

REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y PETROLEOS
INSTITUTO GEOLOGICO NACIONAL



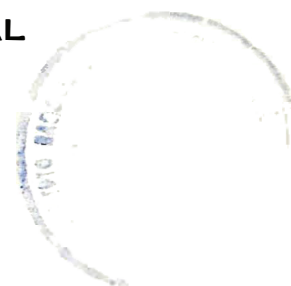
BOLETIN GEOLOGICO

VOL. V

ENERO - ABRIL 1957

NUMERO 1

REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y PETROLEOS
INSTITUTO GEOLOGICO NACIONAL



BOLETIN GEOLOGICO

VOLUMEN V

ABRIL 1957

NUMERO 1

CONTENIDO:

<i>Resultados prácticos de los trabajos de la Sección de Hidrogeología del Instituto Geológico Nacional, en tres años de labores.</i> —J. López Casas	5—14
<i>Bibliografía de los estudios referentes a aguas subterráneas, que pueden ser consultados en el Instituto Geológico Nacional.</i> —J. López Casas	15—41
<i>Química de las aguas subterráneas y su importancia desde el punto de vista de potabilidad e higiene.</i> —Carlos I. Delgado	43—69
<i>El ensayo de bombeo en las captaciones de agua subterránea.</i> —J. López Casas	71—81
<i>Aprovechamiento del depósito de agua subterránea dulce en la Isla de San Andrés.</i> —W. Diezemann y Carlos I. Delgado.	83—109
<i>Calidad del agua en el acueducto de "El Centro", Barrancabermeja (Santander).</i> —Carlos I. Delgado	111—117
<i>Calidad del agua en el acueducto de San Antonio de California (Santander).</i> —Carlos I. Delgado	119—126

REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y PETROLEOS
INSTITUTO GEOLOGICO NACIONAL

RESULTADOS PRACTICOS DE LOS TRABAJOS DE LA SECCION
DE HIDROGEOLOGIA DEL INSTITUTO GEOLOGICO NACIONAL,
EN TRES AÑOS DE LABORES.

INFORME No. 1207

JAIME LOPEZ CASAS
HIDROGEOLOGO-JEFE

BOGOTA, D. E. DICIEMBRE DE 1956

RESULTADOS PRACTICOS DE LOS TRABAJOS DE LA SECCION
DE HIDROGEOLOGIA DEL INSTITUTO GEOLOGICO NACIONAL,
EN TRES AÑOS DE LABORES

Bogotá, D. E., diciembre de 1956.

La Sección de Hidrogeología del Instituto Geológico Nacional, Ministerio de Minas y Petróleos, fue creada a fines de 1953, pero ya antes el doctor W. Diezemann, hidrogeólogo de este Instituto, había venido trabajando en el estudio sistemático de los recursos de aguas subterráneas de la Nación. Principalmente se debe a él la insistencia sobre la necesidad y conveniencia de aprovechar las fuentes subterráneas de agua para el abastecimiento de poblaciones, aun de aquellas que están localizadas a la orilla de grandes ríos. La urgencia de una campaña en este sentido radica en varios y complejos factores cuales son: a) la necesidad de dotar a las poblaciones de agua en cantidad, calidad e higiene aceptables para el consumo humano y sin la cual no hay adelanto posible; b) las escasas posibilidades económicas de los conglomerados sociales, pues en Colombia el alto costo de un abastecimiento público, técnica e higiénicamente aceptables no tiene en lo general relación a los escasos recursos económicos de las poblaciones; c) en no pocos sitios del país el agua subterránea es la única posibilidad factible para el abastecimiento público; d) el ejemplo de otros países europeos y americanos económica y técnicamente más avanzados que el nuestro, donde el agua subterránea es utilizada ampliamente para el abastecimiento público e industrial.

Después de tres años de intensos trabajos durante los cuales se han rendido más de un centenar de estudios hidrogeológicos, la Sección de Hidrogeología puede ofrecer una lista satisfactoria de realizaciones prácticas. La enumeración que a continuación se da sobre captaciones de aguas subterráneas construídas con base en estudios de esta oficina, es solamente parcial y cubre las obras de mayor trascendencia.

Debemos anotar que el aprovechamiento que se haga de las captaciones escapa a nuestros esfuerzos, pues la labor hidrogeológica termina con la construcción, terminación y aforo de los pozos. En algunas ocasiones, quizá por falta de una tradición popular en la apreciación del agua subterránea, el mal entendimiento ha frustrado los esfuerzos y hay sitios donde los pozos construídos con la más alta técnica, derraman espontáneamente varios litros por segundo de agua. En tanto los habitantes del pueblo cercano carecen de este elemento y se estudian nuevos proyectos más espectaculares, altamente costosos en su construcción, complicados en su mantenimiento desde puntos de vista prácticos a nuestro medio y por consiguiente cuya realización y efectividad es remota en poblaciones de segunda y tercera importancia.

Se anotarán los números, los autores y los títulos de los informes que sirvieron de base a los proyectos ya cumplidos y a continuación se dará el resultado de las perforaciones. Por último, se señalará si la localidad y construcción de estos proyectos se ciñeron y confirmaron de acuerdo a las indicaciones y conclusiones de los informes y el estado actual del aprovechamiento de esos pozos.

Chía (Cundinamarca).

Informe número 730. Por Wolfgang Diezemann.

“Abastecimiento de aguas para el Municipio de Chía”. Enero de 1951.

Con base en este informe, se perforaron dos pozos:

Pozo C-435.

Profundidad, 85 metros.

Tubería de material plástico de 0.10 cm. de θ .

Filtros ranurados de material plástico, relleno de grava.

Nivel piezométrico en el pozo. Agua saltante + 3 metros.

Descenso del nivel: — 9 m.

Rendimiento: 10 litros por segundo.

Pozo C-443.

A una distancia de 80 metros del anterior. Construcción similar.

Descenso durante el bombeo: 10 m.

Rendimiento: 12 litros por segundo.

Nota. Los pozos se localizaron según la segunda alternativa, que indicaba el informe como apropiada para las captaciones. Todos los demás consejos técnicos contenidos en el informe fueron estrictamente seguidos.

Estos pozos hace varios años fueron terminados, pero las instalaciones para la estación de bombeo y la red de distribución no han sido hechas por motivos que no son claros.

Corozal (Bolívar).

Informe número 883. Wolfgang Diezemann y Jaime López Casas.

“Posibilidades para la construcción de un acueducto de aguas subterráneas en el Municipio de Corozal (Departamento de Bolívar)”. Noviembre de 1952.

Informe número 943. Wolfgang Diezemann.

“Posibilidades geohidrológicas para la construcción de un acueducto de aguas subterráneas en Sincelejo, y algunas observaciones en Corozal y Tolú” (Departamento de Bolívar). Septiembre de 1953.

Debido al fracaso de una perforación de ensayo hasta los 150 metros de profundidad en terrenos cercanos a la población de Sincelejo, lo cual había sido previsto por los estudios geohidrológicos, se procedió a perforar en Corozal con base en el informe arriba citado.

Pozo número 1.

Profundidad: 96 metros.
Diámetro inicial de perforación: 572 mm.
Diámetro final de perforación: 419 mm.
Descenso absoluto durante el ensayo de bombeo: 10.95 m.
Rendimiento: 10.47 litros por segundo.
Tubería de Eternit con relleno de grava.

Pozo número 2.

Profundidad: 98.6 metros.
Diámetro inicial de perforación: 488 mm.
Diámetro final de perforación: 419 mm.
Descenso absoluto durante el bombeo: 7.30 m.
Rendimiento: 10.2 litros por segundo.
Tubería Eternit con relleno de grava.

Pozo número 3.

Profundidad: 95.8 metros.
Diámetro inicial de perforación: 488 mm.
Diámetro final de perforación: 419 mm.
Descenso absoluto durante el bombeo: 4.4 m.
Rendimiento: 8.64 litros por segundo.
Tubería Eternit con relleno de grava.

Nota. Los pozos fueron localizados dentro del área indicada en el informe y con las especificaciones allí anotadas. Los pozos están listos para ser conectados a la red de distribución.

Como se indica en los informes arriba citados se aspira a que Co-rozal sea el centro de abastecimiento de agua, mediante una serie de pozos profundos para las ciudades de Sincelejo, Morroa, Los Palmitos y posiblemente Sincé.

Tumaco (Nariño).

Informe número 871. Wolfgang Diezemann.

“El problema de agua potable para la urbanización nueva en la Isla del Morro. Municipio de Tumaco. Nariño”. Septiembre de 1952.

Informe número 869. Wolfgang Diezemann.

“Memorandum sobre una propuesta para trabajos hidrológicos preliminares y sobre la estimación de los costos de un acueducto para la urbanización de la Isla del Morro. Nariño”. Septiembre de 1952.

Informe número 935. Wolfgang Diezemann.

“El posible abastecimiento de Tumaco y de la urbanización nueva en la Isla del Morro con agua de dunas y de lluvias”. Julio de 1953.
“Memorándum sobre el problema de agua potable para el Municipio de Tumaco, en el Departamento de Nariño”. Wolfgang Diezemann. Mayo de 1955.

Con base en los anteriores informes en 1956 se terminaron 60 pozos de 20" de diámetro con profundidades de 10 a 20 metros, en los sitios y con las especificaciones indicadas en los informes.

El rendimiento de cada uno de los pozos es de 2 litros por segundo, o sea un total de 120 litros por segundo.

Los trabajos de aprovechamiento de esta agua están siendo adelantados.

Usaquén (Cundinamarca).

Informe número 942. Wolfgang Diezemann y Jaime López Casas.

"Condiciones geohidrológicas para la construcción de un acueducto de aguas subterráneas en los cuarteles de Usaquén". Septiembre de 1953. Se perforaron tres pozos:

Pozo C-472.

Profundidad total: 35 metros.

Diámetro de la tubería y de los filtros: 6" con relleno de grava.

Nivel piezométrico: agua saltante a + 4 metros.

Descenso absoluto debido al bombeo: 8 metros.

Rendimiento: 2 litros por segundo.

Pozo C-476.

Profundidad total: 34 metros.

Tubería y filtros de Eternit con relleno de grava.

Nivel piezométrico: agua saltante + 4 metros.

Descenso absoluto debido al bombeo: 9 metros.

Rendimiento: 4 a 5 litros por segundo.

Pozo C-477.

Profundidad total: 37 metros.

Nivel piezométrico: agua saltante a + 2.5 metros.

Descenso absoluto debido al bombeo: 17 metros.

Rendimiento: 2.2 litros por segundo.

Tubería y filtros de Eternit con relleno de grava.

Nota. Los pozos fueron construídos según las especificaciones y la localización indicada en el informe. Los pozos son explotables.

Cereté (Córdoba).

Informe número 1018. Wolfgang Diezemann y Jaime López Casas.

"Aprovechamiento de aguas subterráneas en los cuarteles de Montería y en las poblaciones de Garzones, Cereté, San Pelayo y Lorica, Departamento de Córdoba". Mayo de 1954. Se perforaron cuatro pozos:

Pozo número 1.

Profundidad: 48.35 m.

Diámetro de perforación: 18".

Filtros: Eternit con relleno de grava.

Pozo número 2.

Profundidad: 33.80 m.

Diámetro de perforación: 18".

Filtros: Eternit con relleno de grava.

Pozo número 3.

Profundidad: 34.40 m.

Diámetro de perforación: 18".

Filtros: Eternit con relleno de grava.

Pozo número 4.

Profundidad: 34.20 m.

Diámetro de perforación: 18".

Filtros: Eternit con relleno de grava.

Nota. Los cuatro pozos fueron construídos en material cuaternario de acuerdo a las sugerencias dadas en el informe citado. Ellos producen conjuntamente 32 litros por segundo. En vista del éxito obtenido, ya están acoplados al tanque y red de distribución, faltando solamente la instalación eléctrica. Sería este el primer acueducto de aguas subterráneas en el país, base y estímulo para posteriores instalaciones de su género.

Lorica (Córdoba).

Informe número 1018. Wolfgang Diezemann y Jaime López Casas.

"Aprovechamiento de aguas subterráneas en los cuarteles de Montería y en las poblaciones de Garzones, Cereté, San Pelayo y Lorica, Departamento de Córdoba". Mayo de 1954. Se perforaron 4 pozos:

Pozo número 1.

Profundidad: 30.1 m.

Diámetro de perforación: 370 mm.

Filtros: Eternit con relleno de grava.

Pozo número 2.

Profundidad: 31 m.

Diámetro de perforación: 470 mm.

Filtros: Eternit con relleno de grava.

Pozo número 3.

Profundidad: 31 m.

Diámetro de perforación: 470 mm.

Filtros: Eternit con relleno de grava.

Pozo número 4.

Profundidad: 31 m.

Diámetro de perforación: 470 mm.

Filtros: Eternit con relleno de grava.

Nota. Los pozos fueron construídos sobre material cuaternario, según el informe ya citado. Producen en total 26.6 litros por segundo

y están listos para ser conectados al acueducto proyectado para Lórica.

San Pelayo (Córdoba).

Fue perforado un pozo con las siguientes especificaciones y resultados:

Pozo número 1.

Profundidad: 35.20 m.

Diámetro de perforación: 18".

Filtros: Eternit con relleno de grava.

Rendimiento: 4.1 litros por segundo.

Nota. Este pozo ya construido será la base para el acueducto de San Pelayo, siguiendo las anotaciones del Informe número 1018, ya mencionado.

Sincelejo (Bolívar).

Informe número 1095. Wolfgang Diezemann y Carlos I. Delgado D.

“Consideraciones hidrogeológicas sobre el posible abastecimiento de agua subterránea para las poblaciones de Sincelejo, Morroa, Los Palmitos, Ovejas, Carmen, San Jacinto y San Juan Nepomuceno, en el Departamento de Bolívar”. Abril de 1955.

Nota. El informe en referencia fue tenido en cuenta para las captaciones en Sincelejo descartando una de las zonas propuestas, la más cercana a Sincelejo, y dando prelación a la zona cercana a Corozal con resultados halagadores en cuanto a cantidad y calidad del agua. (Véase Corozal).

Ovejas (Bolívar).

El mismo informe anterior (número 1095), dio la pauta a seguir para llevar a cabo una perforación de ensayo, 2 kilómetros al norte de la población (Valle de Platanalquito) con el siguiente resultado:

Profundidad: 60 m.

Diámetro de perforación: 318 mm.

Rendimiento sin bombeo: 2 litros por segundo.

Rendimiento con bombeo: 7.4 litros por segundo.

Descenso absoluto durante el bombeo: 11.74 m.

Nota. En vista del buen resultado, esta perforación de ensayo fue terminada y tenida en cuenta como pozo definitivo. En el informe se sugiere aprovechar esta zona de captación ya sea para el acueducto de Ovejas o conjuntamente para esta población y Carmen de Bolívar.

Riohacha (Guajira).

Informe número 1063. Wolfgang Diezemann.

“Problemas del acueducto de Riohacha, Guajira, y su posible solución”. Noviembre de 1954.

Informe número 1137. Wolfgang Diezemann.

“Informe preliminar sobre un estudio de aguas subterráneas en las poblaciones de Riohacha, Dibulla, La Punta y Camarones (Guajira)”. Noviembre de 1955. Tres pozos fueron perforados en Riohacha con los siguientes resultados:

Pozo número 1.

Profundidad 19.50 m.

Filtros: Eternit con relleno de grava.

Diámetro de perforación: 419 mm.

Rendimiento: 10 litros por segundo, con un descenso absoluto de 7.3 m.

Pozo número 2.

Profundidad: 11.60 m.

Rendimiento: 4.4 litros por segundo, con un descenso absoluto de 6.55 m.

Diámetro de perforación: 419 mm.

Filtros: Eternit con relleno de grava.

Pozo número 3.

Profundidad: 30.50 m.

Diámetro de perforación: 419 mm.

Rendimiento: 10 litros por segundo, con un descenso absoluto de 5.25 m.

Filtros: Eternit con relleno de grava.

Nota. Los tres pozos construídos responden fielmente a las sugerencias de los dos informes citados, y en vista del éxito alcanzado ellos servirán seguramente para el acueducto de Riohacha.

Dibulla y La Punta (Guajira).

En una zona intermedia entre las dos poblaciones (4 kilómetros de la población de La Punta), se perforaron tres pozos con los siguientes resultados:

Pozo número 1.

Profundidad: 30 m.

Diámetro de perforación: 20”.

Rendimiento: 6.6 litros por segundo.

Descenso absoluto: 5.96 m.

Filtros: Eternit con relleno de grava.

Pozo número 2.

Profundidad: 30 m.

Diámetro de perforación: 20”.

Rendimiento: 9.1 litros por segundo.

Descenso absoluto: 5.13 m.

Filtros: Eternit con relleno de grava.

Pozo número 3.

Profundidad: 30 m.

Diámetro de perforación: 20".

Rendimiento: 3.2 litros por segundo.

Descenso absoluto: 6.80 m.

Filtros: Eternit con relleno de grava.

Nota. Tal como se sugirió en el Informe número 1137 ya mencionado, los pozos fueron construídos en la zona indicada como más favorable con resultados excelentes y con un rendimiento total que garantiza el éxito de un solo acueducto para ambas poblaciones de Dibulla y La Punta.

San Juan de Cesar (Guajira).

Informe número 1165. Wolfgang Diezemann.

“Condiciones hidrogeológicas para la construcción de captaciones de agua subterránea en las poblaciones de San Juan de Cesar, Distracción, Fonseca, Barrancas y Camarones (Guajira)”. Abril de 1956.

En la zona número 3 del citado informe se perforaron 2 pozos con los siguientes resultados:

Pozo número 1.

Profundidad: 17.80 m.

Diámetro de perforación: 9".

Rendimiento: 6 litros por segundo, con un descenso absoluto de 1.99 m.

Filtros: Johnson.

Pozo número 2.

Profundidad total: 7.1 m.

Diámetro de perforación: 9".

Rendimiento: 5.8 litros por segundo, con un descenso absoluto de 2.10 m.

Filtros: Johnson.

Nota: Los dos pozos ya construídos serviran para el acueducto de San Juan de Cesar, y para su localización y construcción se siguieron las insinuaciones dadas en el informe mencionado.

REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y PETROLEOS
INSTITUTO GEOLOGICO NACIONAL

**BIBLIOGRAFIA DE LOS ESTUDIOS REFERENTES A AGUAS
SUBTERRANEAS, QUE PUEDEN SER CONSULTADOS EN EL
INSTITUTO GEOLOGICO NACIONAL.**

INFORME No. 1210

JAIME LOPEZ CASAS
HIDROGEOLOGO-JEFE

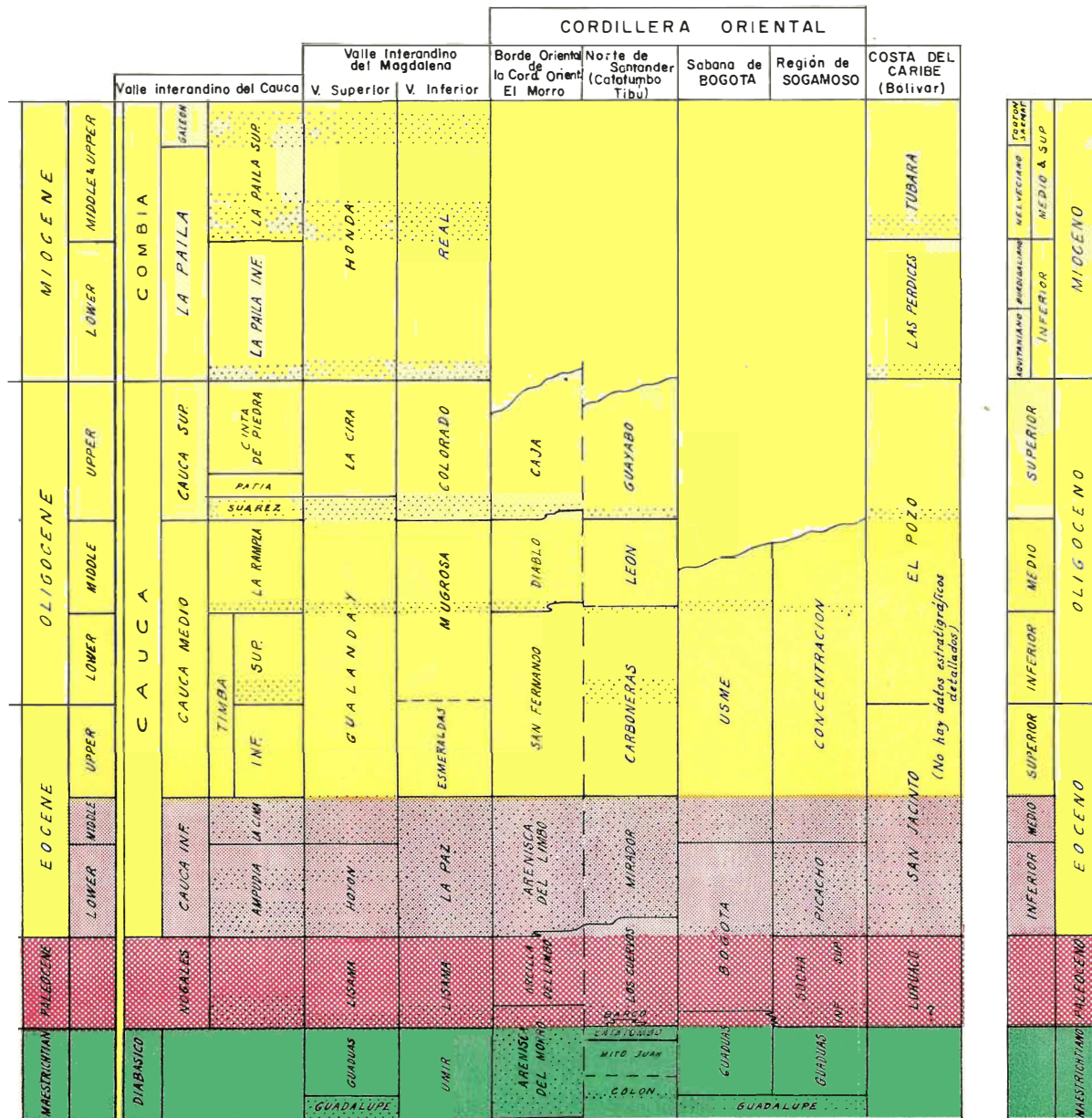
CONTENIDO:

Informes Generales	17
Antioquia	18
Atlántico	18
Bolívar	19
Boyacá	21
Caldas	22
Cauca	23
Córdoba	24
Cundinamarca	25
Guajira	33
Huila	35
Magdalena	35
Meta	36
Nariño	36
Norte de Santander	37
San Andrés y Providencia	38
Santander	38
Tolima	39
Valle del Cauca	40

AUTOR THOMAS VAN DER HAMMEN

ESQUEMA DE LA CORRELACION Y EDAD DE HORIZONTES CONSTANTES DE ARENISCAS Y CONGLOMERADOS EN LOS ANDES COLOMBIANOS

SCHEME OF THE CORRELATION AND AGE OF CONSTANT SANDSTONE - AND CONGLOMERATE HORIZONS IN THE COLOMBIAN ANDES



BIBLIOGRAFIA DE LOS ESTUDIOS REFERENTES A AGUAS SUBTERRANEAS, QUE PUEDEN SER CONSULTADOS EN EL INSTITUTO GEOLOGICO NACIONAL

Notas: La bibliografía ha sido ordenada por Departamentos y Municipios, alfabéticamente.

Los estudios sobre aguas subterráneas procedentes de otras entidades, en su gran mayoría están incluidos en esta bibliografía, y por lo tanto, ésta se puede considerar como la bibliografía general de los estudios de las aguas subterráneas en Colombia.

INFORMES GENERALES

1. "Ideas y proposiciones sobre la cuestión del abastecimiento de agua en la agricultura, urbanización e industria". Por W. Diezemann. Inf. N° 687, I. G. N., noviembre de 1949.
2. "Consideraciones sobre la hidrogeología oficial". Por W. Diezemann y J. López Casas. Inf. N° 888, I. G. N., noviembre de 1952.
3. "En la Feria Exposición de Bogotá: Acueductos de aguas subterráneas comienzan a construirse en este país". Bogotá, *El Tiempo*, noviembre 25 de 1954.
4. "Observaciones para la construcción de acueductos centrales para ciudades y poblaciones". Por W. Diezemann y C. I. Delgado. Inf. N° 1114, I. G. N., agosto de 1955.
5. "Química de las aguas subterráneas y su importancia desde el punto de vista de potabilidad e higiene". Por C. I. Delgado. Inf. N° 1205, I. G. N., noviembre de 1949.
6. "Resultados prácticos de la Sección de Hidrogeología del I. G. N., en tres años de labores". Por J. López Casas. Inf. N° 1207, I. G. N., diciembre de 1956.
7. "El ensayo de bombeo en las captaciones de agua subterránea". Por J. López Casas. Inf. N° 1204, I. G. N., diciembre de 1956.

ANTIOQUIA

Puerto Berrío.

8. "Condiciones hidrogeológicas para un acueducto de aguas subterráneas en Puerto Berrío, Antioquia". Por W. Diezemann.
Inf. N° 1155, I. G. N., febrero de 1956.

Sopetrán.

9. "Informe N° 2 sobre una fuente salada en el Municipio de Sopetrán, Antioquia". Por R. Arenas y G. Choperena.
Inf. N° 993, Servicio Minero, Medellín, enero de 1954.

ATLANTICO

Informes generales.

10. "Breves anotaciones sobre abastecimiento de aguas en algunas poblaciones del Departamento del Atlántico". Por W. Diezemann.
Inf. N° 923, I. G. N., junio de 1953.
11. "Observaciones generales sobre las aguas subterráneas en el Departamento del Atlántico". Por J. López Casas.
Carta. Bogotá, agosto 24 de 1956.
12. "Extracto de un estudio de las aguas subterráneas en el Departamento del Atlántico". Por J. Gutiérrez E.

Candelaria.

13. "Concepto sobre el Informe 'Irrigación Ponedera-Candelaria', por Olarte, Ospina, Arias y Payán, Departamento del Atlántico". Por E. Hubach.
Inf. N° 857, I. G. N., julio de 1952.
14. "Irrigación Ponedera-Candelaria. Informe general".
Por Olarte, Arias, Ospina y Payán.
Infs. Nos. 855 y 856, Secretaría de Agricultura, Ganadería e Industrias, 1951.

Los Pendales.

15. "Abastecimiento de agua dulce para la Hacienda Río Dulce, Corregimiento de Los Pendales, Departamento del Atlántico". Por W. Diezemann.

Sabanalarga.

16. "Las posibilidades de la construcción de un acueducto de aguas subterráneas en la cabecera del Municipio de Sabanalarga, Departamento del Atlántico". Por W. Diezemann y J. López Casas.
Inf. N° 924, I. G. N., julio de 1953.

B O L I V A R

Informes generales.

17. "Breve resumen sobre el resultado de estudios hidrogeológicos en varias regiones del Departamento de Bolívar". Por W. Diezemann. Abril de 1955.
18. "Estudio de recomendaciones generales sobre el abastecimiento de agua de las poblaciones situadas en las siguientes regiones: Norte de Bolívar, Sabanas de Bolívar y Valle del río Sinú". Ministerio de Higiene, Servicio Cooperativo de Salud Pública, 1953.

El Carmen.

19. "Estudio preliminar sobre posible abastecimiento de agua en El Carmen, Departamento de Bolívar". Por J. Holguín S. Inf. N° 144, mayo de 1944.

*Véase Sincelejo.**Corozal.*

20. "Posibilidades para la construcción de un acueducto de aguas subterráneas en el Municipio de Corozal, Departamento de Bolívar". Por W. Diezemann y J. López Casas. Inf. N° 883, I. G. N., enero de 1953.

*Véase Sincelejo.**Los Palmitos.**Véase Sincelejo.**Caño de Loro.*

21. "Geología de Tierra Bomba, Cartagena, y estudio del abastecimiento de Caño de Loro, mediante aguas subterráneas". Por J. Royo y Gómez. Publicado: Comp. Est. Geol. Ofic. de Col. Vol. VIII, págs. 33 a 66, 1950.

Magangué.

22. "Anotaciones sobre aguas subterráneas para los silos del INA en Cartago, Departamento del Valle; La Dorada, Departamento de Caldas; Magangué, Departamento de Bolívar, y Montería, Departamento de Córdoba". Por J. López Casas. Inf. N° 964, I. G. N., octubre de 1953.
23. "Condiciones hidrogeológicas para la construcción de acueductos con agua subterránea en las poblaciones de Magangué y Zambrano, Departamento de Bolívar". Por W. Diezemann. Inf. N° 1141, I. G. N., enero de 1953.

*Morroa.**Véase Sincelejo.*

Ovejas.

Véase *Sincelejo*.

Sampués.

24. "Aprovechamiento de aguas subterráneas en las poblaciones de Sampués, Departamento de Bolívar; San Andrés, Chinú, Sahagún, San Carlos, Pueblo Nuevo y Planeta Rica, Departamento de Córdoba". Por W. Diezemann y J. López Casas. Inf. N.º 1024, I. G. N., agosto de 1954.

San Jacinto.

Véase *Sincelejo*.

San Juan Nepomuceno.

Véase *Sincelejo*.

Sincelejo.

25. "Consideraciones hidrogeológicas sobre el posible abastecimiento de agua subterránea para las poblaciones de Sincelejo, Morroa, Los Palmitos, Ovejas, El Carmen, San Jacinto y San Juan Nepomuceno, en el Departamento de Bolívar". Por W. Diezemann y C. I. Delgado. Inf. N.º 1095, I. G. N., abril de 1955.
26. "Memorándum sobre algunas perforaciones en el Municipio de Sincelejo". Por W. Diezemann. Inf. N.º 1054, I. G. N., septiembre de 1954.
27. "Posibilidades geohidrológicas para la construcción de un acueducto de aguas subterráneas en Sincelejo, y algunas observaciones en Corozal y Tolú, Departamento de Bolívar". Por W. Diezemann. Inf. N.º 943, I. G. N., septiembre de 1953. Publicado: *Boletín Geológico*, Nos. 6 y 7, págs. 71 a 80, 1953.

Tolú.

28. "Memorándum sobre la construcción de captaciones de aguas subterráneas en Tolú, Departamento de Bolívar". Por W. Diezemann. Mayo de 1956.

Véase *Sincelejo*.

Tolúviejo.

29. "Agua potable para Tierra Alta, Departamento de Córdoba, y captaciones de manantiales para el acueducto de Tolúviejo, Departamento de Bolívar". Por W. Diezemann, J. López Casas y C. I. Delgado. Inf. N.º 1144, I. G. N., enero de 1956.

Turbaco.

30. "Reconocimiento geohidrológico preliminar para las poblaciones de Turbaco y Turbaná, Departamento de Bolívar". Por J. López Casas. Inf. N.º 1153, I. G. N., febrero de 1953.

Turbaná.

Véase *Turbaco*.

Zambrano.

Véase *Magangué*.

B O Y A C A

Belencito.

31. "Estudio para perforaciones para aguas artesianas". Por V. Suárez H. Empresa Siderúrgica de Paz de Río, S. A., Memorándum N° 79, Aparte G., junio 28 de 1951.
32. "Posibilidades de abastecer con agua subterránea las viviendas y las obras de Belencito, Departamento de Boyacá". Por W. Diezemann. Inf. N° 772, I. G. N., junio de 1951.
33. "Estudio geohidrológico preliminar para localizar un sitio de perforación en Belencito, Departamento de Boyacá". Por J. López Casas. Inf. N° 1172, I. G. N., abril de 1956.

Boavita.

34. "Informe geológico sobre la captación de aguas para el acueducto de Boavita, Departamento de Boyacá". Por H. Gutiérrez. Inf. N° 622, I. G. N., enero de 1948.

Chiquinquirá.

35. "Agua potable para el campamento del Instituto de Aprovechamiento de Aguas, de Chiquinquirá, y agua potable para las bodegas de la Caja de Crédito Agrario, Industrial y Minero, de Tunja, Departamento de Boyacá". Por W. Diezemann. Inf. N° 925, I. G. N., junio de 1953.

Duitama.

36. "Estudios sobre el abastecimiento de aguas para la fábrica de cervezas, del Consorcio de Cervecerías Bavaria, S. A., en Duitama, Departamento de Boyacá". Por G. Botero R. Inf. N° 553, I. G. N., agosto de 1947.

Véase *Paipa*.*Guateque.*

37. "Abasto con agua del Colegio 'Olaya', de Guateque, Departamento de Boyacá". Por E. Hubach. Inf. N° 819, I. G. N., febrero de 1952.

Paipa.

38. "Fuentes termales de Paipa, Departamento de Boyacá". Por R. Sarmiento S. Inf. N° 356, Servicio Técnico de Geología, diciembre de 1942.
39. "Las aguas subterráneas en la altiplanicie de Paipa-Duitama-Sogamoso, Departamento de Boyacá". Por W. Diezemann. Inf. N° 778, I. G. N., septiembre de 1941.

*Sogamoso.*Véase *Paipa*.

Sutatenza.

40. "Concepto hidrogeológico sobre captaciones de agua para Sutatenza, Boyacá". Por J. López Casas.
Inf. N° 1124, I. G. N., septiembre de 1955.

Tibasosa.

41. "Estudio para el estudio de abastecimiento de aguas de regadío en el Municipio de Tibasosa, Departamento de Boyacá". Por G. Botero R.
Inf. N° 527, I. G. N., junio de 1946.
Publicado: Comp. Est. Geol. Ofic. de Col., Vol. VIII, págs. 221 a 244, 1950.

Tunja.

42. "Abastecimiento de agua para Tunja, Departamento de Boyacá".
Por G. Manjarrés.
Inf. N° 648, I. G. N.
43. "Estudio del terreno para un edificio del Seminario de Tunja, aprovechamiento de sus aguas". Por W. Diezemann y C. I. Delgado.
Inf. N° 1100, I. G. N., mayo de 1955.

C A L D A S

Armenia.

44. "Estudio de aguas subterráneas para un acueducto en Tebaida, Municipio de Armenia, Departamento de Caldas". Por W. Diezemann y J. López Casas.
Inf. N° 1005, I. G. N., marzo de 1954.

La Dorada.

45. "Anotaciones sobre aguas subterráneas para los silos del INA en Cartago, Departamento del Valle; La Dorada, Departamento de Caldas; Magangué, Departamento de Bolívar, y Montería, Departamento de Córdoba". Por J. López Casas.
Inf. N° 964, I. G. N., octubre de 1953.

Manizales.

46. "Informe geológico sobre los trazados proyectados para Manizales, Departamento de Caldas". Por J. Royo y Gómez.
Inf. N° 308, Sección Técnica, mayo de 1940.
47. "Estudios de aguas subterráneas en la región de Santa Agueda, Municipio de Manizales, Departamento de Caldas". Por D. Henao L.
Inf. N° 685, I. G. N., agosto de 1942.

Tebaida.

Véase *Armenia*.

C A U C A

Informes generales.

48. "Condiciones hidrogeológicas para la construcción de acueductos en varias poblaciones del Departamento del Cauca". Por W. Diezemann. Inf. N° 1181, I. G. N., agosto de 1956.
49. "Informe sobre las fuentes termales del Departamento del Cauca". Por E. Hubach. Inf. N° 215, febrero de 1933.

Cajibío.

50. "Abasto con agua potable de Cajibío, Morales y Puerto Tejada, norte del Departamento del Cauca". Por E. Hubach. Inf. N° 899, I. G. N., febrero de 1953.

Guachene.

Véase *Generales*.

Guapí.

Véase *Generales*.

El Bordo.

Véase *Generales, Piedrasentada y Puracé*.

Mercaderes.

51. "Informe sobre el Departamento del Cauca: abasto de Mercaderes con agua potable". Por E. Hubach. Inf. N° 813, I. G. N., enero de 1952.

Véase *Puracé*.

Morales.

Véase *Cajibío*.

Padilla.

Véase *Generales*.

Patía.

Véase *Generales y Piedrasentada*.

Piedrasentada.

Véase *Generales*.

52. "Abasto con agua de las poblaciones de Piedrasentada, El Bordo y Patía, Departamento del Cauca". Por E. Hubach. Inf. N° 898, I. G. N., febrero de 1953.

Popayán.

53. "Aguas subterráneas en La Ladera, Popayán, Departamento del Cauca". Por E. Hubach. Inf. N° 963, I. G. N., octubre de 1953.

Puerto Tejada.

Véase *Generales y Cajibío*.

54. "Posibilidades de agua subterránea en Río Paila, Departamento del Cauca". Por W. Diezemann.
Inf. N° 771, I. G. N., julio de 1951.

Puracé.

55. "Abastecimiento del hotel de turismo 'Coconuco' con agua de fuentes termales y de los sitios de El Bordo, El Estrecho y Mercaderes, con agua subterránea o con agua de fuentes, Departamento del Cauca". Por W. Diezemann.
Inf. N° 799, I. G. N., noviembre de 1951.

C O R D O B A

Cereté.

Véase *Montería*.

Ciénaga de Oro.

56. "Aguas subterráneas en Ciénaga de Oro, Departamento de Córdoba". Por W. Diezemann y J. López Casas.
Inf. N° 1022, I. G. N., mayo de 1954.
57. "Estudio geohidrológico en la Hacienda San Antonio, Municipio de Ciénaga de Oro, Departamento de Córdoba". Por W. Diezemann y J. López Casas.
Inf. N° 1014, I. G. N., mayo de 1954.

Garzones.

Véase *Montería*.

Lorica.

Véase *Montería*.

Montería.

58. "Anotaciones sobre aguas subterráneas para los silos del INA en Cartago, Departamento del Valle; La Dorada, Departamento de Caldas; Magangué, Departamento de Bolívar, y Montería, Departamento de Córdoba". Por J. López Casas.
Inf. N° 964, I. G. N., octubre de 1953.
59. "Aprovechamiento de aguas subterráneas en los cuarteles de Montería y en las poblaciones de Garzones, Cereté, San Pelayo y Lorica, Departamento de Córdoba". Por W. Diezemann y J. López Casas.
Inf. N° 1018, I. G. N., mayo de 1954.

Planeta Rica.

Véase *San Andrés*.

Pueblo Nuevo.

Véase *San Andrés*.

Sahagún.

Véase *San Andrés*.

San Andrés.

60. "Aprovechamiento de aguas subterráneas en las poblaciones de Sampués, Departamento de Bolívar; San Andrés, Chinú, Sahagún, San Carlos, Pueblo Nuevo y Planeta Rica, Departamento de Córdoba". Por W. Diezemánn y J. López Casas. Inf. N° 1024, I. G. N., agosto de 1954.

San Carlos.

Véase *San Andrés*.

San Pelayo.

Véase *Montería*.

Tierra Alta.

61. "Agua potable para Tierra Alta, Departamento de Córdoba, y captaciones de manantiales para el acueducto de Tolúviejo, Departamento de Bolívar". Por W. Diezemánn, J. López Casas y C. I. Delgado. Inf. N° 1144, I. G. N., enero de 1956.

CUNDINAMARCA

Agua de Dios.

62. "Condiciones de aumento de agua potable en Agua de Dios, Departamento de Cundinamarca". Por E. Hubach. Inf. N° 991, I. G. N., febrero de 1954.

Bogotá.

63. "Agua subterránea en Bogotá y sus alrededores". (Dos partes). Por W. Diezemánn. Inf. N° 707, I. G. N., agosto de 1949.
64. "Anotaciones sobre trabajos hidrológicos preliminares y sobre el proyecto de acueducto de la Escuela de Policía 'General Santander', en la vecindad de Bogotá". Por W. Diezemánn. Inf. N° 1048, I. G. N., septiembre de 1954.
65. "Anotaciones sobre un posible abastecimiento al sur de Bogotá con agua subterránea". Por W. Diezemánn. Inf. N° 1053, I. G. N., septiembre de 1954.
66. "Apéndice a los trabajos geológicos de campo con destino al Acueducto Municipal de Bogotá". Por J. Royo y Gómez. Inf. N° 737, I. G. N., agosto de 1950.

67. "Apreciación geológica de la acequia Río Blanco, de Gutiérrez-Bogotá, destinada al abastecimiento de agua de Bogotá". Por E. Hubach.
Inf. N° 211, diciembre de 1932.
68. "Apreciación geológica del proyecto Teusacá, presupuestado para el abasto con agua de Bogotá". Por E. Hubach.
Inf. N° 214, enero de 1933.
Publicado: Comp. Est. Geol. Ofic. de Col. Vol. VII, págs. 73 a 75, 1947.
69. "Concepto acerca de la influencia de la extracción de agua subterránea sobre la estabilidad de un edificio". Por E. Hubach.
Inf. N° 185, Comisión Geológica de Petróleos. Diciembre de 1929.
70. "Concepto sobre un pozo perforado en los predios del Hospital Infantil". Por W. Diezemann.
Agosto de 1955.
71. "El suelo lacustre de la Sabana de Bogotá". Por W. Diezemann.
1949.
72. "Estudio hidrogeológico en terrenos del nuevo Colegio de 'Nuestra Señora del Rosario'." Por W. Diezemann.
Inf. N° 962, I. G. N., octubre de 1953.
73. "Estudio sobre aguas subterráneas para la Fábrica de Grasas y Productos Químicos, Ltda.". Por W. Diezemann, 1949.
74. "Hidrogeología del Hospital San Carlos, sur de Bogotá, Departamento de Cundinamarca". Por E. Hubach.
Inf. N° 900, I. G. N., febrero de 1953.
75. "Informe sobre abasto de agua para la Hacienda 'La Picota'." Por E. Hubach.
Inf. N° 181, Ministerio de Industrias, Comisión Geológica de Petróleos.
Abril de 1929.
Publicado: Comp. Est. Geol. Ofic. de Col. Vol. VIII. Págs. 1 a 14, 1947.
76. "Informe sobre las posibilidades de aguas subterráneas en los terrenos de la Escuela Militar de Cadetes, de Bogotá, Cundinamarca". Por J. López Casas.
Inf. N° 980, I. G. N., enero de 1954.
77. "Las aguas para Bogotá". Por J. Royo y Gómez.
Inf. N° 653, I. G. N., enero de 1950.
78. "Posible abastecimiento con aguas subterráneas de la Urbanización situada al sur de la quebrada La Vieja, y al oriente de la carrera primera, Bogotá". Por W. Diezemann y E. Corredor.
Inf. N° 781, I. G. N., octubre de 1951.
79. "Provisión de agua mediante un socavón en el Barrio de Belén, Bogotá, Departamento de Cundinamarca". Por E. Hubach.
Inf. N° 170, febrero de 1927.
80. "Provisión de agua para la capital (Bogotá), Cundinamarca". Por E. Hubach.
Inf. N° 164, 1937.

81. "Sugerencias sobre la construcción de un acueducto de agua subterránea para los barrios del sur de Bogotá, D. E., en el valle del río Tunjuelo". (Informe preliminar). Por W. Diezemann y C. I. Delgado. Inf. N° 1123, I. G. N., septiembre de 1955.
82. "Un acueducto de agua subterránea para el abastecimiento de la Escuela de Policía 'General Santander', de los barrios situados al este y sureste de ésta, y de la proyectada Escuela de Preparación de Agentes 'Rojas Pinilla' en la vecindad de Bogotá". Por W. Diezemann. Inf. N° 1032, I. G. N., junio de 1954.

Beltrán.

83. "Abastecimiento de las poblaciones de Beltrán, Guataquí y Nariño, Departamento de Cundinamarca, con agua subterránea". Por W. Diezemann. Inf. N° 1065, I. G. N., noviembre de 1954.

Bosa.

84. "Concepto hidrogeológico sobre un terreno en la región denominada 'Maicén', Municipio de Bosa". Por W. Diezemann. Inf. N° 850, I. G. N., julio de 1952.
85. "La posible construcción de un acueducto alimentado con agua subterránea para el Municipio de Bosa, Cundinamarca". Por W. Diezemann. Inf. N° 861, I. G. N., agosto de 1952.
86. "Condiciones hidrogeológicas en terrenos de la fábrica 'Indiala', Municipio de Bosa, Departamento de Cundinamarca". Por W. Diezemann y J. López Casas. Inf. N° 965, I. G. N., octubre de 1953.

Cajicá.

87. "Posibilidades de la explotación de aguas subterráneas por el sistema de pozos por filtros en la finca del doctor Julio Vengoechea, en la región de Cajicá, Departamento de Cundinamarca". Por W. Diezemann. Inf. N° 637, I. G. N.

Cambao.

88. "Posible construcción de pozos perforados para el acueducto de Cambao, Departamento de Cundinamarca". Por W. Diezemann. Inf. N° 1098, I. G. N., abril de 1955.

Cáqueza.

89. "El abastecimiento de agua de Cáqueza, Departamento de Cundinamarca". Por J. Royo y Gómez. Inf. N° 339, I. G. N., junio de 1940.

Cota.

90. "Abastecimiento con agua potable de las Granjas Familiares 'Ospina Pérez', en el Municipio de Cota". Por W. Diezemann y R. Sarmiento S. Inf. N° 684, I. G. N., octubre de 1949.
91. "Un acueducto de agua subterránea para las Granjas Familiares 'Ospina Pérez', Municipio de Cota, Departamento de Cundinamarca". Por W. Diezemann y J. López Casas. Inf. N° 959, I. G. N., octubre de 1953.
92. "Abastecimiento de agua subterránea para el Municipio de Cota, Departamento de Cundinamarca". Por W. Diezemann y J. López Casas. Inf. N° 978, I. G. N., diciembre de 1953.
93. "Memorándum sobre el abastecimiento de las Granjas 'Ospina Pérez' en el Municipio de Cota, con aguas subterráneas". Por W. Diezemann. Inf. N° 1056, I. G. N., octubre de 1954.

Chía.

94. "Perforaciones de pozos en la finca 'Aviluns', Municipio de Chía, y en la hacienda del señor Adolfo Rodríguez, Municipio de Nemocón, Departamento de Cundinamarca". Por W. Diezemann. Inf. N° 908, I. G. N., marzo de 1953.
95. "La importancia que representa el acueducto de agua subterránea construido en el Municipio de Chía, Departamento de Cundinamarca". Por W. Diezemann. Inf. N° 939, I. G. N., septiembre de 1953.
96. "Aprovechamiento de aguas subterráneas para la finca 'El Rodeo', en el sureste de Chía". Por W. Diezemann y R. Sarmiento S.
97. "Abastecimiento de aguas para el Municipio de Chía". Por W. Diezemann. Inf. N° 730, I. G. N., febrero de 1951.
98. "La importancia que representa el acueducto de agua subterránea construido en el Municipio de Chía, Departamento de Cundinamarca". Por W. Diezemann. Bogotá, *El Espectador*, septiembre de 1953.
99. "Acueducto subterráneo de Chía pasó a un horizonte sin límites". Bogotá, *Diario Gráfico*, octubre 29 de 1953.

Choachí.

100. "Condiciones de estabilidad del subsuelo en la población de Choachí y medidas para mejorar el abastecimiento de agua". Por J. A. Bueno. Inf. N° 1174, I. G. N., junio de 1956.

Engativá.

101. "Resultado de unas perforaciones en los terrenos del proyectado aeropuerto de Bogotá, Departamento de Cundinamarca". Por J. López Casas. Inf. N° 994, I. G. N., enero de 1954.

102. "La posibilidad de la construcción de un acueducto alimentado con agua subterránea para la Urbanización 'Santa María', Municipio de Engativá, Departamento de Cundinamarca". Por W. Diezemann. Inf. N° 859, I. G. N., julio de 1952.

Fómeque.

103. "Captaciones de puentes para las granjas de Fómeque, Departamento de Cundinamarca". Por J. López Casas. Inf. N° 1135, I. G. N., noviembre de 1955.

Fontibón.

104. "La posibilidad de la explotación de aguas subterráneas para la Urbanización 'Villemar', Fontibón, Cundinamarca". Por W. Diezemann. Inf. N° 735, I. G. N., febrero de 1951.

Funza.

105. "Perforación de un pozo en la finca del doctor José Elías del Hierro, Municipio de Funza, Departamento de Cundinamarca". Por W. Diezemann. Inf. N° 906, I. G. N., marzo de 1953.

Fusagasugá.

106. "Informe sobre posibilidades de aguas subterráneas en la hacienda 'Santa Anita', en Fusagasugá, Departamento de Cundinamarca". Por H. Gutiérrez. Inf. N° 630, I. G. N., agosto de 1948.

Gachancipá.

107. "Aprovechamiento de las aguas subterráneas en las haciendas 'Isama' y 'El Salitre', y de los manantiales del Municipio de Gachancipá, Departamento de Cundinamarca". Por W. Diezemann. Inf. N° 907, I. G. N., marzo de 1953.

Girardot.

108. "Estudio de aguas subterráneas en 'El Yesal', Compañía de Cementos Diamante, Municipio de Girardot, Departamento de Cundinamarca". Por W. Diezemann. Inf. N° 697, I. G. N., enero de 1950.
109. "Posibilidades de aguas subterráneas en la hacienda 'Arizona', Municipio de Girardot, Departamento de Cundinamarca". Por W. Diezemann. Inf. N° 698, I. G. N., enero de 1950.
110. "Posibilidades de abastecimiento de Girardot con aguas subterráneas, Departamento de Cundinamarca". Por J. Royo y Gómez. Inf. N° 488, I. G. N., junio de 1945.

Guachetá.

111. "Agua subterránea de la vereda de Miña, Municipio de Guachetá, Departamento de Cundinamarca". Por W. Diezemann.
Inf. N° 882, I. G. N., noviembre de 1952.

Guaduas.

112. "Aljibes para Puerto Bogotá, Municipio de Guaduas, Departamento de Cundinamarca". Por W. Diezemann.
Inf. N. 905, I. G. N., marzo de 1953.

Guataquí.

Véase *Beltrán*.

La Palma.

113. "Observaciones sobre la calidad de las aguas para el acueducto de La Palma, Departamento de Cundinamarca". Por J. López Casas.
Inf. N° 1163, I. G. N., abril de 1956.

Madrid.

114. "Abastecimiento con aguas subterráneas de la Base Aérea de Madrid". Por W. Diezemann.
Inf. N° 768, I. G. N., julio de 1951.
115. "Posible abastecimiento con agua subterránea de la hacienda 'Las Mercedes', Municipio de Madrid, Departamento de Cundinamarca". Por W. Diezemann.
Inf. N° 894, I. G. N., enero de 1953.

Mosquera.

116. "El agua subterránea en el terreno de la hacienda 'Los Andes', Municipio de Mosquera". Por W. Diezemann.
Inf. N° 841, I. G. N., mayo de 1952.
117. "Informe sobre la 'Fuente del Mal Paso', cerca de Mosquera, Departamento de Cundinamarca". Por W. Diezemann.
Inf. N° 62, abril de 1937.
Publicado: *Boletín de Minas y Petróleos*, Nos. 107 a 120, págs. 123 a 137.

Nariño.

118. "Consideraciones hidrogeológicas para la captación de aguas subterráneas en Nariño, Departamento de Cundinamarca". Por J. López Casas.
Inf. N° 1038, I. G. N., julio de 1954.
Véase *Beltrán*.

Nemocón.

119. "Irrigación por medio de pozos perforados en la hacienda 'La Isla', Municipio de Nemocón, Departamento de Cundinamarca". Por W. Diezemann y J. López Casas.
Inf. N° 1029, I. G. N., junio de 1954.

Véase *Chía*.

Nocaima.

120. "Agua potable para el Municipio de Nocaima, Departamento de Cundinamarca". Por W. Diezemann y J. López Casas.
Inf. N° 875, I. G. N., octubre de 1952.

Soacha.

121. "Abastecimiento con agua subterránea de la Urbanización 'León XIII', Municipio de Soacha, Departamento de Cundinamarca". Por W. Diezemann.
Inf. N° 863, I. G. N., agosto de 1952.
122. "Observaciones sobre tres sondeos en el Municipio de Soacha, Departamento de Cundinamarca". Por J. López Casas.
Inf. N° 1197, I. G. N., octubre de 1956.

Suba.

123. "Un acueducto de aguas subterráneas para las granjas de la Caja de Protección Social de la Policía, Municipio de Suba, Departamento de Cundinamarca". Por W. Diezemann y J. López Casas.
Inf. N° 979, I. G. N., diciembre de 1953.
124. "Apuntes sobre la existencia de carbones explotables y sobre la fuente termal en Suba, hacienda 'Hurtado'." Por E. Hubach.
Inf. N° 169, 1938.
125. "Provisión de agua para la población de Suba, Departamento de Cundinamarca". Por E. Hubach.
Inf. N° 196, Ministerio de Industrias, Sección Técnica, marzo de 1931.
126. "Informe sobre las obras de captación de las fuentes del Club 'Los Lagartos', Municipio de Suba, Cundinamarca". Por V. Suárez H.
Inf. N° 620, I. G. N., noviembre de 1945.
127. "La hidrología subterránea al sur de la Loma de Suba, Departamento de Cundinamarca". Por J. Royo y Gómez.
Inf. N° 509, I. G. N., febrero de 1946.
128. "Los manantiales termales de Las Pléyades, Municipio de Suba, Departamento de Cundinamarca". Por J. Royo y Gómez.
Inf. N° 509-A, I. G. N., abril de 1946.
129. "Informe preliminar sobre el abasto de agua de la población de Suba, Departamento de Cundinamarca". Por E. Hubach.
Inf. N° 829, I. G. N., marzo de 1952.

130. "Estudio geológico para la provisión de aguas subterráneas en las granjas San José, Municipio de Suba, Departamento de Cundinamarca". Por G. Botero R.
Consorcio de Cervecerías Bavaria, S. A., junio de 1948.

Tabio.

131. "Las fuentes calientes de Tabio, Departamento de Cundinamarca". Por R. Scheibe.
Inf. N° 380, noviembre de 1918.
Publicado: *Comp. Est. Geol. Ofic. de Col.* Vol. I, págs. 331 a 343, de 1933.

Tocaima.

132. "Estudio de aguas subterráneas en la finca 'La Salada', Tocaima, Cundinamarca". Por W. Diezemann.
Inf. N° 647, I. G. N., mayo de 1949.

Tocancipá.

133. "Abastecimiento de la hacienda 'Tibitó', con agua potable y con agua para irrigación y abrevadero, Tocancipá, Departamento de Cundinamarca". Por W. Diezemann.
Inf. N° 832, I. G. N., abril de 1952.

Ubaté.

134. "Perforaciones de ensayo para un acueducto de agua subterránea en Ubaté, Departamento de Cundinamarca". Por W. Diezemann y J. López Casas.
Inf. N° 1016, I. G. N., mayo de 1954.
135. "Estudio de aguas subterráneas de la hacienda 'Albaida', Municipio de Ubaté, Departamento de Cundinamarca". Por W. Diezemann.
Inf. N° 652, I. G. N., agosto de 1949.
136. "Aguas subterráneas de la hacienda 'La Cabaña', de Ubaté, Departamento de Cundinamarca". Por W. Diezemann.
Inf. N° 675, I. G. N., agosto de 1949.
137. "Aguas subterráneas para el nuevo hospital de Ubaté, Departamento de Cundinamarca". Por W. Diezemann.
Inf. N° 672, I. G. N., diciembre de 1949.
138. "Las aguas subterráneas de la altiplanicie de Ubaté-Chiquinquirá". Por W. Diezemann.
Inf. N° 716, I. G. N., agosto de 1950.

Usaquén.

139. "Condiciones geohidrológicas para la construcción de un acueducto de aguas subterráneas en los cuarteles de Usaquén, Departamento de Cundinamarca". Por W. Diezemann y J. López Casas.
Inf. N° 942, I. G. N., septiembre de 1953.

Vergara.

140. "Abastecimiento de Vergara con agua de fuentes, Departamento de Cundinamarca". Por W. Diezemann.
Inf. N° 816, I. G. N., enero de 1952.
141. "Informe sobre la visita practicada al Municipio de Vergara en relación con el acueducto". Por M. Estrada A.
Ministerio de Fomento, noviembre de 1951.

G U A J I R A

Informes generales.

142. "Abastecimiento de agua en La Guajira". Por W. Diezemann.
Inf. N° 721, I. G. N., enero de 1951.
143. "Anotaciones sobre explotación de agua subterránea en La Guajira".
Por W. Diezemann.
Inf. N° 818, I. G. N., febrero de 1952.
144. "Breves anotaciones sobre la posibilidad del aprovechamiento de aguas subterráneas en varios sitios de La Guajira". Por W. Diezemann.
Inf. N° 1058, I. G. N., octubre de 1954.
145. "Concepto sobre el informe: 'Estudios hechos para investigar la posibilidad de desarrollar agua subterránea en la Alta Guajira, región de la Península de La Guajira, de Colombia'." Por A. H. Bruhn, Wiston Incorporated. Por E. Hubach.
Inf. N° 1013, I. G. N., abril de 1954.
146. "Contribución a la geología de la Península de La Guajira". Por Otto Stutzer.
Inf. N° 477, I. G. N.
147. "Estudios hechos para investigar la posibilidad de desarrollar agua subterránea en la Alta Guajira, región de la Península de La Guajira, de Colombia". Por Wiston Incorporated, diciembre 15 de 1953.
148. "Mapa geológico-morfológico de la Península de La Guajira, especialmente adaptado al estudio de aguas. Breves anotaciones para acompañar el mapa". Por H. C. Raasveldt y A. Tomic.
Inf. N° 1088, I. G. N., mayo de 1955.
149. "Memorándum sobre el abastecimiento de agua en varias regiones de La Guajira". Por W. Diezemann.
Inf. N° 1079, I. G. N., febrero de 1955.
150. "Provisión de agua en La Guajira". Por L. A. Arango.
Banco de la República, informe anual número 33, del Gerente a la Junta Directiva (julio 1° de 1955 — 30 de junio de 1956).
Cap. IV, págs. 29 a 30, de 1956.

151. "Recomendaciones para el desarrollo agropecuario de La Guajira (informe preliminar)". Por A. J. Staffe.
Banco de la República, FAO. Cotham.

Barrancas.

Véase *San Juan de Cesar.*

Camarones.

Véase *Riohacha* y *San Juan de Cesar.*

Dibulla.

Véase *Riohacha.*

Distracción.

Véase *San Juan de Cesar.*

Fonseca.

Véase *San Juan de Cesar.*

La Punta.

Véase *Riohacha.*

Manaure.

152. "Un acueducto de aguas subterráneas para las salinas marítimas de Manaure, y para las poblaciones de Manaure y Uribia, Guajira". Por W. Diezemann.
Inf. N° 1066, I. G. N., noviembre de 1954.

Nazareth.

153. "Hydrogeologic prospections in the region of Nazareth, Guajira. (Provisional Draft)". Por J. H. Edelman.
Banco de la República, FAO. Cotham, julio de 1955.

Puerto López.

154. "Hidrogeological prospections of the region of Puerto López, Guajira. (Provisional Draft)". Por J. H. Edelman.
Banco de la República, FAO. Cotham, mayo de 1955.

Riohacha.

155. "Informe preliminar sobre un estudio de aguas subterráneas en las poblaciones de Riohacha, Dibulla, La Punta y Camarones, Guajira". Por W. Diezemann.
Inf. N° 1137, I. G. N., noviembre de 1955.

156. "Problemas del acueducto de Riohacha, Guajira y su posible solución".
Por W. Diezemann.
Inf. N° 1063, I. G. N., noviembre de 1954.

San Juan de Cesar.

157. "Condiciones hidrogeológicas para la construcción de captaciones de aguas subterráneas en las poblaciones de San Juan de Cesar, Distracción, Fonseca, Barrancas y Camarones, Guajira". Por W. Diezemann.
Inf. N° 1165, I. G. N., abril de 1956.

Uribia.

Véase *Manaure.*

H U I L A

Informes generales.

158. "Estudios de aguas subterráneas en algunas regiones del Departamento del Huila". Por W. Diezemann y J. López Casas.
Inf. N° 996, I. G. N., febrero de 1954.

Altamira.

Véase *Generales.*

Carnicerías.

Véase *Generales.*

Llanos de la Virgen.

Véase *Generales.*

Pitalito.

Véase *Generales.*

M A G D A L E N A

Informes generales.

159. "Irrigación y abastecimiento de poblaciones con agua de pozos perforados en la Zona Bananera de Santa Marta". Por W. Diezemann.
Inf. N° 1035, I. G. N., julio de 1954.

160. "Sobre la posible construcción de acueductos de aguas subterráneas en varias poblaciones del Departamento del Magdalena". Por W. Diezemann.

Inf. N° 1077, I. G. N., febrero de 1955.

Chimichagua.

Véase *Chiriguaná.*

Chiriguaná.

161. "Posibilidades para la construcción de agua subterránea en las poblaciones de Chiriguaná y Chimichagua, Departamento del Magdalena, y concepto sobre algunas obras ya efectuadas". Por W. Diezemann.

Inf. N° 1138, I. G. N., noviembre de 1955.

M E T A

Villavicencio.

162. "Estudio hidrogeológico de los pozos y aljibes de Villavicencio". Por W. Diezemann.

Inf. N° 846, I. G. N., junio de 1952.

N A R I Ñ O

Informes generales.

163. "Estudio sobre algunos minerales de Nariño". Por B. C. Montenegro. Inf. N° 941, Servicio Geológico Minero de Pasto, julio de 1953. Publicado: *Boletín Geológico*, Nos. 6 y 7, págs. 85 a 99, de 1953.

"Concepto sobre el abasto de agua de Tumaco y la Isla del Morro". Por E. Hubach.

Abril de 1953.

Ipiales.

164. "Manantiales de aguas minerales y de gas carbónico y depósitos de manganeso en el Corregimiento de La Victoria, Municipio de Ipiales, Departamento de Nariño". Por J. A. Bueno.

Inf. N° 806, Laboratorio Nacional de Fomento Minero de Pasto, noviembre de 1951.

Pasto.

165. "El abastecimiento de agua a la ciudad de Pasto, Departamento de Nariño". Por J. Royo y Gómez.
Inf. N° 324, Pasto, octubre de 1940.
Publicado: *Comp. Est. Geol. Ofic. de Col.* Vol. V, págs. 175 a 180, de 1942.

Tumaco.

166. "El posible abastecimiento de Tumaco y de la Urbanización Nueva en la Isla del Morro, con agua de dunas y de lluvias". Por W. Diezemann.
Inf. N° 935, I. G. N., julio de 1953.
167. "El problema de agua potable para la Urbanización Nueva en la Isla del Morro, Municipio de Tumaco, Departamento de Nariño". Por W. Diezemann.
Inf. N° 871, I. G. N., septiembre de 1952.
168. "Memorándum sobre el problema de agua potable para el Municipio de Tumaco, en el Departamento de Nariño". Por W. Diezemann.
Mayo de 1955.
169. "Memorándum sobre una propuesta para trabajos hidrológicos preliminares sobre la estimación de los costos de un acueducto para la Urbanización de la Isla del Morro, Departamento de Nariño". Por W. Diezemann.
Inf. N° 869, I. G. N., septiembre de 1952.
170. "Possible sources of subsurface water in the Tumaco-El Morro Area, Nariño, Colombia". Por C. Jacobs.
Marzo de 1952.

N O R T E D E S A N T A N D E R

Cúcuta.

171. "Investigación realizada en las vecindades de la ciudad de Cúcuta, donde se adelantan trabajos para obtener agua artesiana". Por V. Suárez H.
Inf. N° 406, I. G. N., julio de 1944.
Publicado: *Comp. Est. Geol. Ofic. de Col.* Vol. VII, págs. 209 a 222, de 1945.
172. "Posibilidades de agua subterránea en las regiones cerca a Cúcuta, Departamento Norte de Santander". Por W. Diezemann.
Inf. N° 631, I. G. N., febrero de 1949.
Publicado: *Comp. Est. Geol. Ofic. de Col.* Vol. VIII, págs. 67 a 84, de 1950.

173. "Provisión de agua para la región de Cúcuta". Por E. Hubach.
Inf. N° 174, enero de 1929.
Publicado: *Boletín de Minas y Petróleos*, Nos. 7 a 12, págs. 384 a 406, de 1929.

Cucutilla.

174. "Estudio de las fuentes salinas de la hacienda 'Sisavita', Municipio de Cucutilla, Departamento Norte de Santander". Por F. Díaz G.
Inf. N° 101, cartas en su mayoría, y telegramas.
Bucaramanga, noviembre de 1930.

SAN ANDRÉS Y PROVIDENCIA

Informes generales.

175. "Aprovechamiento del depósito de agua subterránea dulce en la Isla de San Andrés, Intendencia de San Andrés y Providencia". Por W. Diezemann y C. I. Delgado.
Inf. N. 1167, I. G. N., mayo de 1956.

SANTANDER

Barrancabermeja.

176. "Abastecimiento del Hotel de Turismo 'Pipatón' con agua subterránea, Barrancabermeja, Departamento de Santander". Por W. Diezemann.
Inf. N° 831, I. G. N., abril de 1952.
177. "Calidad del agua en el acueducto de 'El Centro', Barrancabermeja, Departamento de Santander". Por C. I. Delgado.
Inf. N° 1195, I. G. N., octubre de 1956.

Los Santos.

178. "El problema de agua en el Municipio de Los Santos, Departamento de Santander". Por W. Diezemann.
Inf. N° 838, I. G. N., mayo de 1952.

San Antonio de California.

179. "Calidad del agua en el acueducto de San Antonio de California, Departamento de Santander". Por C. I. Delgado.
Inf. N° 1196, I. G. N., octubre de 1956.

San Gil.

Véase *Socorro*.

Socorro.

180. "Mejoramiento y ampliación de los acueductos en el Socorro, San Gil, Departamento de Santander". Por W. Diezemann y J. López Casas.
Inf. N° 975, I. G. N., diciembre de 1953.

Sucre.

181. "El problema del agua en el Municipio de Sucre, Departamento de Santander". Por W. Diezemann.
Inf. N° 837, I. G. N., mayo de 1952.

T O L I M A

Informes generales.

182. "Posibles fuentes de agua para la zona de experimentación de irrigación del río Coello, Departamento del Tolima". Por F. Pava S.
Inf. N° 619, I. G. N., enero de 1948.

Armero.

183. "Posibilidades de abastecer con agua subterránea las partes de la hacienda 'El Puente', Municipio de Armero, Departamento del Tolima". Por W. Diezemann.
Inf. N° 759, I. G. N., junio de 1951.

Coello.

184. "Posibilidades de explotación de aguas subterráneas en la finca 'Vindi', Municipio de Coello, Tolima". Por W. Diezemann.
Inf. N° 649, I. G. N., julio de 1949.

Natagaima.

185. "Suministro de aguas subterráneas para Natagaima y Velú, Departamento del Tolima". Por W. Diezemann y J. López Casas.
Inf. N° 1006, I. G. N., marzo de 1954.

Velú.

Véase *Natagaima*.

VALLE DEL CAUCA

Informes generales.

186. "Aguas subterráneas en el Valle del Cauca y posibilidades de su explotación". Por W. Diezemann.
Inf. N° 766, I. G. N., septiembre de 1951.
187. "Observaciones sobre la necesidad y explotación de aguas subterráneas en el Valle del Cauca". Por W. Diezemann.
Inf. N° 800, I. G. N., noviembre de 1951.
188. "Resumen del estudio de aguas subterráneas del Valle del Cauca, presentado por el doctor W. Diezemann, en abril de 1951".
Inf. N° 766-A, I. G. N., abril de 1951.

Cali.

189. "Anotaciones acerca del abastecimiento de agua para el Municipio de Cali y otras comodidades en el Valle del Cauca". Por W. Diezemann.
Inf. N° 1002, I. G. N., febrero de 1954.
190. "Informe sobre la condición de los pozos que han permanecido sin funcionar por dos años y medio". Por H. T. Smith.
Carta a J. J. Caicedo, Cali, agosto 16 de 1950.
191. "Informe sobre los pozos de Cali (inspección de los días 11 y 12 de agosto de 1950)". Por H. T. Smith.
Agosto 16 de 1950.
192. "Observación sobre el funcionamiento de la parte eléctrica de los pozos profundos de Villa Nueva, Cali". Por C. Kilvi
Carta al doctor Otoya, Cali, agosto 4 de 1950.
193. "Pozos de Cali". Por A. H. Bruhn.
Carta a J. J. Caicedo, Cali, septiembre 19 de 1950.
194. "Prueba de los pozos Nos. 2, 3, 4 y 5". Por S. Vallejo.
Carta al Gerente de las Empresas Públicas y Municipales, Cali, agosto 2 de 1950.

Candelaria.

195. "Agua subterránea para Candelaria y observaciones sobre el proyecto de acueducto de Zarzal, Departamento del Valle". Por W. Diezemann.
Inf. N° 1086, I. G. N., mayo de 1955.

Cartago.

196. "Anotaciones sobre agua subterránea para los silos del INA, Departamento del Valle; La Dorada, Departamento de Caldas; Magangué, Departamento de Bolívar, y Montería, Departamento de Córdoba". Por J. López Casas.
Inf. N° 964, I. G. N., octubre de 1953.

197. "Posibilidades de aguas subterráneas en Cartago, Departamento del Valle del Cauca". Por A. Del Río.
Inf. N° 614, I. G. N., septiembre de 1947.

Palmira.

198. "Problema del abasto de agua de Palmira, Departamento del Valle".
Por E. Hubach.
Inf. N° 774, I. G. N., julio de 1951.

Zarzal.

199. "Informe preliminar sobre posibilidades de agua subterránea en la región del río La Paila, Valle del Cauca". Por W. Diezemann.
Inf. N° 773, I. G. N., julio de 1951.
Véase *Candelaria*.

Sección de Hidrogeología.

Bogotá, D. E., diciembre de 1956.

REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y PETROLEOS
INSTITUTO GEOLOGICO NACIONAL

**QUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS Y SU IMPORTANCIA
DESDE EL PUNTO DE VISTA DE POTABILIDAD E HIGIENE.**

INFORME No. 1205

CARLOS I. DELGADO
HIDROQUIMICO

BOGOTA, D. E. NOVIEMBRE 28 DE 1956

QUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS Y SU IMPORTANCIA DESDE EL PUNTO DE VISTA DE POTABILIDAD E HIGIENE

INTRODUCCION

El agua, considerada como uno de los constituyentes esenciales de la vida en sus tres grandes manifestaciones, animal, vegetal y mineral, ha desempeñado a través de todas las edades un papel definitivo en la evolución física y biológica acaecida sobre la faz de la tierra. Por lo tanto, tiene gran interés respecto al desenvolvimiento de los aspectos inorgánicos y orgánicos, como también en lo concerniente a su aplicación a las actividades humanas.

Es un poderoso vehículo transformador de materia y energía. La historia geológica misma abunda en ejemplos donde el agua ha desempeñado funciones creadoras o de destrucción; formas caprichosas de la corteza terrestre, maravillas naturales labradas en conexión con los movimientos de la misma corteza, por mares antiguos que avanzaron hacia los continentes y que luego retrocedieron dejando sus sedimentos. Procesos de complejidad geoquímica extraordinaria, análisis y síntesis, composición y descomposición, integración y desintegración son fenómenos en los cuales el agua ejerció un papel preponderante.

CICLO DEL AGUA EN LA NATURALEZA

El agua se presenta en la naturaleza en tres estados de agregación: sólido, líquido y gaseoso (vapor de agua). Estos tres estados sufren un complicado y variado ciclo denominado ciclo hidrológico: el sol suministra la energía calórica suficiente para evaporar el agua del mar. El vapor de agua es únicamente 0.62 veces más pesado que igual volumen de aire y consecuentemente se eleva a las regiones superiores de la atmósfera, mezclándose con el aire, debido al fenómeno de difusión. A medida que el vapor asciende, su temperatura disminuye y alcanza una altitud donde el aire se satura de humedad; el vapor entonces se condensa en finas gotas de agua que se unen mutuamente para formar otras mayores y que caen en forma de lluvia o nieve sobre los continentes con energía potencial suficiente para retornar parte de ella hacia el mar. Una cierta cantidad de agua lluvia se evapora directamente al caer a la superficie de la tierra o de los lagos continentales y también por transpiración de las plantas. Otra encuentra a su paso rocas fracturadas, poros, grietas y formaciones permeables don-

de penetra a variables profundidades, entre pocos metros y varios kilómetros, almacenándose en estado frío o termal. Estas aguas subterráneas en parte circulan por grietas, fallas, estratos porosos, etc., y pueden alcanzar nuevamente la superficie, ya sea bajo la influencia de la presión hidrostática, de la temperatura o de gases asociados.

Siendo el agua lluvia el origen de las aguas superficiales y subterráneas es importante describir sus características y propiedades para demostrar hasta qué punto y por qué razones se le ha denominado solvente universal por excelencia.

La atmósfera es esencialmente una mezcla de un volumen de oxígeno por cuatro de nitrógeno y pequeñas cantidades de otros gases, con variada proporción de vapor de agua. Su composición en volumen es la siguiente:

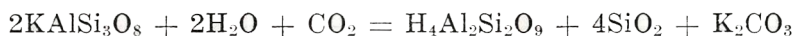
Nitrógeno	78.03%
Oxígeno	20.99
Argón	0.93
Anhídrido carbónico	0.03
Hidrógeno	0.016
Neón	0.0018
Helio	0.0005
Kriptón	0.0001
Xenón	0.000009
Vapor de agua	variable

La composición química del agua lluvia es muy variable; depende entre otros factores de la naturaleza de los terrenos, de las condiciones de clima y vegetación (en países tropicales es frecuente la presencia de ácido nítrico formado por síntesis). También son frecuentes el amoníaco, nitrato de amonio, sustancias orgánicas e inorgánicas, cloruro de sodio; compuestos de azufre y de carbono derivados de los productos de combustión de la hulla en zonas industriales; materia vegetal seca y ya descompuesta, como polen y también microorganismos vivientes cuyo número varía con la altitud, temperatura y localidad.

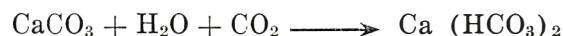
De los gases presentes en el agua lluvia, el nitrógeno, oxígeno y anhídrido carbónico son quizá los más importantes. El agua lluvia contiene en solución alrededor de 0.013% de nitrógeno, 0.0064% de oxígeno y 0.0013% de anhídrido carbónico. El nitrógeno, indispensable para la vida orgánica, es un gas inerte a temperaturas por debajo de 200°C; el oxígeno, en cambio, es apreciablemente soluble en el agua, y su actividad química como agente oxidante es extraordinaria, hasta tal punto de que se considera como un factor esencial en la destrucción de rocas y minerales por desintegración y descomposición química.

Finalmente, el anhídrido carbónico es quizá el más importante de todos, pues este gas disuelto en el agua lluvia es la causa fundamental de la disolución de minerales, precipitación de los mismos y aun de la formación de unidades geológicas superficiales.

Así tenemos, por ejemplo, cómo los silicatos son descompuestos por el agua carbonatada; la reacción es compleja y sufre diferentes etapas intermedias, siendo en ellas las más importantes la hidrólisis y carbonatación:



Otro caso más ostensible es la disolución de las calizas por medio del anhídrido carbónico disuelto, incorporando en el agua el bicarbonato de calcio:



Así podríamos citar infinidad de ejemplos que demuestran que el agua cargada de anhídrido carbónico es un poderoso agente meteorizante capaz de disgregar la mayor parte de las rocas y minerales.

El agua lluvia, por lo tanto, adquiere al caer a la superficie de la tierra propiedades químicas y físicas de tal magnitud y consideración que sólo se explican por la eficaz acción solvente de los gases disueltos, su carácter de agua muy blanda, y su naturaleza ácida y corrosiva.

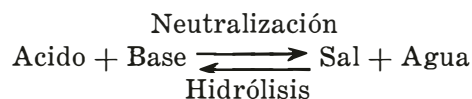
AGUAS SUPERFICIALES

Así se denominan aquellas aguas que corren por la superficie de la tierra y que provienen, ya sea directamente de la precipitación o de manantiales cuyas aguas han sufrido previamente un proceso de percolación al subsuelo. En esta etapa del ciclo hidrológico inicia el agua su actividad química y física propiamente dichas.

La acción química del agua se lleva a cabo por su poder de disolución. Tenemos ahora en contacto una fase sólida y una flúida o dispersa compuesta por agua y gases; las reacciones químicas se suceden en relación con la constitución de las formaciones geológicas encontradas por el agua a su paso; los sólidos disueltos aumentan o disminuyen según sean las reacciones químicas, en su mayoría complicadas, pero que podría resumirse en: 1) Hidratación e hidrólisis; 2) Oxidación y reducción; 3) Carbonatación (acción del anhídrido carbónico) y, finalmente, 4) Disolución.

La hidratación puede considerarse aquí como un simple fenómeno de absorción, sin cambios de estructura, por medio de los granos de rocas o minerales o también, la formación de sales hidratadas como el yeso.

La hidrólisis es en esencia la reacción inversa a la neutralización, esta última consistente en la formación de una sal por medio de un ácido y una base:



Así tenemos que la disolución de una sal en agua será ácida o alcalina según sea el carácter fuerte o débil de los componentes ácido y base. El agua adquiere por lo tanto propiedades de neutralidad, alcalinidad o acidez, y de ellas deriva los distintos valores de pH (concentración de iones hidrógeno). Un agua con pH 7 es neutra y su acción química es débil; en cambio el agua con un pH mayor (alcalina) o menor (ácida) que 7, adquiere mayor capacidad de descomposición y por lo tanto de disolución.

Las reacciones de oxidación y reducción se suceden en la presencia de sustancias orgánicas e inorgánicas. De las primeras tenemos las bacterias, la actividad y respiración de los organismos superiores, y en general,

materia orgánica de origen vegetal o animal. Es del caso anotar que en países como el nuestro, las grandes arterias fluviales y muchos afluentes corren a través de vegetación exuberante donde la actividad biológica es intensa, dando lugar a la acción de bacterias reductoras de sulfatos y nitratos. Los agentes meteorizantes son agentes de oxidación y así tenemos, por ejemplo, la oxidación de compuestos de azufre, caso de común ocurrencia en las aguas de manantiales en el país.

La carbonatación, como su nombre lo indica, es la inclusión del anhídrido carbónico en el agua, dando lugar al ácido carbónico hipotético, y, por consiguiente, a la neutralización de las bases. El anhídrido carbónico en el agua es, en consecuencia, muy eficaz para el ataque químico de las sales simples o complejas, como sucede, por ejemplo, en la descomposición de los silicatos.

Todas las reacciones químicas anteriores dan lugar a la incorporación en el agua de sustancias solubles, y a comunicarle un carácter especial de salinidad, que depende de las rocas atravesadas y de las condiciones de clima y vegetación; así tendremos el caso de aguas ácidas o básicas, aguas con un alto o bajo contenido de sales en disolución, con iones, carbonatos, sulfatos, cloruros, etc., y cationes calcio, sodio, magnesio, etc.

AGUAS SUBTERRANEAS

El agua lluvia, al caer a la superficie de la tierra, encuentra los siguientes caminos: una parte corre por la superficie directamente y otra penetra al subsuelo formando el agua subterránea.

Hemos visto ya cómo el agua superficial adquiere sales solubles merced a los agentes de meteorización. El enriquecimiento o alimentación de las aguas subterráneas proviene, en su mayor parte, de estas aguas y de la precipitación atmosférica. Debemos entonces agregar nuevos factores que van a producir cambios fundamentales en la calidad química del agua y aumentar su capacidad disolvente.

Las reacciones químicas ocurrirán ahora en tres medios distintos: sólido (rocas y minerales), líquido (agua) y gaseoso (oxígeno y anhídrido carbónico, principalmente). Contamos entonces con un sistema heterogéneo de fases, en el cual la fase líquido-gas queda definida, según Lindgren, así: "Cada agua natural es un sistema químico de constituyentes balanceados, de electrolitos más o menos disociados, de gases, y sustancias coloidales".

Para el caso nuestro es importante analizar solamente la fase líquido-gas, constituida por el agua subterránea y los gases que encierra.

El agua subterránea circula a través de poros de las rocas, capas permeables colocadas entre otras impermeables, fallas y grietas (ellas suelen alcanzar grandes profundidades), y en consecuencia el agua está sujeta a variaciones de presión, temperatura, concentración de sustancias reaccionantes y tiempo de contacto.

La solubilidad de un gas en un líquido está influenciada por la temperatura y presión. Así tenemos, por ejemplo, el anhídrido carbónico que actúa en dos formas: una parte entra en combinación con el agua para producir una nueva sustancia (ácido carbónico), mientras que la otra se disuelve en el sentido físico como anhídrido carbónico. Es en esta última

forma como podemos aplicar la ley de Henry, que dice: “La masa de un gas disuelto por un volumen dado de un líquido a temperatura constante, es proporcional a la presión”. Al aumentar la solubilidad del anhídrido carbónico aumenta la proporción de ácido carbónico combinado y hace que el agua se acidifique ligeramente y por consiguiente incrementa también su capacidad disolvente.

El oxígeno, llamado gas permanente por existir en solución en la misma forma molecular, aumenta de la misma manera que el anhídrido carbónico su solubilidad respecto a un aumento de presión.

Con relación a la temperatura podemos decir que la solubilidad de un gas en un líquido disminuye sensiblemente con un aumento de temperatura.

De estos dos factores quizá sea más importante el factor presión, limitándonos a casos en que el agua subterránea está sujeta a las presiones atmosférica e hidrostática. La temperatura es, con la presión, un factor definitivo en las aguas termales y mineralizadas.

La concentración de sustancias disueltas en el agua está íntimamente relacionada con los gases disueltos en ella, principalmente anhídrido carbónico y oxígeno. Es probable lograr un equilibrio químico en las sales disueltas en el agua. Muchas de las reacciones químicas (en nuestro caso, reacción de sólidos, o sean rocas y minerales, con el agua y gases disueltos), no proceden instantáneamente hasta compenetrarse, sino que en ellas generalmente interviene el factor “tiempo de contacto”, y la velocidad de reacción es relativamente lenta, logrando, finalmente, un estado de equilibrio, en el cual la reacción se dice ser balanceada o reversible. Volvemos al caso ya mencionado anteriormente de la disolución del carbonato de calcio por medio del agua y anhídrido carbónico, reacción que es reversible en condiciones especiales de temperatura y presión:



En un caso concreto, que veremos más adelante, estudiaremos mejor este tipo de reacción.

La velocidad de una reacción química reversible en sistemas homogéneos y aun en los heterogéneos es proporcional al producto de las masas activas (concentración molecular) de las sustancias reaccionantes (ley de Gulberg y Waage).

Esta misma ley es aplicable, sin ser exactamente cuantitativa, a todas aquellas soluciones de naturaleza iónica, como las soluciones acuosas donde un electrolito en solución moderadamente diluida (caso de las aguas naturales), consiste de un sistema en equilibrio entre la parte de las sustancias no disociadas y sus iones.

La concentración de sustancias solubles en el agua es, por lo tanto, un factor de incremento en la velocidad de las reacciones químicas.

Esta misma ley explica uno de los fenómenos que ocurren en las aguas naturales, como es el de la precipitación. Las aguas naturales disuelven y muchas veces redepositan sales de rocas y minerales.

Tengamos el caso de soluciones saturadas, más exactamente un electrolito que ha alcanzado el límite de solubilidad en el agua, es decir, aquel límite después del cual el agua no disuelve mayor cantidad de sal, a una temperatura dada y constante. Si por cualquier medio se incrementa la con-

centración de sus iones, el equilibrio se afecta, lo que significa que la solución tiende a sobresaturarse, y por lo tanto, algo de sólido se separa de la solución. En la precipitación influye también la presencia de un ion común: se ha demostrado que la solubilidad de una sal, en general, disminuye en la presencia de otro compuesto que tenga un ion común y aumenta en la presencia de un ion no común. Por ejemplo, el yeso puede encontrarse en el agua en la cantidad de 2.000 p. p. m. y aumentar su solubilidad en la presencia de una solución de cloruro de sodio hasta 8.200 p. p. m. Así veremos, al estudiar casos concretos de aguas subterráneas en Colombia, cómo la presencia del ion sulfato se presenta en cantidad relativamente alta en algunas regiones del país.

Otro factor importante en la disolución y precipitación de sales es el pH. Sin entrar a detallar su verdadero significado (de acuerdo con la teoría iónica) podemos decir que el pH es una medida de la acidez, neutralidad y alcalinidad del agua.

Ya hemos visto que las aguas ácidas o alcalinas son poderosos agentes de descomposición química. La mayoría de las aguas naturales tienen valores de pH que fluctúan entre 6 y 8. Casos menores ocurren en aguas procedentes de regiones volcánicas o de depósitos de azufre, con valores muy bajos de pH, es decir muy ácidas, como por ejemplo el río Vinagre, que nace en el volcán Puracé, y que lleva disueltos ácidos sulfúrico y ácido clorhídrico. Otras aguas, como el agua de mar superficial, pueden alcanzar valores de pH comprendidos entre 8.1 y 8.4, y aquellas procedentes de suelos alcalinos (que contengan, por ejemplo, carbonato de sodio) hasta un pH 10.

El pH es un factor regulador de la solubilidad y precipitación de sales. Así, por ejemplo, la solubilidad del hierro aumenta con una disminución de pH. La sílice incrementa su solubilidad al aumentar el pH. La precipitación del hidróxido férrico en aguas ácidas puede ocurrir a un pH 2 a 3.5; en cambio la precipitación del hidróxido ferroso no es completa ni en aguas neutras (pH 7), y es por ello que las aguas naturales, en condiciones reductoras, contienen compuestos ferrosos.

Existen otros factores que podríamos denominar factores geoquímicos, los cuales explican muchos de los fenómenos que ocurren en las aguas subterráneas, como son: profundidad y grado geotérmico y presencia o ausencia de intercambiadores de bases (ablandamiento del agua subterránea por intercambio de bases en contacto con materias que dejan en libertad sodio a cambio de calcio y magnesio).

Estos fenómenos escapan a la naturaleza misma del presente artículo, pues su estudio se reduce a interpretar el carácter químico de las aguas a la luz de las leyes físico-químicas.

BIOQUIMICA DE LAS AGUAS NATURALES

Sería tan extenso entrar a detallar esta parte importante de las aguas, y por ello nos limitaremos a dar algunas ideas generales al respecto.

La vida animal y vegetal desempeña un papel muchas veces definitivo en la calidad química del agua. La vida orgánica depende, para su desarrollo, substancialmente de la materia inorgánica con sus elementos: hidrógeno, nitrógeno, carbono, fósforo, azufre, calcio, magnesio y hierro, entre

los más importantes; las plantas y animales pueden considerarse como acumuladores de elementos. La complejidad de las reacciones químicas es extraordinaria, y uno de los fenómenos, por ejemplo, la fotosíntesis, indispensable para las funciones de la materia viva, regula la respiración, es decir, la lenta combustión de la materia orgánica. La descomposición o putrefacción de la materia vegetal terrestre y de los pantanos dan lugar a la formación del *humus*, que es una mezcla compleja de sustancias orgánicas amorfas consistentes en residuos de sustancias vegetales, animales y microbianas. Este humus es prácticamente insoluble en el agua, pero puede dar lugar a soluciones coloidales en combinación con la fracción arcillosa inorgánica del suelo.

Las soluciones coloidales del humus en el agua están cargadas de electricidad negativa y por lo tanto pueden entrar en combinación con electrolitos disueltos, y formar compuestos húmicos, solubles como los alcalinos, poco solubles como los de calcio y magnesio, e insolubles como los aluminicos y férricos; estos últimos pueden llegar a ser solubles con cambios de pH por su carácter anfótero.

Por consiguiente, las aguas cargadas de compuestos húmicos solubles adquieren mayor capacidad de disolución debido al anhídrido carbónico que se desprende del humus durante la actividad microbiana y que actúa como disolvente, aumentando la concentración de iones hidrógeno, y llegando a formar bicarbonatos solubles de calcio y también de hierro y manganeso. Restos de plantas en descomposición (turba) cuyas soluciones orgánicas tienen la propiedad de disolver óxidos y carbonatos de hierro, reducen los compuestos férricos a sales ferrosas solubles (en el estudio concreto de aguas subterráneas en Colombia veremos el por qué el hierro ocurre en forma de solución verdadera y solución coloidal).

En aguas estancadas y en aguas fangosas o de pantano, o en soluciones de turba, se inicia un proceso de putrefacción (destilación lenta debido a la carencia o presencia mínima de oxígeno) de restos vegetales, algas, crustáceos, esporas, granos de polen, etc. y bacterias, dando lugar a la formación de gases como metano (gas de los pantanos), sulfuro de hidrógeno, anhídrido carbónico, amoníaco y otros compuestos orgánicos. Así tenemos el caso muy frecuente de la presencia de gas metano en algunas aguas subterráneas de la Sabana de Bogotá.

BACTERIAS EN EL AGUA

Es prácticamente imposible encontrar aguas naturales exentas de bacterias. La descomposición de la materia orgánica vegetal o animal y la decadencia de plantas acuáticas, algas, y otras formas de vida en medio acuoso dan lugar al crecimiento de bacterias.

Existe la creencia de que la presencia de bacterias se debe exclusivamente a contaminaciones con aguas negras o residuales. Pero ellas existen en las aguas atmosféricas que todavía no han tenido contacto con la superficie de la tierra, en las aguas superficiales y también en las subterráneas que han atravesado centenares de metros de profundidad en capas acuíferas de grava y arena.

Pero es necesario distinguir entre bacterias inofensivas y peligrosas (desde el punto de vista de la salud); protozoos u organismos microscópicos; diatomas y algas.

Como regla general, las bacterias y protozoos son los organismos peligrosos, mientras que las diatomas (bacilariofitos) y algas que comunican un sabor y olor peculiares al agua, no son particularmente nocivas.

Para nuestro estudio podemos dividir las bacterias en tres grandes grupos:

- 1) Bacterias encontradas en las aguas naturales.
- 2) Bacterias encontradas en los suelos.
- 3) Bacterias de origen intestinal (aguas negras).

Las bacterias del grupo 3 son esencialmente peligrosas, y entre ellas resaltan, por su trascendencia para la salud, el grupo *B. Coli*, y las que originan las enfermedades de fiebre tifoidea, cólera, disentería, etc., y que generalmente se atribuyen a bacterias en el agua.

Uno de los grupos de bacterias que ocurren en el agua, y con relativa frecuencia es el denominado *crenothrix* o ferrobacterias encontradas principalmente en aguas que contienen materia orgánica y cantidad apreciable y aun trazas de hierro en solución. Este tipo de bacterias es precisamente una de las causas de corrosión en las redes de distribución y formación de depósitos o precipitados de hierro en mallas y filtros metálicos para pozos de agua subterránea. Además, comunican al agua un olor ferruginoso y muchas veces desagradable, pero tienen la ventaja de no ser peligrosas para la salud.

Las bacterias encontradas en el agua no se ciñen a una determinada condición de crecimiento: mientras que algunas de ellas proliferan más rápidamente a temperaturas más altas, otras lo hacen a bajas temperaturas; cierto grupo es destruido por la simple acción de la luz solar, mientras que otras prosperan bajo las mismas condiciones. Formas inferiores de vida vegetal o animal viven y se nutren de materia orgánica presente en el agua.

Las algas son plantas que contienen clorofila y otras substancias colorantes derivadas de la misma. Muchas de ellas ocurren en la superficie de aguas estancadas. Su color varía desde el azul verdoso, anaranjado, pardo, rojo o violeta. Las algas verdes o plantas microscópicas con clorofila cubren un amplio rango de formas y son usualmente coloreadas de un tinte verdoso. Casi todas las algas crecen, tanto en el verano como en el invierno, y son destruidas en ausencia de la luz solar. Las algas comunican generalmente un gusto que varía en carácter e intensidad, de acuerdo al número de organismos presentes, estado de desarrollo, etc.

Las diatomas son algas unicelulares con membrana altamente silicificada, cuyas especies se multiplican en el agua dulce o salada.

Las bacterias en general, debido a la enorme velocidad de reproducción, tienen una actividad fisiológica tan intensa, que las capacita para tomar parte en reacciones químicas, como sucede, por ejemplo, en los suelos y su presencia en el agua, además de afectar unas de ellas sus condiciones de higiene, otras intervienen en la calidad química misma del agua.

Al estudiar la importancia de la calidad química y bacteriológica del agua veremos cómo influyen las bacterias y demás organismos en sus condiciones de potabilidad.

CALIDAD QUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN COLOMBIA

El aprovechamiento del agua subterránea en Colombia se ha limitado a casos particulares y especialmente a fábricas y haciendas. Considerado como un último recurso para fines domésticos, en regiones semi-áridas o carentes de agua superficial, se ha explotado el agua por el método ya tradicional de los aljibes.

Ultimamente, y teniendo en cuenta la bondad de esta riqueza natural del subsuelo, previos estudios de carácter hidrogeológico e hidroquímico, se inicia una etapa de mayores alcances con miras a aprovechar el agua subterránea para acueductos.

Para efectos de nuestro estudio hemos escogido tres zonas o regiones del país, cuyas aguas subterráneas ofrecen perspectivas muy distintas, en lo que respecta a su calidad química. Nuestra intención es demostrar, hasta donde ello sea posible, que las formaciones geológicas, las condiciones litológicas de sus capas acuíferas, el carácter de la vegetación y el clima son factores definitivos en la calidad química y bacteriológica del agua subterránea. Estas tres regiones del país son:

- 1) Sabana de Bogotá.
- 2) Sabanas de Bolívar.
- 3) Isla de San Andrés. (Archipiélago de San Andrés y Providencia).

1) *Aguas subterráneas en la Sabana de Bogotá.*

Las aguas subterráneas en Bogotá y sus alrededores se han explotado parcialmente y por lo general en capas acuíferas de la llamada Formación Sabana de edad cuaternaria, constituida por sedimentos lacustres (relleno de la Sabana). Es asunto exclusivamente geológico entrar a demostrar cómo se llevó a cabo este relleno en el antiguo lago de la Sabana. Interesa aquí saber únicamente que el fondo está formado por arcillas abigarradas y el relleno fue causado por la acción erosiva de las olas sobre las laderas o sobre la llamada por Forel "zona del litoral", y también por la acción transportadora de los ríos, arroyos y glaciares. Resulta, pues, muy compleja e irregular la litología de estos sedimentos, pero para nuestro caso podemos describirlos así: arcillas de variados colores, arcillas ferruginosas, arenas desde muy finas hasta gruesas, gravas y cascajos, material grueso deltaico y restos vegetales en proceso de carbonización como la turba. Las formaciones rocosas que circundan la Sabana son predominantemente areniscosas y arcillosas y muy diaclasadas, con rellenos y cementaciones silíceas y ferruginosas (hidróxido de hierro).

En estos medios litológicos distintos circula y se alimenta el agua subterránea de la Sabana, y de ellos depende su calidad química.

Los análisis químicos efectuados hasta el presente en aguas procedentes de pozos perforados y aljibes no suministran el conjunto de detalles indispensables para dar una idea completa de la calidad química del agua subterránea. Pero ellos sí pueden darnos una base de discusión como para definir qué substancias predominan y la razón por la cual ellas están presentes.

Las aguas subterráneas de la Sabana de Bogotá son blandas, y sus valores fluctúan entre 14.3 p. p. m. y 89.5 p. p. m. como CaCO_3 . El carácter de dureza de las aguas lo suministran la presencia de carbonatos y bicarbonatos de calcio y de magnesio, y estas sales son incorporadas por el agua, principalmente en la presencia de formaciones calcáreas y dolomíticas que sólo afloran ocasionalmente.

El contenido de sólidos totales disueltos es muy bajo; así tenemos aguas hasta con 47 mg/l. o p. p. m., valor muy bajo si se compara con la mayoría de las aguas naturales y aun con las mismas aguas subterráneas. Experimentalmente se ha comprobado que las aguas subterráneas, cuyas capas acuíferas están constituídas por arenas y cascajos, como sucede por ejemplo en los alrededores de los cuarteles de Usaquén, el agua es muy blanda y de contenido muy bajo en sustancias disueltas. Aquí se presenta un cono de deyección compuesto de cantos rodados de arenisca, cascajos, arenas finas y de vez en cuando lentes de arcilla. Se trata, pues, de material ya consolidado y resistente al ataque químico del agua.

En cambio, en capas acuíferas predominantemente arcillosas y con cantidades menores de arenas y gravillas finas, como es el caso de todo el interior de la Sabana donde se depositaron estos sedimentos finos, el agua adquiere un grado de dureza mayor y un contenido más elevado de sustancias disueltas.

Las aguas subterráneas de la Sabana son generalmente ácidas (pH 6 a 6.8), y esta acidez se deriva del anhídrido carbónico libre y disuelto, presente casi siempre en exceso y proveniente de la atmósfera y de descomposiciones orgánicas, principalmente; también influye en la acidez la presencia de sustancias orgánicas derivadas del ácido húmico y descomposición de turba. La acidez de estas aguas y el anhídrido carbónico libre en exceso son la causa principal de su poder de corrosión, de la rápida obstrucción de filtros metálicos y tuberías de hierro.

Pero el factor más importante que afecta notoriamente la calidad química de estas aguas subterráneas es la presencia del hierro. Es casi de conocimiento común el hecho de que una agua extraída de un pozo o aljibe, dentro del área de la Sabana, sale inicialmente incolora y cristalina, pero al cabo de unas horas se torna amarillenta, opalescente y, finalmente, adquiere una apariencia fuertemente turbia. El hierro soluble en forma de bicarbonato ferroso se oxida al contacto del aire, y parte de él se precipita en forma de hidróxido férrico coloidal.

Hemos señalado ya que las formaciones rocosas de la Sabana son bastante ferruginosas (compuestos férricos y precipitaciones de compuestos hidrolizados en forma de hidróxido férrico), lo mismo que los sedimentos sueltos, principalmente arcillas, en las cuales el hierro se presenta en forma coloidal. Estos compuestos insolubles de hierro, oxidados y precipitados, se vuelven solubles después de una serie de etapas intermedias en las cuales actúan como agentes disolventes varias sustancias:

- 1) Presencia o ausencia de oxígeno y anhídrido carbónico en el agua. El hidróxido ferroso, o hierro ferroso, que es más estable que el hidróxido férrico aun en pH 7, se disuelve con bastante facilidad en el agua que contiene anhídrido carbónico, formando bicarbonato ferroso; en cambio, el hidróxido férrico es básicamente débil y, por lo tanto, las sales férricas se hidrolizan en las aguas naturales con la formación de dicho hidróxido.

2) Los compuestos férricos insolubles, que han sido arrastrados junto con los sedimentos arcillosos de la Sabana, en contacto con compuestos húmicos solubles y en un medio acuoso, se vuelven solubles merced al anhídrido carbónico desprendido durante la actividad microbiana, formándose el bicarbonato ferroso (acción de bacterias reductoras).

3) Estos compuestos férricos, en contacto con soluciones orgánicas de restos de plantas en descomposición (turba), son reducidos a compuestos ferrosos, dando sales ferrosas solubles.

Estas son las causas principales por las cuales el hierro entra en dos formas de solución: en solución simple (bicarbonato ferroso soluble) o en soluciones coloidales en compuestos húmicos coloidales.

De acuerdo con los análisis químicos efectuados hasta el presente, se ha observado que el contenido de hierro es menor en la zona del litoral o límite de la Sabana, donde predomina el material más grueso y aumenta progresivamente hacia el centro de la misma, donde los sedimentos son precisamente arcillosos y existen capas acuíferas con restos vegetales en descomposición (turbas). Por la complejidad misma de los sedimentos no es posible generalizar esta observación, pues en el mismo centro de la Sabana pueden encontrarse grandes bancos de arenas muy finas y en distancias relativamente cortas intercalarse potentes lentes de arcilla que naturalmente van a influir en el mayor o menor contenido de hierro en el agua.

Gases. Entre los gases presentes en el agua subterránea de la Sabana tenemos, entre otros, el anhídrido carbónico, ya sea de origen atmosférico, o como producto en la combustión lenta de la materia vegetal en descomposición y por la acción de los microorganismos sobre el humus.

También existen, pero en escala menor, los gases amoníaco y metano, ambos derivados de la putrefacción de restos vegetales en principio de carbonización, lo cual ha sido constatado en multitud de pozos cuyos perfiles estratigráficos indican la presencia de turba en capas acuíferas.

Teniendo en cuenta las anteriores apreciaciones sobre la calidad química de las aguas subterráneas de la Sabana de Bogotá, podemos deducir de que aquellas que contienen una excesiva cantidad de hierro no son potables y requieren para su uso, y aun para fines industriales, un tratamiento previo que consistiría en: oxidación fuerte por medio de cloro para llevar las sales solubles de hierro a forma férrica y precipitarse como hidróxido de hierro, ayudado con la adición de coagulantes como cal, luego sedimentación y finalmente filtración. (Véase esquema adjunto de lo que sería el tratamiento de estas aguas en su forma más simple para fines caseros: aireación y filtración utilizando caliza como medio filtrante).

2) *Aguas subterráneas en las Sabanas de Bolívar.*

Desafortunadamente para nuestro estudio, los datos referentes a análisis químicos efectuados en pozos de agua en los Departamentos de Bolívar y Córdoba no son suficientes, pues en zonas tan extensas como las Sabanas de Bolívar son relativamente muy pocos los pozos perforados y construidos técnicamente. Los aljibes, en cambio, son numerosos, de poca profundidad y rudimentarios.

Sin embargo, hemos seleccionado algunas poblaciones de los Departamentos de Bolívar y Córdoba que ofrecen perspectivas para el aprovechamiento de aguas subterráneas y cuya calidad está íntimamente relacionada con las formaciones geológicas presentes y las condiciones climatéricas.

Estas poblaciones son: Sincelejo, Corozal, Jan Jacinto, San Juan, Ovejas y Cereté.

Toda la región que comprende estas poblaciones pertenece a las Sabanas de Bolívar y del Sinú, influenciadas por las condiciones climatéricas del litoral, con una temperatura media de 27 a 28 grados centígrados, y con dos estaciones o estados del tiempo: seco con mediana o fuerte evaporación, según sean las condiciones del suelo y de la vegetación; y húmedo, caracterizado por fuertes y abundantes lluvias.

Estos dos estados del tiempo influyen notoriamente en el descenso o ascenso (oscilación) del nivel de aguas subterráneas, produciendo, en estratos acuíferos constituídos principalmente por formaciones rocosas o sedimentos arcillosos y calcáreos, una mayor concentración de sales en esta zona de oscilación. De allí el caso frecuente encontrado en Sincelejo y otras poblaciones, de aljibes de pocos metros de profundidad que han captado la capa acuífera más superficial y encontrado aguas duras o cargadas de sales solubles, principalmente sulfatos o cloruros.

Sincelejo. Las formaciones geológicas que se presentan en esta zona son: estratos de areniscas con intercalaciones de conglomerados y de lentes o estratos de arcilla frecuentemente muy potentes. El conjunto en general está atravesado por grietas finas que han sido rellenadas posteriormente por material calcáreo. Según las observaciones, parece que el contenido de arcilla disminuye desde Sincelejo en dirección a Corozal. Esto último es importante para la calidad química de las aguas subterráneas, pues en esta zona de Sincelejo, e inmediatamente hacia el norte, predominan las arcillas, y las areniscas mismas casi siempre tienen material arcilloso.

Las arcillas, en estos climas cálidos y en tiempos secos, se contraen enormemente bajo la influencia del fuerte calor solar y luego, en épocas de lluvia absorben grandes volúmenes de agua antes de que ellas adquieran cierto grado de humedad. El agua penetra entonces por estos intersticios de la arcilla y es retornada o evaporada nuevamente al presentarse un fuerte calor del sol, pero al cabo de muchos días. El agua tiene entonces tiempo suficiente para disolver sales solubles que se encuentran en las arcillas, entre otras: ácido silícico hidratado, sales de aluminio, sulfatos de hierro, magnesio, calcio, sodio y cloruro de sodio. Al evaporarse el agua alcanzan estas sales el límite de solubilidad y, por lo tanto, se separan de la solución y se precipitan, principalmente, sulfatos, carbonatos y cloruros, quedando estas sales atrapadas en parte en las arcillas, y el resto puede llegar por percolación hasta las capas acuíferas subyacentes.

Es esta la causa principal de por qué en Sincelejo y sus alrededores las aguas subterráneas (se entiende en pozos relativamente poco profundos) están cargadas con sales, especialmente sulfatos y cloruros, entre los cuales estos últimos predominan en esta zona; así, tenemos valores que fluctúan entre 1140 mg/l. de cloruros en un pozo de 60 metros de profundidad y predominantemente arcilloso con menor cantidad de arena. En cambio en la Aguada Salitral, alimentada por agua subterránea proveniente de areniscas cuyo nivel afloró a la superficie, se encontró un valor de 159,7 mg/l. de cloruros.

La presencia de grietas en las areniscas, rellenas con material calcáreo afectan también la dureza del agua. Así tenemos, por ejemplo, el pozo Bl-93 en el Barrio San Francisco, cuyo perfil estratigráfico indica el predominio de areniscas y gravillas y menor cantidad de arcillas; dio un grado de dureza de 21.8 grados alemanes (390 p. p. m., como carbonato de calcio), explicable únicamente por la presencia de carbonato de calcio disuelto en el agua carbonatada.

Corozal. Las formaciones geológicas que se presentan en Corozal son muy semejantes a las de Sincelejo, con la diferencia de que el material arcilloso es mucho menor. Predominan las areniscas, en algunos lugares algo ferruginosas, con concreciones calcáreas, intercalaciones de arcillas, conglomerados de gravillas (litas y cuarzo), y también una red de fisuras rellenas secundariamente con carbonato de calcio precipitado.

Químicamente el agua subterránea de esta zona es mejor que la de Sincelejo. Naturalmente, hay que hacer la salvedad de que en pozos o aljibes poco profundos las aguas tienen un alto contenido de sólidos disueltos, principalmente sulfatos y cloruros, y son duras. Esto se debe, además de ser muy superficiales, a que las capas acuíferas contienen carbonato de calcio de las areniscas y también material arcilloso. Hay casos, por ejemplo, en los aljibes Bl-12 y Bl-13, que tienen 3152 y 2246 mg/l. de sólidos totales disueltos, respectivamente. En el aljibe Bl-3, en cambio, practicado sobre areniscas algo ferruginosas, el contenido de sólidos totales disminuye a un valor de 972 mg/l. y el hierro aumenta hasta 1 mg/l.

Los pozos Bl-2 y Bl-14, con 60 metros de profundidad cada uno, suministran agua con valores muy aceptables desde el punto de vista químico: dureza total, 6.52 grados alemanes (116.7 p. p. m. como carbonato de calcio); sólidos totales disueltos, 211 mg/l. en el pozo Bl-2 y en el Bl-14, dureza total, 12.1 (216.5 p. p. m., como carbonato de calcio), y sólidos totales disueltos, 150 mg/l.

Indudablemente, las aguas subterráneas de esta zona de Corozal, captadas en capas acuíferas con areniscas de grano y medio a grueso e intercalaciones de gravillas, ofrecen perspectivas favorables respecto a sus condiciones químicas de potabilidad.

Ovejas. En la zona más cercana a Ovejas vuelve el predominio de las arcillas con intercalaciones de calizas arenosas y de areniscas; en cambio, hacia el norte, esta arcilla disminuye y aumentan notoriamente las areniscas y conglomerados poco coherentes (valle de Platanalquito). Las aguas subterráneas encontradas en esta última zona responden a la naturaleza misma de los estratos acuíferos y, en consecuencia, son blandas y de condiciones químicas y físicas muy aceptables, lo que comprueba, una vez más, que la ausencia de arcillas y de material calcáreo en los estratos acuíferos favorece eficazmente la potabilidad de las aguas.

San Jacinto y San Juan. En esta zona, ocupada por las dos poblaciones y sus alrededores, el marcado predominio de las arcillas y de materiales arcillosos con intercalaciones de areniscas de espesor relativamente reducido, no favorecen, como ya hemos visto, la calidad química de las aguas subterráneas. Las arcillas contienen numerosas diseminaciones de cristales de yeso; esta sal es más soluble en presencia de aguas que contengan cloruro de sodio, y así tenemos en los análisis efectuados valores hasta

de 600 mg/l. de sulfatos y 138.4 hasta 623.9 mg/l. de cloruros. Por lo tanto, le comunican al agua un sabor algo salobre o ligeramente amargo.

Las observaciones anteriores han sido hechas con base en aljibes o pozos poco profundos. Seguramente en captaciones de agua realizadas en material cuaternario, que de acuerdo con los estudios hidrogeológicos existe en una zona intermedia entre San Jacinto y San Juan, es posible encontrar agua subterránea de calidad química aceptable.

Cereté. Esta población está localizada sobre el río Sinú. Las vegas del río dejaron sedimentos cuaternarios con evidencias de que contengan material suelto hasta incluir cascajos, especialmente en la zona de influencia del río. Las aguas subterráneas encontradas en esta zona se alimentan en parte con el agua del mismo río Sinú, infiltrada a través de un filtro natural, lo cual favorece la calidad química de estas aguas. Lo anterior está comprobado por medio de varios análisis químicos llevados a cabo en aguas de algunos aljibes; son blandas y con bajo contenido de sólidos totales disueltos. Seguramente con los pozos ya construídos, que cumplen todas las exigencias de la técnica moderna y que son utilizados para el actual acueducto de Cereté, la calidad del agua, desde el punto de vista químico, será inobjetable.

Como el caso de Cereté hay varias poblaciones en el país que han aprovechado, al menos para el consumo particular o en fábricas, estas aguas subterráneas captadas en antiguos cauces o terrazas de los ríos, cuyas capas acuíferas están constituídas especialmente por arenas y cascajos, naturalmente siempre y cuando las condiciones de carácter hidrogeológico lo permitan.

3) *Aguas subterráneas en la Isla de San Andrés.*

En el Informe número 1.167: "Aprovechamiento del depósito de agua subterránea dulce en la Isla de San Andrés", del Instituto Geológico Nacional, por W. Diezemann, se estudian ampliamente las condiciones químicas del agua subterránea de la isla, condiciones que son muy distintas a las que ya hemos señalado anteriormente; y como se trata de un estudio comparativo, según sean los diversos factores locales que influyen en la calidad química de las aguas subterráneas, citaremos algunos apartes del mencionado informe:

"El subsuelo de la Isla de San Andrés está formado exclusivamente por estratos sedimentarios y calcáreos. . ." El suelo de la Isla es bastante permeable. . . El agua lluvia eroda la superficie por acción química y mecánicas y forma cuevas irregulares. . . ; por el proceso de disolución química la caliza entra en solución en el agua formando grietas y cavernas".

"El agua lluvia dispone entonces, para su penetración al subsuelo, de fáciles medios de infiltración: grietas, dolinas, sistema tubular de las rocas, poros de material suelto en las fajas de talud o de los conos de deyección. Esta fácil infiltración da origen a un depósito de agua subterránea dulce. Por otra parte, el agua de mar penetra, por los flancos de la isla, al fondo de ésta. En tales condiciones, el agua subterránea proveniente de la infiltración de la precipitación flota sobre el agua subterránea salada, en virtud de la diferencia de pesos específicos, pues el agua de mar,

por el alto contenido de salinidad, es más densa que el agua dulce; pero entre las dos se forma una zona de mezcla normalmente muy reducida y se establece un equilibrio hidráulico”.

Según los apartes anteriores, el agua subterránea dulce de la Isla de San Andrés está influenciada por el agua de mar, ya sea directamente por medio de grandes o pequeños sistemas de grietas o cavernas, o indirectamente manteniendo un equilibrio hidrostático con el agua subterránea dulce.

Otro factor también definitivo en la calidad química de estas aguas es la presencia del carbonato de calcio, constituyente litológico principal de toda la isla.

Por lo tanto analizaremos estos dos factores para demostrar hasta qué punto influyen en la calidad química del agua subterránea.

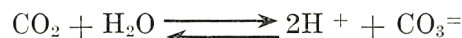
La presencia de cloruros indudablemente es un factor determinante: en el lado occidental de la isla, o sea donde está el mar abierto, varios aljibes y cavernas tienen un contenido de cloruros comprendido entre 700 mg/l. y 12425 mg/l., lo cual explica la influencia del agua de mar que no depende muchas veces de la distancia al mar, sino de los medios distintos que el agua encuentra a su paso, los cuales ofrecen mayor o menor resistencia a la entrada del agua salada.

En cambio, en los lados Noreste y Este de la isla, por ser una zona de sedimentación, donde el mar es poco profundo y por la protección del arrecife que merma considerablemente el poder de impulsión de las olas y por lo tanto reduce la capacidad de abrasión y de penetración del agua de mar, se encuentran aguas subterráneas cuyo contenido de cloruros disminuye considerablemente. Los análisis químicos realizados en esta zona indican una merma muy apreciable en el contenido de cloruros con valores aceptables que fluctúan entre 35.5 mg/l. y 347.9 mg/l., lo cual demuestra que estas aguas subterráneas no están influenciadas directamente por el agua de mar.

El carbonato de calcio influye en la calidad química del agua subterránea en la siguiente forma: la solubilidad del carbonato de calcio en el agua depende del contenido de anhídrido carbónico de la fase gaseosa en equilibrio con la fase líquida. La disolución del carbonato de calcio en equilibrio con sus iones está representada por la siguiente ecuación:



El anhídrido carbónico disuelto en el agua forma el ácido carbónico hipotético, produciendo iones en equilibrio con la parte no disociada así:

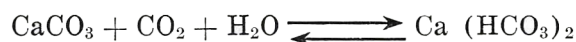


Los iones hidrógeno producidos en la disociación del ácido carbónico se combinan en gran parte con los iones carbonato para producir iones bicarbonato poco disociados:



Esta última fase de la reacción altera el equilibrio del carbonato de calcio, por lo cual se disuelven mayores cantidades de esta substancia

umentando la concentración de iones de calcio y produciendo el bicarbonato de calcio soluble. La reacción finalmente puede presentarse así:



Por lo tanto, el anhídrido carbónico libre y disuelto en el agua desempeña un papel regulador en el equilibrio total del sistema. La concentración total del anhídrido carbónico está determinada por la siguiente ecuación:

$$C_{\Sigma\text{CO}_2} = C_{\text{CO}_2} (\text{libre}) + C_{\text{HCO}_3^-} + C_{\text{CO}_3^{2-}} = C = \text{concentración.}$$

Cualquier cambio producido en la concentración del anhídrido carbónico total altera el equilibrio, produciendo un reajuste de todas las constantes de concentración.

El agua subterránea dulce de la Isla de San Andrés disuelve entonces el carbonato de calcio, produciendo bicarbonato de calcio soluble. Esta es la causa de la mediana dureza de las aguas. Así, por ejemplo, tenemos valores de dureza comprendidos entre 16.2 grados alemanes (289.9 mg/l. como carbonato de calcio) y 22.4 grados alemanes (400.9 mg/l. como carbonato de calcio).

Las aguas subterráneas que han asimilado el calcio en forma de bicarbonato pueden nuevamente redepositar carbonato de calcio al entrar en función factores físicos, químicos o biológicos. Un cambio de presión, por ejemplo, hace que el anhídrido carbónico disuelto y combinado se escape en parte a la atmósfera, eliminando del sistema el carbonato de calcio. La vida orgánica desempeña también un papel semejante: plantas acuáticas u organismos que adquieren anhídrido carbónico del agua o del bicarbonato de calcio (asimilación o respiración), pueden también precipitar carbonato de calcio. La reacción es, en estos últimos casos, así:



Estos cambios son favorables para el agua subterránea dulce de la isla, hasta tal punto de que regulan la dureza con límites completamente aceptables desde el punto de vista de potabilidad.

Resumiendo, podemos decir que las aguas subterráneas de la Isla de San Andrés, situadas en la parte oriental de ella, son, desde el punto de vista químico, aceptables para el consumo humano. Respecto a la pureza bacteriológica citaremos la parte pertinente del informe 1167:

“Debido a que el espejo de agua subterránea en la Isla de San Andrés es en general muy superficial y el agua lluvia penetra a través de grietas y dolinas, existe el peligro de contaminación bacteriológica, pues el agua, al entrar al subsuelo arrastra consigo materias mineral y orgánica desde la superficie, sin que éstas tengan filtración alguna... En estos casos es desde todo punto de vista necesario someter el agua de las captaciones a desinfección por medio de clorinación u otros medios que existen para el efecto. En esta forma se asegura la pureza bacteriológica del agua para el consumo humano”.

IMPORTANCIA DE LA CALIDAD QUÍMICA Y BACTERIOLOGICA
DEL AGUA Y CONDICIONES DE POTABILIDAD

Considerada el agua como un elemento de vital importancia en el desarrollo normal y funcional de todos los organismos superiores, la calidad química y bacteriológica de esta sustancia natural ha ocupado siempre un puesto preferencial en la preocupación del hombre por suministrar agua potable que satisfaga todas las exigencias que ella debe tener, sin detrimento para la salud de los consumidores.

Cada país ha tratado de adoptar una serie de códigos y sistemas, con variaciones secundarias pero acordes la mayoría en el aspecto substancial del problema.

Colombia, por ejemplo, en su Decreto número 1371 de 1953 (Código Sanitario Nacional) define el agua potable así:

“Agua potable es aquella que es apta para el consumo humano; libre de contaminaciones físicas, químicas y bacteriológicas”.

Da a continuación los diferentes requisitos o standars adoptados:

a) *Físicos*: Turbidez: no mayor de 10 p. p. (escala sílicea).

Color: no mayor de 20 p. p. m. (escala de cobalto).

b) *Químicos*:

Arsénico (As)	< 0.05 p. p. m.
Selenio (Se)	< 0.05
Plomo (Pb)	< 0.1
Fluoruros (F ⁻)	< 1.5
Vanadio (V)	< 1.0
Boro (B)	< 1.0
Cobre (Cu)	< 3.0
Zinc (Zn)	< 15.0
Hierro y Manganeso (Fe + Mn)	< 0.3
Magnesio (Mg)	< 125.0
Cloruros (Cl ⁻)	< 250.0
Sulfatos (SO ₄ ⁻)	< 250.0
Fenoles	< 0.001
Sólidos totales	< 1.000.0
Dureza total: Según los métodos de tratamiento.	
pH	7 a 10.6

c) *Bacteriológicos*:

El agua para el consumo humano debe estar libre de bacterias patógenas. Como índice de contaminación se tomará el grupo de bacterias coliforme, y su presencia se averiguará por los métodos tipos universalmente aceptados.

Los anteriores standars son similares a los de Estados Unidos (U. S. Public Health Service Drinking water standars-1946), y también de Europa en general. Heinrich Kruse dice en su libro *Wasser* lo siguiente respecto a un agua potable:

“El agua debe ser transparente, incolora e inodora. Hasta donde sea posible, libre de gérmenes totales y principalmente B. Coli. No debe contener substancia química alguna en cantidad que perjudique la salud. Condiciones ideales de dureza, de 6 a 8 grados de dureza alemanes. Ausencia de substancias que por ebullición formen incrustaciones perjudiciales para usos domésticos o industriales. No debe tener substancias que le comuniquen un carácter corrosivo, como exceso de anhídrido carbónico libre o de hierro total”.

Las condiciones anteriores, exigidas para que una agua pueda considerarse como potable, deben entenderse como condiciones ideales, es decir, concretándonos al caso de Colombia, no en todas las regiones del país se presentan aguas abundantes superficiales o subterráneas que ofrezcan la máxima garantía de pureza con el menor costo de tratamiento. Se han dado casos muy frecuentes de aprovechar un solo recurso existente y de tolerar un amplio límite de substancias químicas disueltas, por no existir otra fuente de aprovisionamiento. En consecuencia, esos valores ideales adquieren cierta elasticidad y se convierten en valores máximos aceptables, acondicionados a las circunstancias del suministro y al efecto perjudicial que esas substancias puedan tener para la salud.

Estas substancias de carácter químico y físico son:

Dureza: La dureza está constituida por la presencia de carbonatos y bicarbonatos de calcio y de magnesio (dureza temporal) y, sulfatos y cloruros principalmente, que constituyen la dureza permanente. El grado de dureza total, o sea la suma de las durezas temporal y permanente, puede definirse así:

Grados alemanes	p. p. m. Como CaCO ₃	Carácter.
De 0 – 4	.0 – 71.6	muy blanda.
4 – 8	71.6 – 143.2	blanda.
8 – 12	143.2 – 214.8	medianamente dura.
12 – 18	214.8 – 322.2	casi dura.
18 – 30	322.2 – 537.0	dura.
sobre 30	sobre 537.	muy dura.

Las condiciones ideales de dureza serían de acuerdo con la tabla anterior 8 grados alemanes (143.2 como carbonato de calcio), pero en muchas partes del mundo existen valores muy por encima de 30 grados alemanes (537 como carbonato de calcio), que le comunican al agua un sabor peculiar sin ser desagradable. Es muy discutible que las aguas muy duras sean una de las causas de la enfermedad denominada coto o bocio (degeneración de la glándula tiroides por falta de yodo).

Cloruro de sodio: Esta sal está casi siempre presente en todas las aguas naturales; el promedio tomado por el hombre es de 15 a 20 gramos por día, mientras que la cantidad necesaria para el mantenimiento de la salud es probablemente más bajo que 4 gramos por día. Se ha considerado que hasta 1400 mg/l. de esta sal no le comunican al agua un carácter nocivo, excepto que el gusto salino es apreciado por algunos consumidores.

Otros cloruros como los de calcio y magnesio se presentan en menor frecuencia y ellos pueden incrementar en cantidad en aguas mezcladas con el agua de mar.

La presencia de *nitratos*, principalmente de sodio o de potasio, generalmente son *índice de contaminación* (aguas negras o estiércol), puesto que ellas pueden derivarse de la oxidación de la materia orgánica nitrogenada de origen animal. Estos nitratos en pequeñas dosis son medicinales (diuréticos). Se recomienda generalmente un límite máximo de 20 mg/l.; en mayores dosis pueden ser tóxicos o irritantes; la enfermedad cianosis suele presentarse especialmente en los niños en cantidad superior a 1000 mg/l.

Los *sulfatos* de sodio, potasio y magnesio, generalmente se presentan en cantidades apreciables en aguas mineralizadas y pueden servir para fines medicinales. En las aguas naturales se hallan en menor proporción, presentándose casos, sin embargo, de aguas hasta con más de 1000 mg/l. de estos sulfatos, que para ciertos organismos producen un efecto laxante. La presencia de sulfatos en cantidad de 72 mg/l. sería el caso ideal, pero este valor puede subir considerablemente (600 mg/l. sería un límite máximo aceptado), sin notorio perjuicio para la salud. Como en todos estos casos, es importante, como ya ha ocurrido en muchas partes del mundo, investigar prácticamente el efecto nocivo de ciertas sales presentes en el agua en cantidades excesivas.

Los sulfatos y bicarbonatos de calcio y de magnesio constituyen la dureza permanente y temporal de las aguas naturales. El calcio es el más abundante constituyente mineral del cuerpo humano y en adecuadas dosis es esencial en el crecimiento y en la salud (mínimo promedio diario es posiblemente 1 a 2 gramos). Las aguas duras, como es natural, contienen estas sales de calcio en mayor cantidad. No hay evidencia de que las aguas duras tengan un efecto nocivo para la salud. En cambio, las aguas excesivamente duras (superior a 30 grados alemanes o 537 mg/l. como carbonato de calcio) pueden afectar los riñones, producir dispepsia, etc., esto último sin ser una regla absolutamente general.

Puede decirse que aguas moderadamente duras son bastante aceptables para la salud y para el desarrollo físico normal. Las aguas duras pueden llegar a producir una indisposición temporal debido al cambio en carácter del agua usada, puesto que los mismos síntomas se han presentado aun en aguas blandas y muy blandas (defecto de sales minerales).

Entre los elementos metálicos quizás sean los más importantes y de mayor ocurrencia el hierro y manganeso. Ellos se presentan generalmente asociados en las aguas naturales y en cantidades reducidas. El hierro, como ya lo hemos explicado, se presenta en muchas aguas subterráneas y especialmente en las de la Sabana de Bogotá en proporción muy superior a lo normal. Este exceso de hierro en el agua es desde todo punto de vista perjudicial, no solamente por la apariencia fuertemente turbia y amarillenta que adquiere, sino también por el efecto altamente perjudicial de corrosión en tuberías, etc., debido en parte al crecimiento de bacterias del grupo ferro-bacterias. Estas bacterias tienen el poder de asimilar hierro del agua misma o de las tuberías con las cuales está en contacto. Las aguas ferruginosas invariablemente contienen este tipo de bacterias y el crecimiento de ellas da lugar, con el transcurso del tiempo, a un proceso continuo, de asimilación, oxidación, y acumulación de depósitos e incrustaciones de hi-

dróxido de hierro. Este caso se presenta en la red de distribución en el acueducto de El Centro (Barrancabermeja). La presencia de materia orgánica y de anhídrido carbónico libre en exceso son coadyuvantes en la proliferación de estas bacterias. El manganeso tiene un comportamiento similar al hierro y estas dos sustancias no deben exceder de 0.3 mg/l. en las aguas potables. Recientes investigaciones han demostrado que excesivas dosis de hierro (6.7 gramos por litro) son muy perjudiciales para los organismos infantiles.

Existen otras sustancias, pero cuya presencia es muy rara en las aguas naturales, como plomo, zinc, arsénico, vanadio, etc.; ellas pueden hallarse, en cantidades mayores que trazas, en aguas subterráneas provenientes de zonas mineras (Mine Waters), como un resultado de la acción química de las aguas sobre los minerales presentes.

Entre las sustancias gaseosas son importantes el anhídrido carbónico, oxígeno y amoníaco. Ya hemos visto el origen y algunos de los efectos del anhídrido carbónico en las aguas subterráneas. Sin embargo, es necesario anotar el efecto corrosivo y solvente del anhídrido carbónico presente en el agua, sobre ciertos metales y aleaciones principalmente hierro, acero, hierro galvanizado (Fe-Zn) y bronce, que son precisamente los constituyentes de la mayoría de las tuberías de conducción, redes de distribución, etc.

Los factores que intervienen en la corrosión son:

1) *Oxígeno*, está disuelto en variadas cantidades en la mayoría de las aguas naturales y actúa como agente oxidante formando óxidos y carbonatos básicos. Sin embargo, este gas no es la causa principal de corrosión y puede ser común tanto en aguas corrosivas como en no corrosivas; de allí que muchas veces el mismo oxígeno es introducido en el agua por aireación y el anhídrido carbónico eliminado para prevenir la corrosión. En cambio, en calderas que trabajan a alta presión, el agua de alimentación es desoxigenada por ser este gas el causante de la misma.

2) *Acidez*. Es el factor determinante de la corrosión; así tenemos aguas con valores bajos de pH que, debido a la presencia de ácido carbónico disuelto u otros ácidos, son invariablemente corrosivas.

3) *Alcalinidad*. La alcalinidad debida al bicarbonato de calcio presente en el agua relacionado al anhídrido carbónico libre en equilibrio evita la corrosión.

4) *Constituyentes minerales u orgánicos*. La corrosión es acentuada por un elevado contenido de sólidos totales disueltos y de materia orgánica.

5) Corrientes eléctricas producidas por *pares metálicos* en contacto con el agua, la descomponen produciendo hidrógeno y oxígeno naciente de alto poder de reacción.

6) Por último tenemos la acción biológica de las bacterias, principalmente ferrobacterias y sulfobacterias. Las primeras actúan en presencia del oxígeno (bacterias eróbicas) y las segundas en su ausencia (bacterias anaeróbicas o reductoras).

El gas amoníaco puede presentarse en aguas subterráneas o superficiales, originado ya sea por descomposición o putrefacción de materia vegetal, de la vida normal de animales y vegetales y de plantas acuáticas. Puede ser también un producto de la actividad microbiana y generalmente

es aceptado también, junto con otras materias nitrogenadas, como evidencia de contaminación en las aguas crudas.

APARIENCIA FISICA DEL AGUA POTABLE

El agua debe estar libre de materia visible en suspensión. Aguas con materia en suspensión no son necesariamente nocivas, pero no son puras; si a ello añadimos la presencia de algas, diatomas, pequeños crustáceos u otras formas de vida vegetal o animal, el agua adquiere entonces un aspecto desagradable.

Las aguas coloreadas son objeccionables desde todo punto de vista, y el color puede ser debido a materia vegetal o mineral disuelta, o en suspensión en forma de partículas casi microscópicas. En la misma forma podemos decir del olor y el gusto que en muchos casos son difíciles de investigar en su verdadero origen. Así, por ejemplo, un agua que tenga sabor y olor agradables debido a la presencia de algas aromáticas, ellas mismas pueden suministrar un olor a pescado, si estos organismos están en mayor abundancia. La descomposición de la materia orgánica vegetal o animal, la decadencia de plantas acuáticas, algas y otras formas de vida en abundante cantidad, suministran diversidad de olores y sabores. Estos pueden ser agradables pero nocivos, sin peculiaridad alguna, y no peligrosos, lo que es más frecuente, desagradables hasta pútridos, que dan un índice de alto grado de contaminación y consecuentemente son aguas peligrosas.

Ya hemos hablado en capítulo anterior sobre las bacterias en el agua, restando solamente adicionar algunos apartes sobre las de carácter nocivo.

Aguas potables que no contengan colibacterias son de mayor confianza para la salud de los consumidores. Aguas contaminadas pero previa y eficazmente tratadas, son potables siempre y cuando hayan sido examinadas bacteriológicamente antes y después del tratamiento. Es posible que enfermedades como la tifoidea, disentería amibiana, etc., sean producidas por agentes distintos al agua, pero hay que tener siempre presente que las aguas con cualquier grado y clase de contaminación, presencia de materia visible en suspensión, color, olor y sabor desagradables, pueden suministrar un medio de cultivo propicio para el desarrollo de toda clase de gérmenes y bacterias de origen intestinal y de otras igualmente nocivas, hasta tal punto de producir efectos fatales, que en el menor de los casos serían aislados y de fácil solución, y en otros, afectar toda una comunidad (epidemias y endemias) de consecuencias funestas. De allí la razón de la importancia definitiva en la calidad química y bacteriológica de las aguas potables.

Hemos considerado de importancia anexar al presente estudio algunas instrucciones referentes a la forma de tomar muestras de agua para análisis químicos, con el fin de que los resultados obtenidos respondan más exactamente a la realidad, pues de ellos dependen, esencialmente, la interpretación de la calidad química del agua, el sistema de tratamiento a

seguir para lograr agua potable o para usos industriales, además de ser una ayuda eficaz en la localización de cualquier grado de contaminación de las aguas crudas y tratadas. El examen bacteriológico, finalmente, suministrará los datos referentes al tipo e intensidad de la contaminación.

CARLOS I. DELGADO D.,
Hidroquímico.

BIBLIOGRAFIA

1. DIEZEMANN y DELGADO.—“Consideraciones hidrogeológicas sobre el posible abastecimiento de agua subterránea para las poblaciones de Sincelejo, Morroa, Los Palmitos, Ovejas, Carmen, San Jacinto y San Juan Nepomuceno, en el Departamento de Bolívar”. Informe número 1095 del Instituto Geológico Nacional.
2. DIEZEMANN y DELGADO.—“Aprovechamiento del depósito de agua subterránea dulce en la Isla de San Andrés”. Informe número 1167 del Instituto Geológico Nacional.
3. DIEZEMANN W.—“Aguas subterráneas en Bogotá y sus alrededores”. Informe número 707 del Instituto Geológico Nacional.
4. DIEZEMANN y LOPEZ C.—“Posibilidades para la construcción de un acueducto de agua subterránea en el Municipio de Corozal (Departamento de Bolívar)”. Informe número 883 del Instituto Geológico Nacional.
5. DIEZEMANN y LOPEZ C.—“Aprovechamiento de aguas subterráneas en los cuarteles de Montería y en las poblaciones de Garzones, Cereté, San Pelayo y Lórica (Departamento de Córdoba)”. Informe número 1018 del Instituto Geológico Nacional.
6. LINDGREN.—“Mineral Deposits”.
7. EDWIN WINDE TAYLOR.—“The Examination of Waters and Water Supplies”.
8. K. RANKAMA y TH. SAHAMA.—“Geoquímica”.
9. HEINRICH KRUSE.—“Wasser”.
10. Das Gas und Wasserfach (1951).—“Das Wasser”.
11. TRUELSSEN u. SCHNEIDER.—“Die Wasserschliessung”.
12. “Standard Methods for the Examination of Water, Sewage and Industrial Wastes”.

ANEXOS

I

MANERA DE TOMAR LAS MUESTRAS DE AGUA PARA LOS ANALISIS QUIMICOS

Generalidades.

Resultados exactos de los análisis químicos se obtienen solamente cuando se toman las muestras de agua en debidas condiciones. Para cada examen se necesitan por lo menos dos litros de agua. Los recipientes deben ser de vidrio y completamente limpios, lavándose previamente con el agua a analizar y provistos con tapas de vidrio esmerilado. A falta de **tapas de vidrio**, se pueden utilizar de corcho o de caucho previamente lavadas con agua caliente y sujetándolas por medio de una cuerda al cuello de la botella.

Cada muestra de agua debe estar provista de rótulos con los siguientes datos:

1. Fecha y hora de la toma.
2. Origen de la muestra: arroyo, río, estanque, lago, manantial, represa, o dique, pozo, aljibe, cisterna, red de distribución municipal o acueducto.
3. Naturaleza del agua y sitio de la toma, por ejemplo: agua cruda bombeada a presión y en la tubería antes de filtrarse; o agua clarificada tomada después de la filtración.
4. Características de la muestra en el lugar de toma, a saber: temperatura, turbidez, color, olor, sabor, sedimento.
5. Usos del agua a analizar: agua potable, agua para lavanderías, para acondicionamiento, para calderas, usos sanitarios, etc.

Manera de tomar el agua en los grifos de las tuberías.

Se acopla en el grifo un tubo de caucho de unos 40 centímetros de longitud; antes de tomar la muestra se deja salir el agua por el tubo, aproximadamente 10 minutos. Sin interrumpir el desagüe se coloca el tubo de caucho hasta el fondo de la botella, de tal manera que ésta se llene lentamente, evitando de este modo la salida de los gases disueltos. Después de que el agua ha corrido unos 5 minutos por el cuello de la botella, se retira lentamente el tubo de caucho y enseguida se tapa evitando la formación de burbujas de aire.

Manera de tomar el agua en sitios sin grifo.

En estos casos, para tomar el agua es aconsejable emplear un embudo grande en el extremo del cual se coloca un tubo de caucho. Por lo demás, se procede exactamente como en el caso anterior.

Manera de tomar la muestra en aguas abiertas, corrientes o estancadas.

En estos casos, la botella se tapa ligeramente con un corcho amarrado con una cuerda y con un sobrepeso para sumergirla a unos 50 centímetros de profundidad. En esta profundidad se hala de la cuerda que sustenta el corcho y la botella se llena de agua; se saca entonces y una vez en la superficie, se debe tapar inmediatamente.

Manera de tomar el agua para la determinación del anhídrido carbónico corrosivo, según Heyer.

Se debe utilizar una botella de unos 200 cc. de capacidad. El procedimiento es exactamente el descrito para los casos anteriores, pero colocando antes, previo lavado de la botella, la cantidad de polvo de mármol que para estos casos se señala. La botella, una vez llena y tapada, se debe agitar varias veces. La determinación se hace después de 4 días de tomada la muestra.

II

DATOS PARA EL ANALISIS QUIMICO DEL AGUA

REMITENTE
 (Oficina, firma, persona, etc.).

AGUA TOMADA EL
 (Fecha y hora).

AGUA TOMADA POR
 (Nombre).

MUNICIPIO

LUGAR DE TOMA
 (Lago, río, arroyo, pozo (qué profundidad), etc.).

CLASE DE AGUA
 (Agua cruda, agua tratada, agua de calderas, etc.).

DATOS TOMADOS EN EL CAMPO

TEMPERATURA °C

TURBIDEZ
 (Por ejemplo: clara, casi transparente, débil o fuertemente opalescente, débil o fuertemente turbia, opaca, etc.).

COLOR
 (Incolora, blancuzca, amarillo, verde, gris, pardo, negruzco claro u oscuro).

OLOR
 (Sin olor peculiar, débil o fuertemente aromático, terroso, humedad, desagradable, fétido, materias fecales, carbonoso, pútrido, etc.).

SABOR
 (Sin sabor peculiar, débil o fuertemente insípido, salado, ácido, alcalino, amargo, dulce, etc.).

SEDIMENTO
 (Con o sin sedimento, caracteres físicos del sedimento, color, forma (algáceo, flucoideo, grano fino o grueso), cantidad (muy poco, poco, mucho, etc.).

¿QUE APLICACIONES VA A TENER EL AGUA?

MINISTERIO DE MINAS Y PETROLEOS
INSTITUTO GEOLOGICO NACIONAL
SECCION DE HIDROGEOLOGIA

ESQUEMA DE UNA PLANTA ELEMENTAL PARA TRATAMIENTO DE AGUAS CON ALTO CONTENIDO DE HIERRO

NOVIEMBRE DE 1.956

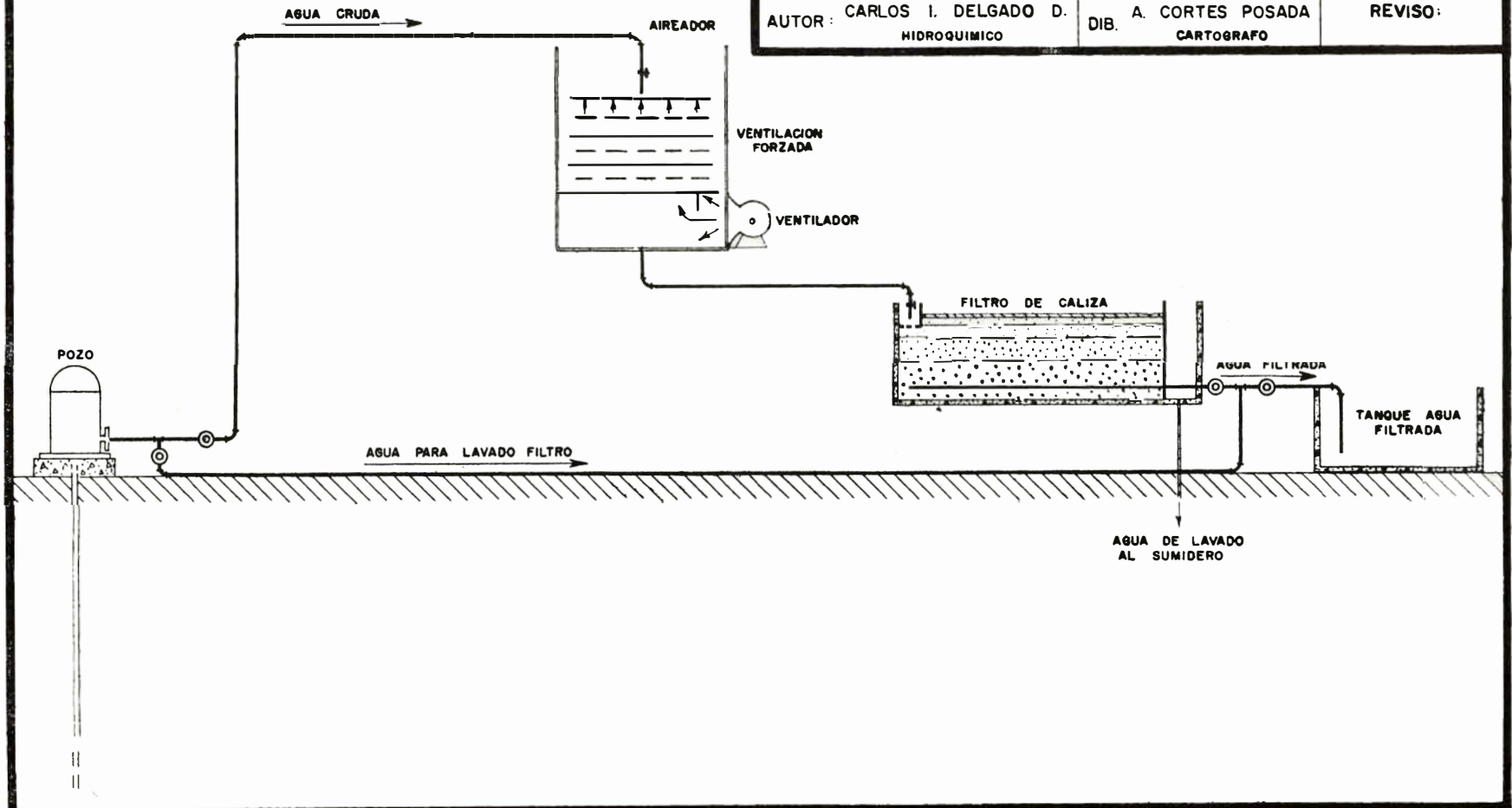
PLANCHA 1 de 1

INFORME Nº 1.205

AUTOR: CARLOS I. DELGADO D.
HIDROQUIMICO

DIB. A. CORTES POSADA
CARTOGRAFO

REVISO:



REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y PETROLEOS
INSTITUTO GEOLOGICO NACIONAL

EL ENSAYO DE BOMBEO EN LAS CAPTACIONES
DE AGUA SUBTERRANEA

INFORME No. 1204

JAIME LOPEZ CASAS
G E O L O G O

BOGOTA, D. E., DICIEMBRE 4 DE 1956

EL ENSAYO DE BOMBEO EN LAS CAPTACIONES DE AGUA SUBTERRANEA

La mayoría de las personas que contratan perforaciones para la obtención de agua subterránea no se preocupan del control del rendimiento real de tales pozos, y sufren perjuicios serios por este motivo. La información que sigue les dará una prueba de la importancia del control y de los métodos para efectuarlo.

El presente artículo resume las principales ideas acerca de la necesidad de hacer un ensayo de bombeo como parte integral y culminante en la construcción de cualquier pozo para la explotación de aguas subterráneas. En la descripción de los métodos, así como en las ideas mismas, no puede ser original por cuanto se trata de conceptos básicos y simples que están siendo aplicados de muchos años atrás en otros países donde el agua subterránea es el elemento vital para poblaciones e industrias. Principalmente en los idiomas inglés y alemán abunda la bibliografía que describe los métodos del ensayo de bombeo para las captaciones de agua; generalmente esas publicaciones son altamente técnicas, y por razones del idioma así como por insuficiencia en la preparación científica estarían fuera del alcance de la gran mayoría de nuestros perforadores e interesados en los asuntos de aguas subterráneas. Es por esto que creemos que las ideas y métodos aquí expuestos, en forma elemental, tengan alguna novedad, y ciertamente estamos seguros de que hay una urgente necesidad en su conocimiento y aplicación entre nosotros: los contratantes de construcciones de pozos, cuyo número se acrecienta día a día en Colombia, deben informarse con certeza del resultado de su gestión al pagar un costo elevado por la construcción de un pozo. El conocimiento de los recursos del país en aguas subterráneas y su conservación, que son factores esenciales del progreso en todos los órdenes agropecuarios, industriales y de abasto de poblaciones, sólo se puede lograr con base en los ensayos de bombeo.

El ensayo de bombeo, en condiciones perfectas, debe ser la prueba conjunta de la capacidad de la fuente subterránea, o sea el acuífero, y de la capacidad del pozo en sí para aprovecharse de él. La capacidad del acuífero es una condición natural, o sea preexistente a la construcción del pozo, por lo cual para llenar la anterior finalidad de calificar el acuífero mediante la construcción y el ensayo de bombeo de un pozo para agua, se requiere que el pozo en sí tenga una construcción óptima y altamente técnica. La calidad del pozo en relación al acuífero depende de su profundidad, de su diámetro; de la calidad, diámetro, longitud y demás especificaciones del filtro y de la bomba que sirve para la explotación del agua. Un pozo que penetre poco en la capa acuífera, sea de diámetro reducido y de filtro deficiente, puede ocultar completamente la capacidad quizá enorme de un acuífero para rendir agua. En Colombia existen pozos que

extraen una buena cantidad de agua de sedimentos finos cuya permeabilidad tan sólo es regular y cuyo rendimiento es comprobadamente pobre.

El interés inmediato del ensayo de bombeo es definir la capacidad del pozo, o sea la cantidad de agua que produce en una unidad de tiempo por cada metro de descenso en el nivel de agua; con este conocimiento luego se calcula la capacidad requerida de la bomba permanente de que se debe dotar el pozo para su explotación.

En la interpretación del ensayo de bombeo deben tenerse en cuenta cinco factores para el cálculo de la bomba y la capacidad del pozo:

1) Los detalles de la construcción del pozo: profundidad, diámetro; longitud, colocación; diámetro, tipo y calidad del filtro y cualquier otra como relleno de grava, etc.

2) El nivel piezométrico del agua, o sea el nivel del agua medido en condiciones naturales antes del bombeo y después de algunas horas de terminada la perforación y limpieza del pozo.

3) La cantidad de agua bombeada en litros por segundo o galones por minuto durante el ensayo de bombeo.

4) El tiempo total e ininterrumpido de bombeo del pozo.

5) El descenso del nivel de agua provocado por el bombeo y medido frecuentemente, en tal forma que sea posible asegurarse de que se ha obtenido un nivel de bombeo estable. Esto quiere decir que con la cantidad de agua que se está bombeando ha llegado el momento en que el nivel de agua no desciende más. Esta operación de bombeo debe prolongarse por no menos de 24 horas.

La interpretación del ensayo de bombeo con fines hidrológicos para la calificación de la capacidad y extensión del acuífero requiere, además de los anteriores puntos (que son la base mínima del ensayo de bombeo):

1) los cálculos hidráulicos según la información matemática que dé ese ensayo; 2) el conocimiento de la geología regional, para poder estimar las posibilidades de aflujo y reposición del agua extraída del pozo; 3) conocimiento de la columna estratigráfica y demás detalles de la perforación del pozo bombeado, lo cual debe ser suministrado por el perforador del pozo; 4) el conocimiento de la meteorología e hidrología regionales. Lo anterior quiere decir que la primera parte de la cuestión corresponde en conciencia al perforador, o bien al contratista de perforación de pozos, como parte esencial y culminante del contrato de perforación. Sólo las grandes compañías de perforación o los institutos oficiales pueden tener personal experto para la aplicación e interpretación conjunta y correcta de todos los factores arriba enumerados.

Como el ensayo de bombeo está llamado a calificar el resultado de la construcción de un pozo, o sea que de todas maneras se debe realizar en su parte básica para calcular la capacidad del pozo y, por consiguiente, de la bomba para la explotación que se ha de instalar, debe ser preocupación del propietario o contratista exigir el ensayo de bombeo. El contratante de la construcción de cualquier pozo o captación de agua subterránea debe depender del ensayo de bombeo para justificar la inversión hecha, por lo cual debe presenciarlo personalmente o hacerlo presenciar de una persona de toda confianza, y por lo menos algo informada en el asunto.

De acuerdo con lo anterior, podemos dividir el tema en ensayos de bombeo simples y ensayos de bombeo técnicos.

El método más simple no puede ser otro que bombear el pozo por algún sistema durante un tiempo que se determinará por lo menos en horas, no menor de 24, a razón de tantos galones por hora o litros por segundo o por minuto, etc., con un descenso de tantos metros durante todo ese tiempo de bombeo. No debe haber interrupción en el bombeo, una vez comenzado, y el dato de la cuantía de agua que se bombea reviste la mayor importancia. Si al cabo de las 24 horas no se ha estabilizado el nivel de bombeo, es de todas maneras necesario continuar el bombeo hasta que se estabilice, lo cual se interpreta como que el agua que extrae la bomba es igual a la cantidad de agua que entra en el pozo.

Insistimos en que son tres y sólo tres los datos que se deben obtener de un ensayo de bombeo simple: cantidad de agua bombeada; tiempo continuo de bombeo; descenso del nivel de agua debido a ese bombeo, hasta alcanzar un nivel estable de bombeo.

Es conveniente poner de presente que si la necesidad de una casa o de una finca, etc., exige determinada cantidad de agua, por ejemplo, una extracción de 3 litros por segundo del pozo que se va a probar, no debe bombearse el pozo a cantidad menor de la que se aspira a extraer, es decir, en caso del ejemplo a no menor de 3 litros por segundo, o sea a unos 47.5 galones por minuto.

El tiempo de bombeo es fácil de medir mediante un reloj apuntando el día, la hora y el minuto en que se comenzó el bombeo, y luego el día, la hora y el minuto en que se suspendió.

La medición del descenso de bombeo es un poco más difícil, por cuanto requiere alguna práctica. Con el objeto de hacer esa medición se han inventado algunos instrumentos como la medición eléctrica, la pipa sonora y la columna de aire a presión. Pero esos instrumentos no están al alcance de la mayoría de los perforadores, y ciertamente que existe para el ensayo simple de bombeo un instrumento más sencillo, más común y tan preciso como los anteriores: la cinta métrica de longitudes de 10, 20, 30, hasta 50 metros, es un instrumento muy apropiado para esa medición. Con un lápiz de tiza, mejor de color claro, se tiñen de 1 a 2 metros en el extremo de la cinta. Se requiere el conocimiento previo aproximado de la profundidad del nivel de agua para no introducir en el pozo ni poca ni mucha longitud de la cinta. El perforador siempre tiene idea de la profundidad del nivel de agua. Unos minutos antes del ensayo de bombeo se mide la profundidad (o altura, en caso de agua saltante) del nivel de agua, tomando como base de cualquiera de estas medidas el nivel del suelo o el cuello de la tubería del pozo. A medida que avanza el bombeo se mide la profundidad del nivel con relación al mismo punto. La última medición debe hacerse inmediatamente que se suspenda el ensayo, pues el nivel de agua tiende a subir muy rápidamente en los primeros minutos después de suspendido el bombeo. La diferencia entre las dos cifras extremas así obtenida dará el descenso del nivel promovido por el bombeo. En algunos casos, como cuando se usa compresor para el ensayo de bombeo, no es posible hacer mediciones mientras que se bombea, por lo cual lo único aconsejable en ese caso es bombear mucho tiempo para asegurarse de que el nivel de bombeo se ha estabilizado; en estos casos se harán las mediciones inmediatamente antes y después del bombeo.

La medición más difícil de acometer y que requiere preparación más cuidadosa es la de la cantidad de agua bombeada. Creemos que en general hay un grave descuido en la apreciación de esa cantidad. En no pocos casos la cantidad de agua bombeada la refieren al diámetro de la tubería por donde sale el agua, y así dicen que se bombearon dos o tres pulgadas de agua durante dos o tres horas. Otras veces la refieren a la capacidad de la bomba, que puede ser expresada en galones por minuto durante tal o cual tiempo. Estos dos conceptos encierran errores muy comunes y ponen de presente la dificultad que hay en tales mediciones, pues el empleo de presas de aforo, por simples que sean, de orificios, medidores de corrientes y demás sistemas clásicos de medir agua, requieren técnica, aplicación de fórmulas y, en general, son aparatos de costo alto.

El chorro de agua que sale por un tubo no reúne las condiciones que permiten saber por la simple inspección ocular del chorro de agua la cantidad de agua que se mueve en él. La cantidad de agua que sale por un tubo no solamente está sujeta al diámetro de éste sino a la velocidad de salida del agua, a que el chorro llene completamente el tubo y a que no haya mezclada con el agua una buena cantidad de aire. Una estimación de la cantidad de agua que surge en relación con el diámetro de la tubería es muy insegura, y no debe ser aceptada ni siquiera como aproximación de la cantidad de agua bombeada en el ensayo de un pozo, tanto menos si el ensayo se hace con una bomba de pistón o con compresor, pues en estos casos el chorro de agua no es continuo.

La capacidad de una bomba, por ejemplo, de 1.000 galones por hora, es una cantidad máxima en condiciones ideales de diseño de las bombas. En la práctica es difícil que una bomba extraiga agua a una capacidad constante e ideal, pues su funcionamiento está sujeto a muchos factores. Naturalmente nos referimos a bombas centrífugas o de turbina, pues las bombas de pistón y los compresores tienen una capacidad difícilmente o imposible de estimar de antemano. La calidad del combustible, o el voltaje, el grado de pureza del aceite que lubrica las partes de una bomba, el estado de sus piezas, etc., hace que cambie la capacidad ideal en el bombeo para una bomba, y en un ensayo de bombeo de varias horas estos cambios pueden producir una alteración notable de la cantidad de agua extraída en total. No es posible admitir sin objeciones el cálculo de que una bomba de 1.000 galones por hora que ha trabajado 5 horas haya extraído 5.000 galones en total. Es necesario, pues, que durante el bombeo se hagan algunas mediciones de la capacidad de la bomba y luego esos resultados se promedien y se adopten como base de la cantidad de agua extraída, en galones por minuto o por hora, o litros por segundo, o litros por minuto. En el ejemplo que damos de un bombeo simple se puede observar que las mediciones o aforos del promedio de agua bombeada deben hacerse repetidas veces.

En el caso que venimos tratando, de un ensayo de bombeo simple, por ejemplo, el de un pozo para uso casero, o de pequeña capacidad, la medición del agua extraída se puede hacer sencillamente y con bastante exactitud con la ayuda de dos canecas o tambores de 55 galones o menores, si es que el agua que se extrae es poca. La tubería de descargue se mantiene siempre vertiendo en una de las canecas, tan pronto se llene una, dentro de determinado tiempo, se pone la otra caneca y mientras se llena esta última se vacía la primera para tenerla lista, tan pronto se llene la otra.

Se contabilizará el número de canecas llenadas durante el tiempo de bombeo y se obtendrá así una figura muy exacta de la cantidad de agua extraída. En la figura número 1 se muestra un sistema de tubería y llaves que sugerimos para facilitar el empleo y la exactitud del método anteriormente expuesto para pozos de capacidad hasta de 5 litros por segundo. Lo esencial del sistema es una Y con llaves de paso y de muy fácil construcción, de suerte que todos los perforadores la pueden tener como parte integral del equipo de perforación. El sistema es muy conveniente, pues da resultados muy precisos si se ejecuta con la debida atención. Frecuentemente para el ensayo de bombeo se usan bombas de pistón y aun compresores; en estos casos la medición de la cantidad total del agua extraída es esencial y el sistema expuesto es muy conveniente, si no el único sencillo.

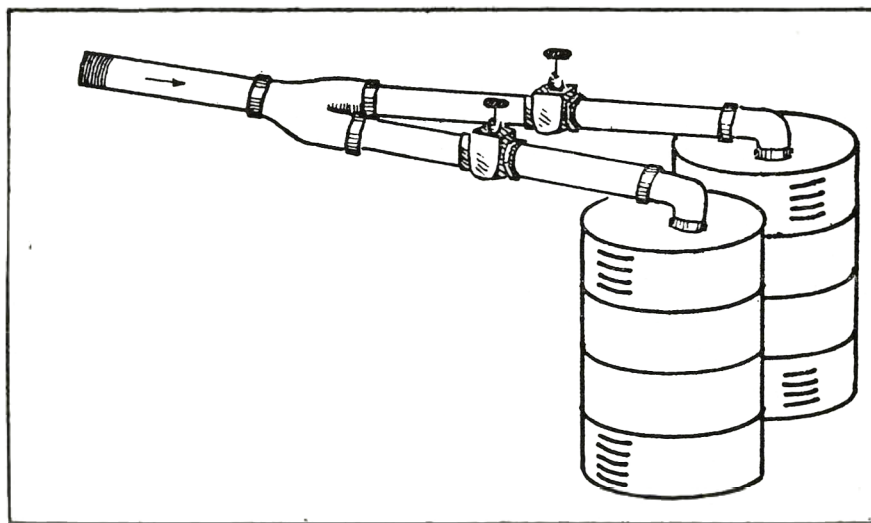


FIGURA 1.—Sistema de una Y con llaves para el control de aforos en un ensayo de bombeo simple. El diámetro de la tubería y el volumen de las canecas se deben ajustar a las necesidades.

Con base en el resultado del ensayo simple de bombeo, que ojalá presencie el contratante mismo, se puede calcular la capacidad del pozo, o sea la cantidad de agua extraída por metro de descenso en el nivel de agua, y, de consiguiente, con una interpretación por parte de una persona práctica se podrá calcular la potencia de la bomba de que debe ser provisto el pozo para su debida y segura explotación. Esta interpretación quizá no corresponda al perforador mismo, pero con los datos obtenidos por él, mediante el ensayo de bombeo, las casas distribuidoras de bombas determinarán la capacidad y el tipo de la bomba más apropiado a las circunstancias.

Como parte muy importante del ensayo de bombeo debe tomarse una muestra de agua con el fin de realizar análisis químicos de ésta. En este *Boletín* aparece un artículo sobre la calidad química de las aguas subterráneas, y se dan indicaciones para la recolección de las muestras de agua. Desde luego, otra muestra debe someterse al análisis bacteriológico.

Con el objeto de clarificar la explicación sobre un ensayo de bombeo se adjunta a la presente descripción un cuadro (ver figura 2), sobre los

datos que debe aportar el ensayo de bombeo. También se interpretan esos datos en forma gráfica para que quede en claro la reacción de los niveles de agua al bombeo. Como se ve en ese gráfico, el descenso del nivel en las primeras horas de bombeo es bastante rápido y luego trata de estabilizarse en un punto que depende de la cantidad de agua que se bombea, la calidad del pozo y la calidad de la capa acuífera. Al suspender el bombeo, la curva de recuperación es una imagen invertida de la curva de descenso, y, por consiguiente, depende de los mismos tres factores enunciados; es por esto que la curva de recuperación tiene gran valor para los análisis hidrológicos.

En los ensayos de bombeo de pozos de alta producción para la industria, la irrigación y el abastecimiento público el ensayo de bombeo reviste grande interés y seriedad. Una cuidadosa preparación del ensayo de bombeo es necesaria, pues los datos que se han de obtener son los mismos pero más detallados y completos que los que da el ensayo simple de bombeo, y básicamente dan la misma información indispensable para los cálculos de las bombas. Para abastecimientos públicos y con fines industriales, el declinar regional de los niveles de agua debido a la explotación de pozos de alta capacidad, tiene grande importancia en lo que pueden afectar otros pozos y en el futuro planeamiento para la expansión de la explotación de las aguas subterráneas, tanto para definir la distancia entre uno y otro pozo, como para dar una figura en cuanto a la cantidad de agua explotable en cada uno de los ellos. Cuántas inversiones de buenas sumas de dinero se hubieran ahorrado en Colombia si se hubieran hecho ensayos de bombeo como base de controlar su producción real.

En estos bombeos técnicos se deben hacer varias medidas del nivel del agua durante el bombeo a medida que éste progresa. Al iniciarse el bombeo se harán mediciones tan frecuentes como sea posible, es decir, máximo de unos 3 minutos aparte durante los primeros 15 minutos; luego progresivamente se espaciarán a unos 5 minutos durante la siguiente hora y media de bombeo; en las siguientes 3 horas se medirá el nivel cada 20 minutos. Después de unas 4 horas y media de comenzado el bombeo, sólo será necesario medir el nivel cada hora hasta la terminación del ensayo.

Para ensayos importantes, los cuales deben dar una idea de las cualidades del acuífero en explotación, como, por ejemplo, para el abastecimiento de industrias grandes, y principalmente de poblaciones, se deben establecer pozos de observación, que no son otros que los ya existentes en las cercanías del pozo bombeado o pozos especialmente contruídos en diámetro pequeño y que solamente penetren unos pocos metros por debajo del nivel de agua regional. En esos pozos de observación se iniciarán las mediciones al mismo tiempo y a todo lo largo del ensayo de bombeo en la misma forma que se describieron para el pozo bombeado. Debido a que la permeabilidad vertical de los estratos es en general menor que la horizontal, la localización de los pozos de observación se debe poner entre 25 hasta 150 metros de distancia del pozo de bombeo, pero en pozos de gran capacidad se deben colocar a distancias de 100 y 250 metros del pozo en bombeo.

Las empresas especializadas pueden instalar medidores gráficos automáticos de las fluctuaciones de los niveles de agua, los cuales reproducen una curva de descenso del nivel en los pozos de observación a medida que avanza el ensayo de bombeo.

DESCRIPCION NUMERICA E INTERPRETACION GRAFICA DE UN ENSAYO DE BOMBEO

- FIG. 2 -

RECUPERACION DEL NIVEL DE AGUA DESPUES DEL BOMBEO

FECHA	HORA	NIVEL DEL AGUA	FECHA	HORA	NIVEL DEL AGUA
JUN. 3	6 a.m.	2 mts.	JUN. 3	4.00	4.92 mts
	6.40	2		5.00	4.99
	7.15	2		6.00	5.05
	7.55	2		7.00	5.10
	8.00	2		8.00	5.13
	8.15	2.50		9.00	5.15
	8.40	3.15		10.00	5.17
	9.00	3.40		11.00	5.20
	9.30	3.67		12.00	5.20
	10.00	3.86	JUN. 4	2	5.20
	11.00	4.20		4.00	5.20
	12.00	4.42		8.00	5.20
	1	4.60		8.00	5.20
	2.00	4.75			
	3.00	4.85			

FECHA	HORA	NIVEL DEL AGUA
JUN. 4	8 a.m.	5.20 mts.
	8.30	4.18
	9.00	3.87
	9.30	3.50
	10.00	3.33
	11.00	3.04
	12.00	2.80
	1	2.60
	2.00	2.45
	3.00	2.35
	4.00	2.25
	5.00	2.20
	6.00	2.15
	7.00	2.10
	8.00	2.05
	10.00	2.00

AFOROS DEL BOMBEO

FECHA Y HORA	VOLUMEN	TIEMPO
JUN. 3	Gls	Seg.
8.30 a.m.	55	80
10.00	55	78
1.00	55	80
4.00	55	80
8.00	55	75
12.00	55	77
JUN. 4		
5.00	55	76
7.30	55	77

TOTAL 440 Gls. 623 Seg.

PROMEDIOS

$$\frac{623 \text{ Seg.}}{60} = 10.5 \text{ min.}$$

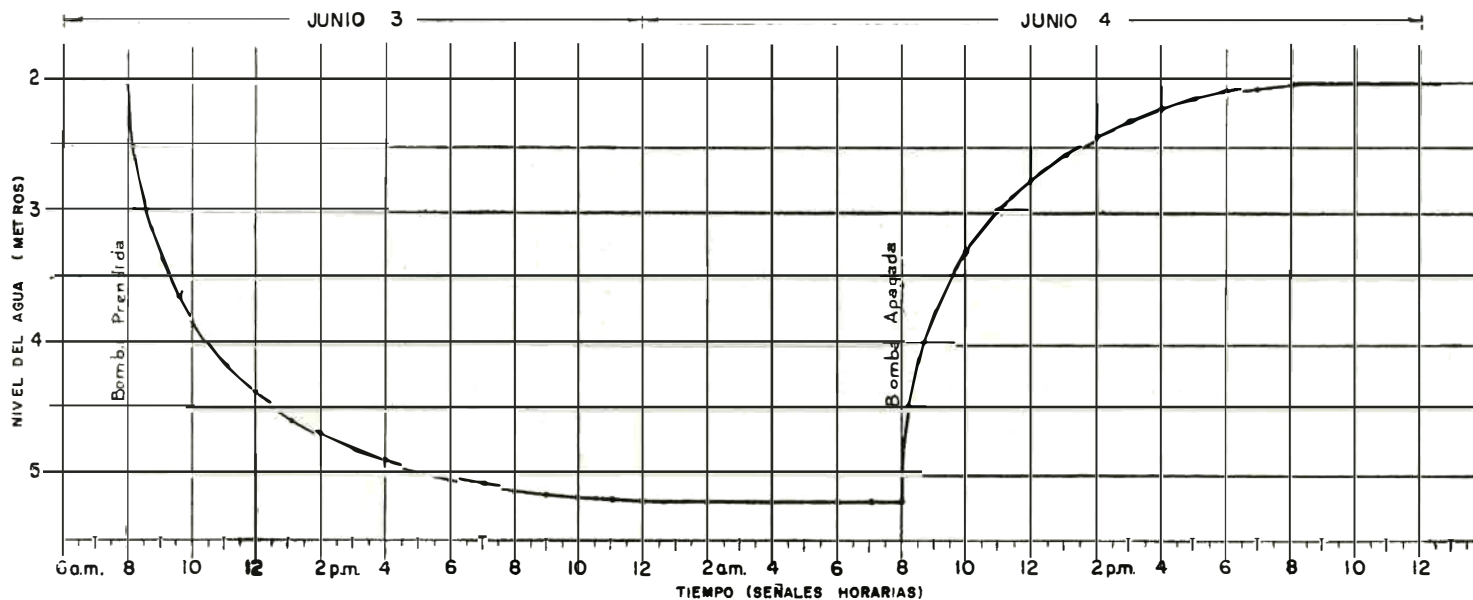
$$\frac{440 \text{ Gls.}}{10.5 \text{ Min.}} = 42 \text{ Gls/min.}$$

MINISTERIO DE MINAS Y PETROLEOS
INSTITUTO GEOLOGICO NACIONAL
SECCION DE HIDROGEOLOGIA

PLANCHA 2 de 2 INFORME Nº 1204

NOVIEMBRE 1.956

JAIME LOPEZ CASAS
GEOLOGO



Es necesario que las mediciones con la cinta métrica se aproximen por lo menos hasta los medios centímetros y que el tiempo preciso de la medición sea apuntada con aproximación de segundos. Si se tienen pozos de observación, las rápidas mediciones requieren colaboración de varios individuos y de consiguiente una cuidadosa preparación en el ensayo. Principal cuidado se ha de tener en que los relojes de los participantes estén sincronizados de manera que toda la información se pueda referir a un mismo horario. Pasadas las primeras horas del ensayo, un solo operario basta para realizar esas mediciones, pues ellas están espaciadas lo suficiente como para permitir su traslado de un pozo a otro.

En esta clase de ensayos es muy importante determinar con la mejor exactitud la cantidad de agua bombeada. En aforos de pozos, el método más usual es el del orificio, ya sea en el tubo de salida o en un recipiente.

Un método poco conocido pero recientemente de intensa aplicación y que sirve para dar informaciones sobre la permeabilidad y demás cualidades de una capa acuífera consiste en la medición de la recuperación del nivel del agua inmediatamente después de suspendido el ensayo de bombeo hasta que el nivel se haya rehabilitado completamente. Este sistema es exactamente igual al de las mediciones durante el bombeo, o sea que durante los primeros 15 minutos inmediatamente posteriores al suspender el ensayo de bombeo se ha de medir el nivel tantas veces cuanto sea posible; durante la siguiente hora y media la medición se ha de hacer cada 5 minutos y luégo cada 30 minutos hasta completar las 3 horas después de terminado el ensayo; se continuarán luégo las mediciones cada media hora hasta el punto donde el nivel se haya recuperado a su valor original. En esta clase de análisis es necesario conocer la cantidad de agua bombeada, o sea el promedio de bombeo y la duración de éste.

La interpretación de esta información, obtenida del ensayo de bombeo técnico, pertenece al campo de la hidrogeología e hidráulica, y está más allá del propósito de este artículo, como que no corresponde a lo que se puede exigir a un perforador de pozos de agua, pues pertenece a un campo técnico especializado. Pero la información así obtenida debe guardarse cuidadosamente como un tesoro para planeamientos futuros. Por otra parte, insistimos en que un ensayo de bombeo técnico como el descrito en general hasta aquí, sirva los mismos propósitos del ensayo de bombeo simple, agregando uno muy importante, cual es el de definir, en sentido matemático, las cualidades hidráulicas del acuífero, es decir, la permeabilidad, la dirección del flujo acuoso y la cantidad del agua extraíble de él por los métodos naturales. Es decir, que siendo de todas maneras esencial llevar a cabo un ensayo de bombeo, en el caso de industrias o poblaciones, se debe de una vez realizar un ensayo técnico.

Los métodos modernos de análisis del ensayo de bombeo pertenecen a una nueva era en el campo de la hidrología e hidráulica subterránea, pues fueron enunciados únicamente en 1935. Desde entonces han sido extensamente reconocidos y aplicados por los institutos de agua más avanzados en los estudios de las aguas subterráneas. Sus resultados son altamente técnicos y científicos, pero sería aventurado calificarlos de matemáticos a pesar de que usa ampliamente de esa ciencia en la obtención de tales

resultados. Es difícil, si no imposible, reducir los complejos fenómenos de la naturaleza a cifras exactas, pero sí nos podemos aproximar a ellas.

Es nuestro deseo explicar los métodos interpretativos de los ensayos de bombeo en un próximo número de este *Boletín Geológico*.

JAIME LÓPEZ C.,
Geólogo.

BIBLIOGRAFIA

- GUNTHER THIEM.—“Hidrologische Methoden”. J. M. Gebhardt, Leipzig, 1906.
- C. V. THEIS.—“The relation between the Lowering of the Piezometric Surface and the rate and Duration of Discharge of a Well using Ground Water Storage”. Transactions of the American Geophysical Union, 1935, pág. 519-524.
- L. K. WENZEL and V. C. FISHEL.—“Methods for determining Permeability of water, bearing materials”. W. S. Geological Survey Water supply paper 887, 1942.
- TURNEAURE, F. E. and RUSSEL, H. L.—“Public Water Supplies”. New York, John Willy & Sons, 1942. — “The Johnson Drillers Journal”. Vol. 28, N° 3 y N° 4, 1956.
- C. O. WISLER.—“Hydrology”. John Wiley & Sons. 1949.

REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y PETROLEOS
INSTITUTO GEOLOGICO NACIONAL

**APROVECHAMIENTO DEL DEPOSITO DE AGUA SUBTERRANEA DULCE
EN LA ISLA DE SAN ANDRES**

INFORME No. 1167

POR:

WOLFGANG DIEZEMANN
HIDROGEOLOGO JEFE

CARLOS I. DELGADO
HIDROQUIMICO

BOGOTA, MAYO DE 1956

APROVECHAMIENTO DEL DEPOSITO DE AGUA SUBTERRANEA DULCE EN LA ISLA DE SAN ANDRES

INTRODUCCIÓN

La isla de San Andrés, por mucho tiempo aislada y prácticamente desconectada de Colombia, ha iniciado en los dos últimos años y por voluntad del Gobierno Nacional una era de progreso sistemático, encauzado principalmente a aprovechar con fines turísticos su privilegiada situación geográfica, la belleza de su paisaje y sus riquezas naturales, todo lo cual redundará necesariamente en beneficio de los naturales de la isla. Para ello cuenta actualmente con un moderno aeropuerto capaz para toda clase de máquinas pesadas; se han construido una serie de casas para turistas, además del proyecto de uno o dos hoteles confortables para los mismos fines. Para aprovechar las grandes plantaciones de coco que hay en la isla se montó una moderna fábrica de grasas, la cual pronto iniciará labores de producción.

Lógicamente, tales adelantos materiales y las buenas perspectivas para el porvenir de la isla implican nuevas obligaciones y necesidades, conforme a las exigencias de la vida moderna, tales como servicios higiénicos, alcantarillado, acueducto, etc. Hasta hoy día los habitantes de San Andrés y de toda la isla se abastecen de agua en forma precaria, por distintos métodos: agua lluvia captada en cisternas, agua subterránea de aljibes, pequeños manantiales y cavernas de karst. Es urgente, por lo tanto, la construcción de un acueducto moderno que satisfaga plenamente las necesidades de higiene y domésticas de sus moradores.

Por las anteriores razones el señor Ministro de Fomento y el Instituto Nacional de Fomento Municipal solicitaron al Ministerio de Minas y Petróleos un estudio sobre el posible aprovechamiento del depósito de agua dulce en la isla para un acueducto de esta clase. Por Resolución emanada del Ministerio de Minas y Petróleos, los suscritos viajaron el día 14 de abril del año en curso a San Andrés, con el fin de estudiar dicho problema. El doctor Raúl Mesa, Ingeniero del Instituto de Fomento Municipal, fue parte integrante de la comisión de estudios.

Datos geográficos.

La isla de San Andrés pertenece al archipiélago denominado de San Andrés y Providencia; se eleva sobre el nivel del mar Caribe al WNW de Cartagena, a una distancia aproximada de esta ciudad de 684 kilómetros y más o menos a 200 kilómetros de la costa oriental de Nicaragua. La isla

se extiende en dirección general N-S, con una longitud de 13 kilómetros; su anchura máxima en la parte central es de 3 kilómetros, la cual en dirección norte disminuye hasta 1.6 kilómetros, para aumentarse en su extremo hasta 2.4 kilómetros; en cambio, en dirección Sur, disminuye paulatinamente a 1.4 kilómetros, hasta estrecharse considerablemente en su punta meridional.

En el interior de la isla se extiende una serranía desde la Barranca del Norte, situada al norte del aeropuerto de San Andrés, hasta una distancia de 3 kilómetros de la Punta Sur. Se distinguen dos elevaciones, una en la parte central denominada Alto Los May, y otra, el Wright Hill, con altitudes de 79 y 100 metros, respectivamente. (Según el Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" estos datos geográficos son aproximados). Un ramal parte de la serranía principal, desde el punto El Tamarindo, y se desvía en dirección SW hacia la rada El Cove; terrenos bajos rodean este interior elevado de la isla. Varios arroyos que llegan de la serranía y que se dirigen hacia el Oriente, Sur y Occidente, conducen agua únicamente en tiempos de lluvia.

Todo el lado occidental de la isla está rodeado del mar abierto, y la profundidad del mismo aumenta rápidamente aguas adentro; no se encuentran playas suaves, y la costa se compone de calizas coralíferas, formando acantilados suaves o abruptos. Por efectos de abrasión y corrosión del agua de mar se labraron en la caliza formas de karst, y debido al oleaje se ha originado todo un sistema de cavernas de karst que se prolongan muchas veces tierra adentro. En cambio, el lado oriental de la isla está protegido por un arrecife constanero de coralinas que se extiende en toda su longitud y está separado de la costa por una laguna de agua de mar; en esta laguna se encuentran algunos cayos como los de Córdoba (Hanney), Rose Cay, Santander (Colton Cay), Sucre (Johnney Cay) y Blowing Rocks. Esta laguna tiene una profundidad hasta de 5 metros. Solamente algunas hondonadas al SE de San Luis y al SE de la parte norte de la isla alcanzan mayores profundidades no superiores a 40 metros.

La vegetación característica de San Andrés es el monocultivo de palmas de coco, cuyo número se calcula en 500.000. Se pueden observar pequeños y muy aislados cultivos de plátano, yuca, ñame, aguacate, papaya, naranjas y mangos, los cuales no alcanzan para abastecer la población isleña. Estos cultivos se encuentran en las partes bajas y altas de la isla.

Muy pocos son los pastos que se encuentran en esta región; por lo tanto la ganadería es muy reducida y lo mismo la avicultura; hay mayor número de cerdos, los cuales se alimentan fácilmente del coco.

La ocupación principal de los isleños es el cultivo y cosecha del coco, y en escala menor, la pesca, y en la artesanía existen también mecánicos y carpinteros. La parte comercial está representada por varias casas importadoras y pequeños almacenes. El comercio tendrá, sin duda, gran desarrollo una vez se establezca definitivamente el puerto libre.

Las vías de comunicación son transitables y bien conservadas en toda la zona urbanizada, por medio de vehículos de toda clase; una carretera atraviesa la isla desde la Punta Norte, a lo largo de la costa oriental, hasta la Punta Sur; los últimos dos kilómetros son difíciles para el tránsito de automotores. Otra carretera conecta las poblaciones de San Andrés

y San Luis, pasando por La Loma; en el sitio El Tamarindo desvía un ramal que conduce a la fábrica de grasas en la orilla de la rada El Cove. Se proyecta para el futuro una carretera de circunvalación. Cuenta San Andrés, para su conexión con el continente, con un servicio regular de aviones de carga y pasajeros.

Clima.

Datos meteorológicos, facilitados por el Ministerio de Agricultura, se encuentran de los años 1934 y 1940. Datos parciales tenemos de los años 1936 y 1941. Las tablas de las páginas siguientes suministran, al menos, una idea de la situación climatológica de la isla de San Andrés.

1 9 3 4	L L U V I A S		P S I C R O M E T R O		T E M P E R A T U R A S				
M E S E S	Días	Total mm.	Humedad relativa media %	Tensión del vapor media mm.	Máxima extrema	Mínima extrema	Máxima media	Mínima media	Media mensual
Enero	19	100.5	77	18.8	29.0	20.0	28.3	22.9	25.6
Febrero	14	46.0	78	19.1	31.5	20.5	29.4	22.6	26.0
Marzo	7	8.0	80	19.9	32.0	21.0	30.2	24.2	27.2
Abril	3	13.0	77	20.3	34.0	22.0	32.0	24.8	28.4
Mayo	5	12.4	77	21.1	35.0	23.0	32.5	25.1	28.8
Junio	12	139.0	79	21.5	33.0	21.0	30.8	24.8	27.8
Julio	20	190.0	81	21.7	32.5	20.5	30.4	24.2	27.3
Agosto	13	36.0	80	21.8	35.0	23.0	31.0	25.0	28.0
Septiembre	18	299.5	81	21.6	34.0	22.0	31.1	24.1	27.6
Octubre	18	364.5	79	21.0	35.0	21.5	30.4	23.4	26.9
Noviembre	19	250.0	79	20.3	33.0	19.0	29.2	23.0	26.1
Diciembre	19	222.2	80	20.2	31.0	21.0	28.2	23.2	25.7
En el año	167	1681.6	79	20.6	35.0	19.0			27.1

1 9 3 6	V I E N T O S		L L U V I A S			P S I C R O M E T R O		T E M P E R A T U R A S								
M E S E S	Dominante	Fuerza máxima m/s.	Días	Total mm.	Máxima mm.	Día	Humedad relativa media %	Tensión del vapor media mm.	Máxima extrema	Día	Mínima extrema	Día	Oscilación	Máxima media	Mínima media	Media mensual
Enero																
Febrero																
Marzo																
Abril	E	Vs.8	7	317.2	145.0	21	73	23.8	34.0	17	20.0	Vs	14.0	31.4	20.2	25.8
Mayo	NE	Vs.8	8	86.9	27.0	30	76	22.1	36.0	28	20.0	Vs	16.0	32.5	20.9	26.7
Junio	SE	SW.8	2	25.0	13.0	14	77	23.4	35.0	Vs	21.0	Vs	14.0	33.4	21.6	27.5
Julio	N	Vs.8	6	107.5	29.0	31	80	23.7	34.0	Vs	18.0	31	16.0	33.0	21.0	27.0
Agosto	SE	Vs.4	3	35.0	21.0	7	78	23.4	34.0	Vs	20.0	Vs	14.0	32.9	21.3	27.1
Septiembre	NE	Vs.4	4	25.0	10.0	20	78	23.5	34.0	Vs	20.0	14	14.0	32.9	20.9	26.9
Octubre	NE	S.8	10	140.8	37.0	27	83	23.5	34.0	Vs	18.0	27	16.0	32.4	20.4	26.4
Noviembre	N	NE.10	13	147.4	31.3	21	85	23.6	34.0	Vs	14.0	18	20.0	32.1	19.1	26.0
Diciembre	N	N.10	8	61.9	24.2	17	84	23.3	34.0	Vs	17.0	Vs	17.0	32.4	19.8	26.1
En el año	NE	N.10	61	946.7	145.0	21	79	23.0	36.0	28	14.0	18	22.0			26.6

1 9 4 0	VIENTOS		L L U V I A S			PSICROMETRO		T E M P E R A T U R A S							
M E S E S	Domi- nante	Días	Total mm.	Máxima mm.	Día	Humedad relativa media %	Tensión del vapor media mm.	Máxima extrema	Día	Mínima extrema	Día	Oscilación	Máxima media	Mínima media	Media mensual
Enero	N NE	6	93.7	30.0	27	78	20.4	29.0	Vs	23.0	Vs	6.0	27.7	23.7	25.7
Febrero	N	4	64.0	30.4	3	78	19.2	29.0	Vs	23.0	Vs	6.0	27.4	23.6	25.5
Marzo	NE	1	10.2	10.2	2	75	20.4	32.0	Vs	23.0	Vs	9.0	28.6	24.0	26.3
Abril	NE	—	0.0	0.0	—	75	20.8	31.0	Vs	23.0	Vs	6.0	28.7	23.9	26.7
Mayo	NE	2	19.2	12.4	28	75	21.4	35.0	16	23.0	20	12.0	29.3	24.1	26.5
Junio	NE	4	160.2	54.6	24	77	21.3	31.0	23	23.0	Vs	8.0	29.0	24.0	26.8
Julio	NE	7	178.4	58.2	28	78	22.3	31.0	7	23.0	Vs	8.0	29.4	24.2	26.0
Agosto	NE	8	163.1	32.6	20	77	21.4	30.0	Vs	23.0	Vs	7.0	28.3	23.7	26.7
Septiembre	NE	9	313.4	78.6	20	76	20.9	32.0	Vs	22.0	Vs	10.0	29.5	23.9	26.1
Octubre	NE	8	371.2	92.0	20	77	20.8	32.0	Vs	22.0	Vs	10.0	28.3	23.9	26.1
Noviembre	NE	6	146.0	30.4	23	76	20.7	32.0	28	22.0	21	10.0	28.3	23.9	26.4
Diciembre	NE	5	225.0	72.4	13	77	21.1	32.0	3	22.0	13	10.0	28.8	24.0	26.7
En el año	NE	60	1744.4	92.0	20	77	20.9	35.0	16	22.0	Vs	13.0	28.6	23.9	26.3

1 9 4 1	VIENTOS			L L U V I A S			PSICROMETRO		T E M P E R A T U R A S							
M E S E S	Domi- nante	Fuerza máxima m/s.	Días	Total mm.	Máxima mm.	Día	Humedad relativa media %	Tensión del vapor media mm.	Máxima extrema	Día	Mínima extrema	Día	Oscilación	Máxima media	Mínima media	Media mensual
Enero	SE	Vs.10	3	99.6	60.2	20	76	20.9	30.0	Vs	22.0	21	8.0	28.5	24.1	26.3
Febrero	SE	NE.10	1	6.0	6.0	2	76	20.8	29.0	Vs	24.0	Vs	5.0	28.6	24.2	26.4
Marzo	NE	Vs. 8	—	0.0	0.0	—	76	20.9	31.0	Vs	24.0	Vs	7.0	29.0	24.6	26.8
Abril	NE	Vs.10	2	10.0	10.0	18	75	21.0	30.0	Vs	23.0	17	7.0	29.1	24.9	27.0
Mayo							No hay datos									
Junio							" "	" "								
Julio							" "	" "								
Agosto							" "	" "								
Septiembre							" "	" "								
Octubre							" "	" "								
Noviembre							" "	" "								
Diciembre							" "	" "								
En el año							" "	" "								

Los meses de enero, febrero, marzo y abril son, en general, secos, y los de septiembre, octubre, noviembre y diciembre representan el período del año de fuertes lluvias. Los meses de mayo, junio, julio y agosto son de precipitación mediana y variable. Es notable que en el tiempo de sequía siempre hay algo de lluvia, y raras veces queda un mes sin precipitación absoluta. Según los pocos datos existentes, podemos contar con una precipitación media anual de 1.500 mm. La temperatura media anual es de 26,7° C.

El problema del acueducto.

Según un informe rendido al señor Jefe Seccional del S. I. C., doctor Ernesto Restrepo Osorio, quien gentilmente nos suministró el dato del número de habitantes, la isla de San Andrés cuenta actualmente con 5.572 habitantes, incluyendo en ellos los naturales de la isla, del interior del país y extranjeros. Este número se distribuye sobre las poblaciones de San Andrés y San Luis, sobre las casas situadas a lo largo de la carretera de la costa oriental y de las dos carreteras sobre las lomas. Hay, por lo tanto, núcleos de mayor densidad de población y otros muy dispersos en toda el área de la isla. Todos estos centros urbanos y rurales solucionan, en parte, el problema del agua, como ya se ha dicho, por medio de agua lluvia almacenada en cisternas y de pequeños aljibes y manantiales de karst o de talud detrítico. Estas captaciones de agua lluvia y de agua subterránea dejan mucho que desear tanto en su construcción, como en sus condiciones higiénicas, pues no se someten previamente a tratamiento alguno de desinfección, con detrimento de la salud de los consumidores. Por lo tanto, el agua potable es escasa, o se limita a casos muy aislados.

Un acueducto moderno en la isla de San Andrés debe proyectarse bajo la base de las circunstancias y condiciones reinantes y las limitaciones que ofrezca la disponibilidad del agua dulce en la región. Hoy en día los 5.572 habitantes de la isla, creemos sin temor a equivocación, no consumen más de 10 a 20 litros diarios por persona, se entiende para usos domésticos y parcialmente para el aseo corporal. Planteado así el problema, podemos partir, para el proyecto del acueducto, de la base de 120 litros por persona y por día, de agua potable. Los 5.572 habitantes actuales consumirían 669 metros cúbicos por día, lo que equivale a *8 (7.73) litros por segundo*. Pueden incluirse en esta cantidad los 20 metros cúbicos que la fábrica de grasas necesitaría, trabajando en dos o tres jornadas continuas. Pero debido al porvenir turístico de la isla, necesariamente debemos contemplar un aumento de población, tanto en las personas que se radiquen en ella, como en la afluencia de turistas. Para ese futuro partimos de la base de 10.000 habitantes, de los cuales 8.000 residentes o naturales de la isla y 2.000 turistas. Estas 10.000 personas consumirían 1.100 metros cúbicos por día, o sean *13 (12.72) litros por segundo*. Para lograr esta cantidad calculamos para los 8.000 habitantes de la isla un consumo diario de 100 litros por persona, y para los 2.000 turistas, los cuales se supone vivirán en hoteles con todos los servicios modernos, 150 litros por persona. Sería un error de apreciación normalizar el gasto de agua y exigir, en todos los casos categóricamente, un abasto de 200 litros por persona-día. Las cantidades que hemos tomado como base para San Andrés son más que justificables y suficientes para el normal suministro de agua de la población.

Hidrogeología.

El doctor Enrique Hubach, Director del Instituto Geológico Nacional, en su Informe número 1121, *Aspectos geográficos y geológicos y recursos de las islas de San Andrés*, sugiere la posibilidad de abastecer la población de la isla con agua subterránea y propone construir captaciones

correspondientes al pie de la serranía. Para tal efecto, indicó la necesidad de un estudio a fondo del problema, por intermedio de la Sección de Hidrogeología del mismo Instituto. El presente informe contempla los aspectos hidrogeológicos, químicos y técnicos del asunto en cuestión.

El subsuelo de la isla de San Andrés está formado exclusivamente de estratos sedimentarios y calcáreos de edad neoterciaria, hasta reciente. El cordón interior se compone de capas miocenas, según fósiles recolectados por A. Sarmiento Alarcón, J. Sandoval y E. Hubach, y estudiados por Royo Bürgl.

En los terrenos planos, al Occidente de la isla, yacen estratos más jóvenes, discordantemente sobre el Mioceno; el terreno es escasamente ondulado y es probable que afloren algunos estratos miocenos. Dos muestras fosilíferas tomadas por la comisión fueron analizadas por el paleontólogo-Jefe doctor H. Bürgl. (Véase anexo número 2).

También, en el lado oriental de la isla, se presentan estratos más jóvenes que yacen discordantemente sobre el Mioceno, los cuales, a veces, están cubiertos por arenas de poco espesor a lo largo de la costa, y por pantanos.

Digna de mención es la faja de material de ladera que se extiende desde el Suroeste de San Andrés hasta la altura de San Luis y el cono de deyección de la quebrada El Cove, al noreste de la fábrica de grasas.

La dureza y permeabilidad de la caliza miocena varía mucho; en unas partes la roca es muy blanda y porosa y en otras es absolutamente impermeable y tan dura como el vidrio. Esta variabilidad es más acentuada en las capas más jóvenes. El proceso de transformación de calizas coralíferas blandas y muy permeables, las cuales en pocas distancias se convierten en rocas fosilíferas muy duras, se debe a que las colonias de corales que viven en mares poco profundos, principalmente entre 4 y 10 metros y excepcionalmente hasta 30 y 60 metros, son invadidas, unas veces más y otras menos, por conchas, gasterópodos, erizos, cangrejos, foraminíferos y otros crustáceos y moluscos; las arenas y fango pueden cubrir estos corales, lo cual significa la muerte de ellos y las valvas se acumulan así, formando estos depósitos fosilíferos. Esta heterogeneidad de los sedimentos y organismos influye en la porosidad y dureza de los estratos formados por ellos.

El suelo de la isla es bastante permeable, debido, en parte, a la porosidad misma de las rocas, pero en mayor grado al fenómeno de karst. El agua lluvia eroda la superficie por acción química y mecánica, y forma cuevas irregulares, cóncavas o convexas, lo cual se observa muy bien a lo largo de toda la costa; por el proceso de disolución química, la caliza entra en solución en el agua formando grietas y cavernas. Estos sistemas de karst pueden ser muy extensos y alcanzar grandes profundidades y aun atravesar los estratos miocenos y los más jóvenes. Debido a este fenómeno, estratos discordantes pueden considerarse hidrológicamente como un solo conjunto.

También el agua de mar produce fenómenos de erosión semejantes. Un ejemplo típico en la isla es el denominado Hoyo Soplador (Blowing Hole) en la Punta Sur, donde el oleaje practicó un canal tierra adentro, el cual se prolonga en un túnel corto y se conecta con la superficie por medio de una dolina. Cada vez que el oleaje penetra con presión al canal, el aire que se encuentra en el túnel es soplado con fuerza y sale por la

dolina produciendo un ruido característico. Frecuentemente los sistemas de karst, producidos por el agua dulce, se unen con el producido por el agua de mar, especialmente donde la costa limita con el mar abierto, debido a la fuerza impulsiva de las olas, que no han encontrado a su paso y antes de llegar a la costa, un obstáculo que las amortigüe, y, por lo tanto, su poder de penetración es muy grande. Como ejemplo de unificación de los dos sistemas de karst podemos mencionar las cavernas SA-5, SA-6, SA-9 y SA-13. (Ver mapa adjunto).

La porosidad de las zonas de rocas calcáreas, tales como esta de San Andrés, no es comparable con la de material suelto, como en arenas y cascajos, donde los intersticios o poros se encuentran entre granos más o menos redondeados de los sedimentos. En nuestro caso la porosidad se deriva de un sistema tubular y de grietas pequeñas, que tiene frecuentemente conexión con el sistema de karst.

El agua lluvia dispone entonces, para su penetración al subsuelo, de fáciles medios de infiltración: grietas, dolinas, sistema tubular de la roca, poros de material suelto en las fajas de talud o de los conos de deyección. Esta fácil infiltración da origen a un depósito subterráneo de agua dulce. Por otra parte, el agua de mar penetra por los lados de la isla, al fondo de ésta. En estas condiciones, el agua subterránea proveniente de la infiltración de la precipitación, flota sobre el agua subterránea salada, en virtud de la diferencia de pesos específicos, pues el agua de mar por el alto contenido de salinidad, es más densa que el agua dulce; pero entre las dos se forma una zona de mezcla normalmente muy reducida y se establece un equilibrio hidráulico. La flotación del agua subterránea dulce sobre el agua salada se puede atestiguar fácilmente por la oscilación de los espejos de agua en los pozos y cavernas de karst, con la oscilación de la marea.

Un análisis pormenorizado de los datos hidrológicos e hidroquímicos exactos, obtenidos de varios pozos y cavernas, comprueba nuestras anteriores aserciones y nos acerca a la situación real del problema. Suponemos que de los 1.500 milímetros de lluvia promedio anual, infiltre al subsuelo un 30%. Tomando un kilómetro cuadrado de superficie, el depósito de agua subterránea se aumentaría en un promedio diario, a 1.233 (1.232,87) metros cúbicos por kilómetro cuadrado. En los 25 kilómetros cuadrados de superficie, la cantidad de agua que infiltraría al subsuelo, sería considerable, pero parte de ella encontraría fácil acceso al mar por medio de conductos explicados anteriormente. Pese a ello, tendríamos una reserva suficiente para reemplazar el agua de consumo.

En el lado occidental de la isla, o sea donde el mar es abierto, investigamos el aljibe SA-8 y las cavernas SA-6, SA-9 y SA-13 (ver mapa adjunto); muestras de agua de cada uno de ellos fueron analizadas para cloruros, encontrándose valores comprendidos entre 710 mg/l. y 12425 mg/l.; estos valores altos en cloruros explican la influencia del agua de mar: el oleaje penetra con gran fuerza y con relativa facilidad a los sistemas de karst y retiene, hasta cierto punto, el agua subterránea dulce, pero al retornar las olas nuevamente hacia el mar, dan lugar a una succión arrastrando consigo cierta cantidad de agua dulce; este proceso de mezcla continúa con el vaivén de las olas y de la marea. Películas de agua salada son retenidas por adhesión y cubren las superficies de las aberturas de karst, incrementando, en mayor o menor grado, el

contenido de sales en solución. De allí la razón por la cual encontramos valores altos y variados en el contenido de cloruros.

Analizando ahora las cavernas SA-5 y SA-9 (véase mapa), podemos concluir también que la concentración de sal en las cavernas no depende en muchos casos de la distancia de éstas al mar, sino de los medios distintos que el agua encuentra a su paso, los cuales ofrecen mayor o menor resistencia, pues hay canales practicados en la roca, grandes o pequeños, y naturalmente la entrada de agua salada está influenciada por ellos. Prueba de ello es el contenido de cloruros en ambas cavernas: mientras que la SA-5, localizada a una distancia de 150 metros de la orilla del mar, contiene 1030 mg/l., la SA-9, a una distancia de 850 metros, aproximadamente del mar, contiene 4615 mg/l.

Otro ejemplo que comprueba lo anterior es el aljibe SA-8, el cual fue construido en una zona donde las calizas tienen una estructura tubular (tubos prácticamente capilares) y a una distancia de 400 metros aproximadamente del mar, contiene 710 mg/l. de cloruros, valor muy bajo si se compara con los dos casos anteriores. Esto se explica por la influencia que el agua de mar en su oleaje tiene, en escala menor para penetrar, que en el sistema de karst.

En cambio, todos los pozos y cavernas situados en el lado NE y E de la isla dieron un contenido de cloruros, en general, mucho más bajo que los situados en la zona occidental. Tomamos como ejemplos los aljibes y cavernas de karst, SA-1, SA-2, SA-4, SA-18, SA-19 y SA-20 (véase mapa). El más representativo de ellos y que analizamos a continuación es el SA-2 (Rock Hole). Se trata de una caverna de karst, cuyo espejo de agua oscila con la marea, pero que no tiene una influencia directa con el mar; esta caverna tiene como zona de alimentación un sistema de grietas y túneles, los cuales se ramifican y se conectan con grietas del cerro mismo; también es alimentado por el agua de infiltración desde la superficie plana y porosa de la zona aledaña al pozo. Es muy importante y concluyente el dato tomado en una nivelación hecha por el doctor Raúl Mesa, ingeniero del Instituto de Fomento Municipal, desde el espejo de agua del pozo, hasta el nivel del mar, cuya diferencia de nivel es de 0.18 metros, más alto que el nivel del mar (véase anexo número 3). Un análisis para cloruros llevado a cabo en el agua de este pozo, dio 78 mg/l., valor muy bajo y que podemos considerar como una prueba manifiesta de que no existe una influencia directa del agua de mar. Los demás pozos arriba mencionados están contruidos en una zona de calizas permeables, de estructura tubular y de fisuras; tienen una profundidad que varía entre 1 y 2.10 metros, y sus espejos de agua oscilan también con la marea. Los aljibes SA-18 y SA-20 fueron también nivelados por el doctor Raúl Mesa y se encontró el espejo de agua de ellos a 0.078 metros y 0.225 metros, respectivamente, por encima del nivel del mar. (Véase anexo número 3). Un análisis para cloruros en cada uno de estos pozos dio un resultado que varía entre 35.5 mg/l. y 347.9 mg/l. Solamente el aljibe SA-19 contiene un valor más elevado de cloruros (443 mg/l.), pero ello se explica por la cercanía de un pantano, el cual está conectado directamente con el mar.

En esta misma zona oriental de la isla, pero hacia la parte Sur, estudiamos dos aljibes, uno a la altura de San Luis (SA-16) y el otro en la Punta Sur (SA-17). Analizados para cloruros, dieron los siguientes resultados: SA-16, con 1278 mg/l., y SA-17, con 1775 mg/l.; estos valo-

res altos se deben a que los aljibes están situados muy cerca a la orilla del mar, y la zona comprendida entre ellos limita prácticamente con el mar abierto, pues la faja de la laguna que linda con el arrecife se estrecha considerablemente. Por otra parte, creemos que en esta zona Sur de la isla, perforaciones en el centro y trabajos hidrológicos preliminares no darían resultados satisfactorios como para pensar en un posible suministro de agua para la población de San Luis, pues las condiciones de carácter económico serían poco favorables.

Teniendo en cuenta el conjunto de observaciones hechas anteriormente podemos definir, con mayor exactitud, la situación hidrogeológica e hidroquímica de la isla: son dos situaciones con características distintas: el lado occidental, con sus aguas de alto grado de salinidad, y el lado NE y E, cuyas aguas ofrecen buenas perspectivas, por ser esta una zona de sedimentación, donde el mar es poco profundo, por la protección del arrecife contra la fuerza de impulsión de las olas que merma considerablemente el poder de abrasión y de penetración del agua de mar, y finalmente, por el relativo bajo contenido de cloruros que explica que el mar no tiene una influencia directa sobre el agua subterránea dulce de esta zona. Con estas bases concluyentes podemos entrar a definir las zonas más favorables.

Zona número I. (Véase mapa).

La caverna SA-2 (Rock Hole), que hemos descrito ya en su situación hidrogeológica, tiene el espejo de agua a 1.39 metros debajo de la superficie; después de varias observaciones diarias pudimos determinar una oscilación de su espejo con la marea, de 10 a 12 centímetros, y ya hemos anotado que el nivel de agua del pozo está por encima del nivel del mar. Con el fin de darnos una idea de su capacidad y la influencia del bombeo en el contenido de cloruros se hizo un ensayo de bombeo en la siguiente forma: utilizamos para ello el servicio de un carrotanque de capacidad conocida (6813 litros), y el tiempo empleado para llenarse fue de 5 minutos; esta misma operación fue repetida por dos veces más, empleándose en cada vez los mismos 5 minutos. Tiempo total empleado, incluyendo el descargue, 30 minutos. El bombeo, por lo tanto, no fue continuo, pero para el caso aproximado podemos decir que en 15 minutos el pozo produjo 20439 litros, lo que equivale a una cantidad de 22 litros por segundo. Con este rendimiento no se notó el más mínimo descenso del espejo de agua, y el contenido de cloruros permaneció invariable (78 mg/l.). Aconsejamos, por lo tanto, aprovechar el agua de este pozo, por medio de una captación técnica y modernamente construída. (Detalles técnicos veremos más adelante). No podemos partir de la base de 22 litros por segundo, cantidad excesiva, si se tiene en cuenta que su explotación sería continua. Para definir el rendimiento adecuado hay que someter el pozo a una serie de ensayos preliminares, como ensayo de bombeo continuo y de larga duración, observar que durante el bombeo el descenso del espejo de agua no sea muy grande y que el contenido del cloruros no aumente desproporcionalmente hasta valores inaceptables. Solamente así se puede garantizar la eficacia y buenas características que el pozo tiene actualmente.

En el caso de que el Rock Hole, luégo de definir exactamente su rendimiento, no sea suficiente para el abasto total de la población en su

núcleo central, existe cierta posibilidad de aumentar la cantidad de agua por medio de captaciones horizontales en la zona aledaña al Rock Hole en su parte no habitada. Pero para determinar y localizar el punto más indicado son indispensables trabajos hidrológicos preliminares que consisten en excavaciones de ensayo, bombeos y análisis químicos en las aguas que se encuentren. Si esta zona, incluyendo el Rock Hole, resultare desde todo punto de vista favorable, hay que prohibir terminantemente la construcción de viviendas y permitir que el actual cementerio particular que se encuentra relativamente cerca al Rock Hole sea trasladado a otro lugar. La zona debe quedar completamente segura de contaminaciones superficiales, en guarda de la pureza bacteriológica del agua.

Zona número II. (Véase mapa).

Además de la población misma de San Andrés, hay que abastecer la de San Luis y la zona poblada a lo largo de la carretera San Andrés-La Loma-San Luis, y sobre La Loma, a la fábrica de grasas; por lo tanto debemos contar con una zona más o menos equidistante entre estos núcleos de población.

En el mapa fotogeológico de H. C. Raasveldt se aprecia claramente una faja de material de ladera al pie de la serranía y que se extiende desde la salida occidental de San Andrés hasta la salida norte de San Luis. En este material se encuentran dos aljibes: SA-3 (Sipzon Well) y SA-15 (Swam Well), cuyas características son las siguientes: SA-3, con una profundidad de 2.80 metros, nivel piezométrico a 1 metro debajo de la superficie y con un contenido de cloruros de 117.15 mg/l. El aljibe SA-15, con una profundidad de 2.40 metros, nivel piezométrico a 0.80 metros debajo de la superficie y con un contenido de cloruros de 319.5 mg/l. El contenido de cloruros en estos dos pozos es muy diferente; en el primero es aceptable; en el segundo, seguramente, buena parte de ellos se deba a la descomposición orgánica de origen animal o vegetal que observamos aun en el mismo pozo; de allí su contenido alto de cloruros. Esta zona, entre el pozo Sipzon y el pozo Swam, y al norte y sur de éstos nos parece favorable desde el punto de vista hidrológico y químico, como zona de captación. Esa faja de talud detrítico no capta solamente el agua que infiltra desde la superficie en su propia zona, sino también la que llega de los cerros al occidente y de algunos arroyos que corren desde las lomas, formando conos de deyección, los cuales, a su vez, alimentan la faja de material de ladera. Los dos aljibes estudiados en esta zona no son suficientes para definir, por medio de ellos, el punto o los puntos más aconsejables para las captaciones; por lo tanto, es necesario llevar a cabo algunos trabajos preliminares y buscar, por medio de excavaciones poco profundas, ensayos de bombeo correspondientes y análisis químicos, los sitios adecuados para las captaciones definitivas. Estas excavaciones previas definen si el talud detrítico es de poco espesor, o si las captaciones alcanzarían también la roca calcárea yacente. Finalmente, los trabajos hidrológicos preliminares decidirían si la explotación de agua debe hacerse por medio de captaciones horizontales o verticales.

límites aceptables de potabilidad, y el factor determinante en estas aguas, los cloruros, es bajo por razones que se han explicado en las consideraciones hidrogeológicas de la caverna. Los nitratos son relativamente altos, pero ello se explica por la naturaleza misma del pozo con cavernas y canales amplios que no permiten un relleno natural que sirva como medio filtrante. La captación hecha técnicamente eliminaría la posibilidad de contaminación artificial.

SA-3 (*Sipzon Well*). Aljibe localizado en la segunda zona favorable:

pH	7.
CO ₂ libre	15.4 mg/l.
Dureza total	22.4° alemanes.
Cloruros (Cl ⁻)	117.15 mg/l.
Hierro total (Fe)	negativo.
Manganeso total (Mn)	negativo.
Nitratos (NO ₃ ⁻)	trazas.
Nitritos (NO ₂ ⁻)	negativo.
Substancias orgánicas	3.16 mg/l.
Amoníaco (NH ₃)	negativo.
Sulfatos (SO ₄ ⁼)	112.7 mg/l.
Oxido de calcio (CaO)	146.0 mg/l.
Oxido de magnesio (MgO)	55.7 mg/l.

De acuerdo con el resultado anterior y teniendo en cuenta los distintos standars universalmente aceptados, el agua es potable desde el punto de vista químico. Los cloruros y la dureza han aumentado en su contenido respecto al anterior, pero sin perjuicio de la calidad misma del agua para fines potables.

SA-15 (*Swam Well*). Aljibe localizado en la misma segunda zona favorable:

pH	7.5.
CO ₂ libre	7.7 mg/l.
Dureza total	19.0° alemanes.
Cloruros (Cl ⁻)	319.5 mg/l.
Hierro total (Fe)	0.1 mg/l.
Hierro filtrado	negativo.
Manganeso total (Mn)	negativo.
Nitratos (NO ₃ ⁻)	negativo.
Nitritos (NO ₂ ⁻)	negativo.
Substancias orgánicas	2.52 mg/l.
Amoníaco (NH ₃)	negativo.
Sulfatos (SO ₄ ⁼)	51.0 mg/l.
Oxido de calcio (CaO)	112.0 mg/l.
Oxido de magnesio (MgO)	53.7 mg/l.

Lo mismo que en el caso anterior, el agua de este aljibe es apta para fines potables, pese a que los cloruros son relativamente altos, pero en ello influye la materia orgánica vegetal o animal que se encuentra en las paredes del aljibe, lo cual aumenta el contenido de cloruros.

SA-10 (*El Cove*). Aljibe localizado en la tercera zona favorable:

pH	7.
CO ₂ libre	9.9 mg/l.
Dureza total	15.12° alemanes.
Cloruros (Cl ⁻)	142.0 mg/l.
Hierro total (Fe)	0.05 mg/l.
Hierro filtrado (Fe)	negativo.
Manganeso total (Mn)	negativo.
Nitratos (NO ₃ ⁻)	3.0 mg/l.
Nitritos (NO ₂ ⁻)	Trazas (cualitativo).
Substancias orgánicas	1.26 mg/l.
Amoníaco (NH ₃)	negativo.
Sulfatos (SO ₄ ⁼)	46.5 mg/l.
Oxido de calcio (CaO)	150.0 mg/l.
Oxido de magnesio (MgO)	trazas.

De acuerdo con el resultado obtenido, el agua es excelente en su potabilidad química, debido al bajo valor en sustancias minerales disueltas.

Hemos hecho hincapié especialmente en el contenido de cloruros de las distintas zonas de agua subterránea que definimos como favorables, pues el factor "cloruros" es prácticamente el determinante en la calidad química del agua de San Andrés. En los análisis anteriores, el contenido de cloruros fluctúa entre 78.1 mg/l. y 319.5 mg/l. Existen valores límites que se han establecido universalmente para que un agua pueda considerarse como potable. Pero se trata de valores ideales, los cuales pueden lograrse en condiciones completamente normales y donde las perspectivas de aprovisionamiento son variadas y fáciles de lograr. Pero en los casos como en San Andrés, donde las condiciones son más limitadas, pero no extremas, esos valores deben adaptarse en proporción inversa a las posibilidades del suministro de agua. En nuestro caso, un valor de 350 mg/l. de cloruros es bastante aceptable, sin perjudicar en lo más mínimo ni la salud ni el buen gusto que un agua deba tener para los consumidores. Estos casos semejantes ocurren en algunos países de Europa, como Holanda, Alemania y algunas islas del Mar del Norte; conocemos datos de ciertas ciudades de Alemania como Herford, con 490 mg/l.; Bernburg, con 604 mg/l., y Eschersausen, con 790 mg/l. de cloruros.

Debido a que el espejo de agua subterránea en la isla de San Andrés es en general muy superficial y el agua lluvia penetra libremente al través de grietas y dolinas, existe el peligro de contaminación bacteriológica, pues el agua al entrar al subsuelo arrastra consigo materia mineral u orgánica desde la superficie, sin que éstas tengan filtración alguna, peligro que aumenta si existen en las cercanías viviendas, pastales para ganado, etc. Por lo tanto, es indispensable, en aquellos puntos que se señalen para las captaciones definitivas, defender la zona circundante, prohibiendo construcciones y entrada de personas o animales. En estos casos en que el agua subterránea circula libremente por grietas es, desde todo punto de vista, necesario someter el agua de las captaciones a desinfección por medio de clorinación u otros medios que existen para tal efecto. En esta forma se asegura la pureza bacteriológica del agua para el consumo humano.

Consideraciones técnicas.

A lo largo del presente estudio hemos recalcado sobre la necesidad de llevar a cabo una serie de trabajos preliminares en las zonas propuestas, antes de emprender la construcción de las captaciones definitivas. Tales trabajos hidrológicos previos son los que finalmente suministran los detalles de construcción.

Es fundamental llevar a cabo un ensayo de bombeo en el pozo SA-2 (Rock Hole), Zona número I, el cual debe practicarse en la siguiente forma:

Bombeo continuo por el término de tres semanas, es decir, día y noche, naturalmente descontando algunas pequeñas interrupciones que deban hacerse para el cuidado de la bomba o del motor. Este bombeo puede realizarse con tres rendimientos distintos, como por ejemplo con 6, 8 y 10 litros por segundo, convenientemente repartidos en el tiempo de 21 días. Hay que registrar durante esa operación y tomar nota del descenso del nivel del espejo de agua y llevar a cabo permanentes análisis químicos para cloruros, anotando si existe un eventual cambio en su valor. Los datos suministrados en este ensayo dan la pauta para calcular la cantidad de agua máxima que puede extraerse del pozo. Para verificar este trabajo preliminar aconsejamos tener en cuenta el período más seco del año, pues las condiciones son más restringidas y las menos favorables en la cantidad y calidad del agua subterránea. Con esta base obtenemos un factor de seguridad para las épocas seca y lluviosa del año.

Damos a continuación algunas ideas generales de lo que sería la construcción definitiva de esta captación en el Rock Hole: preparar las paredes del pozo, sin perjudicar los afluentes o medios de infiltración a éste, de tal manera que se pueda colocar un sistema de filtros verticales. Los espacios anulares o espacios que quedan entre los filtros se rellenan con gravilla graduada, en forma tal que todo el pozo contenga este material. Los filtros deben tener un diámetro grande, entre 50 y 60 centímetros, y ojalá de material neutro y anticorrosivo, con preferencia de gres o de porcelana. La empresa constructora decidirá sobre el tipo de bomba a emplear, ya sean bombas centrífugas normales o sumergibles.

Para las zonas II y III se recomiendan también los mismos trabajos hidrológicos preliminares ya descritos para la primera zona. Por medio de excavaciones poco profundas, ensayos de bombeo y análisis químicos se determinará el sitio exacto de las captaciones definitivas y la cantidad aproximada de agua que se puede extraer. Dadas las condiciones hidrogeológicas de estas zonas, proponemos la construcción de captaciones horizontales, lo que equivale a pozos horizontales, con su correspondiente relleno de grava seleccionada para tal fin. Este tipo de captación tiene la ventaja de que el agua proveniente de ellas afluye continuamente sin bombeo a un pozo de recolección, donde se almacena. De este depósito el agua es bombeada al tanque de distribución; por lo tanto, la succión originada por el bombeo no se lleva a efecto directamente sobre la captación horizontal, eliminando así el peligro de que el espejo de agua descienda localmente en exceso y de que perjudique la calidad química del agua por la entrada de agua salada que se encuentra inmediatamente debajo del agua subterránea dulce. El material de los filtros y tubería para estos pozos pueden ser del mismo material aconsejado para el Rock Hole (SA-2).

Por conveniencia económica sugerimos el orden de construcción comenzando por las zonas I (Rock Hole), y II, dejando la zona III opcionalmente como una reserva para el caso de que las dos primeras no sean suficientes para el suministro de agua para toda la población de la isla. Por lo disperso de la población isleña seguramente serían necesarios dos tanques de distribución, localizados en sitios elevados sobre la serranía; uno de ellos para la población de San Andrés y el otro para la de San Luis y los pequeños caseríos situados sobre las carreteras. Estos dos acueductos deben tener un sistema de conexión tal que, cuando las circunstancias lo exijan, uno de ellos esté en condiciones de alimentar al otro con una cierta cantidad de agua, ya sea por gravedad el uno, o por bombeo de impulsión el segundo.

Repetimos nuevamente, por ser de importancia capital, que el agua extraída de cualesquiera de las zonas propuestas debe someterse previamente a esterilización bacteriológica, como por ejemplo clorinación, antes de darla al consumo humano.

Hemos señalado algunos de los aspectos importantes de construcción del acueducto para San Andrés. El proyecto de la construcción del mismo, teniendo en cuenta todas las observaciones que hemos formulado, debe entregarse a una empresa especializada en tales obras y que sea responsable en la ejecución eficaz de los trabajos. La parte técnica es definitiva para garantizar el éxito final del acueducto y con mayor razón en el caso que nos ocupa, dada la complejidad de las distintas zonas indicadas como favorables y los variados sistemas aconsejados para su aprovechamiento.

Como dato adicional respecto a otro sistema que pueda contemplarse para suministrar agua potable a San Andrés, está el de convertir el agua de mar en agua potable y aprovechar a la vez la energía calórica del vapor de agua y transformarla en energía eléctrica. El costo de producción de un metro cúbico de agua potable, a partir del agua de mar, es varias veces superior al que resultaría aprovechando el agua subterránea dulce de la isla, no solamente por el equipo necesario para tal fin, sino también por los costos de mantenimiento de la planta de transformación, sin incluir en ello estación de bombeo, la red y tanques de distribución. Sería justificable solamente en el caso extremo de no existir agua subterránea dulce en la isla de San Andrés.

Bogotá, mayo de 1956.

WOLFGANG DIEZEMANN — CARLOS I. DELGADO
Hidrogeólogo-Jefe. Hidroquímico.

BIBLIOGRAFIA

- I. ALBERTO SARMIENTO ALARCON y JOSE SANDOVAL.—Comisión Geológica del Archipiélago de San Andrés y Providencia. Estudios de fosfatos. Informe número 624 del Instituto Geológico Nacional.
- II. ENRIQUE HUBACH.—“Aspectos geográficos y geológicos, y recursos de las islas de San Andrés y Providencia. (Intendencia de San Andrés y Providencia)”. Informe número 1121 del Instituto Geológico Nacional.
- III. H. C. RAASVELDT.—“Mapa fotogeológico de las islas de San Andrés y Providencia”. Informe número 1120 del Instituto Geológico Nacional.

ANEXO I

*Pozos y manantiales.**SA-1. Aljibe.*

Sitio: población de San Andrés, restaurante "El Encanto", del señor V. T. Stephens, 20 metros de la orilla del mar.

Profundidad: 1 metro.

Observaciones: Excavado en caliza coralina.

El espejo de agua oscila más o menos 30 centímetros con la marea.

El agua contiene 347.9 mg/ltr. de cloruros.

SA-2. Rock Hole, caverna de karst.

Sitio: al NW de la población de San Andrés, 300 metros aproximadamente de la orilla del mar.

Observaciones: Sistema de karst en roca calcárea.

El espejo de agua se encuentra 1.39 metros abajo de la superficie, y oscila entre 10 y 12 centímetros con la marea. En un ensayo de bombeo con un carro-tanque, el pozo produjo en 5 minutos 6813 litros de agua. En 30 minutos se rellenó el carro-tanque 3 veces. Con este rendimiento de 22 litros por segundo el espejo de agua no descendió.

Contenido de cloruros del agua: 78.1 mg/ltr.

Dureza 16.24° alemanes.

pH, 7.2.

SA-3. Pozo Sipzon, aljibe.

Sitio: 300 metros aproximadamente de la rada Los Icacos.

Profundidad: 2.80 metros.

Espejo piezométrico: 1 metro abajo de la superficie.

Hidroquímica: pH, 7.

Cloruros, 117.15 mg/ltr.

Dureza total, 22.4° alemanes.

Observaciones: Construido en material de ladera y arriba revestido en hormigón (1.5 x 2.2 metros).

SA-4. Aljibe excavado en roca calcárea.

Sitio: School House.

Profundidad: 1.17 metros.

Espejo piezométrico: 0.87 metros abajo de la superficie; el espejo fluctúa con la marea.

Hidroquímica: pH, 7.75.

Cloruros: 335 mg/ltr.

SA-5. Caverna de karst.

Sitio: cerca de la pista, 150 metros aproximadamente de la orilla del mar.

Profundidad: 3 metros; caverna de karst en rocas coralinas.

Hidroquímica: Cloruros, 1030 mg/ltr.

SA-6. Caverna de karst.

Sitio: al suroeste de la pista, 400 metros aproximadamente de la orilla del mar.

Profundidad: 2.7 metros; sistema de karst en rocas coralinas.

Hidroquímica: Cloruros, 2292 mg/ltr.

SA-7. Manantial.

Sitio: falda inferior de la loma Los Perry.

Hidroquímica: pH, 7.5.

Cloruros, 142 mg/ltr.

CO₂ libre, 12.3 mg/ltr.
Dureza total, 10° alemanes.
Observaciones: el manantial aflora del talud detrítico.

SA-8. Aljibe.

Sitio: al norte de la pista, 400 metros aproximadamente de la orilla del mar.
Profundidad: 3.74 metros abajo de la superficie, excavado en caliza coralífera porosa.
Espejo piezométrico: 3.48 metros abajo de la superficie.
Hidroquímica: pH, 7.4.
Cloruros, 710 mg/ltr.
Dureza total, 36° alemanes.
Observaciones: pozo sin revestimiento, 0.70 metros de diámetro.

SA-9. Manantial de karst.

Sitio: al SE de la pista, 850 metros aproximadamente de la orilla del mar. En una cuenca del terreno plano brota el agua.
Hidroquímica: Cloruros, 4615 mg/ltr.

SA-10. Aljibe.

Sitio: El Cove, 160 metros aproximadamente de la orilla del mar.
Profundidad: 3.53 metros.
Espejo piezométrico: 0.95 metros abajo de la superficie.
Hidroquímica: análisis de agua antes y después del bombeo:
pH, 7.
Dureza total, 15.12° alemanes.
Cloruros, 142 mg/ltr.
Observaciones: Después de un ensayo de bombeo durante 4 horas y 45 minutos, con un rendimiento de 40 litros por minuto, el espejo de agua bajó 32 centímetros.

SA-11. Aljibe. 46 metros al SE de SA-10.

Sitio: El Cove.
Perfil geológico:
0 - 3,2 metros arcilla de alteración atmosférica, con piedras de caliza.
- 4,0 metros cantos rodados de caliza.
Espejo piezométrico: 2.70 metros abajo de la superficie.

SA-12. Aljibe. Drake Well.

Sitio: parte inferior de la falda al oeste de la Ensenada.
Hidroquímica: pH, 7.
Cloruros, 210 mg/ltr.
Dureza total: 16.8° alemanes.
Observaciones: el manantial está rudimentariamente captado. El agua que aflora en la superficie es de poca cantidad, y proviene de talud detrítico.

SA-13. Caverna de karst, al oeste de la Ensenada.

Profundidad: 4.5 metros.
Hidroquímica: Cloruros, 12425 mg/ltr.

SA-14. Cantan Spring.

Sitio: al noroeste de la misión protestante, en la falda del cerro y arriba de la orilla de una quebrada.
Observaciones: poca agua aflora del talud detrítico.

SA-15. Aljibe, Pozo Swam.

Sitio: al oeste de la carretera San Andrés-San Luis.
Profundidad: 2.40 metros.
Espejo piezométrico: 0.80 metros abajo de la superficie.

Hidroquímica: pH, 7.5.
Dureza total, 19° alemanes.
Cloruros, 319.5 mg/ltr.
El pozo es muy sucio y una parte de los cloruros puede provenir de material orgánico.
Observaciones: Pozo al pie de un cono de deyección y al margen de un pantano, el cual se seca en el verano. Excavado en roca calcárea, arriba revestido en piedras de caliza con cemento.

SA-16. Aljibe, Pozo Stephens.

Sitio: San Luis, 250 metros aproximadamente de la orilla del mar.
Profundidad: 2.80 metros.
Espejo piezométrico: 2.58 metros abajo de la superficie.
Diámetro del pozo: 2 metros.
Hidroquímica: Cloruros, 1278 mg/ltr.
Observaciones: excavación en roca calcárea.

SA-17. Aljibe.

Sitio: en el extremo sur de la isla, 130 metros aproximadamente de la orilla del mar.
Profundidad: 1.50 metros.
Espejo piezométrico: 1.20 metros abajo de la superficie.
Hidroquímica: Cloruros, 1775 mg/ltr.
Observaciones: Pozo excavado en caliza coralífera.

SA-18. Aljibe.

Sitio: población de San Andrés, 130 metros aproximadamente de la orilla del mar.
Propietario: Simon James.
Profundidad: 1.74 metros.
Diámetro: 1 metro.
Espejo piezométrico: 1.30 metros abajo de la superficie; el espejo fluctúa con la marea.
Hidroquímica: pH, 7.5.
Dureza total 13° alemanes.
Cloruros, 46.15 mg/ltr.
Observaciones: Pozo excavado en caliza coralífera porosa.

SA-19. Aljibe.

Sitio: población de San Andrés.
Profundidad: 2.10 metros.
Diámetro, 1.30 metros.
Espejo piezométrico: 1.74 metros abajo de la superficie; el espejo oscila con la marea.
Hidroquímica: Cloruros, 443.75 mg/ltr.
Dureza total, 17.92° alemanes.
Observaciones: Pozo excavado en caliza coralífera.

SA-20. Aljibe.

Sitio: población de San Andrés.
Profundidad: 1.18 metros.
Espejo piezométrico: 0.62 metros abajo de la superficie; el espejo oscila con la marea.
Hidroquímica: pH, 7.2.
Cloruros, 35.5 mg/ltr.
Dureza total, 12.32° alemanes.
Observaciones: Pozo excavado en caliza coralífera.

ANEXO II

Determinación de varios fósiles, por el doctor Hans Buergl.

De estas muestras identificamos las siguientes formas:

Dz-705. Isla de San Andrés, a partir de la mitad de la pista, 400 metros al sur. Caliza blanca, granulosa, blanda con foraminíferos y moluscos.

l Thyasira spec.

La muestra lavada contiene:

ff Archaias.

f Quinqueloculina spec.

r Cibicides spec.

f Ostrácodos.

r Espinas de erizos de mar.

No hemos determinado los foraminíferos y ostrácodos específicamente, porque es poco probable que esta determinación sirva para fijar la edad. Con seguridad se puede decir que el Mioceno de Colombia no contiene una fauna parecida. La capa de la muestra Dz-705 tiene que ser más joven que el Mioceno. Si es Plioceno o Pleistoceno, no se puede precisar.

La Thyasira está bien conservada pero en toda la literatura a nuestra disposición no hemos encontrado esta especie.

Dz-706. Isla de San Andrés, lado NW de la pista del aeropuerto, caliza maciza, blanca, rica en impresiones y moldes de:

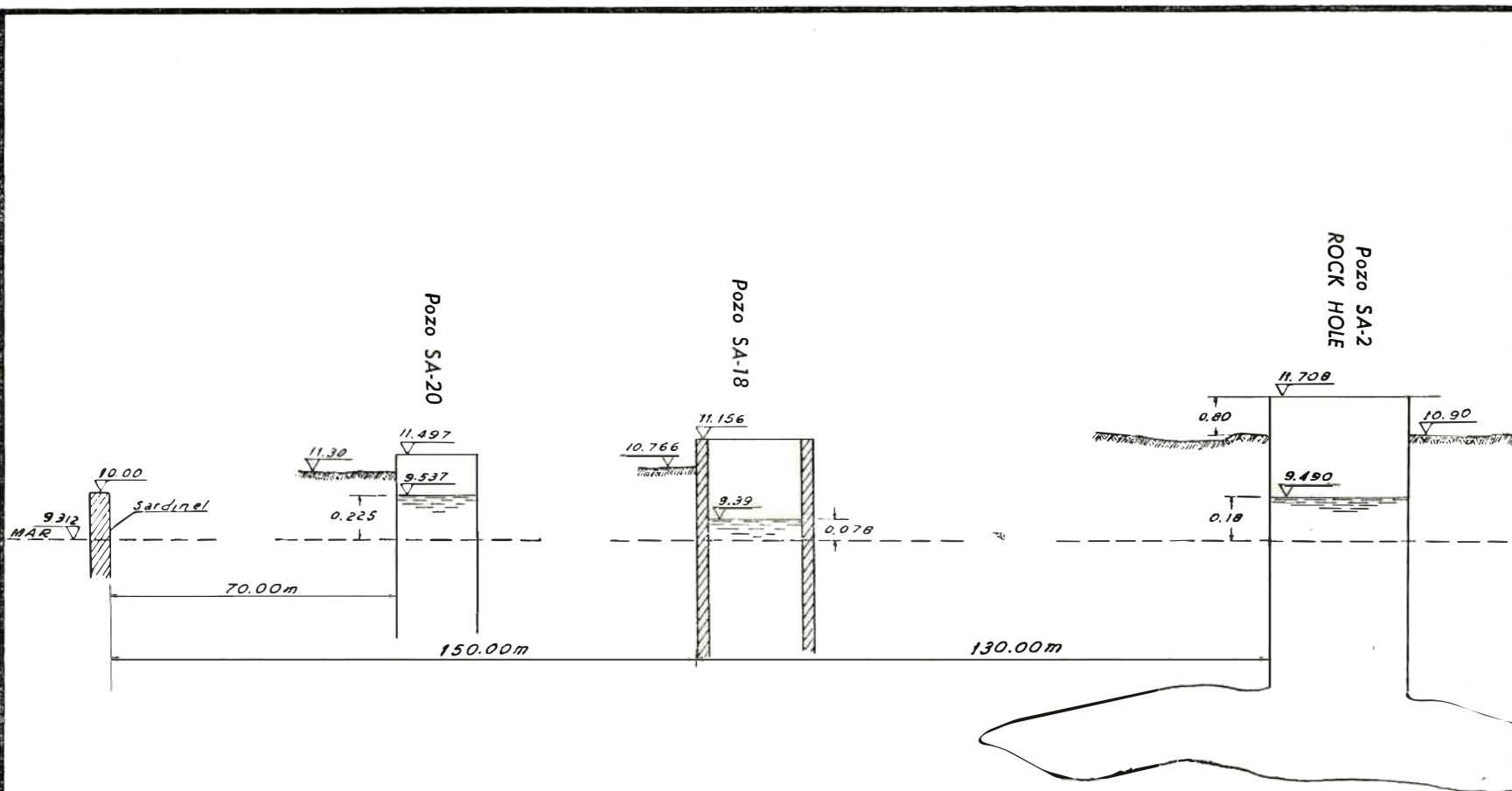
Chione spec.

Lucina? spec.

Oliva spec.

Spondilus? spec.

La conservación de los fósiles no permite una determinación de las especies.



ESQUEMA DE LA ZONA DE CAPTACION "ROCK HOLE"

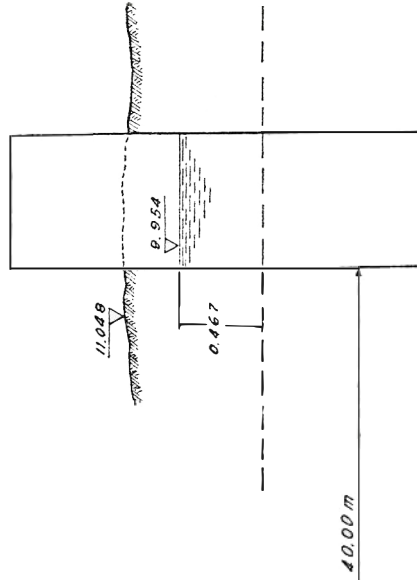
LEVANTO: ING. RAUL MESA

ANEXO Nº. 3

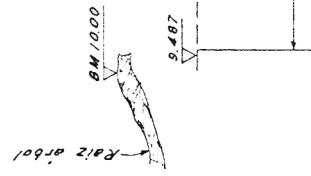
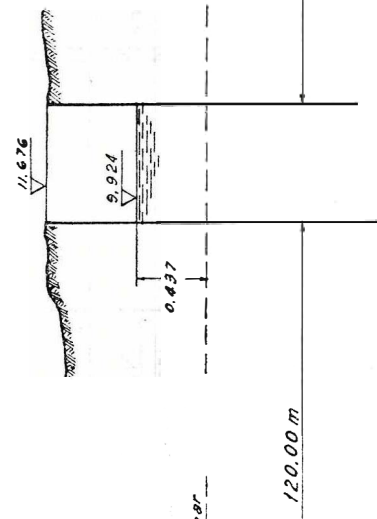
DIB. J. E. P. C.

Informe Nº 1.167

Pozo SA-10



Pozo en Construcción SA-11

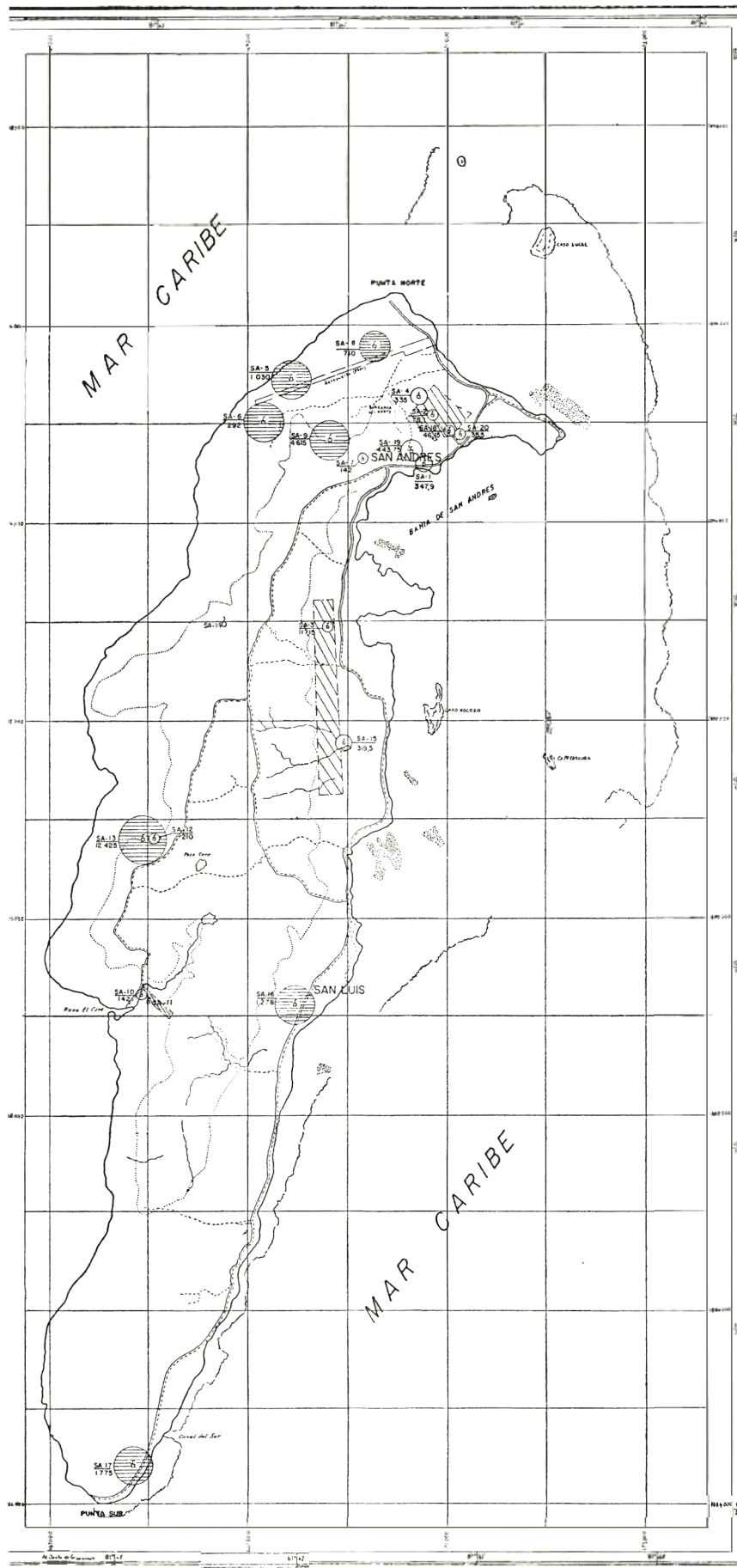


ESQUEMA DE LA ZONA DE CAPTACION "EL COVE"

LEVANTO: INGO. RAUL MESA

ANEXO N° 4

DIB. J.E.P.C.



CONVENCIONES TOPOGRAFICAS

CARRETERA	
CARRETEABLE	
SENDERO	
ARROYO	
CAYO	
ARREGIFE	
BANCO ARENOSO	
SERRANIA COMPUESTA DE ESTRATOS CALGAREOS MIOCENOS	

CONVENCIONES HIDROGEOLOGICAS E HIDROQUIMICAS

ALJIBES Y CAVERNAS DE KARST	
MANANTIALES	
LA ANOTACION SUPERIOR INDICA EL NUMERO DEL POZO	
LA ANOTACION INFERIOR INDICA LA CANTIDAD DE CLORUROS (mg/ltr.) CONTENIDOS EN EL AGUA	
POZO CUYA AGUA CONTIENE MENOS DE 500 mg/ltr. DE CLORUROS	
POZO CUYA AGUA CONTIENE MAS DE 500 mg/ltr. DE CLORUROS	
ZONAS PROPUESTAS PARA LAS CAPTACIONES	

MAPA DE LA ISLA DE SAN ANDRES CON INDICACIONES HIDROGEOLOGICAS E HIDROQUIMICAS

TOMADO DEL FOTOCALCO ELABORADO POR EL INSTITUTO GEOGRAFICO DE COLOMBIA "AGUSTIN CODAZZI"

DIC. DE 1956

DIB. A.B.S.

ESCALA APROXIMADA: 1:65.000

**CALIDAD DEL AGUA EN EL ACUEDUCTO DE “EL CENTRO”
BARRANCABERMEJA (SANTANDER)**

**POR:
CARLOS I. DELGADO
HIDROQUIMICO**

CALIDAD DEL AGUA EN EL ACUEDUCTO DE “EL CENTRO”, BARRANCABERMEJA (SANTANDER)

El acueducto actual de El Centro toma sus aguas de los ríos Colorado y La Llana, a una distancia aproximada de 15 kilómetros del centro de la población. El río Colorado es de mayor grado de turbidez que las aguas de la quebrada La Llana. Esta turbidez es debida a materia arcillosa en suspensión, de carácter en parte coloidal, y varía ampliamente en las distintas épocas del año.

La planta de tratamiento consiste de las siguientes partes:

1ª Floculación por medio de alumbre, cuya dosificación se regula automáticamente y se controla por el grado de turbidez del agua cruda.

2ª Sedimentación.

3ª Filtración, utilizando para ello 4 filtros de arena y “Antrafil”, con una rata de filtración de 122 m³/min.

4ª Clorinación regulada, también automática, con un contenido de cloro residual hasta de 0.2 p. p. m.

Con el fin de determinar la calidad química del agua cruda y tratada se llevaron a cabo las siguientes determinaciones en el mismo lugar:

Agua cruda, inmediatamente antes de la entrada a la planta de purificación.

Características físicas:

Color: ligeramente blancuzca.

Turbidez: opalescente.

Sedimento: pequeños gránulos color pardo amarillento.

Características químicas (examen parcial):

pH	7.6.
CO ₂ libre	1.1 mg/l.
Dureza total	4.7º alemanes.
Hierro total (Fe)	0.098 mg/l.
Nitritos (NO ₂)	negativo.

Resultado obtenido en el Laboratorio:

pH	7.6.
Dureza total	4.48° alemanes.
Hierro total	0.098 mg/l.
Manganeso (Mn)	negativo.
Cloruros (Cl ⁻)	3.55 mg/l.
Nitratos (NO ₃ ⁻)	trazas.
Nitritos (NO ₂ ⁻)	negativo.
Amoníaco (NH ₃)	negativo.
Substancias orgánicas	9.48 mg/l.

Observaciones:

De acuerdo con los resultados anteriores el agua es blanda, de carácter básico, con muy bajo contenido de hierro y carente de substancias nitrogenadas. La turbidez que le da un aspecto ligeramente lechoso es de naturaleza coloidal.

Agua tratada, tomada inmediatamente a la salida de la planta de tratamiento.

Características físicas:

Color: incolora.

Turbidez: muy débilmente opalescente.

Sedimento: sin sedimento.

Características químicas (examen parcial):

pH	6.75.
CO ₂ libre	12.1 mg/l.
Dureza total	3.9° alemanes.
Nitritos (NO ₂ ⁻)	negativo.

Resultado obtenido en el Laboratorio:

pH	6.9.
Dureza total	3.9° alemanes.
Hierro total (Fe)	trazas.
Manganeso (Mn)	negativo.
Cloruros (Cl ⁻)	1.77 mg/l.
Nitratos (NO ₃ ⁻)	negativo.
Nitritos (NO ₂ ⁻)	negativo.
Amoníaco (NH ₃)	negativo.
Substancias orgánicas	11.3 mg/l.

Observaciones:

El agua tratada e inmediatamente a la salida de la planta de purificación es blanda, prácticamente neutra, y con un contenido de hierro insignificante. En las exigencias de potabilidad es aceptable.

Calidad del agua en los grifos de consumo de El Centro.

Se ha observado, y así lo pudo constatar el suscrito, un notorio cambio en el grado de turbidez y de color del agua de consumo, de carácter intermitente durante las horas del día, desde transparente e incolora, hasta amarillenta y fuertemente opalescente. Para averiguar los motivos de este cambio en la calidad química del agua se tomaron diferentes muestras para determinar hierro total, con los resultados que a continuación se expresan:

Hora	Hierro total	Apariencia	Color.
7 a. m.	2.5 mg/l.	Fuertemente turbia	amarillo.
10 a. m.	1.2 mg/l.	Turbia	amarillento.
12 m.	0.49 mg/l.	Poco opalescente	incolora.
1 p. m.	0.12 mg/l.	Transparente	incolora.
2 p. m.	1.32 mg/l.	Opalescente	amarillento.
3 p. m.	1.14 mg/l.	Opalescente	amarillento.

Se concluye de los análisis anteriores, que existe una gran variación en el contenido de hierro del agua de consumo; todos los valores encontrados son demasiado elevados, si se tiene en cuenta que el límite máximo en el contenido de hierro no debe exceder de *0.3 mg/l. para que un agua pueda considerarse como potable*. Esta irregularidad tiene la siguiente explicación:

El agua sale de la planta de purificación en condiciones completamente normales respecto al contenido de hierro. Un lento pero continuo proceso de corrosión debió operar en el transcurso de los años sobre la red de distribución, que no fue controlado, y hoy imposible de evitar por la alta acumulación de sedimentos de óxidos e hidróxidos de hierro dentro de las tuberías. El agua es bombeada directamente a la red de distribución y en aquellas partes donde se operan cambios de velocidad por efectos de reducciones, codos, tes, etc., y por el mayor o menor consumo de agua, se sucede una fuerte turbulencia, y el agua arrastra esos sedimentos hasta los grifos de consumo; de allí el alto contenido de hierro y el menor o mayor grado de turbidez.

Es, pues, el hierro, el único elemento que sufre alteración notable desde la salida de la planta de purificación a los lugares de consumo, como lo demuestra el siguiente análisis químico efectuado en el Laboratorio del Instituto Geológico Nacional, en una muestra de agua tomada en un grifo del Laboratorio de Ingeniería de Petróleos de El Centro:

pH	6.96.
Dureza total	3.9° alemanes.
Dureza total en CaCO ₃	69.8 mg/l. o p. p. m.
Hierro total (Fe)	0.55 mg/l.
Manganeso (Mn)	negativo.
Cloruros (Cl ⁻)	3.55 mg/l.
Nitratos (NO ₃ ⁻)	negativo.
Nitritos NO ₂ ⁻)	negativo.
Amoníaco (NH ₃)	negativo.
Substancias orgánicas	5.68 mg/l.

Agua de alimentación de calderas:

El Centro dispone de una planta termoeléctrica que utiliza gas obtenido en la explotación de petróleo como combustible y el agua del acueducto, previamente ablandada por el sistema Permutit, para alimentar las calderas. Dispone de un tanque alto donde se almacena el agua del acueducto y que sirve a la vez para sostener la presión estática necesaria. Según informaciones obtenidas, se llevan a cabo cada quince (15) días, los siguientes análisis químicos en el agua sin ablandar y en el agua ablandada: cloruros, alcalinidad al anaranjado de metilo, alcalinidad a la fenolftaleína, sólidos totales en suspensión, dureza total, pH, anhídrido carbónico libre y turbidez. No se han llevado a cabo determinaciones de contenido de hierro, las cuales, mientras subsista el problema de la presencia en el agua de esta sustancia con variaciones tan notables, hay que realizarlas, pues de no controlarse eficazmente, redundaría en perjuicio de la eficiencia y vida de las calderas.

Dos muestras fueron analizadas por el suscrito en el agua, antes y después del ablandamiento, para hierro, dureza y cloruros:

Agua antes del ablandamiento:

Dureza total	4.9° alemanes.
Dureza total como CaCO ₃	88.6 mg/l. o p. p. m.
Hierro total (Fe)	0.46 mg/l.
Cloruros (Cl ⁻)	3.55 mg/l.

Agua ablandada:

Dureza total	0.28° alemanes.
Dureza total como CaCO ₃	5 p. p. m. o mg/l.
Cloruros (Cl ⁻)	4.2 mg/l.
Hierro total (Fe)	0.39 mg/l.

Puede deducirse de las anteriores determinaciones que el hierro está presente en exceso, aun en el agua previamente ablandada, mermando la eficiencia del sistema de ablandamiento y cooperando eficazmente en la formación de incrustaciones dentro de las calderas.

Conclusiones:

1. La planta de tratamiento del acueducto opera en condiciones normales. La calidad química del agua, inmediatamente después del tratamiento, es apta para fines potables. Hay que objetar únicamente la apariencia débilmente opalescente que en ocasiones se presenta, lo cual puede controlarse por medio de determinaciones diarias de turbidez del pH, sólidos totales en suspensión, sólidos totales disueltos y dureza. Esta debe hacerse con cierta regularidad y, tratándose de agua superficial, analizar también nitritos, nitratos, amoníaco y sustancias orgánicas, para controlar mejor un posible grado de contaminación y la dosificación misma del cloro.

2. El color amarillo y la turbidez que ocurren con ciertas intermitencias en el agua de consumo en la población misma, se deben únicamente al hierro presente por desgaste y corrosión de la red de distribución, perjudicando la potabilidad del agua y comunicándole, de vez en cuando, un sabor perceptiblemente ferruginoso.

3. Es imposible evitar, dado el estado avanzado de corrosión y la ostensible edad de las tuberías, la presencia de un alto contenido de hierro en el agua de consumo.

4. Es perjudicial la presencia del hierro en el agua de alimentación de calderas.

Recomendaciones:

1). Dada la importancia que este núcleo industrial de El Centro tiene para la economía del país, además de los proyectos de ampliación de las explotaciones de petróleo, que exigen cada día cantidades mayores de agua, de los ensanches previstos en la planta de energía termoeléctrica que dependerán de la eficiencia del acueducto en cantidad y calidad y del agua potable que sus moradores necesitan, es más que justificable iniciar cuanto antes el proyecto de un acueducto que consista de una moderna planta de tratamiento con capacidad mayor que la actual (capacidad actual, un millón de galones por día), y el cambio gradual de la red de distribución.

2). Un control químico diario es indispensable en el actual acueducto, y para ello urge la necesidad de dotarlo de un laboratorio completo. En la Planta de Gas, encargada del control y mantenimiento del acueducto, informaron que el pedido había sido ya elaborado.

3). Un equipo manual es indispensable para el control del agua de alimentación de calderas, de fácil y rápido manejo, y que podría consistir en:

Un aparato Hellige Neo-comparador (colorimétrico), con discos y reactivos para determinaciones de: cloro libre, hierro, manganeso, amoníaco, nitritos y nitratos.

Reactivos orgánicos para determinación rápida y exacta de dureza por los métodos Plexochrom (Bayer) o Titriplex (Merck).

Medidor de pH (potenciómetro).

Un turbidímetro óptico.

Reactivos minerales para anhídrido carbónico, libre, cloruros y demás determinaciones que no requieren equipo especial.

**CALIDAD DEL AGUA EN EL ACUEDUCTO DE SAN ANTONIO
DE CALIFORNIA (SANTANDER)**

POR:

CARLOS I. DELGADO
HIDROQUIMICO

CALIDAD DEL AGUA EN EL ACUEDUCTO DE SAN ANTONIO DE CALIFORNIA (SANTANDER)

Resumen.

El informe estudia la calidad química del agua en el actual acueducto de California (Santander). Describe su situación y sugiere dos soluciones posibles del problema: 1) Acondicionar el acueducto con algunas obras que incluyen: captación, mejoramiento de la tubería de conducción, tanque de aguas crudas y filtros de arena y carbón activado. 2) Captar el agua de las fuentes Aburrido N° 1 y Aburrido N° 2, y entubarla hasta la actual tubería de conducción prescindiendo únicamente del tanque elevado de agua cruda. Finalmente hace algunas anotaciones respecto a casos aislados de coto o bocio presentados en la población y sus posibles causas en algunas regiones de Colombia, citando casos ocurridos en Inglaterra y Escocia, respecto al contenido de yodo, de substancias minerales y de dureza en el agua de consumo.

Introducción.

La población de San Antonio de California, situada al NE de Bucaramanga, cuenta en la actualidad con unos 500 habitantes. Está unida con la capital de Santander por medio de una carretera de 54 kilómetros de largo, en buen estado de conservación; disfruta de un clima frío, sano y agradable, y sus habitantes, dedicados tradicionalmente a la minería de oro y plata, últimamente han incrementado algo la agricultura, dedicándose al cultivo de trigo, maíz y papa.

Dentro de la jurisdicción del Municipio de California se han encontrado yacimientos de uranio y, por esta razón, principalmente, es de esperarse un mayor auge e importancia de la población.

Cuenta con los servicios públicos de acueducto y planta hidroeléctrica, ambos deficientes. No dispone de alcantarillado.

El acueducto consiste de las siguientes partes: agua de la fuente denominada El Tabacal, que desciende de los cerros al NW de la población. No hay captación alguna en la parte inmediata a la fuente misma, y el agua corre libremente por la superficie, en parte por grietas poco profundas y, además, forma pequeños charcos fangosos recubiertos por vegetación en estado de descomposición. Luégo de recorrer este trayecto, el agua es recibida por una tubería de cemento, desciende por gravedad pasando por dos pequeños tanques desarenadores y finalmente a un tanque de almacenamiento cercano a la población y de una capacidad aproximada de 70 metros cúbicos. De allí es repartida directamente al consumo.

Las condiciones físicas y químicas del agua son:

Presenta un cierto grado de turbidez, debida en su totalidad a diminutas pero abundantes partículas vegetales que han sido arrastradas a lo largo del trayecto descubierto de la captación y desde el tanque de almacenamiento mismo, que está en mal estado de limpieza.

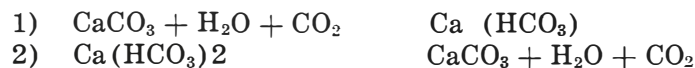
El color del agua varía notoriamente desde incolora hasta amarillenta. Este último es acentuado cuando se presentan las lluvias, y así pudo observarlo el suscrito. Dicho color es debido exclusivamente al pigmento de materia orgánica vegetal y en parte también a las mismas partículas vegetales en suspensión. De olor y sabor el agua no es desagradable.

Un análisis químico del agua del acueducto da una idea de su calidad y de sus condiciones de potabilidad:

pH	6.9.
Dureza total	6.7° alemanes.
Dureza total como CaCO ₃	119.9 mg/l.
Cloruros (Cl ⁻)	3.55 mg/l.
Hierro total (Fe)	trazas.
Manganeso (Mn)	negativo.
Nitratos (NO ₃ ⁻)	1.0 mg/l.
Nitritos (NO ₂ ⁻)	negativo.
Amoníaco (NH ₃)	0.18 mg/l.
<i>Substancias orgánicas en el agua,</i> <i>sin filtrar</i>	36.6 mg/l.
<i>Substancias orgánicas en el agua,</i> <i>filtrada a través de carbón</i> <i>activado</i>	8.9 mg/l.

Observaciones:

Parte del agua de la fuente de El Tabacal circula a través de formaciones calcáreas muy compactas y duras, por pequeños sistemas de grietas que han sido formados en parte por disolución del carbonato de calcio en agua; junto con el anhídrido carbónico se forma bicarbonato de calcio soluble. Pero la reacción en este caso es reversible, de acuerdo con las siguientes ecuaciones:



La primera reacción ocurre en la disolución del carbonato de calcio, y la segunda, al eliminarse el anhídrido carbónico combinado cuando sale el agua de las grietas hacia la superficie, debido a cambios de presión, precipitando carbonato de calcio en su largo recorrido por la tubería de conducción. Por esta razón el agua es blanda en los lugares de consumo (6.7° alemanes).

Los moradores de la región manifiestan que el agua "corta el jabón" y les deja el cabello "duro y grasoso". Esto no tiene su explicación en la dureza misma del agua (pues hemos visto que es blanda), sino en la gran cantidad de partículas microscópicas de materia vegetal que se encuentran en suspensión en el agua, y lógicamente obstruyen la acción del lavado.

El contenido de sustancias orgánicas es muy elevado, y en menos escala lleva sustancias nitrogenadas. Formas inferiores de materia vegetal o animal viviente o en decadencia son arrastradas por el agua que corre en la parte alta de la fuente superficialmente y en algunos trayectos se estanca formando charcos donde la vegetación de arbustos y pastales obstaculiza la libre circulación del agua. De este modo se incorporan en el agua organismos no siempre visibles a simple vista, que crecen rápidamente, como también formas algáceas o sean plantas que contienen clorofila u otras sustancias colorantes sintetizadas y asimiladas por la acción de la luz solar. Añadido a lo anterior tenemos que el agua penetra también por fisuras muchas veces no visibles, y en todos casos es frecuente que el manantial mismo no pueda ser descubierto en su totalidad, y por tales razones el agua presenta serios peligros de contaminación bacteriológica y ofrece un medio de proliferación de organismos vegetales y animales, además de comunicarle el agua un color verde amarillento.

Análisis de otras fuentes.

Otras fuentes fueron analizadas, las cuales se encuentran en los mismos cerros al NW de la población. En el lado derecho de la fuente El Tabacal corre la quebrada Los Prados, de caudal abundante, cuyo análisis dio el siguiente resultado:

pH	6.75.
Dureza total	5.3° alemanes.
Cloruros (Cl ⁻)	3.55 mg/l.
Hierro total (Fe)	trazas.
Manganeso (Mn)	negativo.
Nitratos (NO ₃ ⁻)	2.0 mg/l.
Nitritos (NO ₂ ⁻)	negativo.
Amoníaco (NH ₃)	0.11 mg/l.
<i>Substancias orgánicas en el agua sin filtrar</i>	<i>37.9 mg/l.</i>
<i>Substancias orgánicas en el agua, filtrada a través de carbón activado</i>	<i>9.7 mg/l.</i>

Observaciones:

El agua presenta las mismas características de la fuente El Tabacal, con un contenido elevado de sustancias orgánicas y de color amarillento de origen vegetal.

En el lado izquierdo de la fuente El Tabacal y aproximadamente a unos 400 metros de ésta se encuentran las fuentes denominadas "Aburrido N° 1" y "Aburrido N° 2", con características químicas y físicas muy similares, según los siguientes análisis:

Fuente "Aburrido N° 1".

pH	6.8.
CO ₂ libre	7.7 mg/l.
Dureza total	0.84° alemanes.
Cloruros (Cl ⁻)	5.32 mg/l.
Hierro total (Fe)	trazas.
Manganeso (Mn)	negativo.
Nitratos (NO ₃ ⁻)	trazas.
Nitritos (NO ₂ ⁻)	negativo.
Substancias orgánicas	9.4 mg/l.

Fuente "Aburrido N° 2".

pH	6.85.
CO ₂ libre	1.8 mg/l.
Dureza total	0.56° alemanes.
Cloruros (Cl ⁻)	3.55 mg/l.
Hierro total (Fe)	trazas.
Manganeso (Mn)	negativo.
Nitratos (NO ₃ ⁻)	trazas.
Nitritos (NO ₂ ⁻)	negativo.
Substancias orgánicas	12.3 mg/l.

Observaciones:

Las fuentes manan de areniscas cuarcíticas; son completamente transparentes, incoloras y sin sedimentos, muy blandas, ligeramente ácidas, de sabor agradable y con un contenido de substancias orgánicas muy aceptable. *Es decir, químicamente son potables.*

Conclusiones.

1. El acueducto actual dispone de una cantidad de agua suficiente para unos 1.000 habitantes, aun en tiempo de verano, tomando como base un consumo diario por persona de 200 litros.
2. La actual toma de agua no puede considerarse como una verdadera captación.
3. La tubería de conducción (de cemento) en muchas partes está obstruída o rota.
4. La capacidad actual del tanque de distribución es suficiente.
5. Químicamente el agua es blanda, *pero desde el punto de vista higiénico es totalmente inaceptable y peligrosa por la fácil contaminación.*
6. Por su grado de limpieza y condiciones físicas y químicas, las fuentes "Aburrido N° 1" y "Aburrido N° 2" son más aceptables para el consumo humano.

Recomendaciones.

Se presentan dos soluciones posibles para el abasto de agua potable de los habitantes de California.

1. Aprovechamiento del actual acueducto, mejorando sus condiciones, y llevando a cabo las siguientes obras:

a) Captación en la parte superior de la fuente El Tabacal por medio de un tanque de cemento, previa una excavación que recoja la mayor cantidad de agua posible y provista de tapa de madera o metálica con orificio de aire y orificio de salida y drenaje (para el lavado).

b) Entubar el agua desde el tanque de captación y unirla a la actual tubería.

c) Mejorar los dos tanques intermedios que sirven de desarenadores, colocándoles tapas de madera o metálicas y controlando su limpieza constantemente.

d) Reparar la tubería de conducción en sus partes rotas, para evitar pérdidas de agua y ensuciamiento de la misma.

e) Opcionalmente sería aconsejable montar un tanque alto o elevado de metal o de cemento para recibir el agua cruda (sin tratar), de unos 25 metros cúbicos de capacidad y colocado antes del actual tanque de distribución, con una diferencia de altura de unos 10 metros (diferencia necesaria para que suministre la carga de presión para el lavado de los filtros). En este tanque se podría adicionar hipoclorito de calcio de fácil regulación, para coagular la materia orgánica y colorante y evitar en esta forma la rápida obstrucción de los filtros.

f) Inmediatamente antes del tanque actual de distribución colocar dos filtros pequeños: un primer filtro rápido de arena, flujo por gravedad y con lavado de abajo hacia arriba. Un segundo filtro de carbón activado que servirá para eliminar el color y el exceso de cloro. El agua así tratada pasaría al tanque de distribución actual.

g) Revestir muy bien en cemento el actual tanque de distribución y cubrirlo con una caseta con amplitud suficiente para manipulación e inspección del tanque y para que las condiciones de limpieza sean perfectas.

Esta sería la forma más económica y factible para lograr que el agua de la fuente El Tabacal reúna los requisitos de potabilidad e higiene exigidos para el consumo humano.

Para que el acueducto funcione normalmente es necesaria una constante vigilancia de todas las partes que lo constituyen: lavado permanente de los filtros, tanques desarenadores y de distribución y, finalmente, regulación del hipoclorito de calcio, que no ofrecería dificultad alguna ni en su dosificación ni en su manejo.

2. Una segunda posibilidad sería la de aprovechar el agua de las fuentes Aburrado N° 1 y 2, las cuales, como ya hemos señalado, gozan de condiciones aceptables de potabilidad. En este caso habría que captar ambas fuentes y por la posición de ellas habría facilidad para unir sus aguas en un solo conducto y llevarlas a la actual tubería de conducción. Este trayecto de tubería nueva se escogería de acuerdo a la topografía del terreno, para que suministre la línea más corta. En este caso podría prescindirse del tanque elevado de agua cruda y emplear solamente los mismos filtros descritos para el primer caso. La adición de hipoclorito de calcio se haría en el tanque de distribución, cuya dosificación puede calcularse *según sea la demanda de cloro*, pero en términos generales y en este caso tratándose de agua previamente filtrada, ésta podría ser de 0.15 a 1.0 p. p. m.

La escogencia de una u otra posibilidad depende, en último caso, de factores esencialmente económicos que resultarían de un estudio comparativo de costos.

Anotación al margen del Informe.

Según informaciones recibidas se han presentado algunos casos aislados de bocio o "coto", no muy acentuados. Según autoridades competentes en la materia, ello se debe, entre otras causas, a una deficiencia de yodo en la glándula tiroides. No se ha definido exactamente qué relación puede tener la falta de yodo en el agua con la deformación de esta glándula, ni tampoco entre el bocio de carácter endémico y los constituyentes minerales del agua.

Se han dado casos, como por ejemplo, en ciertas localidades de Inglaterra, donde se presentó una endemia de coto mucho más acentuada que en algunas localidades de Escocia, y, sin embargo, tenía el mismo contenido de yodo en el agua de consumo. Se sugirió que posiblemente era atribuido al grado de dureza más alto en las aguas de Inglaterra que en las de Escocia.

También se ha establecido que la presencia del bocio en muchos casos está íntimamente ligado a contaminaciones en el suministro de agua, a la falta de higiene en los alimentos y a la dietética misma. Como se sabe, entre nosotros uno de los medios de asimilación del yodo está en la sal yodada.

Estas últimas causas posiblemente sean la razón de casos aislados como los de San Antonio de California, o endémicos, como en muchas partes del país. Se ha observado también la presencia de bocio en regiones de calizas y arcillas calcáreas que le dan al agua un alto grado de dureza, como por ejemplo, en Chicamocha y Málaga. Pero el mismo caso de aguas duras se presenta, y más acentuado en la isla de San Andrés, sin que haya ocurrido el primer caso de bocio.

Bogotá, D. E., octubre de 1956.

