios nacionales, el Distrito Especial de Bogotá, Departamentos y las 30 principales ciudades' Septiembre 1982.

La proyección del consumo de agua se extendió a la población total de la zona rural según la temperatura media del municipio.

En cuanto a las tasas de retorno del consumo humano de agua se adoptó una tasa del 80%. Las cifras sobre consumos residenciales urbano y rural, para las 218 cuencas analizadas en los balances actuales figuran en el Apéndice 3 del Anexo D-1.

Para determinar los consumos futuros es preciso proyectar la forma como evolucionaría la infraestructura para atender la demanda por agua para consumo humano. Con dicho propósito se ha planteado el siguiente modelo para priorizar las inversiones en el sector^{1/}.

El agua es un bien fundamental para la sobrevivencia, de tal suerte que puede suponerse que toda la población de una manera u otra, está teniendo acceso al recurso. En Colombia, y según las cifras suministradas en la sección sobre el estado actual de la dotación del servicio, existen bajos niveles de cobertura, especialmente en el sector rural. Esta situación no puede explicarse de forma diferente a la insuficiencia de los recursos presupuestales para atender este tipo de necesidades.

El criterio básico consiste en suponer que bajo condiciones semejantes de 'necesidad' del servicio se valorará en la misma forma el beneficio percibido por diferentes

^{1/} En principio puede suponerse que aquellos habitantes con servicios de agua potable tendrán coeficientes de consumo superiores a los que no lo tienen. Esta consideración no ha sido tomada en cuenta para los balances actuales.

grupos de poblaciones. Al plantear el problema de esta forma, y no en términos de la disponibilidad a pagar ^{1/} claramente se estarán teniendo en cuenta los aspectos sobre distribución del ingreso.

Este planteamiento, cuando se asume que las necesidades de la población sin acceso al servicio son iguales, conduce entonces al criterio de maximización de cobertura; en presencia de economías de escala, este criterio se traduce entonces en el de 'los poblados grandes primero'.

Vale la pena aclarar entonces que, la existencia de economías de escala no necesariamente conduce a realizar primero las inversiones en las poblaciones mayores puesto que los costos de captación y conducciones pueden afectar sensiblemente las inversiones a realizar; de otra parte tampoco es muy cierto que el grado de necesidad sea igual. En efecto, las condiciones de salubridad del área, la calidad de la fuente actualmente utilizada y la distancia a la misma, son factores que deben ser tenidos en cuenta para 'ponderar' el grado de necesidad de los diferentes usuarios potenciales. Adicionalmente, bien puede considerarse que el costo de oportunidad de los recursos utilizados para proveer servicios por encima de unos mínimos de cantidad y calidad puede ser muy alto cuando alternativamente podrían destinarse a satisfacer necesidades mínimas en otra parte.

^{1/} Como se sugiere hacer en el caso de acueductos de áreas urbanas grandes, en las pautas para evaluación de proyectos, Anexo K.

Por lo anterior, y después de revisar diferentes modelos^{1/}, entre ellos los de OPS BID, el del plan nacional de abastecimiento y saneamiento en España y el propuesto por el DNP, se ha decidido proponer el siguiente modelo.

$$\text{Maximizar } \sum_{\langle di \rangle} di \left[\gamma(N^i, T^i) \cdot P_{\Gamma}^i + \beta(\Delta \text{CONS}^i) \cdot P_{\Gamma}^i \right]$$

$$\text{Sujeto a } \begin{array}{l} 1) \sum_{\langle di \rangle} (C(P_{\Gamma}^i) - AP^i) \leq \overline{RP} \\ 2) di = 0, 1 \\ 3) \text{Max } \beta(\Delta \text{CONS}^i) < \text{Min } \gamma(N^i, T^i) \\ 4) AP^i > C(P_{\Gamma}^i) - C_{\text{Min}}(P_{\Gamma}^i) \end{array}$$

P^i_T = población proyectada en T (horizonte de planeamiento) que no tendría el servicio mínimo en ausencia del proyecto i.

N^i = Índice de necesidad estado sanitario (medido por índice de mortalidad y morbilidad)

T^i = temperatura media

Γ = horizonte de diseño

$C_{\text{Min}}(P_{\Gamma}^i)$ = valor presente de los costos de inversión y operación para proveer el servicio a los estándares mínimos de cantidad y calidad

$C(P_{\Gamma}^i)$ = valor presente de los costos de inversión y operación del diseño seleccionado.

AP^i = Valor presente de los aportes de la comunidad

^{1/} En el Anexo D.2 se explican detenidamente las razones para no adoptar estos modelos. Adicionalmente se menciona la posibilidad de tener en cuenta beneficios por incentivos al desarrollo regional y al desarrollo de la capacidad administrativa de las comunidades, los cuales no son tenidos en cuenta en el modelo propuesto, por considerarlos de menor importancia relativa.

$\beta(\Delta\text{CONS}^i)$ = Valor de los excedentes de consumidor relacionados con un consumo adicional ΔCONS^i , en cantidad y calidad, sobre el mínimo.
 $R\bar{P}$ = restricción presupuestal

γ es una función monótonamente creciente en N^i y T^i que será especificada posteriormente, y servirá para 'ponderar' las coberturas a realizar.

Se destaca entonces que en ningún caso se valorarán mas los excedentes de consumidor asociados con consumos superiores al mínimo, que la satisfacción de este último (inecuación 3). Inclusive, en un caso extremo puede depreciarse $\beta(\Delta\text{CONS}^i)$.

En esta formulación básicamente se estará maximizando el beneficio social de los recursos escasos, el presupuesto nacional (inecuación -1-) y por ello no se contempla el costo de AP^i (que se supone siempre inferior a los beneficios). Por la misma razón todo nivel de servicio por encima del mínimo debe ser cubierto por los aportes AP^i . (inecuación 4).

La solución de este modelo ^{1/}, si ningún proyecto individual es 'grande' frente a la restricción presupuestal, equivale a ordenar los proyectos según el índice:

$$I^{\underline{2}/} = \frac{\gamma(N^i, T^i) p_{\Gamma}^i}{C(P_{\Gamma}^i) - AP^i}$$

^{1/} Para el caso en que no se tiene en cuenta los beneficios de consumo adicionales (i.e. $\beta(\Delta\text{CONS}^i) = 0$)

^{2/} Este índice es similar al del modelo OPS-BID discutido en el Anexo D.2

y ejecutarlos en ese orden hasta llegar a la restricción presupuestal.

Sin embargo, dado que la ejecución según este índice podría resultar en inequidades regionales, se considera apropiado hacer la ordenación por regiones, estimar un gasto mínimo por región en proporción a la sumatoria de $\gamma (N^i, T^i)$. P_T^i y ejecutar en cada región los proyectos prioritarios según el índice, y luego continuar el orden dado por el índice sin distinguir entre regiones, hasta agotar el presupuesto global.

En la segunda fase del estudio se espera desarrollar completamente el modelo que se considera definido en su estructura principal.

5.3 CONSUMOS INDUSTRIALES

Para la estimación de los consumos industriales se utilizaron diversas fuentes, entre ellas una encuesta elaborada por los Consultores a 73 empresas altamente consumidoras de grupos industriales tales como: alimentos y bebidas, producción de pulpa, papeles y cartones, productos químicos, cemento, minería del carbón y generación termoeléctrica. Adicionalmente, se contó con información de las empresas de acueducto y alcantarillado, encuestadas por los consultores, que separaron la facturación industrial de la del consumo humano.

El objetivo fundamental consistió en estimar los coeficientes de consumo con relación a los volúmenes de producción, resultados que se presentan en el Anexo D.1, en donde se

destacan los altos consumos específicos de algunas empresas de productos químicos, llantas, papel y cartón, licores y algunas de derivados del petróleo. La encuesta a las industrias permitió detectar consumos no suministrados por Empresas de Acueducto y con la información de otras fuentes, como Inderena y CVC, finalmente se llegó a un estimativo de los consumos industriales por cuenca, para utilizar en los balances, los cuales son presentados en el Anexo D.1. Estas cifras sin embargo, subestiman los consumos totales pues no fue posible obtener información de algunas empresas, no registradas en los archivos de Inderena y las Corporaciones, que derivan sus consumos directamente de las fuentes superficiales o subterráneas.

El agua es utilizada para refrigeración en muchas industrias, pero los principales usuarios para este propósito son las termoeléctricas. Para estimar estos consumos se estableció una ecuación de regresión, para las plantas con circuito abierto, sistema utilizado por la mayoría de las plantas en el país.

$$Y = 107.06 x^{0.8}$$

Y = Consumo en lts/seg

X = capacidad nominal, MW

Los consumos reales para las principales termoeléctricas del país y sus pérdidas aparecen en el Anexo D.1.

Estos consumos se agregaron para estimar los totales industriales. Las tasas de retorno normalmente oscilan entre 90 y 100%, se adoptó en promedio el 95%.

En cuanto a pérdidas, tan solo se incorpora este factor en el caso de industrias localizadas en las ciudades, y se supuso igual al de los consumos residenciales.

El consumo de agua para usos industriales adoptado en los balances actuales, es el consumo real según las diversas fuentes de información. De la encuesta a las empresas de acueducto se cuantificó el consumo industrial actual de agua en las principales ciudades. La encuesta al sector industrial determinó el consumo para otro amplio grupo de empresas y la información del Inderena y la CVC para un tercer grupo. Los consumos se asignaron por cuenca según la ubicación geográfica de la respectiva empresa. No se obtuvo información del consumo de varias empresas localizadas en ciudades menores o en áreas rurales.

Respecto a las tasas de retorno industrial se aplicó la observada, lo cual fluctúa entre 90% y 100% del consumo.

5.4 CONSUMO AGRICOLA

El consumo de agua en la agricultura representa un alto porcentaje del total de los consumos a nivel nacional. En el ENA, a mas de haberse realizado una cuantificación de los consumos actuales, se ha llevado a cabo la identificación de las áreas potenciales que a nivel de todo el país pueden ser adecuadas mediante riego y drenaje.

Antes que nada conviene aclarar que la demanda por agua en la agricultura es una demanda derivada y su magnitud y ubicación geográfica estarán determinadas no solo por las condiciones 'potenciales' de los suelos sino por las

características de los mercados de bienes de origen agropecuario.

A continuación se presenta un resumen de la metodología utilizada para la determinación de consumos actuales en la agricultura así como las áreas potencialmente regables, las proyecciones efectuadas sobre consumo de alimentos y la metodología propuesta para proyectar las demandas futuras.

1. Consumos actuales

La infraestructura de adecuación que beneficia varios predios y es construída con recursos del estado se denomina acá riego público.

En Colombia a más del riego público (administrado en algunos casos directamente por los usuarios) existen áreas apreciables de hecho la gran mayoría, adecuadas y administradas por los agricultores; este último grupo se denomina riego privado.

El área beneficiada con obras completas para riego y drenaje, en el caso de riego público, asciende a 123.930 ^{1/} ha, y el área con obras completas exclusivamente para drenaje es de 97.350 ha. Los distritos de Coeilo y Saldaña, los cuales tienen 45.000 ha con obras completas son administrados por

^{1/} Se incluye acá el distrito de la Ramada (6.000 ha.) administrado por la CAR.

^{2/} El área beneficiada exclusivamente con drenaje asciende a 61102 ha. e incluye zonas no contabilizadas dentro de las 68279 ha.

los usuarios por delegación del Himat.

La discriminación es la siguiente:

<u>Administración HIMAT^{1/}</u>	<u>Area riego drenaje</u>	<u>Con obras completas drenaje (ha)</u>
Llanura del Caribe	45.200	62.500
Alto y Medio Magdalena	13.400	9.000
Llanos Orientales	1.400	
Norte de Santander	10.700	
Altiplano Cundiboyacense	1.230	8.350
Valle del Cauca	8.000	2.500
Sub-total	79.930	82.350
<u>Administración usuarios CAR</u>		
Alto y Medio Magdalena	38.000	7.000
Altiplano Cundiboyacense (CAR)		6.000
Sub-total	38.000	13.000
TOTAL		213.280

En cuanto al riego privado, hay que destacar que la información no posee el mismo grado de confiabilidad. Las áreas acá consignadas corresponden a aquellas para las cuales se ha solicitado permiso al INDERENA o a algunas de las corporaciones regionales; esta solicitud no garantiza que necesariamente estas zonas se estén regando. Para efectos del balance, se ha cruzado esta información con la de las federaciones de cultivadores para de esta manera determinar con mayor precisión el área regada por tipo de cultivos en 1981-1982. La información a nivel de cuencas de tercer orden y discriminada por tipo de cultivo figura en el Anexo C-2.

1/ Adicionalmente deben contabilizarse el distrito de Sibundoy con 8.000 ha adecuadas con obras completas de drenaje, el cual se encuentra por fuera de la regionalización adoptada y unas 66.000 ha que tan solo poseen obras principales en riego-drenaje y drenaje.

El siguiente cuadro presenta los totales a nivel de siete zonas homogéneas, anotando que la utilización del riego en laderas, representa una práctica que ya se está impulsando en el país y sobre la cual se da una mayor información en el Anexo C.2.

	Area beneficiada (ha)
Llanura del Caribe	78.649
Alto y Medio Magdalena	69.009
Llanos Orientales	56.815
Santanderes	4.800
Altiplano Cundiboyacense	11.836
Bajo Magdalena	3.881
Valle del Cauca	<u>236.609</u>
Total	461.509

Todas las cifras anteriores hacen referencia al área beneficiada, esto es, área física con obras de adecuación. Las demandas efectivas de agua dependerán del uso dado a esta infraestructura cada semestre, por lo que el área sembrada podrá oscilar entre una fracción de las cifras anteriores y cantidades equivalentes a dos veces el área física beneficiada (para los casos en que se hacen dos cultivos con riego por año). Para determinar el área sembrada por semestre y por tipo de cultivos se examinaron las cifras al respecto de GPSA y se determinaron porcentajes, por tipo de cultivos por zona, que al afectar el área sembrada total por semestre permiten estimar el área regada.

El Cuadro siguiente presenta las cifras totales para 1981 en cada una de las siete zonas. La información a nivel de los principales cultivos se presenta en el Anexo C.2. De este total, el 20% corresponde a riego público, aunque la participación varía por regiones.

	Area regada (ha) (público + Privado)
Llanura del Caribe	115.000
Bajo Magdalena	20.000
Alto y medio Magdalena	124.000
Valle del Cauca	244.000
Altiplano cundiboyacense	18.000
Llanos Orientales	58.000
Norte de Santander	12.000
Total	591.000

Los anteriores resultados implican que al tomar los totales, el factor de cosecha con riego (área regada/ área beneficiada) es de 1.02. Esto es, el área beneficiada en promedio reporta una cosecha con riego por año. Adicionalmente en muchas zonas se están haciendo cultivos en secano, en los semestres en donde no es necesario el riego suplementario. La información disponible no permite calcular el factor área sembrada/área beneficiada, aunque se estima que éste debe estar entre 1.4 y 1.7.

La demanda pertinente en el caso de áreas regadas es aquella en exceso de la precipitación. Para la determinación de los consumos en la agricultura se ha utilizado el método de los factores 'K', los cuales al ser multiplicados por la evaporación de cada lugar permiten estimar las necesidades de agua de una planta. Estas necesidades totales disminuidas en la precipitación de cada mes e incrementadas según la eficiencia del riego son entonces las demandas ejercidas por los cultivos, según la metodología adoptada en el ENA^{1/}.

^{1/} Para una mejor explicación de los supuestos adoptados consultar los Anexos A, C.2 y H.

Vale la pena destacar que los consumos de agua en el arroz con riego, son varias veces superiores a los de la mayoría de los cultivos, pues en el arroz se proveen láminas adicionales de agua para combatir las malezas. En los cultivos de flores realizados a cubierto la precipitación efectiva es cero.

De acuerdo con esta metodología, en el modelo de los balances se introdujo una rutina que calcula la demanda de agua para cada cuenca de orden 3, con base en los datos sobre área regada, precipitación, eficiencia del riego y factor K. Para los retornos se ha supuesto que los caudales en exceso de las necesidades de la planta (evapotranspiración) retornan a los ríos o en su defecto al agua subterránea.

En el Capítulo séptimo se discuten los balances actuales y se presentan las cifras relativas a los consumos en la agricultura.

2. Area potencialmente regable.

En la determinación de las áreas aptas para adecuación en riego y drenaje se tuvieron en cuenta las condiciones de topografía del terreno, sus características ecológicas definidas por las zonas de vida y las clases por capacidad del uso de los suelos.

La información utilizada tiene como fuente el IGAC. Así se tomaron los suelos de la topografía plana según las planchas planialtimétricas escala 1:500000; con base en

La clasificación de las zonas de vida de L.R. Holdrige (carta ecológica de Colombia, escala 1:500000) se demarcaron en los suelos de topografía plana, previamente delimitados, aquellos que corresponden a las áreas de bosque seco y muy seco tropical y montano. En estas zonas la precipitación es insuficiente para desarrollar el potencial productivo de los suelos y los cultivos en secano corren serios riesgos. Igualmente se demarcaron las áreas de bosque húmedo tropical en donde el exceso de humedad puede ser limitante para algunos cultivos. Las áreas resultantes de la anterior superposición fueron limitadas según la capacidad de uso de los suelos; se tomaron los suelos de Clase I,II,III. Los suelos de Clase IV presentan limitantes severas que restringen la elección de cultivos transitorios y permanentes, requiriendo prácticas de conservación de suelos rigurosas que hacen poco viable su aprovechamiento en agricultura.

Las áreas determinadas según esta metodología se ubicaron al nivel de las cuencas de tercer orden según la regionalización hidrológica del HIMAT. Para efectos del diagnóstico, las cuencas de tercer orden del HIMAT se agruparon en siete zonas homogéneas: llanura del Caribe, Alto y medio Magdalena, Santanderes, Bajo Magdalena y Cauca-Sinú, Altiplano Cundiboyacense, Llanos Orientales y Valle del Cauca. Estas zonas son descritas desde el punto de vista hidrográfico, ecológico, suelos, infraestructura actual de riego y uso de la tierra en el Anexo C.2.

Es interesante observar cómo del área potencialmente regable (aprox. 3.835.000) un 30% se encuentra en la Llanura del Caribe y otro 30% en los Llanos Orientales.

El estado de los estudios para incrementar el área adecuada según el HIMAT, puede resumirse en el siguiente cuadro, el cual se presenta discriminado a nivel de zonas homogéneas en el Anexo C.2.

	(ha)
Areas en identificación	52300
Areas identificadas	338030
Con estudio de prefactibilidad	584620
Prefactibilidad en ejecución	53450
Con estudio de factibilidad	47300
Factibilidad en ejecución	30000
En construcción	<u>5000</u>
Total	1'110.700

3. Demanda por productos agrícolas.

Tal y como se mencionó anteriormente, las demandas de agua para usos agrícolas dependen de la demanda de productos agrícolas. En consecuencia, se decidió estimar funciones de demanda nacionales para los principales productos. La forma funcional escogida para la mayoría de los casos relaciona el consumo per cápita con los niveles de precios e ingreso y las elasticidades respectivas. Para calcular estas últimas se consideró adecuado postular las funciones de elasticidades como dependientes del ingreso, dada la relación tanto teórica como práctica entre nivel de ingreso y el valor, tanto

de la elasticidad precio como del ingreso. Esto es, se supone que las elasticidades (precio e ingreso) de un período dado son funciones del nivel de ingreso en el mismo período.

Para los siguientes productos agropecuarios: carne de res, leche, huevos, arroz, maíz y aceites, se estimaron las funciones de elasticidad a partir de la información reportada en los trabajos de Per Pinstруп-Andersen llevados a cabo en la ciudad de Cali. La información utilizada fue la del nivel de ingreso promedio de cada estrato y de elasticidades ingreso y precio por estrato. Los resultados estimados para Colombia se compararon con los del resto del mundo encontrándose una gran semejanza en los resultados por lo que se puede afirmar que los resultados de Andersen se encuentran bastante ajustados a la experiencia del mundo.

Para la carne de pollo, el azúcar y el algodón se calcularon funciones de demanda utilizando series de tiempo; lo anterior por cuanto el caso de la carne de pollo no es tenido en cuenta en el trabajo de Andersen y los resultados para el azúcar en este trabajo aparecen sistemáticamente mas bajos que los de otros países. El algodón, por no ser un producto final, no aparece reportado en Andersen.

Para el azúcar se estimó una función en la que la cantidad demandada es función del precio del azúcar y de la pancla y del nivel de ingreso per cápita. En el caso de la carne de pollo las variables explicativas son el precio de la carne de pollo, el ingreso per cápita y la tendencia.

A pesar de que el algodón es un bien intermedio y que por lo tanto su función de demanda debería incluir como variables explicativas, variables relacionadas con el proceso productivo de textiles, para efectos de proyección se consideró conveniente considerar que la demanda de algodón es una demanda final y por lo tanto se consideraron como variables explicativas el nivel de ingreso y los precios domésticos.

El trabajo desarrollado en esta parte se utilizará básicamente en la elaboración de las proyecciones, conjuntamente con los estimativos sobre costos de adecuación de tierras y costos de transporte que aparecen en el Anexo E.3. Las funciones de demanda de productos agrícolas estimadas se presentan en el Anexo E.2.

4. Metodología para realizar los proyecciones

En rigor, el establecimiento de prioridades en inversiones en adecuación de tierras no puede separarse del problema general de planificación de la producción agropecuaria. En efecto, el desarrollo futuro de la agricultura colombiana dependerá críticamente de una serie de inversiones estatales y otras decisiones de política agropecuaria. Entre las primeras ocupan un lugar prioritario las inversiones en adecuación de tierras (obras de riego, drenaje y control de inundaciones) y las inversiones en investigación y extensión tecnológica. Entre las segundas ocupan un papel preponderante las políticas de precios de sustentación e intervención en el mercado, las políticas de crédito y las políticas de comercio exterior. En una perspectiva de planificación agrícola

la escogencia de las políticas mas adecuadas debe ser hecha conjuntamente; con la ayuda de instrumentos tales como modelos de optimización. Este tipo de modelos vienen siendo desarrollados por organismos académicos en todo el mundo, como puede observarse en una revisión bibliográfica reciente sobre la materia ^{1/}.

Desafortunadamente, en el país, la planeación agrícola se encuentra en una fase muy incipiente; en particular, no se han desarrollado modelos de este tipo ni existe una base de información que permita identificarlos con facilidad, a diferencia de lo que sucede en otros sectores como el de energía eléctrica, en el cual se cuenta con modelos desarrollados que pueden utilizarse con facilidad en un estudio como el ENA. En cualquier caso, el método a utilizar en la Segunda Fase del ENA debe ser tal que tenga en cuenta, al menos en forma aproximada, las principales interrelaciones globales del sector, ya que no es posible en forma alguna llevar a cabo una proyección de la producción futura sin considerar posibles nuevos proyectos de adecuación de tierras y manejo de aguas y a partir de ella determinar la demanda de agua del sector, como se había supuesto en forma equivocada en los Términos de referencia del estudio.

^{1/} Day R., y Sparling, E.. 'Optimization Models in Agricultural and Resource Economics, A Survey of Agricultural Economics Literature, Volume 2, e American Agricultural Economics Association, University of Minessotta Press, 1977.

Se decidió por ello que la mejor manera de llegar a un método sencillo que cumpliera con estas condiciones mínimas era el de formular lo que debería ser la primera etapa de desarrollo de un modelo simplificado de planificación agropecuaria. El esfuerzo de análisis al diseñar conceptualmente este modelo 'mínimo', trajo consigo dos ventajas. En primer lugar, permitió identificar cuáles son las principales interrelaciones globales que un método, necesariamente más simplificado, a ser aplicado en el ENA debería tomar en cuenta, así fuese en forma aproximada. En segundo lugar, como un subproducto del ENA, esta formulación puede servir como un primer paso para la futura elaboración de un modelo de planificación agropecuaria por parte de las entidades competentes (OPSA, DNP).

En consecuencia se procedió en primera instancia a revisar la literatura sobre modelos de planificación agropecuaria.

Los distintos modelos de planificación agropecuaria desarrollados en varios países pueden clasificarse en tres categorías: 1) Aquellos que analizan de manera muy amplia los problemas de desarrollo agrícola y su interacción con el resto de la economía y con su desarrollo económico^{1/}.

^{1/} Véase Day, R., y Sparling, E., op. cit. para los modelos más generales consúltese Adelman, I., y Thorbecke, editors, The Theory and Design of Economics Development, The Johns Hopkins Press, 1966. Una comparación de modelos aparece en Mc Carl, B.A. 'Cropping Activities in Agricultural Sector Models: A methodological Proposal' American Journal of Agricultural Economics, Nov. 1982. La interrelación del sector agrícola y la economía se estudian en Chichinisky G., and Taylor L., Agriculture and the rest of the Economy: Macroconnections and policy Restraints' AJAE, 1980.

2) aquellos que estudian la eficiencia en la asignación de recursos en el sector agropecuario desde el punto de vista espacial interregional: 3) Aquellos que buscan hacer un ordenamiento de proyectos de inversión en un área específica (por ejemplo en riego), buscando determinar la secuencia inter-temporal mas eficiente de inversiones y haciendo supuestos algo dramáticos sobre la relación de estas decisiones con el resto de la política agropecuaria ^{1/}

Además, existen modelos de caracter mas microeconómico, orientados a analizar el manejo y desarrollo a nivel de fincas o grupos de éstas, las que por supuesto son inapropiados para el problema que nos concierne.

Dadas las interrelaciones anotadas en la introducción, han considerado los consultores que lo más deseable es desarrollar un modelo del segundo tipo, dado que en rigor no es posible proceder a analizar las prioridades en esta materia sin ponerlas en un contexto mínimo de planificación agropecuaria.

El modelo seleccionado y que se describe a continuación constituye una adaptación del elaborado para los Estados Unidos por Heady, E. y Nicol, K.J. ^{2/}. Este modelo

^{1/} Tal podría ser un desarrollo más general del tipo de trabajo de Mejía Millán y Perry Ltda. Estudio de Evaluación de Proyectos de Adecuación de Tierras, Departamento Nacional de Planeación, 1977. Al nivel teórico consúltese, por ejemplo, Judeg. G.G., and Takayama, I. Studies in Economic Planning over Space and Time, Amsterdam, North Holland, 1973.

^{2/} Heady y Nicol K.J. 'Models of Agricultural Water land Use and the Environment'.

esencialmente propone satisfacer las demandas nacionales a un mínimo costo, asignando la producción de los distintos cultivos a áreas con riego y sin riego, teniendo en cuenta las distintas alternativas de producción de cultivos y tecnologías a utilizar en unas y otras áreas, sus costos de transporte hasta los centros de consumo. Las principales limitaciones de este modelo consisten en:

- 1) No considera apropiadamente el comercio exterior de productos agrícolas;
- 2) No considera los costos de inversión en nuevas áreas de riego, drenaje y control de inundaciones, puesto que supone y demuestra que en el caso de los Estados Unidos es posible satisfacer las demandas internas hasta el año 2000 con las inversiones ya realizadas.
- 3) Considera exclusivamente precios y costos privados de los productos, insumos y factores de producción, suponiendo que no existe en los Estados Unidos una diferencia muy grande entre estos y los costos de oportunidad respectivos para su economía nacional.

En consecuencia, la adaptación consistió precisamente en superar estas limitaciones. En primer término, el modelo propuesto incluye unas ecuaciones de exportación e importación, suponiendo unos topes máximos en exportaciones de algunos productos que habrían de ser determinados de acuerdo con estudios sobre la evolución de los mercados internacionales y la capacidad competitiva de los productos colombianos, así como la alternativa de

importar los productos y simultáneamente de forzar unas políticas predeterminadas de sustitución de importaciones.

En segundo lugar, en áreas donde se puede llevar a cabo proyectos de adecuación de tierras y manejo de aguas, se consideran las alternativas de producción con y sin dichas obras, cargando en el primer caso en la función objetivo los costos de inversión anualizados de tales obras. Además, el modelo consideraría una restricción presupuestal global para las inversiones que es posible desarrollar durante el período de planeación. Más adelante, se discuten las limitaciones que encierra esta manera de tratar el problema de inversión dentro del modelo y cómo podrían superarse en un desarrollo ulterior de éste.

En tercer lugar, se propone la utilización de precios sombra o costos de oportunidad sociales de la mano de obra no calificada y de las divisas.

La especificación precisa del modelo y una discusión más detallada al respecto se presenta en el Anexo E.

La principal limitación de este modelo consistiría en que no se produciría un flujo inter-temporal de inversiones en adecuación de tierras y manejo de aguas y en investigación y extensión tecnológica, sino se seleccionarían aquellos que se deberían realizar en algún momento dentro del período de planeación considerado. Además la anualización de costos de inversión utilizada supondría en cierta forma una situación estacionaria; vale decir, que el patrón de cultivos de producción que se determine para el horizonte de planeamiento se repetiría aproximadamente de allí en adelante. Este supuesto

es ciertamente un supuesto fuerte y que puede conducir a soluciones inapropiadas. Por ello, un modelo de este tipo tendría que ser resuelto para diferentes horizontes de planeamiento y al inspeccionar sus resultados llevar a cabo una serie de ajustes. En efecto, dada la evolución de los topes de exportación y la política de sustitución de importaciones en el tiempo, así como de las restricciones presupuestales globales, pudiera ser que estas situaciones indiquen que, por ejemplo, mirando el horizonte de 1990 valdría la pena haber hecho unas ciertas inversiones, las que no aparecerían como convenientes para un horizonte más lejano como por ejemplo el año 2000. Este tipo de inconsistencias tendría que ser resuelto por inspección de los resultados y utilizando el mejor criterio posible.

La solución definitiva de este tipo de problemas requeriría desarrollar un modelo inter-temporal de programación dinámica (a diferencia de este modelo estático de programación lineal) lo cual sería varias veces más exigente en términos de la información básica requerida y de los requisitos computacionales. En concepto de los consultores, se debería desarrollar primero un modelo como el propuesto y sólo después de haberlo utilizado y probado se debería proceder a este paso siguiente.

Una segunda limitación importante consiste en que el modelo utilizaría un valor esperado de la hidrología y la precipitación; dado el carácter probabilístico de estas, un tercer paso en el desarrollo del modelo consistiría en convertir este modelo determinístico en un modelo de naturaleza estocástica.

Debe anotarse que los modelos de planeación de la expansión y operación del sistema eléctrico nacional, a que se ha hecho referencia varias veces, sufrieron una evolución similar en su desarrollo.

Finalmente, para tomar en cuenta el hecho de que en la práctica los agricultores y ganaderos no alteran con demasiada rapidez sus patrones de producción, podrían incorporarse una serie de limitaciones (como cotas superiores e inferiores) a algunas actividades en ciertas áreas. Así por ejemplo, en las áreas donde hoy en día se practica una ganadería extensiva, habría que establecer una cota mínima para las áreas que se mantengan en pastos, puesto que normalmente no es posible que se lleve a cabo en un tiempo corto una conversión masiva de estas áreas a producción agrícola. Lo mismo podría hacerse para algunos cultivos específicos de ciertas regiones donde existe una larga tradición. El modelo de Heady y Nicol, del cual se partió para el diseño de éste que aquí se propone, considera una serie de restricciones similares en el caso de los Estados Unidos, apropiadas a las condiciones específicas de ese país.

Como ya se dijo, resultó claro desde un principio que no es posible estimar y utilizar en el corto tiempo disponible para estas tareas dentro del ENA un modelo de esta envergadura. No obstante, de común acuerdo con la interventoría, los consultores examinaron durante la primera fase de este estudio la posibilidad de llevar a cabo una estimación y utilización restringida del mismo, en la siguiente forma:

- 1) Dado que el ENA se debe enfocar en este campo en las inversiones en adecuación de tierras y manejo de aguas, no se considerarían las alternativas de inversión

en investigación y extensión tecnológica. Esta limitación sería muy severa, por cuanto así no se abordaría el tema fundamental para la política agropecuaria de analizar las prioridades relativas de inversión en obras de adecuación de tierras frente a las inversiones en investigación y extensión tecnológica y la selección mas apropiada de tecnologías. El trabajo partiría de proyectar una evolución razonable de los rendimientos agropecuarios con y sin obras de adecuación, suponiendo un desenvolvimiento normal de la investigación tecnológica.

No obstante, es evidente que mayores o menores inversiones en estas últimas actividades afectarían considerablemente esos rendimientos futuros. Más aún, entre más inversiones se hagan en adecuación de tierras, posiblemente se harán menos en investigación tecnológica y viceversa, lo que el modelo simplificado no tendría en cuenta.

2) Se considerarían explícitamente en el modelo exclusivamente las áreas planas del país donde es posible identificar sin estudios demasiado detallados, aunque apenas en forma general, posibles desarrollos de obras de riego, drenaje o control de inundaciones que podrían tener un impacto significativo sobre la producción agropecuaria y la utilización de las aguas en la agricultura. Al hacer esto, sin embargo, se estaría perdiendo la posibilidad de examinar la mejor escogencia entre la localización de ciertos cultivos en producción en ladera y en áreas planas. Se requeriría en todo caso una proyección exógena de la producción en ladera de cultivos que puedan producirse en una u otra área y una asignación

burda de esta producción a la satisfacción de las diferentes demandas regionales, para así utilizar en el modelo unas demandas regionales netas de la producción de ladera en el país. Esta constituiría también una limitación severa de lo que podría llevarse a cabo dentro del ENA.

3) Queda completamente por fuera del alcance del ENA el llevar a cabo un estudio de los mercados internacionales y de la capacidad competitiva de las exportaciones colombianas, para determinar de una manera razonable los topes de exportación de productos que se incluyeran en el modelo. En consecuencia, estos tendrían que ser muy arbitrarios, como también los supuestos de sustitución de importaciones aquí incorporados. Infortunadamente, esta resultaría una limitación muy grande dado el hecho de que la mayoría de los productos potenciales en áreas con nuevas obras de adecuación de tierras y manejo de agua son transables internacionalmente y por consiguiente este tipo de supuesto resultaría absolutamente crucial para las soluciones del modelo.

Este punto resulta fundamental. En efecto, si la mayor parte de los productos potencialmente cultivables en este tipo de áreas fuesen productos no transables, el modelo simplificado tendría una utilidad inmensa para determinar cual sería la distribución espacial más apropiada para producir las cantidades que se requerirían para satisfacer las demandas regionales proyectadas. Mas aún, en ausencia de una herramienta como el modelo propuesto, sería imposible llevar a cabo en una forma razonable esta tarea. Al no ser este el caso, el modelo

estaría fundamentalmente asignando la producción de unas cantidades limitadas de exportaciones o sustitución de importaciones en las diferentes regiones; cantidades globales que desafortunadamente serían totalmente arbitrarias. En estas condiciones se disminuyó sensiblemente la ventaja de utilizar una herramienta muy compleja como este modelo frente a una alternativa más sencilla en la que, en primera instancia, se evalúen individualmente en cada área las opciones razonables de patrones de cultivos con y sin obras nuevas y se suponga que las diferencias en producción se ajustarían totalmente a través del comercio internacional (es decir, mediante incrementos de exportaciones o reducción de importaciones), para posteriormente chequear los resultados globales y hacer algunos ajustes en forma sencilla.

4) En lo referente a precios y costos, los consultores han encontrado en la primera fase que la información disponible no permite sino unos estimativos demasiado burdos de muchas de las variables que requeriría el modelo simplificado, además, con una utilización de tiempo sumamente grande. Así, por ejemplo, este fué el caso con los estimativos de las demandas nacionales y de los costos de transporte entre regiones, ya realizadas. Pero habría todavía la necesidad de regionalizar las demandas proyectadas (lo cual no ha sido posible de llevar a cabo por cuanto se han seguido demorando los resultados de la encuesta reciente del PAN-DRI, que resulta indispensable para esta tarea) y que requeriría un trabajo muy considerable; así como la estimación y proyección de la producción de ladera en los cultivos en que estas áreas compiten con áreas planas y su asignación frente a las

demandas regionales; y finalmente, un análisis mínimo de la evolución de las exportaciones e importaciones de productos agropecuarios para que las restricciones respectivas introducidas en los modelos no resulten patentemente absurdas. Esto, sin contar con el hecho de que, en cualquier eventualidad (ya sea que se busque continuar con la estimación y utilización del modelo simplificado o se adopte la propuesta que se presenta a continuación) es necesario llevar a cabo una proyección coherente de la evolución de precios, los costos de producción y los rendimientos con y sin riego en algunas regiones para diferentes modalidades de riego, como se ha detectado en el caso del transcurso del trabajo, lo cual de por sí es una tarea bien exigente.

En síntesis, la evaluación al terminar la primera fase, establece que el gran costo adicional en términos de esfuerzo, tiempo y presupuesto que requeriría todavía la implementación de una versión simplificada del modelo propuesto dentro del ENA, no se compadece de ninguna manera con las limitaciones que de todas maneras tendrá esta versión simplificada y que se han señalado arriba, ni con las ventajas relativamente menores que para los propósitos del ENA se obtendrían con respecto al desarrollo de una metodología mas simple como la que se propone a continuación. En consecuencia, los consultores proponen proceder como se señala enseguida y dejar formulado el modelo para su estimación y utilización mas adelante por parte del Ministerio de Agricultura, a quien en realidad corresponde esta tarea, teniendo en cuenta las necesidades de información respectiva en el diseño final del sistema de información que se llevará a cabo durante la segunda fase del ENA.

Teniendo en cuenta, como ya se mencionó que la mayor parte de los productos potenciales de las áreas bajo riego son transables internacionalmente, si en el modelo discutido se eliminan las limitaciones a las exportaciones, puede demostrarse que al comparar una situación sin nuevos distritos de riego (u obras de manejo de aguas) con una en que se lleven a cabo nuevas obras, las diferencias en producción entre los dos casos se reflejarían en volúmenes diferentes de importaciones y de exportaciones, sin alterarse en forma esencial la producción en las áreas en que no se acometieran en ningún caso nuevos proyectos, aunque quizá si su destino. En efecto, así parte de la producción de productos exportables de algunos proyectos no se destinará directamente a las exportaciones sino a atender un consumo interno, la producción de otras áreas que atenderían este consumo en caso de no llevarse a cabo estos proyectos, se liberaría para poder ser exportada. En consecuencia, en estas condiciones constituiría una aproximación muy aceptable a la solución del modelo el optimizar el valor neto de la producción en los distintos proyectos potenciales, a precios al productor estimados con base en los precios internacionales con algunos ajustes (ver abajo), establecer un orden de prioridades según el valor presente de los beneficios netos en la situación con y sin proyecto, dividida por el valor presente de los costos de inversión, y suponer que se lleven a cabo los proyectos mas prioritarios hasta que aproximadamente se llegue al límite global de recursos de inversión. Nótese que este tipo de solución sería en todo similar a la del modelo de priorización de inversiones en proyectos de suministro de agua potable (capítulo IV), en donde la solución del modelo de optimización equivale a ordenar los

proyectos según su contribución neta a la función objetivo, dividida, por el valor presente de los costos de inversión.

La evaluación individual habría de hacerse según los precios al productor, lo que exigiría hacer algunos supuestos razonables sobre el destino de los productos y ajustar los precios internacionales con las diferencias de costos de transporte comparados con otras localizaciones. Estos supuestos, naturalmente, introducirían algunas pequeñas distorsiones en la aplicación de este método de evaluación individual de los proyectos comparado con la que se obtendría de un modelo completo como el propuesto atrás.

La consideración de una política de sustitución de importaciones podría aproximarse en este procedimiento a través de establecer un margen de protección para los productos importados y evaluar los proyectos tomando como base los precios internacionales adicionados en ese margen de protección.

Una vez llevada a cabo esta operación, podrían inspeccionarse los incrementos totales en producción de algunos productos que se obtendrían al llevar a cabo los proyectos escogidos dentro de la restricción presupuestal global. En caso de juzgar que los aumentos en algunas de ellas fuesen poco probables (en términos de los volúmenes exportados que resultarían al compararlos con las proyecciones de demanda nacional totales) podría procederse a ajustar los patrones de cultivos seleccionados en algunas de ellas y repetir su evaluación individual

corregir el ordenamiento y la selección final para la evaluación presupuestal dada.

Adicionalmente, la verificación de las demandas de aguas de los distritos con las disponibilidades en la región y los posibles conflictos con otros usos (mediante el modelo de balances) llevaría también a ajustar los patrones de cultivos supuestos inicialmente para algunos de los proyectos. Este tipo de chequeo lo haría el modelo propuesto en la sección anterior solamente en forma parcial (con la restricción de disponibilidad de agua en las subcuencas) pero también en ese caso sería necesario el efectuar un chequeo final con el modelo de balances y ajustar en parte la solución del modelo en forma consecuente.

Si bien este método simplificado presenta algunas limitaciones frente a la utilización de un modelo más completo como el sugerido atrás, tiene una ventaja sobre aquel. Esta ventaja consiste en que la restricción presupuestal de inversión podría descomponerse en restricciones por períodos (por ejemplo cada 3 o 5 años) y así ir suponiendo que se desarrollarían los proyectos más prioritarios en el primer período hasta colmar la restricción presupuestal correspondiente; en el período siguiente se llevarían a cabo los proyectos remanentes más prioritarios hasta colmar la restricción presupuestal para este segundo período; y así sucesivamente. Vale decir, este proceso permitiría resolver en forma aproximada el problema de la prioridad de asignaciones inter-temporales entre los distintos proyectos, lo que habíamos señalado como una limitación importante del modelo propuesto atrás.

Así mismo, este método permite suponer un ajuste gradual de la producción de nuevos cultivos en las áreas en que se harían obras y en esa forma obtener un patrón en el tiempo de demandas por agua de los distritos más realistas que lo que se podría obtener de la solución del modelo discutido atrás y facilitar, en consecuencia, el efectuar una proyección de balances globales para varios períodos de tiempo en una forma mas apropiada a lo que podría ocurrir en la práctica.

Una vez seleccionados los proyectos para llevar a cabo en cada uno de los períodos de tiempo considerados, mediante los procedimientos anteriores, y la forma como evolucionarían los patrones de cultivos, se determinarían las demandas por agua por regiones por subsuenca para ser introducidas en el modelo de balances.

Para la evaluación individual de los proyectos, se utilizará una versión actualizada del modelo de evaluación de los PATS ¹/tal como se discute en el capítulo sobre Pautas para la Evaluación de Proyectos en este informe. Tomando en cuenta la posible necesidad de hacer algunas correcciones en los patrones de cultivo, podría ser conveniente desde un principio considerar un par de alternativas en los patrones de cultivo que se obtendrían en las áreas bajo riego y llevar a cabo la evaluación individual de los proyectos con las dos alternativas.

En síntesis, el método propuesto consiste en:

- 1) Para cada área en donde en la primera fase se haya identificado la posibilidad de llevar a cabo obras

¹/ Proyectos de Adecuación de Tierras. Modelo Desarrollado en 1977 para el Departamento Nacional de Planeación por los Consultores.

de adecuación de tierras y manejo de aguas, se establecerán unos dos patrones alternativos de cultivos, de tal manera que maximicen el valor presente de los beneficios netos de la producción del área con y sin proyecto, utilizando como precios de los productos unos precios al productor establecidos como se señala a continuación.

2) Se partirá de la proyección de precios internacionales, añadiendo un margen de protección pre-establecido en el caso de algunos productos donde se suponga una política expresa de sustitución de importaciones, y se efectuarían correcciones por la diferencia de la tasa sombra de cambio con la tasa oficial. Además, se consideraría el destino más probable de los productos y se haría un ajuste por diferencias de costo de transporte con otros proyectos. Con el modelo utilizado en el estudio de los PATS, convenientemente actualizado, se evaluarían cada uno de los proyectos potenciales para estas dos alternativas de patrones de producción.

3) Se seleccionarán los proyectos a ejecutar en el tiempo de acuerdo con dos alternativas de restricciones presupuestales alternativas por períodos.

4) Con ayuda del modelo de balances se analizarán las restricciones de disponibilidad de agua resultantes en las áreas de los proyectos de cultivos, en algunos de los proyectos menos prioritarios de estas áreas.

5) Se repetirán los pasos anteriores para los proyectos que hayan alterado en alguna medida el patrón de producción y se cambiará, en consecuencia el ordenamiento y la selección de proyectos prioritarios por períodos.

6) Enseguida se examinará el incremento total en producción de algunos productos que se generarían con los dos planes de inversión escogidos, y en caso de considerar poco viables los aumentos totales en exportaciones o sustitución de algunas importaciones, (comparando con las proyecciones globales de demanda) se procederá a ajustes adicionales en el patrón de producción de algunos de los proyectos menos prioritarios dentro del grupo escogido.

7) De nuevo se repetirán las fases anteriores y se establecerá una selección definitiva de proyectos de inversión en el tiempo, con sus correspondientes patrones de cultivos y producción.

8) Para esta selección final, con las dos alternativas presupuestales globales, se establecerán las demandas por agua y se introducirán en los modelos de balances como se indica en el Capítulo 3.

5.5

HIDROELECTRICIDAD

La demanda por agua para generación hidroeléctrica es una demanda derivada y por tanto, al igual que en el caso de la agricultura, su magnitud dependerá de una serie de factores tales como los precios de los combustibles, decisiones sobre política de sustitución de ciertos energéticos y otras, normalmente tomadas afuera del sector de aguas propiamente dicho.

Dentro de líneas generales la toma de decisiones en el país sobre construcción y operación de proyectos hidroeléctricos sigue el siguiente proceso.

a) Proyecciones de demanda.

Se efectúan proyecciones de la demanda total de energía eléctrica con horizontes de unos 20 años. Estas proyecciones se fundamentan en la actualidad en modelos econométricos y se efectúan a largo plazo puesto que se requiere tomar decisiones sobre construcción de proyectos con la anterioridad suficiente para garantizar la prestación del servicio. Los proyectos actualmente en construcción o sobre los cuales ya hay una decisión formal cubrirán las necesidades del país hasta el año 1996 de acuerdo con las últimas proyecciones de demanda.

b) Selección de proyectos.

Establecidas las proyecciones de demanda, el sector debe escoger cuándo y cuáles proyectos debe construir. El sector mantiene un archivo de proyectos en diferentes estados de estudios (reconocimiento, prefactibilidad, factibilidad), tanto hidráulicos como térmicos y selecciona de ellos la secuencia que minimice los costos de inversión y operación necesarios para cubrir adecuadamente la demanda.

Este análisis es lo que se denomina optimización de la expansión.

En este análisis entran en consideración los programas de desembolsos para la construcción, los costos de combustibles para las plantas térmicas los costos de transmisión requeridos para la interconexión, y lógicamente las características de generación de los proyectos.

c) Proyecciones de la Operación a Mediano Plazo. Simultáneamente con el manejo de las decisiones sobre construcción de proyectos se corre un modelo de operación del sistema que usualmente cubre el horizonte sobre el cual ya hay decisiones tomadas. Este proceso se efectúa mediante un modelo de operación hidrotérmica. La representación del sistema nacional mediante un modelo agregado es normalmente satisfactoria. Este modelo permite encontrar la operación térmica e hidráulica que minimice los costos de operación durante el período, satisfaciendo el cubrimiento adecuado de la demanda. Los costos de inversión de los proyectos se consideran como costos muertos en esta etapa a menos que se quiera investigar la conveniencia de modificar el programa de construcción y entrada en operación de algunos de ellos.

d) Operación a corto plazo. Finalmente, mediante la utilización de modelos desagregados se efectúa la simulación de la operación a corto plazo con horizontes menores de dos años en los cuales se programa la operación de cada una de las centrales del país involucrando los acuerdos de intercambios entre las diversas empresas y considerando todas las restricciones propias de cada una de las plantas. Estos programas se van modificando sobre la marcha en la medida en

que el desenvolvimiento de los aportes indique conveniencias de modificar estos acuerdos.

Para el caso específico del ENA, la utilización del agua para propósitos de generación hidroeléctrica no constituye un uso consuntivo y se considera que en muy contados casos las decisiones sobre desembalsamiento podrían ocasionar problemas de competencia con otros usos (consumo humano, uso agrícola, control de inundaciones) eventualidad en la cual los conflictos se presentarían por efectos de la asignación intertemporal del recurso agua.

La circunstancia de que en el país existe el sistema interconectado disminuye considerablemente la probabilidad de que se presente esta eventualidad, dada la flexibilidad de operación así obtenida.

Esta última consideración ha dado pie para no incluir inicialmente en el modelo de balances las demandas para generación hidroeléctrica. A pesar de que estas demandas no han sido incluidas explícitamente, una simple comparación de las magnitudes de las otras demandas con respecto a las disponibilidades totales servirá para hacer una primera verificación sobre la posibilidad de existencia de conflictos.

Para la segunda fase se propone un tratamiento más sistemático del problema, así:

1) Las proyecciones de demanda por energía eléctrica se realizarán utilizando los modelos ^{1/} econométricos

^{1/} Estos modelos se encuentran ampliamente documentados en el Informe Final del ENE.

desarrollados en el ENE, de acuerdo a los escenarios y opciones de política bajo consideración.

2) Para la definición de los proyectos que conformarán el sistema interconectado nacional en un momento dado del horizonte de planeamiento, se utilizará el modelo^{1/} para la optimización de la expansión del sector eléctrico desarrollado en el ESEE, con la información sobre costos de combustible obtenida en el ENE.

3) Para la definición de las cantidades totales de generación hidroeléctrica vs. generación térmica a efectuarse en los diferentes períodos del horizonte, se utilizará el modelo^{1/} de operación hidrotérmica agregado desarrollado en el curso del ESSE con las modificaciones introducidas en el ENE, utilizando los costos de combustible de este estudio.

4) La generación hidroeléctrica total se desagregará a las diferentes plantas del sistema utilizando para ello reglas heurísticas.

Este procedimiento permitirá identificar con mayor certeza los posibles conflictos entre sectores, o intentar una primera aproximación a la solución de los mismos.

^{1/} Estos modelos se encuentran ampliamente documentados en el Informe Final del ENE.

5.6 TRANSPORTE FLUVIAL

La capacidad de transporte de una vía fluvial está determinada fundamentalmente por el calado, el ancho de la vía y los radios de curvatura. De estas características normalmente la más importante es el calado. Este a su vez puede ser modificado aumentando los flujos de verano o mediante dragado, para lo cual se debe asumir que estos dos tipos de acciones deben ser combinadas en forma tal que se optimice la inversión. Lo anterior implica que previamente se hayan determinado los volúmenes de carga a ser transportados por la vía fluvial, dependiendo de los costos de los modos alternativos. En términos generales, al aumentar el calado disminuye el costo por ton-km transportada, haciendo la vía fluvial más competitiva frente a otros modos, pero el aumento del calado implica costos ya sea en dragado o en inversiones para aumentar los flujos en el río. Estas consideraciones hacen ver como la determinación de los volúmenes transportados por vía fluvial y las inversiones a realizar en este campo se deben hacer conjuntamente con las inversiones en otros modos de transporte.

Para realizar este tipo de análisis es necesario disponer de información suficiente sobre los costos de transporte en medios alternativos, curvas de inversión en dragado vs. incremento en calado y caudal vs. calado para diferentes volúmenes de inversión en dragado, curvas de inversión en regulación de caudales vs. caudal regulado y costos por ton-km para diferentes calados.

Como puede verse, realizar este análisis está por fuera del alcance de este estudio, no solo por el esfuerzo requerido

sino por la escasez de información.

Por lo anterior y basados en las curvas caudal vs. calado, existentes para algunos puntos en el río Magdalena, se hará una verificación de si los calados medios pueden ser afectados por las diversas demandas a estudiar, caso en el cual se entraría a mirar con mayor detenimiento el problema. Sin embargo, dada la ubicación de los tramos de mayor importancia en la zona baja de los ríos es de esperar que esto no ocurra, y por el contrario sean más aconsejables las inversiones en dragado y rectificaciones de cauces antes que en obras de regulación de caudales.

Las 'demandas' de caudal generadas por el transporte no se incorporan a los balances en forma explícita y se tratarán como se anotó anteriormente.

5.7 PESCA

La demanda por pescado genera indirectamente una demanda por determinadas características de caudal y calidad de aguas en las principales fuentes de este recurso. Sin embargo dado que no es posible, para el nivel de información existente, modelar matemáticamente estas relaciones y de otra parte existen normas que determinan mínimos de calidad, en el ENA se ha adoptado el siguiente enfoque.

1. El factor importante en la determinación de las poblaciones de peces lo constituye la relación ciénaga-río.
2. La calidad de las aguas afecta la vida piscícola y por tanto es necesario tener en cuenta este factor.
3. En las fases siguientes del estudio se profundizará en lo posible en el estudio de la relación ciénaga-río, para aquellos casos en donde las obras de regulación puedan tener algún impacto. No se espera que por esta razón se presenten problemas de consideración en el río Magdalena, aunque podría existir en algunos cauces pequeños.
4. El factor calidad de las aguas se trabajará básicamente examinando los resultados del modelo de calidad de agua.

Por lo anterior los recursos hidrobiológicos no se tratarán como una demanda propiamente dicha, sino más como una restricción que debe ser verificada. Esta demanda no se introduce explícitamente en los balances.

5.8 CALIDAD DE AGUAS

En sentido estricto puede decirse que no existe una demanda per-se de un nivel dado de calidad en las aguas y el fenómeno puede describirse mejor como uno de demanda por una cantidad dada de agua que satisfaga unos requisitos específicos del uso en consideración. De esta manera puede llegarse a hablar de disponibilidad a pagar por unos niveles determinados de calidad, los cuales están íntimamente relacionados con el uso en cuestión.

Dentro del ENA, a más de haber realizado un diagnóstico con base en la información disponible^{1/}, se ha desarrollado un procedimiento metodológico que permite estimar en forma aproximada el estado futuro de los principales ríos del país, mediante la utilización de un modelo de biodegradabilidad, y de esta manera entrar a visualizar necesidades de tratamiento. En el país se han realizado varios estudios sobre calidad de aguas que han comprendido tareas de modelación de los cauces en cuestión, para lo cual se han utilizado diversos modelos, la mayoría de ellos específicos al problema considerado; se tiene conocimiento de la utilización de modelos, entre otros, en los casos de estudios efectuados para el Río Bogotá, Río Cauca, Río Medellín y el estudio del saneamiento ambiental de Bucaramanga. Para el caso del ENA, dadas las características mismas del estudio, al ser este uno de planeación global, a pesar de las limitaciones inherentes al uso de un modelo, se ha decidido abordar las tareas de proyección de calidad de aguas mediante un modelo diferente, entre

^{1/} Ver capítulo de Resultados, Diagnóstico y el Anexo G.

otras razones, porque es necesario conciliar los aspectos de precisión y confiabilidad de resultados con las restricciones de tiempo y presupuesto para llevar a cabo esta tarea específica. Debe ser claro que la inclusión de términos adicionales al modelo de biodegradabilidad de Streeter y Phelps, si bien conlleva enormes beneficios en términos de precisión de los resultados, de otra parte implica mayores esfuerzos en cuanto a calibración, de por sí muy difícil de realizar para el modelo de Streeter y Phelps a nivel de todo el país, y recolección de información. Es interesante anotar que para los efectos a tener en cuenta, el modelo propuesto en el ENA, no difiere en forma importante de aquellos utilizados en otros estudios.

Este modelo permite expresar la capacidad de autopurificación de un río en función de la demanda última de oxígeno, el déficit actual de oxígeno y unas constantes de reaireación y desoxigenación. Los supuestos básicos y las ecuaciones respectivas se presentan en el Anexo G.

Para la operación del modelo será necesario estimar los aportes de carga poluidora, de fuentes puntuales y no puntuales, para los diferentes horizontes de tiempo a estudiar. La metodología para estas estimaciones se presenta de forma detallada en el anexo. Las cargas unitarias a utilizar y los valores de los constantes del modelo se derivarán de los principales estudios efectuados en el país en donde se han calibrado estos parámetros.

Los resultados de este modelo serán básicamente una guía útil en la determinación de prioridades y períodos para

los cuales sería necesario efectuar los diferentes grados de tratamiento. Naturalmente, dada la magnitud de las inversiones que este tipo de tareas implica, es lógico esperar que las decisiones al respecto se tomaran una vez se lleven a cabo estudios específicos de los casos así identificados.

Dadas las deficiencias implícitas de un modelo simplificado, se tendrá especial cuidado en aprovechar la información modelada en los estudios para Bogotá, Cali, Medellín y Bucaramanga.

Ahora bien, la mayoría de los estudios efectuados en el país no han obedecido a un programa con objetivos de largo plazo y procedimientos normalizados. En este sentido y ante la importancia del tema se propone un programa sistemático de control de calidad de forma tal que podrá irse mejorando según se vaya satisfaciendo los requerimientos económicos del mismo.

Los objetivos del programa serían:

- Control de abastecimiento de agua
- Clasificación de fuentes del agua
- Control de descargas de aguas residuales
- Control de drenaje agrícola

Se ha supuesto el muestreo de aproximadamente 1000 estaciones, necesarias para satisfacer inicialmente el control de abastecimiento del agua. Para los propósitos del sistema se estima una frecuencia mínima de 6 muestras anuales,

determinando los parámetros mínimos básicos necesarios para satisfacer dicho objetivo.

Dado el cubrimiento de la red actual del HIMAT, se propone a este Instituto para centralizar la información y llevar a cabo gran parte de esta tarea^{1/}.

Con estas premisas se estima que los costos de operación de este sistema (recolección de muestras, análisis in situ, transporte, determinación en el laboratorio y procesamiento de datos) sería del orden de \$ 120.000.000. Acometer el control de descargas de aguas residuales implicaría una suma adicional del mismo orden, dado que el cubrimiento en términos del número de poblaciones sería aproximadamente el mismo. Durante la segunda fase del estudio se harán los trabajos necesarios para recomendar la localización de las estaciones de monitoreo requeridas para conformar una red básica nacional que satisfaga los requerimientos del sistema a adoptar para la clasificación de fuentes de agua. En el diseño de esta red se tendrán en cuenta obviamente las estaciones existentes, complementadas con aquellas que sea necesario establecer a fin de satisfacer el objetivo propuesto.

^{1/} Sobre este aspecto consultar lo referente al Sistema de Información en el Anexo 1.

CAPITULO 6

SISTEMA DE INFORMACION

Uno de los problemas básicos que impiden realizar una eficiente planificación del recurso agua es la dificultad y costo para obtener la información requerida, derivados en buena medida de la calidad y grado de sistematización existente. Por esta razón, durante la primera fase del ENA se llevó a cabo una evaluación detallada de los sistemas de información actuales de las distintas entidades vinculadas al sector. Fundamentalmente se trató de establecer si toda la información necesaria se está generando, comprobar su consistencia y determinar su grado de sistematización y centralización.

En esta evaluación se encontró que en dichos sistemas hay una gran disparidad en la calidad y cantidad de información recolectada, y tan solo en lo relacionado con aguas superficiales e hidroelectricidad existen sistemas relativamente completos y confiables en el HIMAT y el ENE respectivamente. En el resto de casos, o bien la información existente no es completa ni se está centralizándose (aguas subterráneas, calidad del agua, erosión, consumo industrial, consumo agrícola), o es poco confiable y de escasa cobertura (consumo humano y navegación).

Con base en este diagnóstico, se concentró el esfuerzo en complementar y ayudar a mejorar la calidad de los sistemas existentes, o en colaborar con algunas entidades en el inicio de sus sistemas informativos.

Para realizar estas tareas se tomó como punto de partida un esquema general del Sistema de Información de Aguas (Ver figura 6.1), en el que se asignaron las responsabilidades al Compilador Central (D.N.P) y a los compiladores sectoriales. A continuación, se establecieron las entidades encargadas de generar y recolectar la información y enviarla a cada compilador sectorial (fig. 6.2 a 6.4).

En este diseño se buscó la congruencia con los sistemas existentes en la actualidad en las diversas entidades, a fin de que el montaje futuro de una red más completa exija los menores esfuerzos y gastos posibles. Finalmente, se colaboró con las entidades respectivas en el diseño de los mecanismos y formatos necesarios para la recolección, verificación de consistencia y envío a los compiladores sectoriales.

En aguas subterráneas, se trabajó en el diseño de un Banco Nacional de Datos Hidrogeológicos, que pueda reunir la información de cerca de 5.000 pozos que existen en el país; se proponen tres tipos de formatos en los cuales las entidades respectivas deberán registrar la información obtenida y remitirla a Ingeominas. Igualmente, se recomiendan algunas medidas legales que obliguen a las compañías privadas perforadoras a enviar oportunamente la información de que disponen.

Para calidad del agua, se definió al Himat como compilador sectorial, y se diseñó un formato en el que las distintas entidades que hacen análisis de aguas, deberán registrar la información generada y remitirla al Himat, se elaboraron una serie de relaciones básicas que permiten depurar la información recibida y se establecieron las características fundamentales de lo que debe ser una red

oficial de muestreo para control de abastecimiento.

En lo relativo a erosión, se seleccionaron dos entidades para que centralicen la información: El IGAC para todo aquello relacionado con los suelos y la erosión propiamente dicha y el Himat en lo que respecta a los sedimentos transportados por las distintas corrientes de agua. En el primer caso, se recomienda dotar al Instituto Agustín Codazzi de los recursos suficientes para que pueda acelerar el montaje del Sistema de Información que en la actualidad tan solo cubre una parte del país. Se considera importante complementar dicho sistema con información procedente de Inderena y de las Corporaciones Regionales, especialmente en lo que respecta a los programas que esta adelanta. Para tal efecto, se estima que la División de Corporaciones Regionales del DNP podrá centralizar lo relativo a las Corporaciones y enviar al IGAC la información respectiva. En cuanto a sedimentos, se estima necesario ampliar y complementar la red de muestreo actual del Himat; de otra parte, no sobra advertir que la información específica sobre sedimentos deberá ser adicionada con lo relativo a sólidos obtenido en los análisis de calidad de aguas.

De esta manera, el diseño del sistema de información, en lo que tiene que ver con la oferta de agua, se considera concluido.

En lo relativo a los usos del agua, se hizo la siguiente división: Consumo humano, industrial, agrícola, eléctrico y navegación.

Respecto a la información sobre consumo humano, se elaboraron encuestas, con sus respectivos explicativos, y algunas recomendaciones para que la División de Ingeniería Sanitaria del DNP (compilador del sector) pueda completar y mejorar la calidad de la información recogida en los Estados Sanitarios. Se establecieron algunas relaciones básicas que permiten a dicha División depurar la información recibida y se determinaron igualmente, algunos otros chequeos de inconsistencias que debe realizar el compilador central con la información que recibe de este y otros compiladores sectoriales.

Se recomienda la instalación de medidores a la salida de la fuente de captación o de la planta de tratamiento de los Acueductos rurales con el propósito de llevar estadísticas sobre la producción de estos; igualmente, se considera necesario ampliar la cobertura de los Estados Sanitarios con la información disponible en los Comités Departamentales de Cafeteros y sobre acueductos rurales por ellos contruídos y operados.

Para consumo industrial se ha escogido al DANE como compilador; con este propósito, se diseñó un corto capítulo, que esta entidad debe adicionar a la encuesta Manufacturera, que permita obtener información sobre los consumos y descargas de agua en el sector.

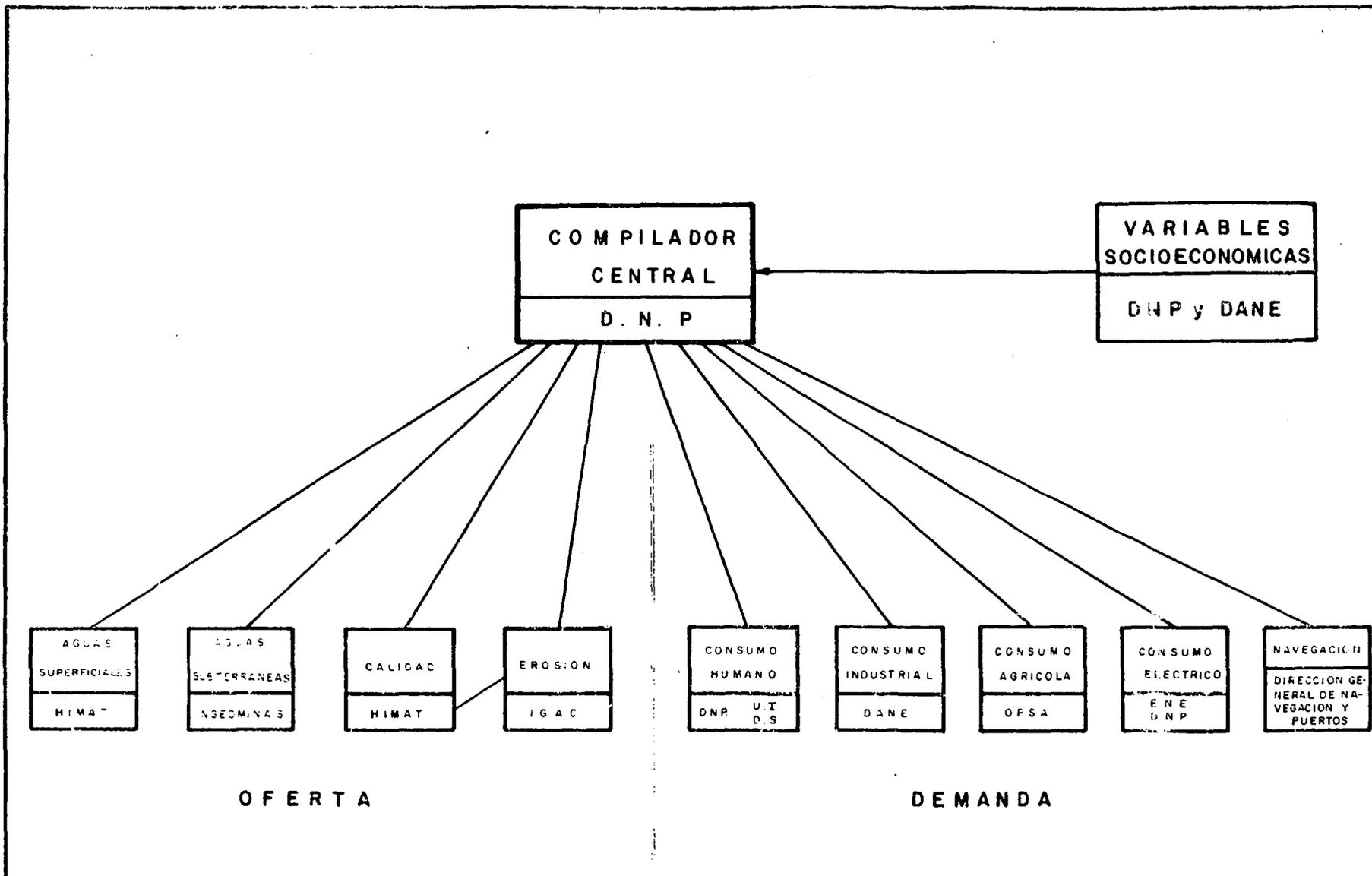
En lo relativo al consumo agrícola se diseñó una encuesta y se definieron los mecanismos necesarios para que a través de las Corporaciones Regionales, el Inderena y el Fondo Financiero Agropecuario se recoja la información sobre riego privado en el agro, y se haga algún

chequeo de la validez de la misma; se determinó el grado de procesamiento que debe sufrir dicha información antes de ser enviada a OPSA, organismo que centralizará lo relativo a este sector; Himat deberá seguir recolectando la información de los distritos de riego que administra y enviarla a OPSA para su centralización.

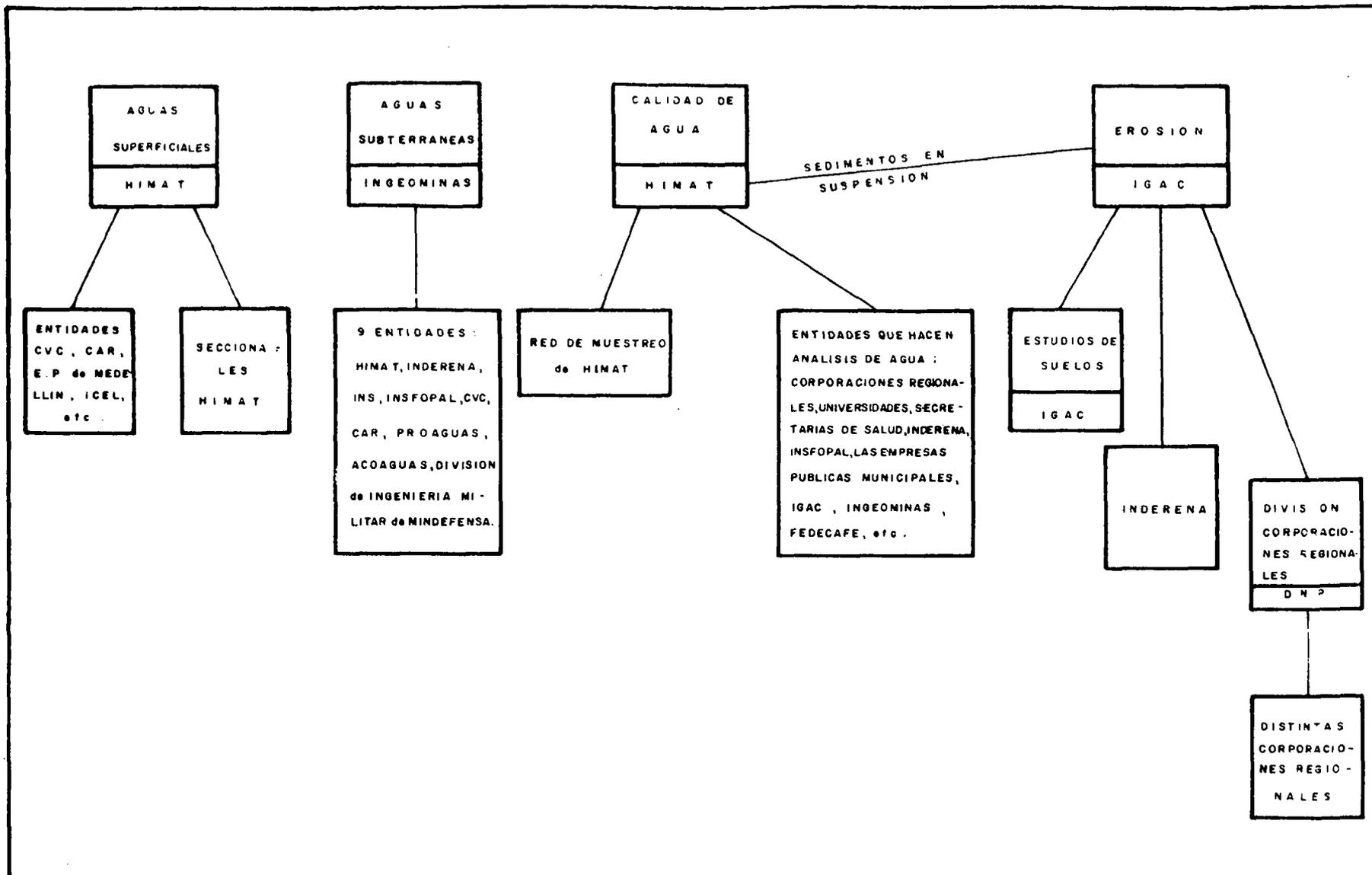
La información que se requiere para el análisis del uso del agua en el sector eléctrico está siendo recopilada por el sistema de información del ENE, el cual deberá enviarla al Compilador Central del Sistema de Información de Aguas según el diseño propuesto.

En lo que respecta a la información sobre navegación, se establecieron una serie de mecanismos y recomendaciones que permitan ampliar la cobertura de la información recolectada por la Dirección General de Navegación y Puertos del MOPT, mejorar su calidad y cumplir requisitos mínimos de frecuencia. Dichos mecanismos y recomendaciones tienen en cuenta la importancia de la navegación fluvial en cada región del país, y tratan de adaptarse a ella.

El diseño propuesto para el Sistema de Información de aguas se realizó con el concurso de las entidades citadas, e implicó una labor de coordinación y entrevistas con cada una de ellas para lograr su cooperación. De ponerse en práctica, se estima permitirá que en futuro se disponga de toda la información necesaria para un mejor planeamiento y una más acertada toma de decisiones en el sector.

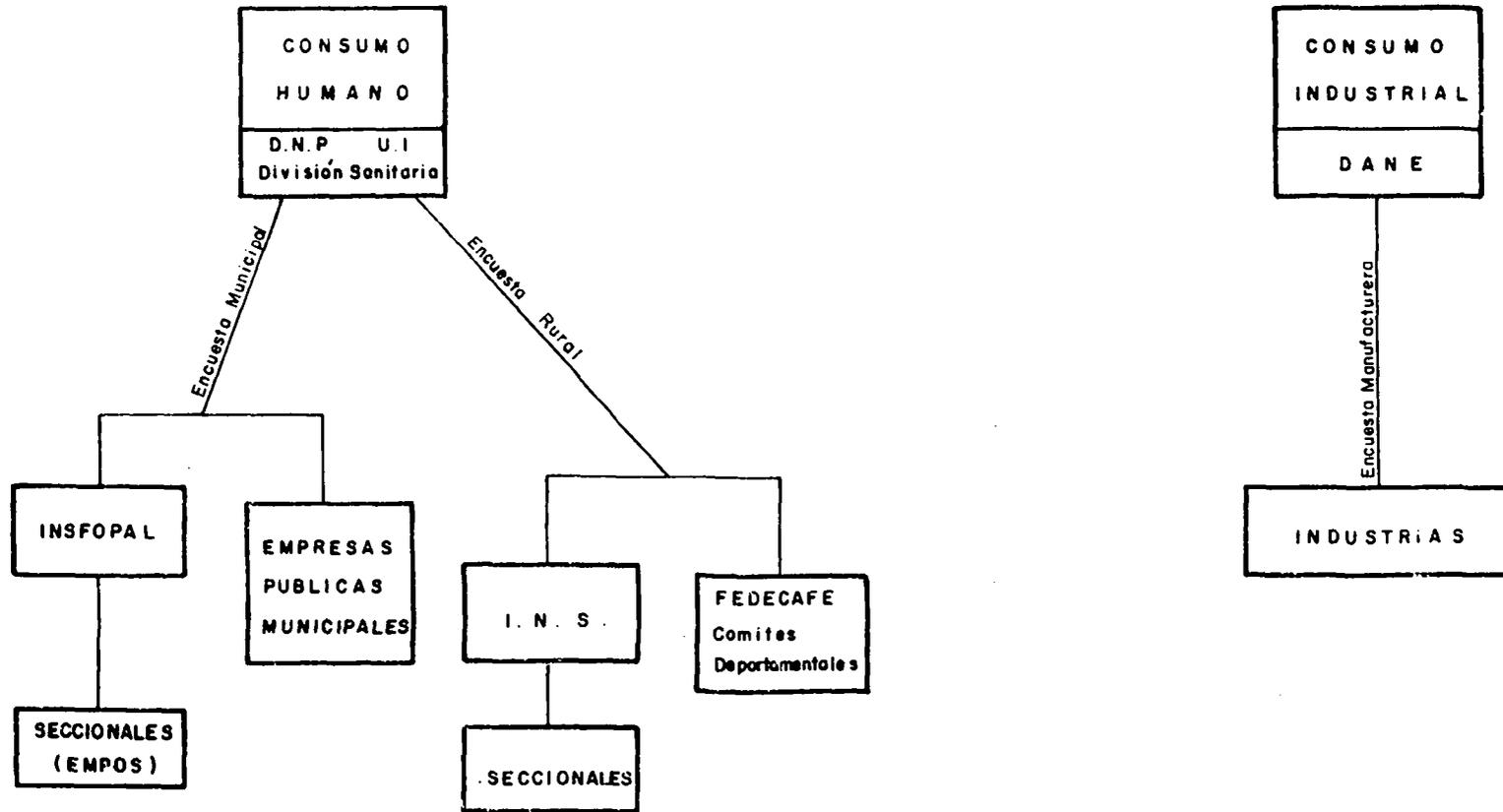


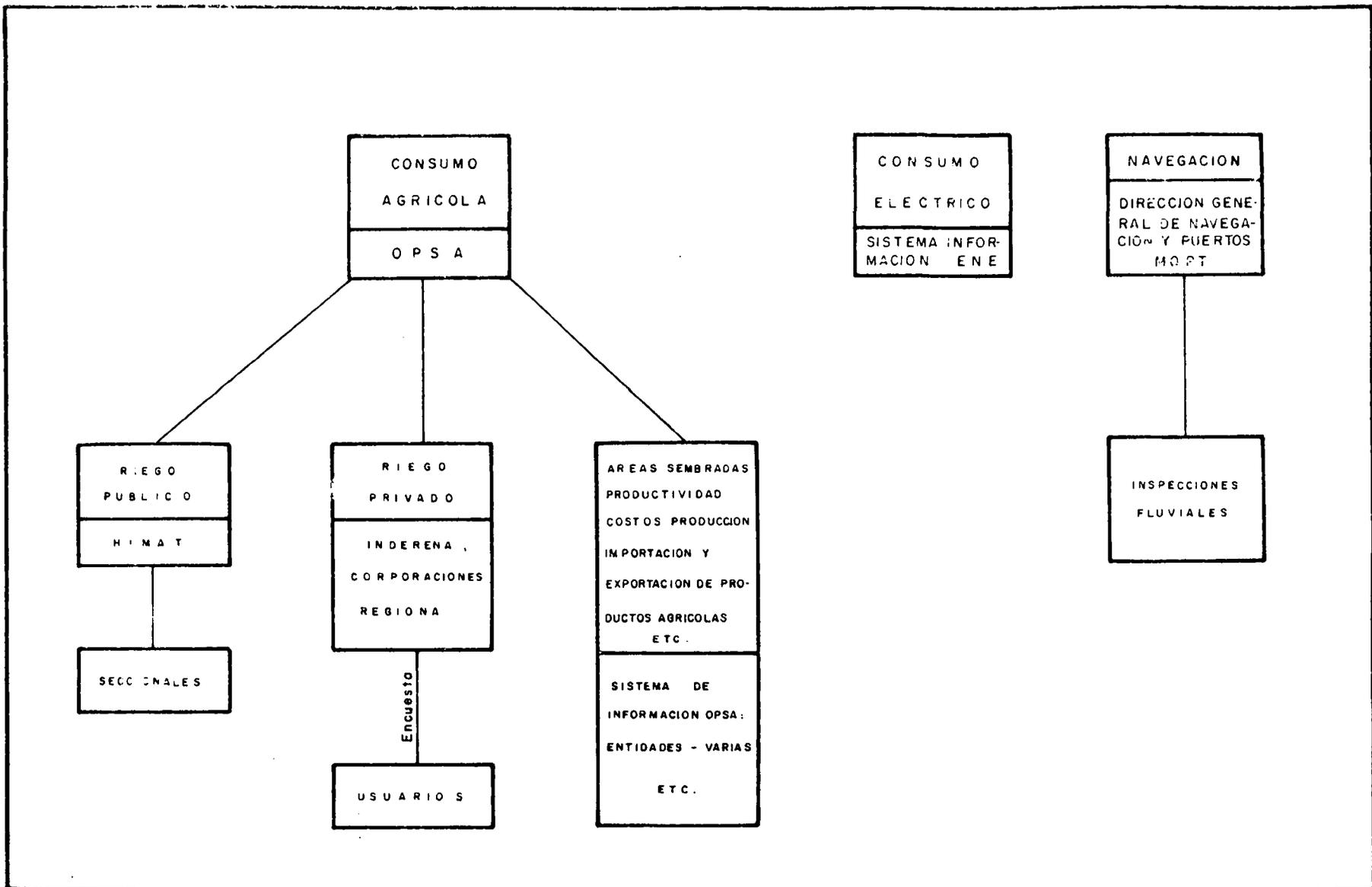
DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION	ESTUDIO NACIONAL DE AGUAS	FECHA:	FIGURA Nº
MEJIA MILLAN Y PERRY LTDA		SISTEMA DE INFORMACION ESTRUCTURA GENERAL	Noviembre de 1983



DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION	ESTUDIO NACIONAL DE AGUAS	FECHA:	FIGURA#
MEJIA MILLAN Y PERRY LTDA	SISTEMA DE INFORMACION - OFERTA DE AGUA	Noviembre de 1983	6.2

FIGURA N° 0.3
SISTEMA DE INFORMACION
DEMANDA DE AGUA





CAPITULO 7

RESULTADOS

En este Capítulo se presentan en forma resumida los resultados del Balance Demanda-Disponibilidades y lo relativo a calidad de aguas.

Con el propósito de tener una visión de conjunto se ha adoptado como unidad para esta presentación, la cuenca de orden 2. Estas cuencas están compuestas por un número variable de cuencas de orden 3, nivel al cual se efectúan los balances en el estudio.

El Cuadro No. 7.1 presenta un resumen de las principales características de estas cuencas y en la Gráfica No. 7.1 se muestra su ubicación en el país. Se incluyen, además, en el cuadro, las demandas para consumo humano e industrial.

Salta a primera vista, la no inclusión de las cantidades de agua disponible por cuenca. Conviene mencionar que esta información se ha omitido del cuadro dada la poca relevancia que tiene para este nivel de agregación. En otras palabras, a medida que aumenta el nivel de agregación, por ejemplo al pasar de cuencas de orden 3 a cuencas de orden 2, la confrontación de demandas y disponibilidades totales pierde sentido puesto que las demandas van a estar ubicadas en forma más o menos dispersa a nivel de una cuenca de este orden, en tanto que las disponibilidades, para poderlos cuantificar, habría que ubicarlas en algún punto particular, normalmente a la salida de la cuenca. De esta manera, la comparación de estas dos cifras, demanda y disponibilidad total, a nivel de cuencas

de orden 2, no arroja luces que permitan identificar zonas de conflicto o de déficit. Por esta razón, los resultados específicos del balance, en concreto aquellas zonas que presentan una relación Demanda/Disponibilidad total alta, se identifican en este resumen a nivel de cuenca de orden 3, en tanto que la descripción general y la magnitud de las demandas se da a nivel de cuencas de orden 2.

Las demandas para consumo humano e industrial se suponen constantes a lo largo del año, a pesar de que en la práctica pueden existir pequeñas oscilaciones alrededor de estos valores.

Igualmente, conviene mencionar que el número de cuencas incluido en el balance es menor al total de cuencas de orden 3 en que se ha dividido el país. Esta circunstancia, se debe fundamentalmente a falta de información para la zona de la Amazonia y la Orinoquia.

Las demandas agrícolas dependen del área sembrada, tipo de cultivo y de la precipitación, tal y como se explicó en el Capítulo 5, por lo cual no es posible hablar de valores únicos y resulta más apropiado consignar los valores medios. En los resultados que arroja el modelo de balances, además de los valores medios de estas demandas, se imprimen las respectivas varianzas.

Dado que la información sobre riego privado no es muy confiable se presenta un análisis de sensibilidad, definiendo la alternativa con demandas bajas como aquella en la cual tan solo se tienen en cuenta el 50% de los pastos reportados con riego, y una alternativa con demandas altas que consideraba la totalidad de estos. Los Cuadros 7.2 y 7.3 muestran las demandas agrícolas, alternativas alta y baja, para aquellos meses en que ésta es más importante.

Los Cuadros 7.4 y 7.5 muestran las demandas medias totales (incluyendo consumo humano e industrial), alternativas alta y baja según la demanda agrícola del caso.

Dado que la disponibilidad total de agua en una región de terminada es una variable aleatoria, para la identificación de aquellas áreas en donde pueden existir conflictos por el uso de agua es necesario definir un margen de confiabilidad con el cual se desea hacer esta identificación. De esta manera, a medida que se exija una mayor confiabilidad existirá un número mayor de cuencas en conflicto.

De otra parte, la mera identificación de cuencas en donde existe déficit físico de aguas, para una confiabilidad dada, se ha estimado que no proporciona un panorama completo de la situación. Por el contrario, a pesar del gran nivel de detalle adoptado para ejecutar los balances, es posible que existan conflictos en algunas cuencas en donde la suma toria de las demandas sea inferior a la disponibilidad total. Naturalmente, en las áreas así identificadas es de esperar que en principio, los conflictos sean menores ó al menos su solución menos costosa que en aquellas áreas en donde el balance señala déficit físico.

Por lo anterior, se decidió identificar aquellas cuencas de orden 3, en donde, con una probabilidad de 5%, la demanda es superior al 50% de la Disponibilidad total y aquellas cuencas en donde, para este nivel de confiabilidad, la demanda es superior al 30% de la disponibilidad to tal, a nivel mensual, según los resultados del balance. Los Cuadros 7.6 y 7.7 muestran las cuencas de orden 3 en donde se presentan estas situaciones y los meses en que ellas ocurren, para las dos alternativas de demanda con sideradas, alta y baja.

En los Cuadros 7.8 y 7.9 se señalan las cuencas de orden 3 en las cuales se presentan déficits, para dos niveles diferentes de probabilidad de ocurrencia, superior al 5% y superior al 1%, y para las dos alternativa de demanda consideradas.

El examen de los Cuadros 7.6 a 7.9 permite ver que para la alternativa de demandas altas, existen 23 cuencas de orden 3 que con un 5% de probabilidad tendrán una demanda superior al 30% de las disponibilidades totales en uno o más meses del año; de estas, 17 presentan demandas superiores al 50% de la disponibilidad total y tan solo 6 presentan déficits en uno o más meses del año para el mismo nivel de confiabilidad.

Las cuencas de orden 3 que presentan demandas superiores al 50% de las disponibilidades se encuentran ubicadas en la Guajira, al norte de la desembocadura del Río Sinú, el río Pamplonita en la cuenca del Catatumbo, las cuencas de los ríos Bogotá, Neiva, Coello y Totaré en el Alto Magdalena, la cuenca del río Lebrija en el Magdalena Medio, el río Chicamocha en la cuenca del río Sogamoso, la cuenca del río Palo en la parte alta del río Cauca, la totalidad de la cuenca del río Cesar y en cercanías del Canal del Dique.

Al observar los cuadros es evidente que para algunas de estas cuencas, esta circunstancia se presenta en meses aislados y por tanto, existe la posibilidad de ajustar mejor las demandas a la estacionalidad de las disponibilidades. Sin embargo, este tipo de medidas debe estudiarse cuidadosamente teniendo en cuenta otros factores.

Para la alternativa con demandas bajas e igual nivel de confiabilidad, 18 cuencas de orden 3 presentan una demanda superior al 30% de la disponibilidad total, en uno o más meses del año; de estas, 14 tienen una relación Demanda/Disponibilidad superior a 0.5 y tan solo 6 presentan déficits.

La identificación de cuencas con déficit se llevó a cabo también para una probabilidad de ocurrencia del 1%, dado que esta situación puede ser muy crítica y por tanto parece razonable destacar aquellas cuencas en donde, si bien con una baja probabilidad, esta eventualidad pueda darse. Al proceder de esta manera, tan solo aparece 1 cuenca de orden 3 que no se identifica al seleccionar únicamente aquellas que tienen una relación Demanda/Disponibilidad superior a 0.5 con una probabilidad superior al 5%, para la alternativa con demandas altas. Igual cosa sucede para la alternativa con demandas bajas.

Conviene destacar que la totalidad de estos déficits, o situaciones de demanda elevada, se presentan en zonas que tienen una magnitud apreciable de áreas con riesgo. Por esta razón, la confiabilidad exigida deberá estar en función del uso que pueda ser afectado, y en este caso, tomar en cuenta cuencas con probabilidades de déficit inferior al 5% puede ser excesivo.

De otra parte, se ha querido tener en cuenta la calidad del agua con el propósito de ver la influencia de este factor en la posibilidad de satisfacer las demandas. Al respecto vale la pena comentar que este análisis debe hacerse con cuidado puesto que, de no conocerse la fuente de suministro de agua para una demanda dada y su localización precisa en la cuenca, no es posible disminuir la

oferta total de agua y entrar a señalar eventuales situaciones de déficit. Por ejemplo, en el caso de la cuenca del río Bogotá al hacer caso omiso de la localización de la ciudad, sería un error evidente que para efectos del balance se descontara de la disponibilidad total de la cuenca el caudal contaminado que corre aguas abajo, después de satisfacer la demanda de la ciudad.

Debe recordarse que, según la metodología adoptada para realizar los balances, estos se efectúan a la salida de las cuencas de orden 3 mediante la confrontación de las demandas brutas, esto es sin tener en cuenta los retornos, y las disponibilidades totales.

Adicionalmente, existe la posibilidad de tratar el agua luego de tomarla de una fuente dada y antes de destinarla a un uso específico, que a su vez, tendrá exigencias de calidad diferentes dependiendo de las particularidades del mismo.

Hechas las salvedades anteriores, se presentan los cuadros 7.10 y 7.11 en donde se consignan dependiendo del uso (consumo humano y consumo agrícola) los principales resultados sobre calidad de aguas, los caudales de las fuentes para las cuales se tiene información, las medias multianuales a la salida de la respectiva cuenca de orden 3 y las demandas totales del uso en consideración. Debe destacarse que en los casos del río Cauca y del río Magdalena, algunas veces el caudal medio a la salida de algunas cuencas, según la regionalización adoptada para los balances, es inferior al caudal mismo del río Cauca o Magdalena en esos tramos. Lo anterior sucede puesto que en estos casos el río señala el límite de las cuencas, y por tanto existen dos cuencas tributando

en forma simultánea al mismo tramo del río. Dada esta circunstancia, no parecía razonable adjudicar todo el caudal del río Cauca o Magdalena, a una sola de las cuencas tributarias. Por esta razón, y en especial en el caso del Río Cauca los caudales medios de éste en algunos tramos son superiores a los de la cuenca de orden 3 consignada en los Cuadros 7.10 y 7.11.

Mediante inspección de estos dos cuadros es posible tener una idea aproximada de las demandas que pueden estar afrontando problemas con la calidad de las aguas que utilizan

Al conjugar los resultados de calidad de aguas, con los obtenidos del balance actual se pueden identificar las siguientes cuencas de orden 2 y las áreas específicas (cuencas de orden 3), como aquellas en donde es posible tener conflictos, por cantidad y/o calidad, en el uso del agua.

Cuencas de orden 2/
código

Cuencas de orden 3

Sinú (13)	Parte baja entre la desembocadura del Sinú y el Puerto Barú
Guajira (15)	Ríos Tapias y Ranchería y zonas entre la laguna grande y Riohacha y entre las bocas del Ranchería y el Arroyo Sharimahana ^{1/}
Catatumbo (16)	Río Pamplonita
Alto Magdalena (21)	Río Bogotá, Neiva, Coello y Totaré ^{1/}
Medio Magdalena (23)	Río Lebrija ^{1/}
Sogamoso (24)	Río Chicamocha
Cauca (26)	Ríos Palo, La Vieja, Otún y la margen izquierda del Cauca entre Salvajina y Riofrío y la margen derecha entre Juan-chito y el río La Vieja.

^{1/} La probabilidad de conflicto en estas áreas es mucho menor (cercana al 1 %).

Cesar (28)	La totalidad de la cuenca
Costa (29)	Áreas aferentes al canal del Dique y a la ciénaga grande de Santa Marta ^{1/}
Nechí (27)	Río Porce y en especial el río Medellín.

^{1/} La probabilidad de conflicto en estas áreas es mucho menor (cerca al 1.0%).

CUADRO No. 7.6
^{1/}
 CUENCAS DE TERCER ORDEN QUE CON $P \geq 5\%$ TIENEN UNA RELACION
 DEMANDA/DISPONIBILIDAD APRECIABLE Y MESES EN QUE OCURRE
 - Alternativa con demandas bajas-

Código Cuenca	(DEM./DISP) > .5 (meses)												(DEM/DISP) > .3 (meses)											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1309	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	
1504			X	X		X	X	X					X	X	X		X	X	X				X	
1505	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	
1506	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	
1601	X	X	X										X	X	X		X	X	X				X	
2110									X				X		X		X		X					
2120	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
2122	X						X						X				X		X				X	
2124																	X							
2125	X						X		X				X		X		X		X					
2319													X	X	X									
2403	X	X	X										X	X	X									
2604													X	X			X	X	X					
2801				X		X	X	X					X	X	X	X	X	X	X				X	
2802						X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X				X	
2803		X	X			X	X	X				X	X	X	X	X	X	X					X	
2804	X	X	X			X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
2903	X	X	X	X		X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	

^{1/} P= Probabilidad de ocurrencia X = meses en que ocurre

^{2/} Los dos primeros números de este código hacen referencia a la cuenca de orden 2 respectiva.

Nota: Resultados preliminares sujetos a revisión en el transcurso de la Segunda Fase.

CUADRO No. 7.7

CUENCAS DE TERCER ORDEN QUE CON P ^{1/} ≥ 5% TIENEN UNA RELACION DEMANDA/DISPONIBILIDAD APRECIABLE Y MESES EN QUE OCURRE.

- Alternativa con demandas altas. -

Código ^{2/} Cuenca	(DEM/DISP) > .5 (meses)												(DEM/DISP) > .3 (meses)											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1309	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X				X	
1504	X	X	X	X		X	X	X				X	X	X	X		X	X	X	X			X	
1505	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	
1506	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
1507														X	X			X						
1601	X	X	X				X						X	X	X	X	X	X					X	
2110	X							X					X	X	X	X	X	X					X	
2120	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
2122	X						X						X	X				X					X	
2124																		X						
2125	X						X	X					X	X				X	X				X	
2319			X										X	X	X									
2403	X	X	X										X	X	X			X						
2604			X					X					X	X				X	X	X				
2607																		X						
2609													X	X						X				
2610																				X				
2801			X	X		X	X	X					X	X	X	X	X	X	X				X	
2802						X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X				X	
2803	X	X	X	X		X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X				X	
2804	X	X	X	X		X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
2903	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X				X	
2906															X									

^{1/} P = Probabilidad de ocurrencia

X = meses en que ocurre

^{2/} Los dos primeros números de este código hacen referencia a la cuenca de orden 2 respectiva.

Nota: Resultados preliminares sujetos a revisión en el transcurso de la Segunda Fase.

CUADRO No. 7.8

CUENCAS DE TERCER ORDEN QUE PRESENTAN DEFICITS
Y MESES EN QUE OCURREN

-Alternativas con demandas bajas-

Código Cuenca ^{1/}	^{2/} Pr.de Déficit \geq 5%												Pr.de Déficit \geq 1%											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1309						X	X	X									X	X	X	X	X	X		
1504							X												X	X				
1505	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	
1506	X	X	X	X			X	X			X		X	X	X	X		X	X				X	
1601																							X	
2125															X				X					
2403														X	X									
2604															X									
2610															X									
2801							X												X	X				
2802																			X	X				
2803							X												X	X				
2804																			X	X	X		X	

^{1/} Los dos primeros números de este código hacen referencia a la cuenca de orden 2 respectiva.

^{2/} Pr= Probabilidad de ocurrencia

Nota: Resultados preliminares sujetos a revisión en el transcurso de la Segunda Fase.

CUADRO No. 7.9

CUENCAS DE TERCER ORDEN QUE PRESENTAN DEFICITS
Y MESES EN QUE OCURREN

-Alternativa con demandas altas -

Código ^{1/} Cuenca	^{2/} Pr.de déficit \geq 5%												Pr. de Déficit \geq 1%											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1309						X	X	X							X	X	X	X	X	X	X			
1504			X	X			X						X	X	X	X		X	X	X			X	
1505	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	
1506	X	X	X	X		X	X	X			X		X	X	X	X	X	X	X	X			X	
1601														X									X	
2125															X					X				
2403														X	X									
2604															X									
2609															X									
2610															X									
2801						X													X	X				
2802																			X	X				
2803						X									X				X	X				
2804										X			X	X					X	X	X		X	

1/ Los dos primeros números de este código hacen referencia a la cuenca de orden 2 respectiva.

2/ Pr = Probabilidad de ocurrencia.

Nota: Resultados preliminares sujetos a revisión en el transcurso de la segunda fase.

ORDEN No. 7-10

CALIDAD DEL AGUA DE FUENTES CON INFORMACION, LOCALIZACION DE ESTAS Y
DEMANDAS PARA CONSUMO HUMANO DE LA CUENCA RESPECTIVA.

CUENCA DE ORDEN 3	Caudal en la cuenca (m ³ /s)	Fuente con informacion sobre calidad.	Caudal medio de la fuente (m ³ /s)	Clasificación de tramos según OD prom. (mg/l)			Clasificación de tramos según IBQ prom. (mg/l)			Demanda para consumo humano en la cuenca (m ³ /s)
				< 2	2 - 4	> 4	0 - 3	3 - 6	> 6	
2120 - Bogotá	58.2	R. Bogotá	35.1 (Tocaima)	Bogotá - Tocaima	Tocaima - Girardot	Bogotá <		Villapinzón Pte. La Virgen (Bogotá)	Pte. La Virgen (Bogotá) Salsipuedes (Girardot)	12.7
2315 - MD Opón	3212.3	R. Magdalena	3779			En Barranca			En Barranca	0.78
2403 - Chicamocha	143.4	R. Chicamocha	87.3 (Capitanejo)		En Paz del Rfo	Paz del Rfo <		Duitana <	Duitana-Paz del Rfo.	1.13
2602 - MD Julumito	187.5 ^{3/}	R. Cauca Pozos	246.0 ^{3/}	En Stder de Q		La Bolsa <	La bolsa <			0.29
2605 - MI ^{2/} Salvajina	232.9	R. Cauca	278.5 (Cali)			Canal Navarro. <	Canal Navarro. <			0.09
2607 - MD Juanchito	288.7	R. Cauca Pozos		Candelaria, Pradera, Palmira.	Paso Torre en Palmira.	Candelaria, Palmira.	Paso Torre <			0.87
2608 - MI Juanchito	294.6	R. Cauca	347.5		Rio frio <			Vijes <	En Río Frio	5.83
2610 - Bugalagrande	368.3	R. Cauca Pozos	418.5 (Cartago)		Anacaro < en Zarzal, San Pedro				En Anacaro	0.88
2617 - MI Risaralda	216.7	R. Cauca	550.3		En La Virginia.		En la Virginia.			0.44

CONTIENE LOS CUADROS No. 7, 10

CATEGORÍA DE ORDEN 3	Q máximo al en la cuenca m ³ /s	Fuente con información sobre capacidad.	Q medio de la fuente (m ³ /s)	Clasificación de tramos según OI prom. (mg/l)			Clasificación de tramos según IBO prom. (mg/l)			Demanda para consumo humano en la cuenca (m ³ /s)
				< 2	2 - 4	> 4	0 - 3	4 - 6	> 6	
1306 - C. Betancf	404.0	C. Betancf Sinú	396.5				Montería	Montería	0.04	
1301 - Alto Sinú	193.6	Sinú	334.0				Tierralta		0.01	
1307 - San Carlos	422.6	Sinú	409.6				Lorica		1.00	
2606 - MD Río Palo	276.2	Pozos		en Pto. Tejada, Florida					0.06	
2604 - Río Palo	42.4	Pozos		en Miranda Caloto					0.16	
2609 - MD Guachal	324.3	Pozos		En Buga, Ginebra.		En Guacarí Sonso			0.54	
2611 - MI Cauca	481.5	Pozos		La Unión					0.28	

^{1/} MD = Margen Derecha

^{2/} MI = Margen Izquierda

^{3/} In el texto se explica la razón de esta aparente incongruencia.

CUADRO No. 7.11
 CALIDAD DE AGUA DE FUENTES CON INFORMACION, LOCALIZACION Y DEMANDAS
 PARA RIEGO DE LA CUENCA RESPECTIVA

CUENCA DE ORDEN 3 CODIGO-NOMBRE	\bar{Q} multianual en la cuenca m^3/s	Fuente con información sobre capacidad.	Municipio de la Estación	\bar{Q} de la fuente (m^3/s)	Clasificación tipo de suelo para riego.	Demanda ^{2/} Total para riego alternativa baja m^3/s
2403 - Chicamocha	143.4	R.Chicamocha	Nobsa Tibasosa Capitanejo Sotaquirá	11.2 87.3 6.4	C3S3 C3S1 C2S1 C1S1	3.99
2670 - Bugalagrande	368.3	Pozos Cauca	Zarzal Guayabal-Anacáiro. (Cartago)	418.4	C3S1 C1S1	10.00
2607 - MD Juanchito	288.7	Pozos Cauca	Palmira Candelaria Pradera Palmira Palmira Yumbo		C3S1 C2S1 C2S1 C2S1 C1S1 C1S1	11.15
2606 - MD Rfo Palo	276.2	Pozos Cauca	Pto.Tejada Miranda Flórida Juanchito	280	C2S1 C2S1 C2S1 C1S1	7.91
2604 - Rfo Palo	42.4	Pozos	Caloto Miranda Miranda		C2S1 C2S1 C1S1	1.54
2609 - MD Guachal	324.3	Pozos	Sonso San Pedro Guacarí Buga Ginebra		C2S1 C2S1 C2S1 C2S1 C2S1	12.31
2602 - MD Julumito	187.5	Pozos Cauca	Santander Santander Caloto Buenos Aires - Santander	246 (Sant.)	C2S1 C1S1 C1S1 C1S1	1.58
2605 - MI Salvajina	232.9	Cauca	Buenos Aires Cali	278.5 (Cali)	C1S1	11.91
2608 - MI Juanchito	294.6	Cauca	Vijes-RíoFrio	347.5 (Rfo Frio)	C1S1	5.25
2120 - Bogotá	58.2	R. Bogotá	Tocaima	35.1	C2S1	4.04
2114 - Cabrera	70.4	R. Cabrera	VillaVieja	67.8	C1S1	0.16
2111 - MD Neiva	544.4	R.Ceibas	Neiva		C1S1	4.31
2116 - Prado	54.9	R. Prado	Prado	54.2	C1S1	0.01
2125 - MI Totaré	80.7	R. Recio	Lérida		C1S1	6.10
2205 - MD Saldaña	198.8	R. Saldaña	Goyaima Saldaña Honda	257 339	C1S1 C1S1 C1S1	0.99
2301 - Guarf	41.2	R.Padilla				0.99

CONTINUACION CUADRO No. 7.11

CUENCA DE ORDEN 3	\bar{Q} multianual en la cuenca m^3/s	Fuente con información sobre calidad	Municipio de la Estación	\bar{Q} de la fuente m^3/s	Clasificación tipo de suelo para riego ^{1/}	Demanda total para riego alternativa baja ^{2/} m^3/s
CODIGO - NOMBRE						
2104 - MI Salado	176.4	R. Magdalena	Agrado	224	C1S1	-
2109 - MI Yaguar	488.9	R. Magdalena	Palermo	487	C1S1	1.61
2122 - MI Coello	50.9	R. Magdalena	Nariño		C1S1	3.37
2123 - MD Bogotá	1395.2	R. Magdalena	Girardot Guaduas	1125 1364	C1S1 C1S1	0.96
2307 - MI Samaná	1993.5	R. Magdalena	Pto. Triunfo		C1S1	-
2309 - MI Samaná	435.8	R. Magdalena	Pto. Berrío	2469	C1S1	-
2406 - MD Chicamocha	22.8	R. Sogamoso	Betulia	509	C1S1	-
3502 - Guayuriba	203.6	R. Guayuriba	Villavicencio	162	C1S1	0.08

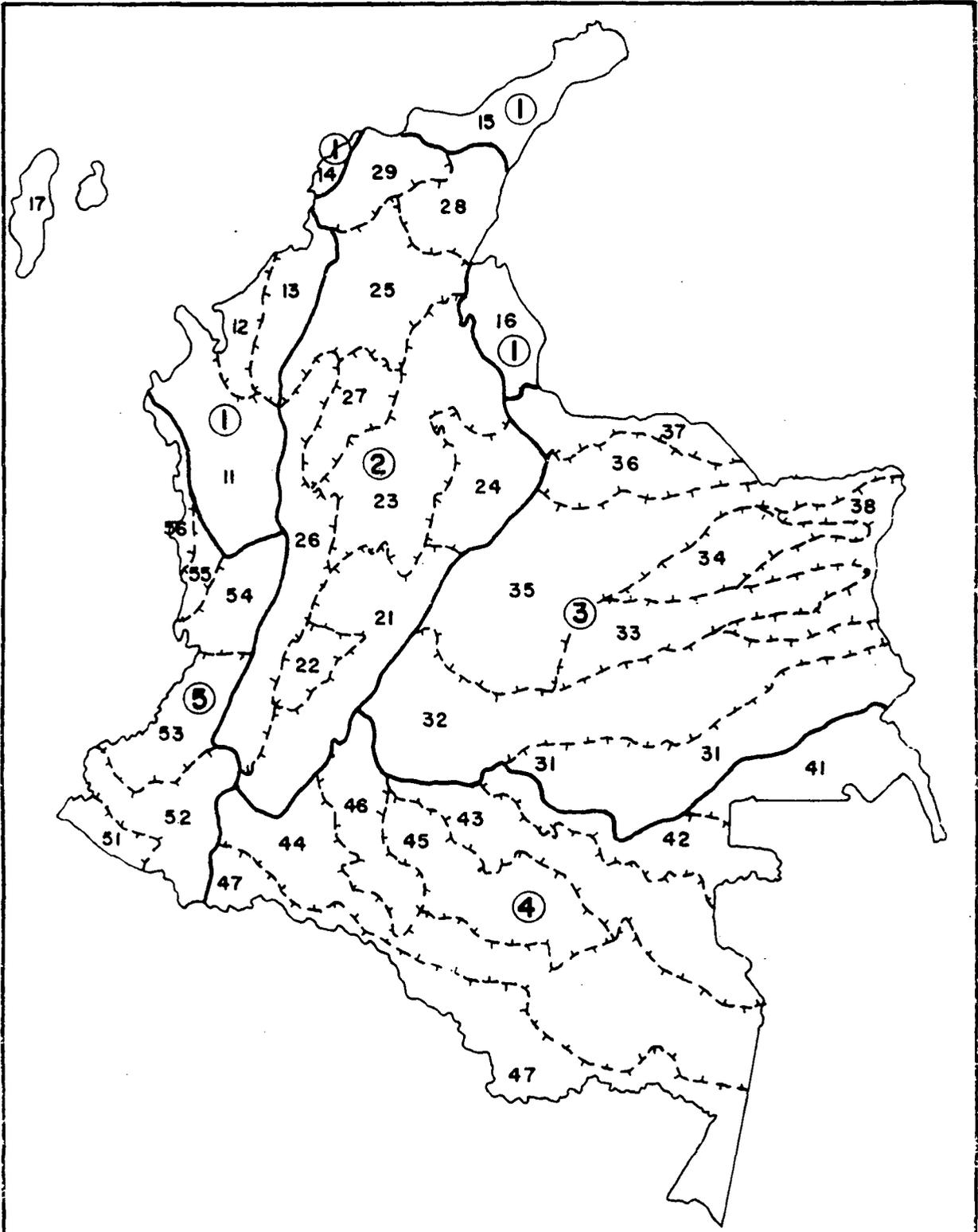
1/ La clasificación para riego combina los siguientes parámetros:

C1 a C4 = Aguas de baja salinidad hasta muy alta salinidad;

C3 y C4 implican serias restricciones de uso.

S1 a S4 = Aguas bajas en sodio hasta muy alto; a partir de S2 existen serias restricciones para su uso.

2/



DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION	ESTUDIO NACIONAL DE AGUAS	FECHA: Noviembre de 1983
MEJIA MILLAN Y PERRY LTDA	CUENCAS DE 1ª y 2ª ORDEN	FIGURA N° 7. I

CAPITULO 8

MARCO LEGAL Y DIAGNOSTICO JURIDICO INSTITUCIONAL

8.1 MARCO LEGAL

A continuación se presenta un resumen del marco legal existente para el recurso hídrico en Colombia (aguas no marítimas).

Estos aspectos se tratan en mayor profundidad en el Apéndice 1 del Anexo J.

8.1.1 Normas básicas

Las normas básicas que rigen el aprovechamiento del recurso hídrico en el país son las siguientes:

1. Ley 23 de 1973 Facultades Extraordinarias
2. Decreto 2811 de 1974 Código Nacional de Recursos Naturales renovables y de protección del medio ambiente (Parte III Aguas no marítimas)
3. Decreto 1541 de 1978 Reglamentario del Código
4. Decreto 1415 de 1978 Coordinación Inderena-Minsalud.
5. Ley 09 de 1979 Código Sanitario Nacional
6. Decretos 2420 y 3120 de 1968 Sector Agropecuario-Inderena
7. Decreto 132 de 1976 HIMAT
8. Decreto 133 de 1976 -Ley 2 de 1978 Inderena-Minagricultura.
9. Decreto 2857 de 1981 sobre cuencas hidrográficas

8.1.2 Funciones de las entidades del sector (Art. 277 D.1.541/74)

Las dos grandes funciones legales en el sector se concretan en: La administración de las aguas y el control de su calidad. La Administración, conservación y manejo, son funciones de competencia del Inderena (Art. 37 D. 133/76) en todo el territorio nacional, salvo en los casos en que la misma ley otorga la responsabilidad de estas tareas a las Corporaciones autónomas regionales, al Himat en los distritos de riego, o a la Dirección general marítima y portuaria. El control de la calidad es competencia del Ministerio de Salud (Código Sanitario, ley 9 de 1979), entidad que puede delegar la ejecución en el Inderena o en las Corporaciones.

Son funciones complementarias de las ya mencionadas: el inventario del recurso hídrico (HIMAT- Ingeominas), la representación cartográfica (Ingeominas, HIMAT, IGAC), investigación en aguas superficiales (HIMAT) y en aguas subterráneas (Ingeominas), el control de la contaminación en proyectos mineros (Ministerio de Minas y Energía), uso en navegación y flotación (Dirección General Marítima y Portuaria).

8.1.3 Planeación y Cordinación Institucional.

1. Planeación. (Decreto 2857 de 1931)

La principal referencia legal a la planeación del sector es el decreto citado en el título sobre ordenación de cuencas hidrográficas. Se prevé la cuenca hidrográfica como la unidad territorial para planear en forma integrada los diversos usos del agua, en interdependencia con los demás recursos naturales de la cuenca. Las políticas y criterios generales que rigen la ordenación de

una cuenca, surgen del Ministerio de Agricultura, requieren concepto previo de Planeación Nacional e intervención del CONPES. El proceso comienza con la declaratoria de una cuenca en ordenación, a iniciativa del INDERENA o de la Corporación Regional Competente, y prosigue con la elaboración del Plan mediante la metodología señalada en el mismo decreto. Las normas del Plan se aplican por encima de las disposiciones de carácter administrativo anteriores y que se opongan a lo dispuesto en el mismo.

2. Coordinación Institucional

La Comisión Nacional de Aguas (Arts. 280 a 283 D. 1541 de 1978), es la instancia señalada por la ley para pronunciarse a nivel nacional en torno a los siguientes aspectos: definición de prioridades sobre usos, cuando dos o más entidades pretendan utilizaciones que puedan llegar a ser excluyentes; reparto de actividades entre las diversas entidades que trabajen en una cuenca hidrográfica. Integran la Comisión, cuya secretaría técnica es el INDERENA: el DNP. quien la preside, Minagricultura, Minsalud, Mindefensa, Minenergía, Minobras y las entidades que se inviten ocasionalmente.

La Comisión conjunta de Asuntos Ambientales (D. 1415 de 1978) tiene a su cargo principalmente la coordinación del Ministerio de Salud y del Inderena en todas las tareas relacionadas con el control sanitario.

a) Concesiones (Art. 36 y 55 D. 1541/78).

Toda persona natural o jurídica, pública o privada, requiere concesión para aprovechar las aguas con cualquier fin. Las concesiones las otorga el Inderena o las Corporaciones, mediante Resolución por términos máximos de 10 años, o hasta 50 años si tiene por objeto la prestación de un servicio público. Para su otorgamiento se consideran la disponibilidad del recurso y el orden de prioridades de uso señalado para cada región, necesidades económicas, régimen de lluvias, necesidad de reservas, medio ambiente, etc., todo de acuerdo con el artículo 41 del Decreto 1541 de 1978. Existen concesiones especiales, tales como: las de acueductos, para uso agrícola, para uso industrial, para uso energético, minero, petrolero y flotación de maderas. Así mismo se debe pedir concesión para el aprovechamiento de aguas subterráneas.

b) Reglamentaciones generales de corrientes o depósitos de aguas.

Los artículos 107 y siguientes del Decreto 1541 de 1974 regulan las reglamentaciones que con carácter general, pueden dictar el Inderena o las Corporaciones, de oficio o a solicitud de parte, con el ánimo de repartir el caudal de una corriente o las aguas de un depósito de aguas públicas. Todas las concesiones individuales que se hubieren establecido antes sobre la misma fuente se sujetan a las normas de la reglamentación que viene entonces a primar sobre aquellas.

c) Otras facultades para administrar.

Además de los instrumentos citados, el Inderena y las Corporaciones pueden ejercer las siguientes facultades: Declarar reservas o sea prohibir o limitar los usos

de una corriente con fines de servicio público o previsión para el futuro; constituir servidumbres o adelantar procesos de expropiación; aprobar o aplazar o condicionar la realización de obras hidráulicas; otorgar permisos para extraer materiales de arrastre de los cauces o lechos de las corrientes o depósitos y aprobar la ocupación de los mismos con la construcción de obras. Estas facultades se hallan debidamente reglamentadas en el Decreto 1541 de 1978, que finalmente en su título XI, consagra todo lo relativo a las prohibiciones, sanciones, control y vigilancia de la utilización de las aguas.

d) El control de la calidad.

El Artículo 7 de la Ley 9 de 1979 o Código sanitario dice: "Todo usuario de las aguas deberá cumplir, además de las disposiciones que establece la autoridad encargada de administrar los recursos naturales, las especiales que establece el Ministerio de Salud".

El Ministerio ejecuta sus funciones sanitarias en materia de agua mediante delegaciones a las corporaciones o al Inderena, quienes para ejercerlas cuentan, en los artículos 205 y siguientes del Decreto 1541 de 1978, con la atribución de expedir los llamados permisos de vertimientos y las reglamentaciones generales de vertimientos.

Por último, bajo la dirección del Ministerio de Salud funciona todo lo relacionado con la potabilización del agua, su conducción y sistemas de almacenamiento, así como la construcción y funcionamiento de los acueductos del país. En estas materias la disposición legal más importante es el Código Sanitario ya mencionado.

8.2 DIAGNOSTICO JURIDICO-INSTITUCIONAL

El Anexo J presenta un diagnóstico de los problemas institucionales más importantes del sector y se sugieren posibles medidas tendientes a superarlos. El mencionado Anexo analiza en detalle cada uno de los siguientes aspectos:

1. Marco institucional para el manejo del recurso
2. La planeación en el sector hídrico
3. La administración de las aguas
4. El Inderena
5. El Himat
6. Las Corporaciones Regionales de Desarrollo
7. Ingeominas y las aguas subterráneas

Se incluye también en dicho Anexo una síntesis del marco legal del recurso hídrico en Colombia.

A continuación se resumen los resultados y conclusiones obtenidos en el transcurso de la Primera Fase del Estudio.

8.2.1 MARCO INSTITUCIONAL DE MANEJO DEL RECURSO

En la organización vigente los tres principales centros de dirección del sistema son: el Ministerio de Agricultura y sus entidades adscritas (Inderena e Himat), el Ministerio de Salud y sus establecimientos públicos (Instituto Nacional de Salud, INS, y el Insfopal) y el Departamento Nacional de Planeación a quien en 1976 se adscribieron las Corporaciones Autónomas Regionales. Al lado de estas entidades se relacionan con el sistema de manejo del recurso:

el Ministerio de Minas y Energía (Investigación Geológica Minera y Sector Hidroeléctrico), el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (Obras hidráulicas y transporte), la Dirección General Marítima y Portuaria (uso del agua en navegación y flotación) y las Empresas Públicas Municipales. La naturaleza del recurso y sus usos múltiples urgen adoptar una serie de definiciones sobre competencias institucionales y coordinación interinstitucional de las entidades del nivel nacional y territorial.

La asignación de competencias para administrar y manejar las aguas superficiales y subterráneas, no corresponde hoy a un marco jurídico conveniente. La situación es la siguiente: la administración, conservación y manejo de las aguas es competencia del Inderena en todo el territorio nacional salvo en los casos en los cuales esta función ha sido atribuida a las Corporaciones Regionales, al Himat o a la Dirección General Marítima y Portuaria.

La competencia de las Corporaciones Regionales corresponde a las funciones que les fueron atribuidas por las leyes que las crearon. Así, algunas de ellas tienen plena competencia en materia de administración del recurso en el área de su jurisdicción, otras requieren delegación del Inderena y en otros casos, en algunos de los más recientes, a pesar de tener plenas capacidades legales en materia de recursos naturales y medio ambiente, todavía no poseen la capacidad técnica y financiera para asumir sus funciones legales, por lo que existe la necesidad de delegación de las Corporaciones hacia el Inderena ¹/.

¹/ Vale la pena señalar que el DNP ha buscado, con muy buen juicio, que las Corporaciones no adquieran responsabilidades sino en la medida en que posean la capacidad para cumplirlas. De tal manera, para las últimas Corporaciones se ha establecido que éstas no adquirirán la responsabilidad de la administración de los recursos naturales sino 3 años después de creadas, tiempo que se considera prudencial para que obtengan la capacidad técnica y administrativa necesaria.

El Himat, en cuanto a labores estrictas de administración del recurso, concentra su actuación en los Distritos de Riego. No obstante, las funciones de este establecimiento son de vital importancia para el correcto desempeño de las entidades que directamente administran el recurso y para la elaboración del inventario de recursos hídricos del país, el cual es función legal de esta entidad con la colaboración del Instituto de Investigaciones Geológico-Mineras.

La competencia sobre control de calidad de las aguas corresponde al Ministerio de Salud. Es importante anotar que el Ministerio tiene autorización para delegar en otras entidades las funciones que le han sido asignadas. Estas entidades serían principalmente el Inderena y las Corporaciones Regionales. El problema institucional sobresaliente en control de calidad consiste en la necesidad de articular dos competencias complementarias: la administración de las aguas y el control de su calidad. En otras palabras, se trataría de coordinar la acción del Ministerio de Salud con la del Inderena y las Corporaciones. Dentro del propósito de coordinación expuesto se creó la Comisión Conjunta para Asuntos Ambientales en la que participan el Ministerio de Salud y el Inderena. Debería integrarse a esta Comisión a las Corporaciones Regionales, bien directamente ó a través del Departamento Nacional de Planeación. Otro tanto debe hacerse con el Himat.

El Ministerio de Salud tiene la rectoría de los acueductos y alcantarillados en el país. La organización de este subsector de acueductos y alcantarillados es una muestra bien representativa de como son los problemas de coordinación entre la dimensión territorial y la organización sectorial nacional. El Insfopal se desempeña como organismo asesor y financiero en las áreas urbanas para atender poblaciones mayores de 2500 habitantes. Para ello cuenta con una red

de ejecución la cual, salvo 4 direcciones seccionales, pertenece a las órbitas departamentales y municipales. Paralelamente, en 35 municipios entre los cuales se incluyen Bogotá, Medellín, Cali y ciudades intermedias, los acueductos dependen de Empresas Municipales sin relación directa con el Insfopal. Así ocurre también en 161 municipios donde es el mismo municipio, sin la coordinación de Empresas, el encargado del sistema de Acueducto y Alcantarillado. En las áreas rurales y poblaciones menores de 2500 habitantes los planes de acueducto y alcantarillado están a cargo del Instituto Nacional de Salud (INS) en 15 departamentos y de los Servicios Seccionales de Salud del Ministerio en 7 departamentos. Finalmente, también hacen acueductos y alcantarillados en el área rural las Corporaciones Regionales y otras entidades como el Fondo de Acueducto y Alcantarillado de Cundinamarca, Comités de Cafeteros, Asociaciones Departamentales, etc.

La Comisión Nacional de Aguas fue creada mediante la ley 23 de 1973 para coordinar las acciones de las entidades que están involucradas en el manejo del recurso. Dicha Comisión está integrada así: El DNP y los Ministerios de Agricultura, Salud, Defensa Nacional, Minas y Energía, Obras Públicas y Transporte. La comisión debe presidirla y coordinarla el DNP, a u n c u a n d o el Indereña está a cargo de la Secretaría Técnica. Puede solicitarse la colaboración en las reuniones siempre que no intervengan como usuarios a las siguientes entidades: Himat, Ingeominas, Corporaciones Regionales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Dirección General Marítima y Portuaria, Insfopal, INS y el ICEL. La Comisión se reúne a petición de alguno de sus integrantes para emitir dos clases de

conceptos:

a) Definición de la prioridad nacional cuando dos o más entidades proyectan destinar el recurso a usos que son o pueden llegar a ser incompatibles o excluyentes.

b) Recomendar las actividades que debe desarrollar cada entidad involucrada en la ordenación de una cuenca hidrográfica.

La realidad indica que la Comisión Nacional de Aguas no se ha reunido quizá porque no sea el mecanismo indicado de coordinación del sector, por sus funciones limitadas o por dificultades de organización de su secretaría técnica. Sin embargo, debe pensarse en el diseño de un mecanismo de planeación y coordinación nacional del sector agua, o al menos un sistema que permitiera estudiar globalmente el sector para presentar políticas y programas integrados a la consideración del Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES). Deberán integrarse a este mecanismo, a las Corporaciones Regionales y al Himat.

La ordenación de cuencas hidrográficas se presenta como un instrumento realmente importante para la administración del recurso puesto que a las entidades administradoras de la cuenca, que son las Corporaciones Regionales o el Inderena según el caso, se les asigna la función legal de identificar y coordinar la acción de las entidades públicas que actúan en la cuenca.

8.2.2 LA PLANEACION EN EL SECTOR HIDRICO

El primer problema identificado se refiere a las incoherencias del marco institucional. Resulta evidente que la ausencia de un marco institucional claro presenta graves obstáculos a la función de planear. El análisis realizado del marco institucional reveló que es necesario avanzar en la clasificación de las competencias y especialización de las entidades del nivel nacional por un lado y, la coordinación de la acción de éstas con las entidades de los niveles regional, departamental y municipal.

A nivel nacional, una mayor coordinación entre las funciones encomendadas al Inderena y al Himat puede suponer un más claro deslinde de lo que debe hacer cada organismo para evitar duplicidades o superposición de competencias.

En las Corporaciones Regionales se cuenta con un valioso instrumento como es un establecimiento público del orden regional. Aunque este nivel, jurídicamente no está suficientemente definido en nuestro ordenamiento, no debe perderse de vista su objetivo originario, cual es la superación de los límites departamentales para planear con base en la Unidad Regional. Evidentemente no es conveniente la tendencia legislativa reciente a desvirtuar el marco jurídico de las Corporaciones Regionales, su departamentalización y, por ende, el mayor influjo a su politización. Quizás un instituto orgánico de las Corporaciones Regionales, que reconociendo las diferencias de las regiones, resalte una estructura común podría constituir un avance en la racionalización del marco institucional para la planeación.

La reorganización de la administración de los acueductos debe superar la falta de coordinación de las entidades que hoy intervienen en este campo, lo cual está impidiendo la planificación adecuada de las necesidades de inversión y la centralización de la información indispensable para aquella.

La distribución de las competencias territoriales entre el Inderena y las Corporaciones Regionales es un problema central en la definición de las entidades ejecutoras de las políticas de aguas.

Por último, las relaciones entre Ingeominas por un lado y las Corporaciones, Himat e Inderena, es vital para evitar la pérdida de la información sobre aguas subterráneas.

Otro problema que afecta de manera notable el proceso de planeamiento del sector, se encuentra en la falta de información suficiente y confiable en la mayoría de las entidades del sector. En parte, la carencia de información es debida precisamente a la multiplicidad de entidades que, sin una coordinación global, participan en el manejo del recurso. Este aspecto se profundiza en los estudios realizados para el diseño del sistema de información.

Otro de los principales obstáculos a la labor de planeamiento se encuentra en la falta de certeza de los recursos con que se cuenta para financiación de los programas. Tal falta de certeza tiene diversos orígenes tales como los recortes presupuestales, el trámite del presupuesto en los Ministerios que en ocasiones no permite un estudio adecuado y profundo de los requeridos por las entidades adscritas, las fallas en el cálculo y el recaudo de otras fuentes de ingresos como valorizaciones, tasas compensatorias o retributivas por la prestación de servicios de

administración, control y vigilancia del recurso hídrico, ejecución de obras, etc.

8.2.3 LA ADMINISTRACION DE LAS AGUAS

El problema de la administración de las aguas, en su aspecto de asignación de un caudal determinado a los diversos usos, dentro de las propiedades señaladas por la ley o las orientaciones del desarrollo económico, se maneja en forma adecuada mediante instrumentos legales que, si bien son suceptibles de un mayor desarrollo, en realidad fueron debidamente normados en el Código de Recursos Naturales, Decreto Ley 2811 de 1974 y su Decreto Reglamentario, el 1541 de 1978. Estos instrumentos son: las Concesiones, las Reglamentaciones de Aguas, los permisos para la explotación de playas, cauces y lechos, las declaraciones de reservas y agotamiento, los permisos para explotación de aguas subterráneas y la aprobación de planos y obras hidráulicas.

Con respecto al sistema de concesiones y a las reglamentaciones de corrientes se considera importante mantener un sistema apropiado para el seguimiento y control de las condiciones reglamentarias. La necesidad de este sistema de seguimiento es quizá más evidente si se aprecia que concesiones y reglamentaciones son susceptibles de revisiones o variaciones cuando hayan cambiado las condiciones o circunstancias de cualquier índole que se tuvieron en cuenta para efectuarlas.

8.2.4 INDERENA

Un estudio de las funciones encomendadas al Inderena desde su creación revela a primera vista que son de tal multipli- ci- dad y magnitud que superan en la práctica la capacidad de ejecución de la entidad, más si se considera la extensión de su competencia territorial. El Inderena se apoya en 23 regionales que obedecen hoy, en forma predominante, a los límites de los departamentos y áreas no cubiertas por las Corporaciones. El gran número de territorios que deben cubrirse ya permite ver lo que significa la amplitud del trabajo del Inderena. Así, se cuenta con la posibilidad de delegación a otras entidades, tal delegación puede que darse en teoría, si no existen en los territorios de las regiones las entidades con la capacidad administrativa, técnica y financiera en administración de aguas para cumplir correctamente con las funciones delegadas. El mismo hecho del carácter de establecimiento público nacional se constituye a veces en una dificultad para la actuación del organismo en los ámbitos jurídicos y políticos de los departamentos. Por esta razón, la regionalización con base en la unidad geográfica departamental parece no ser el cri- terio más conveniente.

La planeación en el Inderena afronta los problemas más generales anotados en la sección correspondiente, pero además, debe enfrentarse a una ardua labor de determinación de prioridades por las múltiples funciones y una evi- dente limitación de los recursos financieros debido a la propensión a los recortes presupuestales y al cobro ineficiente de las tasas y contribuciones a que está autorizado por la ley. Un mecanismo que ha dado muy buenos resultados para lograr tales recaudos y que se ha aplicado en otras entidades, sería la exigencia de Paz y Salvo del

Inderena para trámites de créditos de fomento.

La tramitación de concesiones por parte del Inderena no resulta tan amplia como se desearía en relación con el universo. Sin embargo, debe entenderse que sobre dichos resultados están gravitando las limitaciones presupuestales y estructurales reseñadas anteriormente.

8.2.5 HIMAT

El HIMAT fué creado a principios de 1976 con dos responsabilidades básicas: asumir las funciones que hasta esa fecha había tenido el Incora en Adecuación de Tierras y participar junto con otras entidades del sector en la elaboración del inventario de recursos hídricos del país, elaborar su representación cartográfica y realizar tareas de investigación en todo lo referente a las aguas superficiales.

Tal y como se mencionó en el capítulo sobre el sistema de información, este Instituto posee un buen sistema de recolección y archivo de datos para todo lo referente a las aguas superficiales, aunque el procesamiento de los mismos tiene un retraso motivado por el montaje del nuevo sistema, el cual anda en camino de ser solventado y el cubrimiento de la red actual de estaciones hidrometeorológicas aún tiene notorios vacíos.

En el campo de la adecuación de tierras, las acciones del Instituto no han sido tan importantes y por el contrario, los distritos iniciados por el Incora no han sido terminados y la mayoría de ellos han venido sufriendo un serio deterioro.

Como explicación a esta situación, a más de las razones de tipo presupuestal, debe señalarse que ha habido deficiencias de tipo administrativo en el manejo de los distritos, reflejados en buena medida en un cobro deficiente de las tarifas por uso del agua. Igualmente, la recuperación de las inversiones efectuadas por el Incora ha sido lenta, entre otras razones por el diseño mismo de los cobros, que favorece las apelaciones de las resoluciones de cobros.

Ultimamente el HIMAT ha venido recibiendo un decidido apoyo estatal, expresado en el incremento de su presupuesto, y posee una serie de planes importantes, entre otros: las fases I y II de rehabilitación y complementación de distritos y la construcción de cuatro nuevos proyectos de adecuación de tierras.

La proyección del Instituto requiere sin embargo, el que éste entre a tomar en cuenta en sus tareas de planeamiento la adecuación de tierras efectuada directamente por el sector privado, constituya en coordinación con el Inderena una buena base de información y se entren a estudiar la situación de tarifas, costos y posibles medidas encaminadas, de una parte, a incentivar este tipo de inversiones, y de otra, a ejercer una adecuada administración y control, para lo cual será indispensable definir en forma precisa las funciones que ejercerá cada entidad.

En el diagnóstico del sector, en el aparte relativo

a adecuación de tierras, se tratan con algún nivel de detalle otros aspectos relativos al HIMAT.

8.2.6

CORPORACIONES REGIONALES DE DESARROLLO

El nacimiento y la evolución de las distintas Corporaciones Regionales es muy diverso. Inicialmente parece haber primado el criterio del manejo de las cuencas hidrográficas para su creación y delimitación del área de jurisdicción. Con posterioridad, la solución de problemas inmediatos o las presiones políticas han determinado la desviación de dicho criterio. Esta es una de las causas de que su experiencia en el manejo de cuencas y aguas sea tan dispar, y sus funciones y ejecuciones actuales tan disímiles. La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca es la que mayor experiencia posee en lo que respecta al manejo de cuencas hidrográficas, programa que inició desde 1969 y que se constituyó en pieza fundamental de la acción de la Corporación en el campo de los recursos naturales renovables. Por ello, y por sus considerables experiencias y éxitos en otros aspectos, los consultores consideraron conveniente realizar un estudio más pormenorizado de su caso, cuyos resultados se encuentran consignados en el Anexo J. A pesar de ello, hoy en día 7 de ellas -CVC, CAR, CVS, CDMB, CRQ, CODECHOCO y CORPOURABA- tienen distintos grados de experiencia en el manejo de cuencas y la mayoría de las restantes están iniciando programas al respecto, obteniendo en algunos casos resultados altamente satisfactorios.

Vale la pena señalar que en las Corporaciones Regionales, a diferencia de lo que sucede en INDERENA, existe la concepción no sólo de la conservación de recursos naturales, sino también de su aprovechamiento racional para el desarrollo de las regiones bajo su jurisdicción. Tendencia que aparece dado el carácter de organismos de desarrollo económico y social de estas entidades.

Igualmente, es importante tener en cuenta que la División de Corporaciones Regionales del DNP ha venido intentando que no se otorgue a las Corporaciones la responsabilidad del manejo de los recursos naturales hasta tanto no tengan la capacidad técnica y organizativa para efectuarlo. Para que la experiencia que en dicho manejo, o en aspectos específicos de éste, adquirida por las Corporaciones mas desarrolladas, se transmita y utilice en la mejor forma posible por las demás, la citada división del DNP ha puesto en marcha un "Comité Interinstitucional de Recursos Naturales Renovables" al cual deben asistir, además de los funcionarios del DNP, los jefes de la División de Recursos Naturales de cada Corporación. Recientemente, y por iniciativa propia, se ha vinculado el INDERENA a este Comité. Se aspira, y hasta el momento se ha conseguido, que las reuniones del Comité traten siempre aspectos muy concretos de las experiencias mas avanzadas de cada Corporación para que sean fructíferas y que ellas presten asesoría técnica a las mas atrasadas que tengan que enfrentarse a problemas similares.

En lo que respecta específicamente al manejo de las aguas tienen considerable experiencia en: a) administración de las aguas la CVC y la CAR; b) optimización de recursos

- hídricos la CVC; c) aguas subterráneas, CVC y CAR;
- d) Control de contaminación, CVC, CAR, CRQ, CDMB ¹/;
- e) Operación y mantenimiento de distritos de riego y embalses, CAR y de obras de adecuación de tierras, CVC;
- f) Control de inundaciones CVC, CAR, CRQ, CRAMSA.

En el control de la erosión han adquirido importante capacidad técnica y operativa la CDMB y CRAMSA. Programas de reforestación están ejecutando prácticamente todas las Corporaciones.

La diferente forma en que se han creado y desarrollado las Corporaciones Regionales, las diferencias en desarrollo económico de las regiones bajo su jurisdicción, la diversidad

¹/ "Solo CVC, CAR, CRQ y CDMB han demostrado poseer la capacidad técnica y operativa suficiente para garantizar, dentro de su área de jurisdicción, un adecuado control de los vertimientos de aguas residuales y en general de la contaminación hídrica". DNP. Las Corporaciones Regionales de Desarrollo y el Manejo de las Aguas. Bogotá. Octubre 1981. p. 24.

"La CVC ha sido entidad piloto en materia de control de la contaminación de los recursos hídricos no sólo en el interior del país sino en el área de Latinoamérica". Ibid. p. 13

de actividades en que están concentrando sus esfuerzos han llevado a grandes diferencias en la cuantía y proveniencia de los ingresos con que cuentan cada una de ellas. En forma global las fuentes de ingresos más típicos son:

- a) Recursos propios como sobretasa al impuesto predial, tarifa por venta de servicios, tasas por permisos de aprovechamiento forestal, cobros de valorización.
- b) Recursos de presupuesto nacional.
- c) Recursos de crédito.
- d) Recursos de cooperación técnica internacional.

Entre 1970 y 1978 el 82% correspondió a rentas propias y para 1978-1982 esta proporción disminuyó al 78.5%. De todos los ingresos recibidos por las Corporaciones entre 1978 y 1982, la CVC y la CAR recibieron el 88.9% del total y el 82.8% para el período 1978-1982. Las fuentes de recursos propios son diferentes. Así, por ejemplo, mientras la principal fuente para CVC es la venta de energía, para la CAR es la sobretasa al impuesto predial. Parece lógico que las Corporaciones ubicadas en regiones más pobres donde no existan fuentes importantes de ingresos, tengan una mayor limitación en sus posibilidades de acción y deban depender del gobierno nacional. Sin embargo, esto último crea graves problemas no solo por las dificultades de planear programas a mediano y largo plazo debido a la incertidumbre sobre el futuro de los ingresos de que dispondrían, sino también porque ha contribuido a crear la nociva tendencia a que se ejerzan presiones políticas para

crear Corporaciones con el único fin de allegar más recursos para algunos departamentos o regiones, abandonando el criterio de manejo integral de cuencas para delimitar las áreas de jurisdicción. En cambio, las Corporaciones más exitosas como la CVC y la CAR cuentan con recursos propios que le permiten emprender con seguridad costosos e importantes programas. El criterio de que exista la posibilidad de allegar recursos con base en el desarrollo económico de la región para que zonas más ricas colaboren al desarrollo de otras más pobres parece fundamental para ser tenido en cuenta al delimitar el área de jurisdicción de cada Corporación. Merece estudiarse detalladamente la particularísima experiencia de la CVC de manejar la producción y venta de energía eléctrica en su área de jurisdicción no para de manera simplista tratar de asignar dicha función a otras Corporaciones sino para buscar soluciones institucionales adecuadas que permitan que el sector eléctrico colabore con la financiación de la preservación y el manejo del recurso hídrico utilizado para la generación de energía hidroeléctrica.

Así mismo, debe revisarse la experiencia obtenida por la CVC en la realización de proyectos de propósito múltiple como el de Salvajina. Algunas de las Corporaciones poseen mayor capacidad de planificación y de coordinación de instituciones y entidades a nivel regional que muchas entidades nacionales y cuentan con la ventaja de que dicha planificación y coordinación la ejercen directamente en el terreno con base en una metodología realista y participativa que permite superar diversos escollos. La organización de sistemas de información en cada Corporación es de vital importancia. Si fuera del conocimiento directo de la región

no se cuenta con la información fundamental es imposible hablar de una planeación seria y rigurosa.

Dentro del estudio realizado sobre la CVC se encontraron algunas razones que a juicio de los Consultores han permitido su éxito. Entre ellas: la financiación con recursos propios, la definición de su jurisdicción con base en la unidad definida por la cuenca y el carácter eminentemente técnico de la entidad.

8.2.7 INGEOMINAS Y LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Teóricamente las funciones de las instituciones están delimitadas: La División de Hidrogeología de INGEOMINAS se encarga de la exploración de aguas en todo el país (Decreto No. 441 de 1968); el INDERENA se encarga de la reglamentación del uso, aprovechamiento y expedición de licencias para el otorgamiento de concesiones de agua (Decreto Ley 2420 de 1968, Decreto Ley 2811 de 1974 y Decreto No. 1541 de 1978) las Corporaciones Regionales por delegación del INDERENA pueden encargarse del manejo del agua subterránea en el área de su jurisdicción, como CVC por los Decretos No. 1707 de 1960, Decreto Ley 3120 de 1968, Ley 2 de 1978, y el Acuerdo No. 20 de 1979; y la CAR por la Ley 3 de 1961, la Ley 2 de 1978, y el Acuerdo No. 26 de 1979; el INSFOPAL se encarga de la provisión de agua potable para las ciudades intermedias y el INS (Saneamiento Básico Rural) se encarga de la provisión de agua potable para las poblaciones menores de 2.500 habitantes; el EJERCITO NACIONAL colabora en esta última labor, sobre todo en áreas de orden público; PROAGUAS, dependencia del BANCO DE LA REPUBLICA provee de aguas a

la población indígena de la Baja y Media Guajira; el sector privado de perforadores de pozos construye pozos de producción para la agricultura, para la industria, para acueductos, y ocasionalmente perfora pozos exploratorios; el sector privado consultor realiza investigaciones hidrogeológicas locales e interventorías para el hacendado, para la industria o para el gobierno.

Sin embargo, en la realidad las cosas funcionan diferentemente. Como el INGEOMINAS no posee la capacidad operacional ni financiera para adelantar programas ambiciosos de exploración, entidades como el INSFOPAL o INS han desarrollado costosos y poco fructíferos programas de exploración, sin contar con la capacidad técnica necesaria. En ciertos momentos el INSFOPAL ha tratado de desarrollar esta capacidad contratando personal y adquiriendo equipo de perforación o de investigación geofísica, pero los continuos cambios de planes, reajustes institucionales y los frecuentes cambios burocráticos hacen estéril buena parte de la labor. El INS, incluso tiene nueve taladros, a los cuales no se les da el mantenimiento adecuado. Algunos de ellos han permanecido abandonados por largos períodos de tiempo (uno de ellos en Barú por más de cinco años, otro por más de dos años en Puerto Infrida para poner dos ejemplos), y a pesar del descuido y prematuro deterioro de los actuales taladros, proyecta importar nuevos equipos. Se dice que un gran porcentaje de los pozos perforados por el INS resulta seco por falta de estudios hidrogeológicos previos y por deficiencias técnicas de diseño. Por otro lado, el INGEOMINAS no se limita a hacer exploración, sino que termina pozos exploratorios

como pozos de producción, con el argumento que no se pueden desperdiciar los pozos de exploración siendo un país pobre y que además las compañías privadas aún no están en capacidad de perforar pozos grandes. Varias entidades públicas y el sector privado se quejan sobre la dificultad que tienen para consultar la información hidrogeológica que almacena INGEOMINAS, quien por ley debe estudiar el recurso, pero no solo para su propio uso sino para el uso de toda la comunidad. Las publicaciones que hace el INGEOMINAS después de terminar un estudio, lamentablemente se demoran varios años en llegar al público. A su vez los perforadores particulares sostienen que el estado les hace una competencia desleal, empleando taladros adquiridos con dineros estatales y pagando nóminas del presupuesto para construir pozos que ellos podrían perforar mas eficientemente a precios competitivos, para verdaderamente solucionar los problemas de provisión de aguas en muchas poblaciones. También sostienen que tienen alrededor de 60 equipos con capacidades entre 150 y 800 m de profundidad, y experiencia en construcción de pozos en terrenos de todo tipo. Actualmente sufren una aguda recesión. Hay también por otro lado quejas de los propietarios de pozos en el sentido de perforaciones fallidas por estudios hidrogeológicos particulares mal hechos. En nuestra opinión se está abusando de la geoelectrica, que no pasa de ser una excelente herramienta auxiliar de exploración para ciertos problemas pero que en ningún caso puede sustituir a una buena investigación hidrogeológica profesional y ética, con todo lo que esto implica. El EJERCITO tampoco se salva de criticas constructivas en cuanto a su papel en el campo del agua subterránea colombiana. INDERENA, por su parte, da permisos para utilización de aguas subterráneas en el área de su jurisdicción.

al tenor del Código de Recursos Naturales, sin contar con la capacidad técnica, ni pedir concepto previo al INGEOMINAS. Los niveles del agua subterránea en el área de la Sabana de Bogotá están descendiendo en varias zonas con los perjuicios consiguientes para toda la comunidad. Pero la CAR no puede decir ni hacer nada en este momento ante el delicado problema pues no posee la información básica necesaria; la poca que tiene está desactualizada y no tiene el personal necesario para controlar el recurso. (La CAR tiene un solo ingeniero a cargo de toda la problemática del agua subterránea). En el Valle del Cauca también se ha detectado un descenso de niveles en algunas áreas, pero en este caso la CVC está estudiando en este momento el problema para tomar medidas correctivas. En uno de los mejores acuíferos del país, el que subyace el valle del río Manzanares y la ciudad de Santa Marta, por sobrebombeo y descuido de ACUAMARTA, la cuña de agua salada ha penetrado tierra adentro, habiendo salido fuera de servicio los pozos del acueducto Santa Rita y Pericos y también los dos pozos del Batallón Córdoba. También hay fundados temores sobre la contaminación bacteriana de aguas subterráneas en muchas zonas pobladas del país.

Internamente en algunas entidades el panorama es mejor. Ya se mencionó a la CVC y sobre ella hay un capítulo especial en el estudio del ENA. Solo bastaría agregar, que con un personal reducido pero eficiente (dos hidrogeólogos, dos ingenieros agrónomos, siete empleados técnico-administrativos y tres perforadores) están manejando el recurso en una forma bastante aceptable.

El INGEOMINAS diseñó en 1979 un Plan Nacional de Aguas Subterráneas, en el cual proponían estrategias para estudiar en veinte años las aguas subterráneas del país. En este Plan esbozaba la metodología para lograrlo, las necesidades de personal, y la capacitación del mismo, el equipo y las necesidades presupuestarias. Sin embargo este plan no se ha podido poner en práctica por falta de concertación interinstitucional, por problemas de presupuesto, y por carencia de apoyo en el mismo INGEOMINAS y en el DNP. Hoy en el INGEOMINAS existen las mismas carencias de presupuesto, personal y equipos que se mencionaban hace cuatro años, y es tan absurda la situación, que este Instituto, encargado de la exploración del recurso en todo el país, posee menos de la mitad de los taladros que el INS. La suerte corrida por el Plan ha frustrado la posibilidad de planeamiento de la exploración, planeamiento que actualmente no se está realizando. La División de Hidrogeología está adscrita a la regional de Bogotá lo cual recorta sus posibilidades de acción y programación de actividades a nivel nacional. Siendo la Costa Atlántica donde de tiempo atrás se identificó la mayor carencia de aguas, esta División tiene concentrado su personal en Bogotá, cuando la única forma real de desarrollar el recurso es que el personal capacitado vive en las propias zonas de trabajo. Ya se ha probado que el estudio hidrogeológico serio de una cualquiera de las zonas del país es una labor de muchos años, razón por la cual no puede seguirse investigando a control remoto o con costosos viajes y viáticos permanentes de los funcionarios. Se ha señalado que el presupuesto de la División es el más alto del INGEOMINAS, (\$ 87

millones en 1983), pero en la actualidad prácticamente todo el personal de la División está asignando a un solo proyecto (Atlántico-Bolívar), zona a la cual el DNP asignó prioridad, para consumo humano, sobre un área de 6.000 km².

En el caso del INGEOMINAS parecen inaplazables medidas como la iniciación del Banco de Datos Hidrogeológicos; la centralización efectiva y exclusiva en sus manos de la función exploratoria que implica entregarle todos los taladros que poseen actualmente otras entidades u organismos oficiales y dotarlo de la capacidad técnica, operativa y financiera requerida para poder adelantar sus programas; otorgarle a la División de Hidrogeología la importancia y alcance que merece, al mismo tiempo que descentralizarla para dotar a las zonas prioritarias en exploración del recurso de personal capacitado residente en las áreas. De igual manera, en la CAR es de vital importancia que organice y sistematice su información y que se establezca una sección de aguas subterráneas con suficiente personal. En este caso como en otros, la experiencia de la CVC, señalada en el aparte anterior, debe ser tenida en cuenta, ya que esta es la única entidad que tiene información completa y debidamente organizada sobre este recurso en su área de jurisdicción, lo que le permite una adecuada administración.

Por otra parte, se hace indispensable que las entidades que utilizan aguas subterráneas para consumo humano (INSFOPAL, INS, etc). otorguen importancia a las

divisiones encargadas del agua subterránea y den el mantenimiento adecuado a los pozos.

En todo caso, si se quiere lograr un adecuado conocimiento, conservación, manejo y uso de este recurso, parece fundamental tomar medidas que permitan resolver los problemas institucionales señalados. El sector privado y el sector público llegarán a desarrollar bien el agua subterránea cuando se comprende de parte y parte que es un recurso natural renovable vital para la nación que requiere del concurso de todos para su conservación y aprovechamiento.

8.2.8

CONCLUSIONES

El análisis realizado muestra una estructura institucional en lo referente al manejo y uso del recurso agua, muy deficiente en su organización y funcionamiento. En particular, no se han resuelto satisfactoriamente los grandes problemas de coordinación entre la dimensión territorial del manejo integrado del recurso y la dimensión nacional de la planeación de los sectores de la actividad económica que utilizan el agua. Así mismo, deja mucho que desear, la coordinación entre las distintas entidades a nivel nacional que llevan a cabo la planeación y coordinación de actividades en los sectores que manejan y utilizan el agua. Como consecuencia, un manejo integrado de las cuencas y una administración razonable del recurso agua (a través de la reglamentación de corrientes) se lleva a cabo apenas por excepción, dado que el INDERENA tiene en este campo atribuciones que sobrepasan

en mucho su capacidad real de planeación, ejecución y control y solamente algunas de las Corporaciones Regionales tienen los recursos, la organización y la jurisdicción apropiados para tal fin. Incluso dentro de un mismo uso del agua (agua potable por ejemplo) se encuentra una considerable dispersión y descoordinación institucional.

En vista de los anteriores problemas se ha considerado conveniente presentar unas conclusiones preliminares sobre el tipo de desarrollo institucional que se requiere y las áreas en que se debe profundizar para establecer una propuesta concreta a este respecto en la segunda fase del estudio. Las conclusiones se esbozan a continuación:

1. Las funciones de conservación y administración del recurso para su adecuada utilización con miras al desarrollo de las diversas regiones del país no parece conveniente separarlas ni posible manejarlos centralmente desde un instituto nacional. El manejo de los recursos naturales y del agua específicamente debehacerse en forma integral, incluyendo su conservación, administración y todos sus diversos usos tendientes a la solución de los problemas socioeconómicos de la región. Dicho manejo es más eficiente si se realiza por parte de organismos regionales de desarrollo. Sin embargo, para que estos organismos o Corporaciones Regionales cumplan exitosamente su labor es necesario que llenen algunos requisitos tales como tener acceso a recursos financieros, técnicos y administrativos propios y mantener el criterio de manejo integral de cuencas con base en los planes de ordenamiento de las mismas.

Parece ser que un sistema nacional de este estilo que cubra las principales cuencas del país y tome en cuenta los requisitos señalados puede ser una eficiente solución al desorden institucional existente en el sector. La coordinación de las distintas instituciones que tienen que participar en los programas parece poder realizarla en mejor forma un organismo regional, como la indica la experiencia de CVC.

2. Dentro de una nueva estructura de este estilo, se requiere evidentemente una instancia superior en el Inderena, Himat, Ministerio de Salud y DNP, para la determinación de una serie de políticas básicas (v.gr. conflictos entre cuencas en el manejo de las aguas), así como de aspectos normativos y de supervisión en todos los aspectos del manejo de recurso agua. A este propósito en la segunda fase, se examinarán las ventajas y desventajas de diversas opciones. Asimismo, se analizarán alternativas de coordinación a nivel nacional de las entidades que intervienen en el manejo y uso del recurso.

3. Para la coordinación del sector y la correcta transmisión de experiencias es necesario que en la Comisión Conjunta para Asuntos Ambientales se incluya, al lado del Minsalud e Inderena, a las distintas Corporaciones y al Himat, entidad que centralizará la información concerniente a calidad del agua.

4. En cuanto a aguas subterráneas se consideran como medidas básicas la centralización en Ingeominas de la función exploratoria y la organización del Banco de Datos Hidrogeológicos.
5. La buena coordinación de las entidades del orden nacional que en las regiones puede ser llevada a cabo por las Corporaciones, exige la clara delimitación de funciones, la creación de comités de trabajo y la colaboración en los programas.
6. En lo relativo al uso del agua para consumo humano es posible afirmar que la falta de claridad en su organigrama y la carencia de información confiable impiden una acción coordinada y una adecuada planificación del sector.

La implementación del sistema de información diseñado en la primera fase del estudio se considera que ayudará en este tipo de tareas. Sin embargo, se considera que es necesario tomar medidas institucionales que permitan organizar el sector en su conjunto, determinar prioridades en forma clara y diseñar un plan de acciones e inversiones para todo el territorio nacional.

7. En cuanto hace referencia a la administración del agua, parece vital extender la reglamentación de corrientes. Este mecanismo, más eficiente y racional que las concesiones, tiene muy bajo cubrimiento a nivel nacional. Si bien implica sin duda mayores gastos y mayor cantidad de personal, es una forma más avanzada y completa de administración. Adicionalmente, es posible autofinanciarla con base en el cobro de tasas y tarifas como lo muestra la experiencia de CVC.

8. En el control de calidad del agua, la experiencia revisada indica que es aconsejable la delegación de funciones por parte de Minsalud a las Corporaciones Regionales que posean capacidad técnica, financiera y administrativa.

CAPITULO 9

DIAGNOSTICO DEL SECTOR

9.1 CONSUMO HUMANO

El abastecimiento de agua potable para las comunidades urbanas y rurales del país es uno de los objetivos esenciales de cualquier esquema de planificación del recurso. Dentro del ENA se ha tomado como agua para uso humano el consumo relativo a las necesidades domésticas, residenciales y públicas.

A continuación se presenta un resumen del diagnóstico del estado de la dotación del servicio a nivel nacional, tanto para el sector urbano como para el área rural, en la segunda sección se profundiza en el análisis para los casos de Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla.

1. LA DOTACION DE AGUA POTABLE EN COLOMBIA

La dotación y distribución de agua potable corresponden al campo de saneamiento ambiental que en Colombia está comprendida en la acción del Ministerio de Salud como ente rector y planificador y el DNP como entidad coordinadora.

El Insfopal, como ente del orden nacional, controla y financia las acciones de las empresas de obras sanitarias o EMPOS, los cuales desarrollan el servicio en localidades mayores de 2500 habitantes. Existen aproximadamente 35 empresas públicas municipales en las principales

ciudades del país; hay además acueductos administrados directamente por el municipio y otros organizados en sistemas comunales. A nivel rural la dotación a la población dispersa y localidades con menos de 2500 habitantes está a cargo del Instituto Nacional de Salud ^{1/}.

Según el Estado Sanitario a nivel urbano para 1981 (ver Cuadro No. 9.1, elaborado por el DNP) las Empresas Públicas Municipales y el Insfopal tienen bajo su responsabilidad la dotación para unos 16 millones de habitantes, las coberturas oscilan entre el 73 y 84% de la agencia encargada.

Al examinar las coberturas a nivel de departamento (Cuadro No. 9.2) se observa que éstas son mayores en los departamentos del interior que en los de la Costa; los mayores cubrimientos están en la zona central, suroccidente y Viejo Caldas.

Entre las 33 ciudades mayores del país, las que enfrentan mayores restricciones ^{2/} son: Bucaramanga-Floridablanca, Bello, Tunja, Villavicencio, Cartagena, Tuluá, Buenaventura, Quibdó y Ríohacha.

El Estado Sanitario de 1981, para el área rural, cubre 2'660.000 habitantes del área rural nucleada y 6'360.000 del área rural dispersa. Los resultados se presentan en

^{1/} Se entiende como comunidad urbana los grupos superiores a 2500 habitantes, como rural nucleada hasta 2500 habitantes y como rural dispersa los grupos de menos de 50 habitantes.

^{2/} Definidas como aquellas con mas de 350 habitantes por 1/seg de capacidad.

el cuadro No. 9.3, en donde se destaca la gran diferencia de cobertura entre el área rural nucleada y el área rural dispersa.

Las coberturas de alcantarillado son inferiores a las de Acueducto, tanto en el sector urbano como en el rural. Finalmente, conviene señalar que en 1981 mas del 70% de los habitantes rurales con servicio de agua la consumen sin ningún tratamiento.

2. SITUACION EN LAS PRINCIPALES CIUDADES

Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla representaban en 1982 el 48% de la población urbana del país y el 31% del total ^{1/}. Los Cuadros 9.4, 9.5, 9.6 y 9.7 presentan en forma resumida las principales características de los servicios de acueducto para las 4 ciudades mencionadas.

En el caso de Bogotá el servicio que presta la Empresa de Acueducto y Alcantarillado cubre la ciudad y los municipios anexados de Suba, Soacha, Engativá y Fontibón y parcialmente Chía y Cajicá.

Para el año 2000 el área metropolitana de Bogotá contaría, según los estudios más recientes, con 7'000.000 de habitantes y el perímetro de servicio de la empresa abarcará los actuales municipios de Usme, Funza, Mosquera, Madrid, Cota, Chía y Cajicá.

Al contar con el proyecto Chingaza, en la primera etapa, la capacidad de abastecimiento se eleva a $26.5 \text{ m}^3/\text{seg}$ lo cual parece suficiente para colmar las necesidades hasta el año 2000. Bajo estas circunstancias la segunda etapa del proyecto Chingaza podría posponerse con respecto a lo inicialmente programado (1990).

Para el caso de Medellín, la capacidad de abastecimiento se ha revelado insuficiente a partir de 1977, por lo que se observan racionamientos periódicos. Actualmente está en

^{1/}

Las Cuatro ciudades tenían aproximadamente 8'450.000 habitantes.

ejecución un proyecto que permitirá satisfacer la demanda hasta 1988, año en el cual se prevee la entrada de la primera etapa de Riógrande. Aunque este proyecto está en etapa de factibilidad se han identificado caudales aprovechables para el acueducto entre 9.25 y 16 m³/seg, con lo cual se abastecerían las demandas hasta mas allá del año 2000. La demanda mas probable para esta fecha se estima entre 13 y 17 m³/seg.

En Cali la población por fuera del servicio se localiza principalmente en las zonas de invasión al oriente del río Cauca (distrito Aguablanca); se están desarrollando algunas ampliaciones con una producción media esperada de 0.8 m³/seg y se han iniciado los estudios de factibilidad para la ampliación de la red baja, con una capacidad prevista de 4 m³/seg. Para el año 2000 se estima una demanda, incluyendo Yumbo, del orden de los 13 m³/seg.

Las condiciones del servicio en Barranquilla son tales que un 30% de la población está por fuera del mismo y un 30% adicional sufre periódicos racionamientos.

Las deficiencias del sistema se traducen en un alto consumo de agua, 451 lhd, el cual se considera excesivo. Las EPM tienen como objetivo para el año 2000 cubrir el 95% de la población con buenas condiciones de presión y confiabilidad y un consumo de 350 lhd, incluidas las pérdidas. Para este año el consumo estimado estaría en aproximadamente 9.2 m³/seg.

9.2 SITUACION ACTUAL DEL SISTEMA DE ADECUACION DE TIERRAS

La adecuación de tierras tiene una larga historia en el país. Las mayores inversiones estatales se efectuaron en la década 1960-1970, en la cual el INCORA, entidad encargada simultáneamente de los programas de reforma agraria construyó 14 distritos de riego y drenaje. Posteriormente, el HIMAT fué encargado de la ejecución de este tipo de obras, separando así las labores de adecuación de tierras de la necesidad de efectuar programas de reforma agraria.

Los distritos iniciados por INCORA no fueron terminados, situación que agregada a una deficiente administración produjo, durante la década 1972-1982, un marcado deterioro de los mismos. Las inversiones estatales en este período disminuyeron notablemente y se concentraron fundamentalmente en las labores de operación y mantenimiento.

Las deficiencias en la infraestructura y la no terminación de los distritos han ocasionado la subutilización de parte de las obras comunes existentes. Las áreas actualmente en operación, para riego y drenaje, tanto público como privado, se consignaron en el Capítulo No.5 y en mayor detalle se presentan en el Anexo respectivo.

Esta situación originó el programa actual de rehabilitación y complementación que adelanta el HIMAT en 8 distritos, con financiación del Banco Mundial.

En términos de utilización debe destacarse el alto porcentaje de tierras dedicadas al cultivo del arroz, que dados los altos consumos, ha ocasionado serias restricciones en algunos distritos.

Este sesgo puede ser explicado por diversas circunstancias, entre ellas: problemas de mercado en algunos cultivos, los claros incrementos en los rendimientos obtenidos al utilizar riego en el arroz, la existencia de paquetes tecnológicos conocidos por los agricultores y las bajas tarifas del agua. Esta última circunstancia ha venido manifestándose en presupuestos insuficientes para la administración, operación y mantenimiento de los distritos y por supuesto, en un uso ineficiente del recurso. HIMAT ha diseñado un nuevo sistema de tarifas, con la premisa de que estas sean costeables y premien el uso racional del agua pero aún no ha sido puesto en práctica.

El actual plan de desarrollo plantea la necesidad de incrementar las inversiones en este tipo de obras y concretamente se proponen cinco proyectos nuevos: Valledupar, San Juan del Cesar, Nechí-San Jacinto^{1/}, Alto Chicamocha y el proyecto de regulación del río Cauca para drenaje y control de inundaciones. Adicionalmente, se incluye lo pertinente a los estudios de factibilidad y diseño para la Fase II de rehabilitación y complementación de los distritos existentes.

1/ Fundamentalmente control de inundaciones. Este proyecto representa la primera experiencia de magnitud en este tipo de obras y a la vez es quizás el área más fácilmente adecuado dentro del total de zonas inundables en el bajo Magdalena-Cauca.

La agricultura con riego representa un avance significativo y por tanto requiere el soporte con programas adecuados de investigación, no sólo a nivel de propiedades de los suelos sino, lo que es más importante quizás, en la respuesta misma de los cultivos y las técnicas de utilización del riego. Este tipo de investigación ha sido muy escaso en Colombia.

La adecuación realizada directamente por el sector privado representa aproximadamente el 80% del total efectuado en el país. Existen tres líneas de crédito para financiar este tipo de inversiones: Fondo Financiero Agropecuario, Caja Agraria y Proexpo. La utilización de los montos disponibles ha sido baja, y aunque se señalan problemas tales como la dificultad para constituir garantías, no existen estudios de fondo al respecto.

El área adecuada por el sector privado está utilizada principalmente en arroz y caña de azúcar (Valle del Cauca). En el Anexo C.2 se presenta un análisis más detallado al respecto.

9.3

TRANSPORTE

Para efectos de transporte fluvial se puede decir que Colombia cuenta con una longitud aproximada de 9000 km de vías navegables. Se incluyen acá los ríos que hacen límite con otros países y que son de libre navegación para embarcaciones colombianas y aquellos para los cuales se han firmado convenios de tránsito fluvial.

Por su importancia se destacan los siguientes sistemas que abarcan aproximadamente 7000 km: 1. Río Magdalena; corre por el centro del país hasta Barranquilla, con su tributario el río Cauca y el Canal del Dique que lo conecta con Cartagena (1195 km) 2. Sistema Sur: compuesto por los ríos Amazonas y Putumayo y por el río Caquetá con sus afluentes (2354 km). 3. Sistema Oriente: Incluye el río Orinoco y sus tributarios los ríos Meta, Arauca y Guaviare (2559 km) 4. Sistema río Atrato (508 km). 5. Sistema río San Juan (400 km).

De menor importancia, por lo rudimentario de los equipos y los bajos volúmenes movilizados, son los sistemas de los ríos Patía y Mira, Baudó, Sinú y Catatumbo.

El Cuadro No. 9.8 muestra las movilizaciones de carga, pasajeros y ganado para los 5 principales sistemas.

Se destaca el sistema del río Magdalena en donde se moviliza el 97% de la carga, el 77% de los pasajeros y el 43% del ganado, sobre el total movilizado en el sistema fluvial.

A continuación se presenta un resumen de las movilizaciones y las condiciones de navegabilidad para cada sistema con especial énfasis en el río Magdalena.

1. SISTEMA RIO MAGDALENA

Este sistema es el más importante en el país. Está conformado por el río Magdalena (Dorada-Barranquilla, 890 km), el río Cauca (190 km) y el Canal del Dique (Calamar-Cartagena (115 km).

El Cuadro No. 9.9 presenta las movilizaciones de carga en 1982, por tipo de carga y desagregada para los 10 puertos más importantes.

Se destaca la movilización de derivados del petróleo con el 76.9%, principalmente fuel oil (Barranca-Cartagena) y gasolina (Cartagena-Barranquilla), abonos con 5.4% (de Cartagena y Barranquilla al interior) y cemento con el 4.1% (salidas principalmente en Barranquilla y Puerto Berrío y llegadas principalmente en Puerto Berrío y Barranca). A nivel de puerto, Cartagena y Barranca son los más importantes con algo más del 70% sobre el total movilizado, indicando esto la importancia del Canal del Dique.

En cuanto a la distribución mensual, se observa como en los meses de Marzo-Abril-Mayo y Octubre-Noviembre-Diciembre, que corresponden a los períodos de mayores caudales, se moviliza aproximadamente el 54.2% del total anual.

Las cifras para 1982 indican que los puertos más importantes en cuanto a movilización de pasajeros son: Magangué,

El Banco y Puerto Berrío con algo más del 70% del total. Para este año se reportaron, en los puertos principales, un total de 310.214 salidas y 256.132 llegadas. La movilización de ganado señala a Barranquilla y Puerto Berrío como los sitios principales de llegada con algo menos del 70% y Magangué y el Banco como los principales puertos de embarque (aproximadamente el 90%).

Las condiciones de navegabilidad del río están definidas principalmente por los calados (Ver Gráfico No. 9.1). En la época de verano se presentan calados de 8' a partir de Magangué, 7' entre Gamarra y Magangué, 5' entre Barranca y Gamarra y aproximadamente 3' entre Dorada y Barranca. Durante los meses de invierno se observan calados de 8' a partir de Barranca, 5¹/₂' entre Puerto Berrío y Barranca y 4¹/₂' entre Dorada y Barranca.

Para las épocas de sequías intensas los calados disminuyen drásticamente; es así como aguas arriba de la confluencia del Cauca se observan reducciones notables y los calados son de aproximadamente 4', entre Gamarra y la confluencia del Cauca el calado permisible disminuye hasta 3 pies.

En términos generales el tramo aguas arriba de Barranca presenta las mayores oscilaciones de caudal y adicionalmente cambios en el cauce profundo, principalmente por el transporte de sedimentos. El tráfico nocturno es imposible.

En el Anexo F.2 referente a transporte, se presentan el cuadro resumen de las embarcaciones inscritas en la intendencia fluvial y un resumen de las características y facilidades de manejo de carga, muelles, patios y bodegas en

donde se observan notables deficiencias. Vale la pena anotar el caso de Cartagena en donde se carga y descarga en muelles privados.

Con el propósito de tener una idea de la evaluación de los volúmenes de carga movilizados en el anexo respectivo se presentan las cifras para 1974 y 1981. Se observa una reducción del orden del 40% (de 3 millones de toneladas en 1974 a 1.89 millones en 1981 para llegadas). Las principales reducciones se presentan en Barranquilla-casi 60%- y Cartagena-30% aproximadamente.

2. SISTEMA SUR

Este sistema está compuesto por: el río Amazonas y el Putumayo, navegables por embarcaciones colombianas en 116 y 1350 km respectivamente, y el río Caquetá con sus afluentes Orteguaza, Caguán y Guayas navegables en 462 km. El río Caquetá presenta dificultades por la presencia frecuente de rápidos y caídas por lo que el sistema sur está dividido en dos subsistemas. Los ríos pertenecientes a este sistema han sido poco estudiados, y se posee información tan solo para el Putumayo y el Caquetá.

Estos ríos son poco utilizados por el escaso desarrollo de las zonas que atraviesan. El Cuadro No 9.8 muestra cómo en 1982 se movilizaron 40.000 toneladas de carga, 20624 pasajeros y 18309 cabezas de ganado, sumando entradas y salidas. Sobre condiciones de navegabilidad puede decirse que el río Putumayo presenta calados que oscilan entre 3' a la altura de Puerto Asís y 10' en las Bocas, durante el período de verano. Estos calados oscilan entre 5' y 18' para estos mismos sitios durante los períodos de invierno.

El río Caquetá presenta calados que oscilan entre 2' y 8' entre Puerto Lara y Bocas del Caguan para los períodos de verano. Entre estos mismos sitios los calados varían entre 5' y 17' para los inviernos.

En el anexo a este informe se reportan los sitios de difícil navegación para estos dos ríos, las distancias entre los principales puertos, el inventario de embarcaciones y un breve diagnóstico de las facilidades portuarias. Se destaca la carencia de infraestructura de muelles y zonas de bodegas. Existen algunas facilidades en Leticia, Leguízamo, Puerto Lara, Puerto Milán y Puerto Solano.

3. SISTEMA ORIENTE

Este sistema fluvial está compuesto por más de 25 vías navegables; a pesar de desconocer el comportamiento hidráulico de la mayoría de ellos, se puede afirmar que existen grandes variaciones en los caudales y calados de invierno y verano.

El Cuadro No 9.8 muestra que en este sistema se movilizaron en 1982 24.704 toneladas de carga, 52.217 pasajeros y 112.245 cabezas de ganado, sumando entradas y salidas, destacándose su importancia en la movilización de ganado. Existe información sobre calados para el río Meta. Estos varían de 2' a 5' para el tramo entre Puerto López y Puerto Carreño durante el verano. Los calados de invierno varían de 5' a 9' entre estos sitios. En el anexo sobre transporte se indican los pasos de difícil navegación para los ríos Meta y Guaviare. Adicionalmente se puede decir que el río Arauca presenta serias dificultades para la navegación durante

los períodos de verano debido a los bajos caudales. En términos generales no existen facilidades portuarias en este sistema y las operaciones de cargue y descargue se hacen en forma rudimentaria. La flota inscrita está compuesta por 11 remolcadores y 11 barcazas con un total de 14.733 toneladas de capacidad. Además navegan 21 lanchas.

4. SISTEMAS DE LOS RIOS ATRATO Y SAN JUAN

Estos dos sistemas localizados al occidente del país (Dpto. del Chocó) están compuestos por los dos ríos y sus innumerables afluentes. Del Cuadro No.9,8 se desprende que su importancia está dada por la movilización de pasajeros (91.642 pasajeros en 1982, sumando entradas y salidas).

Dadas las altas precipitaciones de las cuencas por donde estos ríos corren, las limitaciones de calado son muy bajas. El río Atrato presenta calados que varían de 4' a 60' entre Quibdó y Palo Blanco durante el verano y superiores a los 8' para el invierno. El río San Juan presenta calados de 2' a 6' entre Guaratá y las bocas para el verano y de 3' a 12' para el invierno. En el anexo se presentan los pasos de difícil navegación.

La flota existente es de 105 embarcaciones entre menores, botes, lanchas y remolcadores con una capacidad transportadora de 25.601 toneladas. En estos sistemas las facilidades portuarias prácticamente no existen.

9.4

PESCA

Los peces son el recurso económicamente más importante en este grupo. La demanda por este producto es satisfecha por la pesca de mar, la de río y las importaciones, existiendo un alto grado de sustitución entre los productos del mar y los de río. Las estadísticas en Colombia señalan cómo sistemáticamente la pesca del río ha sido más importante, lo cual puede ser fácilmente explicable por las diferencias de precio. El Cuadro No. 9.10 señala la evolución de los volúmenes de capturas obtenidos durante la última década.

La pesca continental proviene fundamentalmente de la cuenca del Magdalena en donde se captura más del 75% del total.

A continuación se presenta un breve diagnóstico de la peca^{1/} en la cuenca del Magdalena.

1. CUENCA RIO MAGDALENA

La actividad pesquera en la cuenca del Magdalena está determinada en gran medida por la interacción río-ciénagas y por las migraciones. Los peces efectúan anualmente dos migraciones largas. La subienda desde las ciénagas grandes hasta los ríos pequeños de nuestras cordilleras, en donde

^{1/} Para un mayor detalle consultar el Anexo F.3.

permanecen desde su llegada en enero hasta el inicio del período de lluvias aproximadamente en Abril; cuando crecen los ríos, los peces inician su regreso hacia las ciénagas. El ciclo de pesca está determinado por el nivel de las aguas y el ciclo de los peces, que se puede caracterizar así:

Subienda: Noviembre-Marzo
Bajanza: Marzo-Mayo
Mitaca: Junio-Noviembre

En la mitaca existen una subienda de bajas proporciones (Junio-Septiembre) y una bajanza (Septiembre-Noviembre).

Existe una relación inversa entre el nivel del agua y el volumen de pesca. Cuando el nivel es alto los peces se dispersan y es por esto que los períodos de altas capturas coinciden con las épocas de bajos caudales; por esta razón los pescadores normalmente alternan sus actividades.

Las migraciones están asociadas con las diferentes etapas de crecimiento de los peces y con el proceso de transporte y depósito de nutrientes por el río en las ciénagas.

Inderena ha venido haciendo mediciones a partir de 1977 sobre esfuerzo pesquero y capturas. Los Cuadros Nos. 9.11 y 9.12 presentan las cifras de esfuerzo y capturas para los diferentes períodos. Se observan las diferencias en productividad y esfuerzo entre los diferentes ciclos de pesca.

Aunque las cifras muestran una disminución de las capturas totales para los últimos años, simultáneamente se ha producido también una disminución del esfuerzo. Las cifras sobre captura por unidad de esfuerzo presentan notables oscilaciones y no es posible afirmar con certeza que exista una disminución de la productividad con la información disponible. Indudablemente la contaminación de las aguas influye negativamente en las poblaciones de peces. Las estadísticas a este respecto son escasas y discontinuas.

Los estudios realizados y los análisis del ENA^{1/} permiten identificar tres zonas críticas: el río Bogotá y su desembocadura, el área de Barrancabermeja y Barranquilla. La magnitud de este impacto, en términos de reducciones probadas, aún no ha sido cuantificado, aunque es posible afirmar con base en los parámetros de calidad requeridos (en el anexo se dan los límites permisibles) que los problemas de contaminación del río deben afectar la vida piscícola.

2. OTRAS CUENCAS

Las cuencas del Atrato, Catatumbo, Orinoco y Amazonas tienen estadísticas pesqueras muy deficientes. En total se han reportado capturas de hasta 6.000 tons en 1978, aunque en general existe consenso en el sentido de que el

^{1/} Ver capítulo sobre Calidad de Aguas en donde se señalan algunos puntos del río Magdalena, y de los ríos Bogotá y Medellín.

recurso está subexplotado debido principalmente a la carencia de infraestructura de transporte y a la falta de electricidad que limita el acceso al frío para la conservación. En el Anexo sobre pesca se presentan las estadísticas existentes para estas cuencas.

9.5

CALIDAD DEL AGUA

1. DIAGNOSTICO DE LA SITUACION ACTUAL

Según la metodología utilizada en el estudio, lo ideal habría sido poder presentar la situación a nivel de cada una de las cuencas de tercer orden según la regionalización del HIMAT; este objetivo no ha sido alcanzado fundamentalmente debido a la escasez de información.

El presente diagnóstico está basado en los análisis suministrados por HIMAT, CVC, CRAMSA, EAAB, CVS, CARDER, CAR, Empresas Públicas de Medellín, INSFOPAL y otras fuentes particulares^{1/}. En total se procesaron unos 1500 análisis correspondientes a aproximadamente 170 estaciones; en algunos casos, a pesar del conocimiento existente sobre problemas en la calidad de las aguas en algunas regiones no ha sido posible disponer de la información pertinente (por ejemplo para numerosas quebradas en la zona cafetera) y por tanto no se han incluido en el diagnóstico.

^{1/} Los análisis procesados se encuentran montados en un archivo en el computador del DNP y en cualquier momento se puede tener acceso al análisis que se desee.

Para el procesamiento de la información se elaboraron dos programas, el primero de ellos verifica los análisis suministrados y el segundo realiza la clasificación de las fuentes según conductividad, RAS, OD, DBO, e índice de agresividad. Estos programas y los límites utilizados en la clasificación se presentan en el Anexo 6.

En términos de OD y DBO las condiciones más críticas se presentan en los ríos Bogotá, Medellín, Cauca y Chicamocha. En el río Bogotá existen condiciones anaeróbicas a la altura de Puente La Isla y niveles mínimos de oxígeno a la altura de Girardot. Igualmente, se presentan condiciones críticas en las Quebradas Altavista, Hueso, El Bosque, Santa Helena y otras, afluentes del río Medellín así como en el río Consota, en Pereira. La mayor polución orgánica se presenta en los ríos Bogotá y Medellín; vale la pena anotar la alta carga orgánica mostrada por el río Magdalena a la altura de Barrancabermeja, por el río Cauca en las estaciones de Anacaro y Río Frío y por el río Bogotá en Puente La Isla. Las gráficas 9.2 a 9.10 presentan la localización de estaciones, variación de OD y DBO para los casos de Bogotá, Medellín y Cali.

En términos de agresividad, existen algunos tramos con aguas altamente agresivas en los ríos Cauca y Bogotá; el río Chicamocha tiene aguas medianamente agresivas en las estaciones evaluadas. Para la mayoría de las fuentes estudiadas no se cuenta con este tipo de información.

La información disponible sobre conductividad y RAS

clasifica como aguas de excelente calidad para riego las aguas del río Cauca y Magdalena. En general, los pozos de la jurisdicción de CVC muestran aguas de salinidad media con bajo contenido de sodio. Los análisis para el río Chicamocha indican un agua de calidad variable, siendo excelente a la altura de Termopaipa y de baja calidad para riego (alta salinidad y muy alto contenido de sodio) a la altura de Duitama.

En el Anexo G. se presentan los listados de las clasificaciones efectuadas para cada estación con información y un análisis detallado de los ríos Bogotá, Medellín y Cauca.

El diagnóstico incluyó también una encuesta a los diferentes laboratorios existentes en el país. Se recibió información de 37 laboratorios; de éstos el 76% son laboratorios de entidades oficiales. En cuanto a localización geográfica se destaca que 12 laboratorios están ubicados en Bogotá. El análisis de la encuesta permite concluir que más del 50% de los laboratorios están en capacidad de analizar cualquiera de los análisis corrientes en calidad de aguas. Igualmente, se puede afirmar que ante incrementos en la demanda la totalidad de los laboratorios estaría en capacidad de contar con los elementos humanos y físicos para realizar los análisis convencionales.

9.6

EROSION

El mapa ecológico de Colombia, levantado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (1977) presenta la caracterización climática más apropiada del país y la posibilidad de utilizarse para un mejor conocimiento y una mejor utilización del medio ambiente colombiano. Sin embargo, este valioso instrumento no ha sido apropiada ni eficientemente utilizado. Varios de los sistemas de clasificación propuestos podrían mejorarse notablemente si utilizaran la valiosa información disponible que presenta el mapa ecológico.

El mapa de bosques del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (1982) es el primer esfuerzo a nivel nacional basado en la información de los sensores remotos para presentar la cobertura vegetal del país, especialmente en lo que se refiere a los tipos de bosque. El estudio PRORADAM (1979) que sirvió en parte para el mapa de bosques, incluye únicamente una región del país. La distribución de las áreas cubiertas con pastos y cultivos que aparecen en el mapa de bosques es sin embargo, muy general y de utilización limitada para el estudio de otros tipos de cobertura vegetal. Si este mapa hubiera tenido en cuenta el mapa ecológico del país los resultados hubiesen sido más satisfactorios, porque se hubieran ubicado los diferentes tipos de bosque dentro de sus verdaderas condiciones climáticas y así se los hubiera podido entender y relacionar mejor.

El mapa de erosión general del INDERENA (1976) parece haber tenido en consideración en forma parcial las zonas de vida.

La relación de los procesos erosivos para ubicarlos en cada una de las zonas de vida han dado por resultado la importancia y extensión de algunos pocos procesos que son los más generalizados en todo el país y no una verdadera correlación de las condiciones climáticas con estos procesos.

Las áreas con erosión y suministro de sedimentos fuerte a muy fuerte que aparecen en el mapa del INDERENA (1976) se pueden relacionar con las zonas de vida, de acuerdo con los procesos erosivos involucrados.

La erosión eólica, laminar y en surcos está relacionada con el clima semiárido de la media Guajira, en donde la vegetación es escasa.

Los deslizamientos y otros movimientos en masa se presentan en climas superhúmedos o húmedos en pendientes fuertes y largas, bien sea con pastos, cultivos o bosque natural. En la mayor parte de los sitios citados el bosque ha desaparecido. Estos sitios o áreas, algunas vecinas a las ciudades que se mencionan como referencia son: Sandoná y sus vecindades (Nariño), una área en la Cordillera Centro-Oriental al Sur de Pasto; la laguna de la Cocha en Nariño y el Valle de Sibundoy en el Putumayo; ciertas áreas en los ríos La Fragua y Pato en el Caquetá; Iquira y Algeciras y sus vecindades y un área al sur del río Cabrera en el Huila; el río Coello

en el Tolima, las partes altas de Villavicencio en el Meta; Manizales y Salamina, Caldas; Santa Bárbara, Antioquia; Lebrija, Santander; Pamplona y vecindades de San Alberto, Norte de Santander y las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta en el Magdalena. Excepcionalmente, las áreas de Guadalupe, Huila y Villeta, Cundinamarca, tienen un clima subhúmedo y no húmedo o perhúmedo.

Deslizamientos con menor intensidad en colinas con pastos y cultivos debidos a la infiltración favorecida por los depósitos de cenizas volcánicas cuya influencia varía según el espesor de las mismas y la topografía, la que es localmente quebrada, se presentan en climas perhúmedos, por lo general del piso premontano, como en la meseta de Popayán, las partes altas de Palmira, una área extensa en el Quindío, entre Sevilla, Armenia y Pereira, el altiplano de Santa Rosa de Osos, en Antioquia; en este caso del piso montano bajo, Concepción y buena parte del Oriente de Antioquia en los pisos montano bajo y premontano, así como una extensa área por Yolombó y otra por Anorí, en Antioquia, las que pueden llegar hasta el piso basal tropical.

La erosión laminar, en surcos y cárcavas y en colinas y terrazas disectadas, con muy poca cobertura vegetal, en donde las áreas mas afectadas presentan a menudo un aspecto de 'bad-lands' y en donde la acción humana ha contribuido a agravar los procesos naturales está relacionada con climas subhúmedos, semiáridos y áridos de las zonas de vida bs-MB, bs-PM, bs-PM☹, bs-ST, me-ST y md-ST. En este caso se considera el clima agresivo por el hecho de presentarse las lluvias, a veces muy pocas, pero muchas veces de caracter intenso, concentradas en la corta y a veces muy corta estación de lluvias.

El suelo está normalmente poco protegido por el crecimiento lento de la vegetación y además porque las plantas herbáceas se secan y el suelo se compacta y pierde su capacidad de infiltración durante la estación de sequía.

De acuerdo con lo estimado por Tosi (1972,1981), sin embargo, el factor R correspondiente a la lluvia o indicador de la agresividad de la misma y también del clima, es normalmente bajo o moderado. La agresividad del clima es por lo tanto más una circunstancia de falta de protección del suelo. El clima, naturalmente influye para el secamiento de las plantas herbáceas, el endurecimiento del suelo y la falta de infiltración del mismo, así como para el lento proceso de la sucesión secundaria.

Los sitios identificados en el mapa de erosión con este proceso son: Villavieja y el Cañón del río Cabrera en el Huila, la alta y baja Guajira, Cúcuta, Girón y Villa de Leyva.

El escurrimiento difuso intenso y las cárcavas en pendientes fuertes y largas con poca vegetación abierta y escasa, se presenta en climas semiáridos o subhúmedos del piso basal subtropical o tropical o del montano bajo. Como en el caso anterior, está relacionado con lluvias mas o menos intensas concentradas en la corta estación lluviosa y con el suelo que carece de mayor protección. Estos climas se consideran también agresivos, aunque Tosi (1972,1981) ha estimado un factor R, variable para cada una de estas zonas de vida, pero bajo en general.

Los sitios identificados con este proceso son: Colombia, Huila, la alta Guajira, sobre todo en las serranías, el río

Chicamocha, Santa Marta y Ráquira y Samacá en Boyacá, este último caso en el piso montano bajo.

Estas no son sin embargo las únicas áreas críticas. La erosión que se presenta en las mismas puede ser impresionante, pero en muchos casos difícil de remediar. En el caso de deslizamientos en ciudades importantes es lógico el esfuerzo que debe hacerse, pero en otras áreas, posiblemente no sea aconsejable invertir en obras costosas y de dudoso éxito.

Por otra parte es importante hacer los mayores esfuerzos en aquellas áreas en donde la erosión es menos severa, pero que están en peligro de perder el suelo, si no se les presta atención del caso. De todas maneras la política mas aconsejable debe ser la clasificación acertada de la capacidad máxima de uso de la tierra, para evitar la erosión y la destrucción de la capacidad productora de la misma.

Las zonas de vida superhúmeda son las que presentan las condiciones potenciales mayores de erosión y movimientos en masa. Actualmente se encuentran en su mayoría cubiertas por vegetación protectora, pero ésta puede ser destruída por el paso de vías de comunicación y por la construcción de centrales hidroeléctricas que tratan de aprovechar el abundante recurso hidráulico. Por este motivo debe tenerse especial cuidado en la planeación de dichas obras.

Al tratar de hacer una correlación rápida y cualitativa como en el caso presente, entre las zonas de vida y las clases agrológicas se ha encontrado que las clases de mayor extensión en el país como son la VI y la VII y por eso predominan

en todas las zonas de vida, lo cual es simplemente el reflejo de que las tierras del mismo son en su mayoría de una baja capacidad de uso. Para una mayor correlación entre las clases agrológicas y las zonas de vida es necesario un trabajo más detallado y considerar la mayor frecuencia, en partes más restringidas, de unas clases agrológicas mejores en ciertas zonas de vida, como es el caso en las zonas de vida subhúmedas, tal como se ha discutido ya con bastante detalle anteriormente.

Debido a las limitaciones de tiempo, las correlaciones anteriores solamente se pudieron hacer a nivel cualitativo con la superposición de los mapas.

Para una mayor precisión en la clasificación del uso potencial de la tierra, el sistema propuesto por Tosi (1972,1981) y poco conocido en el país a pesar de su gran importancia y de haber sido especialmente diseñado para el mismo, se considera el más adecuado y por lo tanto merece una consideración mayor de la que ha recibido y un estudio más detallado que permita verificar en el campo su aplicación a todo el país.

9.7 DIAGNOSTICO GENERAL

En el presente numeral se presenta un diagnóstico de la situación actual del uso del agua en el país tal como puede detectarse de los balances-demandas disponibilidades realizados.

Los resultados del balance, incluidos en el Capítulo 7, permiten afirmar que los problemas que afronta el sector de aguas en el país no son ocasionados en la gran mayoría de los casos por escasez del recurso o competencias entre los diferentes usos. Al considerar las demandas actuales para consumo humano, industrial y agrícola en 218 cuencas de tercer orden tan solo aparecen 14 con probabilidad de déficit en algún mes del año y de éstas tan solo 6 tienen una probabilidad de déficit superior al 5%; son ellas las cuencas de Riohacha, Tapias, Ranchería, Cesar (alto y medio), Tolú y Ariguaní. A estas hay que adicionar la cuenca alta del río Bogotá ^{2/} en donde el modelo actual de balances no señala déficits, aunque el comportamiento del embalse agregado para generación hidroeléctrica hace preveer que cuando se considere específicamente esta demanda es posible que se presenten algunos déficits.

Resalta también el hecho de que en muy contadas cuencas

^{1/} Estos resultados corresponden a la alternativa con demandas altas.

^{2/} Dado que los balances se refieren al año 1981 no se incluye el proyecto Chingaza.

las demandas son superiores al 50% de las disponibilidades medias; obviamente, con el incremento futuro de las demandas, en especial la de agricultura, es de esperar que en algunas zonas se incrementen estos porcentajes.

Este resultado, de cierta manera esperado, permite concluir que son mucho más importantes los problemas relacionados con la prioridad de las inversiones a efectuar en los diferentes sectores, la administración eficiente de las obras de infraestructura existentes y la carencia de información actualizada, necesaria para hacer una correcta planeación.

Resaltan entonces los casos de las demandas para consumo humano y los del sector agrícola, esta última la más importante en términos de volumen.

Para el caso del consumo humano, las bajas coberturas existentes en el sector rural y en algunas ciudades intermedias y grandes, indican la necesidad de afrontar cuantiosas inversiones, no sólo en ampliaciones de los servicios existentes sino en la reducción de pérdidas, en algunos casos excesivas.

En cuanto hace referencia al sector agrícola, se destaca el hecho de que el área actualmente adecuada representa menos del 10% del potencial adecuado en el país; los distritos existentes presentan problemas de administración por lo que los programas de rehabilitación y complementación resultan altamente prioritarios. Igualmente, debe destacarse que el Estado no ha puesto en práctica hasta la fecha instrumentos adecuados de administración y control en todo lo que hace a la utilización del agua para riego mediante obras efectuadas directamente por el sector privado, a pesar de que éste representa

aproximadamente el 80% del total adecuado.

Los problemas relacionados con la calidad del agua, trata dos ya en el capítulo 7, toman gran magnitud en los casos de los ríos Bogotá, Cauca en el Valle y Medellín; convie ne destacar que ya existen o están en ejecución estudios tendientes a plantear y definir soluciones.

En cuanto a las demandas para transporte y pesca, se des taca el hecho de la pérdida de importancia del transporte fluvial en el contexto nacional, situación aparentemente difícil de modificar a corto plazo aunque en algunas re giones este modo de transporte si tiene marcada importan cia (caso de los Llanos Orientales). La situación de la pesca presenta un panorama un poco diferente pues aun que las estadísticas muestran oscilaciones en las captu ras, las necesidades más importantes no se relacionan con acciones en los ríos sino más bien con la provisión de asistencia técnica y servicios a los numerosos pesca dores ubicados fundamentalmente en la cuenca del río Mag dalena.

Los trabajos realizados en los aspectos de erosión permi ten concluir que si bien existen numerosas áreas en el país con problemas de este tipo, en algunos casos repre sentando situaciones críticas, deberá tenerse cuidado en efectuar los mayores esfuerzos en aquellas áreas en don- de aún es posible controlar los fenómenos de erosión, así estas no sean las zonas con problemas más severos.

Los problemas de inundaciones bien pueden dividirse en

dos grupos, cada uno con características diferentes. El primero de ellos se refiere a la inundación, por diversas razones, de extensas zonas con vocación agrícola con la característica de que estas permanecen inundadas durante una gran parte del año; de otro lado están los casos típicos de las avenidas de los ríos con períodos de retorno grandes, las cuales normalmente ocasionan cuantiosas pérdidas.

Con respecto al primer grupo existen los estudios básicos efectuados para la cuenca Magdalena-Cauca en el proyecto Colombo-Holandés. Fruto de este trabajo existe el proyecto Nechí-San Jacinto identificado como el de más alta prioridad dentro del conjunto de posibles proyectos en la planicie inundable del bajo Magdalena-Cauca. La identificación de zonas en donde los fenómenos del segundo tipo pueden producir pérdidas cuantiosas podrá ser llevado a cabo en el futuro mediante la realización de un estudio especial al respecto, en donde se involucren no solo los criterios hidrológicos sino los económicos, con el fin de seleccionar aquellas áreas en donde este tipo de inversiones puedan tener relaciones beneficio/costo favorables. Debe prestarse especial atención a la detección de las áreas con este tipo de problemas debido a que ellos no son identificables por medio de los balances. Pueden señalarse los casos del río Bogotá y del Valle del Cauca en donde se han realizado estudios de este tipo adoptando soluciones diferentes según las condiciones de cada caso.

Esta breve descripción de la situación actual permite confirmar la afirmación inicial, en el sentido de que los mayores retos a afrontar están en la planeación de las

inversiones que el país deberá desarrollar en los diferentes campos (acueductos, alcantarillados, distritos de riego, sistemas de transporte) y principalmente en cuanto hace a la prioridad de las mismas. Lo anterior no descarta por supuesto problemas locales de déficit del recurso aunque es de esperar que estos, por el momento, sean más la excepción que la regla.

CUADRO No. 9.1

POBLACION TOTAL SERVIDA Y COBERTURA DEL SERVICIO
DE ACUEDUCTO EN CABECERAS MUNICIPALES - 1.981 -

<u>Entidad</u>	(1) <u>Población</u>		(2) <u>Población</u>	<u>Cobertura</u>
<u>Administradora</u>	<u>Total</u>	<u>%</u>	<u>Servida</u>	<u>(2) / (1)</u>
				(%)
INSFOPAL	5.251.248	30.3	4.040.149	76.9
EMPRESA PUBLICAS MUNICIPALES	10.736.662	61.9	9.030.795	84.1
MUNICIPIOS	856.001	4.9	637.929	74.5
INS	240.915	1.4	184.957	76.8
OTROS	99.056	0.6	72.324	73.0
SIN INFORMACION	151.144	0.9	-	-
	<hr/>		<hr/>	<hr/>
	17.335.024		13.966.154	80.56

FUENTE : Estado Sanitario 1981.
DNP - UNIF - DIS, Agosto 1982.

CUADRO No.9.2

COBERTURA POR DEPARTAMENTO, 1981

(%)

Quindio	92.6	Antioquia	75.8
Valle	89.0	Boyacá	73.8
Santander	87.7	Meta	73.3
Cesar	87.6	Nariño	72.7
Risaralda	86.6	Magdalena	72.0
Huila	86.4	Atlántico	69.0
Tolima	84.3	Caquetá	64.0
Cundinamarca	83.0	Sucre	61.5
PROMEDIO NACIONAL	80.6	Guajira	57.5
Caldas	80.2	Bolívar	55.8
Cauca	76.8	Putumayo	44.0
Norte Santander	76.6	Casanare	28.0

FUENTE : Estado Sanitario 1981, Cálculos de MMP.

CUADRO No. 9.3

SERVICIO DE ACUEDUCTO EN EL SECTOR RURAL

		<u>Rural nucleada</u>	<u>Rural dispersa</u>	<u>Total</u>
Población	1977	2.553.000	6.054.000	8.607.000
	1981	2.660.000	6.360.000	9.020.000
Población Servida	1977	863.000	360.000	1.223.000
	1981	1.330.000	440.000	1.770.000
Cobertura del servicio	1977	33.9%	5.9%	14.3%
	1981	50.6%	7.0%	19.6%

FUENTE: Estado Sanitario DNP - 1978 Area Rural.
 Información INS-Actualización DNP - 1981
 No incluye territorios nacionales.

CUADRO No. 9.4

BOGOTA - SERVICIO DE ACUEDUCTO 1982

Población total	4'030.000	
Población servida	3'750.000	
Cobertura (%)	93.0	
Capacidad de abastecimiento *	14.2	mts ³ /seg
Capacidad de tratamiento *	12.5	mts ³ /seg
Agua tratada (miles mts ³)	356.278.7	
Agua facturada (miles mts ³)	235.231.3	
Pérdidas (miles mts ³)	121.047.4	
% Pérdidas	34.0	
No. de Suscriptores	471.161	
Agua tratada/Población servida	260.3	lts/h/d
Agua tratada/Suscriptor	756.2	mts ³ /año

* No incluye Chingaza. La primera etapa de la planta de tratamiento de El Sapo entró a operar en Noviembre de 1982.

FUENTE: EAAB

CUADRO No. 9.5

MEDELLIN - SERVICIO DE ACUEDUCTO - 1981

Población total*	1'870.750
Población servida	1'642.518
Cobertura (%)	87.8
Capacidad de abastecimiento	7.6 mts ³ /seg
Capacidad de tratamiento	7.6 mts ³ /seg
Agua tratada (miles mts ³)	215.705.9
Agua facturada (miles mts ³)	125.446.1
Pérdida (miles mts ³)	90.259.8
% Pérdidas	41.8
No. de suscriptores	215.473
Agua tratada/Población servida	359.8 lts/h/d
Agua tratada /suscriptor	1.001.1 mts ³ /año

* Incluye Envigado, Itaguí y Bello

FUENTE : EPM.

CUADRO No. 9.6

CALI - SERVICIO DE ACUEDUCTO 1.982

Población Total	1'270.000
Población servida	1'200.000
Cobertura (%)	94.5
Capacidad de abastecimiento	7.7 mts ³ /seg
Capacidad de tratamiento	7.1 mts ³ /seg
Agua tratada (miles mts ³)	161.622.0
Agua facturada (miles mts ³)	101.985.0
Pérdidas (miles mts ³)	59.637.0
% Pérdidas	36.9
No. de suscriptores	176.527
Agua tratada / población servida	915.6 mts ³ /año

FUENTE : EMCALI

CUADRO No. 9.7

BARRANQUILLA - SERVICIO DE ACUEDUCTO 1982

Población total	1'040.000
Población servida	728.000
Cobertura (%)	70.0
Capacidad de abastecimiento	4.2 mts ³ /seg
Agua tratada (miles mts ³)	119.838.8
Agua facturada (miles mts ³)	75.357.6
Pérdidas (miles mts ³)	42.199.6
% Pérdidas	37.1
No. de Suscriptores	84.489
Agua tratada (población servida)	451.0 lts/hd
Agua tratada /suscriptor	1.418 mts ³ /año

FUENTE : Encuesta MMP - EPM

CUADRO N° 9.8

MOVILIZACIONES FLUVIALES DE CARGA, PASAJEROS Y GANADO ^{1/} 1.982

(miles de ton., pasajeros, cabezas)

	C A R G A				P A S A J E R O S				G A N A D O			
	Entradas	Salidas	Total	%	Entradas	Salidas	Total	%	Entradas	Salidas	Total	%
Río Magdalena	1.960	2.027	3.987	97	256.132	310.214	566.345	77	58.764	39.744	98.346	43
Río Amazonas	23	17	40	1	9.687	10.937	20.624	3	2.335	15.956	18.309	8
Río Orinoco	16	23	39	1	24.704	27.513	52.217	7	79.522	32.723	112.245	49
Ríos Atrato San Juan	26	16	42	1	44.683	46.959	91.642	13	268	173	441	-

1/ Las entradas y salidas no son iguales por varias razones:

1. Al día del corte hay carga en tránsito
2. Pérdidas normales o accidentales durante el transporte.
3. El control de las movilizaciones no incluye puertos intermedios. En algunos casos se descargan en estos puertos pequeños volúmenes de carga. Al consolidar los cómputos los puertos intermedios se incluyen en el puerto más cercano si controlado.

Cuadro No. 9.9
MOVIMIENTO DE CARGA-RIO MAGDALENA
1982

SALIDAS			L L E G A D A S									
			Barranquilla	C/gena	Calamar	Magangué	El Banco	Gamarra	Pto. Wilches	Barranca	Pto. Berrío	La Dorada
ABONOS	Barranquilla	78.318						80.206	625	15.419	305	19.447
	Cartagena	23.859										
CEMENTO	Barranquilla	72.734										
	Cartagena	4.055										
	Calamar	181										
	Magangué	375	10.663			750	3.926	1.375	1.570	15.576	28.260	
	Gamarra	87										
	Barranca	1.011										
	Pto. Berrío	25.916										
FUEL-OIL	Cartagena	7.748	16.536	851.952							142.368	
	Barranca	1.003.705										
GASOLINA	Cartagena	194.107										
	Magangué	12.340	181.592			16.135	3.908					
	Barranca	4.913										
ASFALTO	Barranca	7.011	3.223	336	1.347	155						
OTROS	Barranquilla	289										
DERIVADOS	Cartagena	166.852										
DEL	Magangué	57.522	107.422	24.491	27	14.008	21.900	3.722	931	116.990		1.209
PETROLEO	Pto. Wilches	931										
	Barranca	98.564										
CARGA	Barranquilla	64.638										
	Cartagena	132.014										
	Calamar	1.416										
	Magangué	27.922										
	El Banco	5.736	37.216	4.801	825	29.371	13.606	8.939	708	163.185	15.502	1.322
	Gamarra	236										
	Pto. Wilches	502										
	Barranca	28.568										
	Pto. Berrío	5.788										
			356.652	881.670	2.197	60.410	43.540	94.242	3.434	309.170	186.435	21.978
	Total		Total carga llegadas: 1.959.537									

CUADRO No. 9010

PESCA MARINA Y CONTINENTAL (ton)

	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
Pacífico	7764	7886	8608	10776	12758	11600	5880	7621	5837	5320	5155	8530	
Atlántico	13242	10975	19322	13388	12426	12900	17790	14170	17129	9538	13263	36985	
Total marina	21006	18861	27930	24164	25184	24500	23670	21791	22966	14858	18418	45515	
Total Continental	33200	19300	82800	73100	37234	42075	51437	42174	56612	48535	46903	47709	49000

Fuentes:

Pesca Marina: Hasta 1973 Estadísticas pesqueras del INDERENA
 Desde 1974 Diagnóstico de la pesca artesanal en Colombia OPSA-INDERENA

Pesca Continental: Hasta 1979: Yearbook of Fishery Statistics
 Desde 1980: INDERENA

NOTA: Las estadísticas de pesca continental se refiere únicamente a lo registrado en los salvocun ductos de movilización.

CUADRO No. 9-11

ESFUERZO PESQUERO - CUENCA DEL MAGDALENA

		SUBIENDA					BAJANZA					MITACA				
		1977	1978	1980	1981	1982	1977	1978	1980	1981	1982	1977	1978	1980	1981	1982
Capturas/UEP/día (kgs)	Chinchorro	61.94	48.99	96.42	34.88	42.72	36.0	38.14	82.19	44.41		35.1	38.26	32.38	27.03	
	Río Atarraya	36.67	51.55	26.81	17.87	18.38	34.0	19.53	40.47	22.25		10.54	15.2	32.03	18.49	-
	Chinchorro	-	-	292	33.62	101.17	-	-	-	43.51		-	-	-	-	-
	Ciénaga Atarraya Transmallo	33.7	16.7	30.88	18.42	17.72	31.64	14.53	45.67	8.34		16.03	9.52	16.0	7.79	22.46
				152.2	18.6								24.35			
Promedio canoas/día (unidades)	Río	7578	6638	3646	5494	2987	3434	5053	1821	722		1722	3855	617	906	
	Ciénaga	4574	4768	-	2136	4404	5050	10638	2670	2993		3018	2019	2840	3959	
	Total	12152	11406	-	7603	7391	8484	15691	4491	3715		4740	5847	3457	4865	

Fuente: DIAGNOSTICO DE LA PESCA ARTESANAL EN COLOMBIA

UEP : Unidad Económica de Pesca.

CUADRO No. 9-12

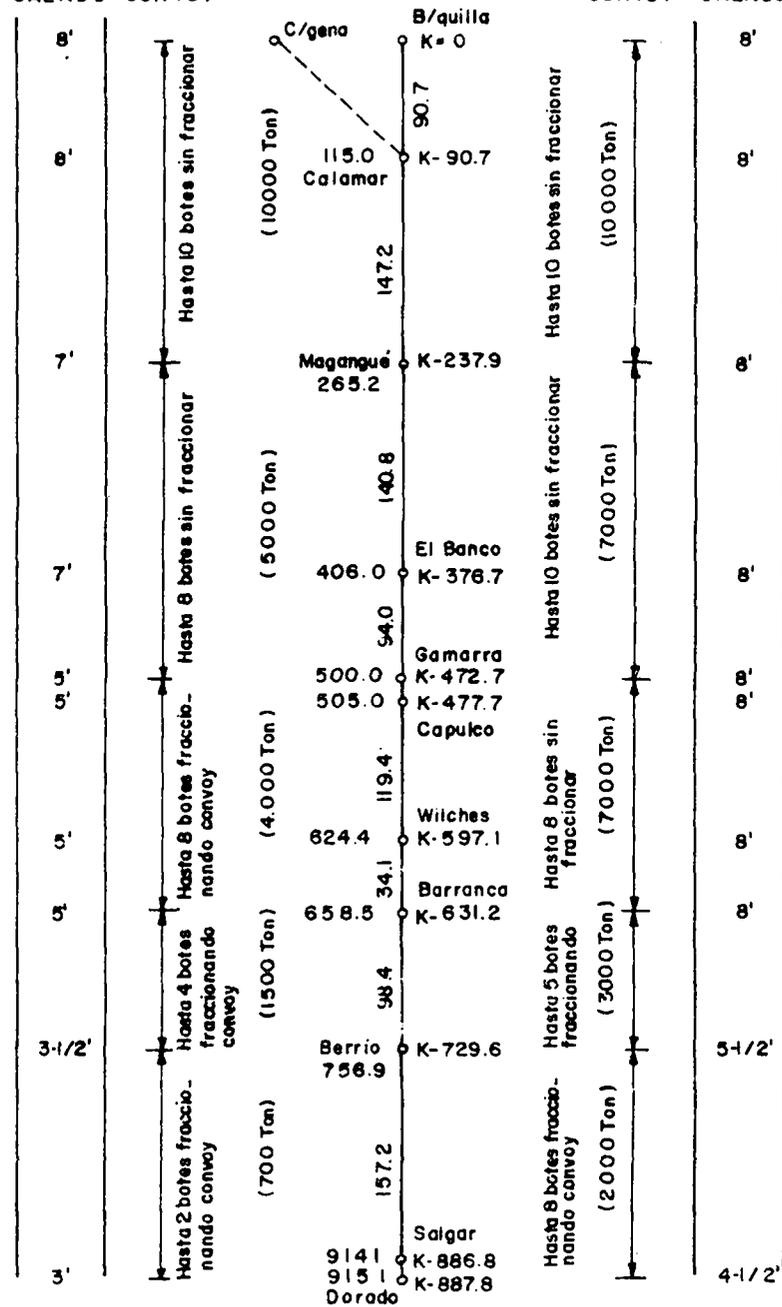
PESCA CUENCA MAGDALENA POR TEMPORADA (toneladas)

	1977	1978	1979	1980	1981	1982
Subienda	43134	35213	11949	39363	120091	16327
Bajanza	18417	17534	-	15299	4376	-
Mitacas	10606	11421	-	10277	8583	-
Totales	72158	64168		64939	25050	-

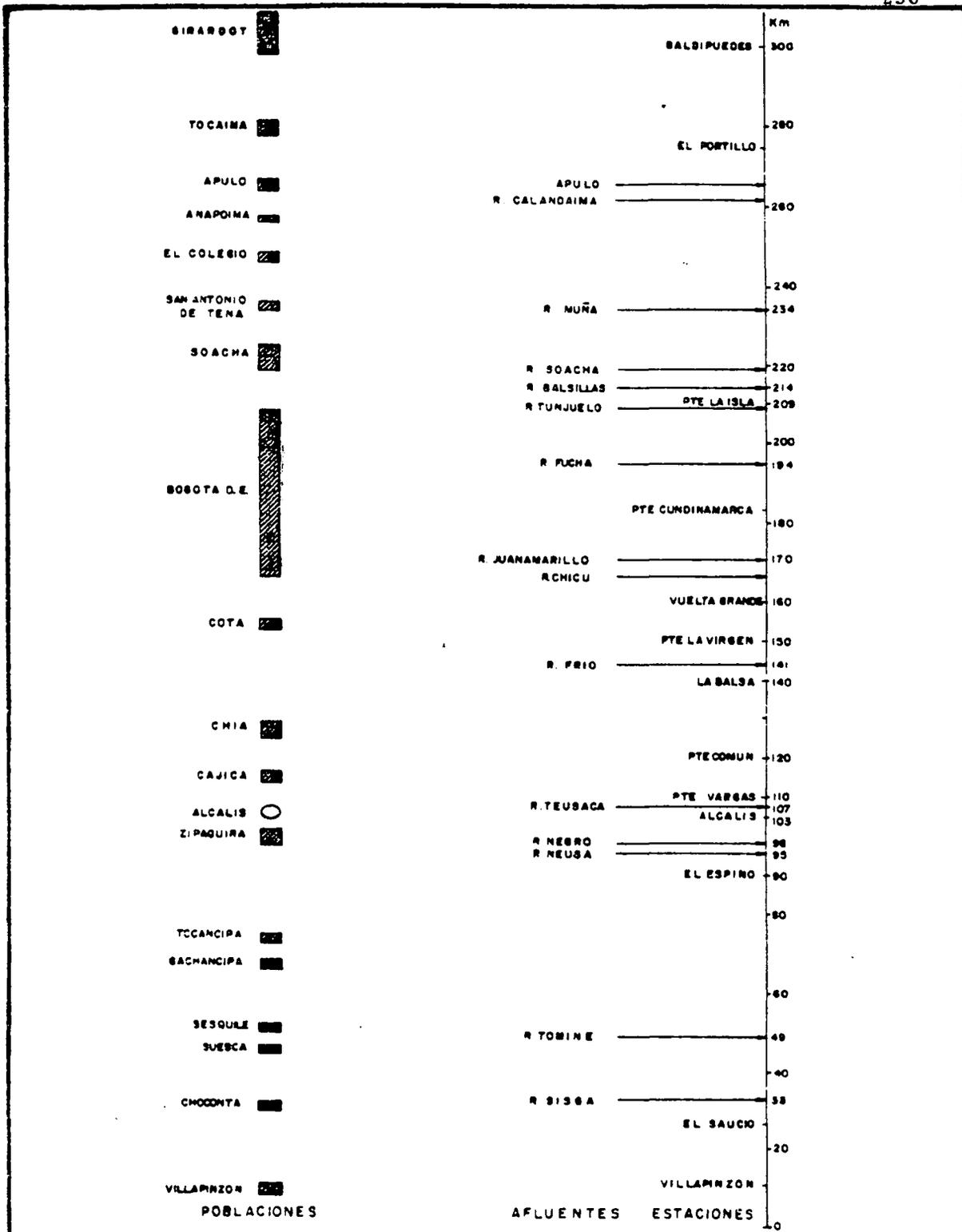
Fuente: Diagnóstico de la pesca artesanal en Colombia, OPSA INDERENA 1983

CALADOS

VERANO **INVIERNO**
 Enero a Marzo Agosto a Septiembre Abril a Junio Octubre a Diciembre
 CALADO CONVOY CONVOY CALADO



DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION	ESTUDIO NACIONAL DE AGUAS	FECHA: NOVIEMBRE 1963
MEJIA MILLAN Y PERRY LTDA.	RIO MAGDALENA	FIGURA N.º: 9.1



DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION

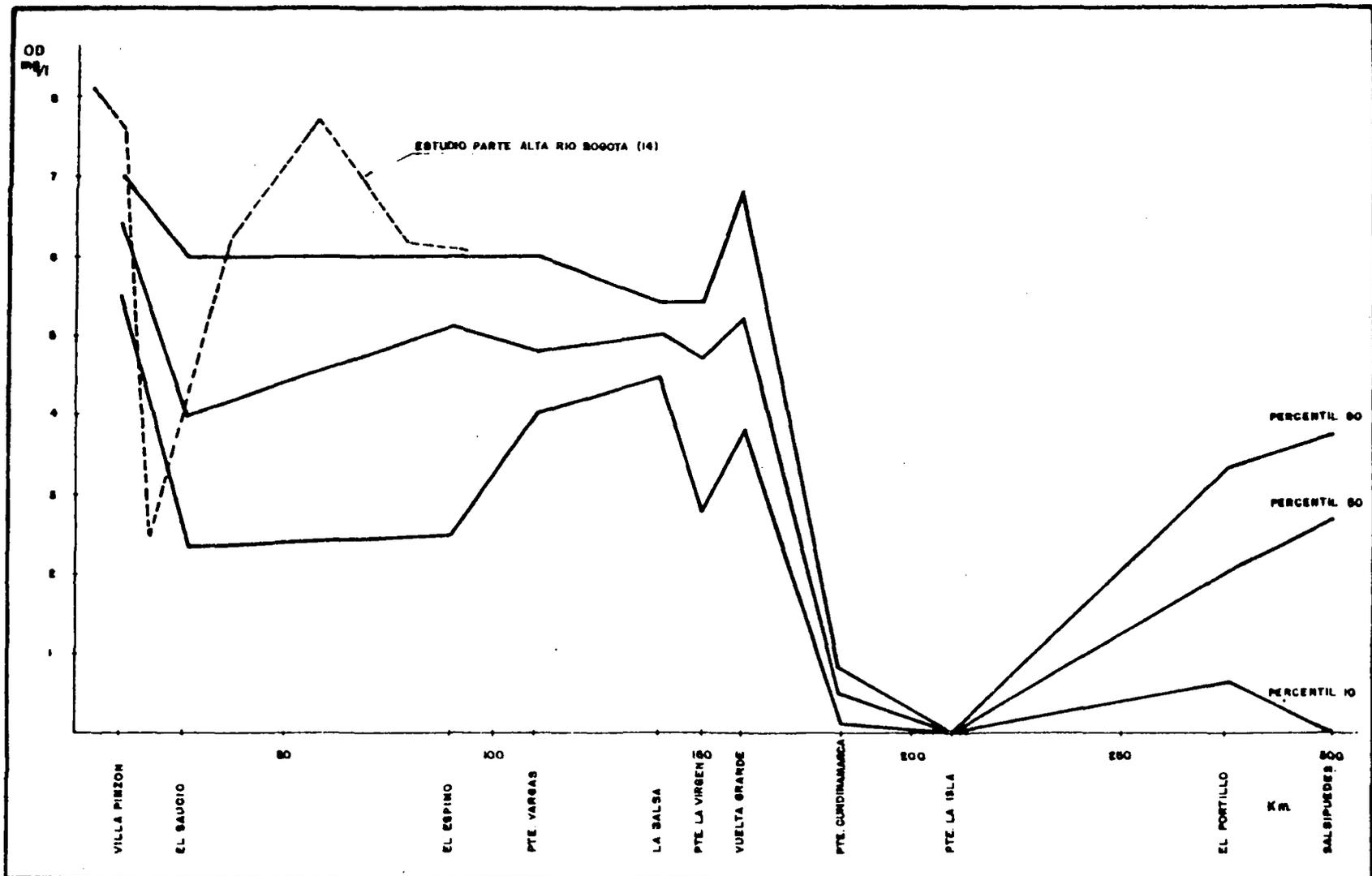
ESTUDIO NACIONAL DE AGUAS

FECHA: Noviembre de 1963

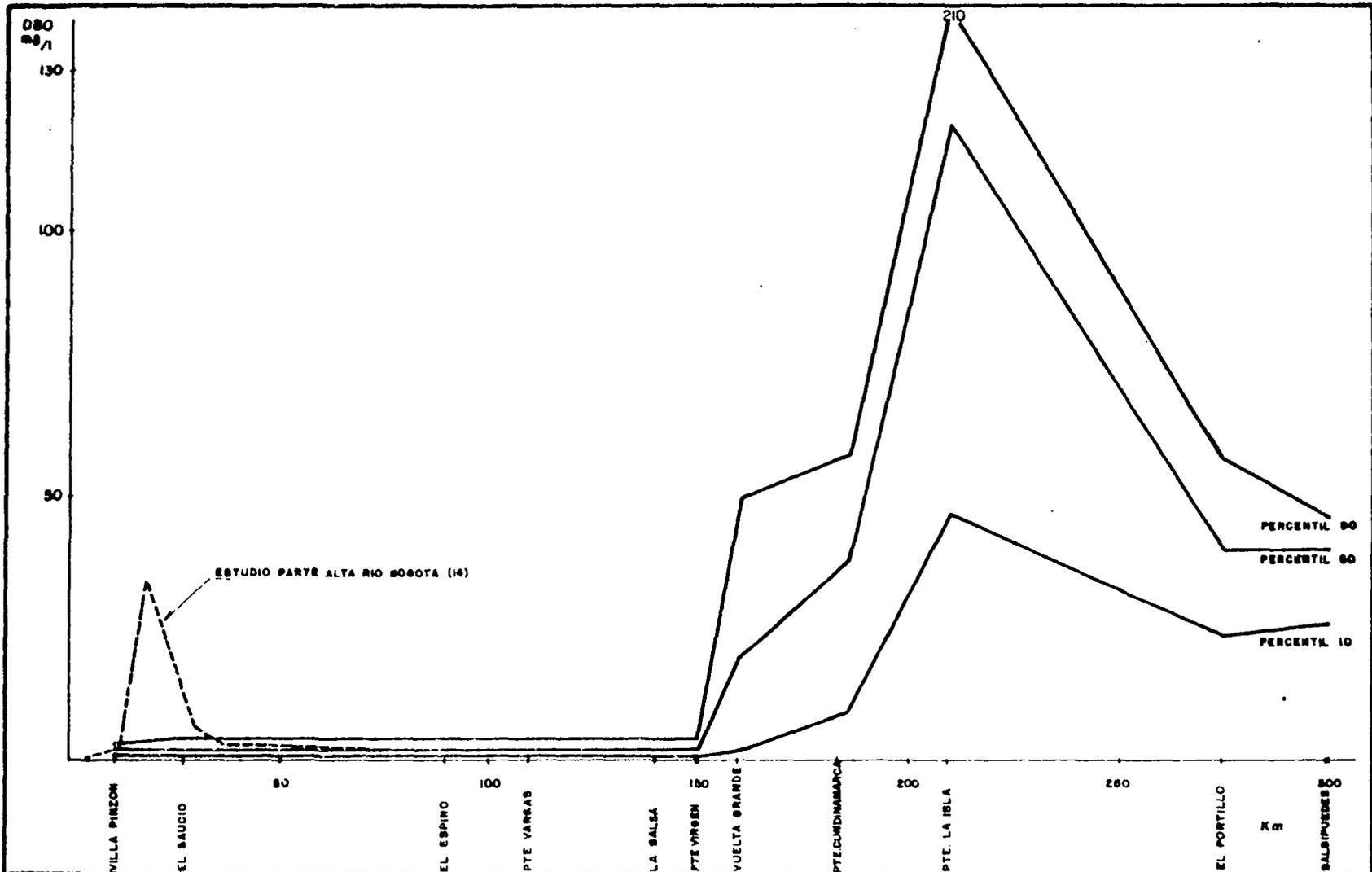
MEJIA MILLAN Y PERRY LTDA

LOCALIZACION ESQUEMATICA ESTACIONES, POBLACIONES Y AFLUENTES RIO BOGOTA

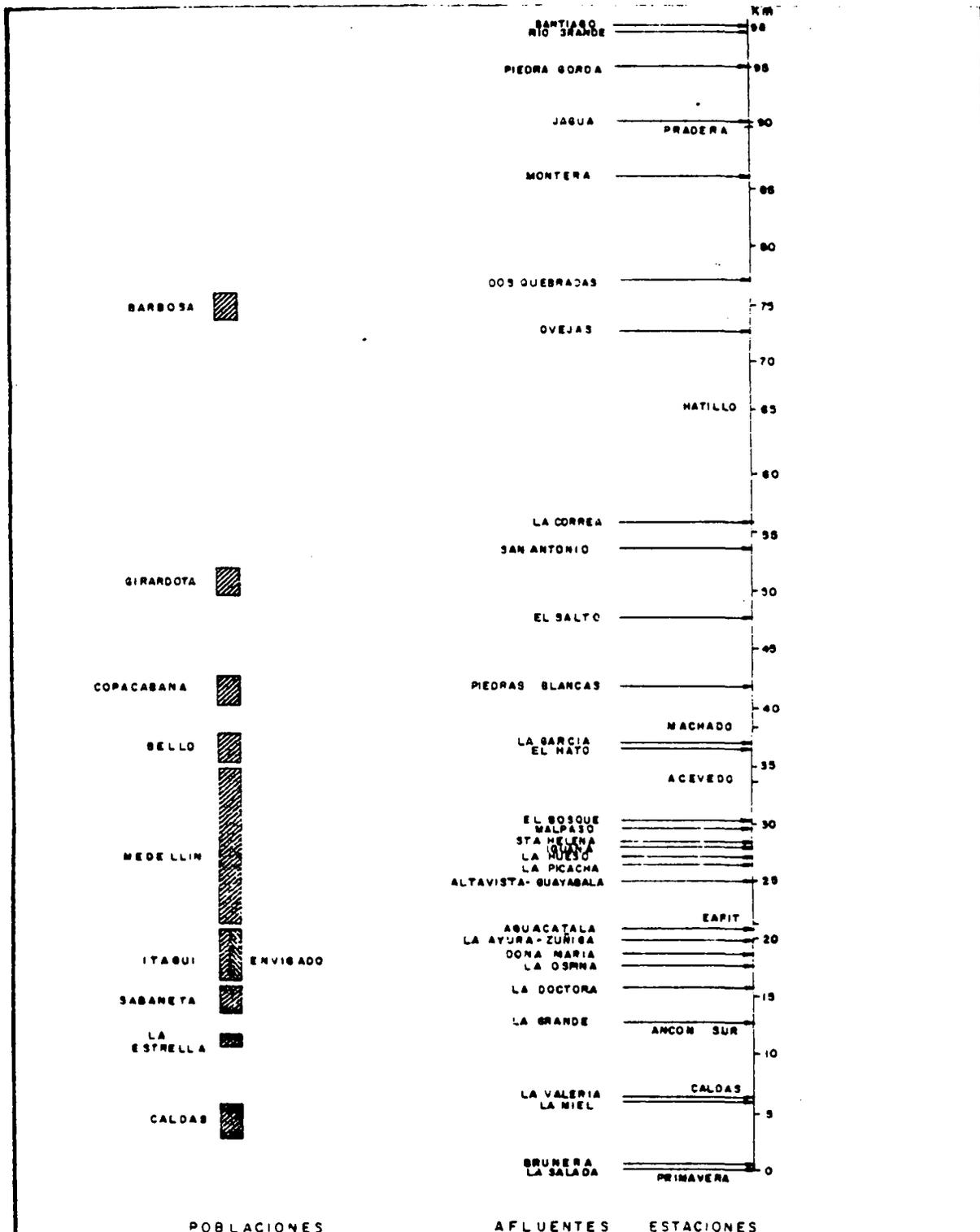
FIGURA N°: 9.2



DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION	ESTUDIO NACIONAL DE AGUAS		FECHA:	FIGURA Nº:
	VARIACION DE OD RIO BOGOTA 1981		Noviembre de 1983	9.3
MEJIA MILLAN Y PERRY LTDA				



DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION	ESTUDIO NACIONAL DE AGUAS	FECHA:	FIGURA N°:
MEJIA MILLAN Y PERRY LTDA	VARIACION DE DBO RIO BOGOTA 1981	Noviembre de 1983	9.4



DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION

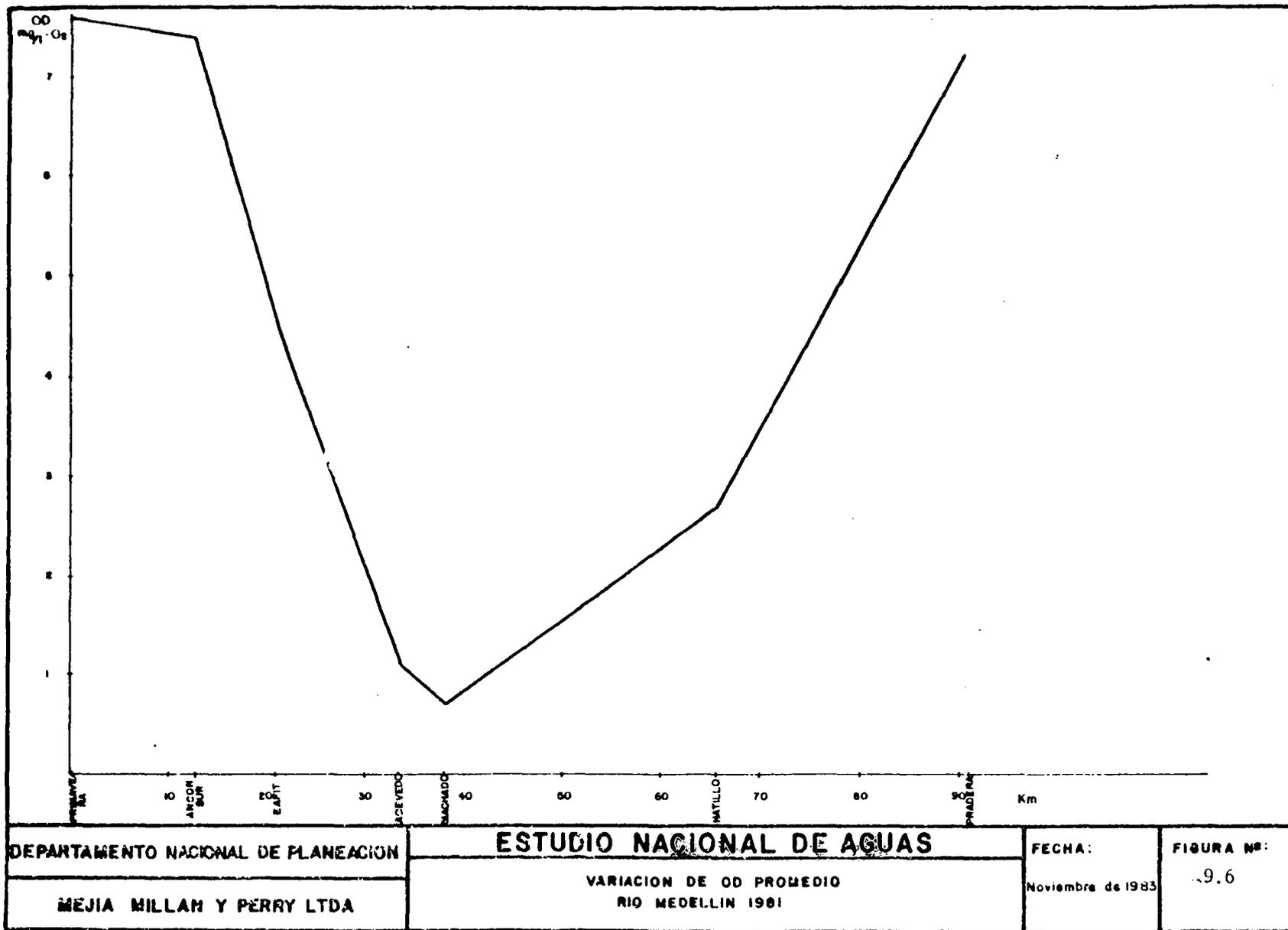
ESTUDIO NACIONAL DE AGUAS

FECHA
Noviembre de 1983

MEJIA MILLAN Y PERRY LTDA

LOCALIZACION ESQUEMATICA ESTACIONES
POBLACIONES Y AFLUENTES RIO MEDELLIN

FIGURA N.º
9.5



DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION

ESTUDIO NACIONAL DE AGUAS

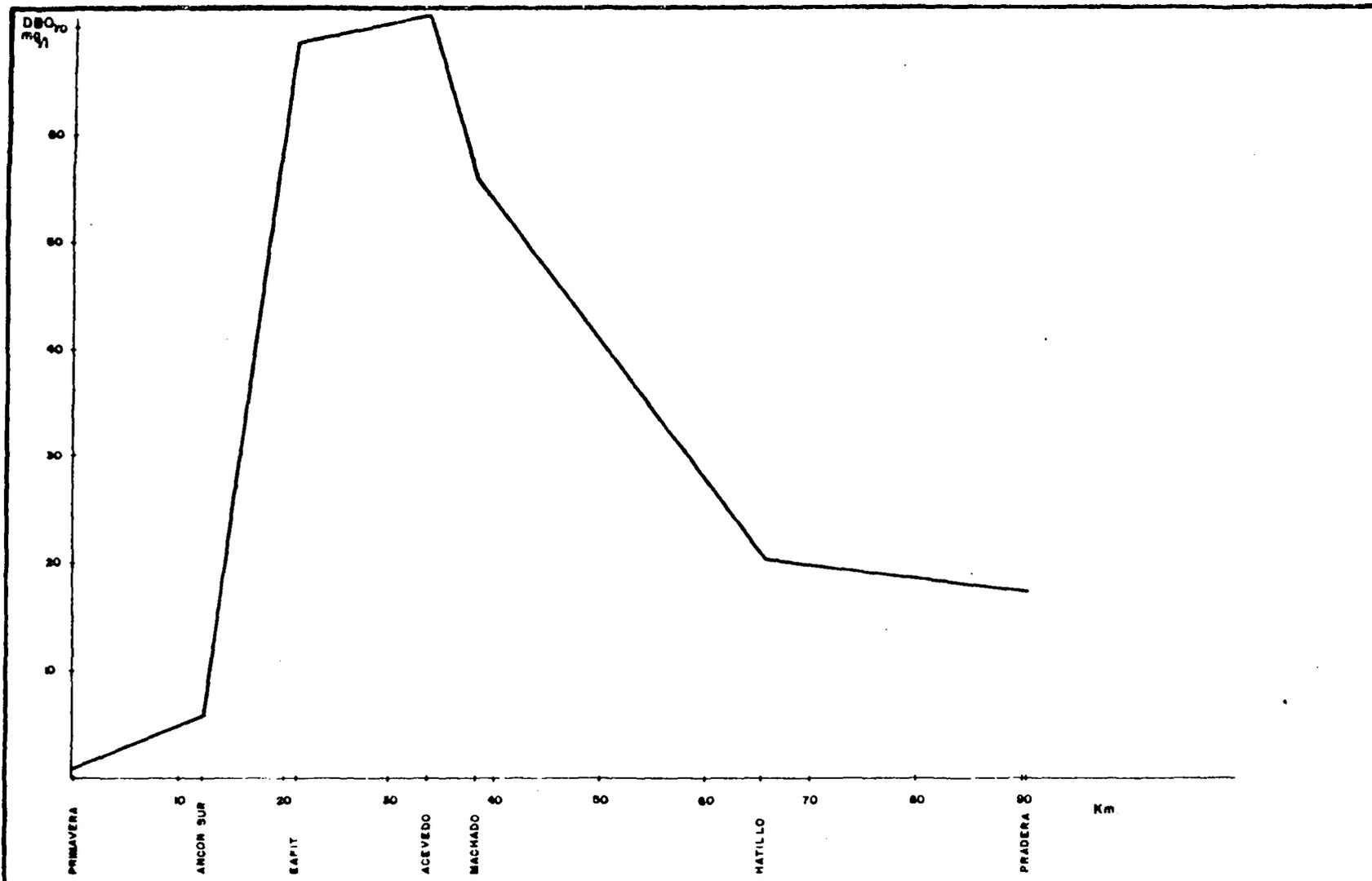
FECHA:
Noviembre de 1983

FIGURA Nº:
9.6

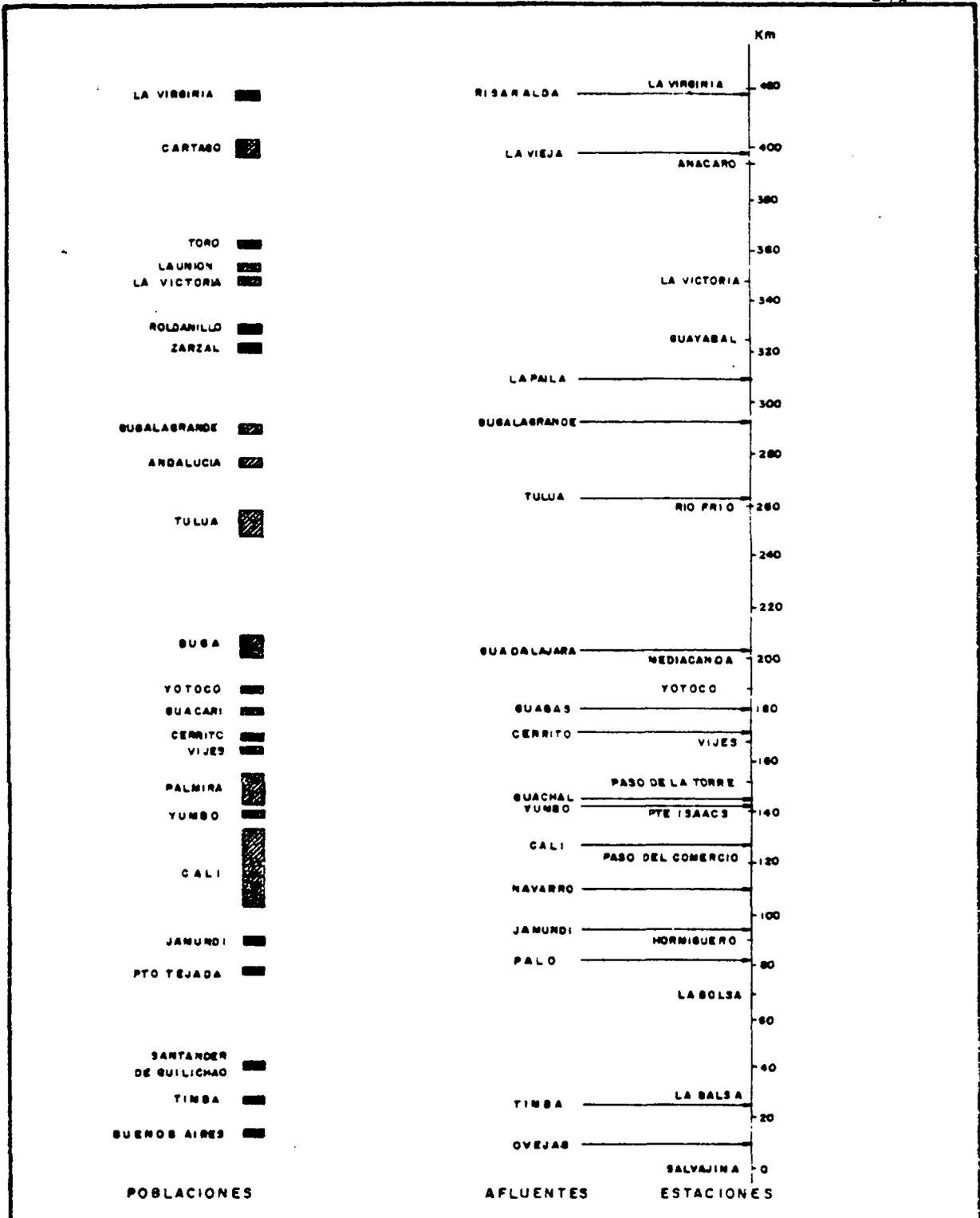
MEJIA MILLAN Y PERRY LTDA

VARIACION DE OD PROMEDIO
RIO MEDELLIN 1981

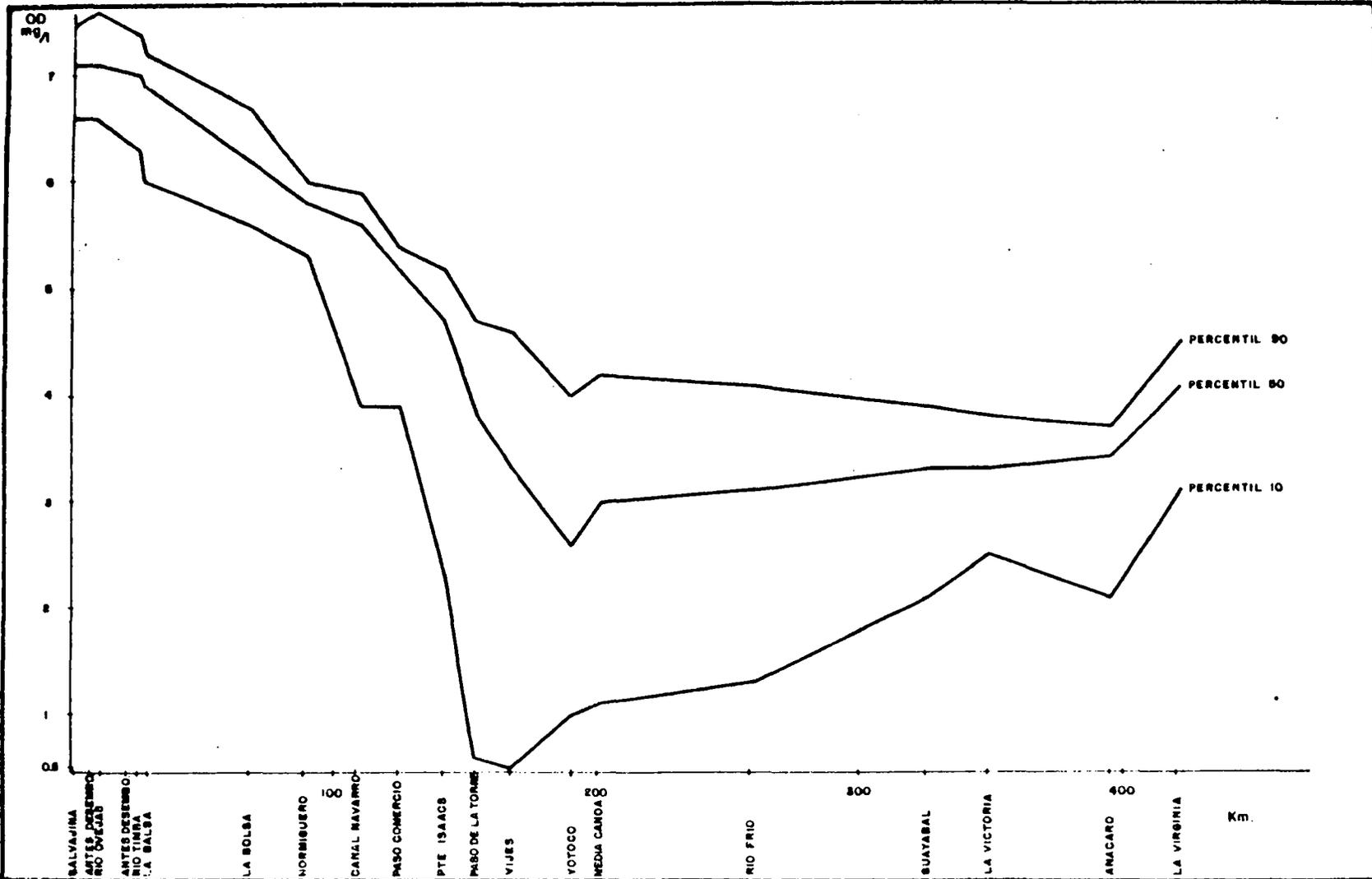
0.7



DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION	ESTUDIO NACIONAL DE AGUAS	FECHA:	FIGURA Nº:
MEJIA MILLAN Y PERRY LTDA	VARIACION DE DBO PROMEDIO RIO MEDELLIN 1981	Noviembre de 1983	9.7

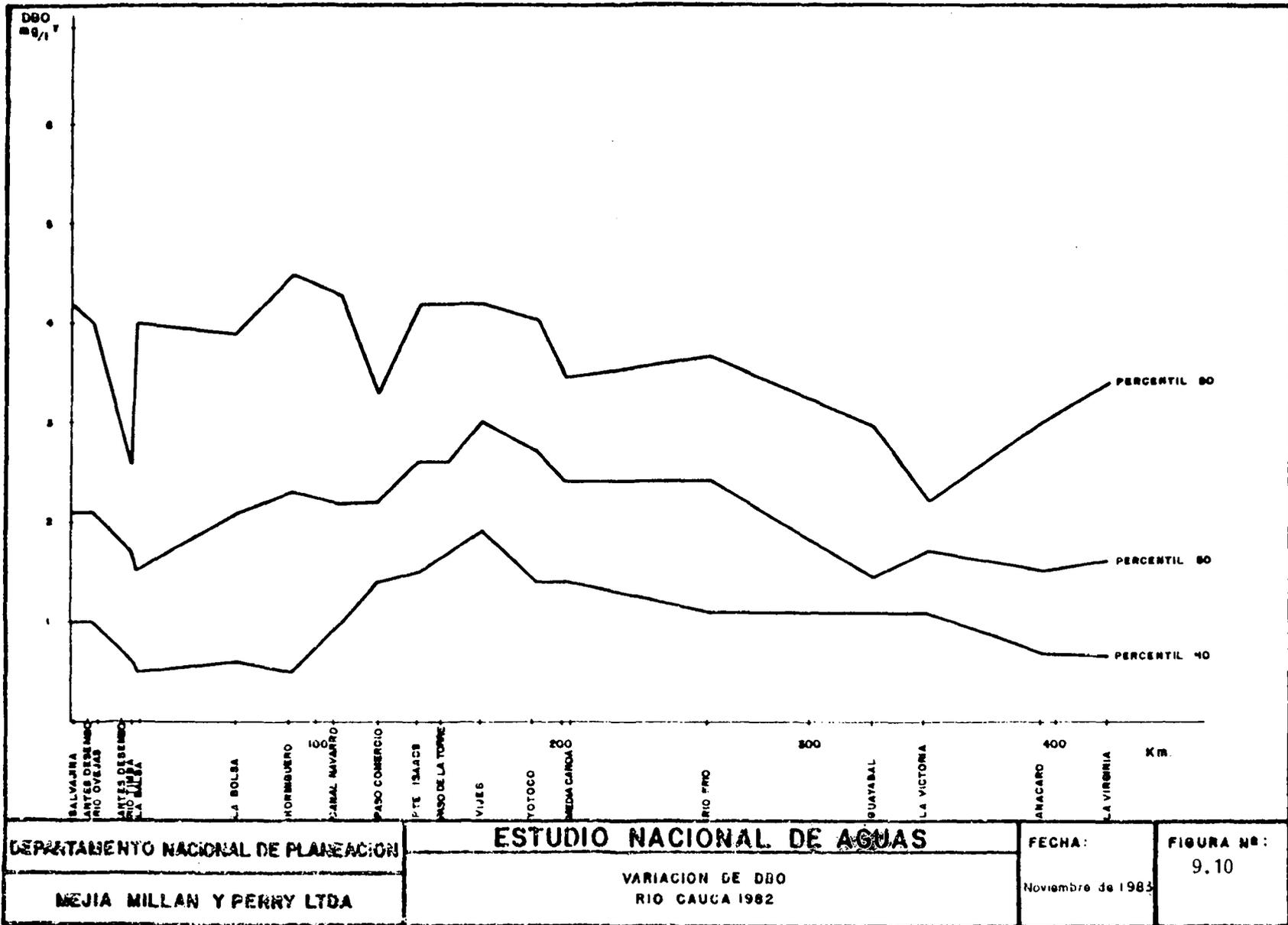


DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION	ESTUDIO NACIONAL DE AGUAS	FECHA: Noviembre de 1983
	MEJIA MILLAN Y PERRY LTDA	LOCALIZACION ESQUEMATICA ESTACIONES CON DATOS DE CALIDAD DE AGUA-RIO CAUCA-CVC
		FIGURA N.º: 9.8



DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION	ESTUDIO NACIONAL DE AGUAS	FECHA:	FIGURA N°:
MEJIA MILLAN Y PERRY LTDA		Noviembre de 1983	9.9

VARIACION DE OD
RIO CAUCA 1982



APENDICE**SUBZONAS HIDROGRAFICAS**

A continuación se presenta la división en cuencas de tercer orden adoptada por el HIMAT, según Resolución No.337 de 1978.

1. CARIBE

- Río Atrato
- 1101 Andágueda
 - 02 Capá
 - 03 Quito
 - 04 Bebaramá y directos Atrato (md) desde bocas Andágueda hasta bocas R. Bebará
 - 05 Munguidó al Buchadó y (md) Atrato desde bocas R. Quito hasta bocas R. Bojayá
 - 06 Ocaidó y (md) Atrato desde R. Bebará - hasta R. Murrí.
 - 07 Murrí
 - 08 Bojayá
 - 09 Opopadó y directos Atrato (mi) desde R. Bojayá al Ipundú.
 - 10 Uradá y directos Atrato (md) desde R. Torquidadó hasta R. Sucio.
 - 11 Sucio alto hasta el R. Pavarandó.
 - 12 Truandó y directos Atrato (mi) desde el R. Ipundú al Truandó.
 - 13 Cucarica y directos Atrato (mi) desde R. Sucio hasta la desembocadura.
 - 14 Tumaradó y directos Atrato (md) desde R. Sucio a la desembocadura.
 - 15 Tanela y directos al Caribe desde las bocas del Atrato al cabo Tiburón.
- Río León
- 1201 León
 - 02 Directos Mulatos
 - 03 San Juan
 - 04 Directo Q. Candelaria
- Río Sinú
- 1301 Alto Sinú hasta bocas R. Esmeralda (mi) y Q. Urrá (md)
 - 02 Verde del Sinú y (mi) hasta Q. Naím.
 - 03 Directos Sinú (md) desde Q. Urrá hasta salida Cga. Betancí
 - 04 (mi) Sinú de Nain a la Q. Cucharó.
 - 05 San Diego y (mi) desde Q. Cucharó hasta bocas San Diego.
 - 06 Ciénaga Betancí y (md) hasta Montería
 - 07 Caño San Carlos y (md) hasta desembocadura.
 - 08 Directos Sinú (mi) desde bocas San Diego a desembocadura.
 - 09 Directos Caribe desde bocas Sinú hasta Pto. Barú.

md: Márgen derecho

mi: márgen izquierdo

- Dique - Bocas 1401 Directos Caribe desde el Canal del -
Dique hasta bocas de Ceniza.
- Guajira 1501 Directos Caribe desde Ciénaga hasta las
Bocas del Don Diego.
02 Don Diego
03 Directos Caribe, desde las bocas del
Don Diego hasta las bocas del Tapias.
04 Tapias
05 Directos Caribe desde Laguna Grande -
hasta Riohacha.
06 Ranchería
07 Directos Caribe desde las bocas del -
Ranchería hasta el Ay. Sharimahana.
08 Directos Caribe Golfo de Venezuela des
de el Ay. Sharimahana aproximadamente
hasta la localidad de El Salado.
- Río Catatumbo 1601 Pamplonita
02 Zulia
03 Sardinata
04 Tarra
05 Algodonal Alto Catatumbo hasta bocas
del Tarra.
06 Socuavo Norte y Sur y directos Catatum
bo (md)
07 Loro y directos Catatumbo (mi)
08 R. del Suroeste y directos R. De Oro.
- Islas del Caribe 1701 San Andrés
02 Providencia
03 Roncador y Quitasueño

2. MAGDALENA - CAUCA

- Alto Magdalena 2101 Río Magdalena - Salado Blanco
02 (md) Magdalena-Salado Blanco-Río
Suaza.
03 Río Suaza
04 (mi) Salado Blanco - Río Páez
05 Río Páez
06 (md) Río Suaza-Río Neiva
07 (mi) Río Páez-Río Yaguará
08 Río Yaguará

md : Márgen derecha
mi : Márgen izquierda

- 09 (mi) Río Yaguará-Río Baché
- 10 Río Neiva
- 11 (md) Río Neiva-Río Cabrera
- 12 Río Baché
- 13 (mi) Río Baché-Río Saldaña
- 14 Río Cabrera
- 15 (md) Río Cabrera-Río Prado
- 16 Río Prado
- 17 (md) Río Prado-Río Sumapáz
- 18 (mi) Río Saldaña-Río Coello
- 19 Río Sumapáz
- 20 Río Bogotá
- 21 Río Coello
- 22 (md) Río Coello-Río Totaré
- 23 (md) Río Bogotá-Arrancaplumas
- 24 Río Totaré
- 25 (mi) Río Totaré-Arrancaplumas

Río Saldaña

- 2201 Río Saldaña-Desembocadura Río Atá
- 02 Río Atá
- 03 (mi) Río Atá-Río Amoyá
- 04 Río Amoyá
- 05 (md) Río Atá- Desembocadura Río Saldaña
- 06 (mi) Río Amoyá-Río Cucuana
- 07 Río Cucuana
- 08 (mi) Río Cucuana-Desembocadura Río Saldaña.

Medio Magdalena

- 2301 Río Gualf
- 02 Río Guarinó
- 03 (md) Arrancaplumas-Río Negro
- 04 (mi) Río Guarinó-Río Samaná Sur
- 05 Río Samaná Sur
- 06 Río Negro
- 07 (mi) Río Samaná Sur-Río Samaná Norte.
- 08 Río Samaná Norte.
- 09 (mi) Samaná Norte-Río Regla
- 10 Río Regla
- 11 (md) Río Negro-Río Carare
- 12 Río Carare
- 13 (md) Río Carare-Río Opón
- 14 Río Opón
- 15 (md) Río Opón-Río Sogamoso
- 16 (mi) Río Regla-Río Cimitarra (Casabe)
- 17 Río Cimitarra
- 18 (md) Río Sogamoso-Río Lebrija
- 19 Río Lebrija
- 20 Brazo Morales
- 21 (md) Río Lebrija-Regidor

Río Sogamoso	2401	Río Suárez-Desembocadura Río Fonce
	02	Río Fonce
	03	Río Chicamocha
	04	(md) Río Fonce-Río Chicamocha
	05	(mi) Río Fonce-Desembocadura Río Sogamoso
	06	(md) Río Chicamocha-Desembocadura Río Sogamoso
Bajo Magdalena	2501	Alto San Jorge
	02	Montelíbano-Caucasia-Río Nechi(La - Esperanza) Achi-Jegua-Regidor-Río Cesar (Caimancito)Plato.
Río Cauca	2601	Río Cauca-Julumito
	02	(md) Julumito-Río Palo
	03	(mi) Julumito-Salvajina
	04	Río Palo
	05	(mi) Salvajina-Juanchito
	06	(md) Río Palo-Juanchito
	07	(md) Juanchito-Río Guachal
	08	(mi) Juanchito-Río Frío
	09	(md) Río Guachal-Río Frío
	10	(md) Río Frío-Río La Vieja
	11	(mi) Río Frío-Río Risaralda
	12	Río La Vieja
	13	(md) Río La Vieja-Río Chinchiná
	14	Río Risaralda
	15	Río Chinchiná
	16	(md) Río Chinchiná-Río Arma
	17	(mi) Río Risaralda-Río San Juan
	18	Río Arma
	19	Río San Juan
	20	(md) Río Arma-Paso Real
	21	(mi) Río San Juan-Paso Real
	22	(mi) Paso real-Pto.Valdivia
	23	(md) Paso Real-Pto.Valdivia
	24	(mi) Pto.Valdivia-Caucasia
	25	(md) Pto.Valdivia-Caucasia
Río Nechi	2701	Río Porce
	02	Río Nechi
	03	(md) Río Porce-La Esperanza
	04	(mi) Río Porce-La Esperanza
Río Cesar	2801	Río Cesar-Desembocadura Río Guatapurí
	02	(mi) Desembocadura Río Guatapurí-Caimancito.

2803 (md) Desembocadura Río Guatapurí-Río
Ariguani
04 Río Ariguani

Costa

2901 (mi) Plato-Calamar
02 (md) Plato-Calamar
03 Canal del Dique
04 (mi) Calamar-Barranquilla
05 (md) Calamar-Barranquilla
06 Ciénaga Grande de Santa Marta

3. ORINOCO

Río Infrida

3101 Cabeceras Infrida hasta el raudal Las
Chulas.
02 (mi) Infrida desde el raudal las Chulas
hasta aguas abajo del raudal del Asti-
llero.
03 Directos Infrida (md) desde el raudal
las Chulas hasta el límite entre Vau-
pés y Guanfa.
04 Directos Infrida (mi) desde aguas aba-
jo del raudal Astilleros hasta el lí-
mite entre Vaupés y Guainia.
05 Papunaya
06 Directos Infrida (mi) desde el límite
Vaupés Guainia hasta bocas del río Viñas
07 Directos Infrida (md) desde el límite
Vaupés Guainia hasta bocas del Río
Noncini.
08 Las Viñas y (mi) Infrida hasta bocas
del Cañón Bocón.
09 Directos Infrida (md) desde el Río Non-
cini hasta la frontera con Venezuela.
10 Caño Bocón hasta Infrida con Guaviare

Río Guaviare

3201 Cabeceras Guayabero hasta bocas del -
Río Duda.
02 Duda y (mi) del Guayabero hasta el Re-
fugio.
03 Losada y (md) Guayabero hasta el Refu-
gio.
04 Caño Los Cachicanos y (md) Guayabero
desde el Refugio hasta confluencias -
Ariari.
05 Yarumal (mi) Río Guayabero desde el
Refugio hasta Bocas Ariari.

- 3206 Cabeceras Ariari hasta Río Guape.
 07 Río Ariari desde Río Guape al Río Guejar.
 08 Ariari desde Río Guejar hasta la desembocadura.
 09 Directos Guaviare (mi) desde bocas Ariari hasta bocas caño Jabón.
 10 Guaviare (md) desde bocas Ariari hasta frente bocas Río Siare.
 11 Directos Guaviare (mi) desde caño Jabón hasta Río Siare.
 12 Siare
 13 Itaviare
 14 Directos Guaviare (mi) entre E. Itaviare y bocas del Río Uvá
 15 Guaviare (md) desde frente bocas Caño Siare y Caño Minisiare.
 16 Cabecerá Uvá hasta bocas caño Segura
 17 Río Uvá desde caño Segura hasta Río Chupave.
 18 Uvá desde Río Chupave hasta su desembocadura.
 19 Margen derecha río Guaviare hasta confluencia con el Río Inírida.
 20 Afluentes margen izquierda Río Guaviare incluyendo desembocadura Río Inírida (mi) en Río Orinoco.

Río Vichada

- 3301 Tiyabá
 02 Planas
 03 Muco y (mi) Vichada desde bocas Tiyabá hasta Río Muco.
 04 Directos Vichada (md) desde bocas Tiyabá hasta caño Dama.
 05 Directos Vichada (mi) desde bocas Río Muco hasta frente caño Dama.
 06 Directos Vichada (mi) desde frente al caño Dama hasta desembocadura.
 07 Directos Vichada (md) desde caño Dama a la desembocadura.

Río Tomo

- 3401 Alto Tomo hasta desembocadura del Río Elvita.
 02 Elvita
 03 Directos Tomo (md) desde el Río Elvita hasta la desembocadura.
 04 Directos Tomo (mi) desde el Río Elvita al Liqui.

- 5405 Caño Liqui
06 Directos Tomo (mi) desde el Río Li-
qui a la desembocadura.
- Río Meta
- 3501 Camoa cabeceras Metica hasta el Río
Humea.
02 Negro
03 Guatiquía
04 Guacavia
05 Humea
06 Gachetá
07 Batá
08 Mueche
09 Upía
10 Cabuyarito y (mi) Metica desde el -
Humea al Upía.
11 Directos Metica (md) desde Pto. López
hasta el Río Yucao.
12 Yucao y (mi) Manacacías desde C. Melúa
hasta desembocadura.
13 Caño Melúa
14 Directos Manacacías (mi) desde caño -
Pauto hasta bocas Melúa.
15 Alto Manacacías hasta el caño Pauto.
16 Directos Manacacías (md) desde frente
al caño Pauto hasta Melúa.
17 Directos Meta (md) desde frente al Ca
ño Melúa hasta Río Casanare.
18 Túa
19 Cusiana
20 Directos Meta (mi) entre Cusiana y el
Cravo sur.
21 Cravo sur
22 Guanapalo y (mi) Meta entre el Cravo
sur y el río Pauto.
23 Pauto y (mi) Meta entre el Río Pauto
y bocas del caño de la Hermosa.
24 Caño de la Hermosa y (mi) Meta entre
Caño de la Hermosa y Río Casanare.
25 Directos Meta (md) desde frente a -
bocas del Casanare hasta su desembo-
cadura.
26 Caño La Balsa. Meta (md) desde desem
bocadura Pauto hasta confluencia Casa
nare.
- Río Casanare
- 3601 Ariporo
02 Casanare
03 Cravo Norte y Caño Sumaquito

Río Arauca 3701 Chitagá
 02 Margua
 03 Cobugon, Cobaría y Bojaba
 04 Directos Arauca (md) desde el Bojaba hasta el Caño Juyú.
 05 Directos Arauca (md) del caño Juyú en adelante.

Río Orinoco 3801 Vita y (mi) Orinoco desde el Tomo hasta el Río Vita.
 02 Tuparro
 03 Caño Mataven y (mi) Orinoco del Guaviare al Vichada.
 04 Directos Atabapo.

4. AMAZONAS

Río Guainfa (Negro) 4101 Chamusiqueni (Alto Guainfa) hasta el Río Tamón.
 02 Directos Guainfa (md) desde el Río Tamón hasta el Río Naquiéni.
 03 Directo Guainfa (mi) desde Río Tamón hasta Caño Canapiare.
 04 Naquiéni
 05 Caño Asamaísi y (mi) Guainfa desde Caño Canapiare hasta frontera.
 06 Guainfa (md) desde frente a caño Canapiare hasta Río Tomo
 07 Directos Negro (md)
 08 Cuiary
 09 Alto Isana hasta Río Arara.

Río Vaupés 4201 Itilla
 02 Unilla
 03 Directos Vaupés (mi) desde confluencia Itilla Unilla hasta caño Guzacú.
 04 Directos Vaupés (md) desde confluencia Itilla Unilla hasta Río Ruy
 05 Directos Vaupés (mi) desde caño Guzacú hasta la localidad de Pedro Chicó
 06 Directos Vaupés (md) desde Río Frente a bocas Querary.
 07 Marguen izquierda Vaupés desde localidad de Pedro Chicó hasta bocas Querary.
 08 Querary.
 09 Papury

- 10 Directos Vaupés (md) entre bocas Quereary y bocas Río Papuri.
- Río Apaporía
- 4301 Tunia (Alto Apaporis) hasta localidad de Dos Ríos.
- 02 Ajaijú
- 03 Directos Apaporis (mi) desde localidad de Dos Ríos hasta bocas Río Cananari.
- 04 Directos Apaporis (md) desde la localidad de Dos Ríos frente a Río Cananari.
- 05 Directos Apaporis (md) desde frente a bocas Río Cananari hasta la desembocadura.
- 06 Cananari y (mi) Apaporis hasta bocas Río Pira.
- 07 Pira.
- 08 Directos Apaporis (mi) desde Río Pira hasta la desembocadura.
- 09 Iaraira (md)
- Caquetá Alto
- 4401 Alto Caquetá hasta la localidad de la Angostura.
- 02 Directos Caquetá (mi) desde la Angostura hasta el Orteguaza.
- 03 Alto Orteguaza hasta confluencia con el Río Pescado.
- 04 Pescado
- 05 Peneya y (mi) Orteguaza desde el Río Pescado a su desembocadura.
- 06 Orteguaza (md) desde el Río Pescado a su desembocadura.
- 07 Directos Caquetá (md) desde la Angostura al Río Mecaya.
- 08 Mecaya
- 09 Sencella
- 10 Rutuya y (mi) desde frente bocas Mecaya hasta bocas Río Caguán.
- 11 Directos Caquetá (md) desde Río Sencella hasta bocas Río Caguán.
- 12 Directos Caquetá (mi) desde Río Caguán hasta bocas Río Cuemani.
- 13 Directos Caquetá (md) desde frente a bocas del Caguán hasta frente a bocas del Yari.
- 14 Directos Caquetá (mi) desde Río Cuemani hasta Río Yari.

- 4415 Directos Caquetá (mi) desde Río Yarf -
hasta Río Muritiparaná.
16 Directos Caquetá (md) desde bocas -
Yarf hasta Río Cabuinare
17 Río Cabuinare.
18 Muritiparaná
19 Quebradon y (md) Caquetá desde Río
Cabuinare hasta la frontera.
20 Q. Aguablanca.

Río Yarf

- 4501 Alto Yarf
02 Camuya
03 Directos Yarf (md) hasta el Río Luisa
04 Directos Yarf (mi) desde Río Camuya
al Río Tajisa.
05 Directos Yarf (mi) desde bocas Río -
Tajisa al salto san Rafael.
06 Luisa
07 Directos yarf (mi) del Salto San Ra-
fael al Río Cuñare.
08 directos Yarf (md) del Salto San Ra-
fael a la desembocadura.
09 san Jorge (alto Cuñare hasta el Río
Mesa.
10 Río Mesa.
11 Río Cuñare (mi) hasta desembocadura.

Río Caguán

- 4601 Alto Caguán hasta Río Guayas
02 Guayas (mi) hasta Río Caguán
03 Uaya y (md) Guayas hasta Río Caguán
04 Directos Caguán (mi) desde Río Guayas
hasta frente bocas R. Sunsilla.
05 Sunsiya
06 Directos Caguán (mi) desde bocas del
Sunsilla a la desembocadura
07 Directos Caguán (md) desde bocas del
Sunsilla a la desembocadura.

Río Putumayo

- 4701 Alto Putumayo hasta Cuimbé
02 San Miguel
03 Directo Putumayo (mi) desde Cuimbé -
hasta Pto. Leguízamo.
04 Directo Putumayo (mi) desde Pto. Le-
guízamo hasta bocas del Cara Paraná
05 Cara Paraná
06 Putumayo (mi) desde bocas del Cara -
Paraná hasta el Igara Paraná.
07 Igara Paraná
08 Directos Putumayo (mi) del Igara Pa-
raná al Yuria.

4709 Directos Putumayo (mi) del Yurfa a -
la frontera brasileña
10 Cotuhé
11 Purité

Varios Amazonas 4801 Directos Amazonas

5. PACIFICO

Río Mira 5101 San Juan
02 Guiza
03 Caunapi
04 Chagui

Río Patía 5201 Alto Patía hasta el Guachicono (mi)
hasta frente al Guaitara (md)
02 Guachinoco
03 Mayo
04 Juananbú
05 Guaitara
06 Telembí y margen izquierdo
07 Maguí
08 Directos Patía (md) desde bocas del
Guaitara hasta pueblo de Quitasol.
09 Patía Viejo y directos Patía

Patía - San Juan 5301 Amarales
02 Tapaje
03 Iscuandé
04 Guapí
05 Timbiquí
06 Saija
07 San Juan del Micay
08 Naya y San Agustín
09 Agua Sucia al Reposo
10 Anchicayá
11 Dagua

Río San Juan 5401 Alto San Juan hasta bocas del Río -
Condoto
02 Tamaná y Condoto
03 Sipi Garrapatas
04 Negro
05 Capamá - Cucurrupe
06 Munguido
07 Calima y Bajo san juan (mi)
08 Directos San juan (md) entre bocas -
condoto y Río Docordó
09 Directos San Juan (md) entre Río Do-
cordó y desembocadura.

Río Baudó	5501	Baudó
	02	Directos Pacifico entre bocas del - San Juan y del Baudó
Baudó-Paraná	5601	Directos Pacifico entre bocas del Bau- dó y frontera con Panamá.
Islas del Pacifico		
	5701	Malpelo
	02	Gorgona