

**INFORME PRELIMINAR SOBRE IRRIGACION CON AGUA SUBTERRANEA,  
DEL MUNICIPIO DE CODAZZI, DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA**

POR  
**JAIME LOPEZ CASAS**

---

INFORME No. 1289

---

SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL  
BOGOTA. 1962

## CONTENIDO:

INTRODUCCIÓN . . . . .	51
GEOGRAFÍA GENERAL . . . . .	53
GEOLOGÍA GENERAL . . . . .	56
ESTRATIGRAFÍA . . . . .	56
HIDROGEOLOGÍA . . . . .	61
CONSIDERACIONES GENERALES . . . . .	73
NECESIDAD DE UNA LEGISLACIÓN SOBRE LA EXPLOTACIÓN DE AGUAS SUB- TERRÁNEAS . . . . .	75

## INTRODUCCION

### ORIGEN DEL ESTUDIO

*En desarrollo de un plan encaminado al total y efectivo aprovechamiento de los grandes recursos de aguas del subsuelo con que cuenta Colombia, el Servicio Geológico Nacional se encuentra ahora empeñado en promover la utilización del agua subterránea para la irrigación. La primera etapa de ese plan, o sea la utilización de pozos de agua para el abastecimiento público de ciudades y pueblos, ha sido aceptada y cuenta con un impulso propio. Al promover el uso de aguas subterráneas para la irrigación, nuestra intención es la de una explotación en grande escala, técnica, económica y organizada.*

*Esta iniciativa mereció la atención del Ministerio de Agricultura, que le brindó magnífica acogida. A solicitud del Instituto de Fomento Algodonero, el Ministerio de Minas y Petróleos dictó la Resolución número 41 de 1958 para que una Comisión del Servicio Geológico Nacional se trasladara a Codazzi, Magdalena, e hiciera el estudio de las posibilidades de aprovechar los recursos de aguas subterráneas de esa zona para la irrigación de las progresistas plantaciones algodonerías de esa región.*

### AREA CUBIERTA POR EL ESTUDIO Y PLAN DE TRABAJO

*El plan de trabajo fue ejecutado de acuerdo con el IFA, que compiló los datos meteorológicos existentes para la zona de interés y señaló que el punto de estudio lo comprendían los alrededores de Codazzi, donde florece hoy, bajo el patrocinio del IFA, una de las regiones algodonerías de mayor potencialidad en el país. La zona está situada sobre la carretera Valledupar-La Jagua, en el Departamento del Magdalena.*

*La Comisión determinó unos límites naturales para el estudio, constituidos por las colinas de Pinilla y los Braziles al N.W., las estribaciones de la Serranía de Perijá al E., los afloramientos del Cretáceo en las cercanías de Becerril, y una línea vertical a unos 25 km. al W. de Codazzi, cerrando el polígono. El área en cuestión tendría unos 780 km.<sup>2</sup>, que se pueden considerar como los de mayor potencial para los cultivos por sus condiciones de suelo y clima. La limitación de tiempo en el estudio de campo hizo que la investigación se redujera a esta zona, donde es mayor la actividad en la siembra de algodón y está limitada por barreras sub-*

*terráneas que determinan el flujo de las corrientes de agua dentro del depósito cuaternario de gredas, arenas y gravas.*

*Durante el estudio de campo se visitaron los afloramientos de rocas estratigráficas más notables de la zona, se estudiaron las terrazas y materiales aluviales del suelo, se examinaron los cauces y caudales de las corrientes superficiales, especialmente en cuanto a la composición del material aluvial y el caudal de sus aguas al descender de la Serranía, y por varios kilómetros adentro de la cuenca del río Cesar; se hizo el inventario de todas las fuentes de agua que brotan en la región y de casi todos los aljibes y cualquier otra evidencia del agua subterránea. Antes de terminar el estudio, se hizo un reconocimiento aéreo de la zona, volando en avioneta por espacio de una hora.*

*Para la redacción del presente informe se han tenido en cuenta los datos suministrados por el IFA y los consignados por L. Fernando Irusta y Emilio A. Fortoul, Ingenieros Agrónomos, en su estudio de los "Suelos del Departamento del Magdalena y la Intendencia de La Guajira", publicado por el Instituto de Fomento Algodonero en 1957.*

## GEOGRAFIA GENERAL

### *Localización, topografía e hidrografía.*

El área a que se refiere el presente informe está localizada en la vertiente oriental de la hoya del río Cesar, entre la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá, en el Noreste colombiano, Departamento del Magdalena, Municipio de Robles, poblaciones de Codazzi y Becerril. La Serranía de Perijá, al Este, limita el amplio y fértil valle, y comprende las cabeceras de todas las corrientes que de ese lado descienden hacia el río Cesar, el cual corre en dirección SW, es decir, hacia el Magdalena; todas las corrientes estudiadas pertenecen a este sistema hidrográfico.

La topografía del valle es muy suave, con pendientes en las terrazas de 1 hasta 3%. En el extremo noroccidental se levantan algunas colinas de escasa elevación pero abruptas, formando una cadena que interrumpe el valle en sentido diagonal. Las estribaciones de la Serranía de Perijá también se levantan abruptas, pero los afloramientos del Cretáceo en el extremo Sur, hacia Becerril, tienen muy poca expresión topográfica.

Las corrientes de agua que cruzan la zona tienen una dirección SW, hacia el río Cesar; las principales son, de Norte a Sur, el río Espíritu Santo, el río Siricare, y el río Maracas; pero fuera de éstos hay numerosas quebradas o caños que descienden de la Serranía y que corren por alguna distancia en el valle, para luego desaparecer por infiltración en el suelo, que es lo suficientemente permeable.

La altura de la región estudiada sobre el nivel del mar es de unos 150 metros, y el clima es esencialmente tropical.

### *Clima.*

El clima de la región de Codazzi es ardiente, con temperaturas máximas que pueden llegar hasta los 38° y mínimas de 20°; la región ha sido calificada de tropical; lluviosa, húmeda y a veces seca.

La humedad parece ser variable entre el 50 y el 90%, de acuerdo con los períodos secos y húmedos en el año. Las lluvias tienen dos períodos, de septiembre a comienzos de diciembre, y de abril a junio. El período de sequía es de diciembre a marzo.

Los datos disponibles sobre la precipitación media anual, así como todos los datos meteorológicos de la región, son muy escasos. El presente informe incluye un cuadro con los datos pluviométricos disponibles. Haciendo consideraciones de orden general para la región de Codazzi, se puede calcular que el promedio de varios años sería del orden de 1.300 mm. por año. Esta cifra, que no es excesiva, se podría aceptar para los cálculos

DATOS PLUVIOMETRICOS ENTRE VALLEDUPAR Y EL BANCO

	C O D A Z Z I						VILLA- NUEVA	AGUACHICA	VALLEDUPAR		
	Instituto de Fomento Algodonero			Hacienda "El Porvenir"		Hacienda "La Campana"	Campamento de Intercol.				
	1955	1956	1957	1955	1955	1957	1955	1954	1955	1933	1955
Enero	—	0.8	0.0	0.0	0.0	—	0.0	—	37.8	23.6	0.0
Febrero	—	135.0	10.0	0.0	7.0	—	0.0	—	48.8	—	6.5
Marzo	206.0	77.0	61.8	69.5	107.0	33.0	2.5	—	60.6	61.8	8.4
Abril	25.0	—	94.0	148.5	149.0	68.0	113.5	—	95.8	23.5	17.5
Mayo	138.0	107.2	204.0	148.5	71.0	322.0	33.0	76.5	111.3	56.5	69.0
Junio	316.0	81.0	46.0	140.5	147.0	34.0	61.0	120.5	229.0	260.5	134.0
Julio	184.0	100.0	31.0	126.0	34.0	40.0	103.3	136.4	134.0	229.2	35.0
Agosto	143.0	174.8	81.0	202.5	113.0	58.0	157.5	87.5	76.9	139.3	175.1
Septiembre	184.0	165.0	—	186.0	163.0	110.0	102.5	158.8	194.8	165.4	124.5
Octubre	302.0	346.0	145.0	326.0	301.0	164.0	182.5	332.0	290.4	64.5	224.1
Noviembre	137.0	114.0	106.0	88.0	197.0	42.0	147.0	93.6	167.3	127.5	187.5
Diciembre	86.0	17.0	37.0	30.0	53.0	37.0	0.0	30.3	27.6	—	0.0
Total	1,721.0	1,317.8	815.8	1,465.5	1,342.0	908.0	902.8	1,035.6	1,474.3	1,151.8	981.6
Días de lluvia	64	—	—	—	—	—	—	—	—	54	68

	VALLEDUPAR				EL BANCO			CHIRIGUANÁ			
								Hacienda "Santa Ana"			
	1956	1957	1934	1935	1936	1944 / 1945	1954	1933	1934	1935	
Enero	54.0	0.0	36.0	70.0	0.0	9.7	0.0	4.0	46.1	46.0	
Febrero	0.0	1.0	—	29.2	0.0	26.9	0.0	0.2	3.5	12.8	
Marzo	13.0	26.2	96.4	5.5	59.0	15.5	30.0	1.5	8.0	16.0	
Abril	110.0	32.5	88.0	88.9	130.5	106.6	122.5	170.0	20.7	158.8	
Mayo	45.5	271.5	308.0	288.0	280.0	150.9	197.0	170.5	199.1	166.6	
Junio	69.0	67.5	229.0	123.5	416.9	286.1	152.0	288.7	166.4	172.7	
Julio	47.0	96.0	97.3	42.7	250.7	239.7	155.0	155.2	75.8	108.4	
Agosto	109.0	70.0	185.4	380.9	194.3	176.4	168.5	189.5	189.5	333.4	
Septiembre	94.0	139.0	143.6	249.5	235.4	149.4	192.0	230.1	230.1	—	
Octubre	93.5	179.0	583.0	140.4	590.4	67.9	500.0	302.9	302.9	—	
Noviembre	29.0	—	363.2	331.7	—	18.6	503.0	387.7	387.7	—	
Diciembre	0.0	—	30.0	—	—	0.0	23.0	42.3	42.3	—	
Total	664.0	882.7	2,159.9	1,750.3	2,157.2	1,247.7	2,143.5	1,942.6	1,622.1	1,014.7	
Días de lluvia	67	—	85	75	68	—	—	113	69	50	

preliminares. En cuanto a la intensidad de las lluvias, parece que con frecuencia son de carácter torrencial, lo cual tiene importancia, debido a que la infiltración es más lenta que la precipitación, y por lo tanto el escape superficial y la evaporación son más activos.

La evaporación debe ser muy variada, como lo indica la humedad relativa, pero la alta temperatura propia de la región permite pensar que sea muy activa, extendiéndose hasta los niveles freáticos, dada la porosidad del terreno y lo alto de este nivel. Las cifras situadas por Irusta y Fortoul, obtenidas en Malambo, Atlántico, de 10,6 mm. diarios como máximo y de 2,12 mm. diarios como mínimo, seguramente son excedidas en Codazzi.

### *Vegetación, cultivos y geografía humana.*

El valle del río Cesar presenta una vegetación muy variada, a veces selvática, que incluye árboles corpulentos, arbustos y plantas en general, propias de los climas tropicales húmedos. La madera es una de las principales riquezas de la zona, pero en realidad hoy es un obstáculo para el cultivo de algodón, que rápidamente se extiende. La limpieza del terreno para la agricultura se hace con maquinaria pesada, especialmente para el destronque; esta operación influye notablemente en el precio de la tierra. La madera parece que solamente se aprovecha localmente, y en mucha cantidad es quemada.

El aprovechamiento primitivo de la tierra se concentraba hasta hace unos pocos años en la ganadería y algunas siembras escasas de maíz, yuca y plátano. Pero la economía regional está siendo completamente transformada por el cultivo del algodón y por cultivos de rotación, como el ajonjolí y el frijol. En 1957 se habían sembrado unas 8.000 hectáreas de algodón, y los planes de incremento son de un ritmo acelerado. La región ha probado tener condiciones de suelo y de clima muy conveniente a este cultivo, el cual recibiría gran beneficio si fuera posible irrigar la tierra en los meses de sequía, de diciembre a marzo. A tal fin se orienta el presente estudio.

La región, que en el pasado estaba muy escasamente poblada, tiene ahora una intensa actividad humana. Los antiguos caseríos como el propio Codazzi, son hoy poblaciones permanentemente establecidas y en vía de un gran progreso. Debido a las perspectivas económicas de la región, se ha presentado una gran afluencia de gentes provenientes de todas las secciones del país, especialmente del interior de la República. Recientemente la región cubierta por el presente estudio ha sido propuesta para la creación de un nuevo Municipio, separándolo del Municipio de Robles, del cual ha formado parte hasta ahora.

En tiempos de la recolección del algodón, que es una labor manual, la afluencia de mano de obra es muy grande, y seguramente aumentará. La actividad agrícola está orientada por la mecanización, respaldada por una intensa y variada actividad humana.

No conocemos estadísticas de población de la región que nos ocupa, pero estamos seguros de que el nuevo Municipio tendrá unos 10.000 habitantes, número que continuamente irá en aumento.

## GEOLOGIA GENERAL

El valle del río Cesar es a la vez una cuenca topográfica y geológica, limitada al Oriente por la Serranía de Perijá y al Occidente por la Sierra Nevada de Santa Marta, y su prolongación subterránea hacia el SW. La historia geológica de esta cuenca ha sido intensa, y en los afloramientos en las dos sierras se presentan rocas del basamento ígneo, rocas ígneas intrusivas más jóvenes, rocas parametamórficas paleozoicas, hasta ahora pobremente diferenciadas, estratos muy endurecidos del Jura-Triásico (grupo de Girón); estratos normales del Cretáceo (equivalentes de los grupos Villeta y Guadalupe) y estratos erosionados del Terciario. La cuenca mayor se encuentra cortada por las colinas Jura-Triásicas que entre Codazzi y San Diego se prolongan hasta el río, formando hidrogeológicamente dos cuencas menores, una de las cuales es la de Codazzi que nos ocupa y cuyos límites ya hemos establecido.

El área en cuestión sólo comprende una parte del flanco oriental de la gran cuenca, hacia su zona axial, puesto que el eje de la gran estructura enterrada parece recostado contra la Serranía de Perijá. La zona visitada para el presente informe está en un 90% cubierta por sedimentos cuaternarios de terrazas y aluviones. Las rocas del Terciario no se encontraron aflorando dentro del área visitada.

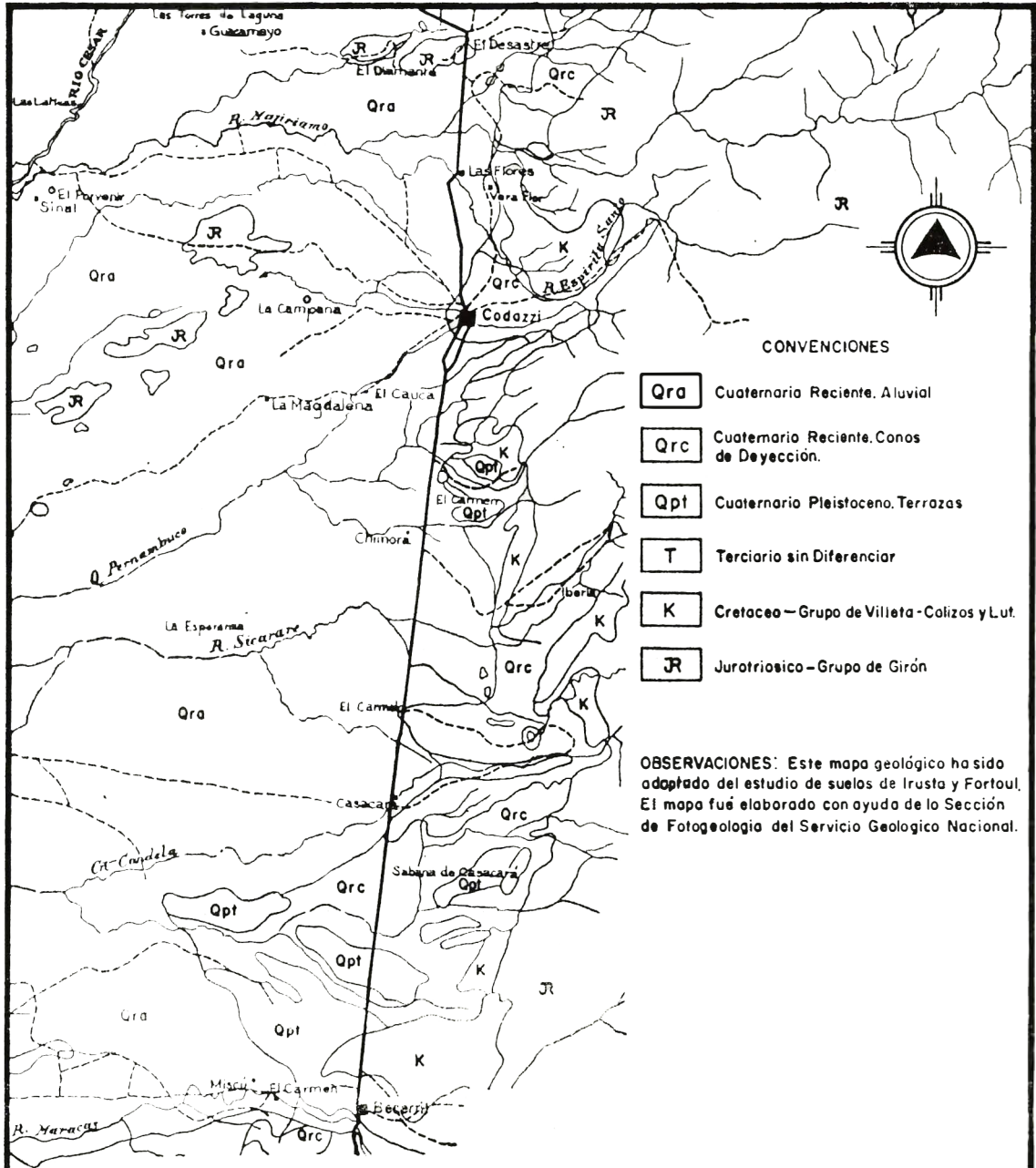
## ESTRATIGRAFIA

*Cuaternario:*

*Aluvial.*—Comprende los sedimentos aluviales, es decir, los formados por arenas y arcillas con algunas gravas acumuladas por el río Cesar y sus afluentes en condiciones normales y de crecientes. El suelo producido por estos sedimentos es permeable, pues está compuesto por arcillas y lodos arenosos. Seguramente que estos sedimentos aluviales influyen en el subsuelo arenas de todos los diámetros y lentes de grava, especialmente en el contacto sobre los estratos antiguos que forman la cuenca. El material aluvial parece mantener los mejores suelos para los cultivos de algodón. Su espesor puede alcanzar más de 50 m., aun cuando ahora no hay evidencia de esto, pues en ninguna parte hay una sección de ellos expuesta a los numerosos aljibes que existen; en ese material sólo lo penetran unos pocos metros.

*Terrazas y conos de deyección.*—Se diferencian por incluir principalmente gravas y arenas y estar localizados en zonas altas, al pie de la Serranía de Perijá. Su característica principal es la gran permeabilidad. Estos depósitos en el subsuelo deben tener una forma lenticular que se extiende dentro del aluvial; es posible que el aluvial haya cubierto completamente algunas terrazas. Las gravas disminuyen en granulometría hacia el interior del valle y están compuestas por partículas redondeadas provenientes de las areniscas y arcillas silicosas duras del Jura-Triásico, cuyos colores rojizos claros y verdes pálidos los hacen fácilmente identificables, y por partículas negras o grises oscuras de las rocas metamórficas paleozoicas. En las terrazas más recientes se encuentran pedazos





- CONVENCIONES
- Qra** Cuaternario Reciente, Aluvial
  - Qrc** Cuaternario Reciente, Conos de Deyección.
  - Qpt** Cuaternario Pleistoceno, Terrazas
  - T** Terciario sin Diferenciar
  - K** Cretaceo — Grupo de Villieta — Colizos y Lut.
  - JR** Jurotriosico — Grupo de Girón

OBSERVACIONES: Este mapa geológico ha sido adaptado del estudio de suelos de Irusta y Fortoul. El mapa fue elaborado con ayuda de la Sección de Fotogeología del Servicio Geológico Nacional.

MAPA GEOLOGICO DE LA REGION DE CODAZZI — MAGDALENA	
INFORME Nº 1289	
GEOLOGIA:	
TOPOGRAFIA: I. G. M. A. C.	PLANCHA Nº 2 DE 5
DIBUJO: G. LA ROTTA A.	REFERENCIA ARCHIVO
FECHA: MAYO DE 1.958	

desprendidos de las calizas cretácicas que afloran bien expuestas en las primeras estribaciones de la Serranía de Perijá, al oriente de Codazzi. Las gravas varían desde los 20 cm. de diámetro hasta las más finas.

#### *Terciario:*

Dentro del área estudiada no parecen aflorar rocas terciarias. Sin embargo, en la zona de La Duda, unos 5 km. al NE de Codazzi, por el río Espíritu Santo arriba, se encuentran afloramientos de estratos de areniscas finas, de granos de cuarzo, ferruginosas, conglomeráticas, poco duras y de color amarillento oscuro. Por sus características litológicas no creemos que estos sedimentos puedan ser cretáceos, y bien podrían ser terciarios, explicando su presencia, bien como un remanente, puesto que hay una inconformidad tanto encima como debajo del Terciario, o bien debido a un fallamiento cubierto por el Cuaternario del valle del río; el fallamiento parece ser muy común en esta cuenca.

El Terciario, como ha sido descrito en afloramientos de otras partes de la cuenca del Cesar, puede tener más de 1.000 m. de espesor. Para el estudio de las aguas del subsuelo es de interés, pues posiblemente se encuentre enterrado debajo del aluvial y de las terrazas pleistocenas. Los sedimentos que la componen, en general de areniscas y arcillas, en su parte inferior y media contienen mantos de carbón. Este gran espesor de sedimentos consta en más de un 50% de areniscas de granulometría variada y poco endurecidas.

#### *Cretáceo:*

Los afloramientos de calizas en las estribaciones de la Serranía, en la margen oriental del área visitada, pertenecen al Cretáceo. En las zonas donde observamos esos afloramientos, no encontramos una sucesión continua, pero es muy posible que el afloramiento que cruza la carretera unos 2 km. al norte de Becerril, hacia el Oriente, presente una sección bastante completa del Cretáceo que reposa discordantemente sobre las rocas del Girón. Probablemente el afloramiento arriba aludido comprende estratos del Cretáceo superior hasta medio.

Se trata de bancos de areniscas arcillosas de color verde amarillento; de pizarras negras calcáreas concrecionarias; las pizarras están laminadas, son algo arenosas y de color gris claro hasta oscuro. Las concreciones son muy duras y fosilíferas. Los cerros al oriente de la carretera entre Codazzi y Becerril, están formados por calizas negras en bancos potentes que al meteorizarse se parten en bloques y dejan expuestas numerosas oquedades y fracturas. Posiblemente estas calizas pertenezcan al Cretáceo medio y tienen una importancia económica, pues son el factor determinante de la feracidad de los suelos de la región. Como dato informativo, se incluye un análisis químico de estas calizas:

#### *Muestra procedente de La Granja, Codazzi:*

$$\text{SiO}_2 = 3,39\%$$

$$\text{R}_2\text{O}_3 = 1,03\%$$

$$\begin{aligned}\text{MgO} &= 2,57\% \\ \text{CaO} &= 49,58\% \\ \text{CO}_2 &= 41,64\% \text{ calculado.}\end{aligned}$$

El espesor del Cretáceo en la cuenca del Cesar puede ser superior a los 2.000 metros.

#### *Jura-Triásico:*

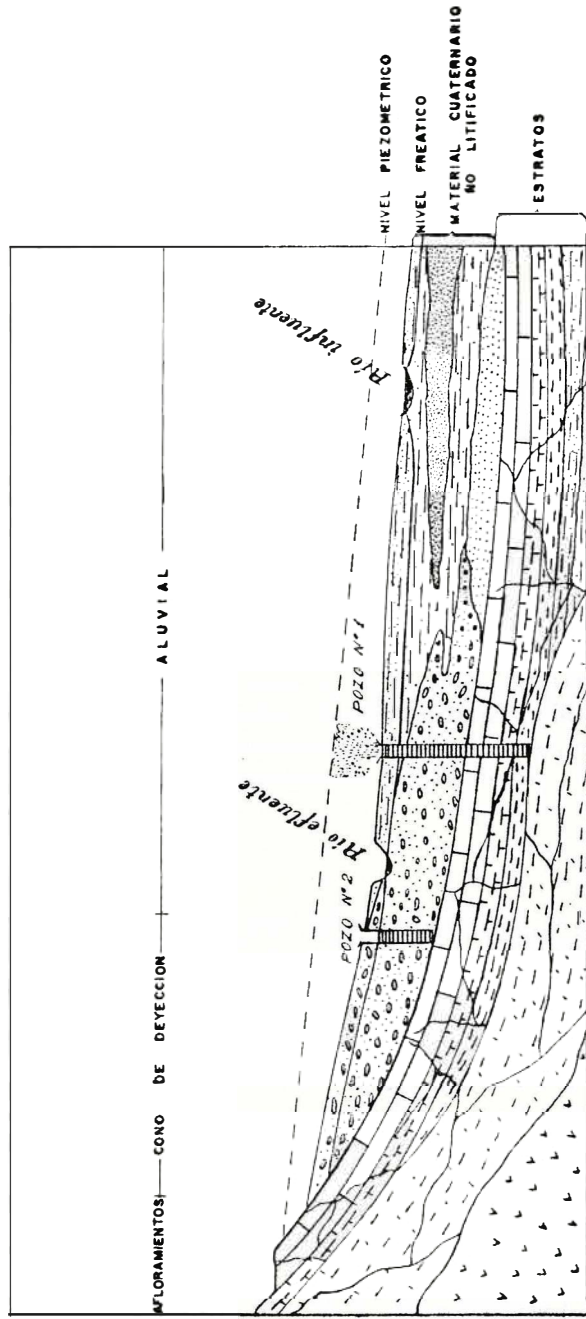
Las rocas del Jura-Triásico afloran en la Serranía de Perijá y dentro del área visitada, en los cerros que a la manera de testigos emergen del material aluvial en la parte noroccidental de la región. Se trata de estratos muy endurecidos de color rojizo marrón, compuestos por arcillolitas, arenas finas hasta gruesas y algunos horizontes de conglomerados. Estas rocas del Jura-Triásico corresponden al grupo de Girón de Santander, y para los fines de este informe se pueden considerar como el subyacente, pues dentro del área de interés posiblemente estén muy profundos y en todo caso su dureza y sus características generales no harían económica la búsqueda de aguas subterráneas en ellos.

Las rocas metamórficas paleozoicas, lo mismo que las rocas ígneas, no afloran dentro del lote estudiado y no revisten mayor importancia para el estudio en cuestión. Tanto las unas como las otras, así como los estratos de Girón, han contribuido notablemente a la formación de las terrazas Pleistocenas y a los depósitos aluviales recientes.

#### *Estructura:*

Como queda dicho, la del río Cesar es una cuenca estructural, teniendo como límites la Serranía de Perijá y la Sierra Nevada de Santa Marta. La región de Codazzi estaría en el flanco oriental de esa cuenca, muy cerca de su eje. Pero al noroeste del área estudiada se encuentran los afloramientos de rocas del Girón, que cortan transversalmente la estructura. La cuenca del Cesar se halla dividida en dos partes por un espolón, hoy semicubierto, que desvía ligeramente la dirección del río, abajo de La Paz. Posiblemente este espolón ha sido testigo de la historia geológica postcretácea de la cuenca. Estos afloramientos determinan dos cuencas menores: la primera sería la del río Cesar propio, y la segunda la de Codazzi, cuyo eje tiene una dirección NE, pasando al sur de esa población.

La intensa actividad tectónica del área está señalada por las numerosas inconformidades que denuncian los estratos cretáceos y terciarios. En algunas perforaciones para petróleo, al occidente de Becerril, se ha podido determinar la existencia de una falla conocida con el nombre de la falla del río Maracas, cuyo desplazamiento puede ser grande. No hay bases suficientes para definir con exactitud el fallamiento regional, pero no hay duda de que cubiertos por el Cuaternario deben encontrarse fallamientos de mayor y menor magnitud en los estratos mesozoicos y cenozoicos. Las rocas cretácicas se encuentran fuertemente levantadas contra la Serranía, y en general conservan un rumbo NE, con buzamiento al NW hasta de 20°. Los estratos del Jura-Triásico tienen menor uniformi-



CORTE IDEALIZADO PARA EXPLICAR CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS SIMILARES A LAS DE CODAZZI. EL POZO 1 SERIA ARTESIANO PUES EL AGUA DE LAS GRIETAS CAPTADAS ESTA BAJO PRESION HIDROSTATICA. EL POZO 2 CAPTA EL AGUA DE LA ZONA DE SATURACION POR DEBAJO DEL NIVEL FREÁTICO

dad en el buzamiento, pero conservan el rumbo NE; en el cerro de Porri-lla aparecen más o menos horizontales, y en los cerros que cruza el camino a El Porvenir, tienen una inclinación hacia el NE.

El fallamiento y fracturamiento de las rocas tiene mucha importancia, pues por ellos pueden circular aguas que alimentan las capas cuaternarias que es posible captar directamente mediante pozos profundos. Sin embargo, algunas de estas aguas, debido a contaminación magmática, pueden ser de mala calidad, y esto explicaría los fenómenos químicos de los pozos observados en las cercanías de los cerros al norte del área estudiada, así como las fuentes de agua sulfurosa al SW de Becerril.

#### HIDROGEOLOGIA

La hidrogeología, según se entiende para el presente estudio, es la ciencia de las aguas subterráneas. Las rocas, así como los sedimentos no litificados, tienen algún grado de porosidad, de lo cual depende el grado de permeabilidad, o sea la propiedad de permitir la circulación de los flúidos. En condiciones naturales, no hay roca que sea completamente impermeable, pero desde un punto de vista práctico, la permeabilidad no se comienza a considerar después de un límite tal que sea posible extraer por métodos económicos algún volumen del agua que circula por las rocas y los sedimentos.

El agua que llena los intersticios de los materiales rocosos tiende a formar un nivel natural debajo del cual todo está saturado de agua, en tanto que encima se halla agua en tránsito hacia ese nivel de saturación. El nivel natural y libre que forma el agua subterránea se conoce con el nombre de nivel freático; la zona de migración del agua meteórica hacia aquél la conocemos con el nombre de zona de aereación o zona de agua vadosa.

El nivel freático, en condiciones normales, tiende a conformarse a la topografía regional, o sea que es una superficie ondulante y casi siempre fluctuante. Los cambios del tiempo, especialmente las lluvias, las temperaturas y hasta la misma actividad humana, influyen en la fluctuación de los niveles de agua. Es el agua lluvia o meteórica la que alimenta y renueva los depósitos de agua subterránea. Tratándose de niveles freáticos, el agua lluvia influye sobre ellos percolándose a través de la zona de aereación, hasta encontrarlos. Existe otra clase de depósitos de agua subterránea. Son aquellos formados por capas permeables confinadas entre capas relativamente impermeables que restringen la circulación del agua verticalmente, obligándola a fluir lateralmente, como si se tratara de un canal inclinado. Estas capas confinadas recogen su mayor aprovisionamiento de agua en los lugares donde afloran, es decir, donde están expuestas a la acción de las lluvias. Comúnmente esos afloramientos propicios a la infiltración están en las partes altas, cuales son los pies de las montañas o las montañas mismas. Al descender el agua confinada en esas capas crea una presión hidrostática que se hace presente en dondequiera que el confinamiento de la capa acuifera se rompa. Llamamos estas condiciones artesianas, pero es necesario poner en claro que las condiciones artesianas no requieren que el agua fluya hasta la superficie; basta que fluya a una altura mayor que el límite superior de la capa que la contiene para que haya condiciones artesianas. El nivel que alcanza esa

agua a presión se conoce con el nombre de nivel piezométrico y representa la altura del punto donde entra el agua, menos la pérdida por fricción al circular el líquido por la capa acuífera. Naturalmente, el nivel freático y el nivel piezométrico no coinciden necesariamente, pero en algunos casos se complementan. Cuando hay una diferencia de permeabilidad notable entre dos capas, por ejemplo, cuando una lente de gravilla de un cono de deyección está cubierta por gredas, el agua contenida en la gravilla puede encontrarse bajo presión, y por lo tanto producir un nivel artesiano.

Las fallas, y principalmente los agrietamientos de las rocas endurecidas, son un caso particular y crítico de las aguas confinadas, puesto que en realidad obran como una red de vasos comunicantes, o sean canales de óptima permeabilidad. No toda el agua de lluvia que cae sobre una región se infiltra. La cantidad que se evapora, ya sea por razones climáticas de la región, o por la actividad de la vegetación, y la cantidad que fluye superficialmente sin llegar a alcanzar los niveles freáticos, varían de acuerdo con la temperatura del lugar, los vientos, la humedad de la atmósfera, la cubierta vegetal del suelo, la permeabilidad de éste y la altura del nivel freático del agua subterránea; con tan variados factores no es posible generalizar *a priori* sobre el porcentaje de agua de lluvia que se infiltra en el subsuelo, pero existen sistemas de investigación que permiten determinar con alguna exactitud el porcentaje de aguas lluvias infiltradas.

Los niveles de agua subterránea buscan un balance entre la cantidad infiltrada y la cantidad descargada por fuentes, cauces superficiales, cauces subterráneos y evaporación de la parte superior en la tabla de agua o nivel freático. En la evaporación efectuada sobre el nivel freático del agua no sólo intervienen las razones climáticas, considerándose que éstas no pueden actuar a profundidades mayores de los 60 cm., sino principalmente la absorción o transpiración vegetal, cuyas raíces a veces se profundizan en persecución de los niveles freáticos, por lo cual las plantas que esto hacen reciben el nombre de freatofitas. Los cauces de agua superficial, o sea los ríos y quebradas, generalmente están íntimamente relacionados a la posición del nivel freático de las aguas subterráneas; en el invierno los cauces se llenan de tal manera que su nivel alcanza una mayor altura que el nivel freático; entonces por los sedimentos permeables de los cauces se infiltra el agua superficial, buscando establecer un balance con él; en el verano los cauces se secan, pero las corrientes subterráneas establecen un flujo hacia ellos que mantiene la corriente superficial hasta que el nivel freático esté por debajo del cauce: esto sucede en las corrientes intermitentes que se secan en los últimos períodos del verano.

La explotación de aguas subterráneas mediante sistemas artificiales como son pozos de cualquier tipo, ya sea que fluyan espontáneamente en condiciones artesianas, o sean explotados mediante bombas, introduce un factor de alteración del balance entre el recargue y descargue natural del agua subterránea. Especialmente para la irrigación, los pozos deben extraer una gran cantidad de agua, y los niveles freáticos y aun los artesianos, según que sean explotados, tienden a descender notablemente; esto quiere decir que, por ejemplo, los cauces intermitentes se hacen más intermitentes y los niveles piezométricos no alcanzan a la altura inicial. Una parte del agua subterránea extraída y usada para la irrigación se infiltra nuevamente, o sea que vuelve hacia los niveles freáticos; esto

señala que la explotación de niveles freáticos para la irrigación sea ventajosa. El agua artesisiana, o sea la extraída de capas confinadas o semi-confinadas que se extrae en los valles no puede ser devuelta al acuífero de donde proviene, pero la cantidad que se infiltra aumenta los niveles freáticos.

Para la zona de Codazzi, a que se refiere este informe, se justifican ampliamente las condiciones previstas y que se han descrito con el ánimo de ilustrar y definir los términos.

#### *Aguas subterráneas en los sedimentos cuaternarios.*

Por caracterizarse el Cuaternario de sedimentos clásticos jóvenes, no consolidados y compuestos de granulometría que va desde las gravas gruesas hasta las arcillas finas, cuenta con una permeabilidad notable. En los sedimentos cuaternarios que generalmente están en contacto directo con la atmósfera, el agua se puede encontrar en condiciones artesianas cuando capas permeables se encuentran cubiertas por sedimentos menos permeables; tal cosa puede acontecer en los conos de deyección que afloran al pie de la Serranía y que en forma subterránea se prolongan a la manera de lentes cubiertos por material aluvial arcilloso. En los sedimentos cuaternarios la tabla de agua o nivel freático es la condición normal del agua subterránea, y por consiguiente la importancia de este depósito no sólo está en razón directa de la permeabilidad de los sedimentos, sino del espesor de ellos por debajo del dicho nivel.

El nivel freático en el Cuaternario de Codazzi está representado por los numerosos aljibes y aun las fuentes que hemos enumerado en un cuadro adjunto y localizado aproximadamente en un mapa de la región. El valor matemático de la permeabilidad de estos sedimentos no es posible calcularlo, pero está en relación a la granulometría del material que compone el depósito, y por consiguiente puede ser muy alto debido a la abundancia de gravas y arenas, descomposición natural de las rocas endurecidas del material Jura-Triásico, del Paleozoico e ígneas que afloran en la Serranía. Su espesor tampoco se puede por ahora aproximar, pero se espera que en algunos sitios, especialmente hacia el centro del material aluvial, pueda alcanzar espesores hasta de 50 metros.

#### *Estratos terciarios.*

Los estratos terciarios están en general formados por arenas relativamente endurecidas, de granos gruesos hasta finos, y que por consiguiente podrían facilitar la circulación de agua en esas capas. Aun cuando estos estratos no afloran conspicuamente dentro del área visitada, es posible que se encuentren enterrados bajo los sedimentos cuaternarios. Esta suposición se apoya en el hecho de que se trata de una cuenca estructural, que tanto debajo como encima del terciario hay inconformidades y que estratos terciarios afloran en los alrededores de La Jagua, más o menos sobre el eje de la cuenca, al sur del área aquí considerada.

*Rocas mesozoicas y paleozoicas.*

Los estratos compactos del Cretáceo, los muy endurecidos del Jura-Triásico, las rocas metamórficas del Paleozoico y el basamento y las intrusiones ígneas, desde el punto de vista hidrogeológico tienen características similares, por cuanto en conjunto no son ni contienen capas permeables. Las aguas que por ellos circulan lo hacen por grietas, oquedades, comisuras estratigráficas y fallas, las cuales introducen una porosidad secundaria en esas rocas y que puede tener gran valor para la conducción y captación de agua subterránea. Estos canales generalmente forman una red intercomunicada por la cual el agua circula libremente, y algunas veces en gran cantidad.

En las capas de calizas puede desarrollarse la porosidad secundaria por disolución del carbonato de calcio por acción de las mismas aguas; en esta forma la capacidad de conducción se incrementa permanentemente. En los afloramientos de calizas en el borde de la Serranía se puede constatar una gran cantidad de oquedades en esas rocas, debidas a esta acción.

Estas rocas duras generalmente tienen su mejor zona de captación en las laderas de las serranías en donde están expuestas. Al concentrarse el agua en las grietas, fallas y comisuras estratigráficas, se forma un nivel alto que corresponde al nivel freático del lugar, pero que representa el nivel superior de una columna de agua, y por lo tanto produce una presión hidrostática en los canales intercomunicados en el fondo de los valles. Un escape natural o artificial de esa agua por debajo de la zona de captación marca el nivel piezométrico del lugar.

Las rocas mesozoicas y paleozoicas que afloran en la Serranía de Perijá, y cuyas características generales hemos descrito en la Geología, pueden ser conductoras de agua en la cuenca del río Cesar, por cuanto en ellas se presentan fracturamientos de muchos tipos y han sido sujetas a una historia geológica muy intensa.

*Cantidad de agua necesaria para la irrigación en Codazzi.*

En los "Estudios Preliminares de Suelos del Departamento del Magdalena y de la Intendencia de la Guajira" de los ingenieros agrónomos L. Fernando Irusta y Emilio S. Fortoul, se concluye que para la irrigación de la zona de Codazzi se necesita una cantidad de agua de un litro por segundo por hectárea, continuamente durante los meses de diciembre, enero, febrero y marzo. Esto quiere decir que se necesitaría, durante este tiempo, de unos diez mil trescientos sesenta y ocho (10.368) metros cúbicos de agua por hectárea. Para que cada hectárea pueda suplir su propio requerimiento, el espesor de la capa acuífera debe ser de unos 5 metros de espesor, con una porosidad efectiva de un 20 por ciento. De lo expuesto hasta aquí se deduce que hay fundadas esperanzas de encontrar tal cantidad de agua en el subsuelo de Codazzi, pero esto no es suficiente, pues es necesario comprobar que tal cantidad se renueva anualmente por hectárea.

Cualquier cálculo, por aproximado que fuera, en cuanto a la cantidad real que se pueda extraer del subsuelo de Codazzi, es demasiado aventu-



rado. Es necesario hacer perforaciones de ensayo que determinen el espesor de las capas acuíferas cuaternarias, la posibilidad de extraer agua de las rocas endurecidas, y mediante ensayo de bombeo determinar la cantidad real de agua que se puede extraer de un pozo, sin causar detrimento al depósito de agua.

*Existencia de agua en el subsuelo de la región.*

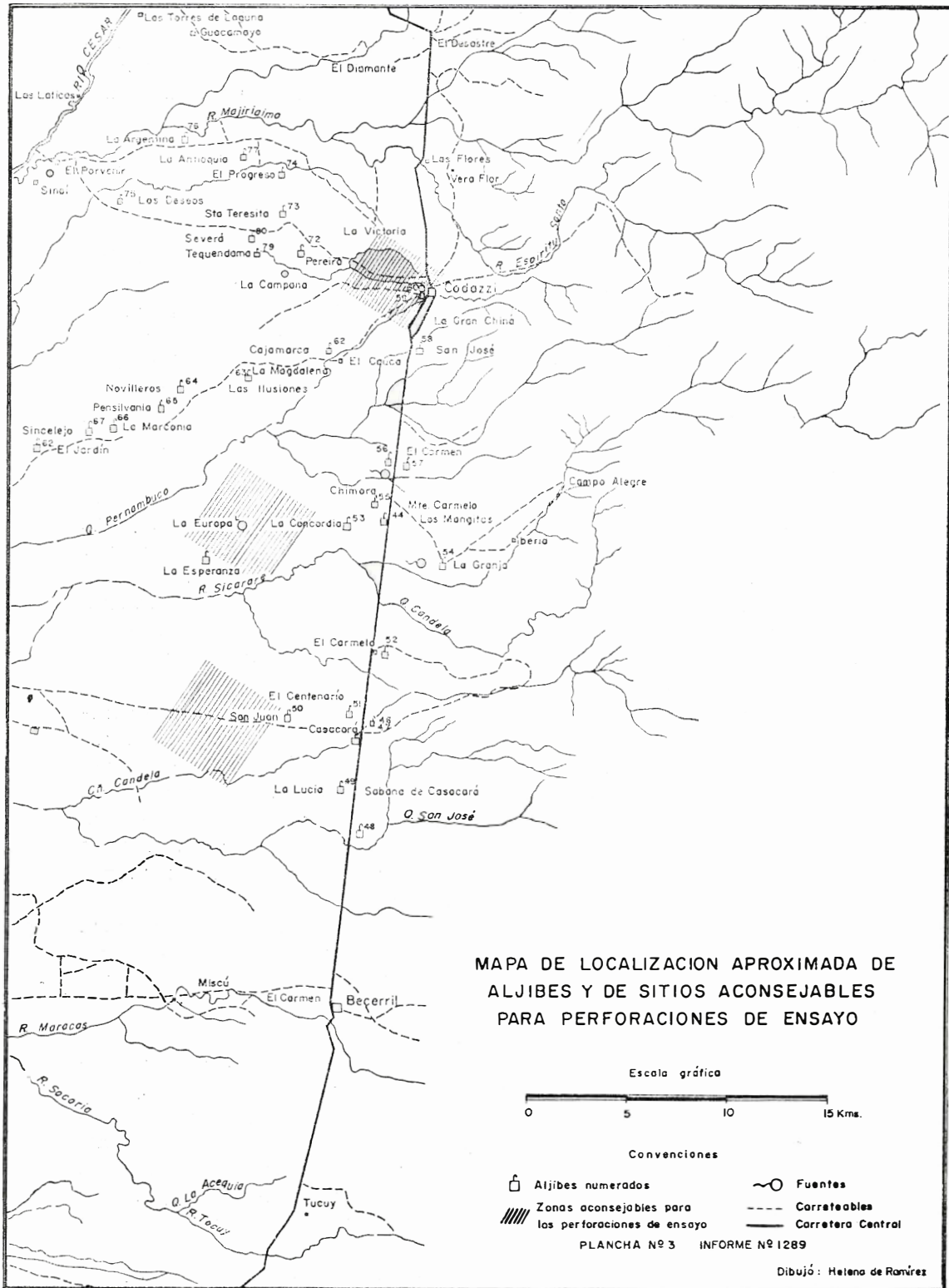
En la plancha número 3 se han localizado aproximadamente los aljibes y fuentes que fueron visitados por la Comisión en el curso del presente estudio. En cuadro anexo se han tabulado la profundidad de esas captaciones, la profundidad del nivel estático y las observaciones en cuanto a su construcción, seguidos del resultado de los análisis químicos efectuados en sus aguas. Del estudio de esas captaciones se pueden deducir varios hechos confirmatorios de las observaciones hechas en la Geología y en la Hidrogeología, especialmente en lo que se refiere a los sedimentos cuaternarios.

Es decir, que debajo de la cubierta de suelo se encuentran lentes de arenas y material permeable. Estas captaciones dan una idea fija en cuanto a la existencia de aguas subterráneas en el cuaternario, pero por ser demasiado superficiales no permiten aproximar la verdadera capacidad del depósito acuífero. En la esquina noroccidental del lote estudiado, cerca a los afloramientos de las rocas Jura-Triásicas, se evidencia que hacia el fondo del Cuaternario aluvial existen gravas y arenas en mayor profusión que en la superficie.

Como ya lo hemos dicho, el suelo del área estudiada es notablemente permeable, y debe anotarse que casi todas las corrientes superficiales que descienden de la Serranía se menguan al entrar en el valle o se pierden en su curso al recorrerlo. En el tiempo de nuestra visita en febrero, o sea después de unos tres meses de verano, todas las corrientes menores estaban secas, y aun el río Sicarare se comprobó que desaparecía a unos 30 kms. adentro del valle, en la finca Platanal. El agua absorbida por estos sedimentos tiene que continuar su curso subterráneamente, y como la cuenca tiene un eje en dirección al río Cesar, la zona más indicada para la explotación de aguas en esta cuenca está cercana a su eje. Como la cuenca también es estructural y las calizas del borde de la Serranía buzan hacia el N-NW, también la explotación de aguas subterráneas en los estratos es aconsejable hacia ese eje.

Teniendo en cuenta que verticalmente puede haber variaciones de permeabilidad en el Cuaternario, mediante perforaciones, por debajo del nivel freático que aprovechan todos los aljibes estudiados, podrían encontrarse acuíferos sometidos a presión y que producirían un nivel piezométrico en los pozos. El agua encontrada en grietas y fisuras de los estratos debe tener presiones artesianas, por cuanto el origen de esta agua muy probablemente está en los afloramientos de estas rocas, al pie de la Serranía.

Debemos advertir que son muchas las razones que hacen aconsejable un estudio cuidadoso en cuanto al sistema más apropiado para la irrigación. La economía del agua, cuyo volumen disponible aún no conocemos, y la calidad de los suelos fácilmente erosionables, como se ve en los cauces



de las corrientes superficiales, nos inclinan a pensar que el método de irrigación por lluvia artificial parece el más conveniente.

### *Hidroquímica.*

La calidad de las aguas analizadas para el presente estudio tienen características muy propias de las aguas subterráneas, pero debe tenerse en cuenta que los aljibes interceptan la zona de oscilación del nivel freático y allí se presenta una concentración de sales mayor que en las aguas subterráneas más profundas.

La dureza de las aguas es provocada por el contenido del calcio, magnesio, hierro y otros elementos cuya cantidad total se expresa en los análisis, por su equivalencia a una cantidad de carbonato de calcio. Para el consumo humano la dureza admitida en general es de unas 300 ppm., pero para la irrigación el límite es mucho mayor. La dureza total en las aguas de los aljibes de Codazzi parece ser del orden de 250 hasta 1.000 ppm. Esta dureza puede ser mayor en aguas contenidas en grietas y fisuras de estratos calcáreos, así como en sedimentos de regular permeabilidad, donde el agua circula con alguna lentitud. En las zonas de mejor permeabilidad la dureza tiende a disminuir.

El dióxido de carbono libre es un gas que se encuentra comúnmente en las aguas subterráneas, debido generalmente a la descomposición de la materia orgánica común a los sedimentos jóvenes. Algunas veces este gas procede también de fenómenos geoquímicos ocurridos a mayor profundidad.

La atmósfera es poco lo que puede contribuir al contenido de dióxido de carbono en el agua, pues la cantidad de este gas en el aire es menor de 0.04%. La corrosión es el principal efecto causado por este gas, puesto que da un carácter ácido al agua. No se puede establecer un límite de potabilidad en cuanto a la cantidad de CO<sub>2</sub> en el agua; todo depende de la forma y asociaciones en que se encuentre. Su actividad más notable está en producir la solución de carbonatos en la forma bicarbonatos.

El valor pH, un factor que es la expresión logarítmica recíproca de la concentración de hidrógeno, teóricamente comienza en 0 y puede subir hasta 14; la cifra intermedia 7 representa un carácter neutro, por debajo de 7 un estado ácido y por encima un estado alcalino. El pH del agua subterránea debe ser 7 o ligeramente alcalino. El agua con un pH inferior a 7 es ácida, y por consiguiente más o menos corrosiva.

La alcalinidad de las aguas generalmente es causada por bicarbonatos, carbonatos, hidratos, fosfatos y silicatos contenidos en ella. Existe una relación entre la alcalinidad total en el agua, su valor pH y su contenido de anhídrido carbónico; conociendo dos de estos factores se puede aproximar el tercero, mediante el uso apropiado de gráficas. Generalmente la alcalinidad, exceptuando ciertos usos industriales, no es más importante que el contenido de CO<sub>2</sub> y el valor pH del agua.

Los cloruros se encuentran por lo general en alguna cantidad disuelta en el agua subterránea; las sales de cloro son comunes en la naturaleza. Para la irrigación no deben exceder de unos 350 ppm. en el agua, expresadas como Cl.

Los óxidos de hierro también son comunes a las aguas subterráneas, pues están presentes en las rocas en mayor o menor cantidad. El conte-

nido de las aguas generalmente es bajo, pero se considera 0.3 ppm. como el máximo en condiciones de potabilidad. El hierro es soluble en su estado férrico; por el simple contacto con el aire se precipita, dejando un sedimento rojizo.

Los sólidos totales en el agua comprenden los en suspensión y los disueltos. Los primeros pueden ser filtrados, los segundos están en solución verdadera y por consiguiente deben ser tratados químicamente. Los sólidos en suspensión no introducen necesariamente gran turbidez en el agua y muy comúnmente están representados por silicatos insolubles. Con fines de potabilidad se puede admitir una cantidad de sólidos totales hasta de 1.000 ppm., pero para la irrigación este límite puede ser mayor.

El doctor Murcia Aguilera, miembro de la Comisión de Estudios Hidrogeológicos en Codazzi, efectuó análisis químicos de las aguas en 33 de los aljibes visitados por la Comisión. En el cuadro se presentan los resultados de esos análisis, y a continuación el doctor Murcia Aguilera discute las características y conclusiones del estudio hidroquímico:

#### *Interpretación de los resultados.*

De la observación de los resultados de los análisis, se deduce que las aguas subterráneas de la región de Codazzi están caracterizadas por:

- a) Anhídrido carbónico libre ( $\text{CO}_2$  libre), expresado en partes por millón (ppm.).
- b) Valor pH.
- c) Alcalinidad total, expresada en partes por millón de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$  ppm.).
- d) Dureza temporal, expresada en partes por millón de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$  ppm.).
- e) Dureza permanente, expresada en partes por millón de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$  ppm.).
- f) Dureza total, expresada en partes por millón de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$  ppm.).
- g) Cloruros (Cl ppm.), expresados en partes por millón.
- h) Hierro total, expresado en partes por millón (ppm.).
- i) Propiedades para irrigación.

a) El contenido de  $\text{CO}_2$  libre, que varía desde 0,00 hasta 95,00 ppm., es el causante de que 14 de las muestras analizadas sean claramente corrosivas, es decir, que atacan y dañan las tuberías metálicas; en otras 14 muestras de las 33 analizadas, se encontró que las aguas no son corrosivas, no por ausencia del anhídrido libre, sino porque gracias a su alto contenido de alcalinidad total, el efecto corrosivo del gas es neutralizado por los carbonatos y bicarbonatos causantes de la alcalinidad; también se puede observar que el valor pH de casi todas las muestras está afectado en parte por la presencia de gas.

El origen del gas en el agua se puede explicar como resultado de la descomposición parcial de los bicarbonatos propios del terreno de la re-

gión y de la materia orgánica y residuos vegetales contenidos en los sedimentos jóvenes. En la zona de Verdecia puede tener un origen diferente.

b) El valor pH de estas aguas varía desde 5,9 hasta 13,5. De acuerdo con las normas establecidas por el Código Sanitario Nacional, Decreto número 1371 de 1953, los valores límites de variación aceptados para el pH de las aguas potables va desde 7 hasta 10,6.

Los diferentes valores encontrados en los análisis anteriores se pueden explicar como consecuencia del efecto que sobre este factor tienen la presencia del anhídrido carbónico libre y de carbonatos y bicarbonatos de calcio; solamente en uno de los sitios visitados se encontró que el valor pH del agua estaba fuertemente afectado por contaminación y abandono del pozo; en los otros 9 casos, en donde se dice que el agua está contaminada, el valor de pH encontrado sólo está afectado en parte por la contaminación.

c) Los valores encontrados para la alcalinidad total varían desde 45,10 hasta 1.455,50 ppm. de carbonato de calcio, pero manteniéndose en general entre las 200 y las 500 ppm.; la presencia de las sales causantes de este factor se explica probablemente por la naturaleza del terreno a través del cual tiene que circular el agua.

El efecto que la presencia de las sales causantes de la alcalinidad tiene sobre el agua es grande, además de intervenir sobre la corrosividad del agua y sobre el valor pH, son las causantes de la llamada dureza temporal de las aguas.

d) La dureza temporal en las aguas se debe a la presencia de carbonatos y bicarbonatos de calcio. En las muestras analizadas la dureza temporal encontrada es generalmente alta.

e) La dureza permanente es causada por la presencia de cloruros y sulfatos de calcio y magnesio; en la mayor parte de las muestras analizadas se encontró que este factor es nulo y sólo se halló presente en tres de las muestras.

f) La dureza total es la suma de las durezas temporales y permanentes. En la gran mayoría de las muestras analizadas se encontró que el factor dureza es el característico de las aguas subterráneas de la región de Codazzi. De las 33 muestras analizadas, solamente una se encontró blanda, en la casa del señor M. A. García; en todas las demás, este valor varía desde medianamente hasta muy dura.

Con el objeto de facilitar la comprensión de las expresiones usadas para definir el carácter de la dureza, a continuación se puede ver una tabla en donde se hallan las diferentes expresiones con su valor respectivo en partes por millón como carbonato de calcio y en grados alemanes:

Carácter	ppm. como CaCO <sub>3</sub>	Grados alemanes	Estándares norteamericanos
Muy blanda . . . . .	0,71,6	0-4	0-15 ppm
Blanda . . . . .	71,6-143,2	4-8	15-50
Medianamente dura . . . . .	143,2-214,8	8-12	15-100
Casi dura . . . . .	214,8-322,2	12-18	
Dura . . . . .	322,2-537,0	18-30	100-200
Muy dura, sobre . . . . .	537,0	sobre 30	200

g) El contenido de cloruros encontrados en las aguas de la región de Codazzi varía desde 12,05 hasta 525,33 ppm.; de acuerdo con las normas del Código Sanitario Nacional, el contenido máximo de cloruros para las aguas potables es de 250 ppm.; con base en esto se ve solamente que 5 de las 33 muestras analizadas son salobres; las demás se pueden considerar como dulces, excepción hecha del agua del pozo de la finca Amazonas, en donde al hacer la determinación correspondiente se encontró que el agua, además de los cloruros, contiene otra sustancia que reacciona con el nitrato de plata; para definir bien este componente, es necesario un análisis más completo.

h) El contenido de hierro total encontrado en las aguas subterráneas de la región de Codazzi varía desde 0,15 ppm. hasta 0,80; el límite máximo aceptado por el Código Sanitario Nacional es de 0,30 ppm. De acuerdo con esto, en 7 de las muestras analizadas se ve que están por encima del máximo; la explicación de esto está probablemente en contaminación del pozo, la cual es debida generalmente a la falta de protección.

i) Las propiedades para irrigación se determinan con base en el diagrama ideado por L. Wilcox "The quality of water for irrigation use-U. S. Dept. Agriculture Tech. Bull, 1962, 1948". Por medio de este diagrama se pueden clasificar las aguas para irrigación desde el punto de vista de la calidad química, basándose en el porcentaje de sodio y el contenido total de sólidos disueltos.

Para poder utilizar la gráfica fue necesario hacer los siguientes cálculos:

1) Na calculado = (aniones-cationes)  $\times$  23 en ppm., en donde los cationes y aniones se expresan en equivalentes por millón.

$$\text{Equivalentes por millón} = \frac{\text{ppm.}}{\text{peso equivalente}}$$

2) Sólidos totales disueltos (cationes + aniones + Na calculado) ppm., en donde los cationes y aniones y sodio calculado se expresa en ppm.

$$3) \text{ Porcentaje de sodio} = \frac{100 \text{ Na}}{\text{Na} + \text{Ca}}$$

en donde Na y Ca están expresados en equivalentes por millón.

De las 33 muestras analizadas, sólo en 28 se puede hacer el estudio correspondiente para irrigación.

Entre 28 muestras se encontraron:

- 12 excelentes para irrigación;
- 11 buenas para irrigación, y
- 5 dudosas para irrigación.

#### *Observaciones.*

En términos generales, la mayoría de las aguas parece estar dentro de los límites de potabilidad, excepción hecha de unos pocos casos; con el objeto de evitar molestias causadas por la dureza y prever consecuencias

debidas a posible contaminación de los pozos para el consumo humano, el mejor tratamiento consiste en hervir el agua. Para usar el agua industrialmente en calderas y maquinaria, sería aconsejable tratarla cuando su contenido de dureza sobrepase los 100 ppm., pero para irrigación el agua de Codazzi no ofrece problemas en este respecto.

CLAVE QUE SEÑALA LA PROCEDENCIA DE LAS MUESTRAS  
CLASIFICADAS SEGUN EL DIAGRAMA DE WILCOX

1. Finca La Esperanza . . . . .	Mg. 43	2. Finca Las Ilusiones . . . . .	Mg. 63
2. Finca Los Manguitos . . . . .	Mg. 44	16. Finca Novilleros . . . . .	Mg. 64
3. Finca Chimora - Fuente.		17. Finca Marconia . . . . .	Mg. 66
4. Casa de M. A. García . . . . .	Mg. 45	18. Finca Sincelejo . . . . .	Mg. 67
5. Finca San Juan . . . . .	Mg. 50	19. Finca El Jardín . . . . .	Mg. 68
6. Finca Centenario . . . . .	Mg. 51	20. Finca Las Conchitas . . . . .	Mg. 69
7. Finca La Concordia. Casa . .	Mg. 53	21. Finca La Habana . . . . .	Mg. 71
8. Finca La Granja . . . . .	Mg. 54	22. Finca Pereira . . . . .	Mg. 72
9. Finca Monte-Carmelo . . . . .	Mg. 55	23. Finca El Progreso . . . . .	Mg. 74
	Cult.		
10. Finca El Carmen. Cultivo . .	Mg. 57	24. Finca Amazonas . . . . .	Mg. 75
11. Finca San José . . . . .	Mg. 58	25. Finca Antioquia . . . . .	Mg. 77
12. Silos de Ina. . . . .	Mg. 59	26. Finca Los Deseos . . . . .	Mg. 78
13. Edif. de la Caja Agraria . .	Mg. 60	27. Finca Tequendama . . . . .	Mg. 79
14. El Líbano. Pista aérea . . . .	Mg. 61	28. Finca Severá . . . . .	Mg. 86

*Conclusiones.*

De lo expuesto hasta aquí se concluye que hay justificadas razones para agotar los medios de comprobar la existencia en cantidad de aguas subterráneas en la región de Codazzi, aprovechables para la irrigación.

Como consecuencia general de este estudio, se deben efectuar perforaciones de ensayo que determinen:

- a) El espesor y calidad acuífera de los sedimentos cuaternarios.
- b) La posibilidad de extraer agua de los estratos subyacentes Terciarios y Cretáceos.
- c) Ensayos de bombeos apropiados para definir las características hidráulicas del depósito cuaternario de los acuíferos estratificados y de ambos en conjunto. Esto con el fin de calcular la máxima capacidad de los pozos y su efecto en los niveles regionales.
- d) Los diseños y posibles costos de la construcción de pozos definitivos.

Estas perforaciones deben ser localizadas transversalmente al eje de la cuenca para definir las características acuíferas regionales. En la plancha número 3 se señalan los sitios que creemos aconsejables para esas perforaciones.

Para el buen desarrollo del programa, deben tenerse en cuenta las observaciones que hacemos en las consideraciones generales de este informe.

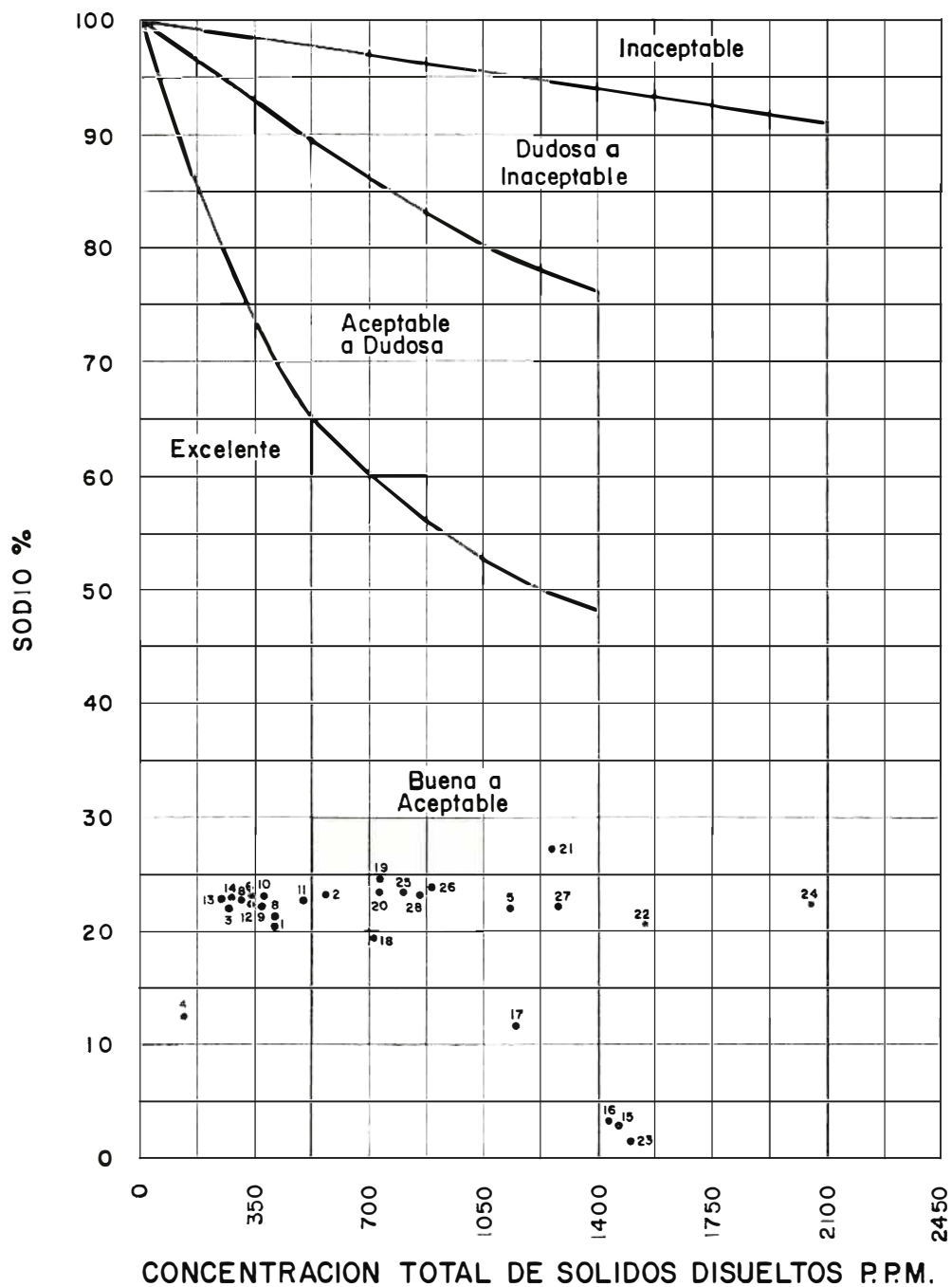


DIAGRAMA IDEADO POR WILCOX PARA LA CLASIFICACION DE AGUAS EN CUANTO A SU ACEPTABILIDAD PARA LA IRRIGACION. LOS PUNTOS DETERMINAN LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS POZOS ANALIZADOS EN CODAZZI.

Dibujó: G. LaRolle A.



## CONSIDERACIONES GENERALES

*Perforaciones de ensayo.*

Para que estas perforaciones tengan un significado cabal que responda a los intereses de todos los cultivadores de la región de Codazzi, deben hacerse con la mejor técnica posible y con un control dirigido a lograr exacta respuesta a todos los interrogantes planteados en el informe hidrogeológico preliminar. *La finalidad primordial de las perforaciones debe ser ésta, y no la construcción de pozos definitivos para la explotación de agua.*

El Servicio Geológico Nacional, por intermedio de la Sección de Hidrogeología, facilitaría el personal técnico necesario, así:

- 1º Un Hidrogeólogo encargado de la dirección y control del proyecto;
- 2º Un Jefe de perforación, encargado del control permanente de los trabajos, y
- 3º Dos perforadores y un chofer.

La maquinaria de perforación puede constar de:

- 1º Un taladro rotatorio, con capacidad no menor de 250 m. en 8" de diámetro, con todos los elementos de perforación y 200 m. en tubería de prueba de 4";
- 2º Un carro-tanque, con capacidad no menor de unos 2 m<sup>3</sup>;
- 3º Compresor para desarrollo y pruebas menores;
- 4º Bomba de profundidad para ensayos de bombeo;
- 5º Un vehículo, que puede ser un jeep, para el transporte de personal.

Los tres primeros pueden ser facilitados por el Servicio Geológico Nacional o por el Instituto de Fomento Algodonero, por alquiler que hagan de ellos o por colaboración de entidades como el Banco de la República.

Las perforaciones deben ser hechas empleando un lodo, el menos espeso que sea necesario, para mantener las paredes del pozo. Cada zona acuífera encontrada debe ser probada antes de seguir perforando, y se recolectarán muestras de agua para análisis químicos. Es aconsejable probar el Cuaternario en conjunto, antes de penetrar los estratos; éstos deben ser probados también por separado, y luego el pozo en conjunto.

Durante estas pruebas, que deben durar de dos a diez horas, según la reacción del pozo, es necesario no sólo determinar la cantidad de agua extraída, sino también el tiempo exacto de la prueba y los niveles del agua previos a la prueba si es posible, durante la prueba y en todo caso inmediatamente al terminar el bombeo. Luego las mediciones deben continuarse por el tiempo necesario, hasta que los niveles se recuperen a su altura original. El sistema de estas mediciones se explica en el Informe número 1204 del Instituto Geológico Nacional, publicado en el vol. 5, N<sup>o</sup> 1, del *Boletín Geológico*.

También al iniciar la prueba, así como al finalizar, se han de tomar muestras de agua en cantidad no menor de un litro y en recipiente debidamente limpio. Estas muestras deben ser analizadas químicamente.

*Construcción de captaciones de agua para el consumo humano.*

Está plenamente comprobado que en la mayoría de los sitios de la región de Codazzi se pueden construir aljibes y pozos perforados para el consumo humano de agua.

Los aljibes son captaciones muy eficientes para un abastecimiento en pequeñas cantidades. Hay la tendencia a considerar este sistema como anticuado y antihigiénico; en realidad pueden ser ambas cosas, pero la técnica moderna tiene especificaciones y diseños que hacen de esta forma de explotación el ideal en determinados casos, siempre y cuando se guarden los siguientes requisitos:

1. El aljibe debe localizarse en lugares distantes por lo menos de 100 m. de pozos sépticos, chiqueros, caballerizas o cualquier otro lugar que permita la infiltración rápida de aguas contaminadas.

2. Unos veinte metros en contorno, el aljibe debe estar debidamente cercado para que a él no puedan arrimar los animales mayores.

3. El aljibe debe ser tan profundo como sea necesario para mantener la máxima exigencia de agua. Con este fin, una vez comprobada la existencia de agua en abundancia, se puede adquirir la bomba con que se ha de explotar el aljibe, según las especificaciones de capacidad y presión necesarias para llenar las exigencias requeridas. Esta bomba puede ser usada para achicar el aljibe hasta un punto en que éste produce tanta agua cuanto extrae la bomba; entonces será necesario suspender la excavación, pues no será posible achicar el aljibe lo suficiente para continuarlo. Es conveniente que los aljibes sean construídos en los últimos días de los veranos más fuertes de la región.

4. El aljibe, que normalmente no debe tener un diámetro menor de un metro, debe estar revestido totalmente, y el espacio entre las paredes de la excavación y el revestimiento debe haber sido llenado por un material impermeable, como arcilla apisonada o cemento.

5. El contorno superior del aljibe debe rodearse de una plancha protectora que esté sellada contra el revestimiento. Esta plancha se extenderá por no menos de un metro en contorno y tendrá una inclinación hacia afuera, de suerte que el agua que caiga sobre ella escurra en dirección opuesta a la captación.

6. El aljibe debe estar cubierto mediante una tapa de concreto o de metal que lo proteja completamente de la entrada de animales de cualquier especie y de aguas lluvias o aguas superficiales en general, pero debe tener una ventilación apropiada.

7. Una vez terminada la construcción del aljibe y de instalada la bomba para su explotación, se puede hacer la limpieza de la captación poniendo en el aljibe, durante unas 10 horas, una solución concentrada de hipoclorito de sodio. En un balde con unos cinco galones de agua se disuelve media libra de hipoclorito de sodio, asegurando la disolución

completa por medio de agitación; se deja reposar durante unos minutos y se vierte en el aljibe, agitando el agua de modo que la solución se mezcle completamente con el agua de la captación; después de dejar la solución durante el tiempo indicado, se procederá a bombear, hasta que el agua salga sin sabor a cloro. Los pozos perforados, ya sea por rotación o percusión, tienen un diámetro más reducido, pero una profundidad mayor que la de los aljibes.

Con el fin de ilustrar los anteriores puntos, hemos incluido un diseño típico de un aljibe técnico.

Los equipos de percusión permiten la terminación de pozos para agua, en condiciones de control más favorables que los equipos rotatorios. Esto se debe a que los equipos normales de rotación inyectan lodo en el pozo con el fin de lubricar la broca, mantener las paredes del pozo y sacar a la superficie el material taladrado. Esta circulación del lodo en el pozo dificulta la obtención de muestras exactamente representativas de la roca o sedimentos que encuentra la broca en determinado momento, y algunas veces el lodo invade los horizontes acuíferos disminuyendo notablemente su capacidad específica. Para sondeos de prueba, es aconsejable el uso de taladros rotatorios, por la gran rapidez en la ejecución del trabajo, lo cual redundaría en economía de los costos, pero ese trabajo debe ser controlado estrictamente; los resultados obtenidos en perforaciones de prueba ejecutados con equipos normales de rotación, generalmente expresan un mínimo de las capacidades acuíferas probadas. Es siempre aconsejable que las captaciones definitivas sean construídas con equipos de percusión, los cuales permiten revestir el pozo a medida que se perfora, no necesitan de la inyección de lodo y permiten determinar con mayor exactitud la profundidad, espesor y características de las capas acuíferas.

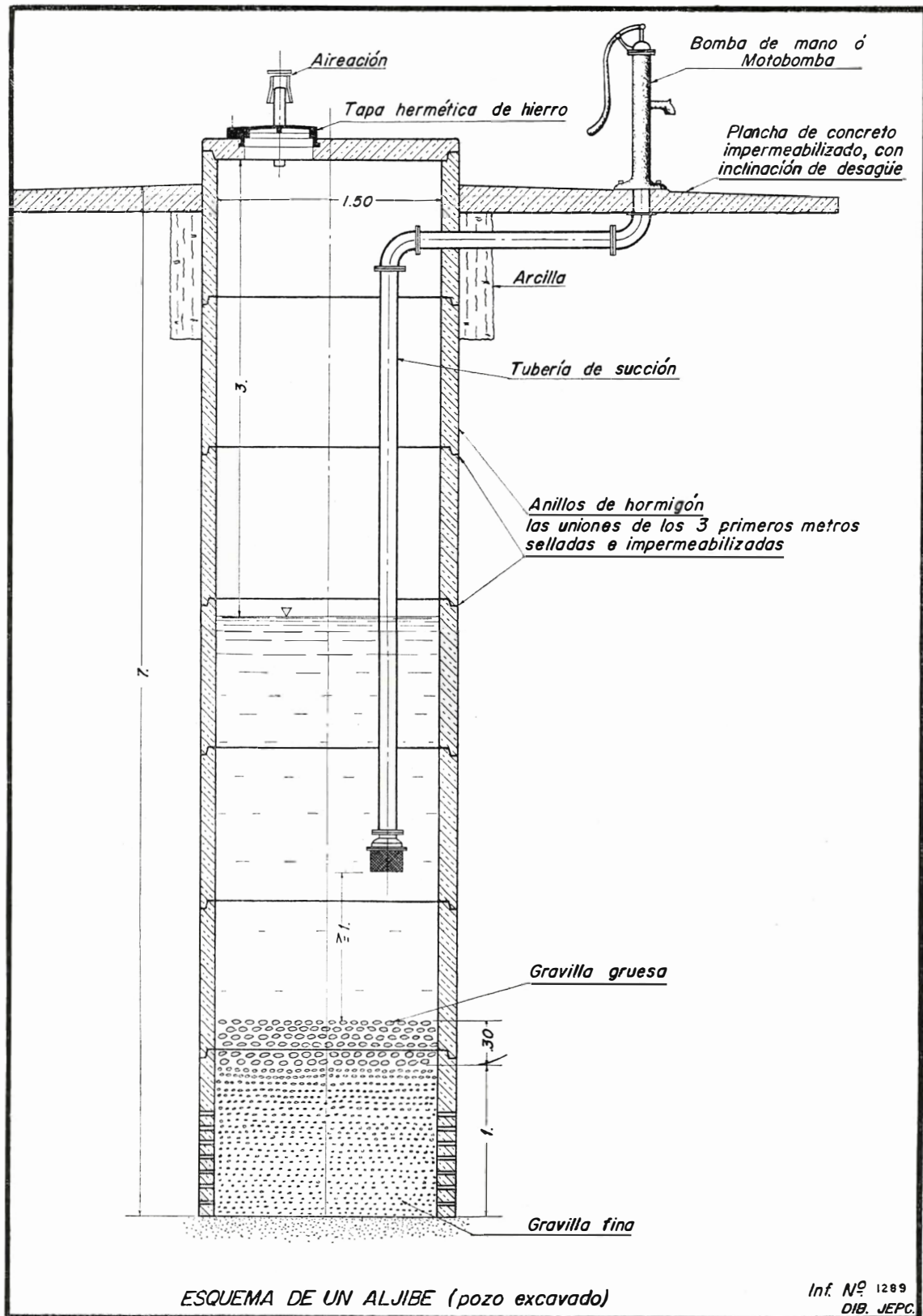
Los pozos perforados no necesitan de una localización exacta como los aljibes, en lo que respecta a las condiciones superficiales, sino a las condiciones geológicas. Muchas veces en esta localización se debe sacrificar la comodidad en busca de un sitio apropiado para las perforaciones profundas. Generalmente se considera que la infiltración natural del agua a través de 15 m. de sedimentos como gravas y arenas, no en el caso de grietas o fisuras en que hay una infiltración directa, es suficiente para purificar bacteriológicamente el agua. Por lo demás, todos los requisitos sugeridos para los aljibes en cuanto a protección, terminación y esterilización deben ser seguidos en los pozos.

La dotación de las bombas para los pozos profundos sólo debe hacerse después de construído totalmente el pozo, previo conocimiento de la capacidad específica y de los niveles de la o las capas acuíferas captadas.

La posibilidad de perforar pozos para el abastecimiento público de las poblaciones de la región de Codazzi será definida por los resultados de las perforaciones propuestas en el presente informe.

#### NECESIDAD DE UNA LEGISLACION SOBRE LA EXPLOTACION DE AGUAS SUBTERRANEAS

Hasta el presente en Colombia no existe una legislación propia sobre los derechos y deberes ciudadanos en cuanto a la explotación de las aguas subterráneas. Debido a que esa explotación está siendo apenas ahora tomada en toda su seriedad, tampoco ha sido necesario legislar sobre los proble-



mas que pueda presentar esa actividad. En otras naciones en donde la explotación de las aguas subterráneas es intensa y representa un gran valor público y económico, existen legislaciones propias, algunas de las cuales tienen varios siglos de existencia.

En el siglo pasado, en los Estados Unidos se tenía la idea de que el origen y movimiento de las aguas subterráneas eran tan desconocidos que no era posible formular ninguna reglamentación legal que la gobernase; esta idea hoy está completamente abandonada, y en ese país existen legislaciones sobre las aguas subterráneas, una por cada Estado de la Unión. Como culminación del estudio y solución de diversos problemas legales, se ha establecido que el derecho de un propietario a usar del agua subterránea en los terrenos de su propiedad, está limitado por los mismos derechos que a ella tienen sus vecinos; pero algo más se agregó luego: este derecho debe ser correlacionado o equilibrado de acuerdo con la disponibilidad global del agua en una provincia hidrológicamente determinada.

No es el aspecto puramente jurídico del problema el que nos incumbe a los hidrogeólogos. El suscrito profesa la creencia de que *el uso del agua subterránea debe ser ajustado a las normas que gobiernan su existencia en la naturaleza y explotadas como bien común. Esta explotación debe en un todo ajustarse a necesidades reales encaminadas a producir beneficio social o económico, dando prioridad a los intereses públicos sobre los particulares, todo de acuerdo con la disponibilidad que haya del agua en el subsuelo.* La definición de términos técnicos, la explicación de los fenómenos anaturales y la determinación de la existencia en calidad, cantidad y cualidades propias de cada acuífero, es la contribución necesaria de la hidrogeología y la reglamentación de las aguas del subsuelo.

Los anteriores puntos plantean un problema altamente complejo, cuyo conocimiento no es fácil. Por esto es necesario también reglamentar y calificar la capacidad técnica de quienes se dedican a la construcción de las captaciones, mediante la protección y organización estatal de las profesiones relacionadas a estas actividades. Cada problema hidrogeológico es individual y pertenece intrínsecamente a los fenómenos dinámicos de la naturaleza, con factores de influencia decisiva que no pueden ser medidos en un término de tiempo predeterminado, pues serán más exactos de acuerdo con la duración y la calidad de las observaciones. Planteado así el problema y por tratarse del agua subterránea de un bien común de imprescindible valor económico, sólo el Gobierno de una nación, por intermedio de oficinas especializadas, puede adelantar el control y la investigación necesarios al buen uso y conservación de las aguas subterráneas.

Sería necio pensar que el Estado hiciera todas las perforaciones y obtuviera todos los datos necesarios al conocimiento, control y conservación de las aguas del subsuelo; mediante la reglamentación por los técnicos dedicados a la construcción de captaciones para aguas subterráneas y una estrecha colaboración de asesoría y de intercambio de datos, se puede llegar a una compilación suficiente que permita conocer en su verdadero valor los recursos de la Nación en aguas subterráneas.

La explotación de pozos de agua para la irrigación requiere del legislador normas concretas y claras que definan el derecho que cada individuo tiene de explotar el agua del subsuelo de sus tierras. Uno de los

errores que han provocado mayores dificultades, es la creencia de que el agua subterránea va por corrientes encauzadas, parecidas a las que podemos observar en la superficie; este es un caso particular, en realidad muy raro, del agua subterránea. Es verdad que el agua subterránea tiene una dirección de flujo, pero lo común en hidrogeología son los mantos acuíferos y no los cauces. La dirección del flujo subterráneo puede ser fácilmente alterada mediante un pozo o captación que extraiga suficiente cantidad de agua como para hacer converger hacia él el flujo natural, provocando un cono de depresión del nivel freático; el descenso provocado teórica y prácticamente, tiende a extenderse hasta los límites naturales del depósito de agua subterránea.

La extracción inmoderada de agua en un pozo en Codazzi podría privar a los vecinos del lote en explotación de la cantidad de agua necesaria a su propia irrigación, causando un descenso grande en los niveles de agua; el valor real, en metros, de ese descenso del nivel freático, no es previsible de antemano sino mediante ensayos de bombeo altamente técnicos.

Será necesario un gran conocimiento de las reservas de agua de la región antes de poder decidir sobre la cantidad global disponible para la irrigación, sin detrimento del depósito; es necesaria mucha investigación antes de saber la cantidad de agua que por concepto de percolación de las lluvias e infiltración de agua proveniente de otras regiones entra en la cuenca, y la cantidad disponible para extraer y ser usada en la irrigación. Otro criterio al respecto podría provocar la ruina total del depósito con un aprovechamiento sólo transitorio para unos cuantos.

Probada la posibilidad de explotar aguas subterráneas mediante pozos para la irrigación, la tendencia de los intereses económicos será la de construir captaciones y obtener agua en grandes cantidades. Es por lo tanto necesario que mientras se tenga el conocimiento debido del depósito, alguna reglamentación al respecto sea prevista. Sugerimos que de acuerdo con las técnicas agrícolas propias, se defina la cantidad de agua que se necesita por hectárea para la irrigación y se fije esa cantidad como límite de derecho de explotabilidad para cada propietario; es decir, que el propietario de doscientas hectáreas tendrá, por ejemplo, derecho a doscientos litros por segundo, continuos, durante la época de sequía.

Otro problema importante será el de la distancia de uno a otro pozo, especialmente cuando estén a cortas distancias de límites entre propiedades.

Finalmente, certificamos que la explotación de aguas subterráneas para el uso público, la irrigación y la industria en Colombia, está tomando un ritmo acelerado, con un aumento notable del número de entidades particulares dedicadas a la construcción de pozos, y que es un todo necesario que el Gobierno Nacional avoque la reglamentación de la profesión de perforadores de pozos para agua y la legislación sobre la explotación, conservación y usos del agua subterránea.