

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE  
MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES

FOTOINTERPRETACION APLICADA A LA EVALUACION  
HIDROGEOLOGICA DEL AREA DE LOS LLANOS DE  
COCLE, PROVINCIA DE COCLE,  
REPUBLICA DE PANAMA

MAESTRIA EN CIENCIAS, GEOLOGIA

JOSE DEL CARMEN ESPINOSA

TGg 0285

México, D.F.

1972



Instituto de Geografía



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**A MIS PADRES**

**Con todo mi cariño**

**A MIS HERMANOS**

**A MI ESPOSA**

**Por impulsarme y animarme  
en mis estudios**

## **AGRADECIMIENTOS**

**El autor agradece al Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México y al Departamento de Recursos Minerales del Ministerio de Comercio e Industrias, de la República de Panamá, las facilidades que le brindaron en la elaboración de este estudio.**

**A los Sres. Ings. Diego A. Córdoba y Jorge García Calderón por su valiosa cooperación.**

**Al Sr. Ing. Rafael Rodríguez Torres por sus orientaciones y consejos en el desarrollo de esta tesis.**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

CIUDAD UNIVERSITARIA

FACULTAD DE CIENCIAS  
Sección Escolar  
Exp. Núm. 35-218-1.

Cf. Núm. 1492

México, D.F., a 21 de julio de 1972

ING. JOSE DEL CARMEN ESPINOSA MIRANDA  
P.r e s e n t e

En contestación a su solicitud relativa, me permito comunicar a usted a continuación el tema de tesis para obtener la Maestría en Ciencias (Geología), - propuesto por el Ing. Rafael Rodríguez Torres y aprobado por la Dirección de esta Facultad: "FOTointerpretación APLICADA A LA EVALUACION HIDROGEOLOGICA DEL AREA DE LOS LLANOS DE COCLE; PROVINCIA DE COCLE, REPUBLICA DE PANAMA".

Suplico a usted se comuniqué con el Ing. -- Rodríguez Torres para formular su programa de trabajo.

Muy Atentamente



EL SECRETARIO

DR. EUCARIO LOPEZ OCHOTERENA  
VO. BO.

CIUDAD UNIVERSITARIA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
SECC. ESCOLAR  
JEFE DEL DEPTO. DE BIOLOGIA

Dr. Ramón Riba y Nava Esparza



Instituto de Geografía

## PROGRAMA DE TRABAJO

A desarrollar por: José del Carmen Espinoza Miranda.

Para la tesis: "Fotointerpretación aplicada a la evaluación hidrogeológica del Área de los Llanos de Coclé, Provincia de Coclé, República de Panamá".

### R e s u m e n

I) Introducción.

II) Geología:

- a) Geomorfología y Fisiografía
- b) Estratigrafía
- c) Geología Estructural

III) Hidrogeología:

- a) Características hidrogeológicas de las unidades definidas
- b) Funcionamiento hidrológico de las unidades inferidas
- c) Relaciones entre las unidades geológicas e hidrogeológicas

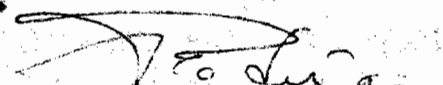
IV) Fotointerpretación:

- a) Procesos fotointerpretativos empleados
- b) Instrumentación requerida
- c) Aplicabilidad de criterios fotointerpretativos diversos en el caso de evaluación hidrogeológica

V) Conclusiones acerca del desarrollo de esta tesis.

VI) Racionalizaciones y generalizaciones acerca de la fotointerpretación aplicada a la hidrogeología.

Cd. Universitaria, D.F., a 2 de agosto de 1972.

  
Ing. Rafael Rodríguez Torres.

# CONTENIDO

	Página
<b>INTRODUCCION</b> .....	1
Objeto del trabajo .....	1
Localización y extensión del área .....	1
Vías de comunicación .....	3
Estudios previos .....	3
Métodos de trabajo .....	3
<b>GEOGRAFIA</b> .....	4
Clima .....	4
Vegetación .....	5
<b>GEOLOGIA</b> .....	6
Geomorfología .....	6
Sistema de drenaje .....	10
Fitogeografía .....	10
Marco geológico .....	13
Estratigrafía .....	15
Geología estructural .....	17
<b>HIDROGEOLOGIA</b> .....	19
Unidades hidrogeológicas .....	19
Características hidrogeológicas de las unidades definidas .....	22
Funcionamiento hidrológico de las unidades inferidas ..	24
Relaciones entre las unidades geológicas e hidrogeológicas .....	29
Ocurrencia de las aguas subterráneas .....	32

	Página
<b>FOTOINTERPRETACION -----</b>	<b>35</b>
<b>Procesos fotointerpretativos empleados -----</b>	<b>35</b>
<b>Instrumentación requerida -----</b>	<b>36</b>
<b>Aplicabilidad de criterios fotointerpretativos -----</b>	
<b>diversos en el caso de evaluación hidrogeológica --</b>	<b>36</b>
<b>CONCLUSIONES ACERCA DEL DESARROLLO DE ESTA TESIS</b>	<b>42</b>
<b>RACIONALIZACIONES Y GENERALIZACIONES ACERCA DE LA</b>	
<b>FOTOINTERPRETACION APLICADA A LA HIDROGEOLOGIA -</b>	<b>44</b>
<b>GLOSARIO DE ALGUNOS TERMINOS UTILIZADOS -----</b>	<b>47</b>
<b>BIBLIOGRAFIA -----</b>	<b>51</b>

### ILUSTRACIONES

	Página
<b>Mapa fotohidrogeológico del área de los Llanos de Coclé</b>	<b>Anexo</b>
<b>Sección geológica generalizada -----</b>	<b>Anexo</b>
<b>Figura 1. Mapa de la República de Panamá mostrando la</b>	
<b>localización del área de los Llanos de Coclé</b>	<b>2</b>
<b>Figura 2. Precipitación mensual registrada en las estacio</b>	
<b>nes de La Estrella y Río Grande -----</b>	<b>6</b>
<b>Figura 3. Fisiografía del área de estudio -----</b>	<b>12</b>
<b>Figura 4. Columna estratigráfica -----</b>	<b>16</b>
<b>Figura 5. Comparación entre las unidades litoestratigráfi</b>	
<b>cas y las unidades hidrogeológicas -----</b>	<b>31</b>



## INTRODUCCION

### OBJETO DE TRABAJO

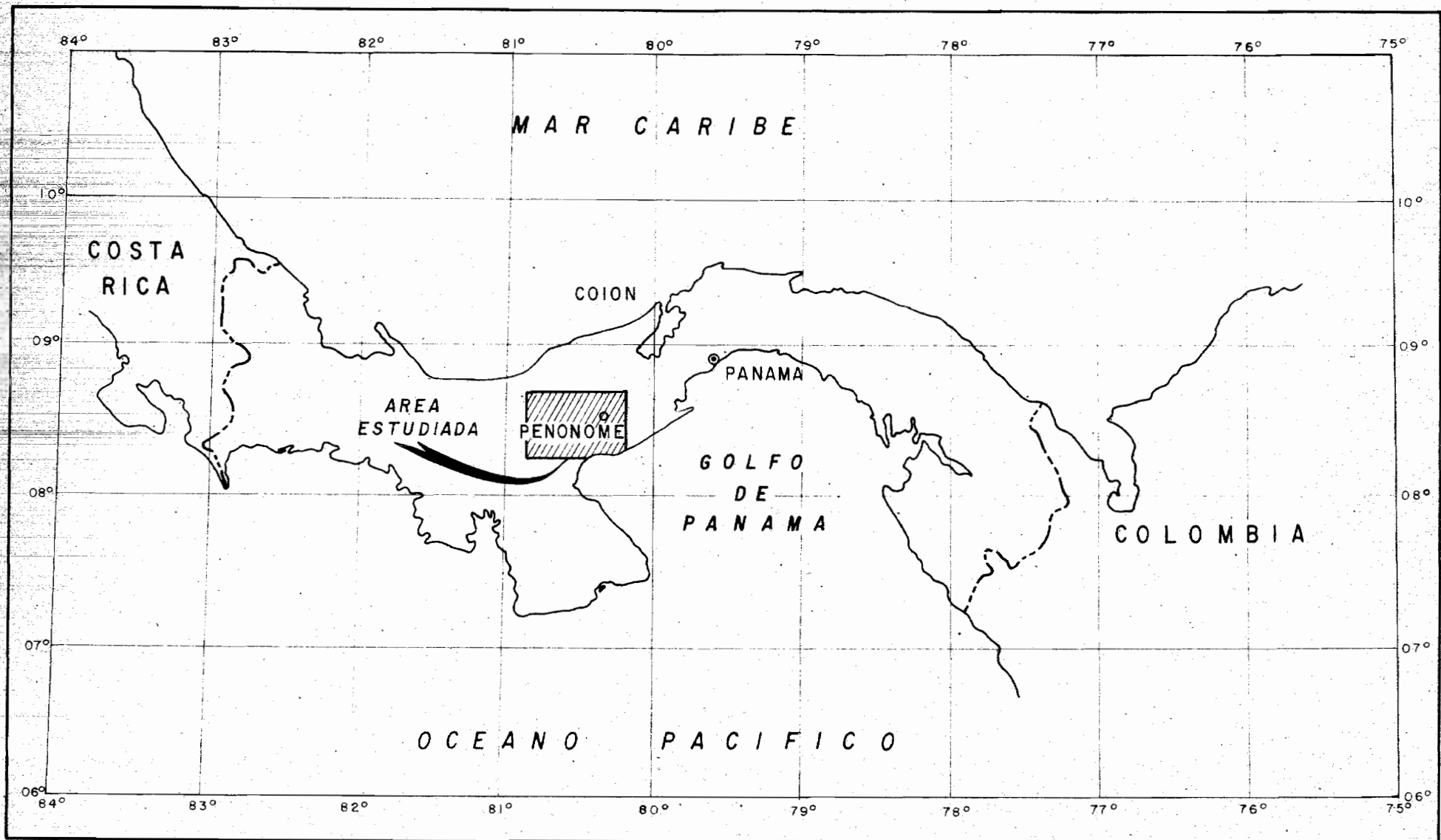
Para lograr la elevación del nivel de vida del país, es necesario un conocimiento real de sus recursos naturales, con el objeto de poder llevar a cabo un programa por su desarrollo económico, basado fundamentalmente en la realidad. Dentro de los recursos naturales, el agua ocupa un lugar de primera importancia.

El propósito de este estudio es contribuir al conocimiento de las aguas subterráneas en el área denominada "Los Llanos de Coclé", Provincia de Coclé, República de Panamá, es decir, localización, movimiento y evaluación de dichas aguas, lo cual permitirá conocer la factibilidad de su utilización en obras de servicio a la comunidad; ya sea en forma de riego, abastecimiento urbano, uso industrial etc.

### LOCALIZACION Y EXTENSION DEL AREA

El área que es objeto de este estudio está ubicada en la Provincia de Coclé, en la parte central de la República de Panamá, a una distancia aproximada de 130 kilómetros <sup>(a 50)</sup> de la capital del país, y a  $80^{\circ}30'$  de longitud Oeste, y  $8^{\circ}30'$  de latitud Norte. (Fig. 1).

La longitud máxima del área es de aproximadamente 38 kilómetros de Este a Oeste, y la anchura máxima es de 36 kilómetros de Norte a Sur. Este estudio cubre un área aproximada de 1132 kilómetros cuadrados.



ESPINOSA 1972, FIGURA 1

MAPA DE LA REPUBLICA DE PANAMA MOSTRANDO LA LOCALIZACION DEL AREA ESTUDIADA

## VÍAS DE COMUNICACION

Las principales vías de comunicación son: la Carretera Interamericana que atraviesa la parte Este, Norte y Oeste del área, y comunica las principales ciudades en ella, y la carretera que va de Penonomé a La Pintada. También existen caminos vecinales de terracería y de herradura.

## ESTUDIOS PREVIOS

No se han hecho trabajos geológicos detallados en el área de estudio. Los trabajos que tratan directamente sobre el área se presentan a continuación en orden cronológico.

Otros trabajos que tratan de la geología general, se mencionan en la bibliografía al final de este trabajo.

Matthews y Guzmán (1958), realizaron un trabajo sobre los suelos y la agricultura de los Llanos de Coclé. El catastro Rural de Tierras y Aguas de Panamá, confeccionó en el período de 1965 a 1967 un mapa geológico geomorfológico de Antón y Penonomé que está por publicarse. John C. Miller (1969), presentó un reporte hidrogeológico sobre el área de los Llanos de Coclé. Últimamente en 1970, Sientis and Partners realizaron un estudio dirigido hacia el aprovechamiento de las aguas superficiales en el área.

## MÉTODOS DE TRABAJO

Para elaborar el presente estudio se procedió en la forma siguiente:

- a.- Investigación bibliográfica: se recabó toda la información existente relacionada con el área y sus inmediaciones, con el objeto de ampliar conocimientos sobre el área.
- b.- Se llevó a cabo un estudio fotointerpretativo, sobre fotografías aéreas verticales, de escala aproximada 1: 20,000 proporcionadas por el Departamento de Recursos Minerales, del Ministerio de Comercio e Industrias de Panamá.
- c.- Método de mapas: la geología del área se mapó sobre fotografías aéreas, y la información fué transferida a un mapa topográfico base preparado por la Dirección de Cartografía de Panamá, el Servicio Geodésico Interamericano, y el Servicio de Mapas de la Armada de los Estados Unidos de América, compilado en 1959 por métodos fotogramétricos.

## GEOGRAFIA

### CLIMA

Existen dos estaciones climatológicas bien marcadas en el área de estudio, la estación seca y la estación lluviosa. Estas estaciones tienen duraciones variables, pero generalmente, la estación seca comienza en el mes de diciembre y se prolonga hasta el mes de mayo -- cuando se comienza la estación lluviosa.

Durante la estación seca el aumento de la temperatura coincide con una disminución de la humedad relativa. Esta situación permanece más o menos invariable hasta el comienzo de la estación lluviosa

(aproximadamente en el mes de mayo), cuando la temperatura desciende ligeramente y la humedad relativa empieza a aumentar. La humedad relativa disminuye rápidamente desde un promedio máximo de casi 90% a un promedio de 70% a mediados de la estación seca.

Durante la estación lluviosa la humedad relativa sigue aumentando hasta llegar a su máximo durante el mes de octubre, cuando las lluvias han alcanzado su mayor intensidad y la temperatura ha descendido a su mínimo. El proceso contrario ocurre a partir del mes de noviembre, y ya en diciembre la disminución de la humedad relativa y el aumento de la temperatura es bien notable..

La máxima precipitación ocurre durante los meses de octubre y noviembre. El promedio de precipitación anual en la estación meteorológica de Santa Clara próxima al área de estudio, para el período 1967-1970, fué de 1336.9 mm. Las estaciones meteorológicas de La Estrella y Río Grande registraron una precipitación promedio de 1316.0 mm. y 1455.5 mm. respectivamente para el período de 1955 a 1959. Estas dos últimas estaciones están ubicadas dentro del área de estudio.

Para obtener una idea mas general de la precipitación mensual en el área estudiada vease la Fig. 3 .

#### VEGETACION

De acuerdo con los ecólogos, la vegetación en Los Llanos de Coclé es de tipo tropical seca propia de las tierras bajas. Sin embargo existen variaciones en la vegetación que corresponden a lo que -

Table de Recaptacion mensual en La Estrella y Rio Grande. 1931-1969

Años	Est.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
1931	La E.	0	0	0	0	157.2	211.6	375.4	59.4	270.0	213.9	219.7	244.5	1749.5
	Rio G.													
1932	La E.	0	0	0	0	129.8	142.2	168.4	140.7	144.0	362.4	194.6	127.5	1409.6
	Rio G.													
1933	La E.	0	0	0	0	185.2	152.1	95.2	219.7	166.9	217.7	339.8	155.7	1532.3
	Rio G.													
1934	La E.	20.6	0	0	24.1	132.1	141.7	54.9	201.9	162.3	298.7	261.6	46.2	1344.1
	Rio G.													
1935	La E.	0	0	0	0	188.2	230.1	76.9	124.2	246.9	400.8	280.2	24.9	1512.2
	Rio G.													
1936	La E.	0	0	0	0	90.7	157.7	194.6	60.9	146.0	359.1	101.8	2.0	1112.4
	Rio G.													
1937	La E.	50.8	0	0	0	249.4	285.0	36.6	129.5	371.6	645.1	438.6	163.1	2369.7
	Rio G.													
1938	La E.	0	0	0	84.3	232.4	99.1	96.5	293.1	149.9	409.3	499.6	202.7	2166.9
	Rio G.													
1939	La E.	0	0	0	0	52.6	139.4	69.8	134.6	178.0	258.6	281.9	124.2	1239.2
	Rio G.													
1940	La E.	29.2	0	0	0	211.8	112.0	84.1	69.1	215.6	467.4	189.2	38.1	1356.5
	Rio G.													
1941	La E.	0	0	0	0	170.2	69.8	134.6	124.5	118.1	187.9	191.8	141.0	1137.8
	Rio G.													
1942	La E.	0	0	0	0	73.7	356.1	82.5	191.3	499.3	367.0	210.8	311.1	2091.8
	Rio G.													
1943	La E.	0	0	0	0	107.2	213.4	124.5	83.8	113.0	219.7	171.4	57.1	1090.1
	Rio G.													
1944	La E.	0	0	0	0	59.7	457.7	233.7	85.1	72.4	346.7	77.8	38.1	1501.1
	Rio G.													
1945	La E.	0	0	0	0	94.0	97.8	120.6	218.4	264.1	359.4	129.5	69.8	1353.7
	Rio G.													
1946	La E.	0	0	0	0	195.6	139.7	118.1	154.2	221.2	195.6	159.5	195.1	1378.9
	Rio G.													
1947	La E.	0	47.0	0	0	62.2	190.5	236.2	129.5	288.3	561.3	138.4	43.2	1696.6
	Rio G.													
1948	La E.	0	0	0	0	99.8	93.7	306.1	33.5	435.4	150.9	389.6	0	1492.8
	Rio G.													
1949	La E.	0	0	0	24.9	249.4	264.1	128.0	110.7	190.5	308.1	349.2	38.4	1663.3
	Rio G.													
1950	La E.	5.8	0	0	6.8	174.5	299.7	133.1	228.3	245.9	202.2	319.0	115.5	1780.1
	Rio G.													
1951	La E.	0	30.1	0	8.1	184.8	71.1	142.0	226.3	108.2	522.2	116.6	16.0	1425.4
	Rio G.													
1952	La E.	0	0	0	54.3	158.7	213.6	789.5	290.2	216.8	262.1	74.7	227.2	1396.3
	Rio G.													
1953	La E.	0	0	0	104.4	173.5	349.2	80.0	214.4	232.9	162.0	267.2	28.4	1610.0
	Rio G.													
1954	La E.	0	0	0	76.2	371.8	314.9	244.1	123.9	147.3	417.3	314.7	28.7	2038.0
	Rio G.													
1955	La E.	9.9	0	0	0	237.2	187.2	276.3	248.4	410.7	344.4	615.2	204.9	2534.3
	Rio G.	0	0	0	4.0	144.5	145.3	169.2	245.9	223.3	367.8	349.2	103.9	1753.1
1956	La E.	37.8	0	0	14.7	204.2	85.3	80.8	779.7	136.4	375.4	267.2	68.3	1548.1
	Rio G.	49.3	0	0.2	8.9	229.6	220.7	82.3	54.1	215.6	525.9	208.5	21.8	1438.7
1957	La E.	33.5	0	13.2	0	158.5	152.9	92.7	64.8	232.7	214.6	179.3	86.9	1229.0
	Rio G.	0	0	8.9	0	179.8	73.7	70.9	45.7	161.5	179.6	146.6	13.7	880.6
1958	La E.	0	0	0.3	0.3	190.2	133.6	65.5	314.9	193.8	203.2	220.9	24.6	1347.4
	Rio G.	0	0	0.6	5.0	164.0	138.5	185.0	142.5	285.1	221.3	88.0	22.5	1260.5
1959	La E.	0	0	0	0	0	251.7	43.2	42.9	69.3	329.2	189.2	0	925.5
	Rio G.	0	0	0	7.5	87.0	165.0	67.0	154.0	168.5	512.5	169.0	24.0	1354.5
1960	La E.	0	0	0	0	194.3	434.3	242.6	85.1	91.4	148.6	300.9	147.3	1644.6
	Rio G.	0	0	25.5	59.5	295.5	272.0	177.0	216.5	126.6	249.4	338.5	176.5	1937.0
1961	La E.	0	0	0	0	26.7	128.3	199.4	31.7	174.0	338.3	431.8	64.8	1394.9
	Rio G.	0	0	0	25.0	53.0	132.0	174.0	84.0	323.0	207.5	270.0	63.5	1332.0
1962	La E.	0	0	0	0	77.5	196.1	64.5	207.0	135.9	265.9	107.9	415.7	1059.4
	Rio G.	2.0	0	0	4.0	144.0	188.5	71.0	199.0	221.5	362.0	174.5	46.0	1412.5
1963	La E.	0	0	0	169.2	64.3	106.7	237.2	83.8	81.8	360.4	268.2	0	1371.5
	Rio G.	1.5	7.0	0	155.5	56.5	233.0	143.0	145.5	220.0	361.5	312.5	1.0	1637.0
1964	La E.	0	0	0	7.1	77.7	170.4	67.6	198.1	204.0	496.0	224.8	0	1445.7
	Rio G.	0	0	0	83.0	121.5	172.5	201.0	176.5	197.5	722.0	109.5	17.0	1801.0
1965	La E.	0	0	0	0	186.7	57.1	55.9	103.1	224.8	184.7	259.6	53.3	1125.1
	Rio G.	0	0	0	0	90.0	61.0	40.5	49.5	187.5	203.0	257.0	31.5	922.0
1966	La E.	0	0	0	91.9	272.8	77.5	243.8	167.6	107.4	298.7	49.8	74.7	1384.2
	Rio G.	0	0	0	34.0	309.0	187.5	113.0	180.0	105.0	282.5	155.0	101.0	1467.0
1967	La E.	0	0	0	13.2	124.5	102.4	30.5	77.5	84.3	85.1	87.6	30.5	635.4
	Rio G.	0	21.0	0	71.5	85.3	418.0	103.0	90.0	161.5	315.5	136.5	126.5	1529.0
1968	La E.	0	43.2	0	0	30.5	171.4	151.1	86.7	140.9	259.6	119.4	43.2	1046.1
	Rio G.	0	75.0	1.0	24.0	163.5	199.0	208.5	146.5	200.5	241.5	109.0	51.0	1419.5
1969	La E.	3.8	0	0	26.2	80.8	84.3	110.0	132.6	342.1	289.0	194.8	15.2	1278.8
	Rio G.	4.0	0	4.0	49.0	293.5	244.5	92.5	202.0	412.5	229.5	1.0	1.0	1455.5
PROMEDIO 1931-1969	La E.	5.7	2.9	0.9	21.5	128.4	155.9	130.8	128.1	175.3	279.5	234.4	54.6	1318.0
	Rio G.	3.8	6.9	2.7	35.4	161.1	190.1	126.5	142.1	214.0	318.8	201.5	53.4	1455.5

PROMEDIO LA ESTRELLA 1931-1969

PROMEDIO RIO GRANDE 1955-1969

PROMEDIO 1931-1969	La E.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
	4.8	2.8	0.3	18.0	147.3	183.9	139.4	141.7	200.7	308.6	238.5	85.6	1471.8	

podríamos determinar como el microclima del suelo. En el pasado seguramente toda esta región estuvo cubierta por bosques. Actualmente prácticamente no existen bosques vírgenes.

En la tierra accidentada se encuentran densas manchas de repoblación, consistiendo la vegetación de árboles y arbustos dispersos y de hierbas cortas naturales de la región. Los árboles más comunes son el chumico (Curatela americana L.), el marañón (Anacardium occidentale L.), y el nance (Byrsonima crassifolia L., Rich.).

Las partes planas de la zona están cubiertas por hierbas cortas, árboles de chumico, marañón, nance y otras especies.

En los depósitos aluviales, donde la humedad permanece en el suelo durante la estación seca, existen manchas de vegetación de bastante altura.

Los árboles más prominentes de la región son el carotú (Enterolobium cyclocarpum Jacq., Griseb.), el espavé (Anacardium excelsum Bert. y Balb., Skeel.), y otros como el higuaron, matapalo, amate etc.. También se encuentran en el área arbustos, enredaderas y helechos.



## GEOLOGIA

### GEOMORFOLOGIA

La topografía del área de estudio ha sido formada principalmente por erosión. El área es relativamente plana con excepción de la parte Norte y Oeste, y presenta una pendiente de uno a dos metros por kilómetro. Los principales factores que determinaron la configuración del panorama topográfico son: el clima, el carácter litológico y la posición de los estratos. El clima tropical húmedo prevaleciente durante la estación lluviosa favorece el intemperismo químico. Como la vegetación es relativamente escasa el agua de los ríos así como la proveniente de las lluvias es un agente efectivo de erosión.

En el área estudiada la región al Este del Río Grande se extiende sobre el flanco S-O del cono volcánico del volcán El Valle. Las pendientes del cono son menos pronunciadas a medida que uno se aleja del mismo, no obstante la forma cónica se mantiene hasta su intersección con la línea costera, perdiéndose hacia el Oeste debajo de las planicies aluviales.

El volcán El Valle parece ser el principal responsable de la actividad volcánica en la región, sin embargo durante la historia geológica de esta, las erupciones volcánicas probablemente emanaron de varios centros. La formación del cráter actual (o caldera), fué probablemente un evento geológico reciente, procedido por un crecimiento gradual del cono.



Los últimos períodos de actividad del volcán El Valle fueron durante el Pleistoceno (Terry, 1956). Las erupciones depositaron grandes cantidades de fragmentos volcánicos de variada litología, cristales de cuarzo, fragmentos de roca, pumita, vidrio volcánico y cenizas finas, sobre la topografía existente alrededor del volcán. Los depósitos resultantes se encuentran formando los cerros y planicies de la mencionada región.

La región al Oeste del Río Grande es geomorfológicamente más vieja que la región Este y presenta una topografía más madura. Las rocas predominantes son en su mayoría ignimbritas y lavas.

Las tierras altas se caracterizan por escarpes y relieve pronunciado, con largos filos separados por valles de paredes abruptas. Las tierras altas pasan abruptamente a tierras bajas un poco al Norte de la Carretera Interamericana. Las tierras bajas, descienden suavemente hacia el mar, donde la planicie general del terreno es interrumpida por numerosos cerros de variadas formas y tamaños. Estos cerros constituyen remanentes de una topografía antigua que ha sido parcialmente sepultada por los depósitos aluviales de los Llanos. En las partes planas de la región situadas entre las montañas y la costa, se encuentran numerosos montículos de rocas volcánicas.

## Sistema de drenaje

En el área se pueden observar dos tipos distintos de drenaje. Los ríos Zarafí, Chorrera, Hondo y Antón y sus tributarios drenan la parte Este y fluyen en dirección S-O, pero al entrar a los Llanos fluyen hacia el Sur describiendo trayectorias curvas para ir a desembocar a la Bahía de Parita. En su curso superior los ríos fluyen en cañones angostos de pendientes pronunciadas. El patrón de drenaje es de tipo radial. En sus cursos inferiores los ríos por su falta de pendiente, forman cauces divagantes dando lugar a la formación de zonas pantanosas.

En la parte Oeste del área los ríos drenan los flancos al Sur de las montañas y siguen un rumbo S-SE, excepto el Río Chico, que fluye en dirección O-E antes de su confluencia con el Río Grande. Los ríos principales son el Río Grande, río El Caño y Río Chico. Estos ríos se juntan poco antes de llegar al mar, y fluyen por canales cortados unos cuantos metros bajo la superficie del terreno. El patrón de drenaje puede considerarse dendrítico y está controlado localmente por la estructura.

## Fisiografía

Los Llanos de Coclé están ubicados en la parte S-SO del extinto volcán El Valle y forman parte de la provincia volcánica emplazada en la parte central de la República de Panamá. Los Llanos se extienden desde la población de Bejuco en la provincia de Panamá hasta poco más allá del margen Oeste del Río Grande en la provincia de Coclé, con una ex-

tensión aproximada de 85 kilómetros.

El área que es objeto de este estudio comprende la parte Oeste de los Llanos y se divide fisiográficamente en dos regiones con características geológicas superficiales distintas que son: la región al Este del Río Grande y la región al Oeste del mencionado río (Fig. 3). El área está disectada en su lado Este por los ríos Zarafí, Hondo, Estancia, Chorrera y río Antón; en el Oeste por los ríos Grande, Chico y El Caño así como por los tributarios de éstos. En su parte Norte y Oeste el área está limitada por picos y cerros pertenecientes a la extensión Este de la Cordillera del Tabasará. Estos cerros tienen elevaciones que varían de 30 a 600 metros sobre el nivel general de los Llanos que yacen entre los diez y setenta metros de altitud.

Las elevaciones máximas están representadas por el Cerro Guacamaya con una altitud de 645 metros al Norte del área y por Cerro Muela con una altitud de 546 metros al Noroeste. En la parte Sur el área se caracteriza por la presencia de un grupo de cerros cuyas elevaciones varían de 20 a 190 metros. Los cerros cubren áreas variables de 100 metros cuadrados a 10 kilómetros cuadrados. Hacia el Sureste la superficie del terreno desciende suavemente hasta la costa que se encuentra cubierta por cienegas y manglares.

En su parte superior los ríos fluyen generalmente sobre lechos rocosos, pero en las partes bajas del área aparentemente no han cortado del todo a través de las tobas y el substrato de rocas gneás no ha sido expuesto.



Depósitos coluviales derivados del intemperismo de las rocas expuestas en las partes altas de los cerros, cubren las rocas en la base de estos. El aluvión se presenta como relleno de valles a lo largo de los ríos que drenan el área.

#### MARCO GEOLÓGICO

Los detalles de la evolución fisiográfica del área no son bien conocidos; sin embargo, de acuerdo con Hershey (1901, p. 264), los siguientes eventos ocurrieron en el Istmo de Panamá a partir del Eoceno y por consiguiente afectaron el área de estudio.

- 1.- Una posible elevación a mediados del Mioceno, seguida por un período de estabilidad que tuvo como consecuencia la formación de un peneplano Terciario.
- 2.- Otro marcado levantamiento, en alguna parte del Plioceno. Esto trajo como resultado la erosión de valles profundos en las montañas y la formación de la planicie pleistocénica.
- 3.- Un levantamiento a mediados del Pleistoceno; insignificante en la adición de costas comparado con levantamientos previos. Esto resultó en la excavación de valles en las planicies costeras levantadas y en la profundización de los valles en las cordilleras.
- 4.- Un hundimiento prolongado pero de pocas proporciones de las zonas costeras al comienzo de la Epoca Reciente, correlativo con un probable levantamiento tierra adentro; formándose como resultado planicies costeras en el lado Pacífico y arrecifes de

corales en el Caribe.

Estudios recientes realizados en el Golfo de Panamá por Golik -- (1968), parecen confirmar en gran parte esta última observación. Estos es tudios se basaron en los cambios litológicos y faunales observados en nú cleos de la plataforma continental, y en los patrones de sedimentación. El concluye que la transgresión marina comenzó a principios del Oloceno y - que hace aproximadamente 1,500 años, el nivel del mar era de unos 50 metros más bajo que el nivel actual; además que esta transgresión debió de haber sido muy rápida, hasta de siete metros por año en el Golfo de Parita.

## ESTRATIGRAFIA

No se han hecho estudios geológicos detallados en esta región y por lo tanto no se conoce con exactitud la estratigrafía del área. La columna estratigráfica que aquí se presenta debe considerarse como preliminar y ha sido basada principalmente en los trabajos realizados por John C. Miller ( 1969 ), y Binnie and Partners ( 1970 ), Fig. 4. Por otra parte - la ausencia de fósiles en el área hace difícil la asignación de edades a las unidades de rocas identificadas, y las edades asignadas a ellas pueden variar considerablemente.

Las rocas consolidadas y no consolidadas expuestas en el área de estudio combinan rocas sedimentarias y volcánicas. Las rocas volcánicas forman principalmente las montañas circunvecinas, que consisten de lavas e ignimbritas y piroclásticos provenientes de las erupciones sucesivas de los volcanes vecinos. Las rocas sedimentarias cubren sobre todo las partes bajas comprendidas entre las montañas mencionadas y el mar.

Las rocas más viejas expuestas son rocas miocénicas extrusivas y algunas intrusivas en cerro Las Minas. Estas rocas afloran en los cerros y montañas a lo largo de los límites O y NO del área.

## COLUMNA ESTRATIGRAFICA

EDAD APROXIMADA		UNIDADES LITOSTRATIGRAFICAS
Reciente	-----	Aluvión
Plio-Pleistoceno	-----	Arenas Tobaceas
	-----	
	Discordancia	-----
Plio-Pleistoceno	-----	Arcillas blancas
Plio-Pleistoceno	-----	Toba pumítica
	-----	
	Discordancia	-----
Plio-Pleistoceno	-----	Intrusiones basálticas
Plio-Pleistoceno	-----	Ignimbrita Cerro Gordo y Petaca
Plio-Pleistoceno	-----	Escoria
Plio-Pleistoceno	-----	Ignimbrita Guacamaya y Encanto
Mioceno	-----	Rocas extrusivas volcánicas
Terciario	-----	Rocas intrusivas volcánicas (basaltos?)

Fig. 4.- Columna estratigráfica basada en los trabajos de John C. Miller y Binnie and Partners.



## GEOLOGIA ESTRUCTURAL

La estructura geológica de las rocas superficiales en el área es simple, aunque la estructura de las rocas subyacentes puede ser compleja.

Según Woodring (1957, p. 57), la deformación más fuerte conocida en la historia geológica de la Zona del Canal y de las partes adyacentes a esta tuvo lugar en el Cretácico. Sin embargo la edad de la deformación no está confirmada y el patrón estructural que ella produjo no es conocido.

El segundo período de deformación reconocido se produjo posiblemente durante el Mioceno o Plioceno, y tuvo como resultado la formación de las características estructurales presentes de la parte central del país, expresadas por un sistema principal de fallas con rumbo N-S. En el área en estudio, se observa un patrón semejante al antes mencionado.

Las principales evidencias de fallas son los lineamientos observados en las fotografías aéreas. Aparentemente la mayoría de estas fallas son de tipo normal con cierta cantidad de desplazamiento horizontal. Las fallas parecen controlar las características topográficas principales.

Además de las fallas y fracturas asociadas a ellas, la mayoría de las rocas ígneas presentan fracturamientos causados por el enfriamiento de las rocas. Este fracturamiento tiene a menudo apariencia columnar.

El número de fallas es bastante grande, al Norte y Noroeste del área estas tienen un rumbo general NE. En la parte Sur las fallas posiblemente son responsables de las intrusiones basálticas que se encuentran en el área y que han sido expuestas por la erosión. Las fallas están --

aparentemente relacionadas a un levantamiento general de la cordillera - más que a movimientos separados.

Las fallas en el Cerro Encanto parecen extenderse hacia el Sur - dentro de las arenas tobáceas .

Es poco probable que la superficie presente de los Llanos haya si do afectada por movimientos a lo largo de los sistemas de fallas antiguas en el área. Se considera que las arenas y tobas pumíticas simplemente cu brieron las rocas más antiguas del área.

Los pliegues no son observables en las fotografías usadas y pare cen ser de menor importancia. El anticlinal y sinclinal en la parte NO del mapa adjunto han sido incorporados de los mapas confeccionados por el Catastro Rural de Tierras y Aguas de Panamá. Plegamientos y ladeamientos seguramente han ocurrido; los buzamientos son generalmente menores de 30°.

## HIDROGEOLOGIA

### UNIDADES HIDROGEOLOGICAS

Una unidad hidrogeológica es una subdivisión de la corteza terrestre que se distingue y se delimita tomando como base su permeabilidad, que como sabemos está directamente relacionada a la porosidad de la roca.

Tomando como base lo expresado en el párrafo anterior, en este trabajo se han definido siete unidades hidrogeológicas a partir de las unidades litoestratigráficas que se presentan en la Fig. 4.

En la definición de las unidades hidrogeológicas se hizo uso de las características observadas en los pares estereoscópicos, siendo luego los resultados comparados con los estudios realizados por el Catastro Rural de Tierras y Aguas de Panamá (CATAPAN), lo que facilitó grandemente esta parte del trabajo. Dichas unidades se describen a continuación, y su distribución aérea se muestra en el mapa adjunto.

Para la descripción de estas unidades, se tiene como encabezado el nombre, informal, que se les asignó en este estudio y dentro del parentesis, la edad supuesta y las siglas con las que se han cartografiado en el mapa fotohidrogeológico, anexo a este texto.

**Aluvión (Reciente,  $R_{alp}$  ;  $R_{ali}$ )** .- En este trabajo el término aluvión se refiere a los depósitos formados principalmente por material de acarreo (gravas y arenas), que se encuentran generalmente a ambos lados de las márgenes de los rios y a los lodos y arcillas que forman cienegas y pantanos

en la parte Sur del área. Esta unidad corresponde a los depósitos superficiales descritos por Binnie and Partners (1970, p. 5).

La unidad está formada por gravas y arenas que contienen arcillas y limos, y por depósitos coluviales ( $R_{alp}$ ); así como por lodos y arcillas ( $R_{ali}$ ). El espesor de la unidad es variable, y en los ríos Cocle, y Río Grande el ancho de la unidad es de aproximadamente de 500 metros, y el espesor promedio puede ser de 15 metros (Binnie and Partners 1970, p. 39).

**Arenas tobáceas (Plio-Pleistoceno,  $PP_{at}$ ).** - Con este nombre se denominan las capas de material tobáceo con fragmentos pumfíticos y cuarzo volcánico que aflora en Los Llanos de Coclé. Las arenas cubren la mayor parte del área de estudio, y se extienden desde las montañas al Norte de Penonomé en dirección Sur hasta el Golfo de Parita, y desde Antón en dirección Oeste hasta poco más allá del Río Grande. Estas arenas posiblemente forman parte de la formación San Carlos descrita por Hershey (1901, p.259), y las Arenas Coclé (Miller 1970, p. 56).

La unidad consiste de material tobáceo en diferentes cantidades incluyendo fragmentos pumfíticos y cuarzo volcánico. El espesor de los estratos varía de 1.5 metros en el S y SO a 30 metros en el N y NE del área. Las arenas están cubiertas por suelos rojos y blancos, y por arcillas impermeables de color gris-blanco.

**Intrusiones basálticas (Plio-Pleistoceno,  $PP_b$ ).** - Las rocas que forman esta unidad afloran en la parte Sur del área en forma de intrusiones que forman cerros de diversos tamaños. El nombre "Intrusiones basálticas",

fué usado anteriormente por Miller (1969, p. 55), para referirse a estas rocas.

La unidad consiste de pórfidos basálticos de grano medio y color gris oscuro. Las rocas de esta unidad aparentemente intruyen las rocas volcánicas miocénicas de Cerro Puerto Posada.

**Ignimbrita (Plio-Pleistoceno, PP<sub>ig</sub>).**.- El nombre, Ignimbrita, se emplea para las rocas que forman las montañas al Este del Río Grande en la parte Norte del área. Incluye las unidades litoestratigráficas Ignimbrita Guacamaya y Encanto, Ignimbrita Cerro Gordo y Petaca, y Escoria, -- descritas por Miller (1969).

La unidad consiste de ignimbritas compactas con lentes de vidrio y fragmentos pumíticos, escoria y roca silicificada.

**Rocas extrusivas volcánicas (Mioceno, M<sub>ev</sub>).**.- Este nombre se -- usa para las rocas que afloran en los cerros y montañas a lo largo de los límites O y NO del área, así como en Cerro Puerto Posada, Loma de los Muertos y Cerro Congo. Incluye las "Rocas Volcánicas" descritas por -- Miller (1969).

La unidad consiste principalmente de ignimbritas ácidas y lavas, riolitas, tobas y arenisca tobácea.

**Rocas intrusivas volcánicas (Terciario, T<sub>iv</sub>).**.- Con el nombre, Rocas intrusivas volcánicas, se denominan las rocas que afloran en el cerro Las Minas. La unidad consiste posiblemente de rocas basálticas.

## CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS DE LAS UNIDADES DEFINIDAS

Las principales rocas que forman acuíferos en el área son las gravas y arenas aluviales, y las arenas tobáceas que cubren la mayor parte de la superficie de los Llanos. Acuíferos menores se presentan en las tobas pumíticas.

En la descripción de las características hidrogeológicas se utilizaron las siguientes escalas arbitrarias de permeabilidades y de capacidad de infiltración:

Escala de permeabilidades.- permeable, baja o poco permeable e impermeable.

Escala de capacidad de infiltración.- Alta, deficiente y reducida.

Los siguientes párrafos describen las características hidrogeológicas de estas unidades.

Aluvión ( $R_{alp}$  ;  $R_{ali}$  ).

$R_{alp}$  .- Permeable, capacidad de infiltración alta. Forman acuíferos someros buenos.

$R_{ali}$  .- Impermeable

Arenas Tobáceas ( $PP_{at}$  ).

Permeables, capacidad de infiltración alta. Forman acuíferos no confinados buenos.

Intrusiones basálticas ( $PP_b$  ).

Impermeables, capacidad de infiltración reducida, muy poca agua puede esperarse de estas rocas, no forman acuíferos.

**Ignimbrita (PP<sub>ig</sub> ).**

Impermeables o poco permeables, capacidad de infiltración deficiente o reducida. Acuíferos pobres.

**Rocas extrusivas volcánicas (M<sub>ev</sub> ).**

Con excepción de las tobas arenosas y areniscas tobáceas de baja permeabilidad que afloran en Loma de los Muertos, las demás rocas son impermeables excepto a lo largo de los planos de contacto entre las capas y a lo largo de fracturas. Por lo tanto es poco probable la obtención de agua de estas rocas aunque en algunos casos pueden formar acuíferos pobres.

Permeabilidad baja o nula, capacidad de infiltración deficiente, acuíferos pobres.

**Rocas intrusivas volcánicas (T<sub>iv</sub> ).**

Impermeables, capacidad de infiltración reducida. No forman acuíferos.

*Poner los límites de las zonas  
hidrológicas.  
Localizar el volcán El Valle.*

## FUNCIONAMIENTO HIDROLOGICO DE LAS UNIDADES INFERIDAS

El área estudiada la podemos dividir en dos zonas hidrológicas - que son: la zona hidrológica definida por el flanco SO del volcán El Valle al Este del Río Coclé ( 1 ), y la cuenca del Río Grande al Oeste del mencionado río ( 2 ), Fig. 3. La división entre estas dos zonas se encuentra posiblemente sepultada por los sedimentos recientes.

El sistema de flujo de las aguas subterráneas de poca profundidad en las zonas mencionadas, puede compararse con el sistema ideal descrito por Hubbert ( 1940 ). Los componentes esenciales del sistema, consisten de una zona de recarga ubicada en los flancos de las montañas, y una zona de descarga próxima a la costa o en el mar, separadas por una región de flujo lateral. Los límites del sistema serían el parteeguas natural de el área, el nivel freático, la superficie superior del sistema, y una zona de rocas impermeables o cualquier otro límite que impida el flujo en las partes bajas del sistema.

Aluvión (R<sub>alp</sub> ; R<sub>all</sub> ).

Los acuíferos en esta unidad son de tipo libre. La recarga en ellos proviene tanto de la precipitación como de las infiltraciones de agua de los ríos en el área.

Como la dirección de movimiento de las aguas subterráneas - en los depósitos superficiales es generalmente la misma que la pendiente de la superficie del terreno, la dirección de flujo en estos acuíferos se infiere hacia el Sur.



Debido a su menor superficie la pérdida de agua por evapotranspiración en los acuíferos debe ser menor que en los acuíferos de las arenas Coclé. Por otra parte aún cuando la descarga de las aguas subterráneas por evapotranspiración puede ser cuantitativamente importante en los acuíferos, seguramente es pequeña comparada con otros tipos de descarga de las aguas subterráneas.

**Arenas tobáceas, (PP<sub>at</sub>).**

Por su alta permeabilidad y su gran extensión, estas arenas forman los principales acuíferos en el área. Como la permeabilidad de las arenas es mayor en las zonas contiguas a las montañas, la mayor parte de la recarga de los acuíferos ocurren en esta zona. La infiltración de agua en los acuíferos en otras partes de la unidad es menor, especialmente hacia el Sur donde la permeabilidad de las arenas es mucho menor. La baja permeabilidad de las arenas en el área puede estar indicada por la presencia de caliche. No se excluye la posibilidad de infiltración de agua en los acuíferos proveniente de los ríos en el área, ya que cuando los ríos cruzan áreas donde el nivel freático está por debajo del nivel del río, parte del agua de estos se infiltra hacia los acuíferos.

Los acuíferos son de tipo libre y por regla general las líneas de flujo van de la zona de recarga hacia las zonas de descarga

en las partes más bajas, en este caso hacia el Sur. Sin embargo las irregularidades de la superficie de las rocas subyacentes pueden modificar y complicar la dirección del movimiento del agua.

#### **Intrusiones basálticas (PP<sub>b</sub>)**

La unidad está constituida por afloramientos basálticos aislados. Por su poca permeabilidad y por la extensión reducida de esta unidad, se considera sin importancia hidrológica.

#### **Ignimbrita (PP<sub>ig</sub>)**

La importancia hidrológica de la unidad estriba en que sirve de zona de captación de la precipitación que ultimadamente va a recargar los acuíferos en las Arenas tobáceas. De acuerdo con la topografía, el flujo natural de las aguas se infiere hacia el Sur. El grado de fracturamiento de las rocas y la inclinación hacia el Sur de los estratos observados en las fotografías aéreas, favorecen la infiltración y trasmisión del agua hacia las arenas acuíferas.

Es poco probable la obtención de volúmenes apreciables de agua de esta unidad por las razones que se apuntan en el caso de las rocas miocénicas.

#### **Rocas extrusivas volcánicas (M<sub>ev</sub>)**

Esta unidad sirve de zona de captación de la precipitación que finalmente va a recargar los acuíferos en las partes bajas de la cuenca del Río Grande. A pesar de que las rocas en la unidad

son poco permeables, por el grado de fracturamiento en que se encuentran y por la inclinación general de los estratos que se observa en las fotografías aéreas, favorecen la infiltración y transmisión del agua hacia los acuíferos mencionados.

Por otra parte aunque cierta cantidad de agua subterránea pueda estar contenida en esta unidad, la baja transmisibilidad regional impide el uso de estas rocas como acuíferos y se consideran generalmente como barreras para la formación de conos de depresión efectivos.

Los pequeños afloramientos de esta unidad que se presentan dispersos en el área de estudio carecen de importancia hidrológica.

Rocas intrusivas volcánicas (T<sub>iv</sub>).

Estas rocas son de extensión reducida y no tienen importancia hidrológica.

#### RELACIONES ENTRE LAS UNIDADES GEOLOGICAS E HIDROGEOLOGICAS

Una unidad geológica litoestratigráfica es una subdivisión de las rocas de la corteza terrestre que se distingue y se delimita tomando como base sus características litológicas; en tanto que una unidad hidrogeológica es una subdivisión de <sup>rocas de la</sup> corteza terrestre que se distingue y se delimita tomando como base su permeabilidad, que como sabemos está directamente relacionada al tipo, tamaño y forma de los espacios intergranulares, o sea la porosidad de la roca.

De lo expuesto anteriormente, es aparente que la definición de las unidades litoestratigráficas e hidrogeológicas, se basa en características diferentes de las rocas, y por lo tanto no puede existir entre ambas unidades una relación constante. Así en la definición de las unidades litoestratigráficas entran en juego las características de las partes sólidas de las rocas, más no así en las unidades hidrogeológicas en que la definición se fundamenta en el concepto de permeabilidad que está condicionado a la porosidad de la roca en cuestión.

Por otra parte, comunmente una sola unidad litoestratigráfica puede contener varias unidades hidrogeológicas, o varias unidades litoestratigráficas pueden formar una sola unidad hidrogeológica, y solo en algunas ocasiones las unidades litoestratigráficas coinciden exactamente con las unidades hidrogeológicas.

El Código de Nomenclatura Estratigráfica, no contempla entre las categorías de unidades estratigráficas a las unidades hidrogeológicas. Sin embargo a mi juicio algunas de las recomendaciones y reglamentos que se enumeran en el Código para la clasificación y denominación de las unidades litoestratigráficas podrían extrapolarse a las unidades hidrogeológicas.

En la designación de las unidades hidrogeológicas en este estudio, se han agrupado algunas unidades litoestratigráficas diferentes que tienen características hidrológicas similares. Esta situación se presenta gráficamente en la Fig. 5.

Las unidades litoestratigráficas ni las unidades hidrogeológicas

aquí aludidas pueden considerarse como unidades estratigráficas formales ya que no cumplen con los requisitos establecidos en el Código de Nomenclatura Estratigráfica para ser consideradas como tal.

A continuación se presenta una relación entre las características principales de las unidades litoestratigráficas e hidrogeológicas.

- 1.- Las unidades litoestratigráficas se definen por sus características litológicas, mientras que las unidades hidrogeológicas, se definen por sus propiedades de porosidad y permeabilidad.
- 2.- Ambas unidades son esencialmente unidades prácticas de trabajo geológico que sirven para estudiar entre otras cosas los recursos económicos de una región.
- 3.- En el caso de las unidades litoestratigráficas la extensión de una unidad definida a cuerpos de rocas separados solo es permisible cuando sean homotaxiales; pero en las unidades hidrogeológicas la extensión de una unidad definida a cuerpos de rocas separadas es posible cuando ambas tengan propiedades de porosidad y permeabilidad semejantes, y así definen una sola distribución geográfica, fácilmente cartografiable.
- 4.- En las unidades litoestratigráficas ni en las unidades hidrogeológicas, los conceptos basados en la historia geológica inferida o en la secuencia biológica juegan papel importante en la definición o diferenciación de estas unidades.

5.- La definición de las unidades litoestratigráficas e hidrogeológicas es independiente del concepto tiempo.

Edad geológica	Unidades litoestratigráficas	Litología	Espesor (metros)	Sección Geológica	Unidades Hidrogeológicas
Reciente	Aluvión	Arenas y gravas	15		Acuifero
Plioceno-Pleistoceno	Arenas tobáceas	Consisten de material tobáceo, frag. pumfíticos y cuarzo	20		Acuifero
Plioceno-Pleistoceno	Arcillas blancas	Arcillas compactas	?		Acuicludo
Plioceno-Pleistoceno	Tobas pumfíticas	Tobas pumfíticas y tobas lapilíticas	100		Acuifero Confinado?
Plioceno-Pleistoceno	Basaltos	Basaltos de grano medio	?		Acuicludo
Plioceno-Pleistoceno	Ignimbrita Cerro Gordo y Petaca	Ignimbritas con lentes de vidrio y fragmentos pumfíticos	?		Acuicludo
Plioceno-Pleistoceno	Escoria	Escoria y roca silicificada	?		
Plioceno-Pleistoceno	Ignimbritas Guacamaya y Encanto	Ignimbritas compactas, fracturadas y afelladas	?		
Mioceno	Rocas volcánicas extrusivas no diferenciadas	Ignimbritas ácidas y lavas. Riolitas y tobas lapilíticas. Tobas arenosas y areniscas tobáceas	?		Acuicludo
Terciario	Rocas intrusivas volcánicas	Basaltos?	?		

Figura 5.- COMPARACION ENTRE LAS UNIDADES LITOSTRATIGRAFICAS Y LAS UNIDADES HIDROGEOLOGICAS.

## OCURRENCIA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Por considerarlos de interés general, ha continuación se presentan algunos principios sobre la ocurrencia de las aguas subterráneas que se han tomado del trabajo de Evenson (1959, p. 11).

El agua bajo presión hidrostática que se encuentra saturando los espacios en las rocas consolidadas y los depósitos no consolidados dentro de la corteza terrestre se llama agua subterránea. En los depósitos no consolidados los espacios (poros), se presentan entre las partículas de las rocas; en las rocas consolidadas, los espacios más comunes son fracturas, aunque algunas rocas como las areniscas también contienen poros. Los espacios en las rocas consolidadas generalmente no son continuos o uniformes como los espacios en las arenas y gravas.

El agua que llega a la superficie de la tierra en forma de precipitación o pasa sobre la superficie en forma de corriente en los ríos o el agua de irrigación, (a) se evapora directamente en la atmósfera, (b) es usada por las plantas en su proceso de crecimiento, (c) se descarga en el océano, y (d) se infiltra en la tierra donde alguna porción de ella se retiene como humedad del suelo; el resto penetra en la zona de saturación. Dentro de la zona de saturación, el agua puede estar en forma no confinada (condiciones del nivel freático) o confinada (condiciones artesianas). El confinamiento ocurre donde una capa permeable, como una capa de grava, está sobreyacida y subyaci-



da por capas impermeables (confinantes) como capas de arcilla, entre las cuales el agua se encuentra bajo presión. Sobre la zona de saturación en una formación de gravas o arenas no consolidadas, llamada la zona de aereación, una capa impermeable puede actuar como barrera para la infiltración del agua y así puede formar cuerpos de agua superficiales.

Donde un acuífero tiene un afloramiento submarino abierto al mar, la parte más baja del acuífero puede estar llena de agua salada y la parte superior con agua dulce, la cual flota sobre el agua salada por tener menor gravedad específica. Qué tanto sea el agua dulce capaz de desplazar el agua salada hacia abajo y hacia el mar depende de la presión y la cantidad de flujo del agua dulce. El espesor de un lente de agua dulce es proporcional a la razón de las densidades relativas de los dos tipos de agua, por lo tanto, en un cuerpo saturado de agua dulce la presión provocada cuando el nivel freático se encuentra a una altura de un pie sobre el nivel del mar, desplazará la interfase aproximadamente 40 pies bajo el nivel del mar, asumiendo que la gravedad específica del agua del mar es de 1.025. Cuando la presión hidrostática se abate por explotación irracional de los pozos, la interfase tiende a subir. El agua salada en un acuífero debajo de una planicie costera se moverá tierra adentro y eventualmente invadirá los pozos, si la columna hidrostática del agua dulce se reduce lo suficiente para permitir que la interfase su-

ba hasta el fondo de los pozos. Si se colectan muestras de agua periódicamente de los pozos para ser analizadas, la invasión del agua salada puede ser detectada rápidamente por el aumento en el contenido de cloruros.

## FOTOINTERPRETACION

### PROCESOS FOTOINTERPRETATIVOS EMPLEADOS

En este estudio se utilizaron varios procesos fotointerpretativos encaminados a obtener información para la evaluación hidrogeológica del área propuesta.

Los resultados de esta investigación se presentan en el texto de esta tesis, y en el mapa fotohidrogeológico adjunto. Los procesos mencionados se enumeran a continuación.

- 1.- Revisión de la literatura referente a el área en estudio y a las unidades litológicas presentes.
- 2.- Selección del mapa base.
- 3.- Estudio de las fotografías aéreas para obtener una visión general del terreno, así como de los rasgos hidrogeológicos principales.
- 4.- Interpretación y anotación de los datos geológicos sobre las fotografías.
- 5.- Identificación y delineación de las unidades litoestratigráficas.
- 6.- Identificación y delineación de fallas, lineamientos, rumbos y buzamientos.
- 7.- Agrupación de las unidades litoestratigráficas en unidades hidrogeológicas.

- 8.- Preparación del mapa fotohidrogeológico mediante la transferencia de la información geológica anotada en las fotografías al mapa base.
- 9.- Utilización de los datos de fuentes no fotográficas en la comprobación de los resultados obtenidos.
- 10.- Valoración de las diferentes unidades hidrogeológicas en lo referente a sus propiedades acuíferas, y su posible utilización en el abastecimiento de agua.

#### INSTRUMENTACION REQUERIDA

El estudio de las fotografías aéreas se llevó a cabo mediante un estereoscopio de reconocimiento marca "Old Delft" y un estereoscopio de espejo. La geología del área se mapeó sobre las fotografías aéreas. Las anotaciones se hicieron directamente sobre las fotografías aéreas, utilizándose para ello lápices grasos por tener las fotografías superficies satinadas. Finalmente, la geología se vació al mapa topográfico base utilizando un copiador virtual marca Sketchmaster.

#### APLICABILIDAD DE CRITERIOS FOTOINTERPRETATIVOS DIVERSOS EN EL CASO DE EVALUACION HIDROGEOLOGICA

La fotointerpretación de las fotografías aéreas tienen un gran valor en todo tipo de estudios hidrológicos, los cuales pueden consistir en reconocimientos rápidos o estudios de gran detalle.

Según Howe (1961), la localización de agua subterránea por fotointerpretación se basa en el hecho de que la presencia del agua

subterránea puede relacionarse con caracteres visibles desde el aire.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente los recursos de una zona pueden estimarse a partir de criterios derivados de un estudio de los patrones de drenaje, del tono de la fotografía, de la presencia de manantiales y de zonas permeables, de la morfología, de la vegetación y de otros rasgos observables en las fotografías aéreas.

A continuación se presenta un análisis de las principales características geológicas empleadas en la evaluación hidrogeológica de las aguas subterráneas en este estudio.

A.- Densidad del drenaje.- La densidad del drenaje o longitud total de las corrientes por unidad de superficie, es una expresión del agua caída y de la capacidad de infiltración, y puede tomarse como una descripción física cuantitativa de la cuenca. La geología del terreno, la permeabilidad del suelo y de las rocas subyacentes tienen indudablemente una influencia fundamental sobre la densidad del drenaje. A mayor permeabilidad menor densidad de drenaje.

Según Ray y Fisher (1960, p. 145), el grueso granulado de las rocas intrusivas provoca bajas densidades de drenaje, mientras que el granulado fino de las rocas sedimentarias clásticas da lugar a densidades altas. De acuerdo con los autores mencionados, la baja densidad de los granitos se debe en parte a la elevada permeabilidad secundaria que resulta de las fracturas.

Por otra parte los suelos derivados de los tipos de rocas impermeables favorecen el escurrimiento superficial por medio de su densa red de drenaje.

El estudio de la densidad del drenaje nos permite entonces la clasificación del terreno con relación a la permeabilidad.

B.- Configuración del drenaje.- La identificación de los patrones de drenaje nos proporcionan claves para la evaluación de las condiciones hidrogeológicas de una zona. Como el sistema de drenaje que se desarrolla en una región está controlado por la pendiente, el tipo y la posición de las rocas subyacentes, los tipos de drenaje visibles en las fotografías aéreas reflejan la litología y la estructura de una región, permitiendo hacer inferencias acerca de las características físicas de la roca.

C.- Tono fotográfico.- En las fotografías aéreas muchas estructuras y tipos de rocas pueden identificarse correctamente mediante diferencias de tono.

En áreas de buena exposición, la estratificación queda registrada característicamente sobre la fotografía aérea, mediante diferencias de tono fotográfico. Las fallas pueden quedar indicadas por un cambio de tono fotográfico, el cual se manifiesta a los lados de una línea recta o ligeramente curva; y los abanicos fluviales, los depósitos de pedimonte, las coladas de lava, y las rocas intrusivas se identifican comúnmente, a lo menos en parte por sus diferencias de tono.

A pesar de lo dicho anteriormente, la identificación de tipos

de rocas mediante la observación de un tono fotográfico es difícil y por lo tanto, el tono debe usarse junto con otros criterios fotointerpretativos.

D.- Presencia de manantiales.- Los manantiales o afloramientos de agua pueden detectarse en general por el desarrollo de la vegetación, especialmente en regiones áridas o semiáridas, pudiéndose así localizar los sitios de descarga de aguas subterráneas. Además, la forma aérea y la distribución de estos sitios, junto con otra información geológica permite hacer inferencias del tipo de acuífero y de los controles geológicos existentes sobre las aguas subterráneas en la cuenca.

E.- Manantiales y filtraciones a lo largo de ríos; sitios de pérdida de agua en canales.- Son comúnmente detectados por el carácter y la distribución de la vegetación. Esto nos permite la clasificación de los ríos como ríos que ganan, o ríos que pierden agua, y también la localización de los sitios de pérdidas o ganancias de agua. De aquí podemos inferir la naturaleza de la recarga, descarga y circulación de las aguas subterráneas cerca de la superficie. Además junto con otra información geológica permite inferir si los acuíferos son confinados, y los controles geológicos sobre las aguas subterráneas.

F.- La vegetación natural está íntimamente relacionada a las propiedades de suelos y rocas. Las diferencias en la permeabilidad de las rocas y los suelos se reflejan en el patrón de la vege-

tación. Por lo tanto, la vegetación diferenciada que se aprecia en las fotos aéreas de escala grande, es una guía para determinar los tipos de rocas. Así mismo la profundidad aproximada del agua subterránea puede estimarse por el carácter y densidad de la vegetación, particularmente los freatófitos.

G.- Presencia y distribución de pozos, presas y canales.- Estos rasgos nos indican la presencia de agua. También permiten la inferencia de las condiciones de las aguas subterráneas, y con información respecto a la vegetación y al drenaje pueden permitir deducir cual es el efecto de estos rasgos en las aguas subterráneas del área.

H.- Tipos específicos de rocas.- Son identificados con base en la geomorfología, textura, tono, vegetación, y nos permiten hacer una clasificación general de las rocas con respecto a sus propiedades acuíferas.

Junto con información referente al clima, vegetación y drenaje, se puede llegar a conclusiones sobre la calidad del agua.

I.- Formas e interrelaciones de las unidades de rocas.- Nos permiten inferir el tamaño, la forma y los límites de los acuíferos y acuíclados probables; también se puede inferir cuales son las condiciones de recarga y descarga de las aguas subterráneas.

J.- Relaciones especiales de las unidades de rocas con los cuerpos de aguas superficiales.- Nos permiten inferir los límites



hidrológicos y las condiciones de recarga.

## CONCLUSIONES ACERCA DEL DESARROLLO DE ESTA TESIS

I.- La fotointerpretación proporciona rápidamente información hidrológica de grandes áreas, que sirve de base para estudios detallados, y facilita medios para el estudio de fenómenos hidrológicos que resulta difícil afrontar con otras técnicas.

II.- Para obtener mejores resultados, los estudios fotohidrológicos deben complementarse con reconocimientos de campo.

III.- Los principales acuíferos en el área de estudio, están constituidos por arenas tobáceas, y por gravas y arenas aluviales. (Acuíferos libres).

IV.- Menores cantidades de agua pueden obtenerse de las tbbas pumíticas. (Acuíferos confinados o semiconfinados).

V.- No puede esperarse obtener grandes volúmenes de agua de los acuíferos mencionados, debido al poco espesor de las unidades acuíferas.

VI.- El agua que se obtenga de los acuíferos, aparentemente no es suficiente para la irrigación en gran escala, sin embargo, podría utilizarse en este sentido como un complemento de las aguas superficiales.

VII.- La recarga de los acuíferos proviene de los ríos y de la lluvia.

VIII.- A juzgar por el tipo de roca existente, la calidad del agua se considera excelente.

IX.- Los acuíferos en el área constituyen una buena fuente presente y futura de agua para la pequeña irrigación, uso doméstico, público e industrial.

X.- No se tienen evidencias que indiquen la existencia de acuíferos profundos, y la existencia de estos se considera poco probable.

XI.- Los aluviones de los ríos Grande, Coclé del Sur, y el área de Margarita (área entre los ríos Grande, Chico y el Caño), pueden producir suficiente agua para la irrigación.

XII.- Es necesario hacer estudios más detallados, apoyados en perforaciones y pruebas de bombeo, para poder determinar con mayor seguridad si los acuíferos producen agua suficiente para ser utilizada en la irrigación.

## RACIONALIZACIONES Y GENERALIZACIONES ACERCA DE LA FOTOINTERPRETACION APLICADA A LA HIDROGEOLOGIA

El grado de exactitud de un estudio fotohidrológico depende de la información que pueda inferirse a partir de los accidentes observados en las fotografías aéreas. No obstante el uso de fotografías aéreas en estudios hidrológicos se ha incrementado en los últimos años, hasta el punto de que la fotointerpretación constituye uno de los métodos de investigación más importante con que cuentan los hidrólogos.

Es posible usar las fotografías sin información adicional para obtener una idea de las condiciones de las aguas subterráneas en un área determinada; sobre todo en áreas donde no se cuenta con información hidrológica. Sin embargo, la información obtenida en esta forma debe necesariamente complementarse con reconocimientos de campo, ya que en la obtención de esta información nosotros dependemos de condiciones geológicas inferidas y de analogías entre estas condiciones y aquellas de otra área de geología similar en la cual las relaciones geológicas e hidrogeológicas son bien conocidas.

La fotointerpretación tiene especial importancia en los estudios de reconocimiento, y en la interpretación de información geológica e hidrogeológica ya existente, así como en la planeación de investigaciones de campo posteriores. Sus principales ventajas son: 1)

reduce el tiempo de estudio, 2) economiza mano de obra, material y equipo requerido, 3) la información que se obtiene es bastante aproximada comparada con la obtenida por métodos convencionales, 4) puede usarse en estudios urgentes en áreas donde no se cuenta con información hidrogeológica.

El beneficio que se puede obtener del uso de las fotografías aéreas en los estudios hidrogeológicos dependen en gran medida de la habilidad del fotointérprete; por lo tanto, para conseguir resultados satisfactorios, el hidrólogo debe convertirse en fotointérprete y orientar sus conocimientos hidrológicos por la senda de la fotointerpretación.

El estudio del agua en todas las fases del ciclo hidrológico es un problema complejo que se facilita grandemente con el uso de las fotografías aéreas.

La explosión demográfica actual, la creciente industrialización y el aumento de las áreas agrícolas abiertas al riego, son las razones por las cuales el hidrólogo se encuentra a menudo con problemas que requieren una pronta solución, para los que cuenta con poco o ninguna información.

Las fotografías aéreas y la fotointerpretación no son necesariamente una panacea para resolver todos los problemas hidrológicos, pero son unos valiosos y útiles instrumentos cuando se aplican con propiedad. La fotointerpretación puede contribuir a la valoración de condiciones hidrológicas específicas y ser una guía para estudios ulteriores en el terreno.

Las técnicas de percepción a distancia a base de las imágenes infrarrojas y los sistemas de microondas tienen cierto valor en algunos estudios hidrogeológicos, pero su empleo no está muy desarrollado.

## GLOSARIO DE ALGUNOS TERMINOS UTILIZADOS

**Acuifero:** Estrato o zona bajo la superficie terrestre capaz de producir agua.

**Acuicludo:** Una formación que aunque porosa y capaz de absorber agua lentamente, no la trasmite lo suficientemente rápido para proveer un abastecimiento adecuado.

**Acuifero confinado:** Es aquel limitado por dos capas impermeables y sometido a una presión hidrostática superior a la atmosférica, debido a la imposibilidad de circulación vertical del agua.

**Acuifero confinado:** Es aquel que tiene su superficie piezométrica sometida a la presión atmosférica.

**Agua subterránea:** La parte del agua bajo la superficie terrestre que se encuentran en la zona de saturación.

**Caliche:** Arenas y gravas cementadas por carbonato de calcio.

**Cono de depresión:** La depresión, de forma cónica, producida en la superficie piezométrica mediante bombeo o flujo artesiano.

**Capacidad de infiltración:** La máxima cantidad de agua que el suelo puede absorber bajo una condición dada.

**Cloruros:** Un compuesto de cloro con otro elemento o radical.

**Densidad del drenaje:** Es la razón de la longitud total de las corrientes en una cuenca, al área de la cuenca.

**Escorrentía superficial:** El agua que fluye directamente de las superficies de la cuenca hacia los cauces principales.

**Evapotranspiración:** Es el principal componente de las pérdidas de agua de una cuenca. Tiene lugar en el proceso de transpiración de las plantas y en la evaporación producida en las superficies al descubierto de la misma.

**Gravedad específica:** Es la razón del peso de un volumen de una sustancia al peso de un volumen igual de otra sustancia tomada como unidad estandar.

**Humedad relativa:** Es la razón de la cantidad de vapor de agua en un volumen dado de aire a la cantidad que estaría presente en el aire saturado a la misma temperatura.

**Intemperismo:** Alteración de la composición o la estructura de las rocas, cerca de la superficie terrestre, por la acción de agentes físicos y químicos como resultado de procesos atmosféricos.

**Interface:** Es la superficie de contacto que separa dos sustancias diferentes.

**Nivel freático:** La superficie superior de una zona de saturación, (excepto cuando esta superficie está formada por un cuerpo impermeable).

**Permeabilidad:** Es la capacidad de una roca o suelo para permitir el paso del agua a través de ella.

**Porosidad:** Es la razón del volumen de intersticios en una roca o suelo a su volumen total. Se expresa generalmente como un



porcentaje.

**Presión hidrostática:** La presión ejercida por el agua en un punto dado de un cuerpo de agua estático. La presión hidrostática de las aguas subterráneas es generalmente debida al peso del agua en niveles más altos en la misma zona de saturación.

**Trasmisibilidad:** Se define como el gasto en  $m^2/día$ , que un acuífero transmite a través de una franja vertical que se extiende por todo el acuífero, con un ancho de un metro y una altura igual a su espesor total, bajo una pendiente hidráulica de 100% y a una temperatura de  $20^{\circ}C$ .

**Unidad hidrogeológica:** es una subdivisión de la corteza terrestre que se distingue y se delimita tomando como base su permeabilidad.

**Unidades homotaxiales:** Son aquellas unidades estratigráficas o bioestratigráficas que tienen un arreglo ordinal semejante en localidades diferentes, aunque no sean necesariamente contemporáneas.

**Unidades litoestratigráficas:** Una unidad litoestratigráfica es una subdivisión de la corteza terrestre que se distingue y se delimita tomando como base sus características litológicas.

**Zona de aereación:** La zona en la cual los intersticios de las rocas permeables no están llenos de agua (excepto temporalmente).

**Zona de descarga:** Es la zona o el cuerpo de agua superficial hacia

donde las aguas subterráneas fluyen desde la zona de saturación.

**Zona de recarga:** Es el área donde se restablecen las reservas del acuífero.

**Zona de saturación:** La zona debajo de la superficie de la tierra en la cual todos los espacios están llenos con agua bajo una presión igual a, o más grande que la presión atmosférica.

## BIBLIOGRAFIA

- Abraham, Golik, 1968, History of holocene transgression in the Gulf of Panama: Jour. Geology, v. 76, n. 5, p. 497-507.
- American Society of Photogrammetry, 1960, Manual of photographic interpretation: Washington, American Society of Photogrammetry 868 p.
- Binnie and Partners, 1970, Pre-investment study of the irrigation of the Llanos de Coclé: Hunting technical services. Ministerio de Agricultura, Panamá, v. 3, apendix A y B.
- Brown, John S., 1925, A study of coastal ground water with special reference to Connecticut: U. S. Geol. Survey Water-Supply Paper 537, 101 p.
- Catastro Rural de Tierras y Aguas de Panamá, 1965-1967 (por publicarse), Mapa geológico geomorfológico de Antón y Penonomé R. de P. (1:50,000). Panamá, R. de P.
- Comisión Americana de Nomenclatura Estratigráfica, 1961, Código de nomenclatura estratigráfica: Inst. Geología, Univ. Nal. Antón. México, Asoc. Mex. Geol. Petrol., México, D. F.,
- Contraloría General de la República de Panamá, 1971, Panamá en cifras (compendio estadístico): años 1966-1970, 299 p.
- Davis, W. N., and Dewiest, R. J. M., 1966, Hydrogeology: New York, John Wiley and Sons, Inc., 463 p.
- Domenico P. A., Stephenson, D. A., and Maxey, G. B., 1964, Ground water in Las Vegas Valley:

- Evenson, R. E., 1959, Geology and ground water features of the Eureka area Humboldt County, California: U. S. Geol. Survey Water-Supply Paper 1470, 80 p.
- Griggs, Roy, L., 1964, Geology and ground water resources of The Los Alamos area New Mexico: U. S. Geol. Survey Water-Supply Paper 1753, 107p.
- Heath, Ralph C., and Trainer, Frank W., 1968, Introduction to ground water hydrology: New York, John Wiley and Sons, Inc., 284 p.
- Hill, R. T., 1898, The geological history of the Isthmus of Panamá and portions of Costa Rica: Bulletin of comparative zoology at Harvard College, v. 23, n. 5, 285 p.
- Hershey, Oscar H., 1901, The geology of the central portion of the Isthmus of Panamá: Univ. of California Geol. Dept. Bull., v. 2, n. 8, p. 231-267.
- Howe, R.H.L., 1961, Discovery and evaluation of water resources by aerial photographic method: Indiana Acad. Sci. Proc., p. 155-157.
- Hubbert, M. K., 1940, The theory of ground-water motion: The Journal of Geology, 48 (8), p. 785-944 (Nov.-Dic).
- Mack, F. K., Pavscek, F. H., and Crippen J. R., 1964, Geology and hydrology of the West Milton area Saratoga County, New York: U. S. Geol. Survey Water-Supply Paper 1747, 110 p.
- Matthews, E. D. and Guzman, L. E., 1958, Los suelos y la agricultura de Los Llanos de Coclé., Servicio Interamericano de Coope-

- ración Agrícola en Panamá (SICAP). Ministerio de Agricultura, Comercio e Industrias, Panamá, 160 p.
- Morris, D. A., Hackett, O. M., and Moulder, E. A., 1959, Ground water resources of Riverton irrigation project area: U. S. Geol. Survey Water-Supply Paper 1375, 205 p.
- Ray, Richard G., 1960, Aerial photographs in geologic interpretation and mapping: U. S. Geol. Survey Prof. Paper 373, 230 p.
- Ray, Richard G., 1961, Métodos fotogeológicos para la interpretación y levantamientos geológicos 1043 - A : Centro Regional de Ayuda Técnica (Administración de cooperación internacional ICA), México.
- Ray, Richard G. y Fisher, W. A., 1960, Quantitative Photography - A Geologic Research Tool: Photogrammetric Engineering, v. 26, n. 1, p. 143-150.
- Schuchert, C., 1935, Historical geology of the Antillean-Caribbean region: New York, John Wiley and Sons, Inc., 811 p.
- Terry, R. A., 1956, A geological reconnaissance of Panamá: Calif. Acad. Sci. Occasional Paper 23, 91 p.
- Todd, D. K., 1959, Ground water hydrology: New York, John Wiley and Sons, Inc., 336 p.
- Woodring, W. P., 1957, Geology and paleontology of the Canal Zone and adjoining parts of Panamá: U. S. Geol. Survey Prof. Paper 306-A, p. 1-125, pls. 3-23.



HOJAS

BAHIA DE PARITA, ANTON,

PENONOME, AGUADULCE

Y CLA

REPUBLICA DE PANAMA











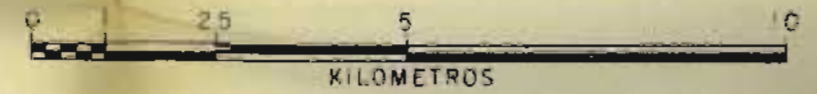
SECCION GEOLOGICA GENERALIZADA



DATO VERTICAL NIVEL MEDIO DEL MAR  
 PROYECCION TRANSVERSAL DE MERCATOR  
 CURVAS DE NIVEL A INTERVALOS DE 20 METROS  
 Y SUPLEMENTARIAS A INTERVALOS DE 10 METROS

ESCALA 1:100 000

ESCALA GRAFICA



EXPLICACION

UNIDADES HIDROGEOLOGICAS

- |                  |          |   |
|------------------|----------|---|
| OCENO-PLISTOCENO | RECIENTE | <br><b>ALUVION</b><br>Principalmente gravas y arenas (Rali), permeables, capacidad de infiltración alta, acuíferos someros buenos.<br>Lodos y arcillas (Rali), impermeables.  |
|                  |          | <br><b>ARENAS TOBACEAS</b> - Contienen fragmentos pumíticos y cuarzo volcánico.<br>Permeables, capacidad de infiltración alta. Acuíferos libres buenos (PPat).<br><b>INTRUSIONES BASALTICAS</b> - Impermeables, capacidad de infiltración reducida. No forman acuíferos (PPb).<br><b>IGNIMBRITA</b> - Principalmente ignimbritas compactas con lentes de vidrio y fragmentos pumíticos; escoria y ceniza silíceas impermeables o poco permeables. |

SIMBOLOS GEOLOGICOS

- |  |   |
|--|---|
|  | Falla, con línea interrumpida cuando cubierta.                                |
|  | U, bloque levantado, D, bloque hundido  |
|  | Falla probable  |
|  | Falla mostrando el movimiento horizontal relativo                             |
|  | Límite entre unidades hidrogeológicas, con línea interrumpida entre aluviones |
|  | Lineamientos  |
|  | Capas horizontales  |
|  | Capas verticales  |
|  | Rumbo y buzamiento  |
|  | Buzamiento 40°-10°  |
|  | Buzamiento 10°-25°  |
|  | Buzamiento 25°-45°  |
|  | Buzamiento deposicional   |
|  | Eje artificial con buzamiento doble   |
|  | Sinclinal   |



PL

capacidad de infiltración deficiente o reducida. Acuíferos pobres (PPig)

MIOCENO

Mev

ROCAS EXTRUSIVAS VOLCANICAS - Principalmente ignimbritas ácidas y lavas, riolitas, tober y arenisca tabarea  
Permeabilidad baja o nula, capacidad de infiltración deficiente, acuíferos pobres

TERCIARIO

Tiv

ROCAS INTRUSIVAS VOLCANICAS - Basaltos 2, impermeables, capacidad de infiltración reducida. No forman acuíferos

Nota: En este mapa se han incorporado datos tomados de los mapas de CATAPAM  
Límite de zonas hidrologicas

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE CIENCIAS  
DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES

MAPA FOTOHIDROGEOLOGICO

DE LOS LLANOS DE COCLE

MAESTRIA EN CIENCIAS, GEOLOGIA  
POR JOSE DEL CARMEN ESPINOSA MIRANDA

ESCALA 1 100 000

NOVIEMBRE DE 1972