

COMISION ECONOMICA PARA AMERICA LATINA

CEPAL/MEX/73/20

TAO/LAT/130

Octubre de 1973

ORIGINAL: ESPAÑOL



APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUBTERRANEAS PARA RIEGO EN
EL VALLE DE SEBACO, NICARAGUA

Estudio elaborado a solicitud del Instituto de Fomento Nacional (INFONAC) de Nicaragua por el Ingeniero J. Roberto Jovel, Asesor Regional en Recursos Hidráulicos de las Naciones Unidas asignado a la Subse de la CEPAL en México e integrante de la Misión Centroamericana de Electrificación y Recursos Hidráulicos.

Este documento no ha sido aprobado oficialmente por la Oficina de Cooperación Técnica de las Naciones Unidas, la que no comparte necesariamente las opiniones aquí expresadas.

INDICE

	<u>Página</u>
Presentación	1
1. Introducción	3
2. Descripción del área estudiada	4
3. Potencial del agua subterránea	7
4. Deficiencias de agua y necesidades de riego	13
5. Esquema de aprovechamiento	19
6. Análisis hidrogeológico de sistema	21
7. Resumen de conclusiones y recomendaciones	27

PRESENTACION

El Instituto de Fomento Nacional de Nicaragua se propone fomentar el cultivo de hortalizas bajo riego en el Valle de Sébaco tanto para abastecer el mercado interno como para exportar a los Estados Unidos. La imposibilidad de utilizar para ese objeto los caudales superficiales del Valle que se destinan a la generación de energía hidroeléctrica, ha aconsejado estudiar la factibilidad de aprovechar los recursos hídricos del subsuelo.

El INFONAC solicitó en septiembre de 1973, asistencia técnica requerida para estudiar la factibilidad técnica y económica del desarrollo aludido y la CEPAL asignó esta tarea a su Asesor Regional en Recursos Hidráulicos, Ing. J. Roberto Jovel, que presenta en este primer informe algunas conclusiones sobre la factibilidad técnica del desarrollo previsto.

Nuevos trabajos seguirán al presente sobre los desarrollos planteados.

1000

1000

1000

1. Introducción

a) Antecedentes

El Valle de Sébaco de Nicaragua es una región agrícola con suelos de buena calidad pero con marcadas deficiencias de precipitación a lo largo del año. Los caudales de uno de los ríos que atraviesan el área no pueden tampoco utilizarse para riego, por requerirse para la generación de energía hidroeléctrica en una planta ubicada a la salida del Valle.

Las insuficientes lluvias que recibe durante el período de mayo a noviembre --lluvioso en el resto del país-- son así la causa de la pérdida total o parcial de cosechas de algunos cereales que se cultivan en el área y la carencia total de las mismas durante el resto del año impide toda clase de labores agrícolas por lo que los campos permanecen sin utilizarse.

Esta estacionalidad e inseguridad para la producción de ciertas cosechas, unida a la buena calidad de los suelos que permanecen parcialmente improductivos, han aconsejado estudiar la posibilidad de implantar sistemas de riego; condiciones geológicas favorables del subsuelo del Valle parecen señalar la posibilidad de utilizar los recursos hídricos subterráneos siempre que ello no afecte a los caudales superficiales destinados a la generación de energía.

b) Objetivos y alcances del estudio

En este trabajo se estudia la factibilidad técnica de alumbrar los mantos hídricos subterráneos del Valle para la irrigación señalada. Comprende, además de la descripción de la zona, una evaluación de la disponibilidad de agua subterránea, una estimación de los requerimientos de agua para riego suplementario de algunas cosechas, y un análisis hidráulico-matemático que tiende a determinar los probables niveles de bombeo en los pozos que se perforarían. Se señalan además los estudios de campo que habrán de realizarse para complementar los cálculos.

/c) Limitaciones

c) Limitaciones de la información básica

La información básica disponible --especialmente por lo que se refiere a la hidrogeología de la región-- incompleta y sólo referida a parte de la zona en estudio, hace necesaria la obtención de datos más pormenorizados que permitan un análisis más profundo.

La información disponible se considera sin embargo suficiente para presentar en este primer trabajo algunas conclusiones de interés.

2. Descripción del área estudiada

a) Ubicación geográfica y política

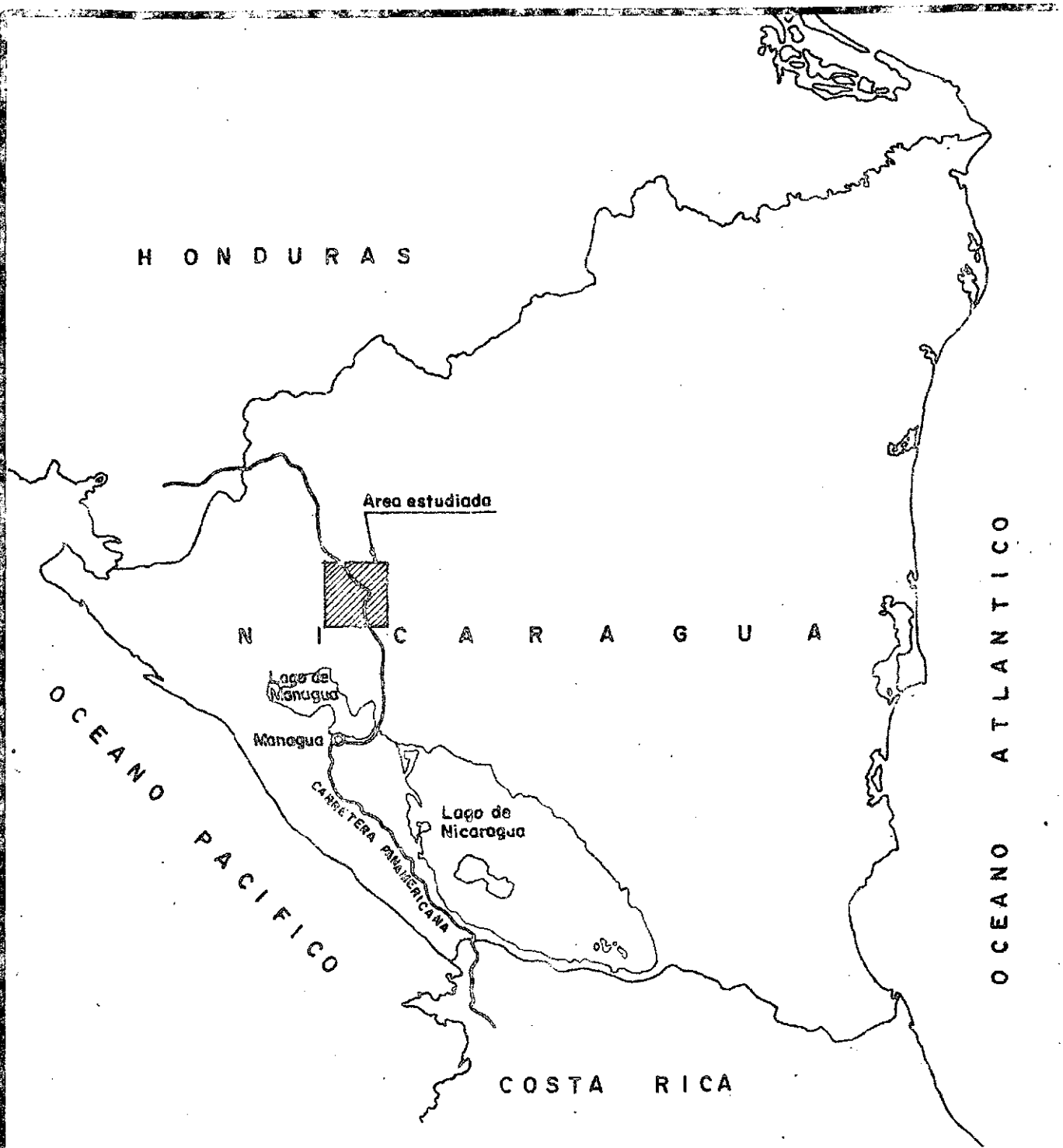
El Valle de Sébaco, ubicado en el cuadrante noroccidental de Nicaragua, es atravesado por la carretera Panamericana. (Véase la figura 1.)

Su mayor parte corresponde al departamento de Matagalpa, y porciones menores a los de Jinotega, Estelí y León; se encuentran en el Valle las poblaciones de Sébaco, Ciudad Darío, La Trinidad y San Isidro. (Véase la figura 2.)

b) Características hidrológicas y meteorológicas

El río Viejo, que desagua en el lago Managua, y el Grande de Matagalpa, que vierte sus aguas directamente al Caribe, cruzan también el Valle. El primero recibe los caudales del vaso de Apanás, que después de ser utilizados en la planta hidroeléctrica Centroamérica, vuelven a utilizarse a la salida del Valle en la planta hidroeléctrica Somoza García.

La precipitación anual media se estima en unos 900 milímetros según registro pluviométrico de la estación de Sébaco, recibándose entre mayo y octubre el 92 por ciento de la misma, lo cual evidencia la necesidad del riego suplementario; la precipitación media entre mayo y octubre es de 140 milímetros mensuales, descendiendo algunos meses por debajo de esa cifra.

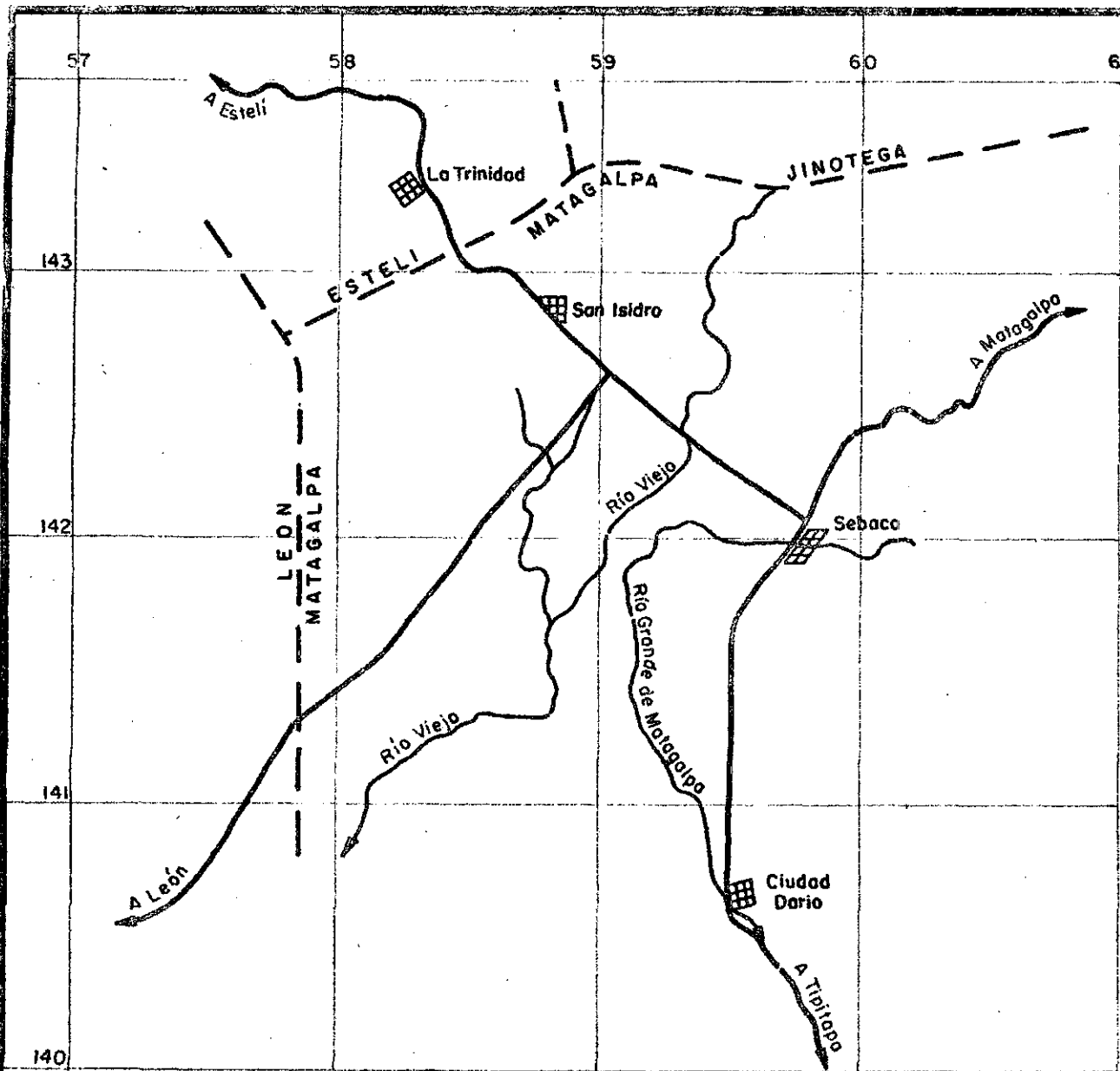


MISION CENTROAMERICANA DE
ELECTRIFICACION Y RECURSOS HIDRAULICOS
ONU-CEPAL

UBICACION DE LA
ZONA BAJO ESTUDIO

OCTUBRE - 1973

FIGURA



MISION CENTROAMERICANA DE
ELECTRIFICACION Y RECURSOS HIDRAULICOS
ONU-CEPAL

VALLE DE SEBACO
MAPA DEL AREA EN ESTUDIO

OCTUBRE - 1973

FIGURA 2

c) Desarrollo agrícola actual

Para aprovechar la precipitación que ocurre entre mayo y octubre, se cultivan cereales en casi todo el valle, aunque en los años en que disminuye la lluvia --como 1972-- los agricultores sufren pérdidas considerables. Con excepción de limitadas extensiones en las que se produce arroz bajo riego, de noviembre a abril no existe producción alguna ni puede utilizarse la mano de obra disponible en el valle.

3. Potencial del agua subterránea

a) Ocurrencia del agua subterránea

1) Geología.^{1/} Las rocas que bordean el Valle de Sébaco pertenecen al grupo Coyol del período Mioceno. En orden ascendente, existen en dicho grupo andesitas, tobas dacíticas e ignímbritas, lo mismo que aglomerados, basaltos e ignímbritas. Algunas andesitas y basaltos vesiculares están fracturados localmente y, de hallarse saturados, podrían rendir pequeños caudales en pozos.

Las rocas anteriores fueron erosionadas después de haber experimentado fallamiento y deformación. Por haberse obstruido el drenaje superficial del valle en el período Terciario, debió formarse a principios del Cuaternario un lago de reducida profundidad sobre el que se acumularon después sedimentos fluviátiles, deltaicos y lacustres; al llenarse el valle debió reestablecerse después el flujo superficial hacia el sur, y con ello, se vació el lago. Reiniciado el drenaje, se produjo probablemente una erosión progresiva a la salida del lago y nuevas corrientes fueron profundizando sus cauces y vaciando aún más el depósito.

Como resultado de esta evolución, el Valle de Sébaco se encuentra sobre unos 350 pies (106.8 metros) de sedimentos aluvionales, deltaicos y lacustres no consolidados, de edad cuaternaria.

^{1/} Véase el documento The Water Resources of Nicaragua, Tax Improvement and Natural Resources Inventory Project. Nicaragua (Vol. III, Final Technical Report), sin fecha.

ii) Formaciones saturadas. Perforaciones exploratorias realizadas en 1969 han permitido determinar el tipo y la ubicación de formaciones geológicas que se encuentran saturadas.^{2/} Los principales depósitos acuíferos del Cuaternario están formados por arena de tamaño medio a grueso y por grava basáltica y andesítica de hasta una pulgada de diámetro.

Entre las formaciones anteriores, se encuentran otras compuestas de limos, arcillas y arenas limosas o arcillosas (acuiclusas) que impiden o restringen significativamente el flujo del agua.

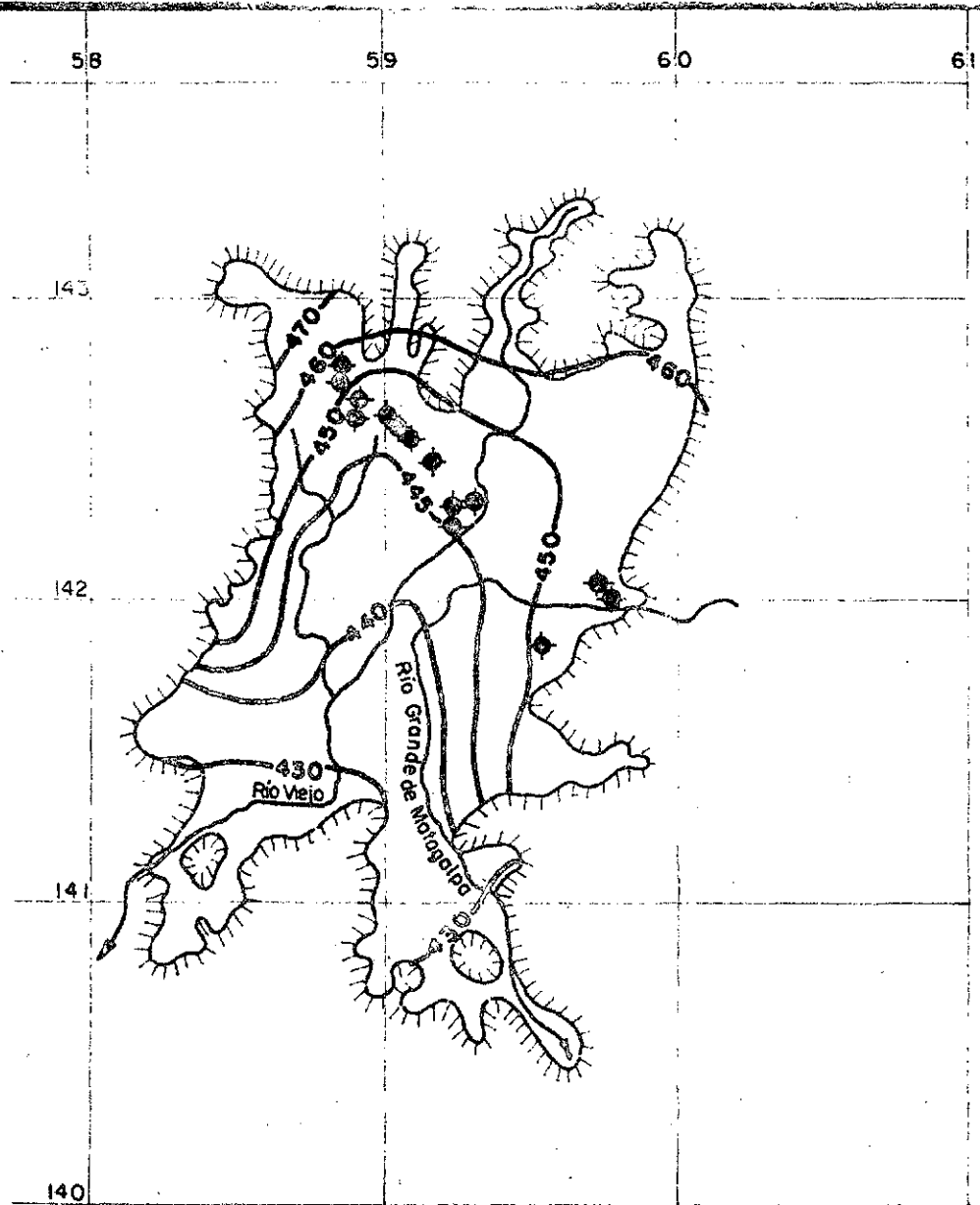
iii) Elevación y movimiento del agua subterránea. Un inventario de pozos cavados en el área señala la elevación y la dirección del movimiento de agua subterránea; ésta parece fluir desde los extremos norte, este y oeste hacia la parte sur del valle, partiendo desde elevaciones de más de 470 metros sobre el nivel del mar hasta de menos de 430 a la salida en el extremo sur. El gradiente hidráulico promedio es de 2 por mil y resulta notablemente menor en el centro del valle, lo que podría indicar un cambio en la permeabilidad. (Véase la figura 3.)

iv) Características hidráulicas de los acuíferos. Del análisis de los registros de 8 pozos inventariados por la Oficina de Catastro, y de otros 7 adicionales sobre los que proporcionó información la firma Irrigación y Perforaciones McGregor, S.A., se ha podido obtener una primera aproximación del valor de los coeficientes hidráulicos de los acuíferos del valle. (Véase el cuadro 1.)




La capacidad específica de los pozos acusa un valor promedio de 35 galones por minuto por pie, y alcanza valores de hasta 113. Como dichas cifras no se han corregido para eliminar pérdidas de entrada, la transmisibilidad real podría estimarse en unos 80 000 galones diarios por pie, y la permeabilidad en 400 GPD/pie² aproximadamente.

El coeficiente de almacenamiento del acuífero, alcanzado el drenaje completo de los intersticios, se fijaría en el 15 por ciento por el tipo de materiales que lo componen.

2/ Véase el documento The Water Resources of Nicaragua. Op.cit.



S I M B O L O S

-  BARRERA HIDROGEOLOGICA QUE RESTRINGE EL FLUJO DEL AGUA SUBTERRANEA.
-  CURVA DE IGUAL NIVEL DEL AGUA SUBTERRANEA. EL NUMERO INDICA ELEVACION EN METROS.
-  POZO DE PRODUCCION CON DATOS SOBRE CAPACIDAD ESPECIFICA.

MISION CENTROAMERICANA DE
ELECTRIFICACION Y RECURSOS HIDRAULICOS
ONU - CEPAL

VALLE DE SEBACO

MAPA HIDROGEOLOGICO

OCTUBRE - 1973

FIGURA 3

Cuadro 1

VALLE DE SEBACO: INFORMACION DISPONIBLE SOBRE POZOS DE PRODUCCION

Pozo	Profundidad (pies)	Diámetro (pulgadas)		Nivel estático (pies)	Caudal (gpm)	Abati- miento (pies)	Capacidad específica ^{a/} (gpm/pie)	Transmisibilidad sin corregir <u>a/b/</u> (gpd/pie)	Permeabilidad sin corregir <u>a/c/</u> (gpd/pie ²)
		Perfo- ración	Tubo						
Suministrados por catastro									
1	150	...	...	...	170	1.5	113	210 000	...
3	150	...	...	...	180	4.9	36	70 000	400
7	175	18	12	38	599	22	27.3	50 500	...
8	200	...	...	...	1 200	60	20	37 000	417
9	...	...	...	...	700	60	11.7	21 600	...
10	137	...	...	...	145	12.7	11.3	21 000	420
11	126	...	...	...	170	3.6	47	87 400	1 950
16	154	...	...	...	450	15	30	58 000	...
Suministrados por McGregor									
101	175	24	12	37	1 200	83 ^{d/}	14.5	27 000	200
102	240	20	12	30	1 200	50 ^{d/}	24	45 000	213
103	216	18	12	36	1 400	102	13.8	25 700	143
104	230	20	12	36	1 250	51	24.5	45 700	235
106	214	20	12	38	1 500	72	20.8	38 800	216
107	216	20	12	38	900	12	75	140 000	780
108	220	...	...	35	50	8	6.3	12 000	65

a/ Sin corregir para tomar en cuenta pérdidas de entrada.

b/ Calculada a base de la relación transmisibilidad vs. capacidad específica para 8 horas de bombeo.

c/ Estimada dividiendo la transmisibilidad entre longitud de tubo ranurado.

d/ Valores estimados a base de la potencia del motor de la bomba.

b) Rendimiento seguro de los acuíferos

El rendimiento seguro de la cuenca de agua subterránea en el valle es el volumen que puede extraerse: a) sin exceder la capacidad de recarga de los depósitos; b) sin afectar significativamente el caudal del río Viejo que se utiliza para generación hidroeléctrica, y c) sin crear niveles críticos de bombeo en los pozos de producción.

1) Capacidad de recarga. La magnitud de la recarga hacia el depósito ubicado en la parte central del valle depende de: a) la capacidad de infiltración de los suelos para absorber la precipitación, y b) la capacidad de transmisión del acuífero para permitir el flujo del agua desde las zonas de recarga hasta el depósito en el valle.

Para calcular la capacidad de infiltración se ha utilizado el balance hídrico de la estación lluviosa elaborado por personal de la Sección de Hidrología de Catastro para el año hidrológico 1970-71, que fué sólo ligeramente superior al promedio. En el mismo se observa que durante el período de mayo a septiembre se produjo una infiltración de 70 millones de metros cúbicos y un exceso neto de agua en el depósito subterráneo de 40 MMC. El caudal extraíble del depósito en el valle estaría comprendido entre las cifras anotadas,^{3/} y sería la cantidad de agua que podría retenerse en el depósito subterráneo durante un año dado, en el caso de que hubiese sido vaciado previamente en el año anterior por una extracción de pozos. Es indispensable determinar después si poseen los acuíferos la capacidad necesaria para transmitir o conducir el volumen antes citado, para que no existan limitaciones de tipo hidráulico para la extracción.

Se supone para ello que con una extracción en gran escala en el valle se logra inducir un abatimiento (o diferencia de presión) de 30 pies en una zona rectangular de 6 por 8 kilómetros situada en el centro del valle. Los gradientes hidráulicos se verían significativamente incrementados, alcanzando posiblemente al uno por ciento. El flujo hacia

3/ Un cálculo similar efectuado para el año hidrológico 1969-70, que excedió en un 30 por ciento al año promedio, acusó cifras de entre 90 y 60 MMC para el rendimiento seguro.

la zona, bajo un coeficiente de transmisibilidad reducido, alcanzaría los 50 millones de galones anuales^{4/} o su equivalente de 73 millones de metros cúbicos.

Puede considerarse por lo tanto que el rendimiento seguro de los depósitos del valle oscilaría entre 40 y 70 millones de metros cúbicos anuales, y que los acuíferos poseen la capacidad hidráulica necesaria para transmitir dicho volumen.^{5/}

ii) Interferencia con los caudales del río Viejo. Como se mencionara con anterioridad, los caudales superficiales del río Viejo no deben verse disminuidos por ninguna extracción de agua subterránea para no afectar a la salida del valle en forma alguna a la generación hidroeléctrica en la planta Somoza García.

La limitación señalada reduce por un lado la cantidad de volumen extraíble del acuífero hasta cerca del límite mínimo señalado con anterioridad si no se desea disminuir significativamente los caudales superficiales durante el período mayo a octubre. Por otra parte, la extracción de agua subterránea deberá planearse entre noviembre y abril de manera que no resulte en disminución del caudal del río.

Al respecto, cabe apuntar que sólo el acuífero más superficial (de unos 30 pies) alimenta y está en contacto hidráulico directo con el río. Habrá que diseñar en consecuencia un sistema de pozos que alumbre únicamente los acuíferos más profundos, separados del primero por un lente de material poco permeable. No obstante, para evitar cualquier posible interferencia, puede calcularse la distancia del río a la que no deberían perforarse los pozos.

^{4/} El cálculo se ha hecho mediante la fórmula $Q = Pm'IW$, en donde P es de 400 GPD/pie²; m', el espesor final del acuífero, 170 pies; I, el gradiente del uno por ciento, y W, la longitud de la sección alrededor de la zona considerada, 74 000 pies.

^{5/} Esta cifra difiere de la calculada por la Sección de Hidrogeología de Catastro por una diferencia en los valores de transmisibilidad adoptados. Se considera, no obstante, que el cálculo presentado en este trabajo puede ser más apegado a la realidad por apoyarse en un coeficiente de transmisibilidad calculado con base en mayor información sobre capacidad específica de pozos de producción.

Dicho cálculo se refiere al acuífero superior que posee un espesor de 30 pies y una permeabilidad alta de unos 800 GPD/pie², y supone un período de extracción de 120 días. Los cálculos indican que al situarse los pozos a 2 kilómetros de distancia del río, las interferencias con el caudal del mismo serían prácticamente nulas.^{6/}

Puede afirmarse por lo tanto que, situando los pozos de producción a 2 kilómetros del río podría extraerse un caudal seguro de 40 millones de metros cúbicos por lo menos durante el período de riego sin afectar significativamente los caudales del río ni depletar el depósito subterráneo. Más adelante se examina la posibilidad de extraer incluso dicho volumen sin crear niveles críticos en los pozos de producción.

4. Deficiencias de agua y necesidades de riego

Figura enseguida una comparación entre la disponibilidad de precipitación y los requerimientos de agua para las cosechas producidas en la actualidad y una comparación entre la precipitación y las necesidades de agua para las mismas cosechas actuales pero sujetas a un nuevo calendario de siembra; se calculan finalmente las necesidades de riego para el cultivo de hortalizas durante la época seca.

6/ El porcentaje de agua extraída del río resulta nula cuando el coeficiente "f" alcanza un valor de 4. La distancia a la que deben ubicarse los pozos se obtiene mediante la ecuación:

$$a = \sqrt{\frac{f P m t_d}{1.87 S_y}}$$

en donde f vale 4; P es una permeabilidad de 800 GPD/pie²; m es el espesor saturado, 30 pies; t_d es el período de 120 días de bombeo; y S_y es el coeficiente de almacenamiento, 15 por ciento. Mayores detalles sobre el método figuran en el documento:

J. Roberto Jovel, Compendio de métodos para la determinación de coeficientes hidráulicos de acuíferos y pozos. Dirección General de Obras de Riego, San Salvador, 1967.

/a) Calendarios

a) Calendarios de cultivo

Para concretar las posibles deficiencias actuales de agua se presume que se siembran cereales (maíz) en mayo y se cosechan en agosto.

Para propósitos de diseño del sistema de riego, se tiene en cuenta que se sembrarían hortalizas en diciembre y se cosecharían en marzo. Estas siembras se destinarían a abastecer las necesidades internas del país y a exportar excedentes a los Estados Unidos.

El período de riego suplementario se referiría a los meses comprendidos entre diciembre y marzo, y permitiría proporcionar riego de auxilio en otras épocas del año de resultar escasas las lluvias durante años normales o durante años secos como el de 1972.^{7/}

b) Cálculo de la evapotranspiración

El cálculo del consumo de agua por los cultivos se ha realizado aplicando el método de Blaney-Criddle^{8/} y tomando los valores de temperatura, evaporación, insolación y precipitación de las estaciones meteorológicas de Sébaco y San Isidro. No se han podido aplicar métodos más precisos para el cálculo del consumo por carecerse de la información meteorológica requerida para hacerlos pero los resultados obtenidos por el método señalado se consideran representativos del orden de magnitud del consumo real, y más que suficientes para este primer análisis.

Con base en la temperatura media anual se estimó que la evapotranspiración potencial para el valle se aproxima a 1 980 milímetros por año, y se estimó su distribución mensual por la correspondiente a la evaporación de tanque medida en una estación ubicada en el valle. Los valores obtenidos se indican en el cuadro 2 y en la figura 4.

Los coeficientes de consumo se calcularon con base en la temperatura media mensual y en las características propias de cada cultivo.

7/ Véase J. Roberto Jovel, Variabilidad de la precipitación pluvial en Nicaragua y regularización de las disponibilidades hídricas para el sector agropecuario. (CEPAL/MEX/73/Nic.4; TAO/LAT/129). Comisión Económica para América Latina. Junio de 1973.

8/ Véase: J. Roberto Jovel, El cálculo de los requerimientos de agua para la irrigación en Costa Rica. Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano, PNUD/OMM. San José, Costa Rica. 1968.

Cuadro 2

VALLE DE SEBACO: CALCULO DEL CONSUMO DE CULTIVOS Y REQUERIMIENTOS DE AGUA
PARA RIEGO SUPLEMENTARIO DE COSECHAS

	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Total o promedio
Precipitación media, mm	111	204	79	67	169	213	36	4	3	3	4	23	
Precipitación efectiva, PE, mm ^{a/}	94	163	63	54	135	170	29	-	-	-	-	16	
Temperatura media, °C	27.4	25.8	25.5	25.7	25.2	24.9	23.6	24.1	24.2	24.7	26.4	27.2	
Evapotranspiración potencial f, mm	200	144	152	164	135	123	117	150	162	176	225	229	
K _t	1.09	1.04	1.03	1.04	1.02	1.01	0.97	0.99	0.99	1.01	1.06	1.08	
K _c													
Maíz ^{b/}	0.41	0.51	0.85	0.74									
Maíz ^{c/}			0.41	0.51	0.85	0.74							
Tomate								0.39	0.59	0.90	0.73		
k = k _t x k _c													
Maíz ^{b/}	0.45	0.53	0.88	0.77									
Maíz ^{c/}			0.42	0.53	0.87	0.75							
Tomate								0.39	0.58	0.91	0.77		
Uso consuntivo, u = kf, mm													
Maíz ^{b/}	90	76	134	126									
Maíz ^{c/}			64	87	117	92							
Tomate								59	94	160	174		
Requerimiento de riego, RR = U - PE, mm ^{d/}													
Maíz ^{b/}	-4	-87	71	72									
Maíz ^{c/}			1	33	-18	-78							
Tomate								59	94	160	174		

Cuadro 2 (Conclusión)

	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Total o promedio
Requerimiento de agua, RA = U-PE/Ef, mm ^e /													
Para eficiencia (Ef) de 0.80													
Maiz ^{b/}			<u>f/</u>	90									90
Maiz ^{c/}			<u>f/</u>	- <u>f/</u>									-
Tomate								73	117	200	217		607
Para eficiencia (Ef) de 0.60													
Maiz ^{b/}			<u>f/</u>	120									120
Maiz ^{c/}			<u>f/</u>	<u>f/</u>									-
Tomate								96	157	257	290		800
Dotación de agua, l/s/ha													
Para eficiencia (Ef) de 0.80													
Maiz ^{b/}			<u>f/</u>	0.34									
Maiz ^{c/}			<u>f/</u>	<u>f/</u>									
Tomate								0.27	0.44	0.82	0.82		
Para eficiencia (Ef) de 0.60													
Maiz ^{b/}			<u>f/</u>	0.45									
Maiz ^{c/}			<u>f/</u>	<u>f/</u>									
Tomate								0.36	0.59	1.07	1.08		

a/ Calculada como el 80 por ciento de la precipitación media.

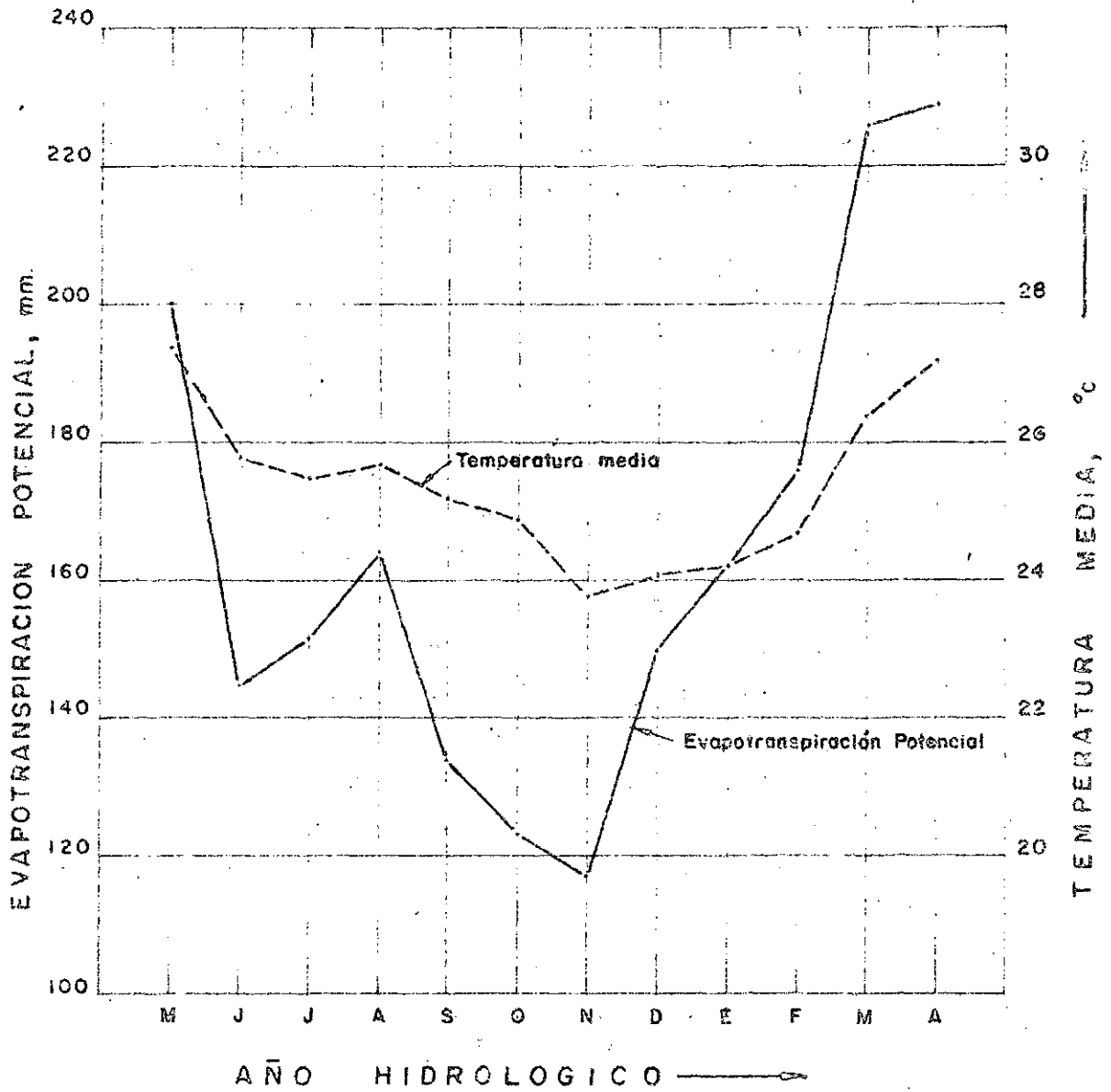
b/ Para el período actual de siembra.

c/ Para un calendario nuevo de siembra que evite regar.

d/ Uso consuntivo menos precipitación efectiva.

e/ Requerimiento de agua para riego, incluyendo pérdidas.

f/ No se requeriría riego pues la humedad almacenada en los suelos durante mayo y junio sería superior a las necesidades de agua del cultivo, bajo condiciones de precipitación normal.



MISION CENTROAMERICANA DE
ELECTRIFICACION Y RECURSOS HIDRAULICOS
ONU-CEPAL

VALLE DE SEBACO
TEMPERATURA MEDIA
Y EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

OCTUBRE - 1973

FIGURA 4

El consumo propiamente dicho se obtuvo como el producto de la evapotranspiración potencial y el coeficiente de consumo, para todo el período de crecimiento. (Véase de nuevo el cuadro 2).

c) Necesidades de agua para los cultivos

i) Cosecha actual de cereales^{9/}. Las disponibilidades hídricas resultan insuficientes para satisfacer las necesidades de los cultivos durante un año de precipitación normal. En mayo y junio se observan superávit de humedad que, gracias al almacenamiento en los suelos, permitirían satisfacer las necesidades correspondientes a julio, pero en agosto se aprecia una falta de entre 90 y 120 milímetros (según el método de riego que se adopte).

Se necesitaría en consecuencia, un riego de entre 900 y 1 200 metros cúbicos por hectárea cultivada. (Véase de nuevo el cuadro 2.)

ii) Cosecha de hortalizas^{10/}. Como las hortalizas se sembrarían y cosecharían en una época sin precipitación efectiva, habría que recurrir al riego en volúmenes de entre 600 y 800 milímetros (entre 6 000 y 8 000 m³/ha, dependiendo del sistema de aplicación que se adopte. Durante el mes de mayor demanda (marzo) habría que proporcionar entre 217 y 290 milímetros de agua. (Véase de nuevo el cuadro 2.)

iii) Alternativa para cosecha de cereales. Con objeto de evitar el riego en agosto, y de reservar todo el volumen de agua subterránea disponible para el riego de hortalizas, cabría alterar el calendario de siembra y de cosecha de los cereales.

Como señala el balance de humedad y de consumo del cuadro 2, resulta, en efecto, que si se sembraran los cereales en julio y se cosecharan en octubre, podría suprimirse la necesidad de regar durante la estación lluviosa en los años de precipitación normal.

^{9/} Para los efectos de cálculo se empleó el cultivo de maíz únicamente.

^{10/} Para los cálculos se consideró el cultivo de tomate representativo de las hortalizas.

d) Dotación máxima de agua y superficie regable

Tomando en cuenta los requerimientos de agua señalados y los días de cada mes, se ha calculado que la máxima dotación de agua sería de 1.08 litros por segundo por hectárea para los sistemas de riego por gravedad y de 0.82 l/s/ha para el riego por aspersión. (Véase de nuevo el cuadro 2.)

Si llegara a adoptarse la modificación del calendario de cultivos a que se ha hecho referencia,^{11/} y teniendo en cuenta que el rendimiento seguro del agua subterránea es de al menos 40 millones de metros cúbicos, quedaría disponible un caudal de 3 850 litros por segundo durante el período diciembre-marzo^{12/} para el riego de hortalizas. Podría entonces regarse una extensión mínima de 3 500 hectáreas por un sistema por gravedad o una de 4 700 de emplearse un sistema por aspersión.

Para reducir los requerimientos de capital y los costos anuales para el riego, así como para generar un mayor número de empleos, resultaría preferible un sistema de riego por gravedad. En los cálculos posteriores se supone, por esa razón, que se regarían en total 3 500 hectáreas, o 5 000 manzanas como mínimo, durante la época seca.

Los sistemas permitirían también proporcionar riegos de auxilio en años secos para asegurar las cosechas de cereales de las estaciones normalmente lluviosas.

5. Esquema de aprovechamiento

Como los cálculos anteriores señalan la posibilidad de extraer 40 millones de metros cúbicos de agua subterránea para regar 3 500 hectáreas sembradas de hortalizas por un sistema de gravedad, se describen a continuación las características principales del sistema de pozos que permitiría tal desarrollo.

Cabe señalar, no obstante, que estas características pueden verse sujetas a modificación posterior a la luz de información más amplia y

^{11/} En otro análisis se examinará la posibilidad de cambiar aún más el calendario de actividades agrícolas, para producir dos cosechas de cereales de rápido crecimiento (75-90 días) y una de hortalizas, para lo cual se requeriría riego suplementario para parte de una cosecha de cereales y para la de hortalizas.

^{12/} Presupone una utilización constante del agua e introduce un factor de seguridad en los cálculos. En el estudio señalado en la nota 11 se afinarían los cálculos sobre la superficie regable total.

actualizada. El diseño y las especificaciones que se describan enseguida tienen por lo tanto carácter preliminar y sólo indican un orden de magnitud de los valores que podrían resultar en definitiva.

a) Número y características de los pozos

Ya se ha señalado que el caudal seguro extraíble se aproxima a los 3 850 litros por segundo o a su equivalente de unos 60 000 galones por minuto.

Con base en las características hidrogeológicas del acuífero por alumbrarse, puede contarse con caudales firmes de 1 000 galones por minuto (63 litros por segundo) en pozos incluidos dentro de un sistema. Se precisaría perforar por lo tanto un total de 60 pozos para poder regar las 3 500 hectáreas, cubriendo cada uno 58 hectáreas (83 manzanas).

Para un caudal de 1 000 GPM los pozos tendrían que perforarse a un diámetro de entre 18 y 20 pulgadas (45 a 50 cms.) y a una profundidad promedio de 250 pies. La tubería de ademe sería de 12 pulgadas de diámetro (30.5 cms.) y de 1/4 de pulgada (3 mm.) de espesor; se utilizarían de 150 a 160 pies de rejilla o tubería ranurada, con por lo menos 10 por ciento de área abierta y ubicada en el tramo inferior del pozo^{13/}. La tubería llevaría un tapón de cemento en el fondo. El espacio anular se rellenaría con un empaque de grava de 3 a 4 pulgadas de espesor para aumentar el radio efectivo y la eficiencia del pozo y en la parte superior se instalaría un sello sanitario de concreto para evitar la contaminación, aparte de una base para la bomba y el motor.

Los pozos construidos en esta forma quedarían estructural e hidráulicamente capacitados para suministrar el caudal de diseño y para un largo período de vida útil sin mayores problemas de mantenimiento.

b) Ubicación y espaciamiento de los pozos

De acuerdo con las limitaciones impuestas para no afectar al caudal del río Viejo, los pozos de producción tendrían que ubicarse a

13/ La abertura de la rejilla se determinaría después.

una distancia no menor de 2 kilómetros del cauce del río; aparte de ello, sólo se alumbrarían los acuíferos profundos, es decir la rejilla de los pozos se colocaría más profunda que el acuífero somero que alimenta el caudal base del río Viejo.

Se ha diseñado, teniendo en cuenta lo anterior, un modelo esquemático del sistema de pozos para regar las 3 500 hectáreas de hortalizas,^{14/} que consiste en dos núcleos de 30 pozos a cada lado del río, colocados los más cercanos a 2 kilómetros del mismo. Los pozos quedarían separados unos 750 metros entre sí para poder servir cada uno unas 58 hectáreas; se situarían en tres líneas paralelas al cauce del río, incluyendo las dos más cercanas, 12 pozos, y una tercera, 6 pozos más.

En la figura 5 se presenta esquemáticamente la ubicación de los pozos de producción y se señala también la superficie total a regar dando por admitido que con cada uno se regarían las 83 manzanas a él adyacentes^{15/}.

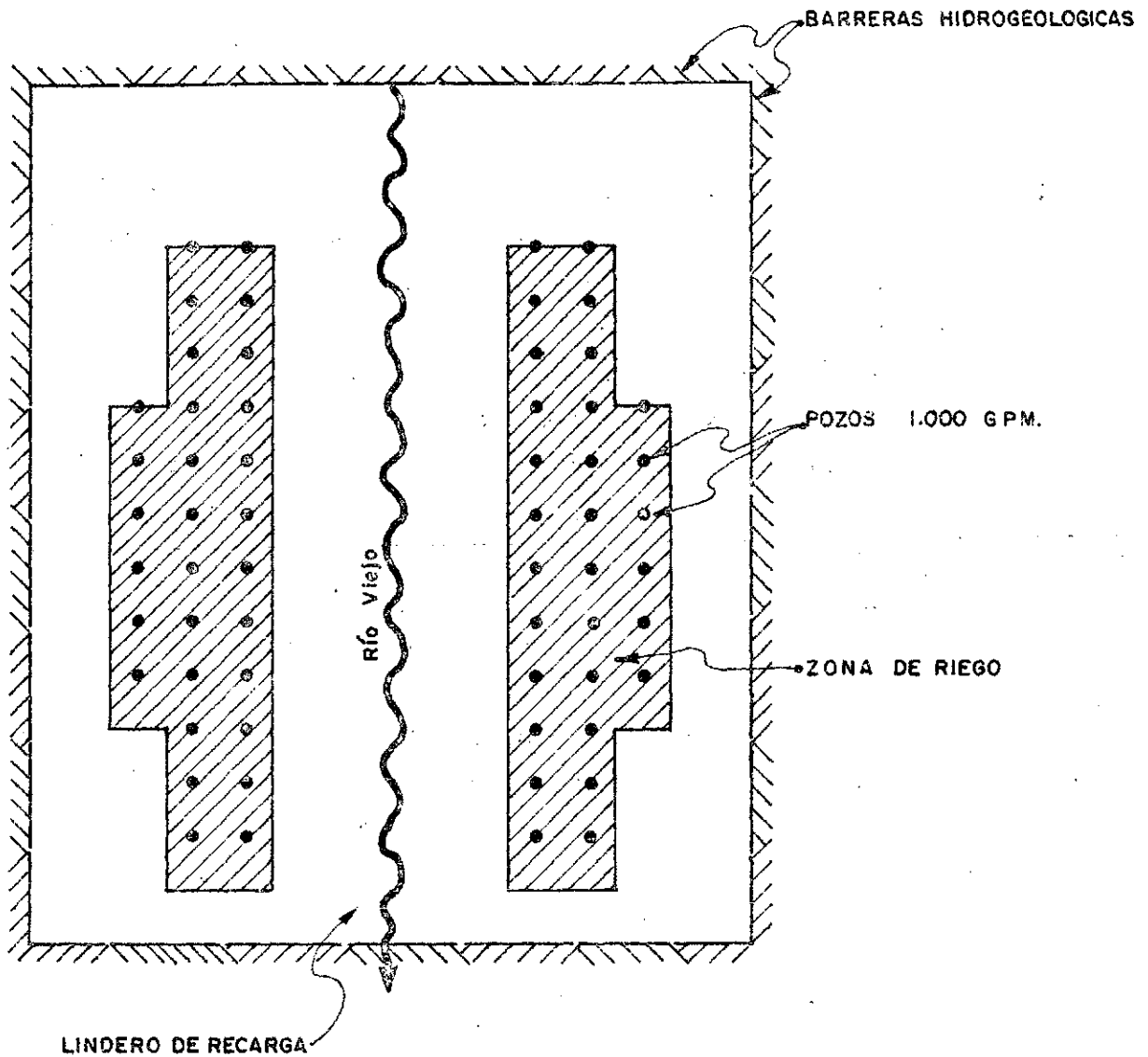
6. Análisis hidrogeológico de sistema

En el análisis que figura a continuación se ha recurrido a métodos y procedimientos usuales^{16/} para calcular el comportamiento futuro del acuífero en respuesta a la extracción requerida para el riego. Se basa

^{14/} Debe observarse que no se toman en cuenta unas 600 hectáreas de cereales que se riegan en la actualidad de pozos cercanos al río, porque se estima que los caudales se extraen en un alto porcentaje del río Viejo directamente.

^{15/} Es de señalar que si por razones de preferencia de los agricultores o por existir mejores suelos en otras zonas del valle, se prefiriere regar una zona diferente a la señalada, los pozos podrían colocarse en forma distinta pero siempre respetando las limitaciones de distancia al río y de ubicación de la rejilla; los abatimientos y costos de bombeo que se presentarán más adelante en este documento, se verían sin embargo adversamente afectados en tal caso. Cabría considerar por lo tanto el esquema presentado en la figura 5 como el más económicamente atractivo, aunque podría modificarse en la práctica.

^{16/} Véase William C. Walton, Selected Analytical Methods for Well and Aquifer Evaluation, Illinois State Water Survey, 1962; y también, J. Roberto Jovel, Compendio de métodos para el cálculo del comportamiento futuro de acuíferos y pozos, Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano, San José de Costa Rica, 1967.



MISION CENTROAMERICANA DE
 ELECTRIFICACION Y RECURSOS HIDRAULICOS
ONU-CEPAL

VALLE DE SEBACO
 UBICACION ESQUEMATICA DE LOS
 POZOS PROPUESTOS Y DEL AREA
 A REGARSE.

OCTUBRE -1973

FIGURA 5

en la idealización del acuífero que se supone posee características hidráulicas uniformes, dimensiones físicas conocidas y límites bien definidos. Utiliza, finalmente, la teoría del no-equilibrio en el flujo tridimensional del agua subterránea, y la teoría del pozo imagen para el cálculo de las interferencias.

El análisis tiende a determinar la factibilidad de regar las 3 500 hectáreas de hortalizas sin que se produzcan niveles críticos de bombeo en los pozos.

a) Acuífero idealizado y modelo matemático

El acuífero idealizado para el cálculo tendría los límites físicos impuestos por las barreras hidrogeológicas señaladas en la figura 3, y revestiría la forma de un rectángulo de 10 kilómetros en sus extremos norte y sur y de 12 kilómetros en los extremos este y oeste. (Véase de nuevo la figura 5.) Su espesor saturado sería de 200 pies y su permeabilidad media, de 400 galones por día por pie cuadrado, lo cual implica un coeficiente de transmisibilidad de 80 000 GPD/pie. El coeficiente de almacenamiento, por tratarse de un acuífero libre, sería de 15 por ciento una vez alcanzado el completo drenaje gravitacional de los intersticios.

El modelo matemático, en condiciones de flujo inestable del agua subterránea, presupone un período de bombeo de 120 días --que corresponde al período de riego-- y una extracción constante de 1.000 GPM para cada pozo^{17/}.

b) Abatimientos y niveles futuros de bombeo

Los abatimientos y los niveles futuros de bombeo de los pozos se estimaron a base de sus diversos componentes, en la forma que se describe a continuación.

^{17/} En realidad no se bombearía en forma constante sino intermitente, pero se admitió esta suposición para obtener un factor adicional de seguridad en los cálculos de abatimientos que se presentan más adelante. Los cálculos podrían realizarse para bombeo intermitente siguiendo los procedimientos señalados en el documento: J. Roberto Jovel, Análisis de abatimientos en pozos operados en forma intermitente, Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano, San José de Costa Rica, 1967.

i) Abatimientos individuales en los pozos. Tomando en cuenta que de cada pozo de 12 pulgadas de diámetro se extraería un caudal constante de 1 000 galones por minuto^{18/} y durante un período de 120 días, por el método del no-equilibrio se calcula que el abatimiento individual al final de la estación de riego serían 25 pies.

ii) Interferencia entre pozos. Las interferencias entre pozos vecinos se estimaron a su vez con base en la relación interferencia-distancia que se incluye en la figura 6, calculada también por el método del no-equilibrio. En vista de que las barreras hidrogeológicas se encuentran lo bastante alejadas para no producir interferencias, no se tomaron en cuenta los pozos imagen dentro del modelo descrito con anterioridad. Tampoco se consideraron los linderos de recarga constituidos por los ríos Viejo y Grande puesto que no se alumbrarían los mantos someros conectados hidráulicamente con ellos. (Véanse de nuevo las figuras 5 y 6.)

Las interferencias calculadas en la forma señalada oscilan entre 8 pies para los pozos ubicados en los extremos norte y sur del sistema y 13 pies para los situados en la parte central. El promedio ponderado de las interferencias para todo el sistema de pozos serían 10 pies.

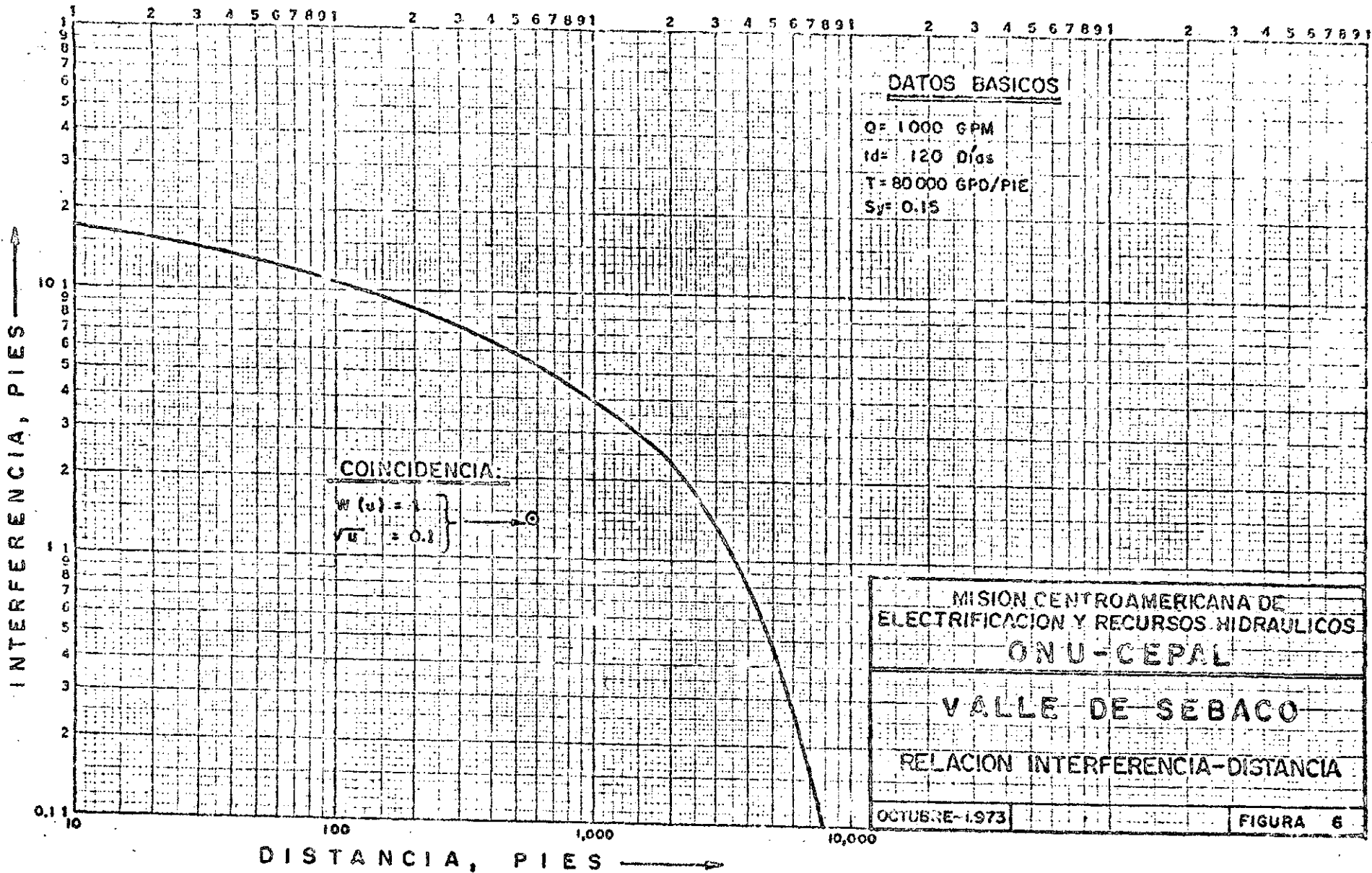
iii) Abatimientos por desecación parcial. El abatimiento adicional que resultaría de la disminución de la transmisibilidad del acuífero como resultado de su desecación parcial por la extracción para el riego, se ha calculado en 4 pies.^{19/}

iv) Abatimientos por pérdidas de entrada. Los abatimientos resultantes de las pérdidas de entrada causadas por el flujo turbulento del agua hacia el pozo y dentro del mismo, se han estimado suponiendo un coeficiente "C" de 4×10^{-5} PIE/GPM².^{20/}

^{18/} Véase la nota anterior.

^{19/} Se ha aplicado para ello la ecuación $s'_{dp} = m - s_a - \sqrt{m^2 - 2ms_a}$, donde m es el espesor saturado inicial del acuífero, y s_a representa los abatimientos individuales más las interferencias en los pozos.

^{20/} El coeficiente "C" se utiliza en la fórmula $Spe = CQ^2$, a base de la cual se obtiene el abatimiento por pérdida de entrada (Spe) en función del caudal extraído (Q).



Este valor se considera que está en correspondencia con los coeficientes hidráulicos del acuífero por alumbrar, y resultaría en una eficiencia de 50 por ciento en el pozo. Las pérdidas en cuestión ascenderían en tal caso a 40 pies.

v) Sumario de abatimientos. Teniendo en cuenta las cifras anteriores y suponiendo que se proporcionará rejilla suficiente para evitar penetración parcial del acuífero, el abatimiento promedio total del sistema de pozos serían 79 pies (24 metros).

vi) Niveles de bombeo previstos. El nivel estático del valle que oscila entre 30 y 40 pies, permite señalar que los niveles futuros de bombeo alcanzarían un promedio de 115 pies (35 metros). No se provocarán en ningún caso niveles de bombeo o abatimientos críticos en los pozos de producción, por lo que la extracción anticipada para el modelo propuesto sería técnicamente factible desde el punto de vista de la hidráulica de pozos.

Vuelve a recordarse que los resultados presentados son de carácter provisional y que podrían variar significativamente de alterarse la extracción y la ubicación, o el espaciamiento de los pozos propuesto. Deberá tenerse por lo tanto, especial cuidado en no aplicar estos resultados a esquemas de extracción con características distintas a las del supuesto.

c) Estimación provisional del costo de bombeo

Para ilustrar la factibilidad económica del riego estimado, se presenta a continuación una estimación provisional del costo de bombeo en los pozos bajo las condiciones señaladas.

Los pozos operarían unas 2 050 horas durante la estación de riego; de cada unidad se extraerían unos 1 000 GPM contra una carga dinámica total de 125 pies (38 metros) para lo cual habrá de requerirse --con una eficiencia del 75 por ciento en el conjunto bomba-motor-- un total estimado de 68 000 kilovatios-hora. Suponiendo la aplicación de la tarifa especial para riego --8 centavos de córdoba por kilovatio-hora-- el costo de bombeo ascendería así a unos 97 córdobas por hectárea regada.

7. Resumen de conclusiones y recomendaciones

a) Conclusiones

Las conclusiones de este estudio, de carácter preliminar y que deben ser afinadas cuando se disponga de mayor información, serían las siguientes :

1. Es técnicamente factible el aprovechamiento de los recursos de agua subterránea del Valle de Sébaco, consistentes en una extracción sostenida estimada en 40 millones de metros cúbicos anuales como mínimo, sin que se exceda la capacidad de recarga de los acuíferos existentes;

2. La extracción anterior puede realizarse mediante un sistema de pozos situados a una distancia no menor de 2 kilómetros del cauce del río Viejo con los que sólo se alumbre los acuíferos profundos para no afectar significativamente a los caudales del río mencionado;

3. Es factible extraer el volumen anotado a base de dos núcleos de 30 pozos, separados lo necesario tanto del río Viejo como entre ellos mismos, sin que ocurran niveles críticos de bombeo;

4. Con el volumen señalado puede ser factible regar, de diciembre a marzo, una superficie de al menos 3 500 hectáreas (5 000 manzanas) sembradas de hortalizas;

5. El costo de la extracción del agua por el sistema de pozos se ha calculado en menos de 100 córdobas por hectárea regada, lo que permite entrever la factibilidad económica del aprovechamiento previsto;

6. Desde el punto de vista de la disponibilidad de agua, pudiera convenir sembrar en julio y cosechar en octubre los cereales que actualmente se cultivan durante el período lluvioso, para evitar que posibles faltas de lluvia limiten o impidan el crecimiento de los cultivos o haya necesidad de regarlos.

b) Recomendaciones

Para concretar mejor los resultados de este estudio preliminar, convendría llevar a efecto lo que se especifica a continuación :

/1. Perforar

1. Perforar cuatro pozos exploratorios en lugares estratégicos del valle --véase la figura 7-- y realizar en ellos ensayos controlados de bombeo para determinar en detalle los coeficientes hidráulicos de las formaciones acuíferas que se alumbren^{21/}. Las características principales de estos pozos, que podrían convertirse en unidades de producción una vez terminadas las pruebas, se indican en la figura 8;

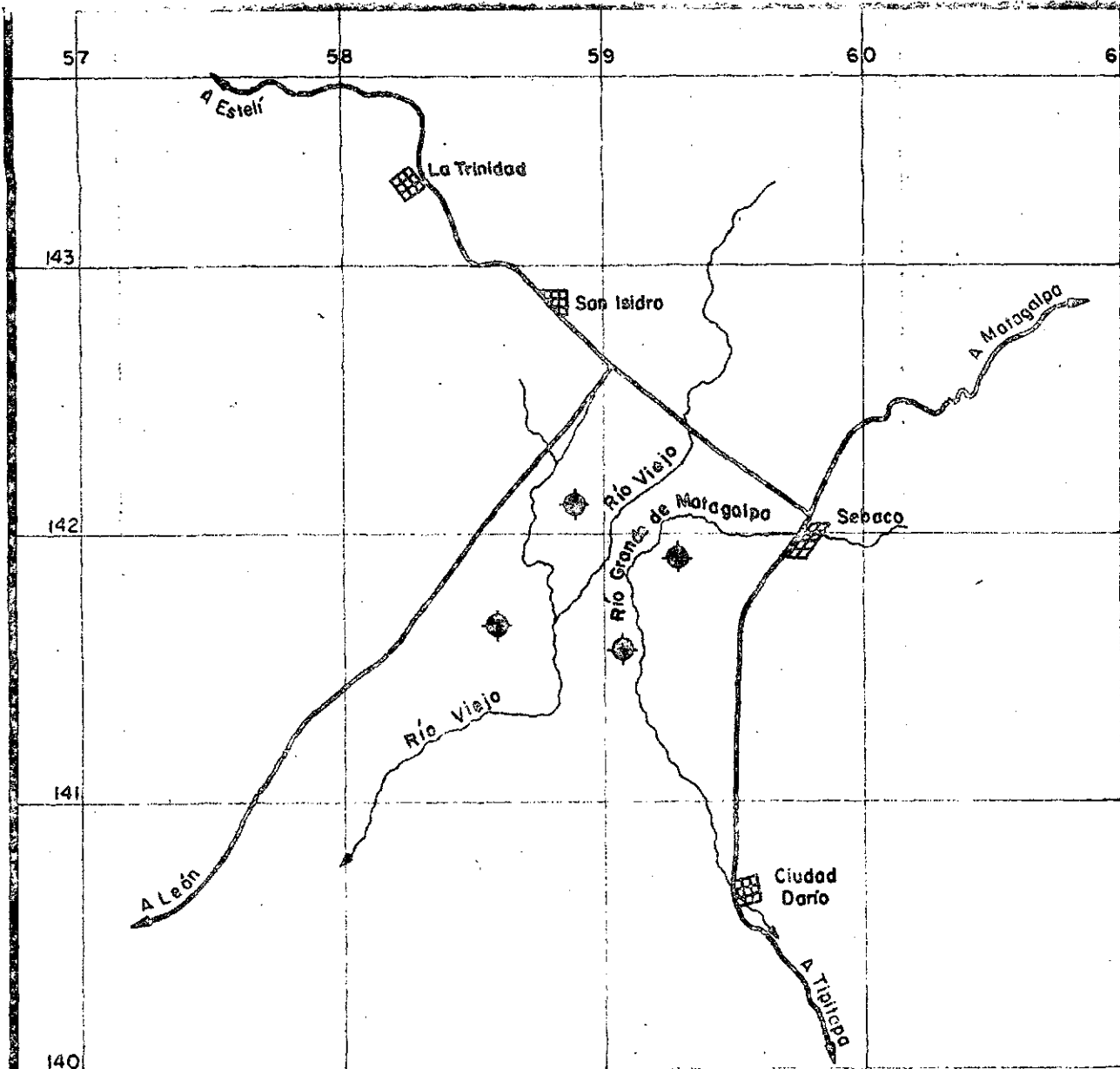
2. Examinar la posibilidad de implantar un nuevo calendario de cultivos, teniendo presentes los de hortalizas y variedades de cereales de rápida crecimiento, que permita un uso continuo de los suelos del valle a base de riego suplementario.

3. Efectuar un nuevo análisis hidrogeológico a base de los requerimientos de agua para el riego así planteados, que se apoye en la información concreta que se obtenga de los pozos exploratorios;

4. Realizar enseguida un estudio de costos y beneficios que permita determinar la factibilidad económica de los desarrollos previstos; y

5. Llevar a cabo el proyecto en forma escalonada --una vez concluidos los estudios y análisis citados-- para poder modificar sobre la marcha la concepción inicial del mismo si los resultados que se fueran obteniendo así lo aconsejasen.

21/ El procedimiento para los ensayos de bombeo y el análisis de la información que se obtenga están descritos en la referencia; J. Roberto Jovel, Aforos en etapas sucesivas para la determinación de coeficientes hidráulicos de acuíferos y pozos. Dirección General de Obras de Riego y Drenaje, Ministerio de Agricultura, San Salvador, 1967.



SIMBOLOS

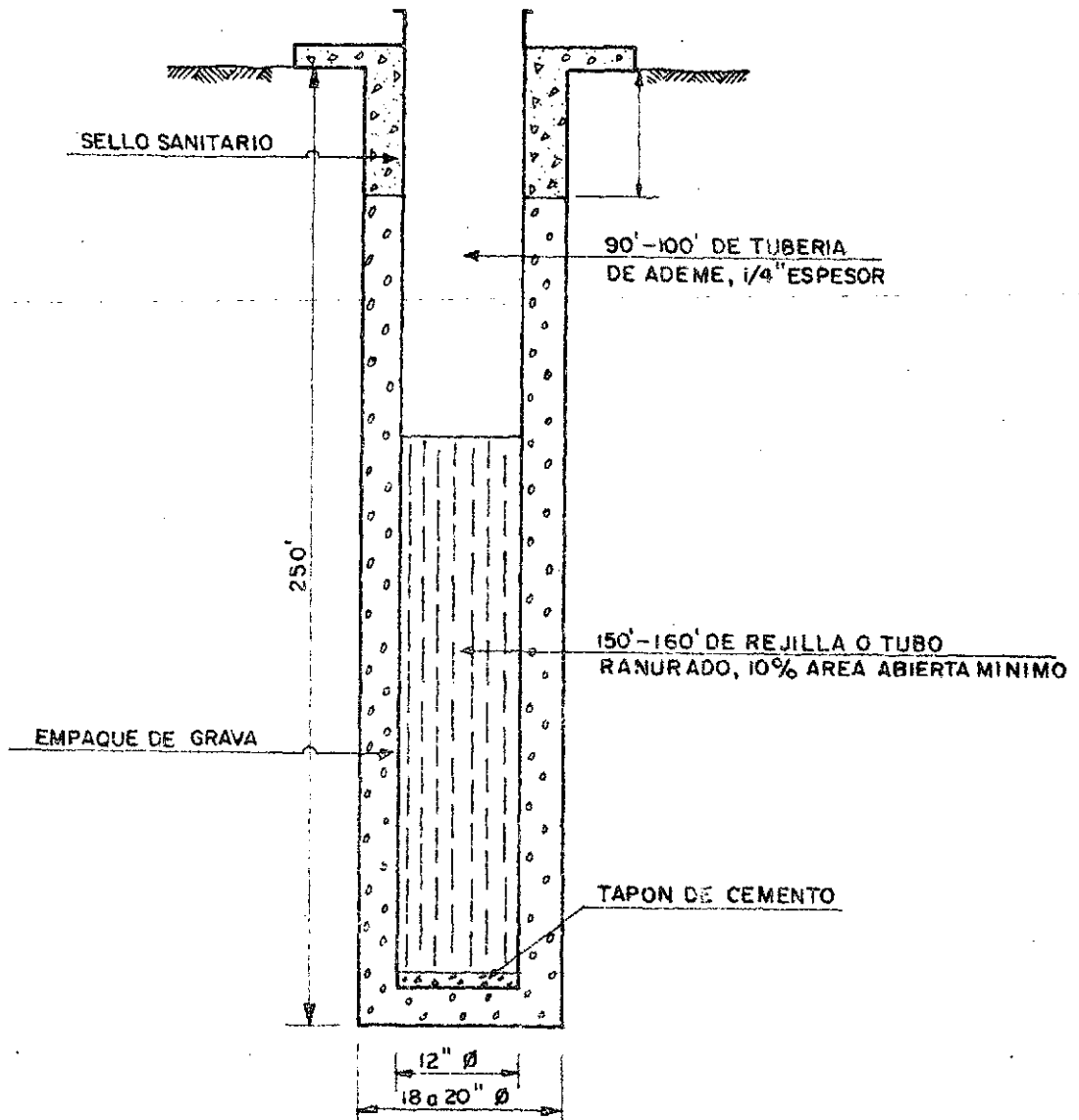
★ POZO EXPLORATORIO

MISION CENTROAMERICANA DE
ELECTRIFICACION Y RECURSOS HIDRAULICOS
ONU-CEPAL

VALLE DE SEBACO
UBICACION APROXIMADA DE
POZOS EXPLORATORIOS

OCTUBRE - 1973

FIGURA 7



MISION CENTROAMERICANA DE
ELECTRIFICACION Y RECURSOS HIDRAULICOS
ONU - CEPAL

VALLE DE SEBACO
DISEÑO ESQUEMATICO DE LOS
POZOS EXPLORATORIOS

