

534.

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
CHILE



MEMORIA

sobre

el ESTUDIO DE AGUAS SUBTERRANEAS

del

VALLE DE ELQUI

por

ABRAHAM MONTALVO F.

Antofagasta, junio de 1957.

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
CHILE

INTRODUCCION.

El Bureau of Reclamation de Estados Unidos presentó un Informe del Estudio de Aguas Subterráneas realizado en el Valle de Elqui en los años 1952, 53 y 54, titulado "Ground water investigations, Elqui Valley, Chile", el que, en lo sucesivo, se designará el Informe.-

La presente memoria no ha podido ser un trabajo independiente sino que ha tenido que entrar a analizar el Informe y, sobre esta base ha sentado sus propias conclusiones.-

El aspecto saliente de la comparación de ambos trabajos es la gran diferencia entre las conclusiones.-

Una parte de esta diferencia podría atribuirse al hecho de que, en los cálculos de aguas subterráneas, suele tener participación el criterio profesional basado en la experiencia, y debemos reconocer que el Informe tiene, bajo este aspecto, una evidente ventaja, puesto que nuestra experiencia sobre la materia en estudio es escasa hasta el presente.-

Pero la parte principal y más decisiva de las diferencias debe, según nuestro leal saber y entender, a omisiones y errores cuya explicación no hemos podido vislumbrar.-

Fluye de estos hechos la necesidad o la conveniencia, de que el Bureau of Reclamation, o por lo menos, la Corporación de Fomento, tuviera conocimiento de la presente Memoria, a fin de que se pudiera llegar a una conclusión aprobada por ambas partes, sobre materias tan trascendentales como son el gasto de los pozos, el funcionamiento de la napa artesiana como napa libre, la infiltración natural desde el río y la recarga.-

Si se adoptara la decisión de no mover más esta cuestión ante dichos organismos, sería aconsejable que la Dirección de Riego acometiera un estudio amplio, teórico y documentado sobre las materias arriba señaladas, el que deberá tener carácter general, de manera que fuera útil a la Dirección en futuros trabajos en el país.-

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION

C H I L E

- 2 -

1ª P A R T E

OBSERVACIONES AL INFORME Y DETERMINACION DE BASES DE CALCULO.

EN LO QUE SE REFIERE A TERRENO Y AGUA.

1.- Tasa de riego.

Respecto a las pérdidas en la conducción del agua, el Informe dice (final de la pág. 5): "Las pérdidas en la aducción y reparto del agua en el Valle de Elqui, según lo informado por miembros de la Junta de Vigilancia, son despreciables.- Estiman ellos que el consumo neto y el de bocanosa son idénticos".-

Cualquiera que sea el origen de esta opinión, es indudable que ella constituye un error.- Todo canal excavado en tierra pierde agua, por filtración principalmente, y éstas pérdidas son, por lo general, considerables.-

El Ingeniero Sr. Juan Bennett, que lleva muchos años trabajando en obras de riego en el Valle, ha estimado recientemente las pérdidas en las siguientes cifras:

<u>Sector</u> <u>del Valle</u>	<u>% de la tasa en</u> <u>bocanosa</u>
1° Algarrobal arriba	45
2° Algarrobal-Vicuña	30
3° Vicuña-Marquesa	40
4° Marquesa abajo	25

Las altas pérdidas del 1° y del 3er. Sector tienen su explicación en el hecho de que los canales están excavados en laderas de muy fuerte pendiente.-

En lo que respecta a la tasa de riego, el Informe usa las cifras dadas por la Sociedad Agrícola del Norte al Sr. T.H. Ahrens. (Appendix X. Reference X-7).-

El Ing° Sr. Bennett ha hecho recientemente, una estimación de la tasa.- Estos valores y los del Informe se reproducen en el Cuadro 1.-

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION

CHILE

- 3 -

CUADRO 1.- TASA DE RIEGO EN DOCATON - m3/Ha.

M E S	1er. Sector Inf. Bennett.	2° Sector Inf. Bennett	3er. Sector Inf. Bennett	4° Sector Inf. Bennett
Junio	- 90	- 140	- 170	- 270
Julio	- 90	- 290	30 170	400 400
Agosto	100 640	100 720	830 1250	700 930
Septiembre	1300 1640	1300 2140	1150 1590	900 1130
Octubre	1300 3280	1300 2360	1250 2670	1200 1530
Noviembre	1600 4600	1600 2860	1450 3260	1000 1330
Diciembre	1800 6200	1800 3260	1400 3010	1000 1260
Enero	1900 6900	1900 2060	1400 2840	1000 1260
Febrero	1800 6900	1800 2430	1220 2500	800 1000
Marzo	1200 4200	1200 2000	1170 2000	700 930
Abril	800 1460	800 860	300 330	600 670
Mayo	700 1100	700 430	100 250	400 530
ANUAL	12500 37100	12500 20350	10200 20040	8700 11240

Las grandes diferencias entre ambas estimaciones no tienen mucha influencia, porque corresponden a Marquesa arriba que comprende solamente el 20 % de los terrenos.- La notable diferencia en el primer sector corresponde sólo al 5 % de los terrenos.-

Respecto a la tasa del Informe, no debe olvidarse que ella no incluye la pérdida en los canales, lo que explica, en parte, su bajo valor.-

Habría que decidirse por la estimación del ingeniero Bennett, porque ha sido establecida a base de mucha experiencia y conocimiento del Valle; pero, creemos que será acertado bajar algo los valores, especialmente los altos, lo que se aprovechará para redondear la cifra.-

Así se han fijado las tasas anuales y de éstas se han prorrateado las tasas mensuales.- Las tasas resultantes son las que aparecen en el cuadro 2.-

Puede notarse en este Cuadro que el mes de máximo consumo se adelanta progresivamente desde Febrero a Octubre, yendo desde la cordillera hacia el mar.- Este adelanto obedece al incremento de siembra para temprano.- Que alcanza su máxima intensidad en el sector Marquesa abajo.-

CUADRO 2.- TASA ADOPTADA, EN DOCATON - m3/Ha.

	1er. Sector 30,000	2° Sector 11,000	3er. Sector 18,000	4° Sector 10,000
ANUAL				
Junio	100	100	200	200
Julio	100	300	200	400
Agosto	500	600	1100	800
Septiembre	1300	1900	1400	1000
Octubre	2600	2100	2400	1400
Noviembre	3700	2500	2900	1200
Diciembre	5000	2900	2700	1100
Enero	5600	2500	2600	1100
Febrero	5600	2200	2200	900
Marzo	3400	1800	1800	800
Abril	1200	700	300	600
Mayo	900	400	200	500

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
CHILE

- 4 -

2.- Superficie actualmente regada.-

El Informe usa las cifras suministradas por la Sociedad Agrícola del Norte.- Últimamente el Ingeniero Sr. Bennett ha establecido cifras distintas, pero que deben considerarse verdaderas porque son el resultado de indagaciones bastante prolijas.- Ambas series de valores aparecen en el Cuadro 3.-

CUADRO 3 - AREA ACTUALMENTE REGADA-HAS.

<u>Sector</u>	<u>Superficie</u>	
1°	1451	(4500)
2°	2933	(500)
3°	495	(700)
4°	18437	(7000)
Total	23316	(22700)

Nota: Las cifras entre paréntesis son las del Informe.-

Estas superficies pertenecen a los terrenos cuyos canales tienen sus bocatomas dentro de los sectores indicados.-

Es indudable que la Soc. Agrícola del Norte cometió un error de proporciones en el 1° y 2° Sector.-

En las cifras del Cuadro no están incluidas las superficies regadas por el Río Beracho, afluente del Río Claro, porque consumen todo el caudal de ese río y se bastan a sí mismas.-

3.- Seguridad de Riego.

Dice el Informe que la seguridad de riego es un concepto chileno y que consiste en "el promedio de los porcentajes anuales de la producción real respecto a la producción optima, estando representado el porcentaje de cada año no fallo por 100 y el de cada año fallo por su mínimo porcentaje mensual de agua disponible respecto al consumo".-

Esta definición difiere mucho del concepto de seguridad que se ha usado en la Dirección de Riego.-

Nuestra definición de seguridad se basa en el tiempo durante el cual se riega sin que haya déficit de agua.- la seguridad es, entonces, el porcentaje del tiempo en que se riega sin falla respecto al tiempo total.- Esta es la seguridad bruta.- Si esos tiempos son, respectivamente, t y T, la seguridad bruta, expresada en fracción decimal, es t/T.-

Quando el tiempo de observaciones es corto o la estadística merece algunas dudas se acostumbra disminuir la seguridad bruta en una cantidad igual a 1/2T.- El valor así obtenido es la seguridad virtual.- Esta seguridad

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
CHILE

- 5 -

nunca puede alcanzar el valor 100 %, aunque no haya ninguna falla. En este último caso, si:

	T =	10	50	100
la seg. virtual	=	95	99	99,5%

El valor de la seguridad es distinto según cual sea la unidad de tiempo usada. En la Dirección de Riego se ha usado siempre el año agrícola, porque este período involucra el proceso de cultivo completo, de manera que una falla cualquiera inutiliza o perjudica gravemente la cosecha. Se subentiende que tiene que ser falla de cierta importancia; fallas pequeñas, aunque sean sucesivas, o fallas aisladas, aunque sean algo mayores, no se computan. Estas fallas que no se computan deberían exceder de 10 % del consumo.

La seguridad anual es un concepto bastante estricto, porque no en todos los años fallos hay pérdida total para el agricultor. Sin embargo, tal tipo de seguridad es lo más adecuado a las condiciones de nuestro país. En efecto, nuestras estadísticas de gasto de los ríos son relativamente cortas y, además, son dudosas en el tiempo anterior a los últimos 10 ó 15 años, porque las personas encargadas de las observaciones carecían, por lo general, de cultura y ética, y habían, además, otras deficiencias. Por otra parte, las sequías del clima semi-desértico del Norte Chico son desastrosas, especialmente para el pequeño agricultor, para quien la pérdida es total. Es, entonces, necesario que la obra de riego sea una garantía contra todos estos factores adversos, y a tal efecto, lo más indicado es basarse en la estrictez de la seguridad anual.

Vamos a comparar, ahora, la seguridad anual con la del Informe.

Sean:

S_a = seguridad anual bruta, en fracción decimal.
 S_i = " del Informe " "
 A = promedio de los mínimos porcentajes mensuales de agua disponible respecto al consumo en los años fallos, expresado en fracción decimal.

Según la definición dada por el Informe,

$$S_i = \frac{1 \times t + A (T-t)}{T} = S_a + A (1-S_a)$$

Esta fórmula revela que, en el caso práctico en que $A > 0$, $S_i > S_a$.

Aplicando esta fórmula a las cifras del Informe (Tabla IV-I, Tabla VII-I o Tabla VII-I-a y Tabla VII-2), se obtienen los resultados siguientes:

	T	t	A	S_a	S_i
Condiciones actuales	25	12	0,68	0,48	0,83
Bombear con 3 m ³ /seg.	25	16	0,83	0,64	0,94
Bombear con 5 m ³ /seg.	25	18	0,83	0,72	0,95

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION

C H I L E

- 6 -

El valor alto de S_2 respecto a S_1 se debe a que se acepta que en los años en que hay déficit de agua la producción agrícola es directamente proporcional a la mínima agua disponible mensual, lo que no es exacto en modo alguno y, especialmente, por las condiciones existentes en nuestro país ya explicadas.-

Posteriormente al Informe, el autor principal de él, Sr. T.H. Ahrens, ha explicado que tomó el concepto de seguridad de la Memoria de la Frederick Smere Corp. y que lo aceptó porque nadie le explicó que no era válido.- A este respecto, cabe decir que, si bien dicha Memoria fue el antecedente que determinó al Supremo Gobierno a emprender mayores y más prolijos estudios de aguas subterráneas en el Valle de Elqui, ello no implicaba que todos los elementos de aquella fuesen considerados exactos.- Por otra parte, el Ingeniero Jefe de los nuevos estudios no fué consultado sobre este punto.-

4.- Gasto de la corriente subterránea.-

En el cálculo del gasto de la corriente subterránea (Tabla VII-4) hay un error numérico de mucha trascendencia.- La pendiente hidráulica aparece multiplicada por 100.- Por esta causa resultan gastos de 4,1 y 2,9 etc. m³/seg., siendo que las cifras verdaderas son 0,041 - 0,029 etc. m³/seg.-

Este error fué puesto en conocimiento del Sr. T.H. Ahrens.- El Bureau of Reclamation lo reconoció y luego después envió a la Dirección de Riego un Anexo titulado "Errata and Addenda" que contiene la Tabla VII-I-a que reemplaza a la Tabla VII-I del Informe original.-

De todos los valores de la Tabla VII-4, el Informe había elegido el mínimo 1,4 m³/seg. como base de cálculo.- Ahora, lógicamente, ha tenido que aceptar 0,014 m³/seg.-

El anterior es el gasto de la corriente subterránea propiamente tal.- El Informe había agregado a la cifra primitiva los retornos de riego que los estimó en 0,5 m³/seg., de lo que resultaba un gasto total de la corriente subterránea de 1,9 m³/seg.- Con este gasto se operaba en las Tablas VII-1 y VII-2, las cuales, naturalmente, han quedado nulas.- Ahora, este gasto total debería ser 0,514, pero el Bureau lo ha reducido a 0,5 m³/seg., y con el se ha calculado la nueva Tabla VII-I-a.-

Otra consecuencia del error ha sido la anulación de la solución de riego con 50 pozos, pues el Bureau ha reconocido que ya no es viable.-

5.- Gasto de bombeo.-

El gasto de las bombas se compone de dos partes: del que proviene de las corrientes subterráneas y del que proviene del agua acumulada en el embalse subterráneo.-

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION

C H I L E

- 7 -

Sean:

Q = Gasto de la corriente subterránea
 q_0 = Gasto por pozo desde el embalse
 q = Gasto total por pozo
 n = número de pozos (que funciona simultáneamente)

Se tendrá:

$$q = q_0 + \frac{Q}{n}$$

El gasto q_0 depende únicamente de las condiciones del terreno (permeabilidad y coeficiente de almacenamiento) y, para una altura de elevación y un tiempo de funcionamiento determinados, es un valor constante. El gasto Q también lo es. Pero, siendo variable el número de pozos, el gasto por pozo q también es variable.

En el Informe se había establecido un gasto constante (0,1 m³/seg.) por pozo, con 30 y con 50 pozos; y en el Anexo se ha mantenido ese gasto, aunque el gasto Q ha variado notablemente. No cabe duda de que ambas cosas constituyen un error. Veamos las cifras. En la Tabla VII-3, 7ª columna, se encuentran los gastos por pozo que puede suministrar el embalse con 50 mts. de altura de elevación y al cabo de un bombeo continuo de 10 meses, a base de la transmisibilidad y el coeficiente de almacenamiento que fueron determinados por las pruebas de bombeo. Su valor medio es 0,025 m³/seg.

Se tiene, así, los siguientes resultados:

Solución	n	q_0	Q	q
30 pozos (Informe)	30	0,025	1,9	0,088
50 " (")	50	0,025	1,9	0,068
30 " (Anexo Err. and Add.)	30	0,025	0,5	0,042

Tenemos, así, una gran diferencia entre el valor del gasto deducido de las conclusiones mismas del Informe y el valor con el cual opera. Los dos primeros casos ya no interesan, porque según ya se ha dicho, están anulados. En el tercer caso que es la única solución vigente, el gasto verdadero resulta aumentando en un 140 %.

Como justificación de la cifra de 0,1 m³/seg., el Informe dice únicamente lo siguiente (pág. 68): "Sobre la base de un período máximo de bombeo de 10 meses, estos pozos deberían entregar entre 30 y 150 lts/seg. con altura de elevación máxima de 50 metros. El rinde total de los 30 pozos deberá ser de unos 3 m³/seg."

La referencia hecha al período de 10 meses y a la altura de elevación de 50 mts., evidencia que el Informe ha obtenido esos gastos de la Tabla VII-3 antes mencionada. Además, la frase anterior está al final de un largo párrafo en el que virtualmente se defiende la validez de las conclusiones de dicha Tabla, pues se dice que diversos factores favorables redundarían en una mejor performance de pozos y napas, y contrarrestarían cualquier error en el cálculo de la transmisibilidad y de la permeabilidad. Más aún: el Informe y comunicaciones posteriores dejan constancia de

CORPORACIÓN DE FOMENTO DE LA PRODUCCIÓN

CHILE

- 8 -

que el cálculo por el método de los pozos-imágenes con que fué calculada la Tabla y una fórmula teórica del Sr. W.T. Woody concuerdan satisfactoriamente, quedando así subentendida nuevamente la validez de las conclusiones.-

Tales deducciones y conclusiones son correctas.- Y puede notarse que la cifra adoptada de 100 lts/seg. resulta de redondear un poco hacia arriba la cifra verdadera de 88 lts/seg., en el caso de 30 pozos, lo que es aceptable a causa del mejor rendimiento de un pozo en explotación.-

Peró, el inesperado cambio de la corriente subterránea, de 1,9 a 0,5 m3/seg., dejó en el aire el cálculo primitivo, debiendo ser el nuevo gasto por pozo aproximadamente la mitad del otro.-

Comunicada esta dificultad al Sr. T.H. Ahrens se nos ha contestado que debido a la pérdida de algunos apuntes, el autor omitió cierto acápita que debe intercalarse entre el primero y el segundo del párrafo "Estimates of Well Yields, — etc".(pág. 67).-

Dicho acápita expresa que los gastos calculados de la Tabla VII-3 fueron comparados con los gastos y depresiones ocurridas en las pruebas de bombeo (Tabla VI-4) y que en todos los casos la performance de los pozos en las pruebas resulta ser mucho mejor que lo que permiten las características de la napa.- Se agrega que se ha estimado aceptable suponer que la depresión es proporcional al gasto, y que, aplicada esta regla a los gastos de las pruebas, se han obtenido los gastos para la altura de elevación de 50 metros.- En el mismo párrafo aparecen estos gastos, los cuales fluctúan entre 20,7 y 408,0 lts/seg.-

Desde luego, estas cifras no concuerdan con las anteriores de 30 y 150 lts/seg., y hasta el momento ignoramos como de ellas podría deducirse un gasto de 100 lts/seg.; pero, aparte de este importante detalle, hay una observación de fondo que formular.-

Se han obtenido los nuevos gastos, aplicando la capacidad específica (lt/seg/mt. de elevación) de las pruebas de bombeo.- Sabido es que la capacidad específica varía con la magnitud del gasto y con el tiempo transcurrido, siendo inversamente proporcional a ellos, de tal modo que, en este caso, en que los gastos usados son grandes y en que el tiempo alcanza a 300 días, no es posible aplicar la capacidad específica de las pruebas sin cometer un error que puede ser de muchas proporciones.-

Si este expedito procedimiento de bombear y aplicar la capacidad específica resultante a cualquiera altura de elevación y a cualquier tiempo de funcionamiento tuviere validez, querría decir que la noción de transmisibilidad y de coeficiente de almacenamiento, y la fórmula de Theis y toda la teoría desarrollada al respecto serían cosa inútil.- Lo mismo habría que decir de la parte medular de nuestro estudio de las aguas subterráneas: se habría trabajado 4 años para terminar por pillar grosso modo la cifra fundamental del gasto de los pozos.-

Por otra parte, el gasto de las pruebas no puede ser el antecedente de lo que va a ser el gasto de la explotación, porque puede estar afectado por circunstancias cuyos efectos no deben computarse para determinar ese último gasto.- En el presente caso, por ejemplo, es cosa evidente que los gastos desproporcionadamente altos de los pozos B8 y B9 se deberán a una recarga directa desde el río, que está muy cerca de ellos (105 y 175 mts. respectivamente).- Puesto que el caudal del río es intocable en el tiempo de escasez (de bombeo), resulta que esa recarga desde el río no debe computarse para deducir el gasto de bombeo.-

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION

C H I L E

- 9 -

Respecto a la influencia de un río sobre el bombeo, es sabido que el pozo de bombeo toma el agua del río dentro de una zona o longitud de él más o menos grande, y que si el tiempo transcurrido va en aumento también va en aumento la cantidad de agua tomada desde el río.-

Consideradas todas estas poderosas razones es que no podemos aceptar el costo de 100 lts/seg., sino que debemos rendir tributo al estudio realizado en el terreno, aceptando sus cifras.- El costo por pozo debería ser entonces, 0,042 m3/seg.- Pero como el cálculo por el método de los pozos-imágenes envuelve algún error, queremos suponer que esto perjudica al Proyecto y, en consecuencia, vamos a aumentar el costo aproximadamente en un 20%, de manera que se tendrá, finalmente:

$$\begin{array}{ll} \text{en el caso de 30 pozos} & q = 0,050 \text{ m}^3/\text{seg.} \\ \text{en el caso de 2 pozos} & q = 0,033 \pm 0,002 \\ & n \end{array}$$

6.- Una libre o artesiana.- Capacidad del embalse

subterráneo

El Informe supone que el embalse subterráneo funcionará como napa libre, a la que le asigna un rinde específico de 7 lts.-

Es obvio, en diversas partes de él, (pág. 8, 65 y 66) se menciona el decaimiento y desaparición de la presión de la napa artesiana superior en el carácter de fenómeno eventual.-

En la pág. 8, párrafo II-4, se lee: "Los coeficientes de almacenamiento con del orden de 0,001; pero, al producirse el decaimiento de la napa artesiana superior como resultado del bombeo, el rinde específico probable sería entre 0,01 y 0,10.-" En la pág. 65 se expresa lo siguiente: "... se cree que al estar explotadas las napas artesianas superiores, probablemente serían decaídas de forma parcial y periódicamente.-"

A la vista de estas declaraciones, es clara la deducción de que el funcionamiento del sistema como napa libre es inseguro.- Tales afirmaciones son exactas, según se demostrará luego.- Es probable que las napas artesianas superiores sean decaídas sólo parcialmente y periódicamente.-

Es obvio, el Informe no ha realizado ninguna investigación sobre la interesante cuestión que plantea y supone que la napa funcionará todo el tiempo como napa libre.-

Lo primero que ocurre preguntarse es cual sería la diferencia de condiciones entre napa libre y napa artesiana.- Aceptando, por el momento, la cifra del Informe, el volumen útil del embalse, considerado como napa libre, es de 127.000.000 m3.- Por otra parte, la superficie media de las napas artesianas incluidas en los 50 mts. de altura de elevación es del orden de 5.000 Héc., y aceptando un coeficiente de almacenamiento de 0,001 y operando con el vacante máximo de presión que es del orden de 40 mts., el rinde de las napas sería de 2.000.000 m3. solamente.- Atendiéndose, además, la circunstancia de que napa libre se puede recargar artificialmente y la napa artesiana no, quedando confiada su recarga sólo a los elementos naturales, resulta que tampoco se puede esperar recargas de la napa artesiana más frecuentes que en la napa libre, de manera que los volúmenes que deben compararse son por la napa libre 127.000.000 m3. y por la alternativa de napa artesiana permanente 2.000.000 m3. más el rinde de la napa libre propiamente

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION

C H I L E

- 10 -

tal o napa freática.- Este último (hasta la profundidad de 13 mts.) es, según veremos más adelante, de 41.000.000 m³.- En definitiva, se tendría como capacidad del embalse:

si la napa artesiana pierde su presión 127.000.000 m³.
si la napa artesiana no pierde su presión 43.000.000 m³.

Es, entonces, de considerable importancia la cuestión de si la napa artesiana funciona como tal o como napa libre.- Según sea lo que ocurra, la capacidad del embalse puede valer desde 43.000.000 m³. hasta tres veces este valor, lo cual obliga a investigar la cuestión.-

En una napa artesiana sometida a bombeo pueden producirse las siguientes situaciones de la presión: constante, descendente, nula y ascendente.- El abastecimiento de las bombas provendrá:

si la presión es :	constante	descendente	nula	ascendente
de la corriente :	artésiana	artésiana	libre	artésiana
y del embalse :	--	artésiano	libre	---

La condición de presión constante difícilmente ocurrirá.- Hay, entonces un ciclo inevitable de 3 períodos, de los cuales dos son sin ocurrencia de napa libre, de manera que es necesario tratar de darse cuenta de cual puede ser la duración de esos períodos.

Ello requiere indagar las causas de variación de la presión, y, antes de esto, las causas de la presión misma.-

La causa más conocida de la presión artesiana es un exceso de carga hidrostática, que puede originarse muy lejos o dentro de límites moderados, siendo probablemente este último el caso del Valle de Elqui, como lo comprobarían las bajas presiones artesianas halladas.- Pero hay otra causa muy importante que existe solamente en napas encerradas por capas impermeables y flexibles, de material no consolidado, y es el peso del terreno que cubre la napa.- Este peso, en parte hace funcionar al embalse artesiano y en parte crea presión hidrostática dentro de la napa.- Tal es, precisamente, el caso del Valle de Elqui, pues las capas que encierran las napas son conglomerados arcillo-limosos no consolidados.- Los materiales consolidados y rígidos son p. ejemplo, la caliza y las areniscas duras.- (1)

La causa de variación de la presión artesiana en el Valle de Elqui será, por lo tanto, principalmente la acción de la sobrecarga del terreno, de tal manera que es muy difícil que la presión hidrostática desaparezca por mucho que se bombee.- Lo que ocurrirá será que el coeficiente de almacenamiento disminuirá más y más, a causa del aplastamiento de la napa, pero esto mismo no dejará desvanecerse la presión hidrostática.- En el límite en que esta presión podría llegar a cero, el material estará de tal modo comprimido que su permeabilidad será muy baja, condiciones en las cuales, como es sabido, la acción de la gravedad no tiene efecto apreciable entre el agua contenida en los intersticios, o sea, no puede funcionar una napa libre aunque no exista presión hidrostática.- Si se produce esta situación, en el período siguiente en que no hay bombeo la presión hidrostática se restablecerá inflando la napa, a través de un período más o menos largo.-

(1) La formación lenticular no permite considerar napas artesianas continuas

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
CHILE

- 11 -

Estas consideraciones indican que los períodos de descenso y ascenso de la presión pueden ser muy largos, y que aún el tercer período de presión nula puede no habilitar a la napa para funcionar como libre o puede habilitarse en forma precaria.

La posibilidad de disminución rápida de la presión hidrostática y taciamiento de la napa de manera que funcione como napa libre sólo es posible cuando las capas que encierran la napa por encima son rígidas, como serán las areniscas y calizas ya mencionadas.- En tal caso, la presión proviene sólo del exceso de carga hidrostática y puede ser eliminada por exceso de bombeo; y como la napa no ha sido comprimida, funcionaría como napa libre. Pero, como sabemos, éste no es el caso del Valle de Elqui.-

La exposición precedente conduce a la conclusión de que el funcionamiento de las napas artesianas como libres no llegará a suceder en el Valle de Elqui y que, si ocurriera, será de corta duración en relación con su funcionamiento artesiano.-

Es obvio que no hay base alguna para establecer cifras; pero, como es forzoso hacerlo, una suposición probablemente muy optimista sería la de que la napa artesiana funcionará como libre en una tercera parte del tiempo de bombeo.-

Dejando arriba un espesor libre de 5 mts. para la zona de rí- ces y drenaje de los cultivos que hay en el valle mayor, el nivel del embalse subterráneo deberá fluctuar entre las profundidades de 5 y 40 mts. aproximadamente.- Del Cuadro 4 se deduce que el cubo del relleno correspondiente desde Higuillas a Altovalsol, que sería la zona del radio de acción de las bombas, es de 1.565.000.000 m³., que, con el rinde de 7 %, equivalente a un volumen de agua de 130.000.000 m³.- En cuanto a la napa freática propiamente tal, le asignaremos el mismo espesor que indica el Informe, o sea, 10 mts.- El nivel del embalse libre propiamente tal fluctuará entre 5 y 15 mts. de profundidad siendo el cubo del relleno de 585.000.000 m³. y el del volumen de 41.000.000 m³.-

Entonces, el volumen virtual del embalse sería:

$$\frac{1}{3} \times 130.000.000 + \frac{2}{3} \times 41.000.000 = 70.700.000 \text{ m}^3.$$

Pero, a fin de eliminar cualquier error adicional contrario al proyecto, preferimos aumentar esa capacidad aproximadamente en un 15 %.- Así, se tendrá, finalmente:

Capacidad virtual del embalse 80.000.000 m³.

La discusión precedente tiene más interés teórico, que práctico, porque la capacidad del embalse tendrá una influencia mucho menor que el gasto total de las bombas en el cálculo de la regulación, debido a que este gasto es mucho menor que el necesario en el mes de máximo consumo, especialmente en superficies regadas grandes.- El punto débil será el gasto de las bombas antes que la capacidad del embalse.-

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION

CHILE

- 12 -

7.- Rinde específico.-

El Informe estima que el rinde específico de la napa libre "probablemente está entre 0,01 y 0,10" (pág. 8); y más adelante lo fija en 7%, como una "suposición arbitraria" (pág. 66).- El único antecedente aducido es el ensayo granulométrico de los pozos B5 y B8.-

El margen de incertidumbre del rinde es de 1 a 10, lo que en el caso del embalse de 127.000.000 correspondiente a 7%, equivale a un margen de incertidumbre en volumen de 18.000.000 a 180.000.000 m³.-

Ahora bien un proyecto de la magnitud e importancia de éste no debe fundarse en una cifra que esté inclinada hacia el máximo probable, sino más bien hacia el mínimo probable.- La Ley del 1 es lo más aceptable en estos casos.- Así, debió tomarse 4% o, a lo más, 3 un 5 %.-

Análisis granulométrico del terreno en Pualaro perteneciente a este estudio y al Proyecto del Embalse Pualaro, demuestran además, que es necesario usar de prudencia e inclinarse hacia el lado de los valores menores del rinde.-

De este estudio se ha calculado el promedio del "porcentaje más fino" del Pozo B8, entre las profundidades de 10,70 m. y 35,60 m., con un total de 11 ensayos.- Del Proyecto Embalse Pualaro se ha calculado el promedio de 6 pozos (N° 1, 2, 3, 4, 5 y 6), entre las profundidades 10 m. y 35 m., con un total de 63 ensayos.- Los resultados son los siguientes:

	<u>Porcentaje más fino - Malla #</u>					
	4	8	16	30	100	200
Est. Aguas Subt.	80	63	49	23	12	7
Proyecto Pualaro	85	75	63	43	23	15

El Porcentaje más fino es siempre mayor en los ensayos del Proyecto Pualaro, llegando a valer el doble en la malla más fina.- Es muy probable que la causa de esta diferencia resida en el hecho de que los ensayos de aguas subterráneas se efectuaron con cierto retardo y sobre muestras que no se ensacaron luego de extraídas, lo que habrá dado ocasión a que el viento (que es muy fuerte en Pualaro) haya hecho desaparecer cierta cantidad de material fino.-

Sea como fuere, el hecho es que merecen más fé los 63 ensayos hechos en el Laboratorio de la Universidad de Chile, sobre muestras recogidas y ensacadas en el terreno con prelijidad y sin demora.- El porcentaje más fino resultante es notablemente mayor que el que sirvió de antecedente para la fijación arbitraria del rinde de 7 %.-

Por otra parte, todos los ensayos, los de aguas subterráneas como los de Pualaro, coinciden en que la granulometría está muy bien repartida. Conocida es la gran influencia que este hecho tiene en la compacidad de un material.-

Lo dicho sobre granulometría indica que habría que fijar un rinde menor que el que se ha supuesto.-

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION

C H I L E

- 13 -

En conclusión, a causa del margen de incertidumbre y de la prueba que existe de que el porcentaje más fino es mayor de lo que se sabía, el rinde específico debería disminuirse.- Creemos que lo más acertado sería dejarlo en 5 %.-

8.- Infiltración desde el río producida por

el bombeo

Quando funcionen las bombas descenderá al nivel del embalse y se infiltrará agua desde el río, la que habrá que bombear inmediatamente, puesto que se está en período de déficit, restituyéndola al río -

La sola enunciación de este fenómeno inevitable revela su gran importancia.-

El propio autor principal del proyecto, Sr. T.H. Ahrens, ha admitido la importancia que posee este factor.- En efecto, en un Memorandum titulado "Elqui Valley Ground-water investigations" de fecha 26 de Marzo de 1954, escrito por el Sr. Ahrens y dirigido al autor de la presente Memoria, se expresa lo siguiente: "Bombeando los 32 pozos 280 días al año, utilizarían algo más de un tercio del agua disponible en el aluvial en cualquier año y suministrarían aproximadamente 46 % del consumo del Valle Algarrobal abajo.- A causa de la infiltración producida por el bombeo, un porcentaje desconocido de este volumen provendrá del río, de modo que no se deduce necesariamente que, si hubiera en Algarrobal un gasto de 54%, el bombeo salvaría el déficit.- En realidad, debería haber probablemente un 70 % o más, del consumo necesario en Algarrobal para permitir suministrar el 100% por medio de las bombas.-

En cuanto a cifras, esto equivale a decir que el gasto de las bombas se compondrá de un gasto útil igual a 46% del consumo y de un gasto muerto sacado desde el río igual a 16% o más del consumo, o sea, que el gasto muerto proveniente del río sería el 26% o más el gasto total de las bombas.-

Una conclusión inmediata de esta premisa es que, si el gasto útil requiere 30 bombas, el número de bombas necesario, funcionando simultáneamente, tendría que ser 40 ó más.-

El Memorandum mencionado era un estudio preliminar, de modo que las cifras contenidas en él y sus deducciones son aproximadas.-

El Informe no ha tomado en cuenta este aspecto del bombeo, ni lo menciona.-

El autor de la fórmula de marcha de bombeo inestable, Sr. C.V. Theis, la ha aplicado al caso de pozos situados cerca de un río ("The effect of a well on the flow of a nearby stream".-Transactions American Geophysical Union, 1941).- En este trabajo tenemos una fuente de información muy valiosa.-

Para realizar este cálculo, Theis ha partido de varias suposiciones que lo simplifican.- Entre ellas, hay dos más importantes.- Una es la suposición de que la transmisibilidad es constante, la cual introduce un error que es mayor mientras mayor es la razón entre el descenso del nivel de la napa y su espesor.- En el presente caso, los cálculos son aplicables porque la napa es de gran espesor.- La otra suposición es que la napa se comunica con el río libremente.- Esta suposición se realiza, en nuestro caso, de manera irregular, porque cuando los gastos del río son bajos y el cauce se mantiene

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
CHILE

- 14 -

invariable se deposita el material fino, y cuando el río crece se produce el arrastre de este material y a veces el cambio de lugar del cauce, quedando restablecida la comunicación entre el río y la napa.- Este quiere decir que los resultados de los cálculos de Theis deberán ser castigados en cierta proporción.-

Theis llega a una fórmula de P en función de K, siendo:

P = % del agua bombeada, que proviene del río
K = $1.87 \frac{a^2 S}{Tt}$
A = distancia del pozo al río en pies
S = rinde específico de la napa
T = Transmisibilidad de la napa en gal/día/pie
t = tiempo en días.-

Con esta fórmula, Theis construyó un gráfico de P en función de K, que aparece en el folleto citado, y del cual hemos sacado los siguientes valores:

K	P %	K	P %
0,00	100	1,0	16
0,02	85	1,5	9
0,05	75	2,0	4
0,10	66	3,0	2
0,20	52	4,0	0
0,30	43		
0,40	38		
0,50	32		

Vamos a aplicar la fórmula a nuestro caso.-

La distancia media de los pozos al río puede estimarse en 300 mts.- Entonces, = 300 m. = 1000 pies

El rinde específico ya sabemos que es S = 0,017

La transmisibilidad T fluctúa entre 50.000 y 100.000 en una napa libre.- Tomaremos el valor mínimo, que da mayor K y menor P.- Este valor (50.000) equivale a 0,43 m²/min. que es muy poco menos que el promedio de los valores de T del proyecto.-

Se tendrá, entonces,

$$K = \frac{1.87 \times 10^6 \times 7 \times 10^{-2}}{5 \times 10^4 \times t} = 2,62/t$$

El proyecto supone 300 días de funcionamiento, en cuyo caso K = 0,01 y P = 90%

La suposición de 300 días de funcionamiento continuo es exagerada.- Hay años en que hay déficit durante 9 a 10 meses seguidos, pero no es la regla general.- Un promedio de la realidad es un funcionamiento de unos 4 a 5 meses.- En este caso se tendrá K = 0,02 y P = 85%. Como se ve, la disminución en el % es muy pequeña, al bajar el tiempo a la mitad.-

Si castigamos estos resultados en el fuerte porcentaje de un 50%, para tomar en cuenta la irregular intercomunicación entre el río y la napa, tendríamos en definitiva:

$$P = 40 \%$$

CUADRO 4.- RELLENO SEDIMENTARIO DEL RIO ELQUI ENTRE ALGARROBAL Y ALTOVALSOL.-

Nº Perfil Geofís.	L U G A R	Kilo- metro je	Todo el relleno		Ancho del relleno a la Prof.					Cubos parciales entre profundidades:					
			Secc. Transv. M2.	Cubos parcial mill.M3	de : Mts.					PROF. Máx. Mts.	Millones M3.				
					0 M.	10 M.	25 M.	50 M.	100M.		0-10 M.	10-25 M.	25-50 M.	50-100M.	100-MAX.M
27	ALGARROBAL	0,00	31.250	-	467	445	405	335	100	105	-	-	-	-	-
26	PTE. ALGARROBAL	1,75	51.500	72.406	575	550	510	450	290	135	8.912	12.534	18.594	25.703	4.659
26	DIAGUITAS	5,22	92.061	249.077	867	830	870	555	-	70	24.481	34.613	49.556	41.727	5.870
25	PERALILLO	9,57	124.125	470.204	1725	1675	1625	1450	0	100	55.430	79.931	119.625	119.081	0,000
-	Q. RILCON	11,96	72.562	235.041	8240	1125	975	710	165	115	34.446	48.397	71.102	69.459	0,985
24	-	13,50	96.436	155.128	1137	1080	1015	895	420	148	17.641	24.226	34.602	42.157	8.714
-	VICUSA	15,17	138.250	195.963	1750	1625	1500	1190	660	155	23.347	32.690	49.682	66.069	23.572
23	HUANCARA	16,77	62.186	160.349	760	725	651	545	300	143	19.440	27.006	38.860	53.900	19.680
22	-	18,85	125.625	195.323	1175	1130	1055	935	685	180	19.708	27.776	41.418	64.090	35.204
-	EL TAMBO	20,75	103.500	217.669	1450	1325	1160	900	420	150	24.130	33.274	48.094	69.825	36.005
21	-	21,93	50.250	90.712	825	795	740	590	-	82	12.965	17.788	25.001	24.980	4.130
20	Q. Sn. Carlos	24,56	63.061	149.004	820	770	690	560	280	142	21.106	29.538	42.409	39.897	5.155
18	PUCLARO	29,28	25.125	208.119	405	375	335	260	0	100	27.966	38.409	54.427	64.900	9.251
17	FOROTAL	32,28	32.125	85.875	615	565	500	350	-	87	14.700	19.969	27.094	19.462	0,000
16	-	35,79	45.311	135.900	645	605	560	445	175	121	21.323	29.352	40.694	38.566	2.150
15	EL MOLLE	38,02	21.750	74.773	545	505	440	180	-	57	12.822	17.645	22.648	17.985	1.366
14	EL MOLLE	39,88	27.062	45.395	820	740	550	100	-	53	12.136	15.589	14.764	0,925	0,000
13	MARQUESA	41,35	24.187	37.668	610	565	465	220	-	59	10.051	12.789	12.265	0,838	0,000
11	PELICANA	44,83	43.311	117.446	1090	975	810	400	-	85	28.188	36.736	41.216	13.903	0,000
10	TITON	46,81	36.750	79.260	1300	990	600	300	-	72	21.557	25.059	26.111	10.197	0,000
9	Q. TALCA	48,23	118.625	110.316	2565	2400	1970	1075	-	95	25.755	31.737	35.012	19.545	0,000
8	-	50,00	75.937	172.187	1600	1425	1170	690	-	87	35.356	46.230	56.695	32.702	0,000
7	MINOJAL	51,22	83.500	97.256	1900	1635	1280	800	-	95	20.008	25.208	31.720	18.767	0,000
7	LAS ROJAS	52,30	57.750	76.275	850	805	720	565	220	110	14.013	17.982	21.031	20.317	0,396
7	-	53,57	123.437	115.054	2320	2220	1610	1225	225	120	19.669	25.503	32.702	35.480	2,127
6	SATURNO	55,60	109.750	236.685	1335	1307	1265	1150	380	146	36.449	48.735	66.609	75.617	11,155
4	ALTOVALSOL	60,93	241.562	936.246	2190	2100	1925	1785	1240	185	92.369	132.657	205.371	201.540	163.737
											4.694.331	653.968	909.018	1.227.302	1.187.402 335.156

NOTAS:

Las profundidades se han tomado desde el nivel del río.
Las profundidades observadas de la napa (relleno) freática son las siguientes: Algarrobal, 8 m.; Huancara 7 m.; Puclero, 8 m.; Pelicana, 9 m.; Altovalsol, 7.50.
Las secciones transversales son los perfiles levantados por sísmica de refracción, con excepción de las marcadas, que fueron tomadas del plano general con curvas de nivel de la roca fundamental.
El kilometraje corresponde al eje de erosión (fondo de la roca fundamental) del Valle.

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION

CHILE

- 15 -

Nótese que este resultado coincide bastante bien con el cálculo preliminar del Sr. Ahrens, pues, según ya se ha indicado, él estimaba que P valdría 26 % o más.-

El 40 % del agua bombeada provendrá del río y no se podrá tomar en cuenta en la regulación, porque va está incluida en el gasto del río al calcular los excesos y déficits.- Sólo el 60 % será el gasto útil de las bombas.- En nuestro caso, si hay 30 bombas útiles, debe haber 50 funcionando.-

La causa de tan desfavorable resultado radica en la corta distancia entre pozos y río.- La distancia es el factor preponderante, puesto que está elevada al cuadrado.-

Conbe preguntarse qué distancia se requeriría para obtener un porcentaje tolerable.- Si este porcentaje se estimara en 15 % (lo que significa que con 30 bombas útiles deberían haber 35 funcionando) tomando en cuenta el castigo de 50 % que hemos aplicado a la fórmula, resulta que ésta deberá arrojar un $P = 30\%$.- A este valor de P corresponde en el gráfico de Theis, $K = 0,55$.- Usando los valores de S, T y t ya considerados, la fórmula de K da $A = 5.300$ pies $= 1,6$ Km.-

Esto significa que, si las bombas pueden colocarse en puntos favorables en que el río diste de una ladera la 1/5 parte del ancho del valle, y si las bombas están a mitad de distancia entre el río y la otra ladera, el ancho mínimo del valle debería ser de 4 Km.-

Nótese que hemos usado los valores más favorables de la transmisibilidad y del tiempo de funcionamiento y que hemos impuesto a la fórmula un fuerte castigo de 50 %.-

Se deduce de lo expuesto una conclusión verdaderamente trascendental, que es la siguiente: en valles estrechos, como son el de Ficu y otros aueos de Chile, en que hay un río y escasez de agua superficial, la solución de pozos de bombeo en la zona libre está contraindicada.-

Esta es una conclusión de tal importancia para nuestro país y para la Dirección de Riego que estimamos debería ser el tema de una investigación especial, que no tenga necesariamente relación con el presente Proyecto.- Sería necesario estudiar más a fondo la cuestión desde el punto de vista teórico, y sería muy útil reunir antecedentes de obras realizadas en otros países, especialmente en E.E.UU. (si es que las hubiera) en las cuales se reúnan las condiciones señaladas que contraindican el bombeo, en especial la condición de distancia.-

Si la conclusión de este capítulo quedara a firme, es evidente que ella sola bastaría para inutilizar totalmente el Proyecto.- Se deduciría además, que nunca debió proponerse la solución de bombeo.-

9.- Recarga.-

El cálculo se basó en la tasa media de infiltración obtenida en las pruebas de recarga, que es de 0,5 m3./día/m2. y en las suposiciones siguientes:

- a) la recarga será igual al 50 % del exceso mensual, comprendido éste entre 0,5 y 5,0 m3/seg.-
- b) habrá recarga en el 70 % del tiempo en que hay exceso.-

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
CHILE

- 16 -

En lo que toca a la infiltración, cabe observar que ella fué obtenida en condiciones de experimentación muy distintas de las condiciones que existirían en la explotación.-

En efecto, las pruebas se efectuaron en el aluvial moderno, con una profundidad de infiltración no mayor de 5 m., o sea en el terreno menos impermeable del relleno.- Si vemos ahora las condiciones reales de volúmenes almacenados, en la Tabla VII-I-a, y deducimos del Cuadro 4 las profundidades correspondientes a los volúmenes, tendremos las cifras siguientes (eliminadas las que corresponden a profundidades de recarga menores de 10 m.):

Mes y año	N° de meses	Vol. almacenado 10 ⁶ m ³ .	Prof. recarga m.
Nov. 37, Abr. y Ago. 30, Jun. 50	4	105 a 101,5	10 a 11
May. y Oct. 37, Jun. 49, May. 50	4	101,5 a 96,6	11 a 12
May. y Abr. 37, Jun. y Jul. 40, Abr. y May. 49, Marz. y Abr. 50	8	96,6 a 92,4	12 a 13
May. y Abr. 40 Ene. y Feb. 49	4	92,4 a 84,0	13 a 15
Mar. 40, Jun. y Dic. 48, Mar. 49, Jul. 51	8	84,0 a 70,0	15 a 18
Nov. 48, May. y Jun. 51	1	70,0	18 a 20
Jul. 52	1	32,3	27,5
Jun. 52	1	27,1	29,0
May. 53	1	23,5	30,0
Abr. 53	1	21,4	30,5
Mar. 53	1	17,9	32,0

Resulta, así, que la recarga tiene que penetrar 33 meses bajo la profundidad de 10 m., y 13 de estos meses bajo la profundidad de 15 m., en donde la mayor parte del terreno es prácticamente impermeable.- Los meses en que hay recarga son 60.-

Los primeros 10 m. de profundidad son francamente permeables: entre 10 y 15 m. puede considerarse como napa libre todavía, pero semipermeable; bajo 15 m. la napa puede ser libre como la 1/3 del tiempo y es en general prácticamente impermeable hasta, según se ha visto, los 35 m. de profundidad.-

Resulta así que la recarga debe alcanzar:

Hasta el fondo de	del tiempo total de recarga el
la napa libre, permeable (0-10m.)	45 %
la napa libre semipermeable (10-15 m.)	33 "
la napa artesiana impermeable (15 a 32 m.)	32 "

Entonces, en lo que toca a la calidad del terreno, la recarga es impracticable en el 32% del tiempo, problemática en el 33% del tiempo y segura en el 45% del tiempo, de manera que por esta causa, la tasa de infiltración media tendría que ser 0,3 m³/día/m².-

En lo que respecta al radio de acción de la recarga también son distintas las condiciones de la explotación de las pruebas.- El radio de acción de las pruebas fué: en El Molle, 175 y 160 m., en Pelicana 160 m. y en Talca 55 m.- La profundidad fué de unos 4 m., de manera que la pendiente mínima fué de 2,5%. En la explotación el número máximo de tranques

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
CHILE

- 17 -

de recarga (según la cabida del Valle) será de unos 9 (cada 6 Kms.), de manera que la pendiente mínima al alcanzarse el radio de acción, con una profundidad de 15 m. (de la napa libre solamente) sería de 0,5 %, o sea, una pendiente 5 veces menor que en las pruebas.-

Además, en el cálculo de la regulación se verá que el embalse se llena totalmente numerosas veces, lo que obliga a tomar una pendiente media mucho menor que la usada en el párrafo precedente.-

Es forzoso reconocer que la consideración de la pendiente de propagación de la recarga reduce la tasa a una cifra muy precaria, seguramente menor de 0,1 m³/día/m².- No obstante, preferimos suponer que la tasa será de 0,2 m³/día/m².-

El valor máximo del exceso mensual sujeto a recarga (5,0 m³/seg) debe ser revisado.- Según las bases del Informe, deberá ser al doble del gasto máximo de recarga.- Este será el que rinde el número máximo de tranques de recarga, que hemos fijado en 9.- Suponiendo una superficie de 9 Hás. por cada tranque, el gasto máximo sería de $0,2 \times 81 \times 10.000 = 1,88$ m³/seg., aproximadamente 2 m³/seg.- Entonces, el exceso máximo sujeto a recarga será 4 m³/seg.-

La recarga será, conforme a las bases del Informe, igual al 50% del exceso mensual, comprendido éste entre 0,5 y 4,0 m³/seg. y se podrá recargar durante el 70% del tiempo, o sea, del mes.-

Ambas condiciones equivalen a que la recarga será igual al 35% del exceso mensual, comprendido éste entre 0,5 y 4 m³/seg.-

10.- Recuperaciones.-

Como base de cálculo se ha usado el gasto del río en Algarrobal, y se ha designado con el nombre de "recuperaciones" los nuevos aportes que a partir de ese punto, recibe el río por vía subterránea.-

Estas recuperaciones han sido calculadas a base de las experiencias efectuadas por la Sección Hidrometría entre los años 1948 y 1953, cuyos resultados aparecen en la Tabla II-5.- De esta Tabla se obtiene un promedio de recuperación de 35 % desde Algarrobal a La Serena, y como el promedio de los gastos del río considerados es de 6 m³/seg., resulta que las recuperaciones ascienden a 2,1 m³/seg.- En las recuperaciones están incluidos los retornos de riego, evaluados en 0,5 m³/seg., de manera que el saldo de 1,6 m³/seg. tendría que provenir de las quebradas y otras afluencias subterráneas.-

Corregidos., ahora, algunos errores numéricos de la Tabla II-5 y agregadas nuevas observaciones (Marzo 1954 a Agosto 1955), los resultados de las experiencias se han colocado en el Cuadro 5.- De este cuadro se extraen las siguientes conclusiones:

Gasto medio en Algarrobal	6,95 m ³ /seg.
Recuperación media Alg.-La Serena	1,96 "
Recuperación	28 %

Respecto a las experiencias cabe formular dos reparos importantes, uno sobre la distribución de las experiencias en el terreno y el otro sobre la época en que fueron realizados.-

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
CHILE

- 18 -

Cuadro 5.- Recuperaciones - m3/seg.

Mes y año	Gasto Alg.	Recup.						
Jul.1948	5,4	2,6	Feb.1951	5,1	1,3	Feb.1953	8,1	2,1
Ago. "	4,7	2,5	Abr. "	4,2	2,0	Mar. "	8,6	2,9
Oct. "	9,8	0,5	Jun. "	4,9	3,2	Abr. "	5,9	3,0
Dic. "	10,4	6,8	Oct. "	2,9	3,3	Jun. "	8,7	4,0
Ene.1949	9,3	0,5	Dic. "	2,8	1,8	Sep. "	10,1	2,5
May. "	6,0	3,2	Ene.1952	2,8	2,4	Oct. "	13,9	1,6
Jun. "	6,2	2,8	Mar. "	2,9	1,7	Mar.1954	16,5	4,5
Nov. "	7,9	1,2	May. "	2,8	2,7	Oct. "	14,4	0,8
Ene.1950	6,8	1,2	Jul. "	5,6	2,5	Feb.1955	10,8	1,2
Mar. "	7,6	0,5	Ago. "	3,3	2,3	Jun. "	8,2	5,2
Jul. "	5,2	2,3	Oct. "	5,8	3,0	Ago. "	6,4	2,0
Sep. "	3,7	2,5	Nov. "	7,4	2,6			
Nov. "	6,0	1,0	Dic. "	7,9	1,5	Promedio	6,95	1,96
Dic. "	4,4	1,6	Ene.1953	7,5	2,6	%	100	28

El número de observaciones efectuadas en cada serie de experiencias y la ubicación de ellas en alto rreno tienen gran influencia en la cifra de la recuperación.- Un rápido tanteo con las observaciones hechas (que no se reproducen aquí) combinándolas de diferentes maneras, en cuanto al número de ellas y a sus ubicaciones, da cifras notablemente diferentes.-

Especulaciones teóricas conducen a la misma conclusión.- Si se estudian las coincidencias de valores de una corriente superficial y otra subterránea que se desplazan a lo largo de un valle, se puede demostrar que en un punto dado del trayecto los valores coincidentes son variables dentro de un lapso dado, pero la serie de valores, o sea, su valor medio, es constante, y este valor medio es distinto en los diversos puntos del trayecto.- De esta conclusión teórica se deduce, también, que si se miden los gastos en puntos elegidos al azar y en escaso número, es muy probable que el valor medio de la recuperación contengan un error considerable, en cualquier sentido.-

El número actual de puntos de observación (8) esparcidos en un trayecto de 73 kms. es, indudablemente, muy escaso.-

El porcentaje de recuperación del Cuadro 5 es, entonces, una cifra bastante incierta.-

El segundo reparo se refiere a la época en que se efectuaron las experiencias.- Excepto uno o dos años, el resto del tiempo fué de un orden de sequedad superior al tipo 70%. El Informe no había reparado en que el gasto medio del río en esos años fué muy inferior al gasto medio conocido.- Pero el Anexo "Errata and Addenda" observa esta anomalía y, para corregirla, deduce la nueva cifra de la recuperación (3,3 m3/seg.) en proporción al gasto del río en el período de 25 años de estadística.-

Esto constituye un error.- El gasto subterráneo y el superficial dependen principalmente de las lluvias, pero, de dos valores coincidentes en un instante dado, el primero es influenciado por éstas mucho menos que el segundo, de lo cual se deduce que el % de recuperación debe ser mayor en los años secos que en los años lluviosos.- Esta deducción teórica queda confirmada con el análisis de los datos existentes.-

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
CHILE

- 19 -

En el gráfico 1 se han colocado los valores del Cuadro 5 y se ha trazado la curva A que promedia aproximadamente esos valores.- La distribución general de los puntos indica que la recuperación varía en razón inversa al gasto del río, llegando hasta ser negativa (fuga) cuando el gasto es muy grande (Marzo de 1954).- De la curva A se ha deducido la curva B de la recuperación expresada en %.-

El gasto medio en Algarrobal en los años en que hay estadística, que son 28, es de 12,4 m³/seg. En las curvas se ve que a este gasto corresponde una recuperación de 0,3 m³/seg. que es el 2,4 % del gasto.- Puesto que los retornos de riego han sido estimados aproximadamente en 0,5 m³/seg. se puede afirmar que la recuperación está constituida por los retornos de riego, en el año medio, y su valor es del orden de 0,5 m³/seg.-

La exposición precedente tiene valor técnico solamente, porque el Informe no ha hecho intervenir su cifra de la recuperación en los cálculos del Proyecto.- Tiene importancia, sin embargo, saber que el valor de la recuperación como reserva o coeficiente pasivo de seguridad de los demás cálculos no tiene significado alguno.-

11.- Influencia del Embalse La Laguna.

El Informe ha operado con los gastos de la estadística en Algarrobal, desde 1928 a 1953.- Sucede, entretanto, que, debido a que el Tranque La Laguna empezó a funcionar en el año 1957, los gastos de dicha estadística anteriores a este último año son únicamente del río.- La estadística usada no corresponde, entonces, en su totalidad a la situación "actual".

El Informe expone que, según testimonio de los agricultores, el Tranque ha salvado las cosechas en 2 años desde que empezó a funcionar, pero declara que "no ha tenido influencia notable sobre el gasto en Algarrobal" (pág. 41).- Posteriormente, el autor principal Sr. Ahrens ha explicado que, por diversas circunstancias, no creyó necesario refinar el cálculo más de lo hecho.-

Una simple inspección de los gastos en Algarrobal y de las entregas del tranque revela que éstas son relativamente importantes, especialmente en los años secos.- Resultado que no puede extrañar, pues es sabido que un tranque colocado en primeras aguas de un río posee un poder de regulación muy grande en relación con su capacidad.-

El % de entregas del Tranque respecto a los gastos, en Algarrobal, desde Septiembre a Marzo, en los 5 años más secos observados, es el que se muestra en el cuadro 6.-

Puede notarse que en los meses de demanda máxima desde Algarrobal abajo (Sept. y Oct.) el gasto disponible en ese punto proviene casi totalmente desde el tranque, en los 5 años de sequía computados.- *lógico*

Se explica, entonces, la aseveración de los agricultores de haberse salvado las cosechas 2 veces dentro de los 16 años de funcionamiento del Tranque La Laguna.-

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
CHILE

- 20 -

Cuadro 6.- % de la entrega del Tranque La Laguna respecto
al gasto en Algarrobal, en los 5 años más secos observados

	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.
1938-39	112	73	25	34	35	31	33
1945-46	57	235	18	16	26	24	28
1946-47	107	13	27	29	36	36	17
1949-50	105	12	27	24	23	27	20
1950-51	85	17	27	51	39	33	35
Promedio	93	70	25	31	34	30	27

Se deduce, entonces de todo esto que los déficit de agua actuales tienen que ser sensiblemente menores que los que existían cuando no había tranque (lo que por sí solo es evidente).- Por lo tanto, el cálculo basado en la estadística determinará una nueva obra (sean pozos de bombeo o embalse superficial) mayor de lo que realmente se necesita.- En otros términos, los agricultores pagarían un valor mayor de lo que realmente se necesita para regar bien sus tierras.- Obviamente, pagarían por segunda vez el valor del Tranque La Laguna.-

Es necesario, entonces, reconstituir la estadística.- Nótese que la estadística desde el año 1937, con funcionamiento del tranque La Laguna, tampoco sirve, porque si el tranque hubiese existido desde 1928 su efecto sobre los gastos desde 1937 adelante habría determinado valores diferentes de los de la estadística.- En una palabra, es necesario reconstituir la estadística completa desde 1928 hasta esta fecha, y tiene que ser necesariamente una estadística calculada.-

El Ing. Sr. Juan Bennett ha realizado, recientemente este trabajo, que ha sido sumamente laborioso, y ha establecido, finalmente, los gastos que habrían existido en Algarrobal si el Tranque La Laguna hubiera empezado a funcionar en 1928.- Tales son los gastos que deberían servir de base al estudio de una nueva obra, sea ésta captación subterránea o embalse superficial.- Aparecen ellos en el cuadro 7 (segunda línea de cada año) en el que también se indican los gastos de la estadística (primera línea).- Se han marcado con un punto rojo los meses en que el gasto con Tranque es mayor que el otro.- Se ve que los excesos se producen, por lo general, en Sept. y Oct.- Desde Noviembre a Marzo (época crítica) hay excesos en pocos años y generalmente en años abundantes.- En los años escasos, el nuevo gasto es menor, desde Noviembre adelante, de manera que se tendrá el resultado contradictorio de que con el Tranque, la seguridad es menor.- Así se ha comprobado con algunos tanteos.-

Se deduce de esto que son seguramente las suposiciones y estimaciones que en buena parte han servido de base al cálculo, las que han conducido a un resultado inaceptable, y que es preferible usar los gastos de la estadística.- Por otra parte, esta solución es como usar un coeficiente de seguridad del Proyecto, porque resultará una obra algo más grande de lo que hoy día se necesita.-

Cuadro 7 - Gastos en Algarrobal, de la estadística y resultados funcionando el Embalse La Laguna.-

AÑO	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octub.	Nov.	Dic.	Enero	Febr.	Marzo	Abril	Mayo	Promedio
1928/29	15.7	13.9	12.8	12.6	11.6	20.9	21.5	19.4	16.7	11.6	9.2	8.3	14.5
	14.3	12.3	11.2	10.8	14.8	16.9	16.9	17.8	16.7	11.6	9.2	8.3	13.4
	8.8	10.3	7.2	7.7	8.6	11.3	15.4	13.7	13.0	10.1	10.1	11.3	10.6
29/30	8.8	10.3	7.2	9.9	24.8	12.1	14.3	13.3	12.0	8.2	8.7	10.0	10.8
	10.6	10.6	11.0	21.6	20.5	43.9	36.4	46.3	37.7	21.6	20.2	18.2	23.9
30/31	9.5	9.5	9.7	18.7	20.0	48.9	56.4	46.3	37.7	21.6	20.2	18.2	23.4
	15.9	14.0	12.3	10.8	13.3	11.4	11.3	10.3	11.8	9.6	10.0	10.2	11.7
31/32	15.9	14.0	12.3	10.7	16.8	14.0	14.0	9.3	9.7	18.2	18.6	9.1	11.7
	12.3	11.9	11.8	9.1	9.9	11.7	15.9	14.1	18.3	15.1	11.8	11.9	12.8
32/33	11.2	10.8	10.4	9.9	14.8	11.8	14.4	13.2	15.4	12.0	10.1	10.6	12.1
	11.4	11.9	9.4	8.3	9.9	19.3	11.6	10.8	11.1	9.3	9.7	14.2	10.9
33/34	10.4	10.6	8.7	9.9	14.8	14.1	12.3	11.2	9.6	9.2	8.3	11.9	10.9
	14.1	12.9	11.7	16.0	15.4	31.7	27.9	33.0	24.0	16.0	14.9	13.0	20.0
34/35	12.2	11.2	10.0	14.4	15.5	31.5	37.9	31.0	24.0	15.0	14.9	13.0	19.5
	14.1	10.5	10.5	9.9	13.8	13.1	9.1	7.3	10.9	8.2	8.1	10.5	10.2
35/36	14.1	10.5	10.5	9.9	13.8	13.1	9.1	7.3	10.9	8.2	8.1	9.4	10.4
	9.8	9.8	8.8	6.4	7.4	6.6	6.3	6.1	6.6	5.2	6.2	6.9	7.2
36/37	9.0	8.8	8.0	9.9	9.7	6.3	5.0	5.6	6.0	5.8	5.2	8.9	7.2
	6.2	6.2	4.4	5.1	6.4	9.0	12.4	10.9	10.0	11.6	9.8	9.4	8.4
37/38	5.6	6.0	6.0	7.5	6.4	9.9	12.2	9.9	7.9	8.2	7.1	7.9	7.9
	10.0	8.6	7.2	6.0	7.0	8.1	6.6	6.3	6.7	5.6	6.5	6.2	7.1
38/39	9.5	8.3	6.9	9.9	7.6	6.4	5.8	5.9	6.2	5.3	5.5	5.5	6.9
	5.5	5.1	4.3	4.1	4.9	5.1	5.1	6.0	6.5	6.1	6.6	5.7	5.5
39/40	5.4	4.9	5.9	3.8	3.1	4.5	4.5	5.2	5.1	6.6	3.7	6.1	5.4
	7.8	8.9	9.0	11.0	11.8	20.4	29.5	28.5	18.5	12.5	15.9	20.2	15.2
40/41	7.6	8.7	8.7	10.5	14.6	19.8	25.7	24.0	14.5	12.8	15.9	19.9	15.4
	15.5	13.5	17.6	20.7	42.3	78.7	95.4	79.5	63.8	37.8	34.3	18.9	41.2
41/42	15.5	13.5	17.6	20.7	42.3	78.7	95.4	79.5	63.8	37.8	34.3	18.9	41.2
	16.9	16.0	14.9	24.6	25.5	55.3	64.8	52.6	47.8	24.5	22.9	18.1	31.4
42/43	17.1	16.2	14.7	24.7	23.7	56.1	66.8	52.6	42.8	24.7	21.6	18.1	31.6
	16.0	18.5	11.7	11.5	15.0	16.5	17.1	18.2	22.6	12.9	12.3	9.2	14.9
43/44	17.2	19.5	12.7	11.9	14.8	16.1	16.1	13.4	16.8	12.3	12.3	10.3	14.7
	9.9	10.3	9.0	12.2	14.1	13.4	12.7	10.7	13.6	11.7	11.0	12.6	11.9
44/45	10.7	11.4	9.9	12.3	14.9	16.1	14.8	13.4	12.2	11.7	11.0	12.6	12.6
	10.3	8.9	7.7	7.6	7.3	7.9	6.6	6.2	6.5	5.2	5.5	5.0	7.0
45/46	10.3	8.9	7.7	9.9	14.8	6.4	4.7	4.3	4.5	6.8	5.2	4.9	7.2
	5.5	6.1	5.5	5.2	8.1	7.3	7.6	7.6	7.4	7.1	6.4	5.8	6.7
46/47	5.4	6.0	5.9	7.9	5.0	5.7	6.0	6.0	6.0	6.0	5.6	5.2	6.0
	5.8	5.7	5.2	5.7	6.5	6.3	4.7	4.0	2.9	3.0	3.2	3.1	4.7
47/48	5.7	5.6	5.8	8.3	5.4	5.2	3.9	3.3	2.5	2.8	2.8	3.1	4.5
	3.2	4.6	5.8	5.8	8.8	9.0	10.8	8.2	8.3	8.5	8.1	6.1	7.1
48/49	3.2	3.9	6.8	7.8	8.9	10.3	13.7	9.5	7.5	7.5	6.7	6.0	7.4
	6.3	6.7	8.3	6.9	7.9	6.8	6.8	6.6	6.7	7.1	5.4	6.6	6.9
49/50	6.3	6.5	8.1	9.9	5.3	6.5	5.1	6.9	4.9	5.2	4.6	6.6	6.8
	6.6	5.6	4.7	5.7	3.9	6.1	4.7	6.2	6.0	4.9	4.8	4.5	5.3
50/51	6.5	5.6	5.9	5.8	4.1	4.7	4.9	4.9	4.9	4.7	4.3	4.6	5.1
	4.7	4.8	3.8	3.0	3.4	3.6	3.0	2.9	3.0	2.9	3.0	3.0	3.4
51/52	4.6	4.7	0.1	3.4	2.3	2.5	2.0	2.5	2.4	2.7	5.0	2.9	3.3
	4.8	6.3	4.4	5.6	6.0	7.5	8.0	7.3	7.5	8.3	6.0	6.0	6.4
52/53	4.7	5.2	6.0	5.2	4.9	8.8	9.8	7.3	6.6	6.6	5.4	5.9	6.3
	8.0	7.2	7.4	9.8	11.0	29.6	41.0	25.0	20.0	14.5	14.3	14.0	16.7
53/54	7.5	7.1	7.2	9.9	14.6	36.6	37.2	25.3	20.0	14.5	14.3	14.0	16.6
	16.0	13.3	13.0	13.6	15.0	17.5	13.0	11.0	10.5	8.0	7.7	9.0	12.3
54/55	15.0	12.9	12.1	11.8	14.9	16.1	14.1	13.1	19.6	2.2	7.5	8.8	12.0

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
CHILE

- 22 -

12.- Gastos de la estadística en Algarrobal.-

Los gastos que el Informe asignó guardan, en algunos meses, una diferencia considerable con los de la estadística.- Las diferencias mayores de 15% se anotan a continuación:

	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.
1940-41								+ 16		+ 16
41-42				+ 16	+ 29	- 19				
42-43	+ 36	+ 37	+ 62	- 26	- 22	- 50	- 60			
44-45				+ 25			- 16	- 25	- 16	- 20
45-46	- 16						+ 25	+ 19		

Nuestra estadística (Cuadro 7) ha sido formada de la siguiente manera:

- a) Junio 1928 a Abril 1946.- Valores que la Dirección de Riego entregó oficialmente al Geólogo Sr. Paul H. Jones y que éste reprodujo en su informe "Geology and Ground-water conditions in the lower valley of the Río Elqui of Chile" (Economic Geology - Sept.- Oct. 1953).- Estas cifras difieren muy poco, generalmente en 5 %, de las que obtuvo el Ingeniero Sr. Mauricio Yáñez en su "Estudio Hidrológico del Río Elqui en Algarrobal" (Publicaciones de Sociedades Científicas del Norte - 1947)
- b) Mayo 1946 a Mayo 1955.- Valores observados en las estaciones limnométricas de la Dirección de Riego.-

En cuanto a las diferencias de las cifras del Informe, no se ha logrado averiguar su origen.-

13.- Crítica de las observaciones precedentes.-

Las observaciones y conclusiones precedentes poseen diferente grado de certeza.- Podrían agruparse en tres categorías, a saber:

- 1ª Categoría.- Deducción y evaluación indudables
- 2ª Categoría.- Deducción indudable y evaluación probable
- 3ª Categoría.- Deducción y evaluación probables

Deberían ser aceptadas todas, incluso la 3ª puesto que no habría razón para desechar lo que es más probable.- Sin embargo, preferimos no tomar en cuenta las de la 3ª Categoría.- El gasto en Algarrobal con el Tranque la Laguna tampoco se tomará en cuenta, aunque es de 2ª Categoría, por las razones poco antes expresadas.-

El criterio expuesto se puede resumir como sigue:

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
CHILE

- 23 -

Se usará en el cálculo del Proyecto		
Categoría	Sí	No
1a	Tasa de riego Superficie regada Seguridad de riego Gasto de la cte. subt. Gasto de bombeo	
2a	Funcionamiento napa Infiltración del río Recarga Gastos de la estadística	Gastos en Franque La Laguna
3a		Rinde específico Recuperaciones

En el Cuadro 8 se muestran los valores del Informe y los nuestros con la indicación de su uso.-

Cuadro 8.- Conclusiones.-

Materia	Informe		Presente trabajo	
	Valor	Se usó	Valor	Se usará
Tasa de riego m3/há.-año	9.650	sí	14.400	sí
Superficie actual Háa.	22.700	sí	23.316	sí
Seguridad de riego	$S_a + A(1 - S_a)$	"	S_a	"
Gasto de la cte. subt.m3/seg.	0,5	"	0,5	"
Gasto de bombeo por pozo	0,1	"	$0,5 + 0,033$	"
Capacidad embalse m3.	127.000.000	"	80.000.000	"
Rinde específico	0,07	"	0,05	No
(% del gasto				
Infiltración d/río(total bombeado)	0,0	-	40	sí
Recarga tasa: m3/día/m2.	0,5	sí	0,2	"
gasto: 35% del exceso entre 0,5 y 5,0 m3/s.	0,5 y 5,0 m3/s.	"	entre 0,5 y 4,0 m3/s.	"
Recuperaciones m3/s.	3,3	No	0,5	No
Gastos con Tr. La Laguna	-	"	-	"
Gastos estadística	-	sí	-	sí

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
CHILE

- 24 -

2ª P A R T E

RIEGO EN LAS CONDICIONES ACTUALES.-

1.- Bases de cálculo.-

El Informe persigue la finalidad de que la nueva obra permita, también, completar el riego de los terrenos ubicados aguas arriba de ella. A tal efecto, ha tomado como consumo el de los terrenos de Algarrobal abajo más el déficit de los terrenos de Algarrobal arriba.- Esto último lo obtiene aproximadamente aplicando a su consumo el % del déficit de "Algarrobal abajo".-

A fin de que los resultados con la nueva obra y sin ella sean comparables, el Informe usa, también, esa manera de evaluar el consumo en el caso de riego en las condiciones actuales, que es como debe hacerse.-
uno

Respecto al método de cálculo usaremos/mucho más breve que el del Informe, que permite obtener la seguridad para cualquier superficie a través de una labor relativamente corta.- Es un método que hemos desarrollado ya en diversos proyectos de la Dirección de Riego.-

El cálculo gira alrededor de un solo mes, el que hemos llamado "mes crítico".- Más crítico es aquel que fallará primero que los demás meses.- Es el mes de máximo déficit, o de mínimo exceso, y no es necesariamente el de máximo consumo.- Tal mes fallará siempre primero, cualquiera que sea la superficie regada.- Cada año podría tener mes crítico distinto; pero, generalmente, hay sólo 2 o 3 meses críticos en una serie de años, y es muy común que uno de ellos esté en gran mayoría, pudiéndose usar como único mes crítico.-

Se determina el mes crítico comparando los consumos mensuales de una superficie cualquiera con los gastos del río de algunos años tipos.

Determinado el mes crítico, basta dividir sus gastos en los diversos años tipos por su tasa de riego, para obtener las superficies y las seguridades en todas las situaciones posibles.-

2.- Años tipo.-

Ordenando los gastos anuales en Algarrobal de mayor a menor, se obtiene la seguridad anual bruta como sigue:

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
CHILE

- 24 -

Gasto m3/s. Calend.	año	Año %										
41,2	1941-42	3,7	14,9	43-44	25,9	10,9	33-34	48,1	7,1	48-49	70,3	
31,4	42-43	7,4	14,5	28-29	29,6	10,6	29-30	51,8	7,0	45-46	74,0	
26,9	30-31	11,1	12,8	32-33	33,3	10,2	35-36	55,5	6,9	49-50	77,7	
20,0	34-35	14,8	12,3	34-35	37,0	8,4	37-38	59,2	6,7	46-47	81,4	
16,7	53-54	18,5	11,9	44-45	40,7	7,2	36-37	62,9	5,4	52-53	85,1	
15,2	40-41	22,2	11,7	31-32	44,4	7,1	38-39	66,6	5,5	39-40	88,8	
									5,3	50-51	92,5	
									4,7	47-48	96,2	
									3,4	51-52	100,0	

3.- Mes crítico.-

Se ha calculado primero el consumo Algarrobal abajo para una superficie arbitraria de 25.000 Hás., deduciendo su tasa media de los Cuadros 2 y 3.- Se han tomado los gastos de tres años tipos, representativos de épocas lluviosas, medias y secas.- Todos estos valores, y las diferencias entre los gastos y el consumo aparecen a continuación:

		Jun.	Jul.	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.
Gastos	1944-45	9.9	10.3	9.0	12.2	14.1	15.4	12.7	10.7	13.5	11.7	11.0	12.6
	37-38	6.2	6.2	4.4	5.1	6.4	9.0	12.4	10.9	10.6	11.6	9.8	9.4
	46-47	5.5	6.1	5.5	5.2	8.1	7.3	7.6	7.6	7.4	7.1	6.4	5.3
Consumo de													
25.000 Hás.		1.8	3.5	7.3	11.0	14.0	13.4	12.6	12.3	11.5	8.8	5.9	4.5
	1944-45	8.1	6.8	1.7	1.2	0.1	2.0	0.1	-1.6	2.0	2.9	5.1	8.1
Diferen-	37-38	4.4	2.7-2.9	-5.9	-7.6	-4.4	-0.2	-1.4	-0.9	2.8	3.9	4.9	
	46-47	3.7	2.6-1.8	-4.8	-5.9	-6.1	-5.0	-4.6	-4.1	-1.7	0.5	0.8	

El mes de máximo déficit es Octubre y Noviembre en años medios y secos.- Elegimos Octubre, por ser, además, el mes de máximo consumo.-

4.- Superficie regada y seguridad.-

Operando con los cuadros 2 y 3, vemos que el consumo de Octubre de Algarrobal arriba es el 11,4% del de Algarrobal abajo.- No es necesario, entonces, efectuar cálculos laboriosos para determinar el % de déficit aplicable, porque este déficit representa una muy pequeña parte del consumo Algarrobal abajo.- El % de déficit puede ser 20 aproximadamente; en tal caso, el déficit de Algarrobal arriba sería sólo el 2% del consumo de Algarrobal abajo.-

El consumo de la superficie actual de Algarrobal abajo de 21.865 Hás., en el mes de Octubre, es de 33.159.100 m3., de manera que el consumo efectivo sería esa cantidad más el 2 %, o sea, 33.822.282 m3. ó 0,57 lt/seg.Há. de Algarrobal abajo.-

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
CHILE

- 26 -

Los gastos y años tipo del mes de Octubre, y las superficies regadas (que se obtienen dividiendo los gastos por 0,00057), aparecen en el Cuadro 9.-

Cuadro 9.- Seguridad y área regada Algarrobal abajo.

Gastos Oct. M3/s.	Años tipo s	Superf. reg. Hás.							
41.2	3.7	72.200	11.6	37.0	20.300	7.3	70.3	12.800	
23.3	7.4	40.900	11.0	40.7	19.300	7.0	74.0	12.200	
20.5	11.1	36.000	9.9	44.4	17.700	6.8	77.7	11.900	
15.4	14.8	27.000	9.9	48.1	17.300	6.5	81.4	11.400	
15.0	18.5	26.300	8.8	51.8	15.400	6.4	85.1	11.200	
14.1	22.2	24.700	8.6	55.5	15.000	6.0	88.8	10.500	
13.3	25.9	23.400	8.1	59.2	14.200	5.9	92.5	10.300	
13.0	29.6	22.800	7.9	62.9	13.800	4.9	96.2	8.600	
11.8	33.3	20.700	7.4	66.6	13.000	3.4	100.0	6.000	

Llevados los valores de las superficies y seguridades al gráfico 2, se obtiene la curva promedio A.- De ella se obtiene que:

- a.- La superficie actual (más déficit de Alg. arriba) se regaría con seguridad 32%.-
- b.- Con seguridad 85% se regaría sólo 10.000 Hás. Alg. abajo (salvando el déficit de Algarrobal arriba).-

3ª P A R T E

RIEGO CON BOMBEO.-

1.- Consumo

De los Cuadros 2 y 3 se obtiene la tasa media de Algarrobal abajo.- Si a esta tasa se le agrega el 2% (para tomar en cuenta los déficit de Algarrobal arriba) se obtendrá la tasa virtual que había que aplicar a las superficies de Algarrobal abajo para obtener el consumo total.-

En el Cuadro 10 aparecen los resultados de estos cálculos para 15.000, 20.000 y 25.000 Hás.-

2.- Método de cálculo

Desde luego, el cálculo de volumen residual del embalse subterráneo se simplificará si lo expresamos en gastos equivalentes.- Puesto que se trata de volúmenes mensuales, el gasto equivalente del

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
CHILE

- 27 -

Cuadro 10.- Tasa media y consumo.-

	Tasa media-lit/s/Há.		Consumo - m3/s.		
	Alg. abajo	Virtual	15,000 Há.	20,000 Há.	25,000 Há.
Junio	0,071	0,072	1,1	1,4	1,8
Julio	0,139	0,142	2,1	2,8	3,6
Agosto	0,288	0,294	4,4	6,0	7,4
Septiembre	0,434	0,442	6,6	8,8	11,1
Octubre	0,556	0,570	8,6	11,4	14,3
Noviembre	0,535	0,555	8,3	11,1	13,9
Diciembre	0,533	0,545	8,2	10,9	13,6
Enero	0,478	0,488	7,3	9,8	12,2
Febrero	0,471	0,480	7,2	9,6	12,0
Marzo	0,343	0,350	5,3	7,0	8,8
Abril	0,242	0,247	3,7	4,9	6,2
Mayo	0,176	0,179	2,7	3,6	4,5
Anual	0,355	0,364	5,5	7,3	9,1

embalse lleno será $80.000.000 : 2.600.000 = 30,8$, que redondearemos a 31 m3/seg.-

Sean:

Q = gasto en Algarrobal en un mes dado
C = consumo en el mismo mes
q = gasto equiv. del embalse en el mismo mes
q_a = gasto equiv. del embalse en el mes precedente
Q₁ = gasto total de las bombas.-

La determinación de q en los diversos casos se hará según lo indica el esquema siguiente:

Q-C	q	Observaciones
positivo	$q = 0,35(Q-C)$	Para Q-C = 0,5 a 4,0 No hay bombeo.- Puede haber recarga
Q	q _a	No hay bombeo ni recarga
negativo	hasta 0,5 q _a	Bombeo desde la cte. subt.
	0,5 hasta Q ₁ q _a - (Q-C)-0,5	Bombeo de toda la cte. subt. y desde el embalse
	Q ₁ q _a - (Q ₁ -0,5)	Bombeo de toda la cte. subt. y bombeo máximo desde el embalse. Se produce déficit.

Se hará un cuadro de regulación para cada gasto de las bombas y cada superficie.- El consumo se colocará una sola vez, en el encabezamiento del cuadro.- En cada año habrán sólo tres cantidades: Q, Q-C y q.- Se omitirán estos valores en aquellos años en que, estando el embalse lleno, Q-C es positivo en todos los meses.- Cuando esto mismo ocurre sólo en algunos meses, se colocará sólo el valor de Q.- De esta manera, el cuadro se simplifica mucho y es fácil de entender.-

CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION
CHILE

- 28 -

Los meses con déficit se reconocerán de inmediato, pues serán aquellos en que $C < C_1$.

3.- Bombeo con 30 pozos.-

En este caso $C_1 = 1,5$

El cálculo de la regulación con 15.000 Hús. se halla en el Cuadro 11.- Hay seis años con fallas despreciables.- Hay cuatro años fallos.- Seguridad: 23 en 27 años, o sea, 85 %.-✓

El cálculo con 20.000 Hús. se halla en el Cuadro 12.- Hay 12 años fallos.- Seguridad 15 en 27, o sea, 56 %.-

En el Cuadro 13 se halla el cálculo con 25.000 Hús.- Hay 16 años fallos, despreciando las fallas pequeñas.- Seguridad 11 en 27, o sea, 37 %.-

Llevando estas series de valores al gráfico 2 se obtiene la curva B.-

En esta curva se ve que la superficie actual Algarrobal abajo (21.865 Hús.) se regaría con seguridad 49%, y que esa superficie más 3.500 Hús. nuevas se regarían con seguridad 35%. Con la seguridad requerida de 85 % se regaría 15.000 Hús.-

4.- Bombeo con más de 30 pozos.-

Los resultados anteriores indican, a la simple vista, que para obtener la seguridad necesaria aún para la sola superficie actual, se necesitaría un número de pozos impracticable.- No obstante, vamos a determinar esta cifra, así como también para el caso de una superficie adicional de unos 3.500 Hús., de una manera aproximada.-

Podemos usar los Cuadros 12 y 13, pues las superficies guarden poca diferencia con las reales.-

La seguridad 85 % implica 4 años fallos.- El gasto de las bombas estará determinado por el del 5° año seco en orden descendente.-

En el Cuadro 12 los déficits máximo en orden descendente son: 8,0-6,7-6,5-6,2-5,4-5,0-4,6-4,6-4,4 etc.- Debería tomarse 5,4 pero para tomar en cuenta los años en que el déficit resulta despreciable, tomaremos el valor 4,4.- El número de pozos sería $\frac{4,4-0,5}{0,033} = 118$

Operando en la misma forma se deduce que para 25.000 Hús. se necesitarían aproximadamente $\frac{7,0-0,5}{0,033} = 200$ pozos

El número de pozos así calculados es el mínimo, porque no se tomó en cuenta la capacidad del embalse.- Si este quedara vacío con mayor frecuencia, los déficits máximos serían mayores y también el número de pozos.-

		Junio	Julio	Agost.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Enero	Febr.	Marzo	Abril	Mayo	
	C	1.4	2.8	6.0	8.8	11.4	11.1	10.9	9.8	9.6	7.0	6.9	3.6	
1928-29	C-C	positivo	-	Embalse lleno										
	q	8.8	10.3	7.2	7.7	8.6	11.5	15.4	13.7	13.0	10.1	10.1	11.3	
29-30	C-C	positivo		-1.0	-2.8	0.2	4.5	3.9			positivo			
	q	11.0		30.5	29.5	29.5	30.9			31.0				
30-32	C-C	positivo	-	Embalse lleno										
	q	12.3	11.9	11.6	9.1	9.9	11.7	18.9	14.1	18.3	16.1	11.6	11.9	
32-33	C-C	positivo				-1.5	0.6	5.0			positivo			
	q	31.0				30.0	30.2			31.0				
33-34	C-C	11.4	11.9	9.4	8.3	9.9	13.9	11.6	10.8	11.1	9.3	9.7	14.2	
	q	31.0			-0.5	-1.3	2.2	0.7		positivo				
34-35	C-C	positivo	-	Embalse lleno										
	q	14.1	10.5	10.5	8.0	6.8	12.3	9.6	7.9	13.2	9.1	9.3	10.5	
35-36	C-C	positivo			-9.8	-4.6	1.2	-1.3	-1.9	3.6	2.1	4.4	6.9	
	q	31.0			30.7	29.7	29.0	28.2	27.2	28.4	29.1	30.5	31.0	
36-37	C-C	9.8	9.6	8.8	6.4	7.4	6.6	6.3	6.1	6.6	6.2	6.2	6.9	
	q	31.0			-2.4	-4.0	-4.5	-4.6	-3.7	-3.0	-0.8	1.3	3.3	
37-38	C-C	6.2	6.2	4.4	5.1	6.4	9.0	12.4	10.9	10.0	11.6	9.8	9.4	
	q	27.7	28.9	27.9	26.2	25.2	24.9	25.4	25.8	25.8	27.2	28.6	30.0	
38-39	C-C	10.0	8.6	7.2	6.0	7.0	8.1	6.6	6.3	6.7	5.6	6.5	6.2	
	q	8.6	31.0		-2.8	-4.4	-3.0	-4.3	-3.5	-2.9	-1.4	1.6	2.3	
39-40	C-C	5.5	5.1	4.3	4.1	4.9	5.1	5.1	6.0	6.5	6.1	6.6	6.7	
	q	28.9	27.7	26.7	25.7	24.7	23.7	22.7	21.7	20.7	20.3	20.9	22.0	
40-41	C-C	7.8	8.9	9.0	11.0	11.8	20.4	29.5	28.5	18.5	12.5	13.9	20.2	
	q	6.4	6.1	3.0	2.2	0.4	9.3	18.6	18.7	8.9		positivo		
41-45	C-C	23.4	24.8	25.8	26.6	26.6	28.0	29.4	30.8		31.0			
45-46	C-C	10.3	8.9	7.7	7.6	7.3	7.9	6.6	6.2	6.5	6.2	5.5	5.0	
	q	31.0	positivo		-1.2	-4.1	-3.2	-4.3	-3.6	-3.1	-1.8	0.6	1.4	
46-47	C-C	5.5	6.1	5.5	5.2	8.1	7.3	7.6	7.6	7.4	7.1	6.4	5.3	
	q	28.4	28.6	27.6	26.6	25.6	24.6	23.6	22.6	21.6	22.1	22.7		
47-48	C-C	5.8	5.7	5.2	5.7	6.5	6.3	4.7	4.0	2.9	3.0	3.2	3.1	
	q	4.4	2.9	-0.8	-3.1	-4.8	-6.8	-6.2	-5.8	-6.7	-4.0	-1.7	-0.3	
48-49	C-C	24.1	25.1	24.8	23.8	22.8	21.8	20.8	19.8	18.8	17.8	16.8	16.8	
	q	3.2	4.0	5.6	5.8	8.8	9.6	10.8	8.2	8.3	8.3	8.1	6.1	
49-50	C-C	1.8	1.2	-0.4	-3.0	-2.6	-1.5	-0.1	-1.6	-1.5	1.5	3.4	2.5	
	q	17.4	17.8	17.8	16.8	16.8	14.8	14.8	13.8	13.2	13.5	14.7	15.6	
50-51	C-C	6.5	6.7	8.3	6.9	7.9	6.8	6.8	6.6	6.7	7.1	5.4	6.0	
	q	3.1	3.9	2.3	-1.9	-3.5	-4.3	-4.1	-3.2	-2.9	0.1	0.8	3.0	
51-52	C-C	17.0	18.4	19.2	18.2	17.2	16.2	15.2	14.2	13.2	13.2	13.2	14.4	
	q	6.5	5.6	4.7	3.7	5.9	6.1	4.7	6.2	6.0	4.9	4.8	4.5	
52-53	C-C	5.1	2.8	-1.3	-3.1	-5.5	-5.0	-6.2	-3.6	-3.6	-2.1	-0.1	0.9	
	q	16.8	16.8	15.0	15.0	14.0	15.0	12.0	11.0	10.0	9.0	9.0	9.5	
53-55	C-C	4.7	4.8	3.5	3.0	3.4	3.6	3.0	2.9	3.0	2.9	3.0	3.0	
	q	3.3	3.0	-2.5	-5.6	-8.0	-7.5	-7.9	-6.9	-6.6	-4.1	-1.9	-0.6	
52-53	C-C	10.3	11.2	10.2	0.2	8.2	7.2	8.8	5.8	4.2	3.2	2.2	2.1	
	q	4.8	5.3	4.4	5.6	6.0	7.5	8.0	7.3	7.5	8.3	6.0	6.0	
52-53	C-C	3.4	2.5	-1.6	-3.2	-5.4	-7.6	-2.9	-2.5	-2.1	1.3	1.1	2.4	
	q	3.4	4.3	5.1	2.3	1.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.5	0.9	1.7	
53-55	C-C positivo (excepto Oct.1953:-0.4)Embalse llenándose.-													

Cuadro 13 - Regulación en 30 pozos con gasto de 1,5 m3/s., para regar 25.000 Hás. de Algarrobal abajo, más déficit de Algarrobal arriba.-

		Junio	Julio	Agost.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Enero	Febr.	Marzo	Abril	Mayo
1928-29	Q =	1.8	3.6	7.4	11.1	14.3	13.9	18.6	12.2	12.0	8.8	6.2	4.5
	Q	15.7	15.9	12.8	12.2	11.6	20.9	21.5	19.4	16.7	11.6	9.2	8.3
	Q-C	positivo				-2.7	7.0						
	q	31.0				30.0							
29-30	Q	8.8	10.3	7.2	7.7	8.6	11.3	15.4	13.7	13.0	10.1	10.1	11.3
	Q-C	posit.			-0.2	-2.4	-3.7	-2.6	1.8	1.5	1.0	1.3	3.9
	q	31.0			30.0	29.0	29.0	28.6	19.1	29.4	29.9	31.0	6.8
	Q	C-C positivo - Embalse lleno											
30-31	Q	15.9	14.9	12.3	10.8	13.3	11.4	11.3	10.3	11.8	9.6	10.0	10.2
	Q-C	positivo			-0.3	-1.0	-2.5	-2.3	1.9	-0.2	0.8	3.8	5.7
	q	31.0				30.5	29.5	28.5	17.5	27.5	27.8	29.2	30.6
	Q	12.3	11.9	11.6	9.1	9.9	11.7	15.9	4.1	18.3	15.1	11.6	11.9
32-33	Q-C	10.5	posit.			-2.0	-4.4	-2.2	-2.3	1.9	6.3	6.3	posit.
	q	31.0			30.0	29.0	28.0	28.8	0.5	30.9		31.6	
	Q	11.4	11.9	9.4	8.3	9.9	13.3	11.6	0.8	11.1	9.3	9.7	14.2
	Q-C	positiv			-2.8	-4.4	-6.6	-2.0	1.4	-0.9	-0.5	3.5	9.7
33-34	q	31.0			30.0	29.0	28.9	27.9	7.0	26.8	26.8	29.6	29.4
	Q	14.1	12.9	11.7	16.3	15.4	31.7	37.9	3.0	24.0	16.0	14.9	13.0
	Q-C	12.3	9.5					positivo					
	q	30.8				31.0							
35-36	Q	14.1	16.5	16.5	8.0	6.8	12.3	9.6	7.7	13.2	9.1	9.3	10.5
	Q-C	positivo			-3.1	-7.5	-1.6	-4.0	4.3	-1.2	0.9	3.1	6.0
	q	31.0			30.0	29.0	28.0	27.0	6.0	26.4	26.4	27.5	28.9
	Q	9.8	9.6	8.8	6.4	7.4	6.6	6.3	6.1	6.6	6.2	6.2	6.9
36-37	Q-C	8.0	3.0	posit.	-4.7	-6.9	-7.3	-7.3	6.1	-5.4	-2.6	1.3	2.4
	q	30.3	31.0		30.0	29.0	28.0	27.0	6.0	25.0	24.0	24.0	24.8
	Q	6.2	6.2	4.4	5.1	6.4	9.0	12.4	6.9	10.0	11.0	9.8	9.4
	Q-C	4.4	2.6	-3.0	-6.0	-7.9	-4.9	-1.2	1.3	-2.0	2.8	3.6	4.9
37-38	q	26.2	27.1	28.1	28.1	24.1	23.1	22.4	1.6	20.6	20.6	22.8	24.2
	Q	18.0	8.6	8.2	8.0	7.0	8.1	8.6	6.3	6.7	5.6	6.3	6.2
	Q-C	8.2	5.0	-0.2	-5.1	-7.5	-5.8	-7.0	5.9	-5.3	-3.2	0.3	1.7
	q	28.6	27.0	27.0	26.0	25.0	24.0	23.0	2.0	21.0	20.0	20.0	20.6
39-40	Q	5.5	5.1	4.5	4.1	4.9	5.1	5.1	6.0	6.5	6.1	6.6	6.7
	Q-C	3.7	1.5	-3.1	-7.0	-9.4	-8.8	-8.5	6.2	-3.5	-2.7	0.4	2.2
	q	21.9	22.4	21.4	20.4	19.4	18.4	17.4	1.4	15.4	14.4	14.4	15.2
	Q	7.8	8.9	9.0	11.0	11.8	20.4	29.5	1.5	18.5	12.5	13.9	20.2
40-41	Q-C	6.0	5.3	1.6	-0.1	-2.5	6.5	16.9	1.3	6.5	3.7	7.7	15.7
	q	16.6	16.0	18.6	18.6	17.6	19.0	20.4	1.8	23.2	24.6	26.0	27.4
	Q	15.5	15.5	16.0	20.7	41.2	78.6	87.6	1.8	59.3	33.8	32.4	19.2
	Q-C	13.7	9.9	6.6				positivo					
41-42	q	20.8	30.2					31.0					
	Q-C	positivo - Embalse lleno											
	Q	16.0	12.3	11.7	11.5	15.0	16.6	17.1	1.2	22.6	12.9	12.3	9.2
	Q-C	positivo				-1.3	2.6		positivo				
43-44	q	31.0				30.2			1.0				
	Q	9.0	10.3	9.0	12.2	14.1	15.4	15.7	1.7	13.5	11.7	11.0	12.6
	Q-C	positivo				-0.2	posit.	-0.9	1.3	1.5	2.9	positivo	
	q	31.0				30.6			1.8	20.3		31.0	
45-46	Q	10.3	8.9	7.7	7.6	7.3	7.9	6.6	4.2	6.5	5.2	5.5	5.0
	Q-C	positivo			-3.5	-7.6	-6.9	-7.0	1.0	-5.5	-3.6	-0.7	0.5
	q	31.0			30.0	29.0	28.0	27.0	1.0	25.0	24.0	23.8	24.0
	Q	5.5	6.1	5.5	5.2	8.1	7.3	7.6	1.6	7.4	7.1	6.4	5.3
46-47	Q-C	5.7	2.5	-1.9	-3.9	-6.2	-6.6	-6.0	1.6	-4.6	-1.7	0.2	0.8
	q	23.4	26.3	25.2	24.3	23.3	22.3	21.3	1.3	19.3	18.3	18.3	18.6
	Q	5.8	5.7	5.2	5.7	6.5	6.3	4.7	1.0	2.9	3.0	3.2	3.1
	Q-C	4.0	2.1	-2.2	-5.4	-7.6	-7.6	-6.9	1.2	-8.9	-5.8	-3.0	-1.4
47-48	q	20.0	20.7	16.7	18.7	17.7	16.7	16.7	1.7	13.7	15.7	11.7	10.8

- 31^a -

1948-49	Q	3.2	4.0	5.6	5.8	8.8	9.6	10.8	8.2	8.3	8.5	8.1	6.1
	C-C	1.4	0.4	-1.8	-3.3	-5.3	-4.3	-2.8	-4.0	-3.7	-0.5	1.9	1.6
	Q	11.3	11.3	10.3	9.3	2.3	7.3	6.3	5.3	4.3	4.3	5.0	5.6
49-50	Q	6.5	6.7	6.3	6.9	7.9	6.8	6.2	6.6	6.7	7.1	5.4	6.6
	C-C	4.7	3.1	0.9	-4.2	-6.4	-7.1	-6.8	-5.6	-5.5	-1.7	-0.8	2.1
	Q	7.6	8.1	8.4	7.4	6.4	5.4	4.4	3.4	2.4	1.4	1.1	1.8
50-51	Q	6.5	5.6	4.7	3.7	5.9	6.1	4.7	6.2	6.0	4.9	4.8	4.5
	C-C	4.7	2.0	-2.7	-7.4	-6.4	-7.8	-8.9	-6.0	-6.0	-3.9	-1.4	0.0
	Q	3.2	3.9	2.9	1.9	0.9			0.0				
51-52	Q	4.7	4.8	3.5	3.0	3.4	3.6	3.0	2.9	3.0	2.9	3.0	3.0
	C-C	2.9	1.2	-3.9	-2.1	-10.9	-10.3	-10.6	-9.3	-9.0	-5.9	-3.2	-1.5
	Q	0.1	0.5					0.0					
52-53	Q	4.8	5.3	4.4	5.6	6.0	7.5	8.0	7.3	7.5	8.3	6.0	6.0
	C-C	3.0	1.7	-5.0	-5.5	-2.3	-6.4	-5.6	-4.9	-4.5	-0.5	-0.2	1.5
	Q	1.0	1.6	0.6					0.0				
53-54	Q	8.0	7.2	7.4	9.5	11.0	29.0	41.0	26.0	20.0	14.5	14.3	14.0
	C-C	6.2	3.6	0.0	-1.6	-5.3	15.1	26.4	12.8	8.0	5.7	8.1	9.5
	Q	1.9	3.2	3.2	2.2	1.2	2.6	4.0	5.4	6.8	8.2	9.6	11.0
54-55	Q	14.0	13.3	13.8	13.6	13.0	17.5	13.0	11.0	10.5	8.4	7.7	9.0
	C-C	14.2	9.7	5.5	2.3	0.7	3.6	-0.6	-1.2	-1.5	-0.4	1.5	4.5
	Q	12.4	13.8	15.2	16.1	13.3	17.6	17.5	16.5	15.8	15.8	16.3	17.7