

**EVALUACION DE LOS RECURSOS DE AGUA SUBTERRANEA
EN EL VALLE DE QUIBOR, ESTADO LARA**

**Por
Guillermo Antonio Torres Díaz**

**Tesis para Optar al Grado de Magister Scientiae en
"Obras Hidráulicas"**

Bdigital.ula.ve

**CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO
INTEGRAL DE AGUAS Y TIERRAS
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
Mérida - Venezuela
1993**

C.C.Reconocimiento

AGREDECIMIENTO

Al Gobierno Venezolano, a través del Ministerio de Relaciones Exteriores, por haberme concedido la beca con la cual pude realizar los estudios de postgrado.

A mis asesores, Hervé Jégat, Jorge Alvarado y José A. Pérez Roas, quienes siempre me orientaron con buenos propósitos en el desarrollo de este trabajo.

Al personal docente del CIDIAT y de la Universidad de Los Andes, por haberme brindado sus conocimientos para mi formación técnica y profesional.

A los ingenieros Luis Mora, Lorenzo Vásquez y Félix Carreño, por su ayuda incansable en todo momento.

Por su colaboración al personal administrativo del CIDIAT.

A Alicia Usubillaga, Anita Peñaloza y Josefina Chacón, por su maravillosa y constante ayuda en la elaboración de la tesis.

A la Empresa Yacambú-Quíbor quien me ofreció alojamiento para la realización de las giras de campo.

A UNAT por la colaboración económica brindada durante los dos meses que duraron las giras de campo.

I N D I C E

Página

AGRADECIMIENTO.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE TABLAS.....	xv
LISTA DE SIMBOLOS.....	xvii
RESUMEN.....	xxi
I. INTRODUCCION.....	1
Objetivos.....	2
Generales.....	2
Específicos.....	2
II. REVISION BIBLIOGRAFICA.....	3
Trabajos realizados en el área.....	3
Características de las subcuencas.....	3
Subcuenca de Quibor.....	3
Subcuenca de las Guardias.....	4
Subcuenca de Palo Negro.....	5
Subcuenca de las Raíces.....	5
Subcuenca de San José.....	6
Otros trabajos.....	14
Modelos.....	18
Modelo de un acuífero.....	16
III. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.....	19
Generalidades.....	19
Ubicación y superficie.....	19
Fisiografía.....	19
Geología.....	19
Formación Mamey.....	21
Formación Barquisimeto.....	21
Formación Villanueva.....	21
Formación Matatare.....	21

INDICE (Continuación)

	Formación Moran.....	22
	Formación El Pegón.....	22
	Cuaternario.....	22
	Climatología.....	23
	Hidrografía.....	24
IV.	METODOLOGIA.....	25
	Introducción.....	25
	Trabajos preliminares.....	25
	Ubicación de la zona de estudio.....	25
	Producción de información.....	33
	Niveles de aguas subterráneas.....	34
	Resultados obtenidos.....	34
	Fluctuación de los niveles, 1986-1992.....	34
	Pruebas de bombeo.....	38
	Caudales de bombeo.....	41
	Calidad de las aguas 1992.....	44
	Clasificación USDA.....	49
	Clasificación de la FAO.....	49
	Tipo y concentraciones de las sales.....	49
	Clasificación de Pla y Dappo.....	50
	Tipo químico de las aguas, 1992.....	53
	Clasificación de las aguas-acuífero de Quíbor 1992.....	53
	Determinación del gradiente hidráulico.....	56
	Procesamiento de la información existente....	57
V.	CONCEPTUALIZACION E IMPORTANCIA DE LOS MODELOS MATEMATICOS EN AGUAS SUBTERRANEAS.....	59
	Modelo GW.....	59
	Modelos de simulación.....	59
	Definición de modelos de un acuífero.....	59

INDICE (Continuación)

Pre-requisito para construir un modelo de un acuífero.....	59
Tipos de modelos.....	60
Proceso de modelación.....	60
Modelo conceptual.....	60
Identificación.....	61
Verificación del modelo.....	61
Simulación.....	63
Planeamiento general de los modelos matemáticos de acuíferos.....	63
Generalidades.....	63
Ecuación de flujo en el acuífero.....	64
Métodos de solución de los modelos matemáticos.....	65
Métodos de diferencias finitas.....	65
Criterios de convergencia.....	69
Descripción del modelo GW.....	69
Características y limitaciones del modelo....	69
Limitaciones.....	70
Fundamentos teóricos del modelo.....	71
Discretización espacial del acuífero.....	71
Condiciones de bordes espaciales.....	73
Bordes impermeables.....	73
Datos generales y de entrada requeridos por el modelo.....	73
Datos generales.....	73
Datos de entrada.....	75
VI. CALIBRACION DEL MODELO GW7 Y SIMULACION DEL ACUIFERO.....	79
Introducción.....	79
Criterios para implementar el modelo.....	80

INDICE (Continuación)

Calibración del modelo.....	80
Simulación del acuífero.....	82
Planeamiento de la política de explotación...	82
Introducción.....	82
Metodología empleada para la determinación de las reservas del acuífero en estudio.....	83
Política de explotación.....	84
VII. ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....	87
Introducción.....	87
Características del acuífero.....	87
Fluctuaciones de los niveles.....	87
Caudales de bombeo.....	89
Calidad de las aguas en el Valle de Quíbor, 1992.....	89
Gradiente hidráulico.....	92
Modelo GW7.....	92
Simulación del acuífero.....	93
VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	97
Conclusiones.....	97
Recomendaciones.....	99
BIBLIOGRAFIA.....	101
APENDICES	
APENDICE A: División de la cuenca de Quíbor, calidad de agua de los pozos en el Valle de Quí- bor, resultados de laboratorio (1974-1981-1982).	107
APENDICE B: Variaciones de niveles y caudales en el Valle de Quíbor.....	113
APENDICE C: Gráficos de abatimiento vs. tiempo..	143

INDICE (Continuación)

APENDICE D: Archivo de datos y procesos de calibración y verificación del modelo. Ajustes aceptados.....	149
APENDICE E: Espesor del aluvión, cota de fondo del acuífero, espesor saturado 1987, espesor saturado 1992 de la región central.....	177
APENDICE F: Resultados de las políticas de explotación, proceso de simulación.....	183
APENDICE G: Diagrama de Piper, Wilco y Stiff....	239
APENDICE H: Demandas de riegos para los diferentes cultivos en la región central.....	279

Bdigital.ula.ve

LISTA DE FIGURAS

No.	Página
1. Ubicación geográfica del Valle de Quíbor.....	20
2. Delimitación del acuífero del Valle de Quíbor, 1992.....	26
3. Localización de los pozos registrados, Valle de Quíbor, 1992	35
4. Isolíneas observadas en acuífero, Valle de Quíbor, 1992.....	36
5. Vista tridimensional de Isolíneas, Valle de Quíbor, 1992.....	37
6. Diferencias de niveles, 1986-1992, Valle de Quíbor.....	39
7. Diferencia de niveles, región central, 1987-1992, Valle de Quíbor.....	40
8. Curva de abatimiento vs tiempo, prueba de bombeo 1 en el norte del Valle de Quíbor, 1992..	42
9. Curva de abatimiento vs tiempo, prueba de bombeo 2 en el sur del Valle de Quíbor, 1992.....	43
10. Distribución de caudales, región central, Valle de Quíbor, 1992.....	47
11. Pasos a seguir en el proceso de modelación	62
12. Diferentes tipos de mallas en la discretización espacial del acuífero.....	72
13. Discretización espacial del acuífero, región central, Valle de Quíbor, 1992.....	74
14. Distribución del valor de transmisividad, región central, Valle de Quíbor.....	76
15. Distribución del coeficiente de almacenamiento, región central, Valle de Quíbor.....	77
16. Distribución de la conductividad eléctrica, región central, Valle de Quíbor, 1992.....	91

LISTA DE TABLAS

No.	Descripción	Página
1.	Valores promedios de transmisividad, y coeficiente de almacenamiento por sub-cuenca, Valle de Quíbor, 1962-1963.....	7
2.	Registro del volumen total de bombeo en 1962..	7
3.	Concentraciones máximas y mínimas de los constituyentes minerales del agua subterránea (1962-1963).....	8
4.	Características hidrogeológicas del acuífero del Valle de Quíbor (1978-1982).....	11
5.	Valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento (1981-1982).....	12
6.	Resumen de inventario de los pozos del Valle de Quíbor. (número, ubicación, altura y profundidad).....	29
7.	Registros de caudales de los pozos en el Valle de Quíbor, 1992.....	45
8.	Límites permisibles de sales totales en el extracto de saturación del suelo.....	51
9.	Permeabilidad y eficiencia de lixiviación, basada en tasa de infiltración.....	52
10.	Límites del RAS en el extracto de saturación en relación a la permeabilidad.....	52
11.	Análisis de salinidad y tipo químico del agua en el Valle de Quíbor, 1992. Informe de laboratorio.....	54
12.	Clasificación de la calidad del agua según el RAS, 1992.....	56

LISTA DE SIMBOLOS

Símbolo

ADI	Método implícito en sentido alternante
A_i	Area de cada celda
B	Coeficiente de pérdida por formación
C	Coeficiente de pérdida por pozo
C_c	Calcio
C_c°	Calcio corregido por la salinidad del agua
$C_c CO_3$	Carbonato de calcio
C_1	Agua de baja salinidad
C_2	Agua de media salinidad
C_3	Agua altamente salina
C_4	Agua muy altamente salina
cm/h	Centímetro por hora
$C_3 S_1$	Alto peligro por salinidad y baja RAS
$C_4 S_1$	Muy alto peligro de salinidad y baja RAS
$C_4 S_2$	Muy alto peligro de salinidad y media RAS
$C_4 S_3$	Muy alto peligro de salinidad y alta RAS
dh	Espesor saturado en cada celda
dR	Variación de las reservas de aguas subterráneas
dRg	Parte de las reservas geológicas
dS/m	Decisiémenes por metro
e,	Espesor saturado del acuífero en cada celda
ETR	Evapotranspiración real
GW	Ground water

LISTA DE SIMBOLOS (Continuación)

Símbolo

h	Carga
ha	Hectáreas
H_i	Niveles piezométricos
h_{ϕ_i}	Carga inicial
i	Gradiente hidráulico
$IADI$	Método iterativo en sentido alternante
km	Kilómetros
km^2	Kilómetros cuadrados
K_x, K_y	Conductividad hidráulica en las direcciones x , y
L	Distancia entre dos puntos
l/s	Litros por segundo
mm	Milímetros
m	Metros
MMC	Millones de metros cúbicos
$m/año$	Metros por año
meq/l	Miliequivalente por litro
$msnm$	Metros sobre el nivel del mar
m^2	Metros cuadrados
$m^2/día$	Metros cuadrados por día
m^3	Metros cúbicos
Mg	Magnesio
n	Número de años
NN	Número total de celdas

LISTA DE SIMBOLOS (Continuación)

Símbolo

Na	Sodio
P_e	Rendimiento específico
pH	Potencial de hidrógeno
ppm	Partes por millón
Q	Caudal
Qb	Descarga de los pozos
RAS	Relación de adsorción del sodio
RR	Reservas renovables (recarga)
S	Coeficiente de almacenamiento
s'	Descenso residual
S_1	Agua baja en sodio
S_2	Agua media en sodio
S_3	Agua alta en sodio
T	Coeficiente de transmisividad
TSD	Tablas de sólidos disueltos
t	Tiempo
V_p	Volumen de reservas permanentes
x, y	Coordenadas rectangulares
γ	Porcentaje del volumen de espesor saturado de sedimentos permeables
$\mu\text{mhos/cm}$	Micromhos por centímetros
Δt	Variación del tiempo
$^{\circ}\text{C}$	Grados centígrados

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad desarrollar un estudio de los recursos de agua subterránea en el acuífero del Valle de Quíbor y analizar la calidad del agua para riego.

Se realizó una recopilación de la información disponible en base a todos los trabajos ejecutados en el área de estudio desde 1963 hasta 1987, y se efectuaron giras de campo para las mediciones respectivas de los niveles en los pozos, tomas de muestras de aguas y pruebas de bombeos, al norte y sur del Valle, comprobándose con estas pruebas que el acuífero tiene un comportamiento semiconfinado.

Al procesar toda la información se comprueba que el deterioro acelerado del acuífero es irreversible, ya que cada día los descensos de los niveles, debido a la sobreexplotación indiscriminada, siguen incrementándose.

Con toda la información obtenida se procedió a la aplicación del modelo matemático, el cual sólo calibró para la parte central del Valle. Con los parámetros hidrológicos obtenidos de la calibración del modelo, se infiere que el acuífero en esta zona tiene un comportamiento de acuífero libre.

Con respecto a la calidad del agua, en su mayoría son del tipo sulfatadas cálcicas, las cuales se deterioran cada día más.

Finalmente, calibrado el modelo, se analizó el comportamiento del acuífero bajo diferentes políticas de explotación propuestas.

CAPITULO I

INTRODUCCION

Las aguas subterráneas constituyen cerca del 95% del agua dulce de nuestro planeta, sin tomar en cuenta aquella que se encuentra en las capas de hielo polar. En contraste, el agua de los ríos y lagos representan menos del 5%. Este hecho confirma un valor fundamental al agua subterránea debido a su importancia para la vida humana y la actividad económica.

En vista del alcance de estos abastecimientos de agua, se podría pensar que la protección de acuíferos para prevenir el deterioro y exterminación, así como preservar la calidad del agua subterránea debería haber recibido ya una atención especial. Sin embargo, por un sin número de razones, hasta ahora no existe una política para la explotación racional del agua subterránea en las regiones de América Latina y del Caribe.

Actualmente la sobreexplotación de los recursos de aguas subterráneas excede la recarga natural de los acuíferos, produciéndose una caída continua de sus niveles, trayendo esto como consecuencia un aumento del costo de bombeo, la reducción del rendimiento de los pozos, la intrusión de aguas salinas a los acuíferos en regiones costeras y, bajo condiciones externas, el hundimiento de la tierra.

En particular, se presenta la problemática del Valle de Quibor, una zona altamente agrícola, para cuyo desarrollo ha sido necesario la explotación del agua subterránea con fines de riego.

Debido a la sobreexplotación de las aguas subterráneas a partir de 1959 en el Valle de Quibor, se ha experimentado un descenso permanente en los niveles, provocando la formación de grandes conos de depresión y el cambio de las direcciones de flujo hacia ellos. También se ha observado un aumento considerable en la mineralización de las aguas, siendo no recomendable su uso para el consumo humano sin previo tratamiento y para fines de riego experimenta un deterioro paulatino, con riesgo de salinizar los suelos (Alvarado, 1989).

Durante todos estos años, la explotación del agua subterránea en el Valle se ha realizado en forma muy intensiva y sin ninguna planificación, lo cual ha contribuido al desequilibrio en el balance hídrico de la zona, problema éste que se agudiza cada vez más.

Debido a la importancia que representa el agua subterránea en esta área para el riego de campos cultivables, se hace neces-

rio ejecutar en el Valle de Quíbor una evaluación de estos recursos para evitar el agotamiento total del acuífero. Esto conlleva a desarrollar un plan de manejo y control de la explotación del agua subterránea de la zona, que permita, a los organismos de planificación involucrados en el desarrollo del Valle, instrumentar una política de utilización del agua.

Objetivos

Generales

1. Desarrollar un estudio de los recursos de agua subterránea en el área de influencia del acuífero del Valle de Quíbor.
2. Ejecutar un estudio evolutivo de la calidad del agua del acuífero del Valle de Quíbor.

Específicos

1. Determinar los parámetros hidrogeológicos fundamentales del acuífero.
2. Procesar y revisar la información existente del área de influencia.
3. Estudiar el comportamiento del acuífero, considerando diferentes estrategias de explotación, mediante la utilización del modelo matemático Ground Water Software Part Two (GW7).

CAPITULO I I

REVISION BIBLIOGRAFICA

Trabajos realizados en el área

Aguilera y Padilla (1963) realizan una investigación hidrológica en el Valle de Quibor, con el objetivo de determinar las condiciones del agua subterránea y de evaluar los recursos hidráulicos de la cuenca. Se basan, para ello, en otras investigaciones realizadas en el área desde el año 1937-1960 y sobre la experiencia en el campo.

Se analizan exploración geológica, exploración geofísica de superficie, perforaciones con máquinas y estudios hidrológicos en el Valle.

Para un mejor estudio de las condiciones geohidrológicas y del régimen de aguas subterráneas, dividen la cuenca de Quibor en cinco (5) subcuencas geohidrográficas (ver Figura A.1 del Apéndice A).

Estas subcuencas geohidrológicas, se han diferenciado a base de la divisoria de las hoyas de captación de las quebradas que drenan el Valle, de la morfología del tope de roca en el subsuelo y del régimen de extracción-movimiento del agua subterránea.

Se hace una estimación del promedio anual de lluvia en toda la cuenca, de $509.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ (16.064 l/s) de los cuales $52.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ (1.68 l/s) o sea el 10%, escurren a través de las quebradas que atraviesan la cuenca y podrán incorporarse a los acuíferos de acuerdo a las condiciones de acceso y almacenamiento del agua infiltrada. La infiltración directa de las precipitaciones es del orden de $17,4 \times 10^6 \text{ m}^3$ (0.55 l/s), 3,4 % que se puede incorporar por percolación vertical a los acuíferos. El resto se ha estimado que se pierde por evaporación.

Características de las subcuencas

Subcuenca de Quibor

Comprende los alrededores de Quibor e hidrográficamente a las quebradas Atarigua, Barrancos y Botucal.

Tiene una superficie aproximada de 276 km^2 , de los cuales 136 km^2 corresponden a zonas montañosas de precipitaciones medias anuales entre 650 y 900 mm, y el resto, o sea 140 km^2 , a zonas planas con precipitaciones anuales de 500 mm.

Los niveles piezométricos en las perforaciones efectuadas, se encuentran a profundidades entre 40 m y 70 m. El gradiente hidráulico es de 0,25%.

La extensión de los acuíferos es considerablemente menor que la superficie total de la subcuenca y se estima, a base de los datos de las perforaciones y de la exploración geofísica eléctrica y sísmica en unos 25 km²; el espesor total promedio es de 20 m.

En la subcuenca existían en riego, un total de 594 Ha de las cuales 400 Ha se regaban por tomas de la quebrada Atarigua y pozos someros con un caudal continuo de 120 l/s; 34 Ha por pozos de producción inferior a 10 l/s y las 160 Ha restantes, por lluvias recogidas y almacenadas en pequeñas lagunas.

Subcuenca de las Guardias

Comprende la parte Este de la cuenca de Quíbor e hidrográficamente a la quebrada Las Guardias. Tiene una superficie aproximada de 384 km², de los cuales 104 km² corresponden a zonas de montañas de precipitaciones anuales entre 650 y 900 mm y el resto, o sea 284 km², zonas planas de precipitaciones medias anuales de 400 mm.

En las perforaciones profundas efectuadas en el centro de la subcuenca se han cortado dos zonas de sedimentos permeables, de las cuales la superior está seca y la inferior saturada y confinada corresponde al que se ha denominado "Acuífero de Quíbor". En la parte Norte sólo se encuentra el acuífero superior no confinado, denominado "Acuífero de Palo Negro".

Los niveles del agua subterránea, en las perforaciones efectuadas, se encontraron a profundidades entre 17 y 33 m, observándose que se puede encontrar hasta una profundidad de 120 m.

El gradiente hidráulico es de 0,15 a 0,20% en el centro de la subcuenca y de 0,7% en el resto.

En el Norte de la subcuenca se observan descensos de niveles a una tasa anual entre 1 y 2 m, debido a la sobreexplotación local de estas áreas.

La extensión de los sedimentos permeables se estiman en unos 20 km² con un espesor promedio total de 15 m.

En esta subcuenca se cultivaban 434 Ha, en su mayoría para caña de azúcar; se regaban por 12 pozos profundos, con un caudal

máximo total de 190 l/s, representando un caudal continuo de 651 l/s.

Subcuenca de Palo Negro

Comprende la parte Noroeste de la cuenca de Quíbor e hidrográficamente corresponde al curso inferior de la quebrada Atarigua en los 7 km anteriores a su confluencia con la quebrada Las Raíces. Su extensión aproximada es de 35 km², sobre los cuales caen anualmente precipitaciones de 400 mm (441 l/s), o sea $14,0 \times 10^4$ m³.

La profundidad al agua subterránea, en las perforaciones, varía entre 10 y 40 m. El gradiente hidráulico en la parte Sur es de 0,2 al 0,3% en la parte Noroeste, por efecto de la menor sección de paso del agua subterránea, el gradiente aumenta al 0,7%.

Se observaba un receso anual del nivel entre 2 y 4 m.

La extensión de los sedimentos permeables saturados determinados era aproximadamente de 15 km² con un espesor del acuífero muy reducido.

Se cultivaban 1.534 Ha, regadas por 32 pozos con un caudal máximo total de 760 l/s.

Subcuenca de Las Raíces

Comprende la parte Norte de la cuenca de Quíbor e hidrográficamente a las quebradas Baragua y Las Raíces.

Tiene una superficie aproximada de 155 km² de los cuales 145 km² corresponden a zonas de cerros de poca elevación y 10 km² a planicies.

Las precipitaciones medias anuales sobre la subcuenca eran de 380 mm.

En las perforaciones efectuadas en esta zona se cortó el acuífero de Palo Negro a profundidad de 3 a 17 m. El gradiente hidráulico varía entre 0,7% y 0,5%.

Las variaciones del nivel freático en las zonas oscilan anualmente entre 1,60 y 2,0 m; se observaba un receso entre 1962 a 1963 de 1,25 a 1,70 m.

La extensión de los sedimentos permeables saturados era aproximadamente de 7 km² y el espesor promedio de 8 m.

Se cultivaban en esta subcuenca 538 Ha, que se regaban por 12 pozos de un caudal máximo de 170 l/s, representando un caudal continuo de 63 l/s.

Subcuenca de San José

Comprende la parte Oeste de la cuenca de Quíbor y corresponde hidrográficamente a la quebrada San José. Tiene una extensión aproximada de 110 km² de los cuales 60 km² corresponden a zonas montañosas con precipitaciones medias anuales de 500 mm y el resto, o sea 50 km², a zonas planas con precipitaciones medias anuales de 450 mm. Las profundidades al agua subterránea varían entre 16 m al Norte y 45 m al Sur.

El gradiente hidráulico en la parte central es 0,2 a 0,3‰ que en la parte Norte, por la reducción de la sección del paso del agua al aproximarse a la quebrada Las Raíces, aumenta a 0,7‰.

Los sedimentos permeables saturados del subsuelo tiene una extensión aproximada de 10 km² y un espesor promedio de 5 m.

Existía en riego un total de 176 Ha, las cuales se regaban con pozos de caudal máximo total de 130 l/s lo cual se presenta un caudal continuo de 45 l/s.

Durante este periodo se realizan 17 pruebas de bombeo para determinar los coeficientes de transmisividad (T) y de almacenamiento (S), así como el descenso del nivel a través de la ecuación:

$$S = BQ + CQ^2 \quad 2.1)$$

donde

B es el coeficiente de pérdida por formación

C es el coeficiente de pérdida por pozo

En la Tabla 1 se presenta el promedio por subcuenca de los coeficientes determinados.

Tabla 1. Valores promedios de los coeficientes de transmisividad y almacenamiento por subcuenca, Valle de Quibor, 1962-1963.

Subcuenca	T (m ³ /d)	S
1	1350	
2	1140	5 x 10 ⁻⁴
3	1120	1,2 x 10 ⁻³
4	1000	-
5	1140	-

Concluyendo que los acuíferos se comportan como libres al Norte y hacia el centro y Sur del Valle confinado.

Con respecto a la recarga natural de los acuíferos, Aguilera y Padilla (1963) especifican que esto se da por: 1) filtración directa de las precipitaciones que caen sobre la cuenca; 2) infiltración de las aguas superficiales escurridas dentro de la cuenca; 3) infiltración del agua utilizada en el riego y 4) movimiento del agua subterránea desde las cuencas contiguas, hacia los acuíferos de la cuenca.

Durante este período (1962-1963) se llevó un registro de las horas de bombeo y de los gastos de los pozos utilizados en el riego de las haciendas. Los datos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Registro del volumen total de bombeo en 1962.

Subcuenca	Volumen total de bombeo 10 ⁶ m ³	Caudal continuo l/s	Caudal máximo de los pozos m ³
1	3.8	120	230
2	2.0	65	190
3	13.0	410	760
4	2.0	63	170
5	1.4	45	130
TOTAL	22.2	703	1480

Se realizan análisis de las cualidades químicas del agua

subterránea, comprobándose que son apropiadas para el riego, a excepción de las localizadas en áreas reducidas próximas al curso inferior de la quebrada Las Raíces y las zonas marginales del Sur y Oeste de la cuenca, donde hay mayor concentración de sales.

Las concentraciones máximas y mínimas de los constituyentes minerales del agua subterránea en las diferentes subcuencas se indican a continuación, en la Tabla 3.

Tabla 3. Concentraciones máximas y mínimas de los constituyentes minerales del agua subterránea (1962-1963)

Constituyentes (ppm)	1	2	3	4	5
Calcio	186-136	205-131	164-124	374-144	244-133
Magnesio	25-23	31-17	17-15	57-9	28-22
Sodio y potasio	24-11	35-14	20-13	33-24	51-10
% de sodio	10-8	15-10	10-85	8-15	18-7
Sulfatos	360-325	440-210	295-185	1080-240	525-205
Cloruros	6-5	13-5	8-4	410-6	55-7
Fluoruros	0.25	--	0.2-0.2	0.5-0.2	33-0.2
Hierro	0.25	--	--	--	--
Total de sólidos	755-543	884-619	643-471	2424-551	1043-530
Dureza total	568-429	640-400	480-369	1170-396	724-424
Dureza carbonática	232-200	228-200	202-188	224-188	208-214
Dureza no carbonática	236-229	412-200	278-180	946-206	516-210
Índice de Langelier	+ 0.1	+0.1+0.6	-0.5+0.5	+0.1-+0.5	+0.1-+0.4

En 1966 se efectúa un balance hidrológico preliminar de la cuenca del Valle de Quibor (Tahal). En dicho estudio se hace un estimado de la sobreexplotación del acuífero, sobre todo en la parte Norte del Valle, la cual sería el doble de la recarga media anual. En vista de la agudización de la problemática, se concluye, ya para ese entonces, la importancia de importar agua para el desarrollo total del Valle.

Oteha (1968), en su estudio preliminar de las aguas del río Yacambú para el riego del Valle de Quíbor, realiza estudios sobre las características generales geológicas, hidrológicas y de ingeniería; también describe la necesidad de efectuar el transvase del embalse del río Yacambú en Paso Angostura hacia el Valle de Quíbor, en vista a la sobreexplotación que estaba sufriendo el acuífero del Valle, debido al descenso continuo de los niveles de las aguas subterráneas.

Investigadores de la Fundación para el Desarrollo de la Región Centro Occidental de Venezuela (FUDECO) 1968, hacen ciertas recomendaciones para el aprovechamiento de los acuíferos del Valle, así como el apoyo de ciertos embalses para suministrar agua al Valle de Quíbor y disminuir la sobreexplotación del acuífero.

En 1969 FUDECO, especifica en la limitación básica para el desarrollo agrícola del Valle la escasez del recurso agua.

Los recursos de agua propios del Valle, que podrían utilizarse con fines de riego son:

a) Aguas subterráneas, $25 \times 10^6 \text{ m}^3$ (valor de la recarga natural para toda la cuenca de aproximadamente 970 km^2 , incluyendo la zona montañosa).

Los recursos de agua propios de la cuenca son insuficientes para el riego de la totalidad del Valle, por lo que sería necesario importar agua de cuencas vecinas, bien sea de El Tocuyo o de Yacambú.

En estudios realizados por Tecnoconsult. S.R.L., en 1969 se hace referencia a la importancia de transvase de agua hacia el Valle de Quíbor mediante una estación de bombeo en el embalse del río Yacambú.

FUDECO (1972), desarrolla un nuevo informe en relación al proyecto Yacambú, en el cual se hace referencia al Valle de Quíbor, cuando se especifica su desarrollo para los años 1961 y 1972 y el funcionamiento hidrogeológico del Valle. Analiza el nivel de sobreexplotación del acuífero, el cual presentará para 1975 el agotamiento de los volúmenes técnicos y económicamente extraíbles.

En su estudio "Bases para el Diseño del Sistema Yacambú-Quíbor", FUDECO (1978), refleja la importancia que representa el transvase del agua para el Valle de Quíbor mediante el Sistema Yacambú-Quíbor, así como la disponibilidad de aguas para el riego, y se considera la salinidad del agua y el suelo, concluyendo que la calidad del agua subterránea va desmejorando hacia

el Norte del Valle, llegando a valores totales de sólidos disueltos, bastante mayores a 1500 ppm, lo cual amerita un manejo cuidadoso de los suelos. Para que las aguas subterráneas puedan ser utilizadas en menor potencial de salinización de los suelos, es necesario pensar en su dilución con las aguas de Yacambú en proporciones que van de 1:1 a 3:1.

En la Tabla A.1 del Apéndice A, se presentan los análisis del agua en varios pozos, los cuales se realizaron en 1974.

Mandurain y De Ferrer, (1978), en su informe sobre el agua subterránea en el Valle de Quibor, analizan la situación para ese año, del acuífero de Quibor y ubican las zonas donde existe una sobreexplotación; ellos recomiendan ciertas normas que regulen la extracción y limiten las áreas donde se pueda realizar nuevas perforaciones a fin de alargar la vida del recurso.

Se determina la tasa de producción de los pozos productores, aproximadamente en 1600 l/s, lo cual origina un descenso de los niveles de 1.5 a 3 m por año.

Se recomienda estudiar alternativas de recarga artificial del Valle, de manera de poder aprovechar las avenidas esporádicas de las quebradas y posibles excedentes del proyecto Yacambú.

A través del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables se realiza un estudio morfométrico del Valle (Hernández y Hrgetic, 1978) en el cual se concluye que las áreas de recarga están localizadas en las zonas de levantamientos relacionadas con pliegues anticlinales y fallas, con valores de isolongas de drenaje mínimos y que la región estudiada es una zona neotectónicamente activa.

Carvajal (1980), en su trabajo, "Estado actual del acuífero del Valle de Quibor", concluye que existen dos zonas de recarga del acuífero, al Norte de la quebrada Baragua y al Sur por la quebrada Atarigua. Demuestra que el acuífero está siendo explotado en exceso en la parte central del Valle. La variación de niveles entre 1963 y 1979 es la de 50 m, o sea 3 m por año. El volumen extraído en el año de 1979, denota una disminución del 25% respecto a 1978.

El radio de influencia varía de 600 m al Norte del Valle y 2900 m por el centro. Respetando estos valores, solamente deberían existir 20 pozos al Norte y 12 en el Centro. Es decir 32 pozos en total; sin embargo, existen en 1975 sesenta y cuatro (64) pozos en funcionamiento.

Con la finalidad de conocer las características hidrológicas del acuífero, se realizaron 21 pruebas de bombeo, de las cuales se analizaron siete (7). Determinándose dos (2) tipos de acuíferos: libre al Norte y confinado al Centro y Sur del Valle. (Ver Tabla 4).

Tabla 4. Características hidrogeológicas del acuífero del Valle de Quibor (1978-1979).

Pozo	Transmisividad m ² /día, T	Coefficiente de almacenamiento, S
607018	2032	-
607048	520	-
607054	1770	4,8 x 10 ⁻⁴
607070	2473	-
6070100	1052	-
617021	213	-
617044	1375	8,8 x 10 ⁻³

Además se estudiaron los análisis físico-químicos de 28 muestras de agua subterránea, con el objeto de conocer la concentración actual de los diferentes elementos que la componen.

Se dedujo que las concentraciones de dureza aumentaron en un 95%, así se tiene que en 1975 existían concentraciones de 500 ppm, para 1979 llegan hasta 900 ppm y donde eran 1000 hoy alcanzan 2000 ppm.

Estos valores indican que se están captando aguas de las reservas no-renovables.

Aguasuelos Ingeniería (1982), realiza un estudio sobre la actualización y zonificación de los acuíferos del Valle de Quibor; en el mismo contempla la recolección de la información básica existente, ensayos y observaciones de campos, seguidos por el análisis e interpretación de los datos de niveles de agua subterránea, caudales y calidad físico-química, con el fin de evaluar su variación, identificar su comportamiento y llegar a aproximaciones sobre sus tendencias, todo con la finalidad de lograr una zonificación del Valle que permita mediante mapas de contornos ubicar áreas de características similares.

Las reservas totales se estiman para ese periodo (1981-1982) en 90 MMC y la recarga total se cuantificó en 18,8 MMC por año, con unas recargas netas anuales de 2 MMC.

La calidad físico-química del agua subterránea, se puede considerar como uniforme en todo el Valle y perteneciente al tipo químico sulfatadas cálcicas; para riego están agrupadas como salinas, del tipo C_3S_1 .

En este período se realizaron cinco (5) pruebas de bombeo, concluyendo que el acuífero es libre, aún cuando una de las pruebas arrojó valores para coeficiente de almacenamiento característico de acuíferos confinados, lo cual se atribuye a condiciones estratigráficas locales.

La Tabla 5 refleja los resultados de las pruebas de bombeo en los años 1981-1982.

De las cinco (5) pruebas realizadas, además se analizaron cuatro (4) pruebas ejecutadas en 1978 por la División de construcción de pozos del MARNR.

Tabla 5. Valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento (1981-1982)

No	Baterías de pozos	T ($m^2/día$)	S	Sector
1	Bombeo 6170S/N observación 617-016 y 6170S/N	527 Y 591	2.5×10^{-3}	Norte
2	Bombeo 617007 y obs. 617044	1345	8.4×10^{-3}	Norte
3	Bombeo 607048 y obs. 6070103	512	--	Sur
4	Bombeo 6070100 y obs. 607056, 57	400	--	Sur

Con respecto a la calidad del agua, se seleccionaron 48 pozos, distribuidos en toda el área de estudio, determinándose altas concentraciones salinas en las aguas subterráneas.

La Tabla A.2, del Apéndice (A) refleja los análisis realizados para este período, (1981-1982).

Carrasco, (1982), en su tesis, evalúa diferentes estrategias de explotación, para lo cual utiliza el modelo de simulación hidrológica desarrollado por García (1976) para determinar la disponibilidad de aguas subterráneas.

En la caracterización del acuífero se utiliza un modelo desarrollado por Pinder y modificado por Jégat (1978). Estima los

parámetros que caracterizan el acuífero y se analiza su comportamiento con las alternativas de explotación propuesta, mediante el referido modelo.

En sus conclusiones, detalla que la estimación de la recarga fue de poca confiabilidad debido a carencia de datos, como son la ausencia de aforos a la salida de la quebrada Las Raíces y del agua de riego derivada en las quebradas del Valle.

Aunque los datos eran escasos, se pudo comprobar que el acuífero recibe poca recarga; sólo en los meses de diciembre de 1975 y octubre de 1976 fue de $18,34 \times 10^6 \text{ m}^3$ y $4,78 \times 10^6 \text{ m}^3$ respectivamente.

En la calibración del Modelo de Pinder, utilizado para simular la carga hidráulica del acuífero a partir de las características conocidas, se demuestra que se puede resolver el problema inverso, es decir la determinación de los parámetros del acuífero, conocida la variación de la carga hidráulica en el acuífero.

Los resultados obtenidos para el coeficiente de almacenamiento, el rendimiento específico y la permeabilidad no son confiables debido a la insuficiencia de datos.

Al analizar la superficie total del acuífero con el modelo de Pinder y aplicando el criterio de rendimiento seguro, se logra señalar áreas donde se debe aumentar o disminuir la producción en las diferentes estrategias estudiadas.

Vignati, (1987), en su trabajo "Aplicación del Modelo Simulaci" para el cálculo de la recarga directa al acuífero del Valle de Quibor, estima que la recarga directa al acuífero del Valle de Quibor resultó ser nula.

Este es un resultado lógico si se tiene en cuenta que las lluvias en la zona son intensas y de corta duración, aunado al hecho de que los suelos existentes son de características impermeables.

Sin embargo, este resultado no permite concluir que la aplicabilidad del modelo para el cálculo de la recarga por lluvia sea una norma general.

Alvarado, (1989), realizó un estudio del sistema hidrológico del Valle de Quibor, basado en la recopilación de trabajos realizados en el acuífero del Valle y profundiza en el estudio del mismo. Describe la sobreexplotación, indiscriminada del acuífero sin ninguna planificación, lo que contribuye al desequilibrio en el balance hídrico.

Hace referencia a la composición del acuífero, la variación de los niveles durante los últimos años, la descarga y recarga del mismo, estudios de la calidad del agua y delimita tres áreas en diferentes formas de manejo y control de su explotación.

Así mismo, realiza exploraciones geofísicas con el propósito de conocer las posibilidades de acumulación de las aguas subterráneas.

Con respecto a la variación de los niveles en el acuífero, determina, para el período 1975-1987, que el descenso del nivel medio anual es de 0,5 m. Para el período del año 1987 la morfología de la superficie del nivel de agua se hace más sinuosa, con valores absolutos que varían entre 590 m.s.n.m. y 555 m.s.n.m. Las direcciones del flujo subterráneo son de los bordes hacia la parte central del Valle.

Los gradientes hidráulicos aumentaron significativamente con relación al año 1976; en el Sector Norte varían entre 1×10^{-2} y 1.8×10^{-2} y en el Sector Sur entre $1,1 \times 10^{-2}$ y $2,5 \times 10^{-2}$.

En el período 1975-1987 en todo el Valle de Quibor han sido extraídos, aproximadamente, 451×10^6 m³ de agua, con un promedio anual de $34,7 \times 10^6$ m³.

Existe un volumen acumulado de $149,7 \times 10^6$ m³ de agua subterránea, que constituyen las reservas permanentes o geológicas para el año 1987.

Para el año 1986 la mineralización de las aguas subterráneas experimenta un aumento considerable. En la mayor parte del sector Sur las concentraciones se encuentran entre 600 y 1000 ppm; sin embargo hacia el Este de la quebrada Las Guardias, el TSD es superior a las 1000 ppm. En la mayor parte del sector Norte el TSD se encuentra por encima de 1000 ppm.

La calidad de las aguas con fines de riego para el año 1986, corresponden a las categorías C₄S₁ y C₄S₂, siendo muy restringidas las áreas donde se presenta la categoría C₃S₁.

En la mayor parte del Valle, las aguas son corrosivas, con valores negativos del índice de Langellier, que varían entre -1 y -9, en contrándose la mayoría de ellos en el rango de -1 a -3.

Otros Trabajos

Un sinnúmero de trabajos realizados en el área del Valle

de Quibor, presta atención a la gran importancia que representa el desarrollo y planificación del agua subterránea en Venezuela. Es así que en 1980 en su primer informe de avance, Amisial, desarrolló el Proyecto Planificación del Agua Subterránea para Riego en Venezuela, haciendo énfasis en que, en caso de aguas subterráneas, se identifique los estratos acuíferos hasta 150 m de profundidad y su extensión areal mediante sondeos eléctricos verticales, perforación de pozos, registros eléctricos, exploración y correlación geológica. Los parámetros hidrogeológicos y la calidad del agua serán estimados en base a pruebas de bombeo y análisis de muestras del agua.

La Comisión del Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos de Venezuela, 1970, recomienda realizar programas de estudio, exploración, desarrollo y evaluación de las aguas subterráneas, tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- Geología de la región
- Litología y características de los acuíferos
- Censo de pozos existentes, con sus características de perforación y producción y de otros puntos de agua.
- Calidad de las aguas
- Condiciones hidrológicas con determinación del escurrimiento subterráneo y reservas disponibles
- Protección y conservación de los acuíferos
- Posibilidades de recarga artificial de los acuíferos
- Estudios de factibilidad a mediano y largo plazo.

Según Factor (1971), el estudio hidrogeológico regional completo reposa en un inventario detallado y preciso de los acuíferos, seguido de una estimación de las reservas útiles y de su balance, lo que permite establecer un programa de explotación nacional.

Pla Sentis y Dappo, 1974, concluyen que la presencia y transporte de sales en las aguas y su ulterior acumulación en la solución del suelo, son problemas íntimamente conectados que deben ser estudiados y tratados conjuntamente. Las sales presentes en las aguas de riego y en la solución del suelo provienen en última instancia de los procesos de meteorización química de los minerales de la corteza terrestre, en cuya acción intervienen el agua y el CO_2 derivados de la actividad biológica.

La utilización del sistema para cuantificar en forma aproximada la evolución de la concentración y composición de las sales en la solución del suelo, permite no sólo prever los efectos sobre suelos, cultivos y aguas de drenaje, sino para evaluar las diferentes combinaciones de agua de riego, suelo, cultivos y manejo, y seleccionar las más convenientes (Pla Sentis, 1983).

Ayers y Westcot (1987), describen que el concepto de calidad del agua se refiere a las características de las aguas que puedan afectar su adaptabilidad a un uso específico, en otras palabras, la relación entre la calidad del agua y las necesidades del usuario.

Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (1975), si la salinidad del agua subterránea está realmente seleccionada con la salinidad del suelo, en un área agrícola de extensión considerable, las magnitudes de la salinidad del agua subterránea y su variabilidad, especialmente en las regiones superiores de la masa de agua subterránea no confinada, deberían ser semejantes a la cantidad de sales solubles y a la variabilidad observada en los suelos cerca del nivel freático.

Mujeriego 1990, comenta que la salinidad, medida en términos de la conductividad eléctrica, es el parámetro individual más importante para determinar la idoneidad de un agua de riego.

Modelos

Los modelos son una potente herramienta de trabajo, que permiten manejar eficazmente situaciones complejas y tratar al sistema acuífero como un todo.

El presente trabajo versará, en su fase final, sobre la aplicación del Modelo Matemático Ground Water Software Part Two (GW7), para el cual se hace referencia a la aplicación de otros modelos matemáticos en la simulación.

Modelo de un Acuífero

Un modelo puede ser definido como una versión simplificada del sistema real que simula aproximadamente la relación excitación-respuesta del sistema real. (Bear y Verruijt, 1987).

Un modelo es tanto más representativo del sistema real, cuando es capaz de reproducir más fielmente su comportamiento, o lo que es lo mismo, reproducir los estados del sistema, las acciones sobre él y las leyes que lo relacionan y debe resolver la ecuación diferencial de forma suficientemente aproximada de acuerdo con las necesidades (Custodio y Llamas, 1976).

Modelos Matemáticos (Custodio y Llamas, 1976). Se entiende por modelo matemático el que utiliza métodos numéricos para resolver la ecuación diferencial representativa del fenómeno.

El método más desarrollado es el de diferencias finitas, con el que se obtiene la solución de la ecuación para una serie

de puntos discretos en el espacio y en el tiempo. Las particularidades de cada método consiste en el planteamiento de las ecuaciones y en la forma de solucionarlas.

Según Bear y Verruijt (1987), El Modelo Matemático consiste en la definición de la geometría del dominio considerado y sus límites, de la ecuación o ecuaciones que expresan el balance de la cantidad de espacio considerado, las ecuaciones que definen la conducta de las partículas del material fluido y sólido, las condiciones iniciales y definitiva.

Son varios los métodos ya desarrollados para el estudio del comportamiento de los acuíferos. Así se tiene que en 1970 Pinder desarrolló un modelo para simular la carga hidráulica de un acuífero sometido a extracción por bombeo. El programa sólo considera acuíferos libres o confinados sometidos a bombeo constante.

Pinder y Bredehoeft 1968, desarrollan un modelo digital para analizar el flujo bidimensional y no-permanente en acuíferos confinados, semi-confinados y libres. El modelo se aplica a acuíferos heterogéneos y anisotrópicos recibiendo recarga de una capa semi-confinante o de un cuerpo de agua superficial como un río o un lago, este modelo fue utilizado por Cabrera (1980).

En 1976 y 1977 Beltrán y Jégat, citados por González y Orbegozo (1982) y Rodríguez Matos (1986), realizan modificaciones en el modelo de Pinder y presentan un modelo que permite simular un acuífero sometido a bombeo o recarga de uno o varios pozos que pueden ser libres, semi-confinados, confinados o combinación de los anteriores.

Jégat (1978), desarrolló un trabajo de investigación sobre la simulación de flujos permanentes en medio poroso por el método de los elementos finitos, en el cual el modelo permite la simulación del flujo permanente, bidimensional o radial, en un medio no homogéneo, anisótropo y de geometría cualquiera.

Mc Donald y Harbaugh (1989), desarrollan el modelo MODFLOW, el cual es un modelo tridimensional de diferencias finitas que simula el acuífero en régimen impermanente. El modelo permite simular acuíferos confinados o no-confinados, así como la combinación de ellos, al igual que el flujo asociado a una presión externa tal como manantiales, superficies recargadas, evapotranspiración, drenaje y corrientes.

CAPITULO III

DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

Generalidades

Ubicación y Superficie

El Valle de Quíbor está ubicado en la parte central del Estado Lara, hacia el sur-oeste de la ciudad de Barquisimeto; administrativamente pertenece al Municipio Juan Bautista Rodríguez del Distrito Jiménez. Geográficamente está limitado entre los 09° 50' y 10° 05' de Latitud Norte y los 69° 30' y 69° 45' de Longitud Oeste con una superficie total aproximada de 970 km². Figura 1.

Fisiografía

Desde el punto de vista fisiográfico, el área es un valle intramontano, perteneciente a la región de confluencia de los sistemas Andino, Corlano y Cordillera de la Costa, conocida con el nombre de "Depresión o Surco de Barquisimeto". Esta depresión se encuentra comprendida entre Carora, El Tocuyo, Barquisimeto y Sanare. En la región de Carora alcanza su mayor desarrollo; hacia Barquisimeto continúa en forma menos precisa, dominada por una morfología de colinas redondeadas de poca o mediana altura. Alvarado (1989).

En Barquisimeto la depresión se ensancha un poco y aparecen terrazas cuaternarias que se prolongan al Suroeste en dirección a Quíbor.

La región bajo estudio, fundamentalmente, se divide en dos zonas fisiográficas, existiendo un marcado contraste topográfico entre ellas. La mayor parte de la región está constituida por una zona relativamente baja y plana, conocida como el Valle de Quíbor. Este valle está rodeado por cerros altos y abruptos con muy escasa vegetación xerófila.

La zona plana se encuentra de 600 a 800 msnm, con pendientes muy suaves de Sur a Norte (1.5% al Sur y 0,57% al Centro y Norte) y de Este a Oeste (de 0,26 a 0,59%). En la parte central del Valle emergen pequeñas colinas aisladas, de aproximadamente 30 metros de alto, conocidas con el nombre de Los Cerriños (Aguilera y Padilla, 1963; Alvarado, 1989).

Geología

Desde el punto de vista geológico, en el área de estudio están presentes numerosas formaciones geológicas, encontrándose

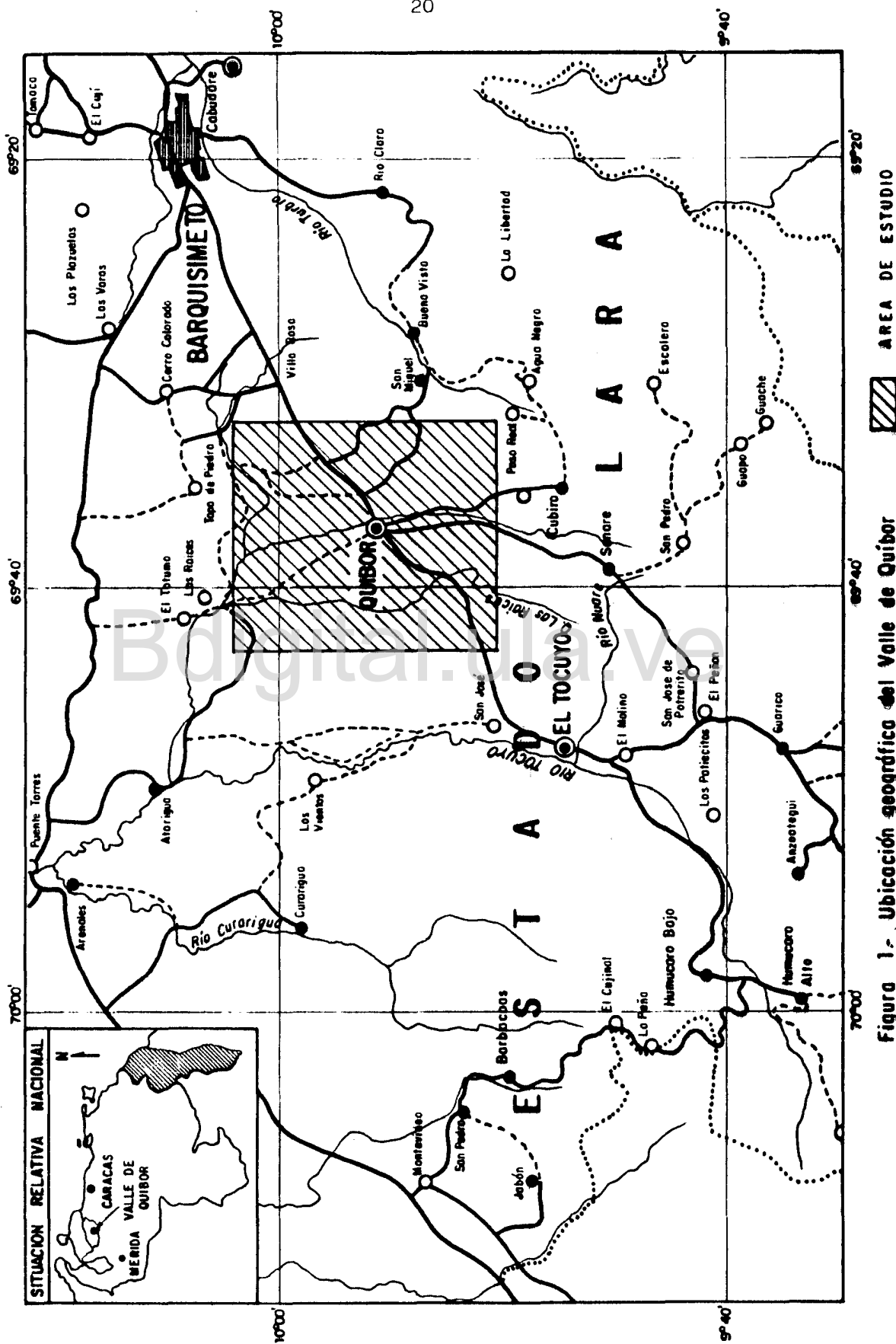


Figura 1.- Ubicación geográfica del Valle de Quibor

rocas de la edad cretácica terciaria y cuaternaria, cuyas características litológicas varían marcadamente en las diferentes zonas geográficas.

De acuerdo a la regionalización hidrogeológica, el área está ubicada en la sub-cuenca del Quíbor, perteneciente a la cuenca de Barquisimeto-Quíbor, la cual a su vez se encuentra en la Sub-Provincia de la Depresión de Barquisimeto, perteneciente a la provincia Andina-Vertiente Atlántica y del Caribe (Alvarado, 1989).

Geológicamente está localizada en la región de convergencia de los sistemas orogénicos de los Andes y la cordillera de la costa. Su complejidad tectónica y estratigráfica se debe a que está ubicada en el llamado "Surco o Depresión de Barquisimeto".

La parte plana o Valle de Quíbor está cubierta por sedimentos fluvio-lacustre de edad cuaternaria. La zona montañosa que rodea al valle y el basamento del relleno fluvio-lacustre están constituidos por rocas de edad cretácica y terciaria.

Formación Mamey (km)

La constituye la unidad superior del grupo Los Cristales, cubriendo en aparente concordancia con la unidad inferior la formación Aroa (Bellizia y Rodríguez, 1967 y Staninforth, 1968; citados por Alvarado, 1989).

La formación Mamey, de edad cretácico inferior, se compone especialmente de esquistos cuarzo-micáceo-sericíticos, meta-conglomerados, meta-areniscas, calizas laminadas y filitas. Afloramientos de estas rocas se encuentran en el extremo norte.

Formación Barquisimeto (K₁)

La formación Barquisimeto, conocida también como formación Cazadero, de edad cretácica superior, está compuesta principalmente por lutitas, lodos compactados, calizas, margas y filitas. Los afloramientos de esta formación se encuentran en la zona montañosa Nor-Este y Este y el sector Oeste y Sur-Oeste. Las pequeñas colinas que emergen en la parte central del valle, también están constituidas por rocas de esta formación.

Formación Villanueva (KTvn)

Es una secuencia de gran espesor de rocas sedimentarias, constituidas por lutitas silíceas finamente laminadas con areniscas y calizas intercaladas. Esta formación se asume que pertenece al cretácico superior Paleoceno (Alvarado, 1989).

Formación Matatere (Tpema)

Es la unidad más característica en el surco de Barquisimeto, constituida por turbiditas, areniscas y lutitas.

La edad de esta formación es Paleoceno-Eoceno, con un espesor estimado de 300 cm.

Los afloramientos de esta formación se encuentran en los cerros que bordean la parte oeste del valle de Quíbor en el extremo este.

Formación Morán (Tpema)

El tipo de roca predominante es de areniscas, cuarcitas y lutitas negras. El espesor de esta unidad es aproximadamente de 500 m.

La edad determinada en base al contenido de fauna, se extiende desde el Paleoceno hasta el Eoceno.

Afloramientos de esta formación se encuentran en las montañas que bordean el valle en la parte sur.

Formación El Pegón (Tmpp)

Esta formación yace en contacto discordante sobre la formación Morán, cuyos afloramientos se encuentran en el extremo Sur. De edad Mioceno-Plioceno, compuesta de gravas.

Cuaternario (Qal)

Los sedimentos del cuaternario descansan en contacto discordante sobre rocas de las formaciones Barquisimeto, Morán y Matatere, constituyen el relleno fluvio-lacustre del Valle (Alvarado, 1989).

Son muchas las teorías sobre el origen del valle.

De acuerdo a Aguilera y Padilla (1963) durante el Pleistoceno, la depresión o cuenca de Quíbor constituía un lago. El fondo de la cuenca era de forma muy irregular, con sus mayores profundidades en las zonas donde hoy día existen los caseríos de Campo Lindo, Playa Bonita y El Hato. En el centro de la cuenca permaneció un afloramiento de rocas cretáceas que constituyó un alto geológico en esa zona y que hoy se conoce con el nombre de "Los Cerritos".

La depresión de Quíbor corresponde, según Zinck y Suárez (1970), a una fase tectónica semejante a muchas otras de la zona

de ensilladura de Barquisimeto-Carora, la cual constituye una transición entre el sistema montañoso Andino y el Costero.

El relleno fluvio-lacustre del Valle de Quíbor tiene un espesor máximo de aproximadamente 200 a 230 m. Estos espesores se encuentran en la parte central del valle, formando una zona angosta, de aproximadamente 100m de ancho y alargada en dirección Noreste-suroeste, desde la Hacienda Las Palmas, pasando por la parte Norte de la ciudad de Quíbor hasta cerca del caserío El Hato, (Aguilera y Padilla 1963, Alvarado, 1989).

Climatología

El clima predominante en el Valle de Quíbor corresponde al de bosque seco tropical (bs-T y Bosque muy seco tropical (bms-T). Ferrer y Bautista (1986), citado por Alvarado (1989).

El clima es heterogéneo con precipitaciones promedio anuales que varían entre 400-500 mm; temperatura media anual que oscila entre 21° C y 28° C y evaporación media anual entre 1700 y 3200 mm.

Las características climáticas del valle de Quíbor son consecuencia inmediata de su posición relativa, en relación a la cordillera de los Andes y a la dirección dominante de los vientos del Norte, los cuales, cargados de humedad, tienen que ascender para pasar la barrera orográfica, originándose una zona de alta precipitación en la vertiente de los llanos, en la cual se encuentra la cuenca del río Yacambú, y una de baja precipitación en la vertiente norte, en la cual se encuentra el valle de Quíbor.

En la región de estudio existen varias estaciones meteorológicas, pero se puede considerar que la estación de Quíbor es más representativa para toda el área en estudio.

Número instalado	Tipo	Altitud	Latitud	Longitud
2204	1945	C2	682	09°55'11" 69°37'39"

Existe una marcada diferencia entre la época de lluvia y la de secano. En la estación de Quíbor un 87% de las precipitaciones ocurren entre abril y noviembre, mientras que en los cuatro meses restantes (diciembre a marzo), las precipitaciones equivalen a sólo el 13% de la media anual.

En todo el Valle de Quíbor la distribución mensual de las precipitaciones medias es bimodal, con dos máximos en los meses de abril y de octubre a noviembre y dos mínimos en los meses de diciembre a marzo y de julio a septiembre.

Según Alvarado (1989), la precipitación media anual (período 1975-1985) en toda la región de Quíbor, varía entre 324 y 1015 mm, con un promedio anual de 518 mm. En la mayor parte de la planicie del valle, las precipitaciones fluctúan entre 400 y 500 mm. El volumen anual promedio de agua precipitada en toda la región (planicie y zona montañosa), para un área de 969.3 km², es de 502.5×10^6 m³.

La evaporación media anual para el período 1976-1985 es de 3318 mm en la estación de Quíbor.

La distribución mensual de las evaporaciones medias tiene un comportamiento bimodal, con dos máximos en los meses de enero a marzo, y de julio a septiembre y dos mínimos en los meses de abril a junio y de octubre a diciembre.

Los valores de la evapotranspiración real (ETR) media anual (período 1975-1985) en toda la región, varía entre 933 y 324 mm. El volumen anual promedio evapotranspirado es de 500.5×10^6 m³. Existe un exceso de agua de precipitación en todo el valle de Quíbor de 2×10^6 m³, que representa el 0,4% del volumen de agua precipitada.

Hidrografía

El Valle de Quíbor, hidrográficamente está constituido por tres grandes quebradas paralelas entre sí, las cuales drenan de Sur a Norte y desembocan en la Quebrada Las Raíces, la cual a su vez es afluente del río Tocuyo. Estas quebradas de Este a Oeste son: La quebrada Las Guardias que nace en la zona montañosa en el sector Sur-Este y tiene la mayor área de drenaje; quebrada Atarigua, nace en la zona montañosa en el sector sur y atraviesa por la parte central a lo largo de todo el valle, pasando cerca a la ciudad de Quíbor; hacia el Oeste se encuentra la quebrada Palo Negro o San José, la cual nace en la zona montañosa del sector oeste y circula bordeando el pie del cerro. Otra quebrada es la que se encuentra entre las quebradas Las Guardias y Atarigua, de menos importancia, conocida con el nombre de quebrada Los Barrancos.

Hacia el Sur-oeste del valle se encuentra la quebrada Botucal, la cual tiene un desarrollo local y hacia el Norte se encuentra la quebrada de Baragua. Por lo general, por estas quebradas, en la mayor parte del tiempo, no circula agua.

CAPITULO IV

METODOLOGIA

Introducción

Para un mejor desarrollo y entendimiento, el trabajo se realizó en varias etapas, mediante la siguiente metodología:

Trabajos Preliminares

Ubicación de la zona de estudio

Al inicio del capítulo anterior se hace referencia a la ubicación del Valle de Quibor, Ver Figura 1.

Definición de los límites del Acuífero. El acuífero se delimitó tomando en cuenta los estudios realizados por Alvarado (1989), como se muestra en la Figura 2.

Obtención de información existente

Pruebas de bombeos. Aguilera y Padilla (1963) realizaron 17 pruebas de bombeo para determinar los valores de transmisividad (T) y coeficiente de almacenamiento (S) de los acuíferos de las subcuencas geohidrológicas, Tabla 1, del Capítulo II.

Mediante estas pruebas se concluyó que en la parte norte del valle el acuífero es libre, y confinado hacia el sur y centro del valle.

Para 1978 y 1979, Carvajal realiza 21 pruebas de bombeo de las cuales solamente fueron interpretadas siete (7), ubicadas dos en el sector norte y cinco en el sector sur; concluyendo lo mismo que Aguilera y Padilla, que los acuíferos son libres al norte y confinados al centro y sur del valle, (Ver Tabla 4, del Capítulo II).

La empresa Aguasuelos Ingeniería (1982) efectúa cinco (5) pruebas de bombeo de interferencia, Tabla 5, Capítulo II, en el sector norte, centro y sur del valle.

Niveles observados. En 1962-1963 se realizan las primeras mediciones de niveles, pero no es sino hasta 1975 que se empiezan a medir los niveles de los pozos en forma periódica, a través de una red de observación escogida por el Ministerio del Ambiente, zona 3, de Lara.

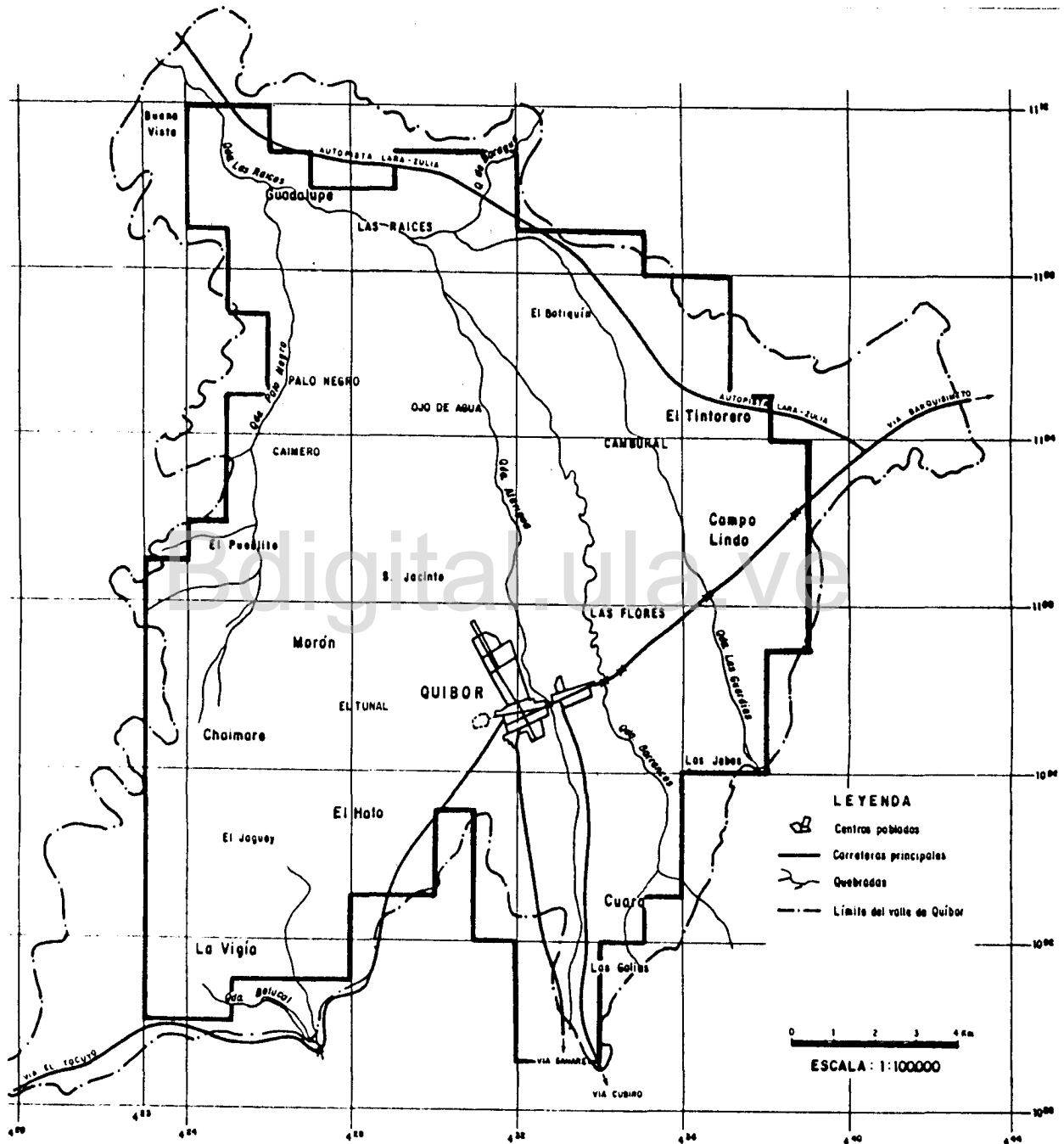


Figura 2.- Delimitación del acuífero del valle de Quibor, 1992

En 1962-1963, en la Subcuenca I, los niveles se encontraban entre 40 y 70 m de profundidad. En la subcuenca II se observaron descensos del nivel del agua entre 1 y 3 m (pozos Po-29, Po-31 y Po-33). En la subcuenca III los descensos variaron entre 1 y 4 m (P-6, P-8, P-23). En la subcuenca IV el descenso de los niveles fue de 1 y de 1.5 m y finalmente en la subcuenca V los niveles variaron entre 0 y 2 m.

Para el año 1987 las profundidades de los niveles han experimentado un cambio radical. Por ejemplo, en el sector norte (al norte de los Cerritos) los niveles, según Alvarado (1989), variaron de 20 a 86 m de profundidad, encontrándose los valores más altos en la parte central. En la zona de la hacienda La Guadalupita, donde los niveles para el año 1987 registraron profundidades de 83-86m, para el año 1963, Aguilera y Padilla midieron profundidades máximas de 30-33, matemáticamente, esto indica que en un período de 24 años los niveles en esta zona descendieron 53 m. Al igual que en el sector norte de la quebrada Las Raíces, en 1963 el nivel se encontraba a 1.05 m de profundidad y para 1987 el nivel se registró a 23 m. Analizando estos resultados se tiene que en el sector norte, para el período 1963-1987 los niveles experimentaron un descenso permanente, siendo más brusco en los primeros 10-12 años.

Hacia el sur el problema se agudizó más, ya que para 1987 las profundidades de los niveles de agua subterránea fluctuaban de 81 a 135 m, encontrándose los niveles más profundos en la parte sur-este y al este de la ciudad de Quibor y los niveles menos profundos hacia la parte oeste.

Alvarado señala que hacia el sector sur se registraron 5 áreas de máximo descenso de niveles para 1987.

En la zona de las haciendas El Carmen, El Caujaral y al este de Quibor, los niveles se concentraron entre 116 y 135 m de profundidad, con un descenso de niveles en el período 1975-1987, entre 10.8 m y 17.25 m.

A los alrededores de la hacienda El Tunal, ubicado al oeste de Quibor, en 1987 los niveles se encontraban entre 38 y 119 m de profundidad. Para 1963, en esta misma zona, el nivel registró una profundidad de 68 m, o sea que en 24 años los niveles descendieron en aproximadamente 51 m, de los cuales 16 m corresponden a los últimos 13 años.

Sobre el área de San Jacinto, al norte de la hacienda El Tunal, Alvarado registró niveles para 1987 entre 87 y 100 m de profundidad, en cambio Aguilera y Padilla (1963) registran en esa misma zona profundidades de 4.3 m, lo que refleja que los niveles en 21 años descendieron cerca de 50 m.

En la hacienda El Carmen, al sur de los Cerritos, el nivel alcanzó a 94-97m para 1987 con un descenso de 10 m en el período 1975-1987.

Los niveles en la hacienda La Palma, al este de Los Cerritos, registraron profundidades entre 110 y 113 m en 1987.

Para 1963 el nivel se encontraba en esta zona a 18 m, haciendo la comparación de ambos períodos, se tiene un descenso en 24 años de 90 a 95 m, de los cuales en los últimos 13 años descendieron 15 m.

Por último, en la región de Campo Lindo el nivel se observó a 125 m de profundidad para el año 1987, habiendo descendido 16 m en los últimos 13 años.

En el Apéndice B, las Figuras 1 a 5, reflejan el comportamiento de las fluctuaciones de los niveles desde 1962 hasta 1987 y las figuras del 6 al 22, presentan la variación de niveles en los pozos, desde 1975-1992, respectivamente, para la región central del valle.

Profundidad de Pozos y Litología. La mayoría de los pozos son de poca profundidad entre 30 y 50 m, por lo que al descender los niveles a profundidades entre 25 y 135 m, la mayoría de ellos quedaron secos, los más profundos se encuentran en la zona central del valle, que es la zona de sobreexplotación. Con respecto a la litología de los pozos, es muy escasa y sobre la información que se tiene, en algunos casos la descripción es muy detallada y en otros muy generalizada, lo que dificulta la interpretación de la litología que se desea representar.

Según Alvarado (1989), la litología se determinó en base a muestras recuperadas durante la perforación y, aparentemente, en algunos casos descritas por personas no muy calificadas.

Aunque se tiene la ubicación precisa del pozo, se han encontrado hasta tres columnas litológicas, diferentes una de la otra, para el mismo pozo.

La Tabla 6, muestra el número de pozo por zona, ubicación, altitud (msnm) y la profundidad de los pozos que se visitaron en 1992.

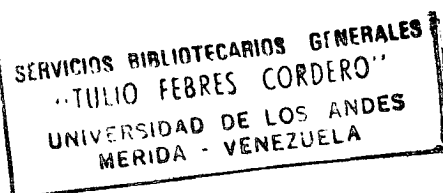


Tabla 6. Resumen de inventario de los pozos del valle de Quíbor.
(número, ubicación, altura y profundidad)

No. de pozos	Localidad	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Profundidad (m)
607014	Hda. LA Guadalupe	095928	693649	648.00	105
607018	Sn. Jacinto	095806	693748	659.00	118
607022	Hda. La Conquista	095947	693858	638.00	70
607024	Sn. Jacinto	095741	693817	660.00	130
607026	Hda. Altagracia	095707	693825	665.00	100
607028	Hda. Altagracia	095723	693845	658.00	100
607030	Hda. Altagracia	095704	693819	669.00	140
607035	Fca. Tiqui-Flores	095646	693806	679.00	126
607034	El Tunal	095550	693747	696.00	128
607039	Hda. La Palma	095827	693541	663.00	128
607043	Hda. Las Galias	095127	693631	815.00	36
607049	Hda. Las Galias	095130	693630	812.00	36
607050	Hda. Las Galias	095138	693621	815.00	36
607056	Hda. Sn. Antonio	095845	693503	670.00	139
607057	Hda. Sn. Antonio	095840	693512	669.00	127
607063	Hda. Quebrada Seca	095758	693727	662.00	113
607070	Hda. El Caujaral	095627	693642	690.00	143
607073	Hda. Sn. Antonio	095859	693602	653.00	90
607077	Hda. El Rosario	095928	693621	650.00	116
607085	El Tunal	095614	693812	684.00	130
607086	Hda. Sn. Antonio	095909	693626	652.00	116
607087	Fco. Sta. Elena	095608	693838	679.00	—
607091	Hda. Sta. Isabel	095840	693621	656.00	—
607099	Hda. Maguazi	095551	693449	719.00	170
6070100	Hda. Sn. Antonio	0935830	693505	674.00	—
6070103	Hda. Los Galios	095133	693632	810.00	—
6070109	Las Palmas	095708	693548	694.00	140

Tabla 6. Continuación

No. de pozos	Localidad	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Profundidad (m)
6070110	Hda. El Carmen	095856	693644	653.00	135
6070111	Hda. El Carmen	095650	693524	696.00	—
6070112	Hda. La Florencia	095530	693833	688.00	—
6070113	Hda. Negrete	095748	693457	686.00	—
6070114		095504	693405	746.00	—
6070115		095456	693406	760.00	—
6070121	Sn. Jacinto	095832	693808	654.00	—
6070122	Hda. Playa Bonita	095429	693853	690.0	—
6070123		095402	693311	820.00	—
6070130		095652	693624	680.00	—
6070132	Campo Lindo	095745	693451	687.00	—
6070104		095243	694133		
617001	Hda. Las Raíces	100212	693743	610.00	—
617004	Hda. Las Torrecitas	100155	693758	599.00	—
617005	Hda. Las Virtudes	100201	693739	619.00	—
617010	Hda. Las Mercedes	100007	693610	647.00	82
617013	Hda. Las Victorias	100030	693819	622.00	67
607014	Hda. La Victoria	100031	693809	623.00	77
617021	Hda. Ojo de Agua	100044	693953	610.00	45
617037	Hda. Las Torrecitas	100205	693751	603.00	—
617039	Las Torrecitas	100237	693741	615.00	—
617047	Hda. Las Faldas	100233	693714	623.00	—
617048	Hda. Las Faldas	100303	693659	625.00	—
617049		100349	693644	638.00	—
617103	La Guadalupe	100326	694056	579.00	57
617104	Hda. Sta. Cruz	100307	694058	577.00	30
617109	Guadalupe	100347	694115	569.00	—
617110	Guadalupe	100405	694153	561.00	—

Tabla 6. Continuación

No. de pozos	Localidad	Latitud	Longitud	Altitud (asnm)	Profundidad (m)
617111	La Ipopalena	100402	694148	579.00	—
617114	Hda. El Prodigio	100015	693959	622.00	50
617128	Sta. Lucía	100227	694006	580.00	—
617129	Sta. Lucía	100223	694023	579.00	—
617134		100319	694116	573.00	—
607043	Hda. Las Galias	095127	693631	815.00	36

Explotación de Aguas Subterráneas. Según Aguilera y Padilla (1963) el bombeo de las aguas subterráneas del acuífero estaba produciendo un descenso en las reservas de los acuíferos situados en las áreas bajo riego del orden de $9.4 \times 10^4 \text{ m}^3$ (300 l/s). Para ese período (1963) el riego se efectuaba con 69 pozos que anualmente extraían $18.4 \times 10^4 \text{ m}^3$ (580 l/s). Ya para ese entonces la sobreexplotación era evidente.

Según Alvarado (1989), el balance de las aguas subterráneas, en la mayor parte del valle de Quibor, se encuentra en desequilibrio, ya que el volumen de agua extraído supera a los recursos renovables. En el periodo 1975-1987 en todo el valle de Quibor, han sido extraídos aproximadamente $451 \times 10^4 \text{ m}^3$ de agua, con un promedio anual de $34.7 \times 10^6 \text{ m}^3$. En el área de mayor explotación (90 km²), el volumen total de agua extraída es de $286 \times 10^4 \text{ m}^3$, con un promedio anual de $22 \times 10^4 \text{ m}^3$.

El volumen de recursos renovables para ese periodo, determinado por Alvarado (1989), es de aproximadamente $220 \times 10^4 \text{ m}^3$ con un promedio anual de $17 \times 10^4 \text{ m}^3$, dando como resultado que el volumen de agua extraída supera a los recursos renovables en $5 \times 10^4 \text{ m}^3$, lo que representa un 29% en déficit en el balance de las aguas subterráneas que provienen de las reservas permanentes. El volumen de las reservas fue estimado por Alvarado (1989), para esta área, en $125 \times 10^4 \text{ m}^3$. Si se considera un promedio anual de $5 \times 10^4 \text{ m}^3$ de extracción de agua de las reservas permanentes, el agotamiento del acuífero será incontrolable.

En el Apéndice B, la Tabla B.1, muestra la información recopilada por la empresa Agua Suelos Ingeniería (1982), con respecto a la producción anual en l/s y recalculada a un bombeo de 24 horas durante todo el año, en millones de m³. Según fuente de Alvarado (1989), en las Tablas B.2 y B.3 del Apéndice B, se

presenta la producción medio anual de agua en pozos del valle de Quíbor y la producción media anual de agua en pozos del área de mayor explotación del valle, respectivamente.

Antecedentes de la Calidad del Agua. La composición química de las aguas subterráneas, en condiciones concretas, es el resultado del desarrollo de la historia hidrogeológica de una determinada región o cuenca, Alvarado (1989).

Según Aguilera y Padilla (1963), las aguas subterráneas, para fines de irrigación, son de buena calidad por lo que representa al contenido total de sales (800 ppm), porcentaje de sodio (60 ppm) y contenido de sulfatos (600 ppm). Sólo en la parte norte el aumento del contenido de sulfatos afecta la calidad del agua. En la Tabla 3 del Capítulo II se muestra las concentraciones máximas y mínimas de los constituyentes minerales del agua subterránea en las diferentes subcuencas.

FUDECO (1978) describe que la calidad del agua subterránea, a desmejorado hacia el norte del valle, llegando a valores de total de sólidos disueltos bastante mayores de 1500 ppm, lo cual amerita un manejo cuidadoso de los suelos. Hacia el norte y noreste de Quíbor se ha diagnosticado la mayor acumulación de sales.

El autor citado confirma que en el análisis de agua de un mismo pozo, se observó que la concentración salina ha aumentado considerablemente en un período de 8 a 10 años.

A través de los análisis se observó que para ese período la sal predominante es sulfato de calcio (CaSO_4), con excepción de algunas zonas donde es cloruro de calcio. En el Apéndice A se muestra en la Tabla A.1, los resultados de laboratorio de la calidad de agua de los pozos en el valle de Quíbor para esa época.

En 1982 la empresa Aguasuelos Ingeniería utilizando el método de clasificación para riego del Instituto de Investigaciones Agronómicas de los Estados Unidos agrupó a las aguas subterráneas del valle de Quíbor como C_4S_2 y C_4S_3 al norte.

De acuerdo al tipo químico del agua, se hizo el análisis de los aniones y cationes predominantes en las aguas subterráneas del valle, las mismas se clasificaron como Sulfatadas cálcicas. En relación al contenido de boro, el agua en general es apta para cualquier tipo de cultivo. Además se analizaron el pH, TSD, dureza, índice de Langelier, cuyos valores se presentaron en el Apéndice A, Tabla A.3.

Para el año 1986, Alvarado sustentó que la mineralización de las aguas subterráneas experimentan un aumento considerable. Se determina que en el sector sur las concentraciones se encuentran entre 600 y 1000 ppm; sin embargo, hacia el este de la quebrada Las Guardias, el TSD es superior a las 1000 ppm. En la mayor parte del sector norte el TSD se encuentra por encima de 1000 ppm.

En las aguas subterráneas de todo el valle de Quibor las concentraciones de los iones de bicarbonato, sulfato y calcio, se encuentran por encima del máximo aceptable. En todo el sector norte y en algunas áreas del sur, las concentraciones de sulfato y calcio sobrepasan el máximo tolerable. En casi todo el valle de Quibor la dureza total (CaCO_3) de las aguas subterráneas, tiene valores superiores a los 400 ppm.

En relación a los aniones y cationes predominantes, las aguas subterráneas en el valle son sulfatadas cálcicas, sulfatadas magnésicas, sulfatadas sódicas y bicarbonatadas cálcicas. El tipo químico predominante para este período (1987), son las sulfatadas cálcicas. Por efecto de la sobreexplotación a la que ha sido sometido el acuífero, el tipo químico de las aguas subterráneas cambió de bicarbonatadas a sulfatadas.

Para el año 1986, debido al incremento en el contenido de minerales disueltos en las aguas con relación a los años precedentes, desaparece la categoría C_2S_1 y abarcan áreas más amplias las categorías C_4S_1 y C_4S_2 , siendo muy restringidas las áreas donde se presenta la categoría C_3S_1 .

Los valores de relación de sodio varían de 0.23% a 57%, encontrándose los más altos en el sector norte. En la mayor parte del valle, las aguas son corrosivas, con valores negativos del índice de Langellier, que varía entre -1 y -9, encontrándose la mayoría de ellos en el rango de -1 a -3.

En casi todo el sector norte la concentración de sulfatos es superior a 250 p.p.m y el TSD se encuentra por encima del 1000 p.p.m.

Producción de Información

Para la obtención de información fue necesario la realización de trabajos en el campo, para lo cual se trabajó en los meses de febrero, mayo y junio. Durante este período se realizaron mediciones de niveles a una red de pozos, ya establecida por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Nivel Central y la zona de Lara. Se realizaron cuatro pruebas de bombeo, de las cuales dos sólo fueron analizadas, se hicieron aforos a casi todo los pozos productores, tomándose las

muestras de agua a estos pozos para determinar la calidad del agua subterránea.

Niveles de Aguas Subterráneas

Para la evaluación total del funcionamiento del sistema hidrogeológico de una región es de gran importancia el análisis de las fluctuaciones de los niveles de agua subterránea.

En el valle de Quíbor a consecuencia de la sobreexplotación indiscriminada que se ha venido realizando desde 1963 hasta la fecha, los niveles se encuentran en constante descenso, causando un desastre en la conservación de un recurso natural, el cual no es irreversible, además afectando la calidad del agua.

Las primeras mediciones que se hicieron en el valle de Quíbor fue en 1961 hasta 1963. A partir de este último año y hasta 1975, se realizaron mediciones esporádicas. Ya para 1975 la División de Hidrogeología del Ministerio de Minas e Hidrocarburos realizó el inventario de pozos y estableció la red de pozos de observación.

Resultados Obtenidos

La Tabla B.4 del Apéndice B y la Figura 3, muestran la ubicación de los pozos y la Figura 4 las isolíneas registradas de los 67 pozos analizados para el año 1992. En la Figura 4 se puede observar la formación de un solo cono de depresión, este problema Alvarado lo había advertido en 1989, sobre la parte central del valle, donde se encuentran los pozos más profundos, lo que hace que el régimen de las aguas hayan variado su dirección.

Este comportamiento se observa aún mejor en tres dimensiones, mediante la Figura 5.

Hacia las cercanías de las quebradas Las Raíces, Baragua, Atarigua, en el piede monte, inicio de la quebrada Las Guardias y quebrada Palo Negro, se registraron los niveles menos profundos del valle, los mismos fluctúan desde 2.1 a 28.8 m.

Los niveles más profundos se registraron en la hacienda El Tunal, hacienda El Camporal, sector Campo Lindo, San Jacinto, hacienda La Guadalupana, hacienda El Carmen, Las Palmas, vía el Tocuyo, hacia la Quebrada Seca y Santa Isabel, niveles éstos que fluctúan entre 48 hasta 145 m de profundidad.

Fluctuaciones de los Niveles 1986-1992

Haciendo la comparación entre los niveles registrados por

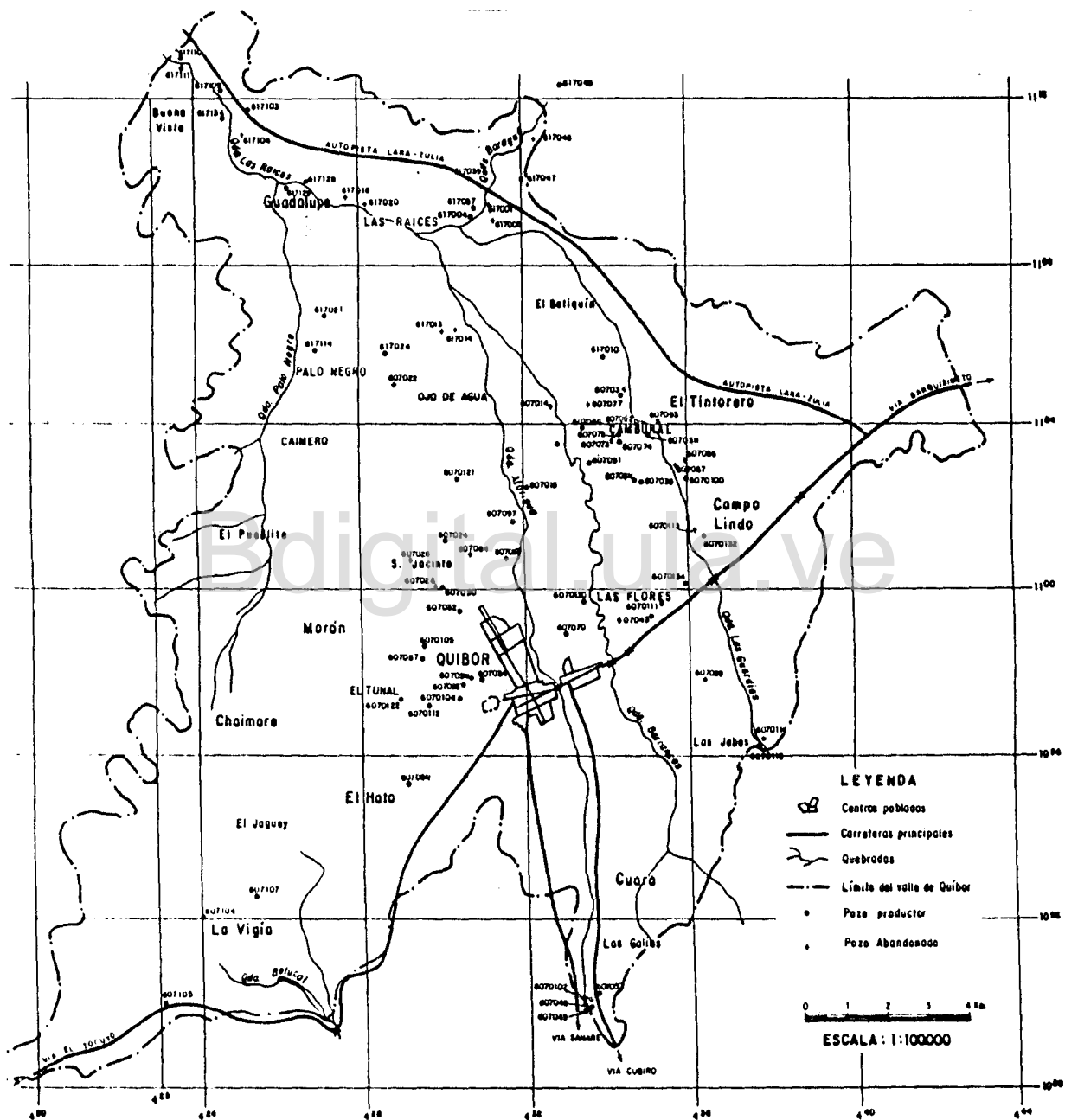
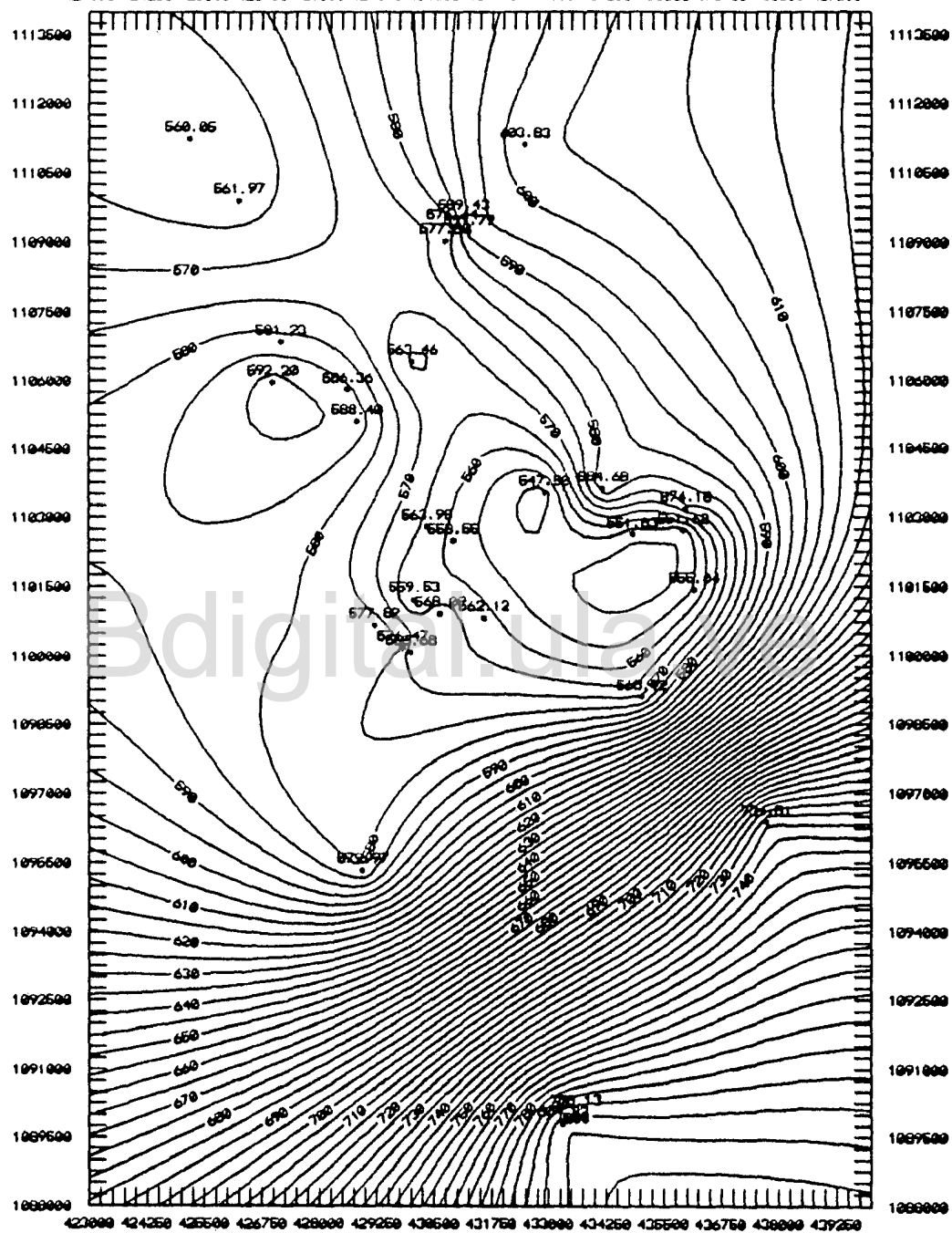


Figura 3.- Localización de los pozos registrados-Valle de Quibor, 1992.



C.C.Reconocimiento

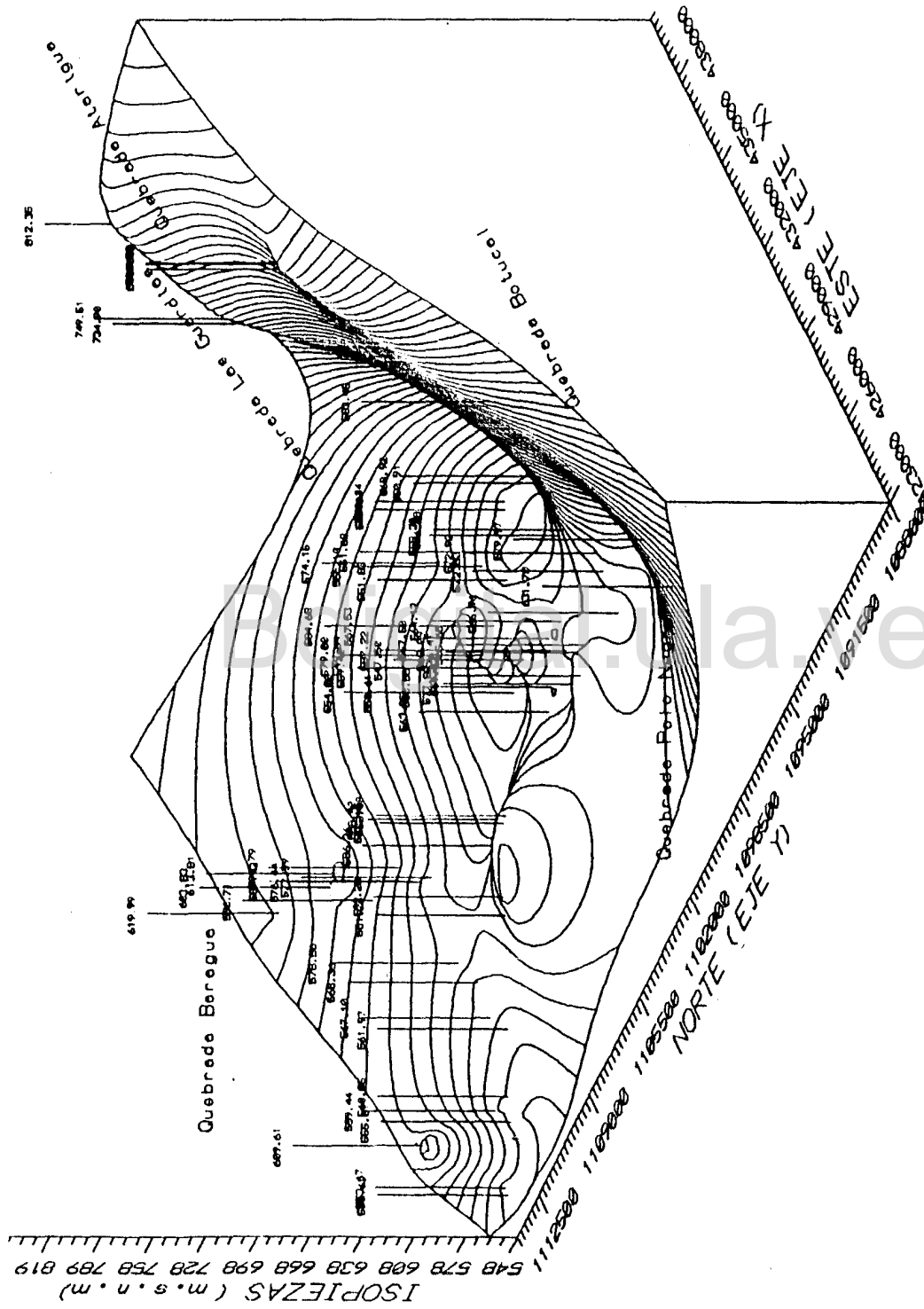


Figura 5. Vista tridimensional de isolíneas, acuífero, Valle de Quíbor, 1992

Alvarado en 1986, 1987 y los obtenidos en 1992, se refleja un descenso en todas las zonas del valle de Quíbor, comprobándose una vez más el efecto de la sobreexplotación irracional y descontrolada que se realiza en el acuífero del valle. Estos descensos varían entre un promedio de 0.5 m hasta 18.5 m de diferencia entre estos años.

La Tabla B.5 del Apéndice B, muestra esta comparación de niveles medidos en 1986, 1987 y 1992.

La variación de niveles por año que se ha registrado para estos periodos van desde 0.5 m hasta 5 m.

Las Figuras 6 y 7 muestran la diferencia de niveles entre 1986, 1987 y 1992, reflejándose que la mayor tendencia de descenso es hacia el centro del valle y el sector sureste.

Pruebas de Bombeo

Las pruebas de bombeo pueden servir para dos objetivos principales. En primer lugar, se puede hacer para determinar las características hidráulicas de acuíferos o de capas que transportan agua. Esto es lo que interesa en el presente trabajo. El segundo objetivo proporciona información sobre el rendimiento y el descenso del nivel de agua en el pozo. Estos datos pueden ser utilizados para determinar la capacidad específica o la relación descarga-descenso del pozo, para seleccionar el tipo de bomba y para estudiar el costo de bombeo.

El objetivo aquí fue el de determinar las características hidrogeológicas del acuífero.

En primer lugar se procedió a seleccionar el área o pozo en el cual se practicaría la prueba de bombeo, se escogió una zona en el norte, una en el sur y dos en el centro del valle, al norte de la ciudad de Quíbor. Además se hizo la prueba de recuperación en los cuatro sitios escogidos.

Prueba de Bombeo 1. Se realizó en el sector noroeste de la ciudad de Quíbor en la localidad de Santa Lucía.

Se escogió como pozo de observación el pozo 617129 y el de bombeo el pozo 6171SN/nuevo, separados por una distancia de 46.10 m; se bombeó con un caudal de 5 l/s, y el máximo abatimiento alcanzó las 11 horas y 46 minutos, fue de 2,03 m, el diámetro del pozo de bombeo es de 16 pulgadas (40.64 cm). Los datos fueron analizados a través de un programa de computadores, aplicando el método de Theis. Se obtuvo una transmisividad de 429.9 m²/día, coeficiente de almacenamiento de $S = 0.00573$, característica de un acuífero semi-confinado y una relación $r/B = 0.1429$, estos

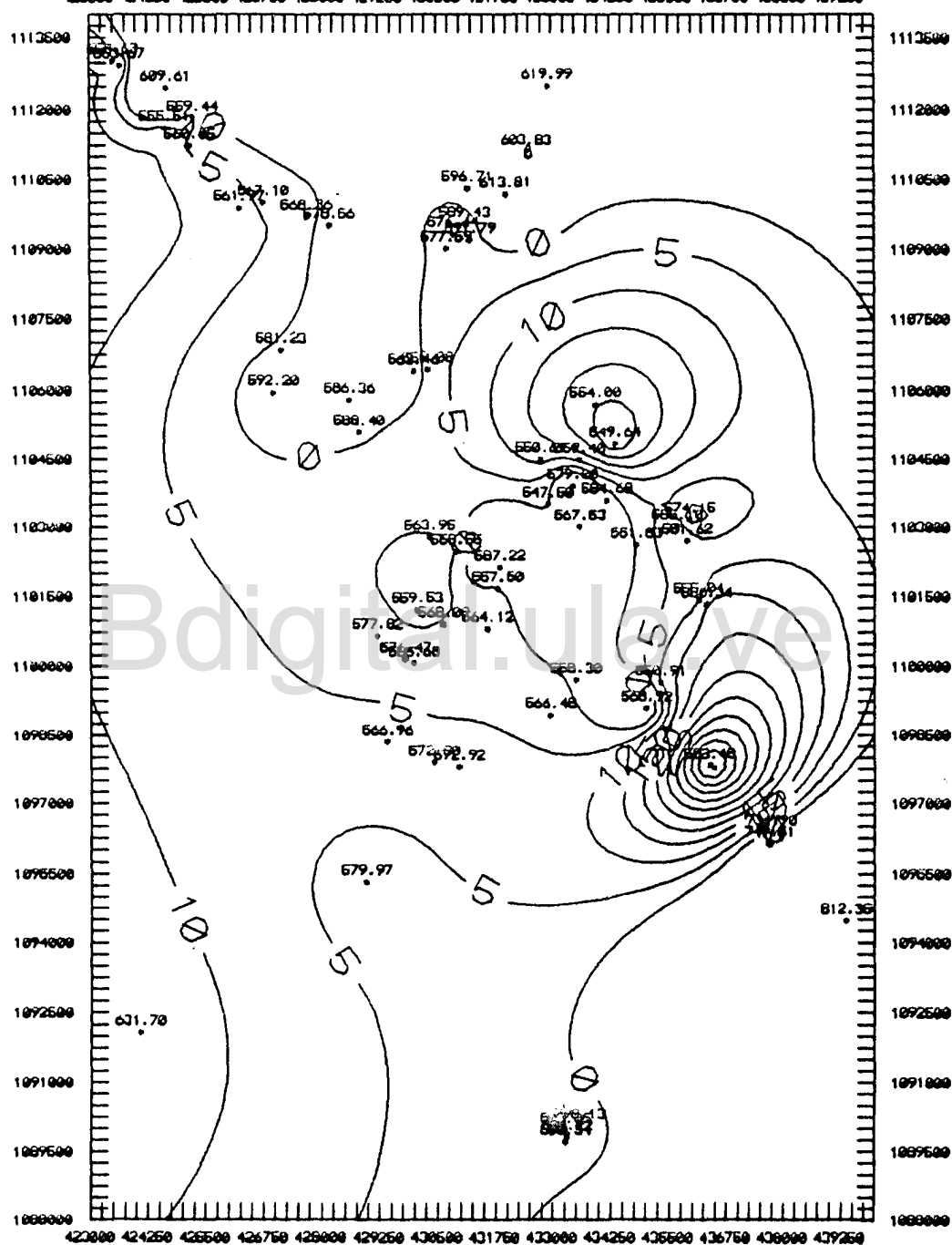


Figura 6. Diferencia de niveles, 1986-1992, acuífero, Valle de Quíbor

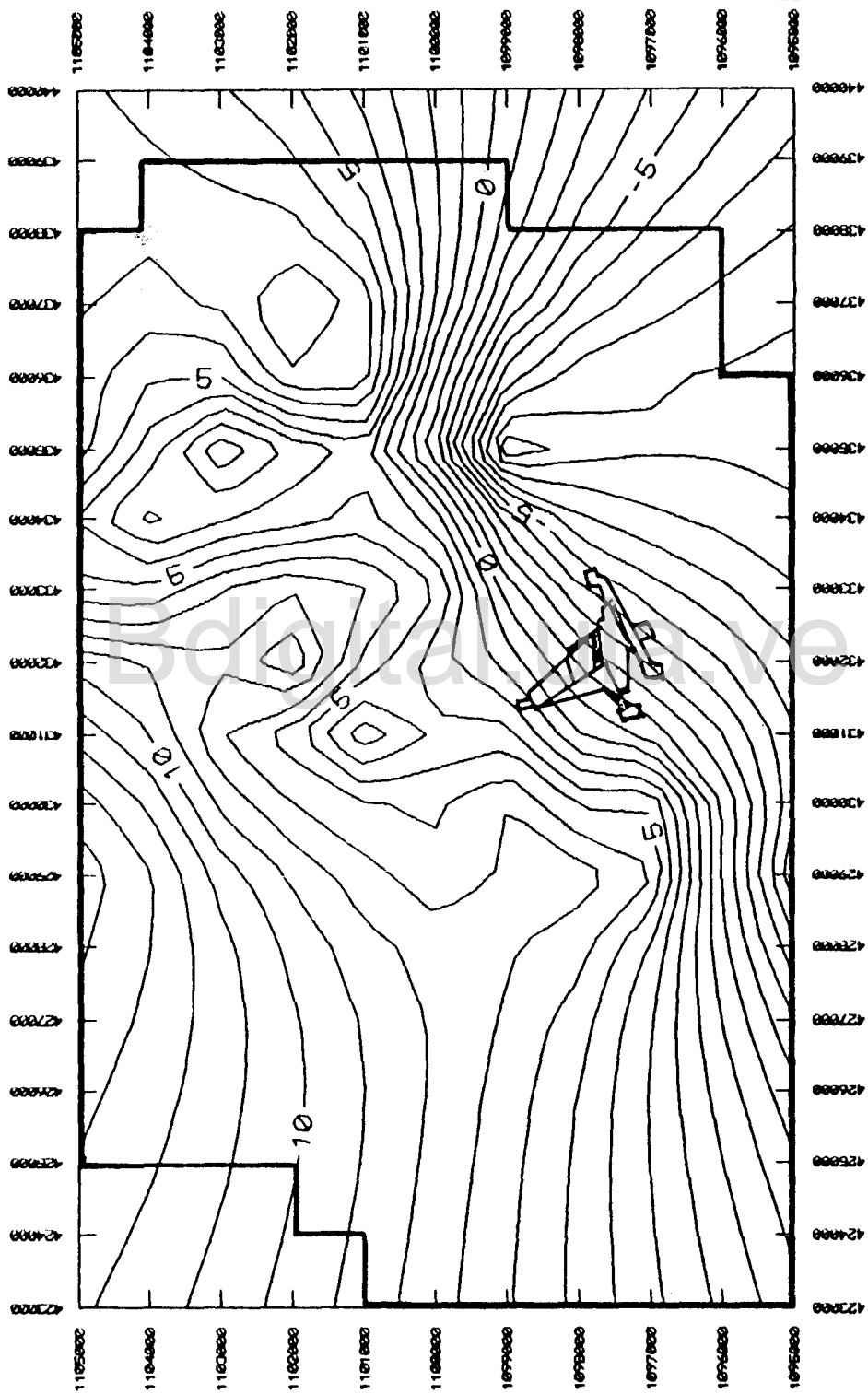


Figura 7. Diferencias de niveles, región central, 1987-1992, Valle de Quíbor.

datos fueron obtenidos del pozo de observación.

Para la prueba de recuperación, la cual tuvo un tiempo de duración de 11 horas, en el pozo de observación se obtuvo una transmisividad (T) igual a $507.7 \text{ m}^2/\text{día}$, a diferencia del pozo de bombeo en el que se obtuvo una $T = 165.2 \text{ m}^2/\text{día}$. Esta diferencia puede estar relacionada a la variación de las profundidades que puede existir entre el pozo de bombeo y el pozo de observación. El comportamiento de esta prueba se puede observar en la Figura 8 y en el Apéndice C Figura C.1 y C.2.

Prueba de Bombeo 2. Esta prueba se realizó en el extremo Sur de Quíbor, en la región de Cuara, hacienda Las Dalias.

Se utilizó como pozo de bombeo el pozo 607049 y el de observación fue el 6070 SN/abandonado, separados a una distancia de 18.92 m, se bombeó a un caudal constante de 13.2 l/s, con una duración de bombeo de 23 horas 4 minutos. El análisis aplicado fue el mismo que en la primera prueba. Se determinó un coeficiente de transmisividad de $T = 125.1 \text{ m}^2/\text{día}$ y un coeficiente de almacenamiento, $S = 0.00293$, característico del acuífero semi-confinado y la relación $r/B = 0.2966$.

Para la prueba de recuperación de 11 horas de duración se determinó una $T = 89.54 \text{ m}^2/\text{día}$ para el pozo de observación y de bombeo se determinó una $T = 99.57 \text{ m}^2/\text{día}$. Observar las Figuras 9 y en el Apéndice C las Figuras C.3 y C.4.

Prueba de Bombeo 3 y 4. Estas pruebas fueron ubicadas en los pozos 607063 y 607073, pertenecientes a las haciendas Quebrada Seca y San Antonio respectivamente, ambas en el centro del valle, al norte de la ciudad de Quíbor.

Los datos obtenidos en estas dos pruebas no fueron analizados en vista de que se comprobó que en ambas el pozo de observación y el de bombeo captan acuíferos diferentes. En ambos casos el pozo de bombeo era mucho más profundo que el pozo de observación.

Caudales de Bombeo

Las pruebas se realizan con el fin de tener un control del caudal de descarga de los pozos en el valle de Quíbor. Mediante estas pruebas se determina el rendimiento por pozo y se calcula el volumen de agua extraída del acuífero para un determinado período.

En la mayoría de los casos se utilizó el método Volumétrico, se utilizaron dos bidones, uno de 108.6 l/s y de 20.6 l/s. En algunos casos se utilizó el método de la escuadra.

QUIBOR1-BOMBEO-OBS

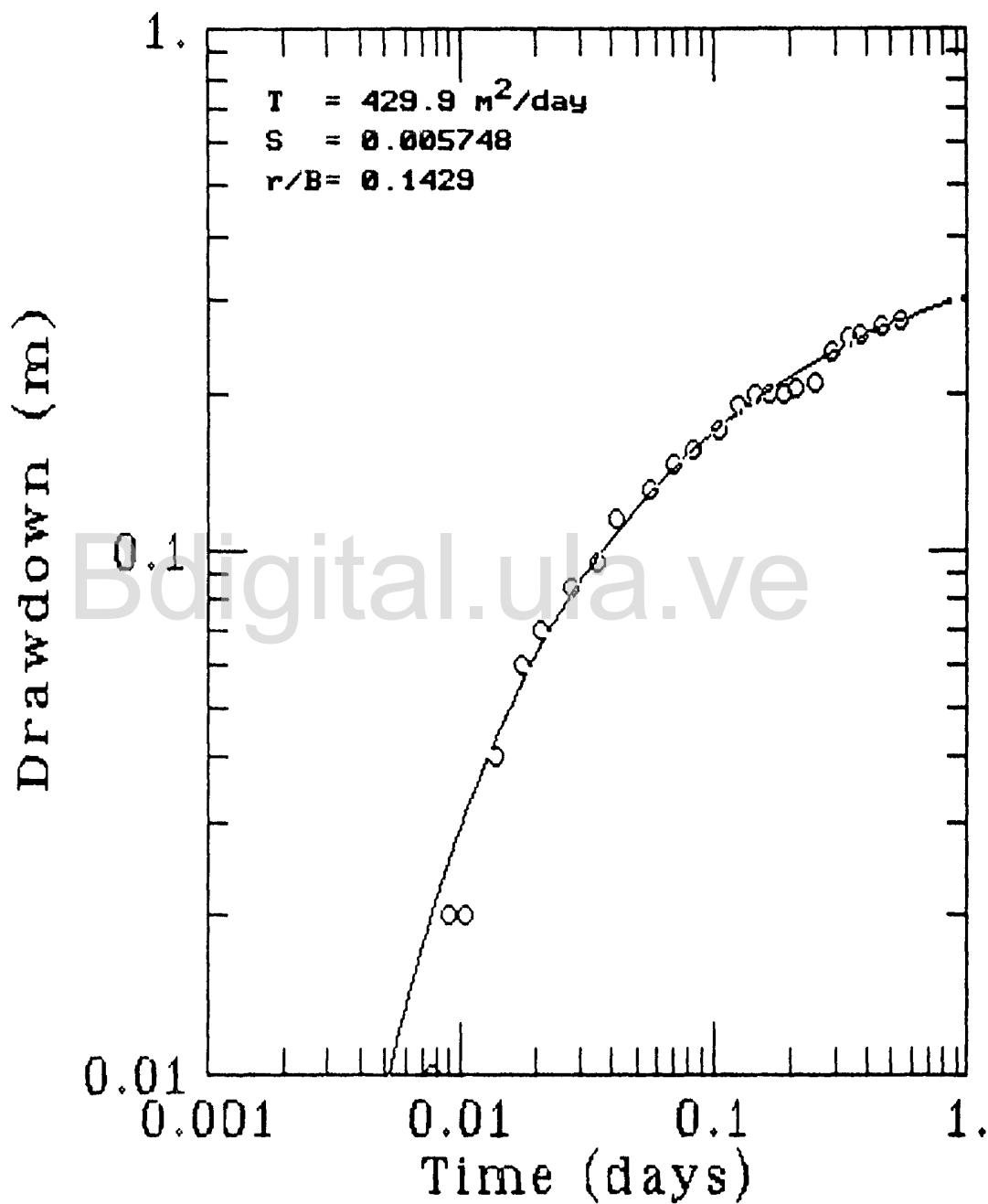


Figura 8. Curva de abatimiento vs tiempo, prueba de bombeo 1 en el norte del Valle de Quíbor, 1992.

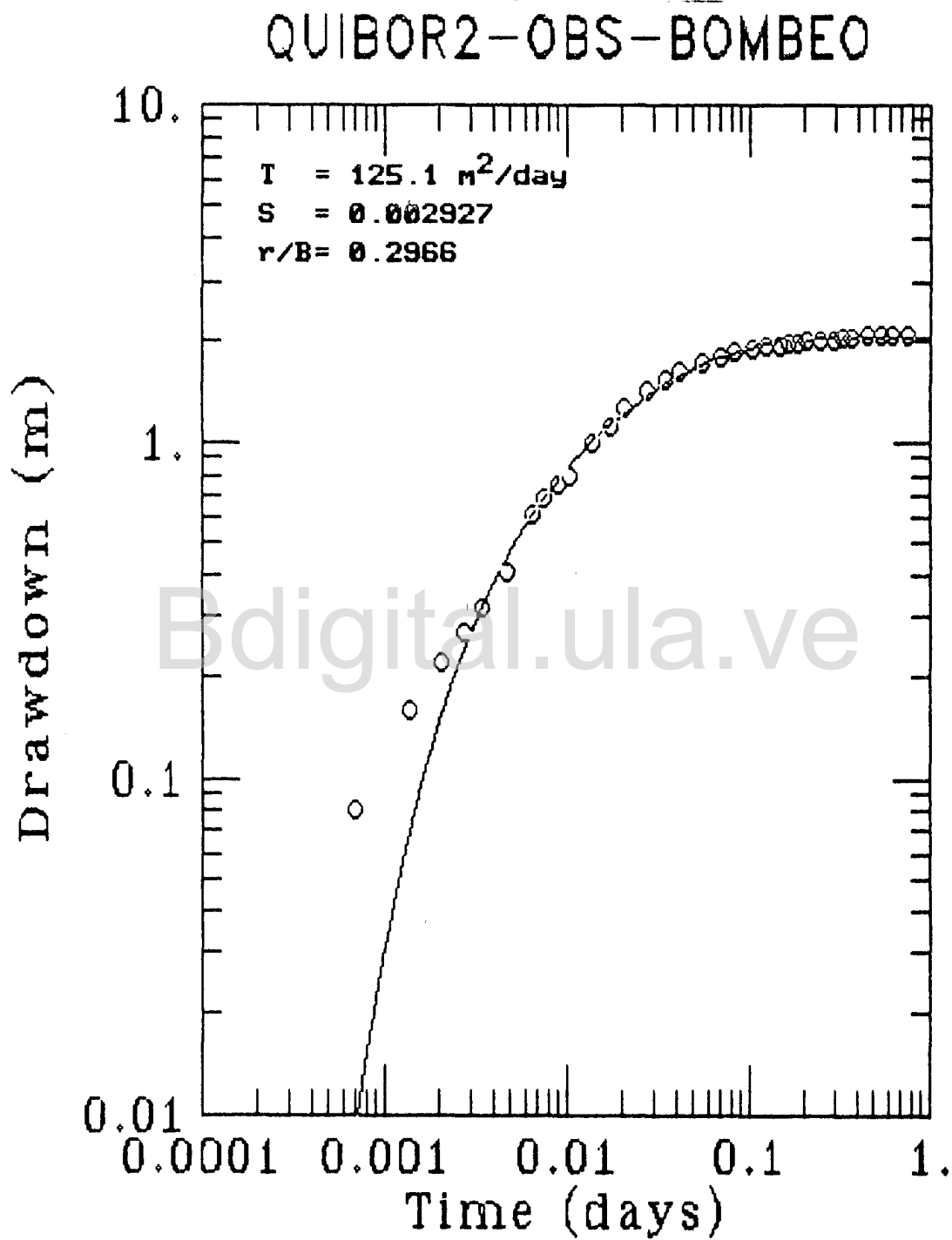


Figura 9. Curva de abatimiento vs tiempo, prueba de bombeo 2 al sur del Valle de Quíbor, 1992.

En la gira de campo se llegaron a aforar en todo el valle de Quíbor 52 pozos, los cuales arrojaron un caudal total de 868.3 l/s, o sea 75019.40 m³/día, dando un promedio por pozo de 16.33 l/s y una producción anual de 27.4×10^6 m³.

En la Tabla 7 se muestran los pozos y sus respectivos caudales de bombeo en el valle de Quíbor, y la Figura 10 muestra la distribución de los caudales en la región central del valle.

En la zona de la quebrada Baragua los caudales varían entre 1.1 y 21.7 l/s para el 92. En las adyacencias de la quebrada Atarigua, los caudales oscilan entre 1.1 y 13.7 l/s. Para el resto del valle, los caudales fluctúan alrededor de 27.5 l/s, para pozos con profundidades de niveles mayores de 80 m.

El promedio obtenido para este período es menor a los promedios presentados por anteriores autores, para los años 1975 (ver Apéndice B), a excepción del año 1980 donde el promedio fue de 15.3 l/s.

Asumiendo que el número de pozos productores en el valle de Quíbor es de 65, se tendrá que para el año 1992 el volumen extraído será de 33.6×10^6 m³. Esta cifra está en el orden de magnitud estimada por Alvarado (1989), por lo que la sobreexplotación de 5.1×10^6 m³ se mantendrá, lo cual es suministrado por las reservas permanentes del acuífero.

Esto indica el continuo agotamiento del acuífero, el cual se irá incrementando en forma progresiva hasta su extinción total con el transcurrir del tiempo.

Calidad de las Aguas-1992

La actividad humana en la superficie de la tierra modifica los mecanismos de recarga del acuífero e introduce nuevos, cambiando la fase, frecuencia y calidad de la recarga del agua subterránea. Esto es especialmente significativo en climas áridos, pero también ocurre en regiones húmedas. El entendimiento de estos mecanismos y el diagnóstico de tales cambios son importantes para la determinación del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas.

Algunas prácticas del uso del suelo y el manejo agrícola ejercen una gran influencia en la calidad de las aguas subterráneas, causando seria contaminación por medio de los nutrientes, pesticidas y en aumento de la salinidad de las aguas subterráneas (Foster y Hirata, 1988).

La calidad del agua de riego varía según el tipo de

Tabla 7. Registros de caudales de los pozos en el Valle de Quíbor, 1992.

No	Identificación del pozo	Q(l/s)	Q(m ³ /día)
1	607024	26.79	2312.06
2	607030	32.00	2764.80
3	607032	21.00	1814.40
4	607035	15.28	1320.19
5	607043	24.77	2140.13
6	607048	13.73	1186.30
7	607049	10.14	876.10
8	607050	3.10	267.84
9	607070	10.67	921.89
10	607074	27.46	2372.54
11	607085	27.46	2372.54
12	607091	7.32	632.45
13	607093	9.27	800.93
14	607097	27.12	2343.17
15	6070100	11.79	1018.87
16	6070103	1.10	95.04
17	6070104	39.45	3408.48
18	6070105	47.17	4075.49
19	6070110	39.69	3429.22
20	607111	23.58	2037.31
21	6070112	13.23	1143.07
22	6070121	34.00	2937.80
23	6070122	17.60	1520.64
24	6070130	15.53	1341.79
25	6070132	15.21	1314.14
26	6070134	10.75	928.80
27	6070 SN/P.Abreo	27.67	2390.69

Tabla 7. Continuación.

No.	Identificación del pozo	Q (k/a)	Q (m ³ /día)
28	6070 SN/Tunal	14.27	1232.93
29	6070 SN/F.Jiménez	34.40	2972.16
30	6070 SN/S.Antonio	27.60	2384.64
31	6070 SN/La Palma	22.77	1967.33
32	6070 SN/S.Antonio	25.00	2160.00
33	6070 SN/92	24.32	2101.25
34	6070 SN/63	27.82	2403.65
35	6070104	10.25	885.60
36	607105	9.11	787.10
37	606106	9.00	777.60
38	607107	32.28	2788.99
39	617010	6.02	520.13
40	617021	21.70	1874.88
41	617037	1.07	92.45
42	617039	1.72	148.61
43	617047	1.14	98.50
44	617103	1.70	146.88
45	617109	4.27	368.93
46	617110	7.19	621.22
47	617111	6.41	553.82
48	617114	8.40	725.76
49	617128	2.50	216.00
50	617129	2.06	177.98
51	617134	12.00	1036.80
52	6171 S/N	2.40	207.36



Figura 10. Distribución de caudales, región central, Valle de Quíbor, 1992.

cantidad de sales disueltas que tienen su origen en la disolución o meteorización de las rocas y suelos, además de la disolución lenta de la caliza, del yeso y de otros minerales (Ayers y Westcat, 1987).

Estos fenómenos están presentes en toda su extensión en el valle de Quibor.

Los minerales que por lo general se encuentran en las aguas, con mayor frecuencia son: el sodio, calcio, magnesio y potasio que con cloruros, sulfatos y bicarbonatos completan tales sales. Si los sólidos disueltos exceden 1000 ppm, esto es, 1000 kg de sales por cada millón de kg de agua, las aguas se califican como salinas (Baldwin y McGuinness, 1966).

Las aguas que contienen una cantidad apreciable de sales de calcio y magnesio se denominan duras.

Según Baldwin y McGuinness las aguas se clasifican en:

Partes por millón

0 a 60	Blanda
61 a 120	Semidura
121 a 180	Dura
más de 180	Muy dura

Los problemas de la calidad del agua para riego, según la FAO (1987) se relacionan con la salinidad, infiltración de agua, toxicidad de iones específicos y con problemas varios.

Salinidad. Las sales del suelo y del agua reducen la disponibilidad del agua para las plantas a tal punto que afectan los rendimientos.

Infiltración de Agua. Contenidos relativamente altos de sodio o bajos de calcio en el suelo y agua reducen la velocidad con que el agua de riego atraviesa la superficie del suelo.

Toxicidad de Iones Específicos. Ciertos iones (Sodio, cloro y boro), contenidos en el suelo o agua, se acumulan en los cultivos en concentraciones suficientemente altas para causar daños y reducir los rendimientos en los cultivos sensibles.

Problemas Varios. Los excesos de nutrientes reducen los rendimientos y la calidad de los cultivos. La corrosión excesiva de los equipos aumenta los costos de mantenimiento y reparaciones.

El agua, para su utilización en el riego, tiene su clasi-

ficación, según varios autores, tomando en cuenta que debe poseer ciertas propiedades importantes, tales como: boro, alcalinidad, relación sodio-calcio y sólidos disueltos.

Clasificación USDA

Toma en cuenta la conductividad eléctrica y la relación de absorción de sodio (RAS) del agua de riego. Según la conductividad eléctrica que da la concentración de sales totales, se tiene:

C₁, agua de baja salinidad. CE a 25°C entre 0-250 $\mu\text{mhos/cm}$

C₂, agua de salinidad media. CE a 25°C entre 251-750 $\mu\text{mhos/cm}$

C₃, agua altamente salina. CE a 25°C entre 751-2250 $\mu\text{mhos/cm}$

C₄, agua muy altamente salina. CE a 25°C > 2250 $\mu\text{mhos/cm}$

Según la RAS, la cual evaluó la potencialidad de crear problemas en el agua de riego por efectos del contenido de sodio, los rangos son los siguientes:

S₁, agua baja en sodio
S₂, agua media en sodio
S₃, agua alta en sodio

Ver trabajo de Pérez Roas, 1993, para las clasificaciones presentadas.

Clasificación de la FAO

Son cuatro las directrices que se realizan para la interpretación de la calidad de las aguas para el riego.

Tipo y concentración de las sales

Las interacciones en la relación agua-suelo-planta gravedad prevista del problema después de un uso del agua a largo plazo.

Opciones de manejo disponible para prevenir, corregir o retrasar el problema. Para la aplicación de esta clasificación es de suma importancia calcular la relación de absorción de sodio, RAS, mediante la ecuación:

donde:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \quad (4.1)$$

donde:

Na, Ca y Mg representan el contenido de sodio, calcio y magnesio en meq/l, respectivamente.

Suárez (1981), citado por Pérez Roas y Bandes (1993) proponen, en función a las características de los suelos del valle de Quíbor, la siguiente ecuación.

$$RAS^o = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca^o + Mg}{2}}} \quad (4.2)$$

donde:

RAS^o es la relación de absorción de sodio ajustado
 Na y Mg son los contenidos de sodio y magnesio en me/l y
 Ca^o es el valor de calcio corregido por la salinidad
 del agua, contenido de bicarbonato y carbonato con
 relación al calcio y por la presión de CO₂ en los
 primeros milímetros de la superficie del suelo
 (P = 0,0007 atmósfera)

Clasificación de Pla y Dappo

Esta clasificación se basa en los valores de requerimiento de lixiviación, para el control de sales totales, sodio y otros iones.

En cuanto a los límites permisibles de sales totales en el extracto de saturación, los autores presentan la siguiente tabla:

Tabla 8. Límites permisibles de sales totales en el extracto de saturación del suelo

Cultivos	STES (máximo) (meq/l)
Sensibles	40
Tolerantes	80
Muy tolerantes	160

En cuanto a las propiedades hidrológicas de los suelos, se ha hecho una clasificación basada en la permeabilidad del perfil, definida por la tasa de infiltración en suelos desnudos.

De acuerdo a las características físicas y mineralógicas asociadas con las propiedades hidrológicas antes enunciadas se presenta la Tabla 10.

De acuerdo a estas clasificaciones se analizaron los resultados de la calidad actual del agua subterránea del acuífero del valle de Quíbor, 1992.

El número de pozos muestreados en este período fue de 59 pozos, los cuales abarcan en su totalidad el área del valle de Quíbor. Los resultados reflejan lo siguiente:

La concentración salina varía entre un mínimo de 0.86 dS/m de un pozo ubicado hacia la vía el Tocuyo, sector suroeste de la ciudad de Quíbor a 5.46 dS/m de un pozo ubicado en el extremo noroeste.

Los pozos ubicados al oeste de Quíbor, cerca de la hacienda El Tunal, presentan concentraciones que varían entre 1.06 a 1.76 dS/m.

Los pozos de las cercanías de la quebrada Las Raíces presentan valores que oscilan entre 2.5 dS/m. Más sin embargo, el pozo 617109 registró en su análisis un valor de 1.46 dS/m.

En las adyacencias de la quebrada Baragua, la concentración salina oscila entre 1.01 y 1.96 dS/m.

Tabla 9. Permeabilidad y eficiencia de lixiviación, basada en tasa de infiltración.

Permeabilidad	Inf.básica (cm/h)	Textura	Efic. de Lixiviación (F) %
Alta	> 5	Arenosa, franco-arenosa, francos a franco arcillosos.	0,6
Mediano	1-5	Franco-arenosas finos a franco y los francos arcillosos a arcillosos.	0,5
Baja	0,1-1	Franco limosos y francos arcillosos	0,4
Muy baja	< 0.1	Franco arcilloso a arcillosos	0.3

Tabla 10. Límites del RAS en el extracto de saturación en relación a la permeabilidad

Permeabilidad	RAS		
	Bajo	Mediano	Alto
Alta	15	20	30
Mediano	10	15	20
Baja y muy baja	5	10	15

En las adyacencias de la quebrada Baragua, la concentración salina oscila entre 1.01 y 1.96 dS/m.

Cerca de la quebrada Palo Negro, noroeste de Quíbor, la salinidad de las aguas varía entre 2.56 dS/m a 2.71 dS/m.

La salinidad en las aproximaciones de la quebrada Atarigua, sector Cuara, fluctúa entre 1.06 a 1.51 dS/m.

Por el contrario, en los pozos localizados en el cauce y en las cercanías de la quebrada Las Guardias la concentración salina fluctúa entre 2.56 a 3.51 dS/m.

Los pozos localizados en el centro del valle presentan salinidades que varían entre 1.16 a 2.61 dS/m.

Entre las quebradas Los Barrancos y Atarigua la concentración salina de estos pozos se registraron entre 1.06 a 1.48 dS/m. Y la concentración entre las quebradas Los Barrancos y Las Guardias tienen salinidades de 0.93 a 2.56 dS/m hacia el centro del valle.

Tipo químico de las aguas, 1992

De los 59 pozos muestreados, sólo cuatro (4) se comportan como bicarbonatado cálcico confirmando así el deterioro del acuífero, en vista de que se está explotando a un nivel mayor de profundidad, y el resto como sulfatados cálcico. En la Tabla 11, se presentan los análisis de salinidad y el tipo químico de agua de los pozos muestreados para este período.

Clasificación de las Aguas-Acuífero de Quíbor 1992

En base a las clasificaciones antes descritas se tienen los siguientes resultados (Pérez Roas y Bandes, 1993).

De acuerdo a los parámetros de la USDA (1954), citado por Pérez Roas y Bandes (1993), se tiene que 44 pozos son C_2S_1 , 13 son C_4S_1 y 2 son C_4S_2 . Por lo que el 75% de los pozos son altamente salinos sin problema potencial de sodio. El 22% son muy altos en sales sin problema de sodio y 3% muy altos en sales con problemas medianos de sodio.

Con respecto a la FAO 1987, citado por Ayers y Westcot (1987), existen 51 pozos que tienen restricciones de ligera a moderada; 8 pozos presentan restricción severa.

Tabla 11. Análisis de Salinidad y Tipo Químico del agua en el Valle de Quibor, 1992. Informe de Laboratorio.

Identificación del pozo	pH	CE X 10 ⁶	Cationes (meq/l)				Aniones (meq/l)			RAS	Clasif.
			Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	CL	SO ₄		
607018	7,3	1255	10,55	1,46	0,56	0,01	4,24	0,46	7,80	0,2	C ₃ S ₁
607024	7,1	2005	19,98	3,14	2,80	0,01	4,46	3,46	18,02	0,8	C ₄ S ₁
607030	7,3	1535	12,24	1,91	1,19	0,01	4,21	1,02	9,99	0,4	C ₃ S ₁
607032	7,4	1225	9,99	1,68	0,56	0,01	4,63	0,47	7,06	0,2	C ₃ S ₁
607034	7,5	1155	10,66	0,45	0,59	0,01	5,30	0,39	6,13	0,3	C ₃ S ₁
607035	6,9	1305	10,66	1,35	0,92	0,01	4,97	0,73	7,38	0,4	C ₃ S ₁
607039	7,1	1555	10,89	0,67	3,69	0,07	7,85	1,70	5,71	1,5	C ₃ S ₁
607043	7,1	955	7,86	1,12	0,56	0,01	3,96	0,40	5,21	0,3	C ₃ S ₁
607048	7,3	1355	10,21	2,81	0,59	0,01	4,53	0,57	8,53	0,2	C ₃ S ₁
607049	7,3	1055	9,43	0,56	0,52	0,01	4,40	0,44	5,71	0,2	C ₃ S ₁
607050	6,9	1505	11,90	2,58	0,67	0,01	6,68	0,56	7,90	0,2	C ₃ S ₁
607063	7,2	1185	10,78	0,45	0,48	0,01	4,20	0,49	7,00	0,2	C ₃ S ₁
607070	7,0	1195	10,21	1,23	0,45	0,01	4,51	0,34	7,17	0,2	C ₃ S ₁
607073	7,6	1155	9,88	0,67	0,70	0,01	3,67	0,74	6,86	0,3	C ₃ S ₁
607074	6,9	1355	10,89	1,91	0,81	0,01	4,27	0,99	8,36	0,3	C ₃ S ₁
607085	7,0	1200	9,99	1,35	0,74	0,01	4,87	0,53	6,54	0,3	C ₃ S ₁
607087	6,9	1755	14,93	1,57	0,70	0,01	6,75	1,40	9,05	0,2	C ₃ S ₁
607091	7,4	925	7,63	1,12	0,45	0,01	3,69	0,34	5,14	0,2	C ₃ S ₁
607093	7,3	1705	13,24	2,69	1,19	0,07	2,72	1,47	13,02	0,4	C ₃ S ₁
607097	7,6	1155	9,43	1,35	0,41	0,01	4,14	0,37	6,69	0,2	C ₃ S ₁
6070100	6,9	1655	13,47	1,91	1,19	0,01	4,83	0,71	11,01	0,4	C ₃ S ₁
6070102	6,9	1355	11,00	1,80	0,67	0,01	5,67	0,52	7,29	0,3	C ₃ S ₁
6070104	7,0	1255	9,32	1,35	1,43	0,01	5,18	1,17	6,02	0,6	C ₃ S ₁
6070105	7,3	1105	9,20	1,23	0,59	0,05	4,75	0,44	5,87	0,3	C ₃ S ₁
6070110	7,2	1475	12,35	1,57	0,70	0,01	5,81	0,80	7,80	0,3	C ₃ S ₁
6070111	6,9	1155	9,54	1,23	0,63	0,01	4,18	0,51	6,75	0,3	C ₃ S ₁
6070112	7,2	1055	7,63	1,57	1,51	0,09	3,81	0,89	5,92	0,7	C ₃ S ₁
6070114	6,9	2555	21,33	1,12	3,05	0,09	4,85	1,88	18,85	0,9	C ₄ S ₁
6070121	7,3	1655	12,80	2,58	0,92	0,01	3,82	0,71	11,76	0,3	C ₃ S ₁

Tabla 11. Análisis de Salinidad y Tipo Químico del agua en el Valle de Quibor, 1992. Informe de Laboratorio.

Identificación del pozo	pH	CE X 10 ⁶	Cationes (meq/l)				Aniones (meq/l)			RAS	Clasif.
			Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	CL	SO ₄		
6070122	7,4	1155	9,09	1,23	1,00	0,03	4,59	0,92	5,87	0,4	C ₃ S ₁
6070123	7,0	3405	24,13	7,30	2,64	0,01	6,85	1,01	26,16	0,7	C ₄ S ₁
6070130	7,0	1055	8,53	1,12	0,45	0,01	4,04	0,32	5,71	0,2	C ₃ S ₁
6070132	7,3	1555	12,35	1,68	1,43	0,01	6,11	0,76	8,59	0,5	C ₃ S ₁
607034	6,8	1505	12,57	1,57	0,96	0,01	4,42	0,65	10,01	0,4	C ₃ S ₁
6070-SN	7,3	1305	10,21	1,68	0,89	0,01	5,10	0,68	6,88	0,4	C ₃ S ₁
6070-SN	7,1	1425	12,34	1,22	0,89	0,01	4,52	0,64	0,26	0,3	C ₃ S ₁
6070-SN	7,1	905	8,08	0,45	0,41	0,01	3,84	0,45	4,66	0,2	C ₃ S ₁
6070-SN	6,9	1300	11,45	0,67	1,00	0,01	4,64	0,68	7,82	0,4	C ₃ S ₁
607104	7,3	1055	8,98	1,23	0,74	0,03	4,19	1,82	10,97	0,3	C ₃ S ₁
607105	6,9	1355	10,55	1,91	0,74	0,13	4,54	2,47	6,31	0,3	C ₃ S ₁
607106	7,1	855	6,85	1,22	0,41	0,03	4,75	0,67	3,08	0,2	C ₃ S ₁
607107	7,0	1155	9,20	1,57	0,59	0,01	4,42	0,79	6,17	0,3	C ₃ S ₁
607010	7,1	2555	19,53	3,14	2,80	0,01	4,42	4,93	16,14	0,8	C ₄ S ₁
607014	6,8	1855	11,67	4,40	2,56	0,61	8,10	1,72	8,90	0,9	C ₃ S ₁
607021	7,2	2555	21,78	1,57	2,32	0,05	4,36	1,42	19,90	0,7	C ₄ S ₁
617037	7,3	1675	10,10	3,59	3,21	0,01	7,57	1,69	7,65	1,2	C ₃ S ₁
617039	6,8	1005	7,97	1,23	0,63	0,01	4,26	0,42	5,16	0,03	C ₃ S ₁
617047	7,1	1955	13,36	2,92	3,53	0,01	8,75	2,61	8,46	1,2	C ₃ S ₁
617103	7,2	3005	22,23	0,67	7,04	0,01	5,41	3,46	20,94	2,1	C ₄ S ₁
617109	7,0	1455	12,24	1,57	0,78	0,01	4,29	0,59	9,72	0,2	C ₃ S ₁
617110	7,3	3355	14,03	7,52	11,86	0,01	9,34	3,76	20,73	3,6	C ₄ S ₁
617111	6,7	5455	30,53	7,07	16,72	0,01	5,87	9,65	38,90	3,9	C ₄ S ₁
617114	7,6	2705	21,21	2,92	2,97	0,01	4,89	1,82	20,32	0,9	C ₄ S ₁
617128	6,9	3005	22,79	3,26	4,02	0,05	5,02	2,73	22,40	1,1	C ₄ S ₁
617129	6,9	2555	20,54	1,35	3,61	0,05	6,28	1,44	17,81	1,1	C ₄ S ₁
617134	7,3	1675	10,10	3,59	3,21	0,01	7,57	1,69	7,65	1,2	C ₃ S ₁
6171-SN	6,9	2855	22,00	0,67	5,57	0,01	5,15	2,68	20,32	1,7	C ₄ S ₁
6171-SN	7,4	3005	25,46	3,03	3,69	0,07	6,17	1,97	21,99	1,0	C ₄ S ₁
Aljibe-SN	7,1	3505	24,58	7,41	2,89	0,01	6,59	1,16	27,21	0,7	C ₄ S ₁

Según la clasificación de Pla y Dappo (1974). En relación a la salinidad, todos son de muy mala calidad para cultivos sensibles. Para cultivos tolerantes, 18 pozos son de muy buena calidad; 21 son de regular calidad; 8 son de mala calidad y 12 pozos son de muy mala calidad.

Para cultivos muy tolerantes, 40 pozos son de buena calidad, 12 pozos son de regular calidad, 3 resultaron de mala calidad y 4 de muy mala calidad.

Referente al RAS, de 5 y 10 se obtuvo el siguiente resultado.

Tabla 12. Clasificación de la calidad del agua según el RAS, 1992.

RAS	Buena Calidad	Regular Calidad	Mala Calidad	Muy mala
5	6	28	7	18
10	28	12	9	9

En función al tipo de sales en el agua, de la comparación de 34 pozos analizados en 1986-1992, se tiene que 10 de los 11 pozos reportados por Alvarado (1989), como bicarbonatados cálcicos, 6 pozos pasaron a sulfatados cálcicos. Solamente un pozo permaneció igual como bicarbonatado cálcico en 1986 y 1992. El resto de los pozos se clasifican como sulfatados cálcicos. Ver trabajo de Pérez Roas y Banderes, (1993).

Determinación del Gradiente Hidráulico

El coeficiente hidráulico, o pérdida de carga por unidad de longitud, es un importante parámetro en la circulación de las aguas subterráneas, Castany (1971).

La determinación del gradiente hidráulico viene dada por la ecuación:

$$i = \frac{H_1 - H_2}{L} \quad (4.3)$$

donde:

H_1 y H_2 representan los niveles piezométricos determinados por las curvas isopiezas y L es la distancia entre los dos puntos, tomados como referencia.

Para este período se tiene que en el sector norte en la serie de pozos 6171, el gradiente está entre valores de 9.3×10^{-3} y 8.4×10^{-3} , 7×10^{-3} y hacia el norte en la serie de pozos 6170 el gradiente registra valores de 2.5×10^{-3} , 2.1×10^{-3} , 1.1×10^{-3} , 2.3×10^{-3} , 3×10^{-3} ; hacia el centro del valle, norte de la ciudad de Quíbor, los valores están por el orden de 5.7×10^{-3} , 5.4×10^{-3} , 4×10^{-3} , 1.8×10^{-3} , 8.3×10^{-3} . Y la dirección del flujo, en su totalidad está dirigida hacia el centro del valle, formando un cono de depresión hacia el noreste de la unidad de Quíbor.

Procesamiento de la Información Existente

Una vez obtenida la información necesaria, se procedió a la determinación de los parámetros hidrogeológicos del acuífero, los cuales al inicio del capítulo se dieron a conocer, mediante las distintas pruebas de bombeos que anteriormente otros investigadores realizaron, más las pruebas realizadas para este período. En los años en los que no se contó con las pruebas de bombeo los valores se obtuvieron mediante ecuaciones matemáticas, tomando en cuenta el espesor saturado, para los distintos períodos y el valor del coeficiente de transmisibilidad, para el cual se sectorizó el área del valle. Estos valores se presentan en las entradas para la calibración del modelo matemático, el cual se desarrollará en el siguiente capítulo.

Como magnitud de recarga, se ha tomado la calculada por Alvarado (1989); en función del volumen de agua de escorrentía, proveniente de la zona montañosa y que se infiltra al llegar a la planicie aluvional para recargar a los acuíferos.

La recarga estimada es del orden de los $14 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$, dando como promedio diario una entrada de $38356.16 \text{ m}^3/\text{día}$.

CAPITULO V

CONCEPTUALIZACION E IMPORTANCIA DE LOS MODELOS MATEMATICOS EN AGUAS SUBTERRANEAS

Modelo GW

Modelos de Simulación

Definición de Modelo de un Acuífero

Anteriormente, en el Capítulo II, en la sección de Modelos, se hizo referencia al tema. Más, sin embargo, se pueden agregar ciertos conceptos y definiciones en este capítulo.

Se entiende por modelo de un acuífero el proceso de evolución y producción en el cual está vinculada toda información relacionada con el sistema de agua subterránea de la zona o área de estudio, en la que se investiga o se chequea las proposiciones postuladas a través de la explotación. El modelo cuantifica varios parámetros y procesos futuros, modificando las condiciones iniciales de recarga y descarga.

El modelaje del agua subterránea es una metodología para el análisis de ciertos mecanismos y controles del sistema de agua subterránea y para la evaluación, acción y diseños que pueden afectar el sistema como tal (Karanjac, 1992).

Prerrequisito para Construir un Modelo de un Acuífero

- Poseer un conocimiento básico de la hidrología del área
- Determinar los parámetros básicos hidrogeológicos, tales como la porosidad efectiva, transmisibilidad, coeficiente de almacenamiento y la conductividad hidráulica.
- Conocimiento de evolución histórica de los niveles de agua.
- Ubicación de los pozos y sus volúmenes de bombeo.
- Condiciones de fronteras, parámetros de entradas de hidrología, tales como meteorología, como lluvia diaria, flujo en ríos, fronteras hidráulicas, y
- Las leyes que rigen el movimiento del agua.

Existen varias técnicas para encontrar una solución al movimiento del agua dentro del acuífero. Los diferentes tipos de

modelos difieren, básicamente en la forma de describir el sistema y en la forma de resolver la ecuación diferencial que representa al sistema (Custodio y Llamas, 1976).

Tipos de Modelos

Modelos Análogos. Se basan en aproximaciones de diferencias finitas de las ecuaciones de flujo. Consiste en una red de resistencias y condensadores que pueden ser considerados análogos a la transmisividad, y almacenamiento del acuífero. Los modelos análogos son más realísticos y versátiles que las soluciones analíticas. Resuelven la ecuación diferencial de una forma indirecta.

Modelos Digitales. Son técnicas que permiten reemplazar las ecuaciones del flujo por un sistema de ecuaciones lineales cuyas variables son estimadas en un número finitos de puntos. Este método puede utilizar una aproximación por diferencias finitas al sustituir las derivadas por variaciones lineales de las variables en un intervalo finito. También puede ser usado el método de elementos finitos que consiste en la formulación del problema, basándose en la teoría de cálculo variacional.

Modelos Analógicos. Son técnicas mediante las cuales se reemplazan las ecuaciones diferenciales por un sistema mixto de ecuaciones continuas con respecto a una variable, pero discretas respecto a las demás. La solución del sistema de ecuaciones se realiza en una computadora analógica que permite la integración en forma continua con respecto a las variables no discretizadas.

Modelos Híbridos. Son similares a los modelos analógicos con la diferencia de que en la solución del sistema mixto de ecuaciones se utiliza la combinación de una computadora digital y de una analógica que opera "en paralelo". La solución puede llegar a ser muy eficiente si la computadora híbrida cuenta con suficiente capacidad para asignar a la parte analógica las operaciones tales como integración, generación de funciones y multiplicación, mientras que la digital hace las veces de supervisor del flujo de operación y realiza las operaciones lógicas y de almacenamiento.

Proceso de Modelación

Modelo Conceptual

Cualquier modelo es una simplificación de una situación real que sólo se conoce puntualmente a través de un número limitado de datos (Custodio y Llamas, 1976).

La validez de la simplificación depende del objetivo que se pretende conseguir con el modelo.

La primera fase consiste en compilar toda la información geológica e hidrológica existente en la zona que se va a estudiar. Si los datos no existen o son escasos es necesario realizar trabajos de campo, ya que toda esta información compilada es usada para desarrollar el modelo conceptual del sistema real con todos sus componentes de entrada y salida (Rodríguez, 1986).

Si al final los resultados son coherentes, se pasa a la etapa de comparar los resultados con los datos históricos, hasta lograr una aproximación razonable. La Figura 11 muestra los pasos a seguir en el proceso de modelación. En el proceso de modelación el cual cuenta con tres fases bien definidas, la fase de identificación, de verificación del modelo y la fase de simulación. A continuación se describen cada una de ellas.

Identificación

Si se ha verificado que los resultados son coherentes con los datos reales, se procede a la calibración del modelo. Esto significa que el modelo debe ser capaz de reproducir fielmente el comportamiento pasado de los niveles de agua en función de los registros históricos conocidos. El proceso de calibración se inicia seleccionando un período para el cual los registros históricos están disponibles. Estos registros, conjuntamente con las características hidrológicas, son usadas para determinar los niveles de agua en cada nodo o celda. Estos resultados son entonces comparados con los registros históricos. Esta comparación puede revelar una diferencia entre ambos. Obviamente puede haberse cometido errores en la interpretación de la información hidrogeológica o también puede ser que los registros históricos no sean totalmente confiables, como pasa en muchos casos. En este caso se corrigen los parámetros que sean necesarios, se repite una nueva corrida al modelo para determinar nuevos valores de niveles de agua; este proceso se repite hasta tener un margen de error aceptable.

Verificación del Modelo

Esta fase se realiza al disponer de un registro de n años de datos de entrada y salida del modelo, es posible utilizar sólo k años en la operación de calibración, dejando $(n-k)$ años para la operación de verificación del modelo. Si la calibración se hace con la totalidad de los registros disponibles, la operación de verificación queda eliminada.

En la verificación del modelo se procede como sigue:

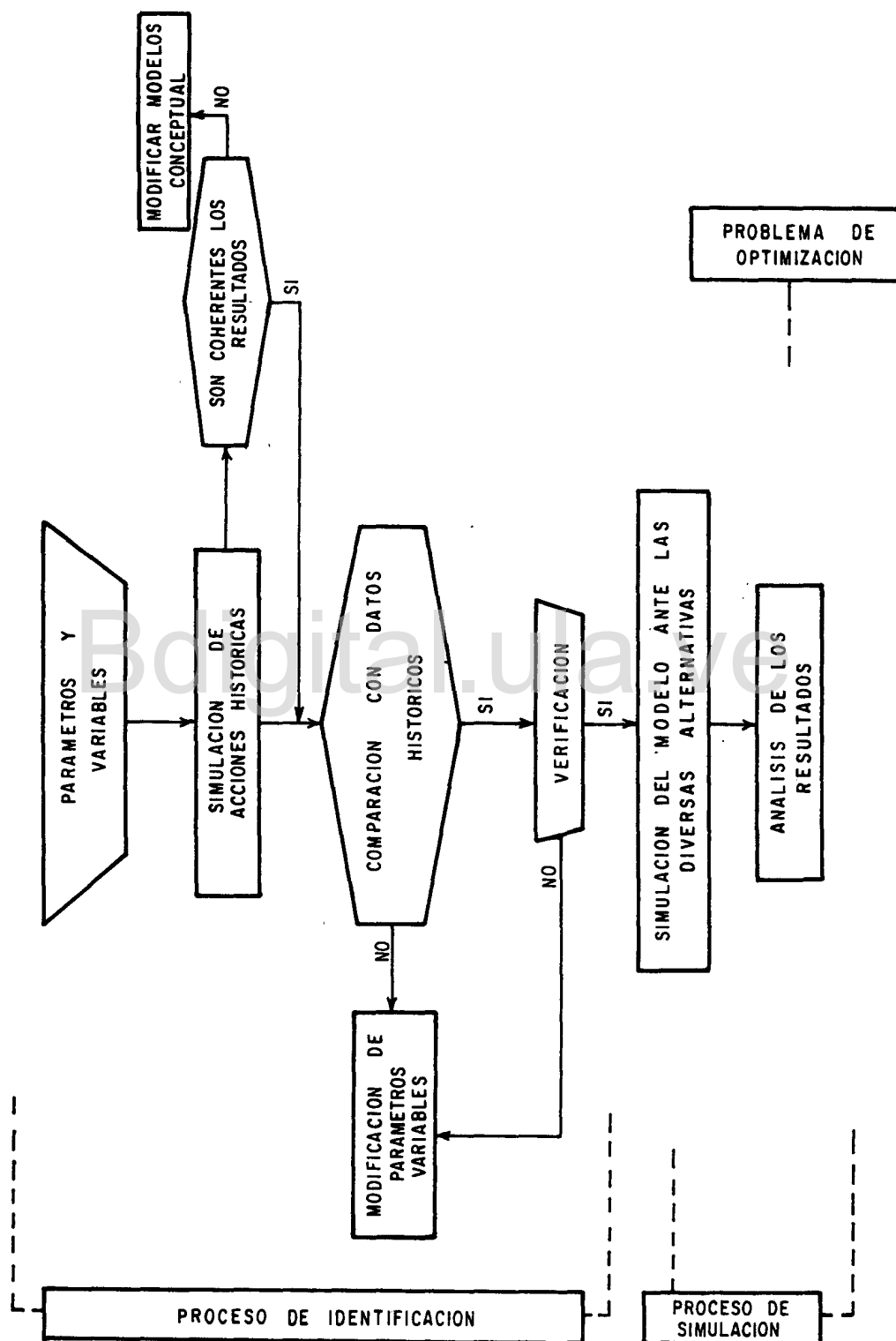


Figura 11.- Pasos a seguir en el proceso de modelación.

- Se realiza la calibración del modelo con K años de registros

- Con los parámetros obtenidos y con los datos de entrada disponibles, se calculan las variables de salida mediante el modelo para los $(n-K)$ años restantes.

- Se comparan los valores calculados y observados de los $(n-K)$ años. Si los valores calculados reproducen satisfactoriamente los observados, se considera el modelo verificado, de lo contrario se vuelve a la operación de calibración y se determina otro conjunto de parámetros, repitiéndose el procedimiento hasta que los parámetros determinados en base a los k años de registros permitan reproducir satisfactoriamente los restantes $(n-K)$ años de registros.

Simulación

Terminada la fase de verificación con la precisión requerida, se puede hablar del modelo del acuífero estudiado. Así el modelo de un acuífero es el conjunto formado por los datos geométricos e hidrogeológicos ajustados y el sistema de programas que realiza los cálculos. Los datos de bombeo y recarga son acciones exteriores al mismo. Su valor cambia para cada hipótesis de explotación.

Mediante la simulación es posible predecir la evolución futura del acuífero, estudiando diferentes políticas de explotación.

Planeamiento General de los Modelos Matemáticos de Acuíferos

Generalidades

Como se ha visto anteriormente, los parámetros a conocer al modelar un acuífero son la evolución de los niveles y las velocidades de flujo en un conjunto de puntos representativos del mismo. Para modelar un acuífero se precisarán las siguientes etapas (Alvarez et al, 1976).

- Realización de una hipótesis de descripción del medio continuo constituido por el acuífero mediante un número finito de elementos que lo representan adecuadamente.

- Definición de un procedimiento matemático de descripción de la Ley que regula el funcionamiento del acuífero.

- Apoyándose en las dos hipótesis anteriores, se escoge un

proceso numérico de cálculo que permita obtener los valores de los parámetros de comportamiento a lo largo del tiempo para unas acciones exteriores dadas. La calidad de la modelación depende del ajuste de la descripción matemática y de la eficiencia de los métodos matemáticos de resolución.

Ecuación del Flujo en el Acuífero

La ecuación diferencial que gobierna el movimiento bidimensional no permanente del flujo de agua subterránea en un acuífero artesiano, no homogéneo e isotrópico, es:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T \frac{\partial h}{\partial y} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} + Q \quad (5.1)$$

donde:

T es la transmisividad del acuífero, m²/día
h es la carga, m
t es el tiempo
S es el coeficiente de almacenamiento del acuífero
Q es el caudal por unidad de área
x,y son las coordenadas rectangulares

Para acuíferos no confinados la ecuación diferencial se puede escribir como:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{Kx}{2} \frac{\partial h^2}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \frac{Ky}{2} \frac{\partial h^2}{\partial y} \right\} = S \frac{\partial h}{\partial t} + Q(x, y, t) \quad (5.2)$$

donde:

H es la profundidad del flujo, m
Kx, Ky son las conductividades hidráulicas en las direcciones x, y
S es la porosidad efectiva
Q es el flujo entrante o saliente del acuífero

En caso de que el modelo de un acuífero confinado sea equidistante (celdas cuadradas), la ecuación diferencial puede ser escrita como:

$$T_{i-1,j,2} (h_{i-1,2} - h_{i,j}) + T_{i,j,2} (h_{i+1,j} - h_{i,j}) + T_{i,j,1} (h_{i,j+1} - h_{i,j}) + T_{i,j-1,1} (h_{i,j-1} - h_{i,j}) = (S \Delta x^2 / \Delta t) (h_{i,j} - h_{\phi i,j}) - Q_n + Q_{i,j} \quad (5.3)$$

Métodos de Solución de los Modelos matemáticos

Método de Diferencias Finitas

El método de diferencias finitas es una técnica que permite resolver las ecuaciones diferenciales del flujo subterráneo, aproximando las derivadas en cada punto por las variaciones de estas variables en un intervalo finito. Así, las ecuaciones continuas son sustituidas por un conjunto de ecuaciones lineales, cuya solución permite obtener los valores de la carga en un número finito de puntos.

Estas aproximaciones se fundamentan en el desarrollo de una función en serie de Taylor (Amisial y Jégat, 1976).

Sea una función $h(x)$, se puede escribir:

$$h(X+\Delta x) = h(x) + \Delta x \frac{dh}{dx} + \frac{(\Delta x)^2}{2!} \frac{d^2h}{dx^2} + \dots + \frac{(\Delta x)^n}{n!} \frac{d^nh}{dx^n} \quad (5.4)$$

truncando a partir del segundo término y ordenando se tiene:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{h(X + \Delta X) - h(x)}{\Delta X} \quad \text{o} \quad \frac{dh}{dx} = \frac{h_{(i+1)} - h_i}{\Delta X} \quad (5.5)$$

La ecuación 5.5 es la aproximación de las diferencias finitas hacia adelante. De la misma manera, se puede escribir:

$$h(X-\Delta X) = h(x) - \Delta X \frac{dh}{dx} + \frac{(\Delta X)^2}{2!} \frac{d^2h}{dx^2} + \dots + (-1)^n \frac{(\Delta X)^n}{n!} \frac{d^nh}{dx^n} + \dots \quad (5.6)$$

truncando a partir del segundo término y ordenando se tiene:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{h(x) - h(x-\Delta X)}{\Delta X} \quad \text{o} \quad \frac{dh}{dx} = \frac{h_i - h_{(i-1)}}{\Delta X} \quad (5.7)$$

La ecuación (5.7) es la aproximación de las diferencias finitas hacia atrás.

Restando la ecuación (5.4) de la (5.6) se tiene:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{h(X+\Delta X) - h(x-\Delta X)}{2\Delta X} \quad (5.8)$$

La ecuación (5.8) es la aproximación de diferencias finitas central.

Igualmente la aproximación para la derivada de tiempo es expresada como:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{h(t+\Delta t) - h(t)}{\Delta t} \quad (5.9)$$

La aproximación de la segunda derivada se obtiene sumando las ecuaciones (5.4) y (5.6).

$$\frac{d^2h}{dx^2} = \frac{h(X+\Delta X) - 2h(x) + h(x-\Delta X)}{\Delta X^2} \text{ o } \frac{d^2h}{dx^2} = \frac{h_{(i+1)} - 2h_i + h_{(i-1)}}{\Delta X^2} \quad (5.10)$$

Para la aproximación de las derivadas parciales existen dos posibilidades:

- Expresarlas en el tiempo t
- Expresarlas en el tiempo $t+\Delta t$

En el primer caso el método será explícito e implícito en el segundo caso.

Esquema Explícito. Si en la ecuación (5.1) se elimina el término de recarga y además se supone que la transmisividad es independiente de las coordenadas espaciales, se obtiene:

$$\frac{d^2h}{dx^2} + \frac{d^2h}{dy^2} = \frac{S}{T} \frac{dh}{dt} \quad (5.11)$$

Cuando se consideran conocidos los niveles en el instante t y se quiere calcular el estado en el instante $t + \Delta t$, la

ecuación (5.11) en diferencias finitas queda en la forma:

$$(\nabla^2 h)_t = \frac{S}{T} \frac{h(t+\Delta t) - h(t)}{\Delta t} \quad (5.12)$$

donde:

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$$

$h_{t+\Delta t}$ es el nivel en el tiempo $t+\Delta t$
 Δt es la variación de tiempo

La única incógnita es $h(t+\Delta t)$, la cual se resuelve de forma explícita directamente.

Esquema Implícito. A diferencia del esquema explícito, los planteamientos implícitos consideran todos los niveles en el instante $t + \Delta t$. La ecuación (5.11) en diferencia finita queda de la forma siguiente:

$$(\nabla^2 h)_{t+\Delta t} = \frac{S}{T} \frac{h(t + \Delta t) - h(t)}{\Delta t} \quad (5.13)$$

Al aplicar el esquema implícito se llega al planeamiento formal de todo un sistema de ecuaciones lineales que hay que resolver. Existen variedades de métodos para resolver esos sistemas de ecuaciones, entre ellos se tienen los siguientes:

Métodos Directos. Se basan en la utilización sistemática y reiterada del método de eliminación de una incógnita de una ecuación a partir de otra. Los más utilizados son:

- Gauss
- Gauss-Jordan

Métodos Iterativos. Estos procedimientos parten de un tanteo inicial, y mediante iteraciones sucesivas van mejorando las mismas hasta conseguir que los errores en la verificación de las ecuaciones sean menores que un valor prefijado como admisible. Algunos de estos métodos son:

- Método Southwell

- Método de Gauss - Seidel
- Método S.O.R. (sobrerrelajación lineal)
- Método sobrerrelajación puntual

Método Implícito en sentido alternante (ADI). Este método (alternating direction implicit procedure) fue desarrollado por Peaceman y Rachford (1955), citado por Alvarez et al., 1976 y modificado por Prickett y Lannquist en 1971 (Karanjac, 1992). La idea de este método es:

- Dibujar una malla con contorno exterior rectangular (modificado para malla cuadrada).

- Dividir el intervalo Δt en dos partes.

- Resolver el sistema para el instante $t + \Delta t/2$ barriendo fila por fila. Se considera como incógnitas los niveles en $t + \Delta t/2$ en la fila calculada, mientras que los niveles en las filas anterior y posterior se suponen conocidos con el valor correspondiente a t .

- Partiendo de $t + \Delta t/2$, resolver el sistema para $t + \Delta t$ barriendo columna por columna. Se considera como incógnitas los niveles en $t + \Delta t$ en la columna calculada, mientras que los niveles en las columnas anterior y posterior se suponen conocidos con el valor correspondiente a $t + \Delta t/2$.

Al concluir la fase 4 se tienen los niveles en cada nodo en $t + \Delta t$. Por tanto, no se trata de un método iterativo, ya que los valores finales se obtienen directamente mediante dos rastreos de la malla sin necesidad de aplicar ningún criterio de error.

Método Iterativo en Sentido Alternante (IADI). Esencialmente es igual que el ADI, esto es, se realizan rastreos alternativos de la malla, unas veces en dirección de las filas y otras veces en dirección de las columnas. Más sin embargo, existen tres diferencias, derivadas del carácter iterativo del IADI.

- Cada dos rastreos de la matriz no completan un intervalo de tiempo, si no una iteración. Esto permite variar progresivamente la transmisividad en función del nivel obtenido en cada iteración, por lo cual puede aplicarse a los problemas no lineales que se presentan al tratar acuíferos libres.

- Se considera terminado el cálculo del intervalo cuando el error es aceptable, según un criterio prefijado.

Para mejorar la eficiencia del proceso iterativo se

incluye una serie de parámetros de aceleración.

Criterios de Convergencia

En todos los métodos tratados, a excepción del explícito y ADI que son directos, es necesario fijar un criterio que permita decidir si se debe continuar iterando o se acepta la solución. Existe variedad de criterios, se pueden dividir en tres grupos (Alvarez et al, 1976).

- Criterios aplicados al balance: consisten en el cálculo de la cantidad de agua que ha entrado o salido en todo el acuífero, comparándola con la variación de almacenamiento sufrida. Si la diferencia entre las dos cantidades es mayor que el límite admisible, ya sea en error absoluto o en porcentaje, se continúa iterando.

- Criterios aplicados al residuo. Estos criterios limitan el residuo máximo, el residuo medio o la suma de los residuos calculados, sustituyendo en el sistema de ecuaciones los niveles obtenidos en cada iteración.

- Criterios aplicados al nivel piezométrico. Estos son de aplicación más directa, pues controlan la diferencia de niveles en cada nodo entre iteraciones sucesivas, ya sea la máxima producida, la media en todo el sistema o la suma para todos los nodos.

Cada caso particular decidirá sobre el criterio o criterios a usar. La magnitud del error admisible debe decidirse mediante varias corridas de tanteo, como resultado de un compromiso entre economía de cálculo y calidad de resultado.

Descripción del Modelo GW (Ground Water Software Part Two Mathematical Models)

Características y Limitaciones del Modelo

El Modelo GW es una serie de programas de aguas subterráneas, desarrollado por el Departamento de Cooperación Técnica y Desarrollo de los Recursos Naturales y la División de Energía y Recursos de Agua de las Naciones Unidas.

Los autores de esa serie de programas son Jasminko Karanjac y Dusan Braticević.

Este Software consta de dos partes:

- La base de datos, que consiste en los siguientes progra-

mas:

GW1 Sistema de conversión y cálculo de la Permeabilidad
 GW2. Química del agua subterránea
 GW3. Pruebas de Bombeo
 GW4. Hidráulica y construcción de Pozos
 GW5. Base de datos de niveles de agua e hidrógrafos
 GW6. Longitud de Pozo y Litología
 GW11. Gráficos

- La segunda parte es referente a los Modelos Matemáticos; los programas de este paquete son:

GW7. Modelo Matemático para acuífero confinado
 GW8. Modelo Matemático para acuífero no confinado
 GW9. Modelo Matemático para Islas pequeñas
 GW10. Presentación y análisis de datos
 GW11. Gráficos

La parte de los modelos matemáticos fue creada por la superposición de celdas (equidistantes) en diferencias finitas sobre el mapa de un acuífero. Cada celda es un cuadrado, en cual la longitud en la dirección x es la misma que en la dirección y.

El programa principal está escrito en lenguaje Fortran 77, el mismo es basado en la ecuación diferencial para flujo bidimensional no permanente de un fluido compresible en un medio poroso. La solución numérica de la ecuación fue obtenida a través de un ajuste iterativo de diferencias finitas, ADIP (alternating-direction implicit procedure).

Limitaciones

El requerimiento de memoria de los diferentes programas está limitado por el número total de celdas:

GW7..... 3000 celdas
 GW8..... 1800 celdas
 GW9..... 2400 celdas
 GW10..... 2500 celdas

El número máximo permitido de columnas y filas es de 99. Los intervalos de tiempo son de la misma duración. El número máximo de intervalo de tiempo es de 60. El número máximo de celdas en el modelo en el cual se puede presentar los hidrográficos es de 30. El número máximo de iteraciones está limitado solamente por tiempo de procesamiento del computador.

El modelo matemático utilizado en el presente trabajo fue el GW7, en vista de que se tomó la hipótesis que el acuífero del valle de Quíbor era confinado en la parte central y sur y semiconfinado en la parte norte del valle.

Este programa puede simular el flujo de agua subterránea a través de un acuífero confinado no homogéneo pero isotrópico. Como se explicó anteriormente, el programa está desarrollado para flujo bidimensional en el cual no existe variación de sus propiedades a través de la vertical, como son la transmisividad, coeficiente de almacenamiento y las cargas.

Fundamento Teórico del Modelo

El modelo está basado en la ecuación diferencial bidimensional para flujo no permanente, descrito anteriormente (5.1).

Tomando en cuenta las características del modelo, el cual es para un acuífero confinado, representado por mallas cuadradas (Karanjac, 1992), el método utilizado para desarrollar la ecuación general es el ADIP, dando como resultado la ecuación (5.3).

Discretización Espacial del Acuífero

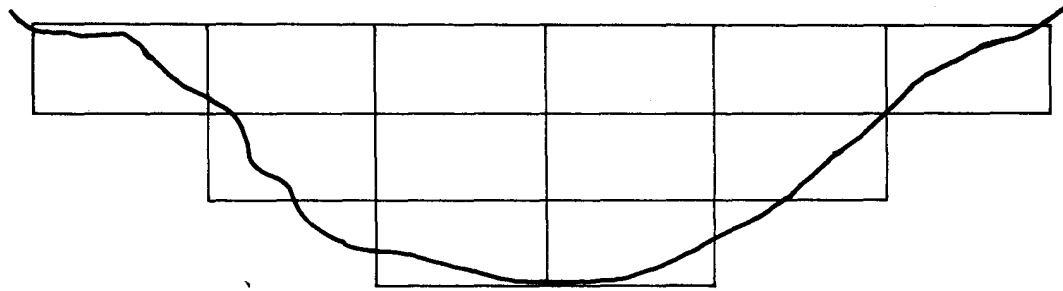
La primera fase del tratamiento matemático de un acuífero consiste en la sustitución del medio continuo, situado dentro del contorno por una serie de elementos rectangulares, cuadrados o poligonales. Es imposible dar reglas precisas y rápidas acerca de qué tipo de malla utilizar, y de cómo hacer el diseño para cada una. Bajo condiciones geológicas e hidrogeológicas diferentes, una malla apropiada para un caso será inapropiada para otro. Una vez definida la malla se procede a asignar el conjunto de valores característico a cada elemento a partir de los datos de los originales.

La Figura 12, muestra algunos tipos de malla.

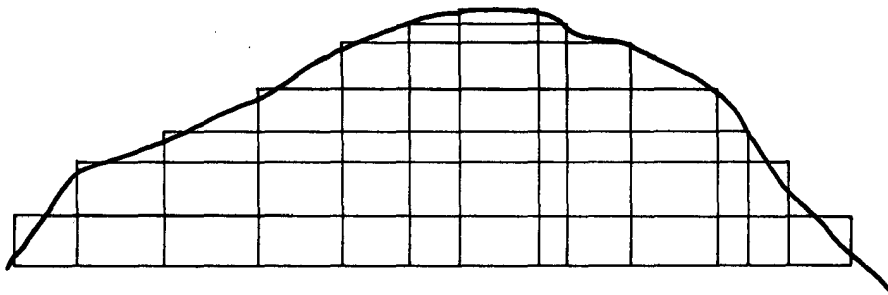
La segunda fase corresponde a la ecuación que gobierna el flujo de aguas subterránea en el modelo discretizado, lo cual está desarrollado en diferencias finitas, tomando como parámetros discretos el tiempo y espacio.

El método en diferencias finitas en una celda rectilínea se usa para dividir la región que será estudiada en filas y columnas.

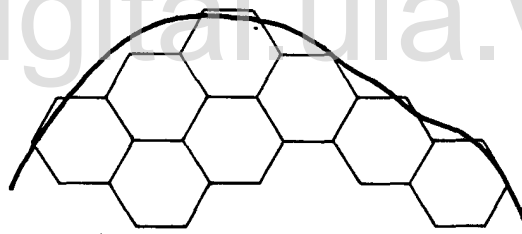
En la discretización espacial del acuífero del valle de Quíbor se utiliza una malla de celdas cuadradas de 1000 x 1000 m. La misma abarcó en su totalidad el valle, la cual geográficamente



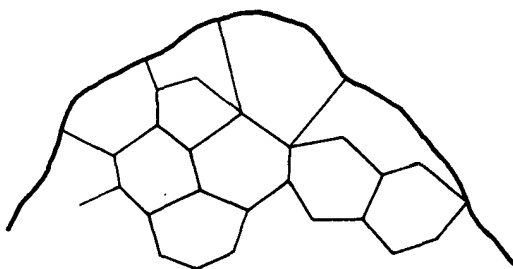
a) Malla rectangular constante



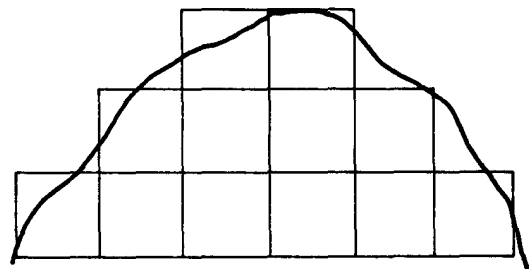
b) Malla rectangular variable



c) Malla poligonal regular



d) Malla poligonal irregular



e) Malla cuadrada

Figura 12.- Diferentes formas de mallas en la discretización espacial del acuífero.

fue limitada entre los 09° 50'30" y 10° 04'40" de latitud norte y los 69° 32'44" y 69° 42'00" de longitud oeste. Esta malla se redujo, debido a que se presentaban problemas en la calibración del modelo, en vista de que no se estaba tratando una sola unidad acuífera. Para ello se procedió a tomar nuevos límites para la malla, la cual abarcaría la parte central del valle de Quíbor, que corresponde a la zona de sobre-explotación. La discretización espacial de esta zona queda limitada geográficamente entre los 09°54'20.25" y 09°59'47.5" de latitud norte y los 69° 33'17.5" y los 69° 42'00" de longitud oeste.

Condiciones de borde Espaciales

Una vez sustituido el acuífero continuo por la malla discreta, se definió la condición de borde, la cual corresponde al contorno real del acuífero.

Bordes Impermeables

Todo acuífero presenta en su contorno zonas impermeables que lo separan de los demás y permite considerarlo como una unidad independiente. Físicamente, la existencia de un borde impermeable implica la imposibilidad de circulación de agua a través de él. La expresión matemática del caudal en dirección x a través de un elemento de anchura Δy es, según la Ley de Darcy,

$$Q_x = -T_x \frac{\partial h}{\partial x} \Delta y \quad (5.14)$$

siendo T_x la transmisividad del acuífero en la sección considerada. Para que Q_x sea nulo, bastará que bien la transmisividad T_x o bien el gradiente $\partial h/\partial x$ sean nulos.

La Figura 13 muestra la discretización espacial del acuífero y sus condiciones de borde espaciales.

Datos Generales y de Entrada Requeridos por el Modelo

Datos Generales

Estos datos están referidos en un archivo de nombre MODEL 82. DAT, la información es la siguiente:

- Se define el número de columnas y filas que el modelo tiene.
- Se define el intervalo de tiempo

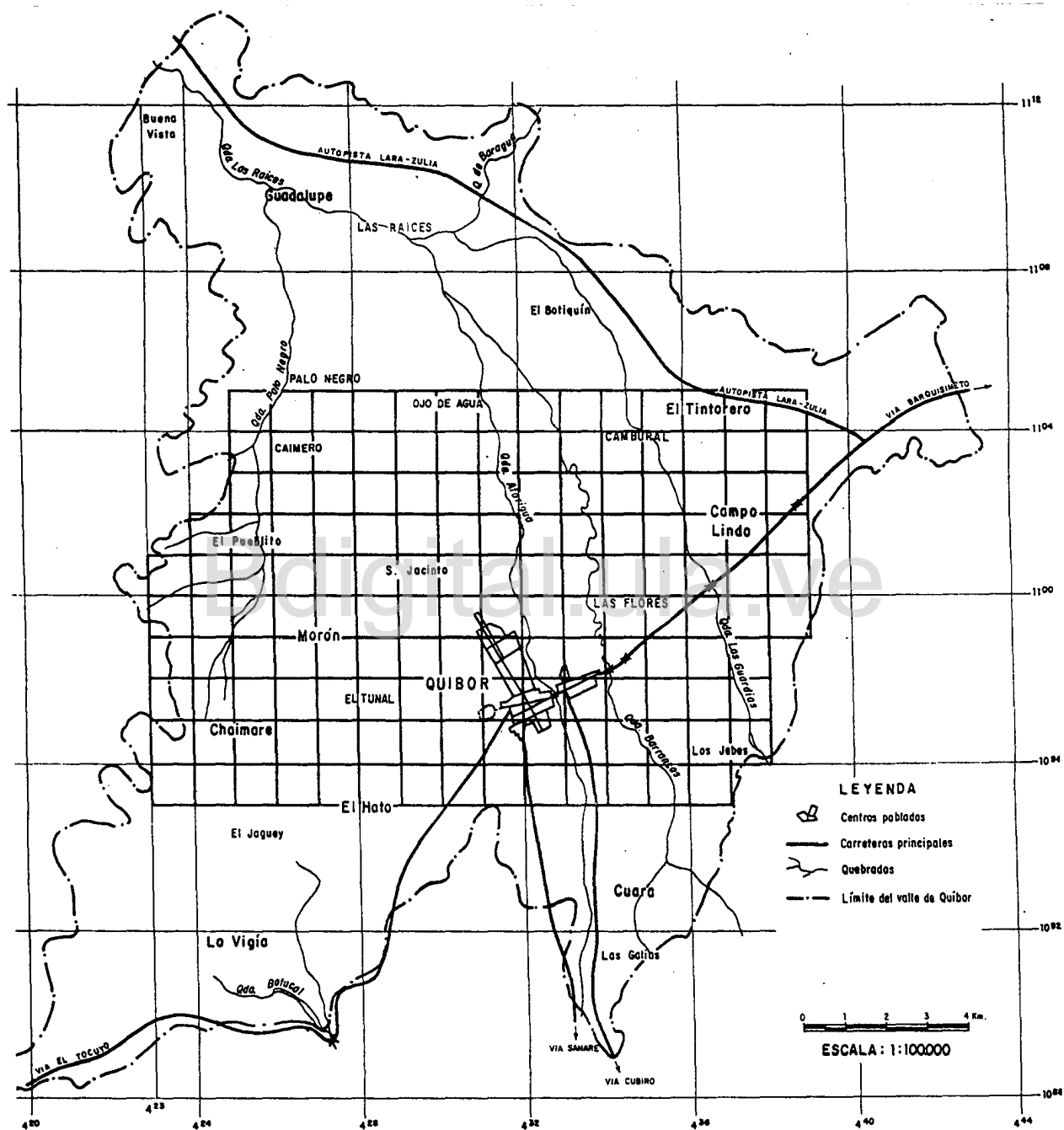


Figura 13.- Discretización espacial del acuífero - Region Central- Valle de Quibor, 1992.

- Etapas de los intervalos de tiempo
- Error máximo permitido
- Número de iteraciones
- Tamaño de la celda (cuadrada)
- Número de celdas que muestran los hidrógrafos

Datos de Entrada

Los valores o parámetros que el modelo utiliza para la entrada son:

Transmisividad. Estos valores están referidos en un archivo llamado Model82.TR. Para la determinación de este coeficiente o parámetro, se recopiló información de las pruebas de bombeo que se realizaron en el valle de Quíbor en los años de 1978, 1979, 1981, 1982 y las realizadas en 1992 en las zonas norte y sur del valle. Se procedió a zonificar el área del valle, para hacer la distribución de los valores de transmisividad, Figura 14.

Coefficiente de almacenamiento. Estos valores están referidos en un archivo llamado Model82.ST. Se utilizó el mismo mecanismo anterior, efectuando una zonificación del área del valle de Quíbor, Figura 15.

Cargas piezométricas iniciales. Para obtener estos valores, se contó con el trabajo de Alvarado (1989), el cual presenta toda la información de los niveles de pozos productores y abandonados que poseen registros desde 1975 hasta 1987, en 1992 se realizaron tres campañas de medición, durante los meses de febrero, mayo y junio. Se tomó como cargas iniciales los registros de los pozos ubicados en el centro del valle, correspondiente al año de 1982.

Estas cargas iniciales están referidas en el archivo MODEL82.LEV.

Caudal de Bombeo. Al igual que los registros de niveles, estos se obtuvieron del trabajo de Alvarado (1989), aforos de pozos productores correspondientes del año 1982 hasta 1987. Para 1992 se hace una campaña de aforos en el mes de mayo. El archivo de datos para estos caudales es el MODEL82.WEL.

Valor de la Recarga. Este archivo no se ha utilizado en vista de las características que presenta la zona del valle de Quíbor, en la cual, los suelos son impermeables, por lo que es

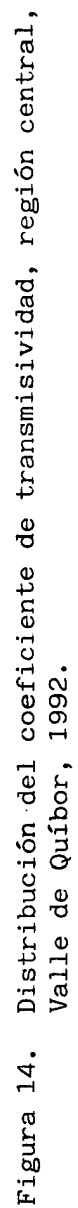


Figura 14. Distribución del coeficiente de transmisividad, región central, Valle de Quíbor, 1992.

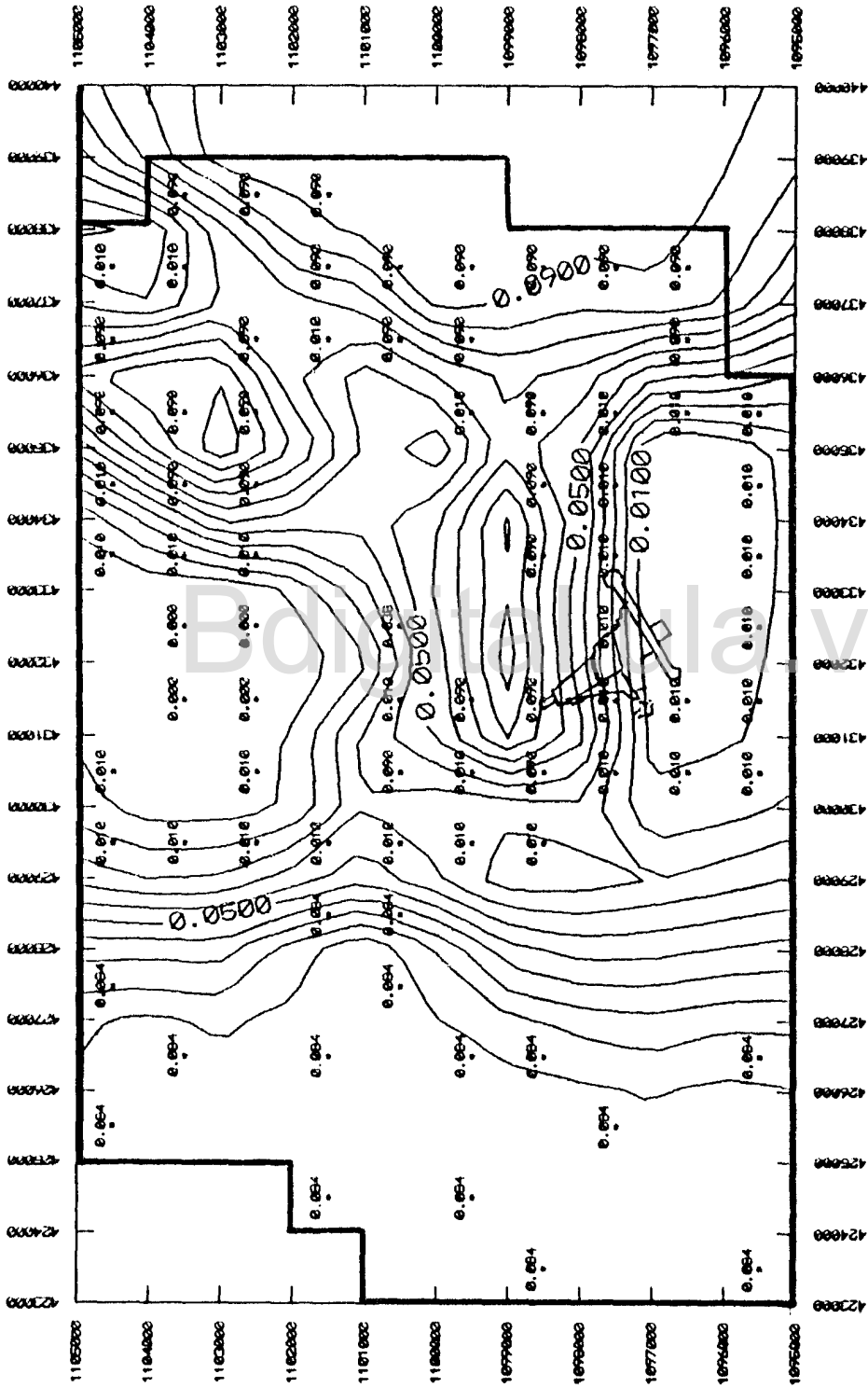


Figura 15. Distribución del coeficiente de almacenamiento, región central, Valle de Quíbor, 1992

imposible que se den recargas directas por precipitación y por el excedente del agua de riego, toda agua de escorrentía se pierde por evaporación.

Vignati (1987), mediante la aplicación del modelo "Simulaci" para el cálculo de la recarga directa al acuífero del valle de Quíbor, pudo comprobar que el acuífero no recibe recarga por lluvia, lo cual es un resultado lógico de acuerdo a las características de la zona en estudio. La única recarga que se da en el valle de Quíbor y que alimenta el acuífero, es la proveniente de las zonas montañosas, la cual llega por las diferentes quebradas que bajan al valle, infiltrándose en los sedimentos aluvionales. Esta entrada de flujo se registró en el archivo MODEL.BRY.

Para este modelo no se ha tomado en cuenta la salida de flujo sobre el área de estudio, ya que en la misma es donde se producen los más profundos conos de depresión de todo el valle, lo que ha influido en que el régimen de circulación varíe; por tanto, se tiene que las direcciones de flujos van hacia el centro del valle.

Bdigital.ula.ve

C.C.Reconocimiento

CAPITULO VI

CALIBRACION DEL MODELO GW7 Y SIMULACION DEL ACUIFERO

Introducción

Una vez que se dispuso de los datos, se ha dibujado la malla y se han elegido las condiciones de fronteras, es preciso comprobar la veracidad de los datos. Para ello hay que realizar la fase de calibración del modelo. Este estudio consiste en simular un período histórico y comprobar si los niveles obtenidos con el modelo para ese conjunto de datos se ajustan de forma aceptable a los niveles observados.

En general, no ocurrirá así, por lo cual será preciso modificar los datos de partida hasta conseguir que las diferencias entre niveles históricos y calculados sean adecuados para la precisión requerida por el problema tratado.

No existen normas fijas para la realización de estas modificaciones, aunque ya existen programas de ajuste automático. Sin embargo, se pueden hacer una serie de recomendaciones y consideraciones que conviene tener en cuenta.

- Los resultados del modelo no pueden ser mejores que los datos de partida. Esto implica que si los datos son malos, aunque el ajuste sea bueno, los resultados no serán confiables.

- Si se han obtenido niveles demasiado altos, se puede variar la transmisividad, recarga, coeficientes de almacenamiento y bombeos.

- La distribución espacial de la permeabilidad o transmisividad suelen tener más influencia en los niveles que su valor absoluto.

- La variación del coeficiente de almacenamiento influye bastante cuando se trata de un acuífero libre, mientras que en un acuífero confinado no suele ocurrir así.

- En relación con el problema de modificación de datos hay distintas opiniones. Hay quien cambia únicamente si la justificación física está totalmente comprobada y quien desecha los datos originales si intuitivamente parece que el nuevo valor podrá ser aceptable. No conviene olvidar que los datos originales suelen ser puntuales, mientras que el modelo maneja valores medios en cada elemento, que pueden ser bastante distintos de aquéllos.

Criterios para Implementar el Modelo

Según Custodio y Llamas (1976), para el uso correcto de un modelo de simulación se requiere una serie de datos que entran al modelo en forma de arreglos que permiten definir lo siguiente:

- Geometría del sistema
- Características hidráulicas
- Funcionamiento hidráulico
- Acciones sobre entradas y salidas
- Respuestas del acuífero a las acciones
- Condiciones hidrogeológicas que rigen el sistema

Calibración del Modelo

Una vez obtenida toda la información necesaria y realizada la discretización espacial del acuífero, así como el trazado de los límites de frontera, se procedió a la calibración del modelo.

El período de estudio de sesenta (60) meses se encuentra comprendido entre febrero de 1982 hasta febrero de 1987.

Los pozos que se utilizaron para la fase de calibración fueron 18 en total, los mismos son pozos abandonados y productores. En el Apéndice D, se muestran las salidas del modelo en forma impresa, así como también los archivos de datos correspondientes a la última corrida efectuada durante el proceso de calibración.

Hay que tener presente que el proceso de calibración tiene tres fases diferentes.

En la primera fase debe comprobarse la calibración de los datos originales, ya que la incongruencia en los mismos darían resultados ilógicos.

En la segunda fase, se debe ajustar la tendencia de los niveles en el espacio y en el tiempo, para determinar si el modelo representa de una manera adecuada el funcionamiento hidráulico del acuífero.

Para este estudio se tomó los registros de niveles observados en 29 pozos para el mes de febrero de 1982, con ellos se generó el conjunto de registros para las demás celdas del área estudiada mediante el programa Surfer. Con la información

obtenida del programa Surfer, se calculaba un valor promedio para cada celda en función del nivel en cada nodo, este cálculo se efectuaba mediante un programa de computadora.

Con respecto a los datos de extracciones de bombeo, se contó con un solo registro por año, tomando el criterio que esa descarga es la misma para todos los meses del año estudiado. Los niveles computados a través de las diferentes corridas, finalmente se ajustan con los observados. El ajuste aceptado se muestra en el Apéndice D, sección 2.

El proceso para lograr este ajuste, consistió en ir variando los parámetros hidrogeológicos del acuífero de acuerdo a la tendencia mostrada por los niveles calculados, ya sea variando la transmisividad a valores más altos o bajos, según fuera el caso, para subir o bajar los niveles, variando también el coeficiente de almacenamiento.

La tercera fase es el ajuste de los flujos de entrada y salida, en el presente estudio solo se contó con el flujo de entrada. Debido al comportamiento del acuífero fue preciso ir modificando el flujo de entrada. Inicialmente se tomó el flujo de 38356.16 m³/día, estimado por Alvarado (1989) en su trabajo que representa el flujo de escorrentía de las montañas y que llega al valle por las diferentes quebradas, infiltrándose en los sedimentos aluvionales, tal como se explicó anteriormente.

Al observarse valores muy bajos de los niveles calculados, se aumentó en un 60.34% el flujo de entrada, el cual representa un caudal de 61500 m³/día. Con este nuevo valor, los niveles calculados, se ajustaron a los observados, comprobándose que la zona montañosa es la principal fuente de recarga para el acuífero.

Calibrado el modelo para el período antes mencionado, se procede a realizar la verificación de esta calibración. Tomándose como período de verificación un intervalo de tiempo de 60 meses a partir del mes de febrero de 1987, hasta febrero de 1992.

Una vez lograda la calibración en los parámetros obtenidos (transmisividad, coeficiente de almacenamiento y flujo entrante) y con los datos de entrada disponibles (niveles observados febrero-87, descarga de los pozos 87-92, cargas constantes y pozos de observación), se calculan las variables de salida mediante el modelo para el período 87-92.

Se comparan los valores calculados y observados (87-92). Si los valores reproducen satisfactoriamente los observados se considera el modelo verificado. De lo contrario se vuelve a la operación de calibración y se determina otro conjunto de paráme-

tros y se repite el procedimiento hasta que los parámetros determinados en base al primer periodo (82-87) permitan reproducir satisfactoriamente el periodo (87-92). Después de varias corridas se logró el objetivo.

El modelo a partir de este punto, se acepta como calibrado y en condiciones de simular el comportamiento del acuífero bajo diferentes políticas de explotación.

Para la verificación se trabajó con 18 pozos del área, entre productores y abandonados.

Durante la fase de calibración se contó con la información siguiente de descarga de los pozos, en $\text{m}^3/\text{día}$:

Periodo febrero/diciembre/1982 se registraron para el área en estudio un total de 33 pozos, extrayéndose del acuífero 78483 $\text{m}^3/\text{día}$, con un promedio por pozo de 2378.27 $\text{m}^3/\text{día}$.

Periodo enero 1983-diciembre 1984, se registraron 30 pozos, los cuales arrojaron una descarga de 62888 $\text{m}^3/\text{día}$, con un promedio por pozo de 2096.30 $\text{m}^3/\text{día}$. Para el periodo de enero de 1985 a diciembre de 1986, el registro de pozo fue de 30, dando una descarga de 75183 $\text{m}^3/\text{día}$, para un promedio por pozo de 2506.10 $\text{m}^3/\text{día}$. Y por último para el periodo de enero a febrero de 1987, 31 pozos registraron una descarga de 74909 $\text{m}^3/\text{día}$, dando un promedio por pozo de 2416.42 $\text{m}^3/\text{día}$.

En la fase de verificación correspondiente al periodo de febrero 1987 a febrero 1992 se registraron 21 pozos de los cuales se obtuvo un caudal o descarga promedio de 66506 $\text{m}^3/\text{día}$ para un promedio por pozo de 2145.35 $\text{m}^3/\text{día}$.

En el Apéndice D, sección 3 se muestran las salidas del proceso de verificación.

Simulación del Acuífero

Planeamiento de la Política de Explotación

Introducción

Una vez obtenida la compilación y preparación de los datos y la calibración del modelo ya verificado, sólo se ha permitido reconstruir el pasado histórico del comportamiento del acuífero, para el periodo establecido.

El verdadero propósito de un modelo matemático, es determinar, para un periodo de tiempo seleccionado, el comportamiento del acuífero bajo un plan de uso o explotación a ser implementa

do. Política de explotación es el término usado cuando, mediante el modelo, se simulan futuras extracciones de acuerdo a un cierto plan de explotación del acuífero, (Rodríguez, 1986).

La fase de simulación puede ser tan larga como se quiera, teniendo siempre como objetivo principal que la real validez de este proceso es permitir estudiar las consecuencias cuando un cierto número de alternativas han de ser implementadas.

Antes de la implementación de la fase de simulación fue necesario determinar el valor de las reservas permanentes o geológicas de las aguas subterráneas que aún quedan en los sedimentos permeables del relleno fluvio-lacustre del área en estudio del valle de Quíbor, para el año de 1992. Mediante este cálculo se estudiará y determinará la variación de esta reserva permanente, en función de las políticas de explotación que se implementará para futuros períodos de tiempo, tomando en cuenta las extracciones de los pozos en el área seleccionada.

El área bajo estudio es de 146 km², si se toma en cuenta la división o selección que Alvarado (1989), hizo del valle de Quíbor, dividiendo el valle en área sobreexplotada, área con alto riesgo de explotación y área con posibilidades restringidas de explotación. Según esta división se tiene que 66 km² corresponden a la primera clasificación y en la cual están concentradas la mayoría de los pozos; 43,32 km² corresponden a la segunda clasificación y a la tercera corresponden 36.68 km².

Metodología empleada para la determinación de las reservas del acuífero en estudio.

Para el cálculo de las reservas permanentes de aguas subterráneas para febrero de 1992, se contó con el espesor saturado del área en estudio por debajo del nivel de agua medida para el periodo en mención. Este espesor saturado fue determinado en base al espesor total del aluvión o tope de roca (Alvarado, 1989) y la profundidad de los niveles en cada celda. Además se utilizó el criterio de Alvarado (1989) que dice que el 34% del volumen de espesor saturado corresponde a sedimentos permeables y tomando un rendimiento específico de 0.056, valor promedio, obtenido en la fase de calibración del modelo, se determinó finalmente el valor de las reservas permanentes utilizando la ecuación siguiente:

$$V_p = \sum_{j=1}^{NN} e_{(j)} \cdot A_{(j)} \cdot Pe_{(j)} \cdot \gamma \quad (6.1)$$

donde:

V_p	es el volumen de reservas permanentes, m^3
$e_{(i,j)}$	es el espesor saturado del acuífero en cada celda, m
$A_{(i,j)}$	es el área de cada celda (1000×1000) m^2
$Pe_{(i,j)}$	es el rendimiento específico
γ	es el porcentaje del volumen de espesor saturado de sedimentos permeables
NN	es el número total de celdas

El volumen de espesor saturado para febrero de 1992 es de $2987.13 \times 10^6 m^3$, por lo tanto en el área de estudio existen $56.87 \times 10^6 m^3$ de agua, que constituyen los recursos permanentes o geológicos de aguas subterráneas, que aún quedan en los sedimentos permeables. Este volumen de reservas permanente se encuentra en $63 km^2$ del área total de los $146 km^2$ estudiados.

En el Apéndice E, se muestran los mapas de espesor del aluvión o profundidad del tope de roca, cota de fondo del acuífero, espesor saturado en 1987 y espesor saturado en 1992, todos correspondientes a la región central.

Política de Explotación

Para esta fase se ha tomado que la recarga al acuífero es de $61500 m^3/día$, obtenidos en la fase de calibración. La fase de simulación se ha efectuado para 10 años divididos en dos etapas, tomando como año de partida, 1992.

La explotación del acuífero para el área de estudio se hace mediante un total de 30 pozos, los cuales extraen del acuífero $60565 m^3/día$, para un promedio por pozo de $2018.83 m^3/día$. Se hace la salvedad que en el valle de Quibor, los propietarios de los pozos los explotan las 24 horas del día, todo el año, aún en época de lluvia.

Se presentan seis (6) políticas de explotación, para el estudio del comportamiento del acuífero.

Pasos a seguir para el desarrollo de esta fase.

- Cálculo de las reservas totales del acuífero en el área de estudio, año 1992.

- Asignación de nuevos caudales de explotación

- Simulación del acuífero para cada grupo de nuevos caudales de explotación.

- Cálculo de las reservas permanentes para cada grupo de nuevos caudales de explotación, en función de los niveles obtenidos al finalizar cada período de simulación.

La política de explotación ha sido simulada como se dijo anteriormente para 10 años. Para el primer y segundo período se tomó la misma descarga de 1992. Con los niveles de agua que se obtuvo en febrero de 1997, se generó el archivo de datos de los niveles para ese año, luego se simuló para el año 2002 con la misma descarga y parámetros hidrológicos, obteniéndose unos nuevos valores de niveles.

Para el tercero y cuarto período, se inició a partir de febrero de 1992 hasta febrero de 2002, haciendo variaciones de las descargas de los pozos, tomándose una disminución y aumento del 50% de la extracción en los pozos. Para todos estos casos se determinó el valor de las reservas permanentes.

En la quinta fase, la simulación se hace para cinco (5) años, tomándose como $t = 0$, el mes de enero de 1992; para ese año se asigna el caudal de descarga y a partir de enero de 1993 se elimina la extracción en el acuífero por cuatro (4) años, para determinar hasta qué grado de recuperación se llega con esta fase. Y en la sexta fase, se toman las demandas de los cultivos que se podrán sembrar; diferenciando de las características de los suelos y, calidad del agua, el área de estudio fue dividida en tres (3) sectores, en los cuales se experimentará con cultivos de período corto (rotativo) y cultivos de períodos largo. La simulación corresponde desde enero de 1992 a diciembre de 1996 (5 años).

Estos resultados se muestran en el Apéndice F.

CAPITULO VII

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Introducción

Como en todo trabajo, al final, la meta es lograr ciertos resultados, ya sean positivos o negativos, que demuestren paso a paso la culminación de metodologías empleadas para lograr los objetivos trazados.

En este Capítulo, se plasmarán los resultados obtenidos al realizar el presente estudio, analizando las diferentes etapas de su desarrollo.

Características del Acuífero

Con respecto a la revisión bibliográfica que se ha realizado, todos los autores que han desarrollado esta etapa, han llegado a la conclusión, de que el acuífero de Quíbor tiene un comportamiento de acuífero libre en la parte Norte y confinado al centro y Sur del valle. Teniendo así una variedad de valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento en el valle.

En el presente trabajo se ha obtenido, mediante las pruebas de bombeo que se realizan tanto en el sector norte como en el sur, que el comportamiento del acuífero en estos sectores es un acuífero semiconfinado con valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento de 429.9 m²/día, 5.8×10^{-3} (sector norte) y 125.1 m²/día, 2.9×10^{-3} (sector sur). Para el sector del centro del valle, debido a la sobreexplotación que ha sufrido el acuífero en esta zona, ha experimentado una tendencia gradual de acuífero confinado a acuífero libre; este efecto o cambio se comprueba al aplicar el modelo matemático para todo el valle, lográndose obtener una buena calibración sólo para el centro del valle, obteniéndose valores de transmisividad que van desde los 3000 m²/día hasta 50 m²/día con promedio en toda el área de estudio de 964.9 m²/día, y coeficientes de almacenamiento de 0.001, 0.038, 0.03 y 0.09 con promedio de 0.056.

Fluctuación de los Niveles

A consecuencia de la indiscriminada explotación a que ha sido sometido el acuífero del valle de Quíbor, las fluctuaciones de los niveles desde 1961 hasta la fecha han presentado una variación enorme, dando como consecuencia el deterioro de un recurso natural por parte de las manos del hombre; estas fluctuaciones han dado origen a la formación de varios conos de depresión; para 1992 se observa un solo cono sobre la parte central del valle, donde se encuentran los pozos más profundos. Para

1992, estas variaciones de niveles hacia el sector norte, noroeste, cercanías de la quebrada Atarigua, en el piedemonte (sector sur) y la quebrada Las Guardias; varían desde 2.4 a 28.8 m. Los niveles más profundos se han registrado hacia el centro del valle y hacia la vía del Tocuyo, éstos fluctúan entre 48 hasta 145 m de profundidad.

Se ha obtenido un promedio de variación de niveles desde 0,5 m hasta 18.5 m, relacionando los niveles obtenidos en el año 1987 y 1992, registrándose un promedio anual de descenso desde 0,5 hasta 5 m.

Esta disminución en los niveles se ha dado a consecuencia de la sobreexplotación y además la única recarga que se cuenta para alimentar el acuífero del valle de Quíbor, es la proveniente de la zona montañosa, que llega por las diferentes quebradas hasta filtrarse en los estratos fluvio-lacustre, además del continuo bombeo de los pozos productores, los cuales trabajan por lo general las 24 horas del día durante todo el año.

En la zona central, en la cual las variaciones de los niveles se acentúan más, durante el período de 1987 a 1992, para representar estas diferencias de niveles y conocer en una aproximación cuál ha sido el volumen de agua extraído durante estos cinco (5) años, se procedió a determinar el volumen de espesor saturado que para 1987 existía en el área de estudio y el volumen de espesor saturado que para 1992 existe. Realizada esta diferencia, da como resultado que el volumen de espesor saturado del cual se ha extraído agua es de $150.14 \times 10^6 \text{ m}^3$, el cual si se multiplica por el rendimiento específico (coeficiente de almacenamiento) de 0.056 se obtiene que el volumen de agua extraído en el período de febrero de 1987 a febrero de 1992 es de $8.41 \times 10^6 \text{ m}^3$ de agua, pertenecientes a las reservas permanentes extraídas en un lapso de cinco (5) años, con un promedio anual de $1.68 \times 10^6 \text{ m}^3$ en un área de estudio de 146 km^2 , de los cuales 67 km^2 poseen espesor saturado.

Para el cálculo del volumen de reserva geológica extraído se utiliza la fórmula de Castany, 1971:

$$dR = dh \times S \quad (8.1)$$

donde:

dR es la variación de las reservas de aguas subterráneas (m^3)
 dh es el espesor saturado en cada celda
 S es el coeficiente de almacenamiento, obtenido en la calibración del modelo matemático

Conocido el volumen que se ha extraído de las reservas permanentes y el caudal de bombeo durante los 5 años (1987-1992), se puede aplicar la fórmula del balance de las aguas subterráneas, para determinar el volumen de agua que recarga anualmente al acuífero, la misma se puede expresar de la siguiente forma:

$$RR = Qb - dRg \quad (8.2)$$

donde:

RR son las reservas renovables (recarga) m³
 Qb es la descarga de los pozos m³
 dRg es la parte de las reservas geológicas

Si se tiene que el caudal promedio de bombeo para la zona de estudio es de 119.71×10^6 m³ durante los 5 años, entonces se obtiene mediante la aplicación de la ecuación (8.2) que la recarga es de 111.3×10^6 m³ el cual representaría un flujo de entrada de 60986.30 m³/día, comparando este resultado con el flujo de entrada que se obtuvo durante la calibración del modelo, se tiene que la diferencia es mínima. El flujo de entrada en la calibración fue de 61500 m³/día, representando una diferencia de 513.7 m³/día, con un porcentaje de 0,84 % de diferencia.

En el Apéndice E, se muestran los volúmenes de los espesores saturados tanto para el año 1987 como para 1992.

Caudales de Bombeo

Cada año el caudal de descarga por pozo disminuye, a consecuencia de que para cada año es menor el volumen de las reservas permanentes, cada vez se profundiza el nivel de agua, disminuyendo así el espesor saturado.

Para el año de 1992 el número de pozos aforados fue de 52 pozos, los cuales dieron una descarga total de 868.28 l/s, o sea 75019.4 m³/día, dando un promedio por pozo de 16.38 l/s y una producción anual de 27.4×10^6 m³. De estos 52 pozos, 30 están localizados en la parte central, dando una descarga de 60565 m³/día, el cual representa el 80.73% de la producción total registrada.

Calidad de las Aguas en el Valle de Quíbor, 1992

La calidad de las aguas en el valle de Quíbor se han estado deteriorando cada vez más, sobre todo por la acción del hombre, basadas en ciertas prácticas del uso del suelo y el manejo agrícola, causando así contaminación en las aguas subterráneas.

El número de pozos muestreados en este período de 1992, fue de 59 pozos.

Obteniéndose una variación en la concentración salina entre 0.88 dS/m a 5.46 dS/m, hacia el suroeste de la ciudad de Quíbor y el extremo noroeste respectivamente.

En el centro del valle los pozos analizados presentan concentración salina que varía desde 0.93 a 2.56 dS/m. Hacia el norte estos valores fluctúan entre 2,5 dS/m a 5.46 dS/m, debido a que estos pozos en su mayoría se encuentran ubicados en las cercanías o dentro de la quebrada Las Raíces y Baragua. En el sector sur, estas concentraciones están entre 1.06 a 1.51 dS/m.

Con respecto al tipo químico de las aguas, de los 59 pozos muestreados, sólo cuatro (4) se comportan como bicarbonatados cálcico, el resto son sufatado cálcico.

Lo cual confirma el deterioro del acuífero, ya que se está explotando a un nivel mayor de profundidad.

En base a la clasificación de las aguas, se analizaron tres métodos, Pérez Roas, 1993.

Con respecto a los parámetros de la USDA (1954), citado por Pérez Roas y Bandes (1993), se tiene que 44 pozos son C_3S_1 , 13, son C_4S_1 y 2 son C_4S_2 .

Según los parámetros de la FAO (1987), citado por Pérez Roas y Bandes (1993), existen 51 pozos que tienen restricciones de ligera a moderada; 8 pozos presentan restricción severa.

De acuerdo a Pla y Dappo (1974), todos son de muy mala calidad para cultivos sensibles, con respecto a la salinidad. Para cultivos tolerantes 18 pozos son de buena calidad y para cultivos muy tolerantes, 40 pozos son de buena calidad.

Con estos resultados se comprueba que el acuífero de Quíbor cada día que pasa se contamina y deteriora sin tener un control adecuado.

En particular, la región central, la cual representa nuestra área de estudio, de los 59 pozos analizados en todo el valle de Quíbor, 33 pozos corresponden a esta zona. La Figura 16 muestra la conductividad eléctrica en la región.

El carácter químico total de estas aguas se analizó mediante el diagrama de Piper, dando como resultado que esta agua la dureza no carbonatada (Salinidad secundaria) excede del 50% en la cual los ácidos fuertes exceden a los ácidos débiles y caen en

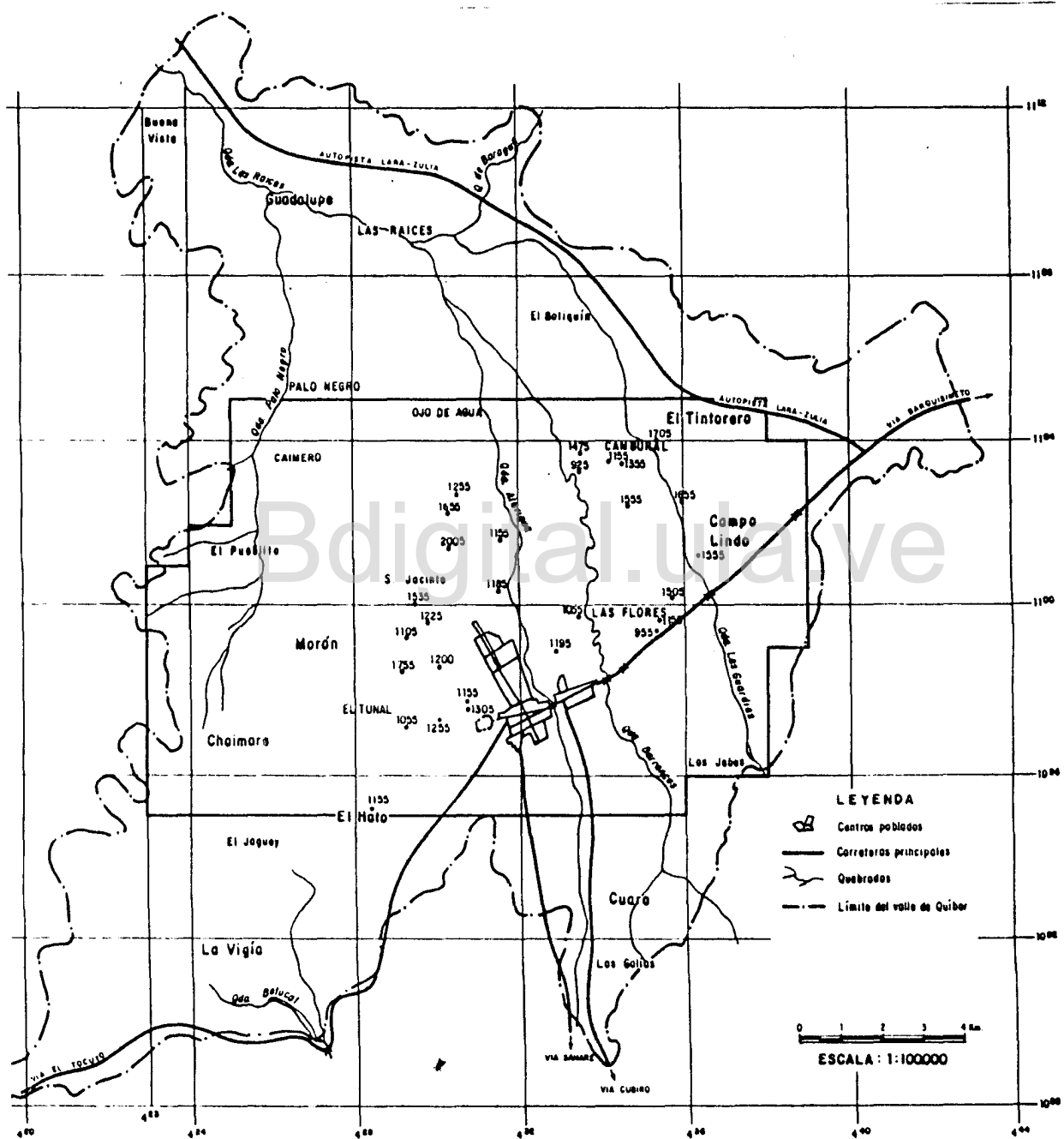


Figura 16 - Distribución de la conductividad eléctrica - Región Central, Valle de Quibor, 1992.

la clasificación en que ningún par catión-anión exceden del 50%. Las concentraciones de los cationes, Ca están en el orden de los 70 a 90% y Mg está en el orden de los 6 a 30% y las acciones de los aniones, Cl están en el orden de los 55 a 85% y SO₄ está en el orden de los 50 a 78%.

Con respecto a la calidad del agua para riego se utilizó el diagrama de Wilco, dando como resultado que en su mayoría estas aguas se clasifican como C₃S₁, correspondiente a aguas con bajo peligro de sodio y alto peligro de salinidad, excepto dos pozos cuyas aguas se clasifican como C₄S₁, con bajo peligro de sodio y muy alto peligro de salinidad. Estas aguas corresponden al tipo de agua sulfatada cálcica, en toda esta zona central del valle, con valores de conductividad eléctrica a 25°C, desde 905 a 3405 micromhos/cm. Además se utilizó el diagrama de Stiff para la representación gráfica de los diferentes pozos del área. Los resultados de estas clasificaciones se muestran en el Apéndice G.

Gradiente Hidráulico

Como consecuencia de la sobre explotación que ha experimentado el acuífero del valle de Quíbor desde el año de 1961, el régimen de circulación de las aguas ha presentado ciertas variaciones con el tiempo. Es así como para 1992, se obtienen en el sector noroeste valores del gradiente hidráulico entre 8.4×10^{-2} , 9.4×10^{-3} y 7×10^{-3} , en la serie de pozos 6171 y hacia el norte en la ubicación de los pozos de la serie 6170, se tienen valores de 2.5×10^{-2} , 2.1×10^{-3} , 1.1×10^{-2} , 2.3×10^{-2} , y 3×10^{-2} ; hacia el centro del valle, estos valores están entre 5.7×10^{-2} , 5.4×10^{-2} , 4×10^{-3} , 1.8×10^{-3} , y 8.3×10^{-3} .

En cuanto a la dirección del flujo, éste está dirigido hacia el centro del valle, en el cual se ha formado un cono de depresión hacia el noreste de la ciudad de Quíbor.

Modelo GW7

Mediante la calibración del modelo aplicado a la región central, sobre un área de 146 km², la cual está limitada geográficamente entre los 09° 54'20,25" y 09° 59'47.5" de latitud norte y los 69° 33'17.5" y los 69° 42'00" de longitud oeste, se obtuvo de acuerdo a los parámetros hidrogeológicos aceptados por el modelo, que el acuífero en este sector tiene un comportamiento de acuífero libre, con valores de transmisividad que están entre 50 m²/día hasta 3000 m²/día y coeficiente de almacenamiento de 1×10^{-2} , 3.8×10^{-2} , 9×10^{-2} y 8.4×10^{-2} , lo cual comprueba que un acuífero sobreexplotado pasa de confinado a libre con el tiempo.

La calibración se considera aceptable, la misma se realiza para un período de tiempo de 60 meses, desde febrero de 1982 hasta febrero de 1987. Se utilizaron 18 pozos para esta fase, los resultados se presentan en el Apéndice D. Con respecto a los resultados obtenidos se puede observar ciertas discrepancias en los niveles observados y simulados correspondientes a las Figuras D.3, D.6, D.7, D.11 y D.12 del Apéndice D. Las mismas pueden ser debido a la existencia de errores en las mediciones de los niveles históricos así como también a los aforos y bombeo de los pozos ubicados en esos sectores. En relación a la recarga del acuífero a través de la frontera del mismo, se ha estimado en 61500 m³/día, representando un aumento del 60.34% del flujo inicial de entreada.

Simulación del Acuífero

Para la aplicación de las políticas de explotación, fue necesario calcular el volumen de reservas permanentes, para lo cual se determinó el espesor saturado por debajo del nivel de agua de 1992 (febrero). Se tomó un 34% del volumen de espesor saturado, correspondiente a sedimentos permeables, (Alvarado, 1989) y un valor de rendimiento específico de 0.056; se calculó finalmente el valor de las reservas permanentes para 1992 de 56.9×10^6 m³ de agua, para un volumen de espesor saturado de 2987.13×10^6 m³.

Los resultados obtenidos en las distintas políticas de explotación reflejan el avance del agotamiento del acuífero, reflejado en la disminución de sus reservas permanentes y en una ligera reducción del área que contiene espesores saturados. De las seis políticas de explotación aplicadas, sólo en una, en la cual la descarga de los pozos se ha eliminado, el acuífero presenta una ligera recuperación.

A continuación se describen las seis (6) políticas de explotación a seguir:

- Período 1992-1997, para un caudal de entrada de 61500 m³/día y una descarga de los pozos de 60585 m³/día se observan abatimientos en los pozos de observación que fluctúan entre 14.18 m y 0.65 m, obteniéndose un promedio total de 4.11 m por pozo y una disminución de nivel de 0.82 m por año. Para este período el volumen total de espesor saturado para febrero de 1997 es del orden de los 2669.7×10^6 m³ en la cual se almacenan 50.83×10^6 m³ de agua como reservas permanentes, abarcando 62 km² de los 146 km² menos que para 1992.

- Período 1997-2002, tomando la misma recarga y la descarga de los pozos y partiendo de los niveles calculados en febrero de 1997, se obtienen nuevos abatimientos para el año

2002, ya para este período los niveles empiezan a tener una variación continua, en la cual los conos de depresión no se hacen presente. Para este período se obtuvo abatimientos del orden de 0.77 m hasta 6.79 m para un promedio por pozo de 3.69. El volumen de espesor saturado para febrero del 2002 es menor, por ende las reservas permanentes disminuyen.

Se calculó para esta fecha un volumen de espesor saturado de $2438,3 \times 10^6$ y unas reservas permanentes de 46.43×10^6 m³, unos 4.40×10^6 m³ menos que en febrero de 1997.

Si se continúa explotando a este ritmo, se tendrá un acuífero totalmente destruido, sin reservas de agua.

- Período 1997-2002, para este período se analizaron dos alternativas diferentes a las anteriores, primero se tomó en consideración la disminución del 50% de la descarga de los pozos de bombeo y en la otra se aumentó el 50% de la descarga de los pozos, obteniéndose los siguientes resultados:

En la primera se observa una ligera recuperación en los niveles de los pozos de observación y por ende del acuífero, lo que refleja que si se regula la explotación del acuífero, su vida útil se extenderá aún más.

Se obtuvo recuperación desde 0.06 m hasta 4.13 m en 17 pozos, sólo en uno (1) que sufre un abatimiento de 0,25 m, por lo que se tiene un promedio de recuperación por pozo de 1.75 m y 0.35 m por año.

Para esta fase se calculó el volumen de espesor saturado, el cual fue de 2788.9×10^6 m³, dando una reserva permanente de 53.10×10^6 m³ de agua para un área de 63 km².

En la segunda alternativa, en la cual se aumentó un 50% la descarga de los pozos, los abatimientos obtenidos están en el orden de 5.53 m hasta 12.86 m, dando como resultado la existencia de formación de conos de depresión, de acuerdo a esta política de explotación.

El promedio de abatimiento por pozo será de 9.38 m y 1.88 m por año. El volumen saturado para esta alternativa será de 2095.8×10^6 m³, en el cual se almacenan 39.90×10^6 m³ de agua como reserva permanente. Cubriendo un área total de 54 km² de los 146 km² en estudio.

Como se dijo anteriormente, si se mantiene un régimen de explotación sin control alguno, será evidente el agotamiento total de este acuífero.

La quinta estrategia que se ha analizado es la de cero extracción; la misma consisten en que se toma el mismo flujo de entrada, 61500 m³/día, un bombeo desde febrero de 1992 hasta diciembre del mismo año y eliminando la extracción de agua del acuífero a partir de enero de 1993 hasta diciembre de 1996. En esta fase se puede notar que el acuífero tiene una recuperación satisfactoria desde 1.32 m a 12.23 m de recuperación, dando como promedio por pozo de 6.06 m y 1.52 m por año.

El volumen del espesor saturado para esta fase es de 3331.3×10^6 m³ dando un volumen de reserva permanente de 63.43×10^6 m³, recuperándose en 6.53×10^6 m³, en relación al volumen de 1992 (56.9×10^6 m³).

La sexta y última estrategia que se analizó, fue en base a las demandas de ciertos cultivos a sembrar en el área de trabajo.

En el estudio que el CIDIAT realizó paralelamente a este trabajo "Estudio Evolutivo de la Salinidad de las Aguas Subterráneas en el Valle de Quíbor", ha dividido el valle en varias zonas, en dependencia de los tipos de suelos y cultivos aptos que se pueden sembrar.

En el área de trabajo quedan ubicados los sectores 6, 7 y 10 en los cuales se sembrarán los cultivos de periodo corto y de periodo largo. Los cultivos de periodo corto se harán en una forma rotativa, dejando cuatro meses en reposo el terreno.

Primero se ubicaron los pozos que correspondían a cada sector, se determina el caudal que cada pozo rinde y así poder calcular el hectareaaje que se puede regar en cada sector.

Sector 6

Area total 1160 ha
 Caudal de 6 pozos en 1992 = 10974 m³/día
 Area a regar según el caudal = 115 ha
 Cultivos a sembrar
 Periodo corto (rotativo) Periodo largo
 Sorgo y Soya Lechoza
 Area a regar para cultivo corto = 77 ha
 Area a regar para cultivo largo = 38 ha

Sector 7

Area total 1150 ha
 Caudal de 6 pozos en 1992 = 16397 m³/día
 Area a regar según el caudal 175 ha
 Cultivos a sembrar

Período corto (rotativo)	Período largo
Tomate y Alfalfa	Uva
Area a regar para cultivo corto	= 117 ha
Area a regar para cultivo largo	= 58 ha

Sector 10

Area total	= 1220 ha
Caudal de 11 pozos en 1992	= 33194 m ³ /día
Area a regar según el caudal	= 350 ha
Cultivos a sembrar	
Período corto (rotativo)	Período largo
Sorgo y Soya	Lechoza
Area a regar para cultivo corto	= 234 ha
Area a regar para cultivo largo	= 116 ha

Las demandas de los diferentes cultivos se presentan en el Apéndice H. Esta fase se realiza para un periodo de 5 años.

Una vez simulada esta estrategia se obtiene que de los 18 pozos que se han utilizado para la simulación, 8 presentan pequeñas recuperaciones que oscilan entre 0.78 a 3.58 m y 10 pozos presentan descensos en sus niveles que van desde 0.46 a 12.63 m de abatimiento, en términos generales se tiene como promedio por pozo una disminución en los niveles de 1.70 m y de 0.34 m por año. El volumen de espesor saturado para finales de 1986 es de $2800.8 \times 10^6 \text{ m}^3$ el cual almacenaría como reserva permanente un volumen de $53.33 \times 10^6 \text{ m}^3$ de agua por debajo del volumen que se determinó para febrero de 1992. A consecuencia de estos, es necesario entonces disminuir el hectareaaje a regar para lograr un equilibrio en el acuífero y así una recuperación del mismo paulatinamente.

Los resultados de esta fase son presentados en el Apéndice F.

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se concluye:

- A consecuencia de la sobreexplotación indiscriminada que se ha venido realizando desde 1963 hasta la fecha, los niveles de agua han experimentado un descenso gradual irreversible, lo que ha ocasionado un desastre sin precedente en la conservación del recurso natural (acuífero), afectando, así, la calidad del agua en su totalidad, tanto para el consumo humano como para riego.

- Para 1992, a diferencia de 1987 se observa un solo cono de depresión sobre la parte central del valle, debido a que esta zona es la de mayor sobreexplotación y en la cual se encuentran la mayoría de los pozos productores y de mayor profundidad.

- La diferencia de las fluctuaciones de los niveles, analizando los datos obtenidos en 1986, 1987 y los obtenidos en 1992, está en el orden de los 0.5 m hasta 18.5 m. Durante este período el descenso registrado en la totalidad del Valle de Quibor corresponde a 0.5 m hasta 5 m por año.

- Mediante la realización de las pruebas de bombeo, los parámetros hidrogeológicos obtenidos en cuanto a la transmisividad corresponde a 429.9 m²/día en el sector noroeste y a 125.1 m²/día en el sector Sur. Con respecto al coeficiente de almacenamiento, los resultados indican 5.8×10^{-3} en el sector noroeste y 2.98×10^{-3} en el sector Sur; y en ambas regiones, el tipo de acuífero es semi-confinado.

- La producción de agua de los 52 pozos aforados en mayo de 1992 fue de 868.3 l/s, o sea 75019.4 m³/día, dando como promedio por pozo una descarga de 16.38 l/s y una producción anual, estimada de 27.4×10^6 m³.

- En cuanto a la calidad del agua subterránea se concluye que la presencia del alto contenido de sales en éstas, es cada día mayor, a consecuencia del deterioro de las características naturales del acuífero. Las concentraciones salinas en todo el valle en 1992 varían desde 0.86 dS/m hasta 5.46 dS/m. El tipo químico detectado en 55 de los 59 pozos analizados corresponde a sulfatado-cálcico, y en los 4 restantes a bicarbonatados-cálcicos.

- Con respecto al carácter químico de las aguas en la región central, la dureza no carbonatada excede del 50%. La concentración de cationes de calcio se da en el orden de los 70 a 90%, y los de magnesio están de 6 a 30%. En cambio, las concentraciones de los aniones Cl^- están en el orden de los 55 a 85% y las de sodio del 50 al 78%.

- Para riego, las aguas en esta zona se clasifican como C_3S_1 , lo cual implica bajo peligro de sodio y alto peligro de salinidad; con excepción en 2 de los pozos que corresponden a C_4S_1 , o sea bajo peligro de sodio y muy alto peligro de salinidad. En su totalidad las aguas son sulfatadas cálcicas; cuyos valores de conductividad eléctrica para 25° oscilan desde 905 a 3405 micromhos/cm.

- La dirección del flujo está orientada hacia el centro del valle, donde se ha originado el cono de depresión; dándose oscilaciones muy significativas en cuanto a los valores del gradiente hidráulico.

- Mediante la calibración del modelo en esta región, sobre un área de 146 km^2 , se obtuvieron resultados aceptables, dando una diferencia promedio entre los niveles observados y los simulados de 0.94 m por pozo en 5 años. En el proceso de verificación la diferencia promedio es de 1.2 m por pozo en 5 años.

- Los parámetros hidrogeológicos calibrados confirman que el acuífero en esta región ha cambiado de confinado a libre; debido a la sobreexplotación a que ha sido sometido el mismo, obteniéndose valores de transmisividad desde 50 a 3000 $\text{m}^2/\text{día}$, con promedio de 964.9 $\text{m}^2/\text{día}$ y valores del coeficiente de almacenamiento desde 1×10^{-2} a 9×10^{-2} , con promedio de 0.056, como se demuestra en la Figura 14 y 15.

- En la calibración del modelo la recarga del acuífero corresponde a 61500 $\text{m}^3/\text{día}$, o sea $22.45 \times 10^6 \text{ m}^3$ al año; en cambio matemáticamente la recarga es de 60986 $\text{m}^3/\text{día}$, o sea $22.25 \times 10^6 \text{ m}^3$ al año, dando una diferencia de 513.7 $\text{m}^3/\text{día}$.

- El volumen de agua extraído de la reservas permanentes durante el periodo de febrero de 1987 a febrero de 1992 es de $8.41 \times 10^6 \text{ m}^3$, con un promedio anual de $1.68 \times 10^6 \text{ m}^3$. A consecuencia de ello las reservas permanentes, están en el orden de los $56.9 \times 10^6 \text{ m}^3$, para un volumen de espesor saturado de $2987.13 \times 10^6 \text{ m}^3$, tomando en cuenta que el rendimiento específico es de 0.056.

- Los resultados obtenidos en las distintas políticas de explotación reflejan el avance del agotamiento del acuífero,

debido a la disminución del área con espesores saturados. De las 6 estrategias presentadas, sólo una refleja la recuperación gradual del acuífero, la cual consiste en dejar de explotarlo durante 4 años.

- Con respecto a la aplicación de las demandas de los cultivos que se pueden practicar en la zona de estudio, tomando en cuenta el área a regar, según la descarga de los pozos, el acuífero, aún así presenta descensos en los niveles en el orden de los 1.70 m y de 0.34 m por año.

- El agotamiento definitivo del acuífero se hace evidente, debido a la reducción de los espesores saturados, durante cada año transcurrido.

Recomendaciones

En base a los estudios realizados presentamos un compendio de las recomendaciones de mayor relevancia en pro de la recuperación del acuífero del Valle de Quíbor.

- Desarrollar un plan educativo para concientizar a los propietarios de haciendas, quienes representan el factor principal en la destrucción del recurso natural, la misma puede darse de forma directa e indirecta.

- Se recomienda la implementación de aforos en las diferentes quebradas que atraviesan este valle durante los tiempos de lluvia, lo cual permitirá determinar la recarga real del acuífero.

- Las mediciones de los niveles debe realizarse todos los meses y no sólo cuando se necesita hacer trabajos en la zona, así como el aforo de los pozos cada trimestre.

- Para determinar las características hidrogeológicas en esta zona es necesario la realización de pruebas de bombeo, cuyo requisito mínimo será el conocimiento de las profundidades de los pozos, tanto de observaciones como de bombeo.

- Disminuir el tiempo de bombeo por pozo, sujeto a la demanda por cultivo y así evitar el descenso acelerado de los niveles.

- El análisis de la calidad del agua debe realizarse en base a controles permanentes.

- Aplicar los mecanismos necesarios para recargar artificialmente el acuífero.

- Disminuir el área de cultivos y realizar prácticas de cultivos rotativos, tomando en consideración el tipo y las características de los suelos, para lograr disminuir la agresividad de las sales en el agua.

- Completar los estudios geológicos y geofísicos, tanto en la parte norte como en el sector sur del valle, para determinar con mejor precisión la base impermeable del acuífero.

- Debido a que, en el valle de Quíbor se presentan tres unidades acuíferas diferentes (norte, centro y sur), es necesario aplicar un modelo matemático tridimensional que permita simular el acuífero con la incorporación de nuevas políticas de explotación; para lo cual es indispensable una información detallada de las características hidrogeológicas y de litología del valle.

- Implementar a nivel nacional una legislación en el uso de las aguas subterráneas; y a nivel regional se hace necesario con carácter de urgencia una reglamentación jurídica que prohíba la perforación de pozos en el Valle de Quíbor.

- A través del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables implementar medidas para la recuperación del acuífero del Valle de Quíbor como un recurso natural de singular importancia en el agro de esta región.

BIBLIOGRAFIA

- Aguasuelos-Ingeniería, 1982. Actualización y zonificación de los acuíferos del valle de Quíbor. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, zona administrativa No. 3, Barquisimeto, Venezuela.
- Aguilera, L., y Padilla D., 1963. Estudio del agua subterránea en el valle de Quíbor, Distrito Jiménez, Estado Lara, Venezuela.
- Alvarado, J., 1989. Estudio del sistema hidrogeológico del valle de Quíbor. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Caracas.
- Alvarez Fernández, C., et al, 1976. Modelos en hidrología subterránea, p. 1570-1666. En Hidrología Subterránea de Custodio y Llamas, 1976. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España.
- Amisial, R., y Jégat, H., 1976. Aprovechamiento y modelos de aguas subterráneas, Banco de Programas, CIDIAT, Mérida, Venezuela.
- Amisial, R., 1980. Planificación del agua subterránea para riego en Venezuela. Primer informe de avance, CIDIAT, Mérida, Venezuela.
- Ayers, R. S., y Westcot, D. W., 1987. La calidad del agua en la agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO, Roma.
- Baldwin, H. y McGuinness, 1966. Fundamentos sobre aguas subterráneas. Centro regional de ayuda técnica, Agencia para el desarrollo internacional (A.I.D.), México.
- Bear, J. and Vernuijt, A., 1987. Modeling Ground-Water flow and Pollution. Published by P.Reidel Publishing Company, P.O. Box 17, 3300 AA Dordrecht, Holland.
- Blavia, F. y Florido, J., 1973. Caracterización física y evaluación de las prácticas de riego en suelos de la depresión de Quíbor, Estado Lara. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Recursos Hidráulicos, Barquisimeto, Venezuela.
- Cabrera, V., 1980. Estimación del agua subterránea y política de explotación para la cuenca alta y media del río Portuguesa. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae en la opción de Riego y Drenaje. CIDIAT, Mérida, Venezuela.

BIBLIOGRAFIA (Continuación)

- Carvajal, W., 1980. Estado actual del acuífero del valle de Quíbor. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Barquisimeto, Venezuela.
- Carrasco, J., 1982. Estrategia de explotación del agua subterránea en el Valle de Quíbor, Estado Lara. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae en Riego y Drenaje, CIDIAT, Mérida, Venezuela.
- Castany, G., 1971. Tratado práctico de las aguas subterráneas, Ediciones Omega, S. A. Casanova, 220, Barcelona, España.
- Corpooccidente-FUDECO, 1978. Bases para el diseño del Sistema Yacambú-Quíbor, Barquisimeto, Venezuela.
- Custodio, E., y Llamas, R. 1976. Hidrología subterránea. Primera edición, Ediciones Omega, S. A. Casanova, Barcelona, España.
- Factor, A., 1971. Investigaciones hidrogeológicas, X Curso breve interamericano, Mérida, Venezuela, Mayo 03 al 1° de julio.
-
- . Notas generales sobre aguas subterráneas, pruebas de bombeo, Aforos. X curso breve interamericano, Mérida, Venezuela, Mayo 03 al 1° de julio.
- Foster, S., y Hirata, R., 1988. Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, CEPIS, Lima, Perú.
- Freile, A., 1961. Un procedimiento gráfico para la interpretación geoquímica del agua subterránea del Valle de Caracas. Memoria del Tercer Congreso Geológico Venezolano, tomo IV, pág. 1720. Boletín de Geología, publicación especial No. 3, Editoria Sucre, Caracas, Venezuela.
- Fundación para el Desarrollo de la Región Centro Occidental de Venezuela, (FUDECO), 1968. Inventario de los recursos hidráulicos en la región centro occidental. Barquisimeto, Venezuela.
- Fundación para el Desarrollo de la Región Centro Occidental de Venezuela, (FUDECO), 1969. Aprovechamiento hidráulico del Valle de Quíbor, Barquisimeto, Venezuela.

BIBLIOGRAFIA (Continuación)

- Fundación para el Desarrollo de la Región Centro Occidental de Venezuela, (FUDECO), 1972. Proyecto Yacambú. Estudio de factibilidad. Barquisimeto, Venezuela.
- Fundación para el Desarrollo de la Región Centro Occidental de Venezuela (FUDECO, 1978). Bases para el diseño del sistema Yacambú-Quíbor. Barquisimeto, Venezuela.
- García, M., 1976. Estimación de escorrentía en cuencas pequeñas mediante un modelo de simulación hidrológica. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae en Riego y Drenaje, CIDIAT, Mérida, Venezuela.
- Glover, R, E., 1973. Ground-Water Monement United States Department of the Interior, Burcau of Reclamation. Third printing.
- González, O., 1980. Estimación y explotación del recurso hídrico subterráneo del distrito Torres, Estado Lara. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae en Riego y Drenaje. CIDIAT, Mérida, Venezuela.
- Hernández, J., y Hrgetic, P., 1978. Estudio morfométrico del Valle de Quíbor. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Caracas, Venezuela.
- Jégat, H., 1978. Simulación de flujos permanentes en medio poroso por el método de los elementos finitos. Serie hidrología, trabajo de investigación, proyecto banco de programas, No. H-16, CIDIAT, Mérida, Venezuela.
- Johnson, E., 1975. El agua subterránea y los pozos. Saint Paul, Minnesota 55165.
- Karanjac, J., 1992. Basics of Groundwater Modelling for Managment. Golder Associates Inc., Atlanta, USA.
- Mc Donald, M. y Harbaugh, A., 1969. A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow moder. Reston, Virginia.
- Morgan, S.E., 1973. Computer simulation of charge in Groundwater elevation. Utah State University, Dept. of Agricultural Engineering Logan, Utah.
- Mujeriego, R., 1990. Criterios de calidad de agua de riego, Cap. III. Riego en agua residual municipal regenerado. Manual práctico. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España.

BIBLIOGRAFIA (Continuación)

- Manduráin, N., y De Ferrer, N., 1978. Informe sobre el agua subterránea en el Valle de Quibor. Barquisimeto, Venezuela.
- OTHEA, 1968. Estudio preliminar de las aguas del río Yacambú para riego del valle de Quibor. FUDECO. Barquisimeto, Venezuela.
- Pérez, R., y Bandes, L. 1993. Estudio evolutivo de la salinidad y medidas de conservación en el acuífero de Quibor, Estado Lara. Convenio CIDIAT-Fundación Polar, Mérida, Venezuela.
- Pinder, G. y Bredehoeft, J., 1968. Application of the digital computer for aquifer evaluation. Water resources research, Vol. IV, No. 5, pág. 1069-1092.
- , 1970. An iterative digital model for aquifer evaluation.
- Pla Sentis, I., y Dappo, F., 1974. Sistema racional para la evaluación de calidad de aguas para riego. Fundación para el desarrollo de la región centro occidental de Venezuela, Barquisimeto, Venezuela.
- Pla Sentis, I., 1983. Sistema integrado agua-cultivo-suelo-manejo, para evaluar la calidad de agua para riego. Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela.
- Rodríguez, M., 1986. Simulación del comportamiento del acuífero de la cuenca baja del río Motatán, bajo diferentes políticas de explotación. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae en Obras Hidráulicas. CIDIAT, Mérida, Venezuela.
- República de Venezuela, Comisión del Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos, 1970. Recursos de agua subterránea en Venezuela. Publicación No. 30, Diciembre.
- Secretaría de los recursos hidráulicos, subsecretaría de operación, 1975. La salinización del suelo y del agua subterránea, bajo una agricultura de riego diversificado. Memorandum técnico No. 338, México, D. F., Febrero.

BIBLIOGRAFIA (Continuación)

Tahal (Water Planning) LTD, 1968. Balance hidrológico preliminar del Valle de Quíbor y propuesta para investigaciones adicionales, Barquisimeto, Venezuela.

Tecnoconsult S.R.L., 1969. Aprovechamiento de las aguas del río Yacambú para riego del valle de Quíbor. Posibilidad de una solución en base a bombeo. Barquisimeto, Venezuela.

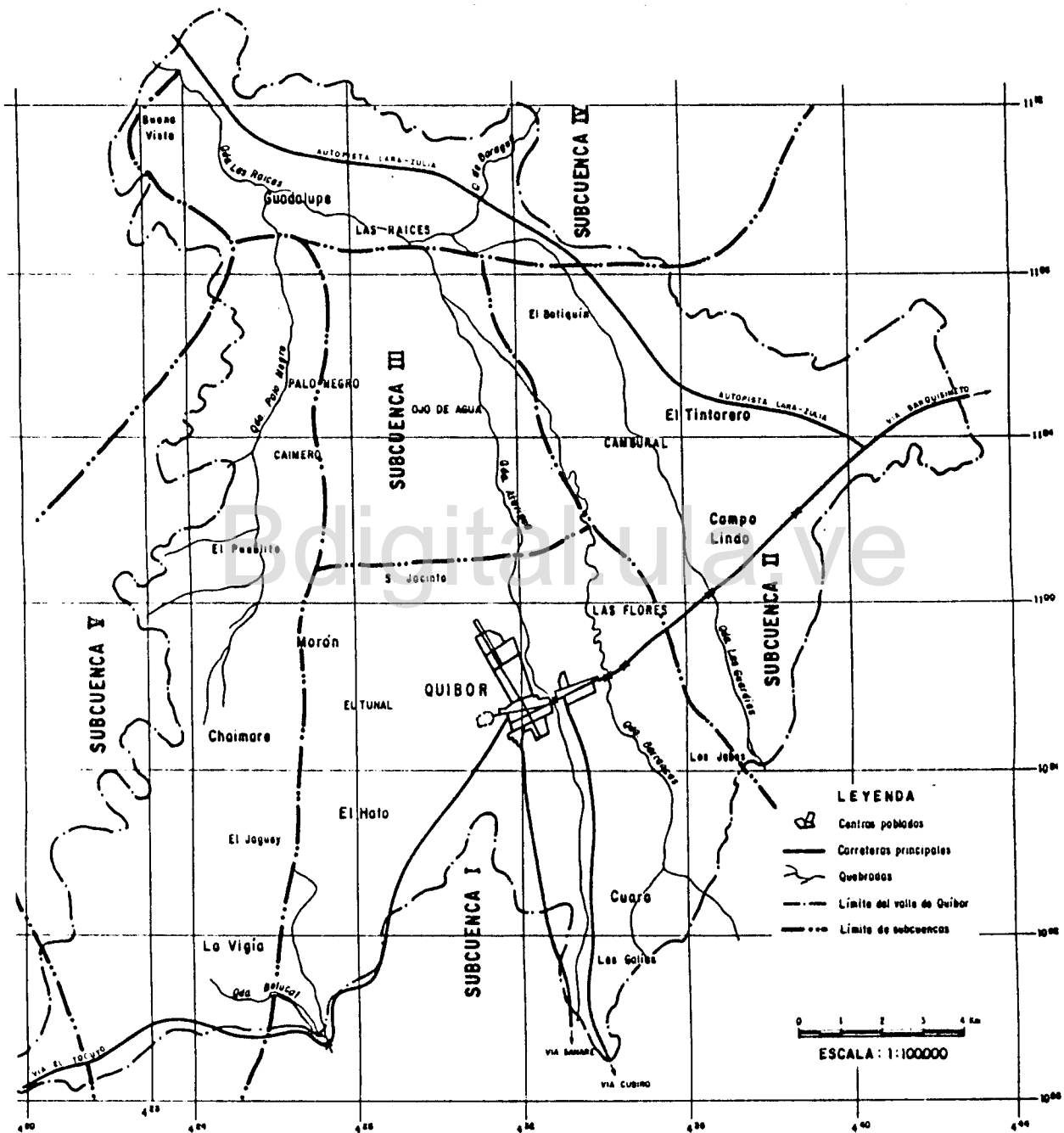
United Nations, Department of Technical Cooperation for Development Division of Natural Resources and Energy Water Resources Branch. User's Manual, 1989. Ground Water Software Part one Data Bases and utilities and Part two Mathematical Models.

Vignati, A., 1987. Aplicación del modelo "Simulaci" para el cálculo de la recarga directa al acuífero del Valle de Quíbor. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Barquisimeto, Venezuela.

Zinch, A. y Suárez, C., 1970. Depresión de Quíbor, Estado Lara. Estudio Edafológico y de clasificación de tierras con fines de riego semidetallado, informe de avance. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Obras Hidráulicas, Barquisimeto, Venezuela.

A P E N D I C E A

**DIVISION DE LA CUENCA DE QUIBOR, CALIDAD DE
AGUA DE POZOS, EN EL VALLE DE QUIBOR,
RESULTADOS DE LABORATORIO (1974, 1981, 1982)**



A.1 - División de la cuenca de Quibor en 5 Subcuencas.
Fuente: Aguilera y Padilla, 1963

Tabla A.1. Calidad de aguas de pozos en el Valle de Quíbor, resultados de Laboratorio (1974)

Pozo N°	C.E.x10 ⁶	pH	(p.p.m)	B							
				Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	SO ₄	Cl
meq/l											
6070-06	877	7,60	0,00	6,4	2,3	0,65	0,02	0,0	4,40	4,2	0,8
6170-11	1795	7,68	0,01	11,2	5,0	2,61	0,04	0,0	4,50	12,9	1,5
6171-03	1970	7,45	0,00	12,0	5,2	3,22	0,04	0,0	8,00	9,7	2,8
6070-98	978	7,12	0,00	7,0	2,2	0,48	0,02	0,5	4,20	4,6	0,9
6070-51	720	7,72	0,00	5,0	1,8	0,75	0,03	0,0	4,10	2,9	0,0
6170-21	1715	7,50	0,00	10,7	5,2	2,44	0,04	0,0	7,80	8,5	2,1
6171-05	1489	7,79	0,00	9,0	4,0	2,18	0,03	0,0	6,50	7,0	1,7
6170-16	2762	7,60	0,02	18,5	4,3	5,62	0,04	0,0	5,20	18,3	5,0
6070-17	869	7,50	0,00	7,0	1,6	0,22	0,02	0,0	4,20	4,3	0,3
6170-14	1545	7,32	0,02	11,8	2,5	0,91	0,05	0,0	6,70	6,6	2,0
6070-29	860	7,51	0,00	5,9	2,5	0,45	0,03	0,0	4,00	4,5	0,4
6070-78	1340	7,40	0,01	9,5	3,0	1,13	0,05	0,0	5,50	6,6	1,6
6070-36	1102	7,70	0,00	7,7	3,0	0,78	0,03	0,0	4,30	6,7	0,5
6070-40	944	7,77	0,00	6,4	2,6	0,61	0,02	0,0	5,00	4,2	0,4
6170-10	1052	7,51	0,01	6,5	2,7	1,13	0,04	0,0	4,90	4,8	0,7
6070-31	750	7,52	0,00	5,0	2,3	0,52	0,02	0,5	4,60	2,8	0,4
6070-26	737	7,79	0,00	5,0	2,0	0,61	0,03	0,0	4,40	2,8	0,4
6070-16	822	7,48	0,01	6,0	2,2	0,26	0,02	0,0	3,70	4,6	0,2
6070-41	695	7,70	0,00	5,0	1,8	0,35	0,02	0,0	3,50	3,3	0,3
6170-02	1008	7,65	0,01	7,0	2,4	0,78	0,04	0,0	4,50	5,2	0,5
6170-13	1321	6,82	0,02	9,5	3,2	0,80	0,03	0,0	5,70	7,0	0,8
6070-22	1315	7,70	0,00	10,0	2,0	1,26	0,05	0,0	5,50	6,8	1,0
6070-77	775	7,71	0,00	5,2	2,2	0,61	0,02	0,0	4,30	3,2	0,5
6170-08	888	7,70	0,00	6,0	2,3	0,70	0,02	0,0	3,90	4,6	0,5
6070-75	943	7,62	0,00	6,8	2,4	0,59	0,03	0,0	4,50	4,7	0,6
6070-66	831	7,70	0,00	6,2	2,2	0,44	0,02	0,0	4,40	4,1	0,4
6070-25	800	7,65	0,00	5,4	2,0	0,78	0,02	0,0	4,80	3,0	0,4
6170-06	868	7,83	0,00	7,0	1,2	0,70	0,03	0,0	3,70	4,7	0,5
6070-27	942	7,70	0,00	5,9	2,8	0,96	0,03	0,0	4,90	4,2	0,6
6070-38	1000	7,75	0,01	7,4	3,0	0,87	0,02	0,0	4,50	6,3	0,5
6070-18	772	7,80	0,00	5,0	2,4	0,45	0,02	0,0	3,70	4,0	0,2
6070-28	822	7,75	0,00	4,6	2,9	0,74	0,02	0,0	4,00	3,8	0,5
6070-30	770	7,60	0,00	5,0	2,0	0,80	0,04	0,0	4,20	3,0	0,6
6070-93	1172	7,60	0,00	8,2	3,0	0,96	0,03	0,0	4,80	6,7	0,7
6070-19	772	7,77	0,00	5,7	1,8	0,44	0,02	0,0	3,60	4,1	0,3
6070-25	801	7,20	0,00	6,0	1,2	0,90	0,04	0,0	4,10	3,5	0,5

Tabla A.2. Calidad fisicoquímica del agua, Valle de Quibor
(1981-82)

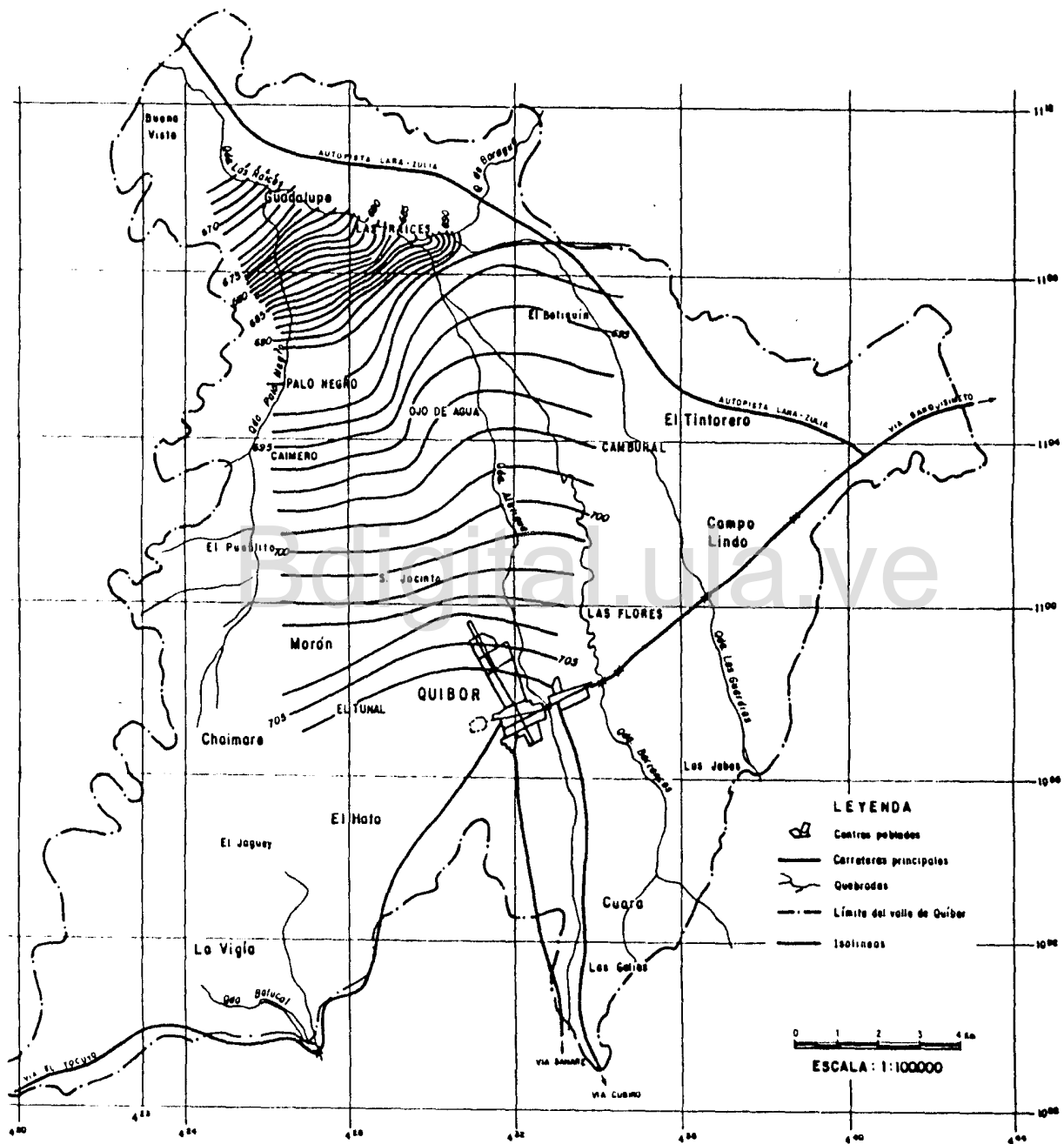
No. Pozo	TSD ppm	pH	Dureza CaCO ₃ ppm	Indice Langelier	Clasificación
LA607002A	722	7.5	464	0.40	C ₃ S ₁
LA607013A	717	7.0	410	--	C ₃ S ₁
LA607014A	587	7.0	385	0.00	C ₂ S ₁
LA607016A	683	7.2	458	0.30	C ₃ S ₁
LA607017A	635	7.2	420	0.30	C ₃ S ₁
LA607018A	737	7.5	424	0.40	C ₂ S ₁
LA607019A	614	7.2	410	-0.10	C ₂ S ₁
LA607021A	875	6.9	590	-0.10	C ₃ S ₁
LA607024A	659	7.0	428	2.20	C ₃ S ₁
LA607027A	701	7.0	460	-0.10	C ₃ S ₁
LA607028A	688	7.1	456	0.00	C ₃ S ₁
LA607029A	769	7.1	514	0.00	C ₃ S ₁
LA607030A	647	7.2	446	0.00	C ₃ S ₁
LA607031A	727	2.2	464	0.10	C ₃ S ₁
LA607033A	270	7.8	476	0.80	C ₃ S ₁
LA607035A	751	7.0	594	0.00	C ₃ S ₁
LA607037A	928	7.8	600	1.30	C ₃ S ₁
LA607038A	934	7.8	604	1.30	C ₃ S ₁
LA607039A	785	7.0	502	-0.10	C ₃ S ₁
LA607040A	783	7.3	504	0.20	C ₃ S ₁
LA607042A	762	7.1	488	-0.10	C ₃ S ₁
LA607044A	484	7.6	392	0.50	C ₃ S ₁
LA607051A	606	7.8	392	0.50	C ₃ S ₁
LA607053A	1070	7.0	688	0.00	C ₃ S ₁
LA607054A	1024	7.1	666	0.10	C ₂ S ₁
LA607055A	1045	6.9	676	-0.10	C ₃ S ₁
LA607056A	1007	6.9	640	-0.10	C ₃ S ₁

Tabla A.2. Calidad físico-química del agua, Valle de Quíbor
(1981-1982) (Continuación)

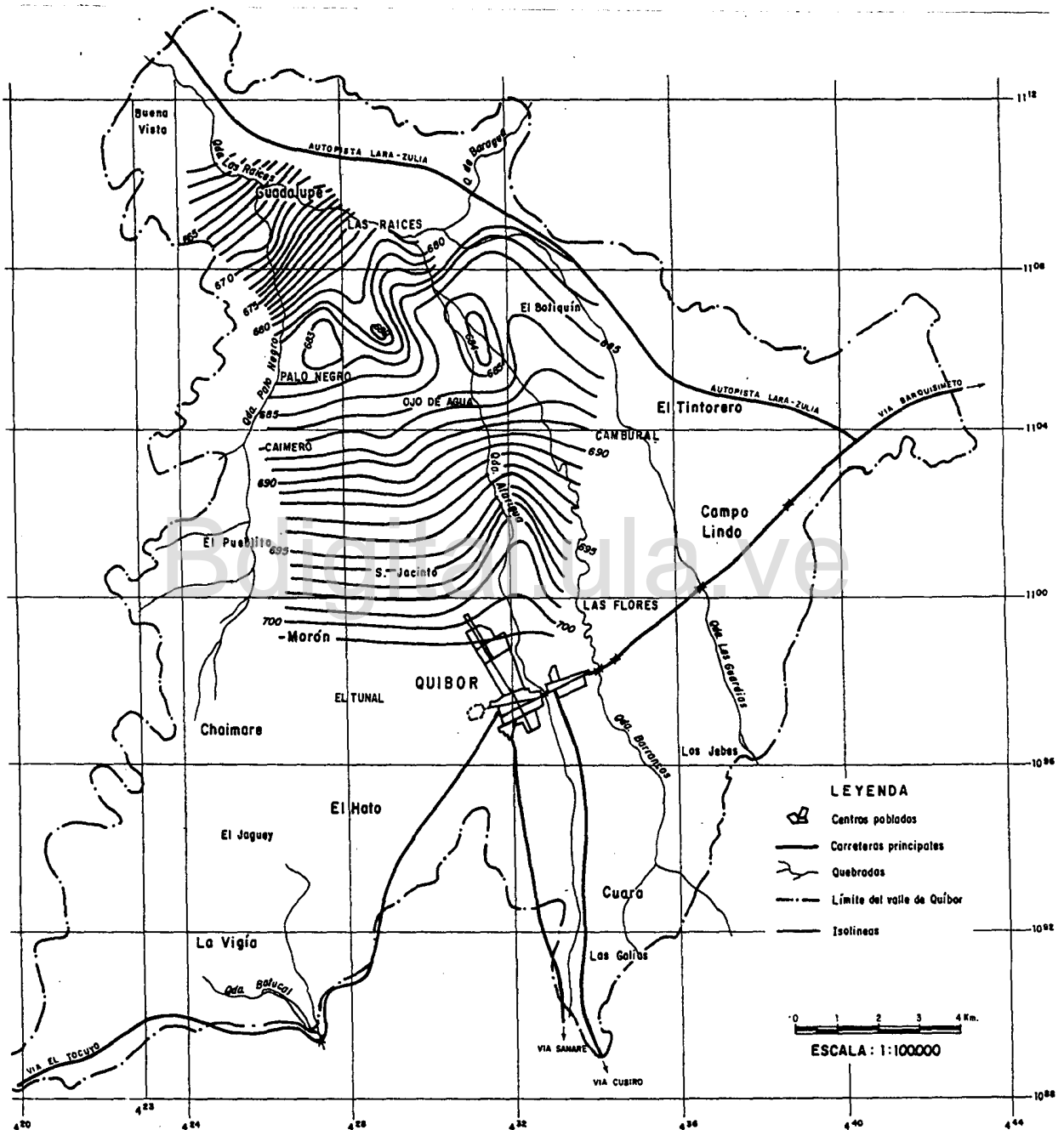
No. Pozo	TSD ppm	pH	Dureza $C_a CO_3$ ppm	Indice Langelier	Clasificación
LA607059A	911	7.3	610	0.20	$C_3 S_1$
LA607075A	726	7.4	446	0.20	$C_3 S_1$
LA607078A	749	7.4	474	0.30	$C_3 S_1$
LA607081A	838	7.0	540	0.10	$C_3 S_1$
LA607085A	759	7.1	488	0.00	$C_3 S_1$
LA617005A	2440	7.6	1000	1.30	$C_3 S_1$
LA617006A	682	7.0	450	0.10	$C_4 S_2$
LA617013A	1001	5.9	623	0.90	$C_3 S_1$
LA617014A	1458	6.6	980	0.20	$C_3 S_1$
LA617015A	1160	6.9	780	0.20	$C_3 S_1$
LA617016A	2832	6.8	1424	0.20	$C_4 S_2$
LA617017A	5075	7.8	2200	1.50	$C_4 S_2$
LA617018A	2019	7.4	1240	0.90	$C_3 S_1$
LA617021A	1625	7.7	1060	0.90	$C_3 S_1$
LA617103A	1649	7.2	1050	0.50	$C_3 S_1$
LA617106A	1065	7.1	686	0.10	$C_3 S_1$
LA617117A	1517	7.3	880	--	$C_3 S_1$
LA617114A	1236	7.4	820	0.60	$C_3 S_1$

A P E N D I C E B

**VARIACIONES DE NIVELES Y CAUDALES EN
EL VALLE DE QUIBOR**

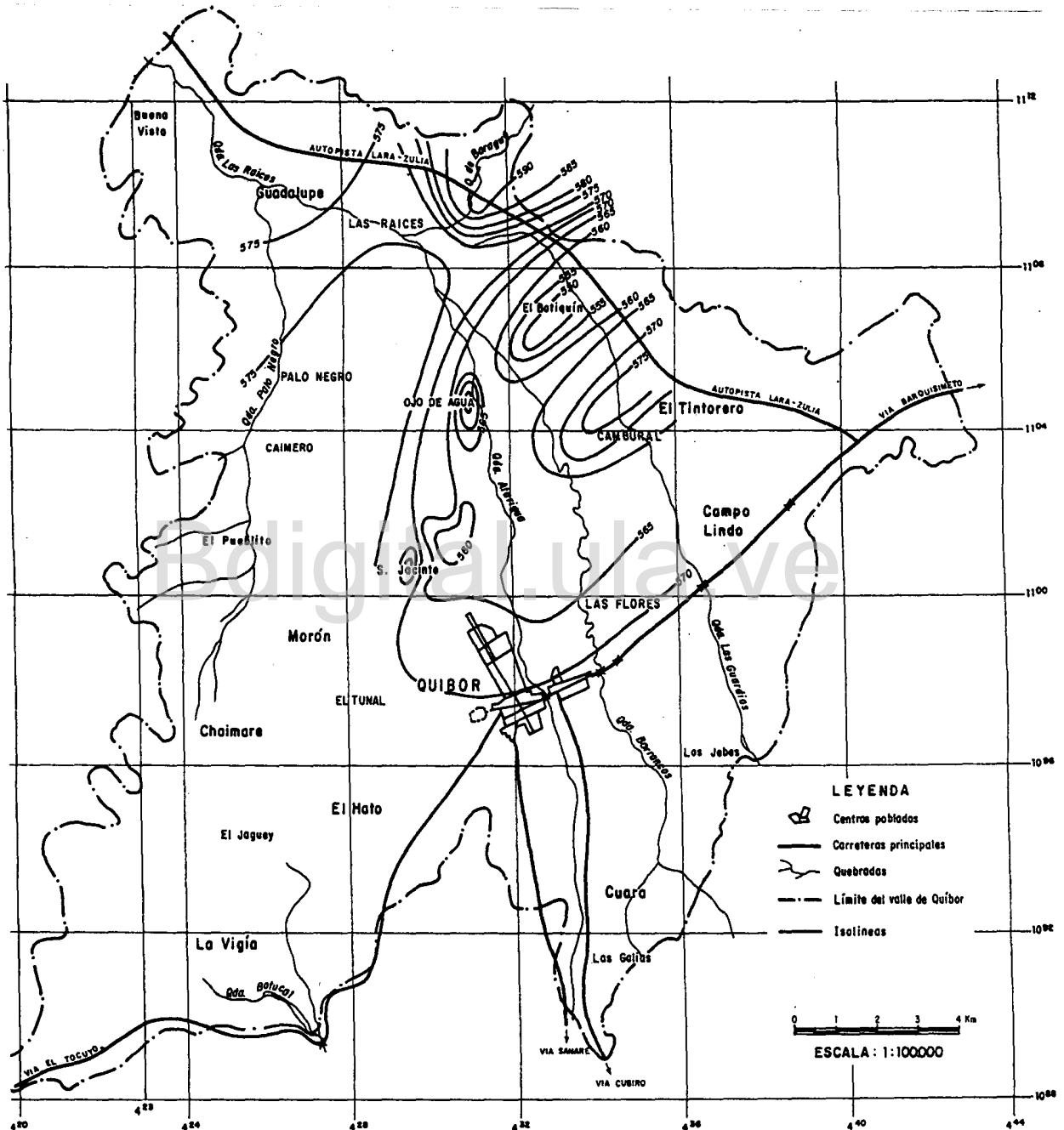


B.1.- Nivel de agua subterránea en el Valle de Quibor, 1962.
Fuente: Aguasuelo Ingeniería.

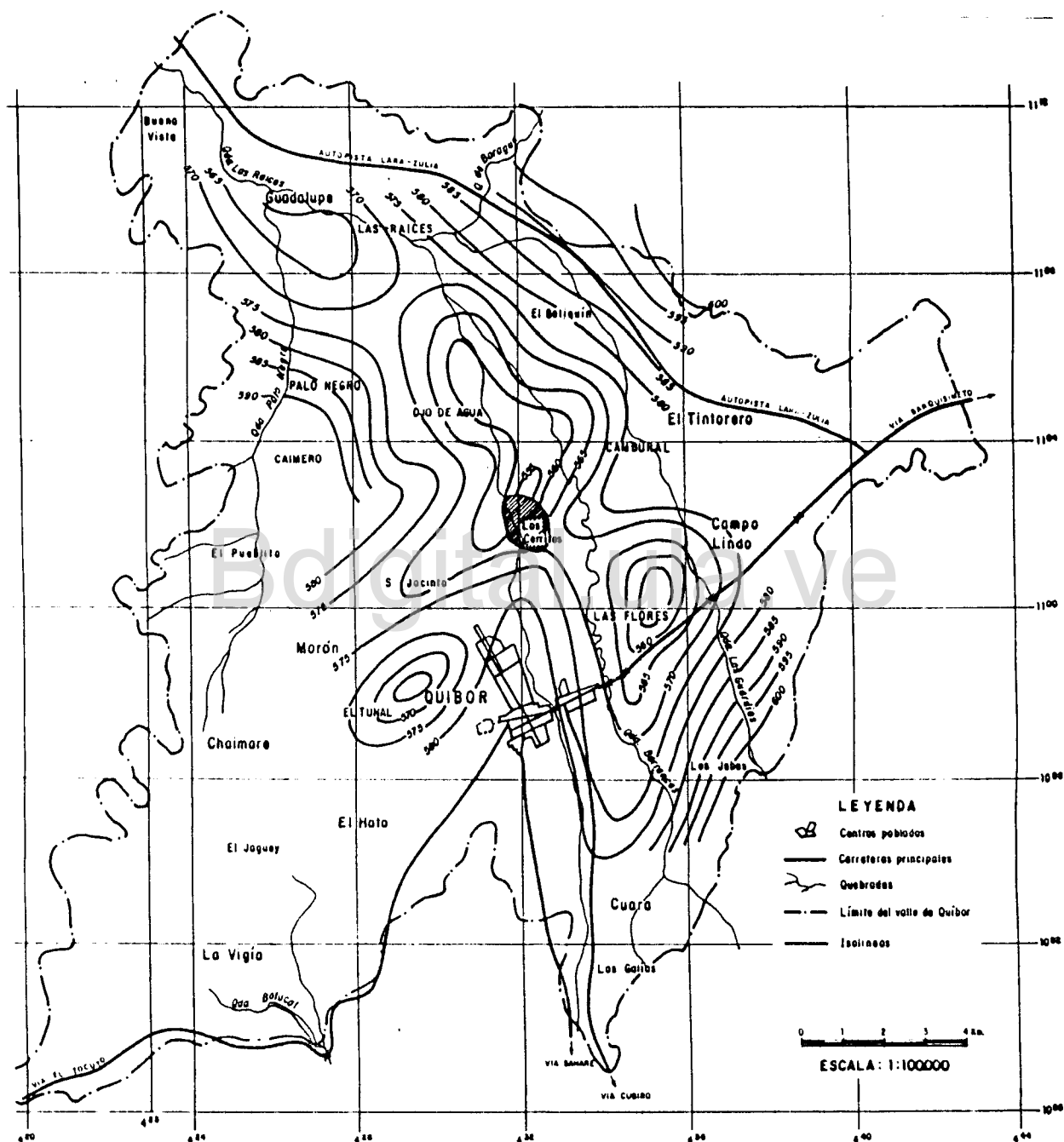


B.2.- Nivel de agua subterránea en el Valle de Quibor, 1965
Fuente: Aguasuelo Ingeniería.



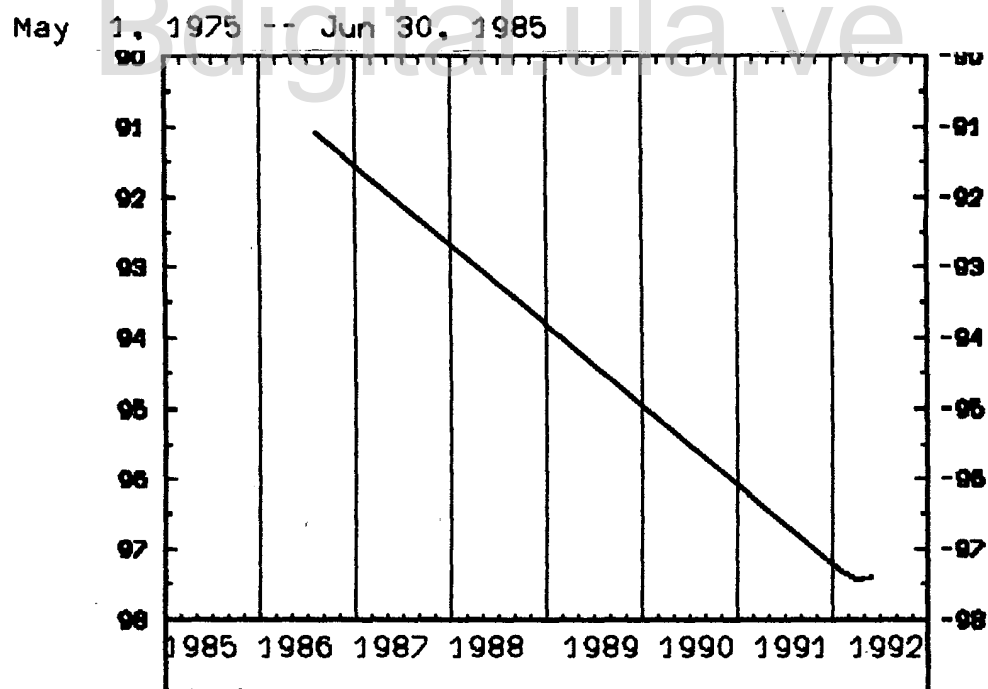
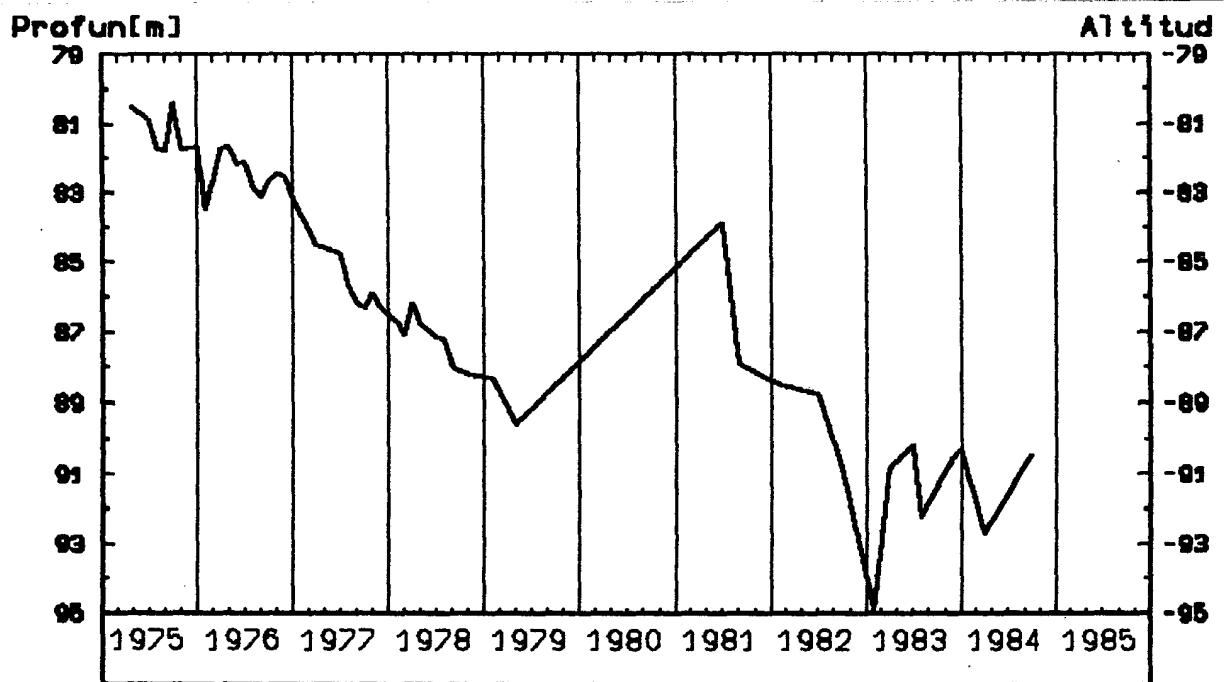


B.4 - Nivel de agua subterránea en el Valle de Quibor, 1981
Fuente: Aguasuelo Ingeniería.



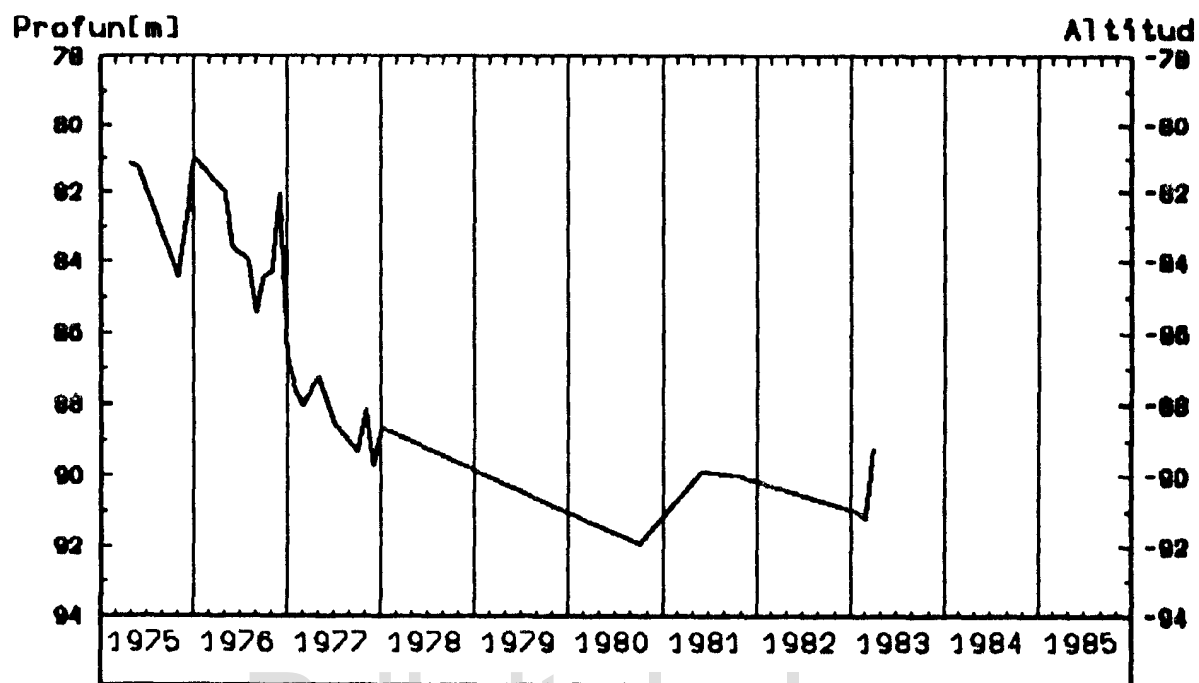
B.5.- Niveles de agua subterránea, 1987

Fuente: Alvarado, 1989.

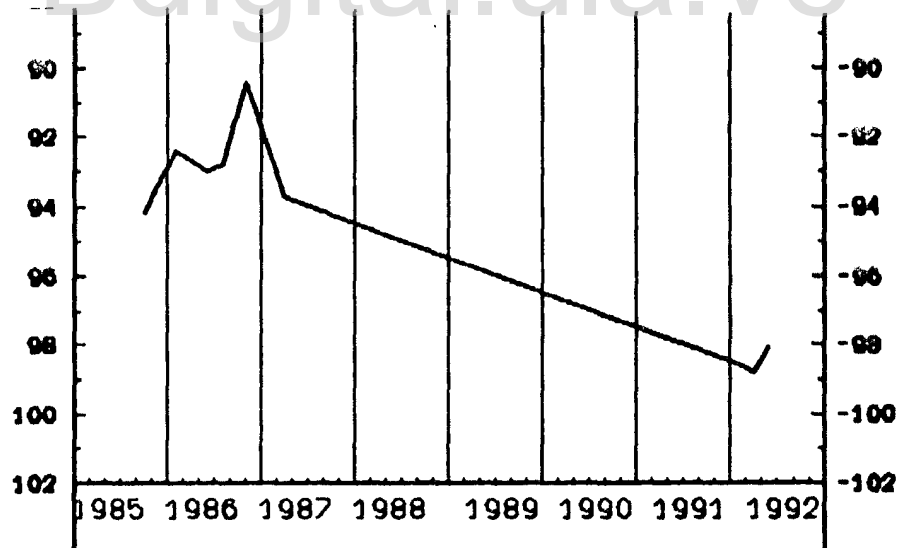


Jul 1, 1985 -- Jun 30, 1992

Figura B.6. Variación del nivel de agua subterránea en el pozo 607014, 1975-1992.

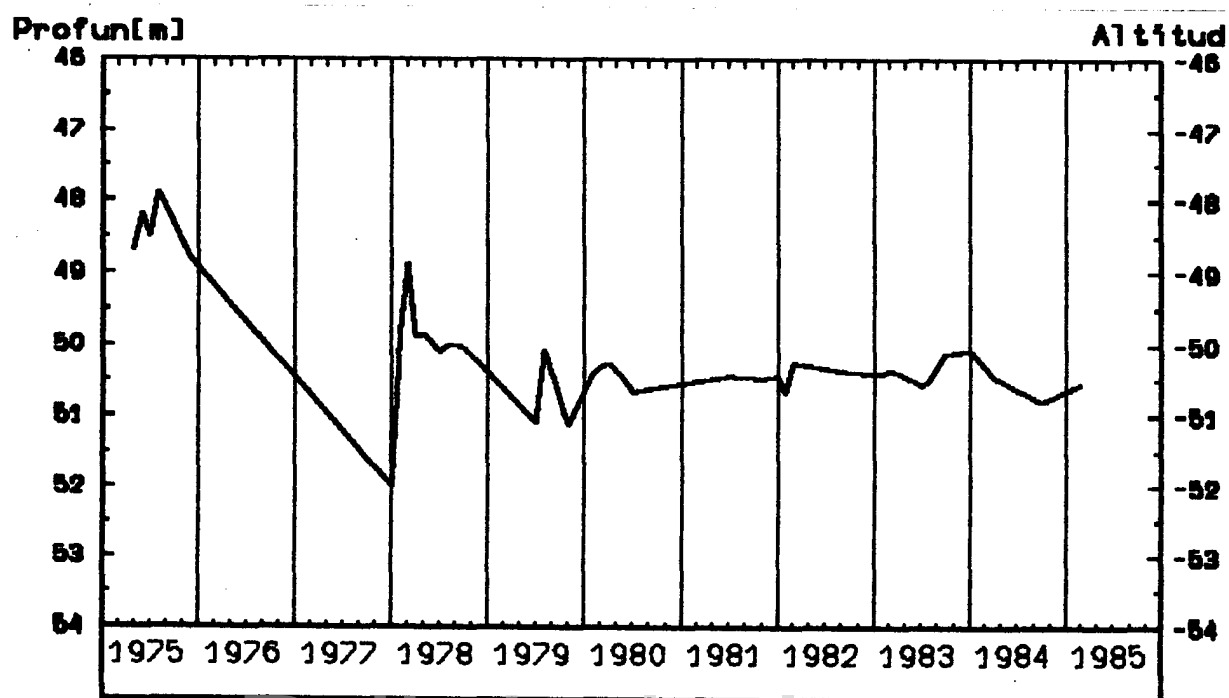


May 1, 1975 -- Jun 30, 1985

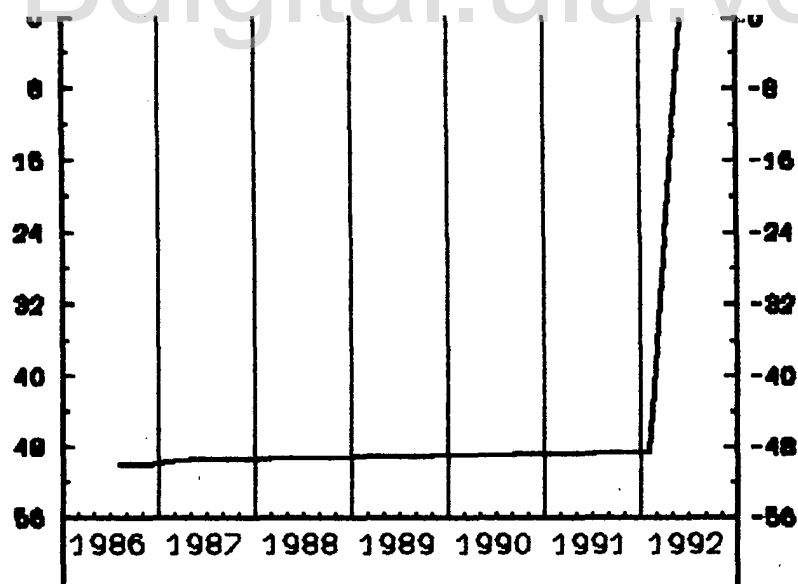


Jul 1, 1985 -- Jun 30, 1992

Figura B.7. Variación del nivel de agua subterránea en el pozo 18, 1975-1992.

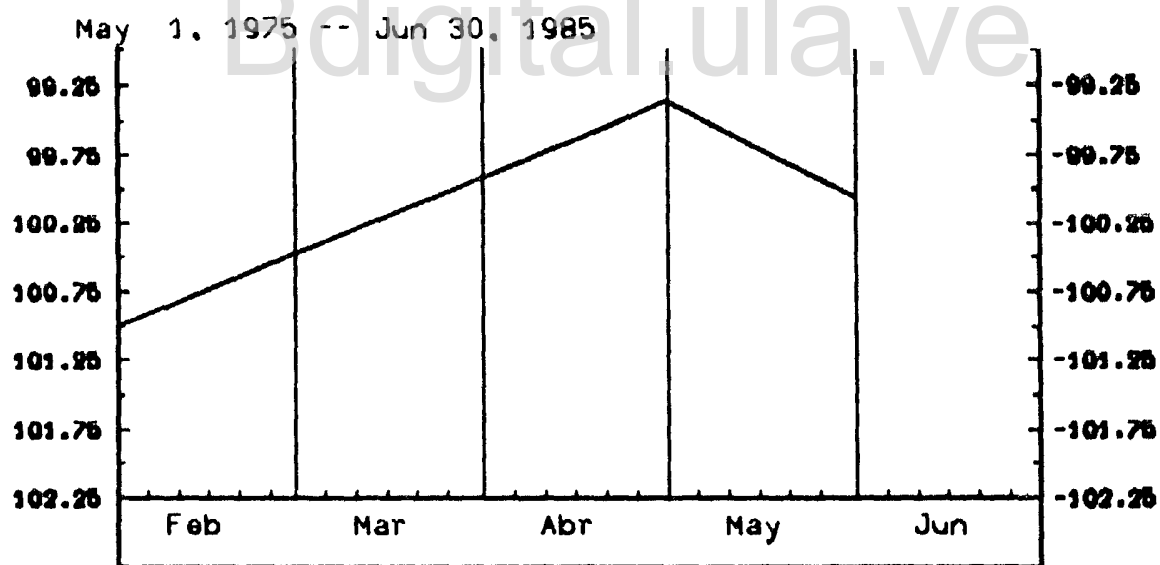
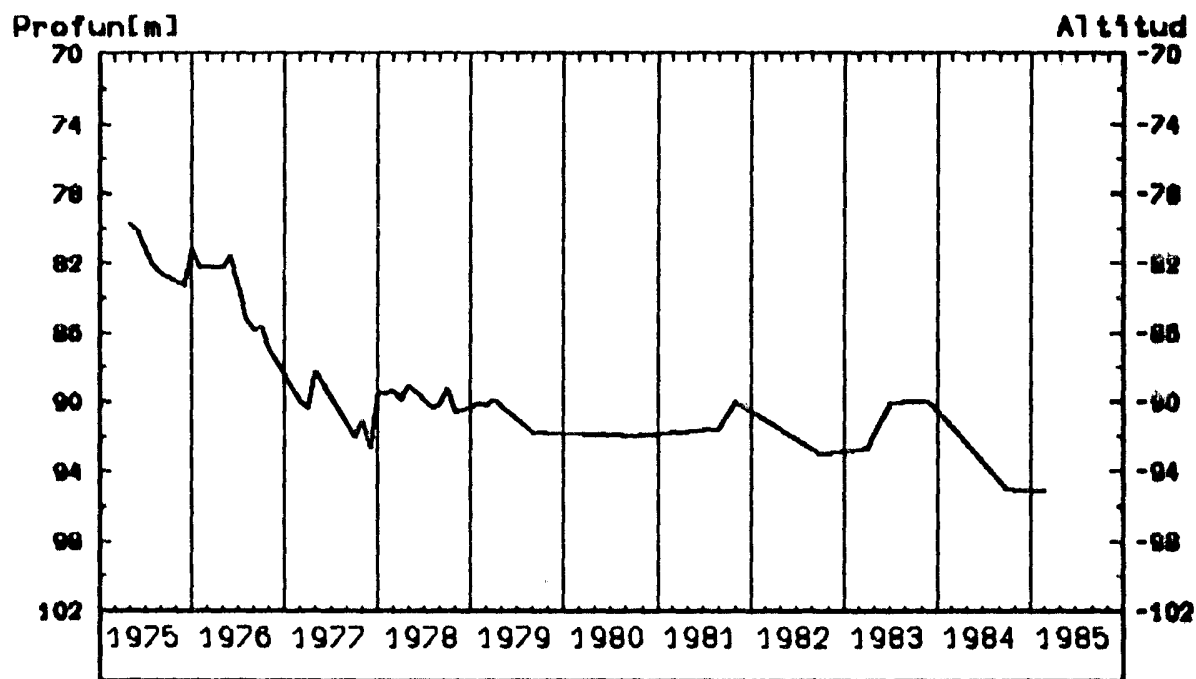


May 1, 1975 -- Jun 30, 1985



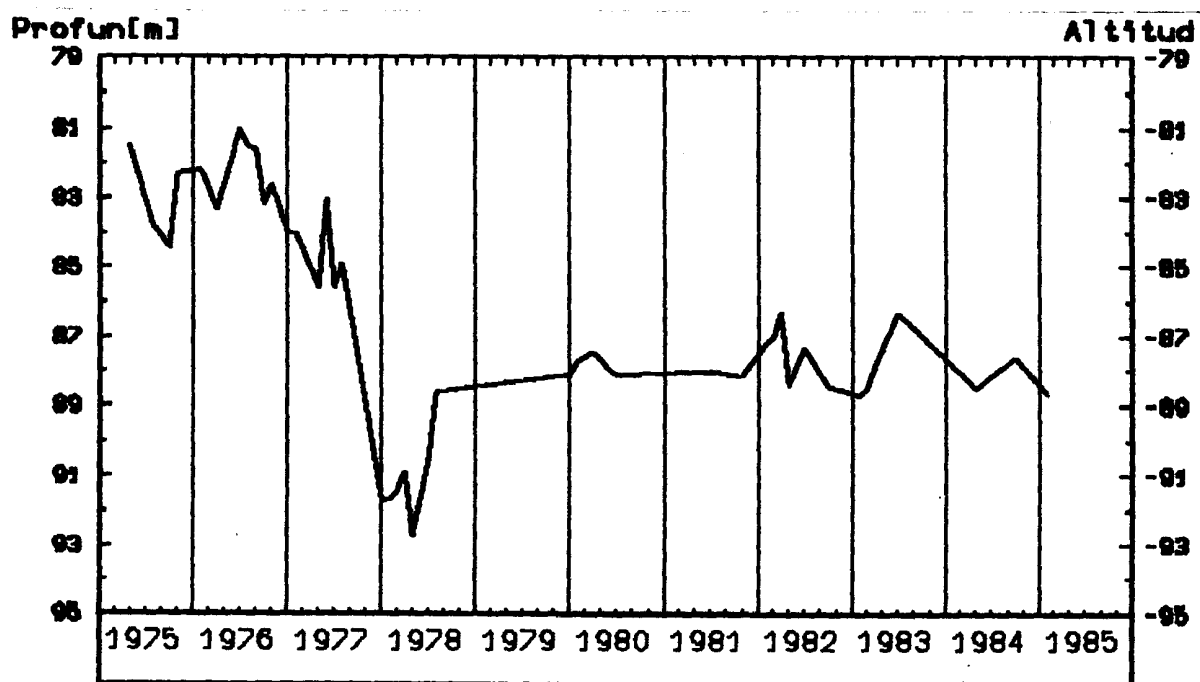
Jul 1, 1986 -- Jun 30, 1992

Figura B.8. Variación del nivel de agua subterránea en el pozo 607022, 1975-1992.

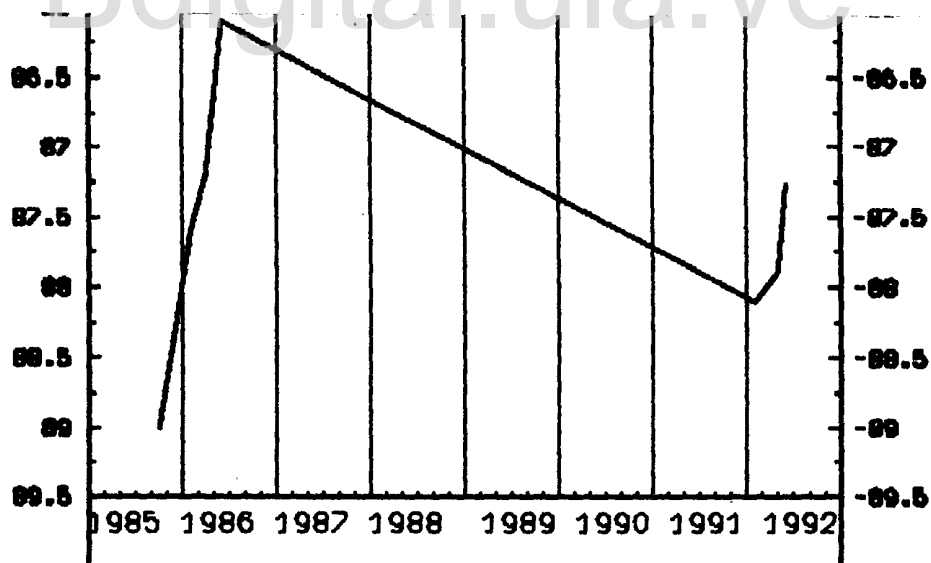


Feb 1, 1992 -- Jun 30, 1992

Figura B.9. Variación del nivel de agua subterránea en el pozo 607024, 1975-1992.

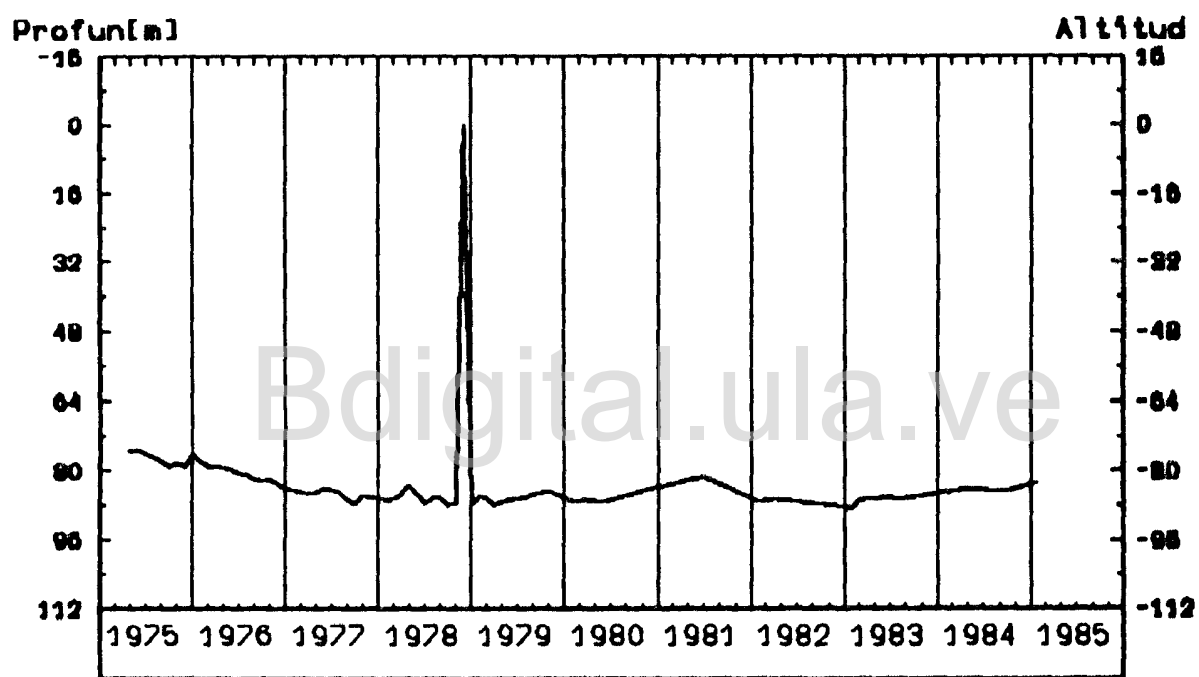


May 1, 1975 -- Jun 30, 1985



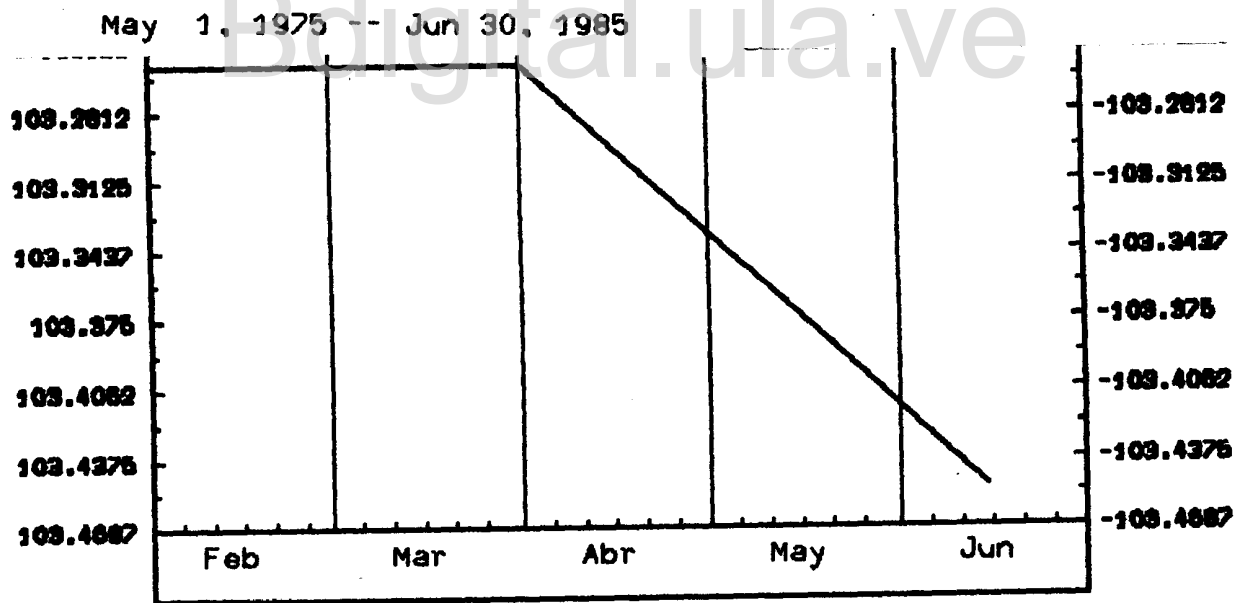
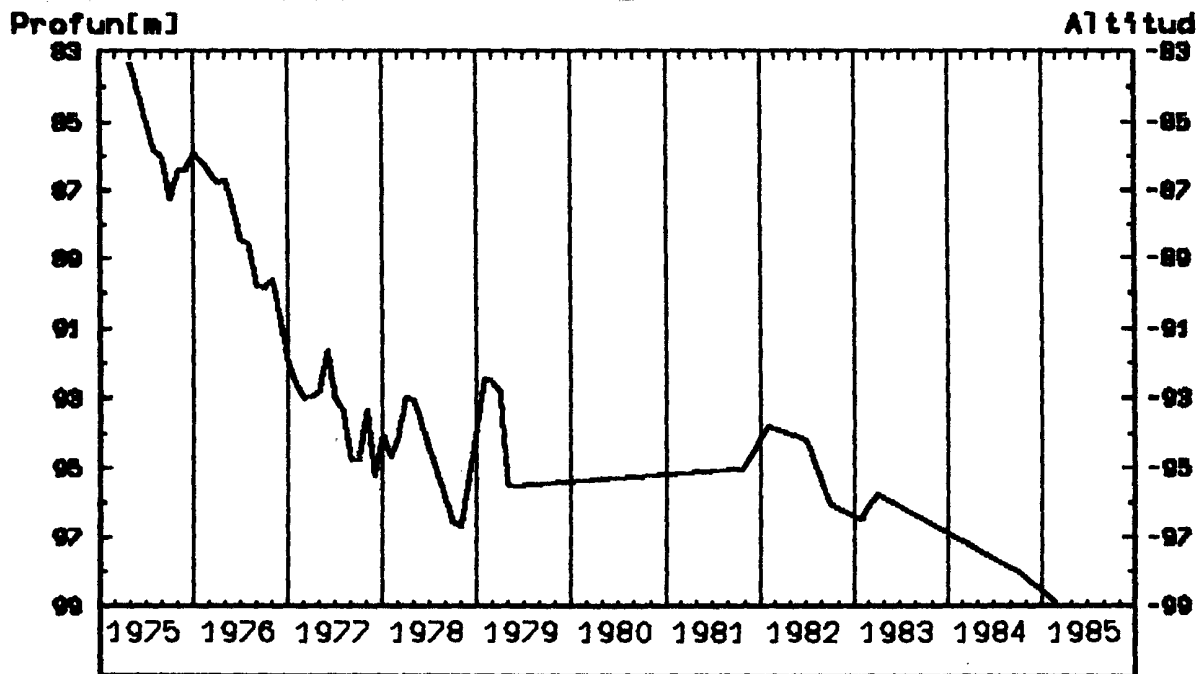
Jul 1, 1985 -- Jun 30, 1992

Figura B.10. Variación del nivel de agua subterránea en el pozo 607026, 1975-1992.



May 1, 1975 -- Jun 30, 1985

Figura B.11. Variación del nivel de agua subterránea en el pozo 607028, 1975-1985.



Feb 1, 1992 -- Jun 30, 1992

Tabla B.12. Variación del nivel de agua subterránea en el pozo 607030, 1975-1992.

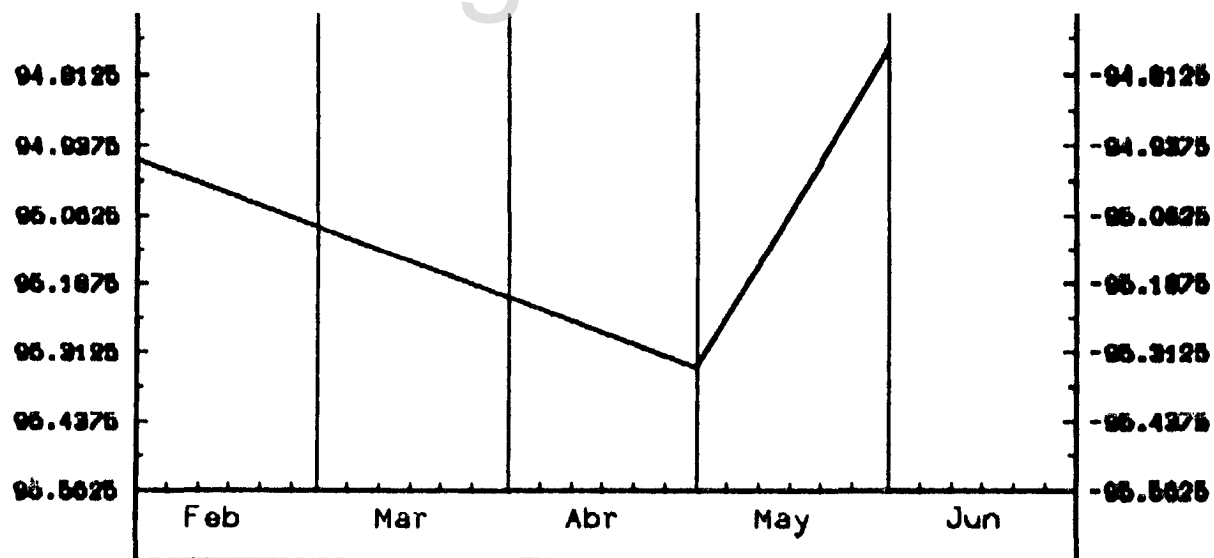
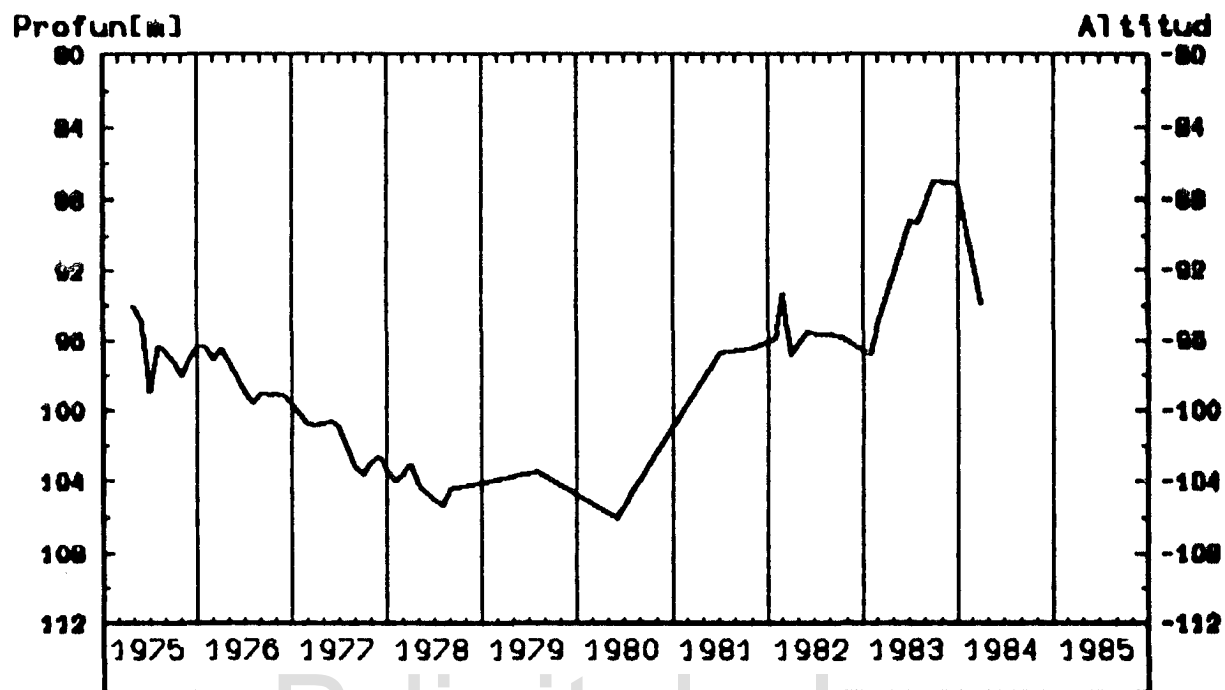
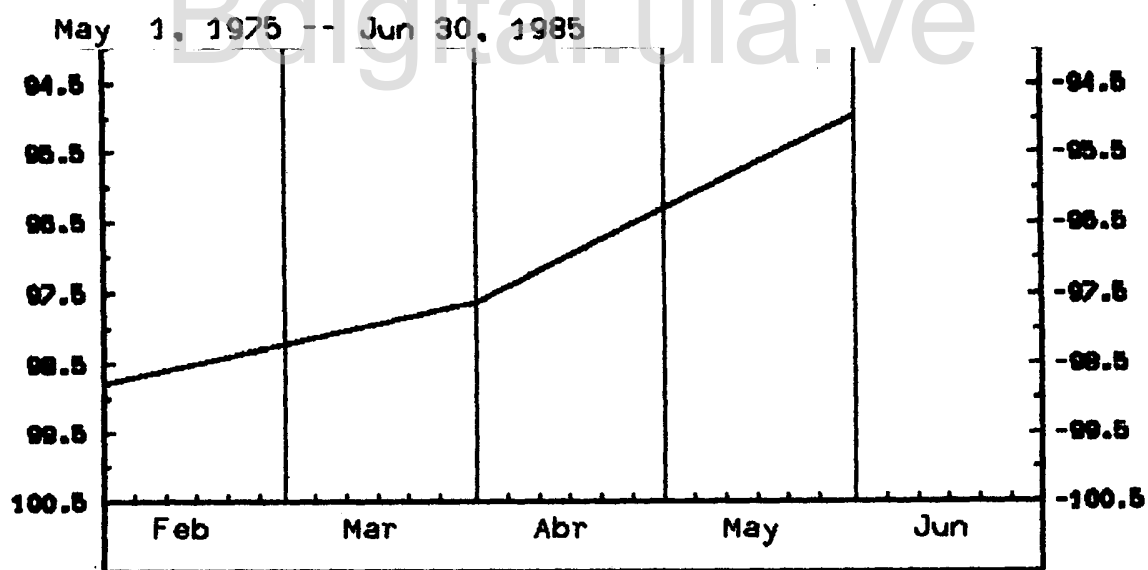
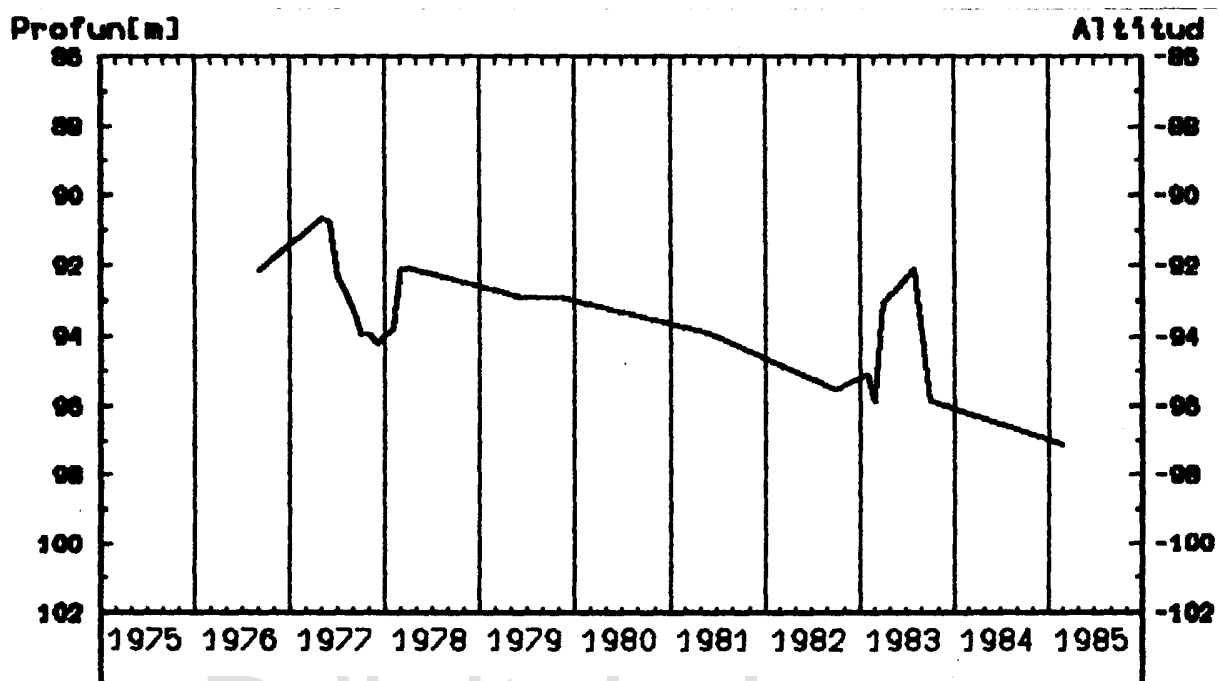
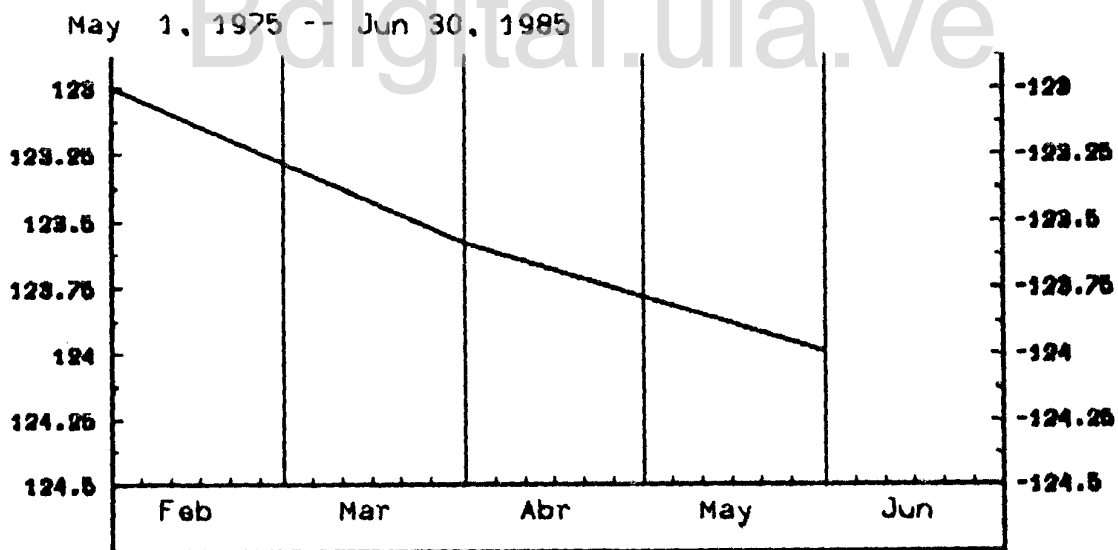
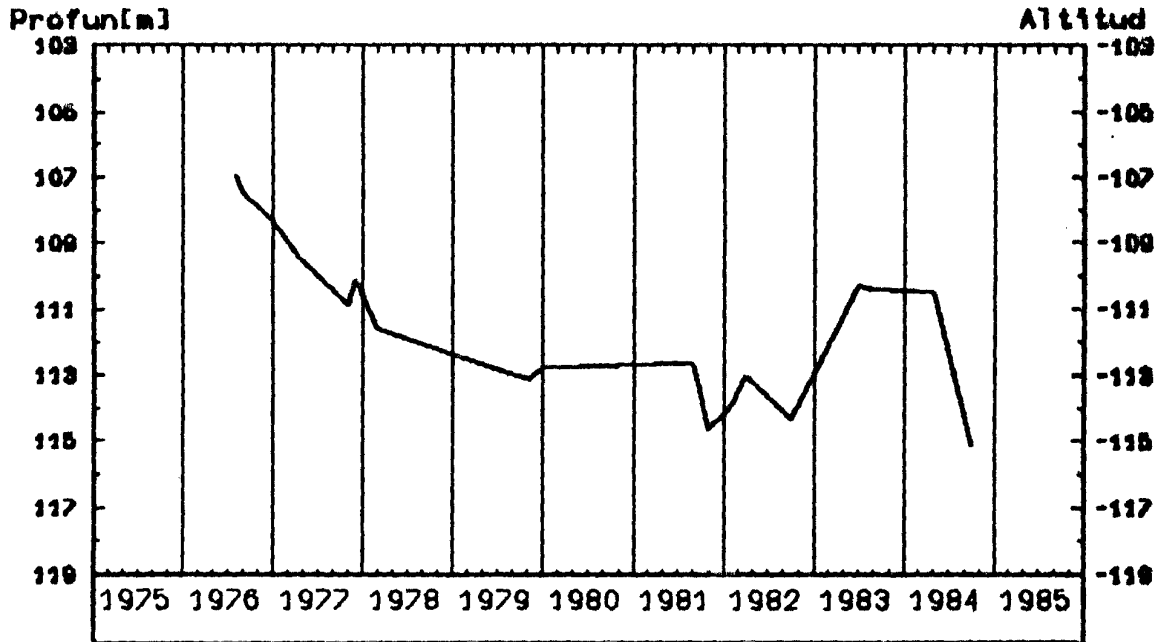


Tabla B.13. Variación del nivel de agua subterránea en el pozo 607056, 1975-1992.



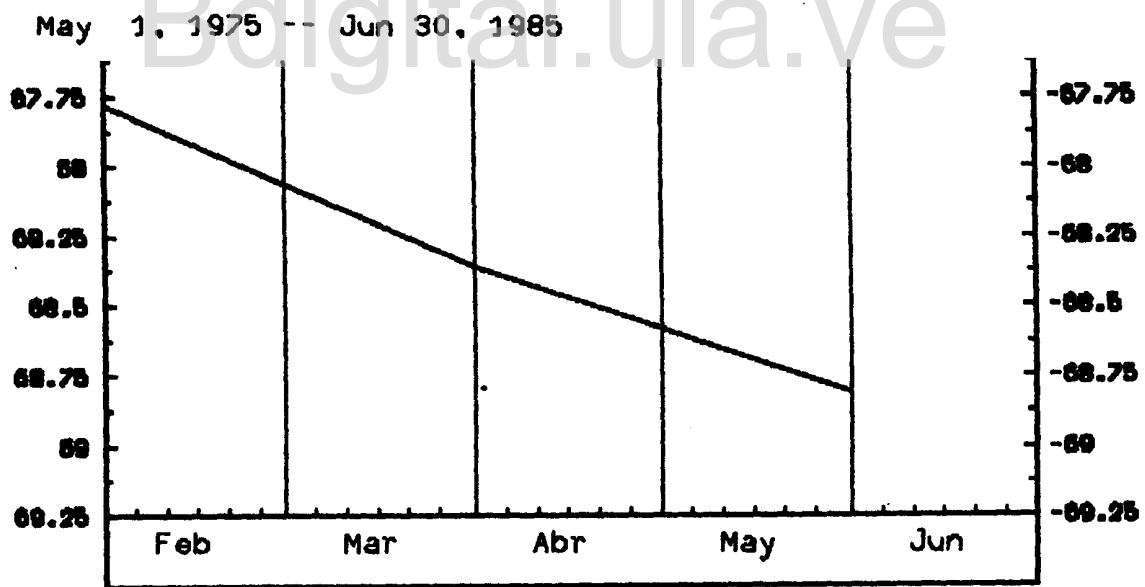
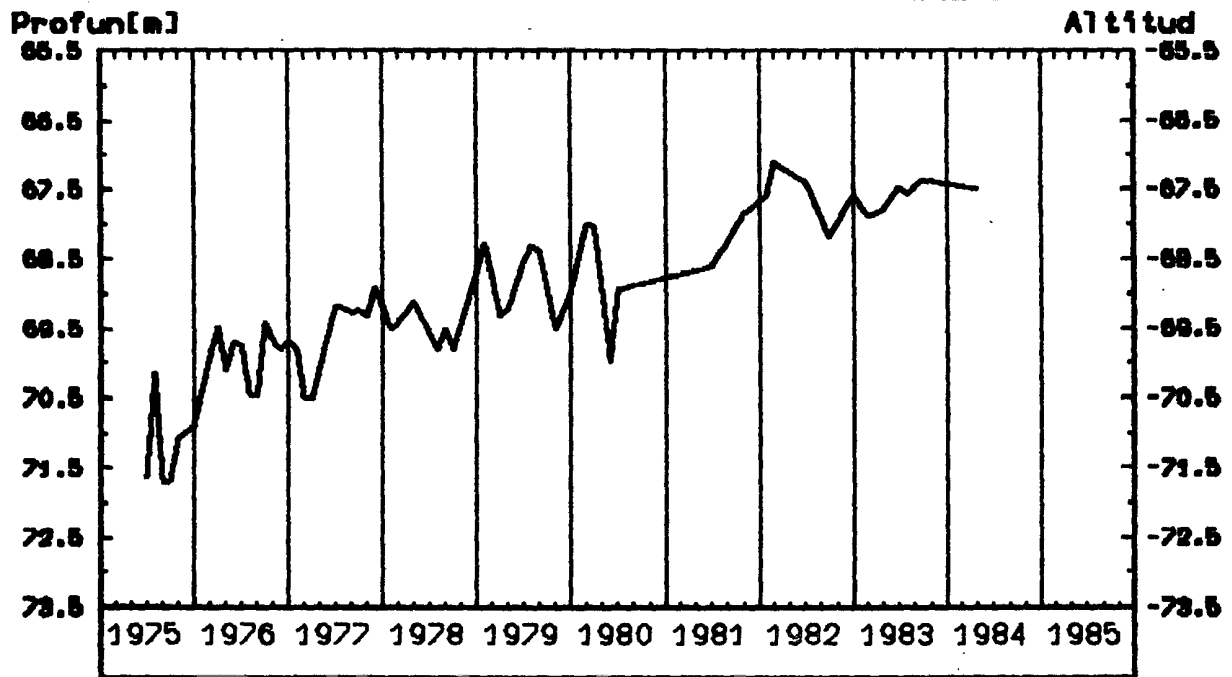
Feb 1, 1992 -- Jun 30, 1992

Tabla B.14. Variación del nivel de agua subterránea en el pozo 607063, 1975-1002.



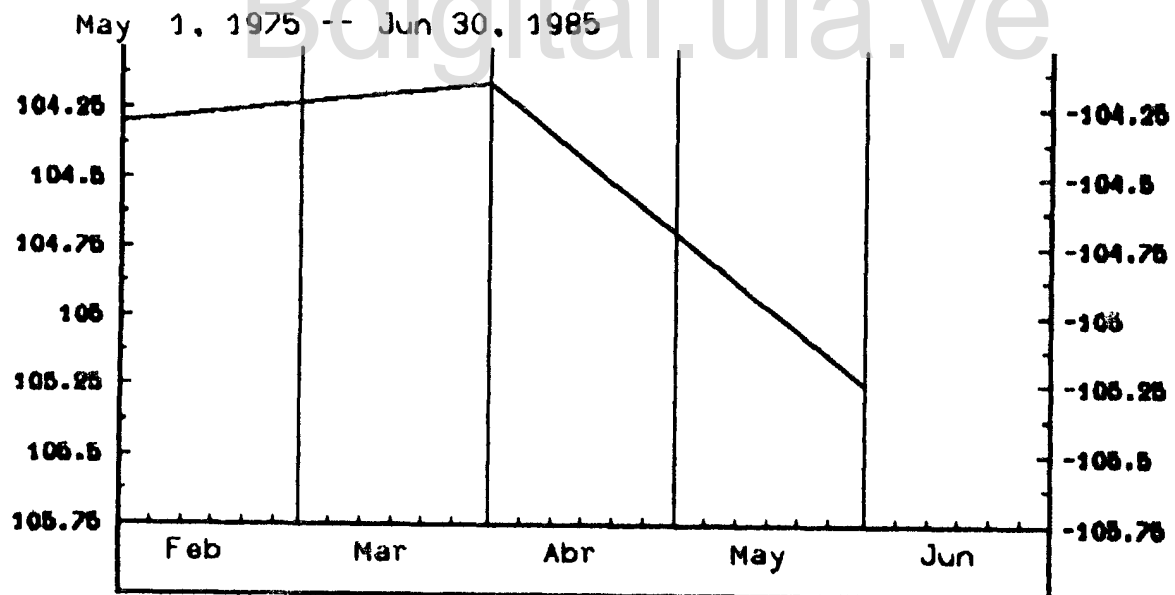
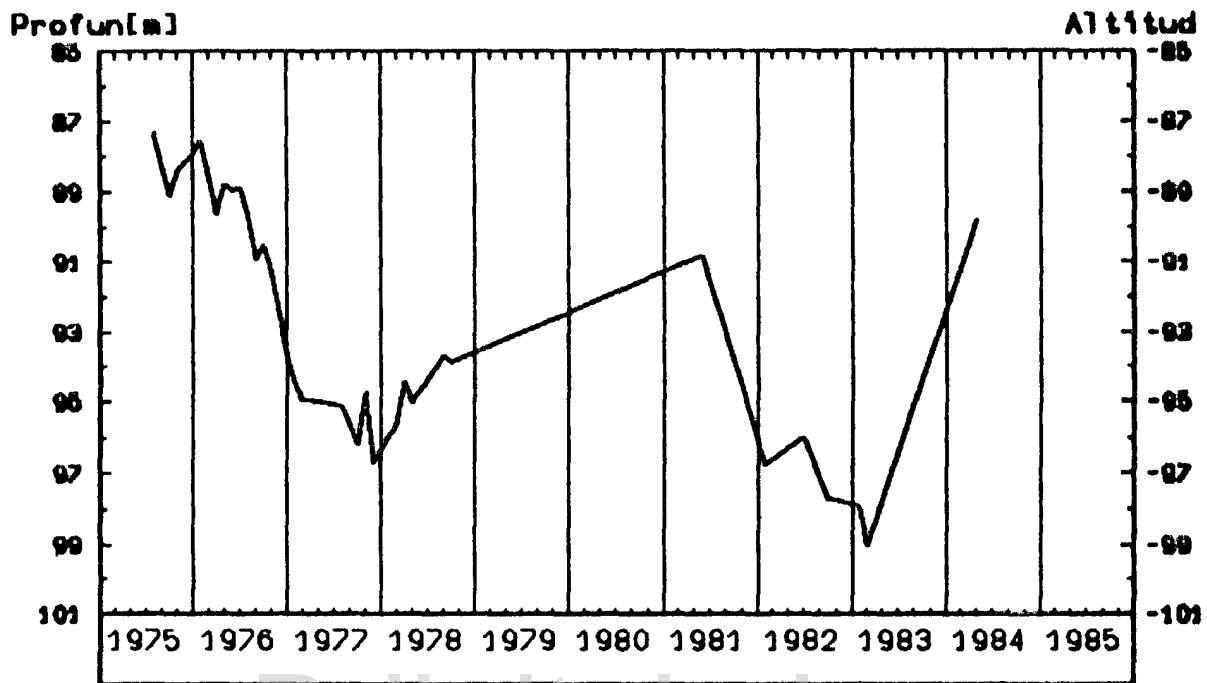
Feb 1, 1992 -- Jun 30, 1992

Figura B.15. Variación del nivel de agua subterránea en el pozo 607070, 1975-1992.



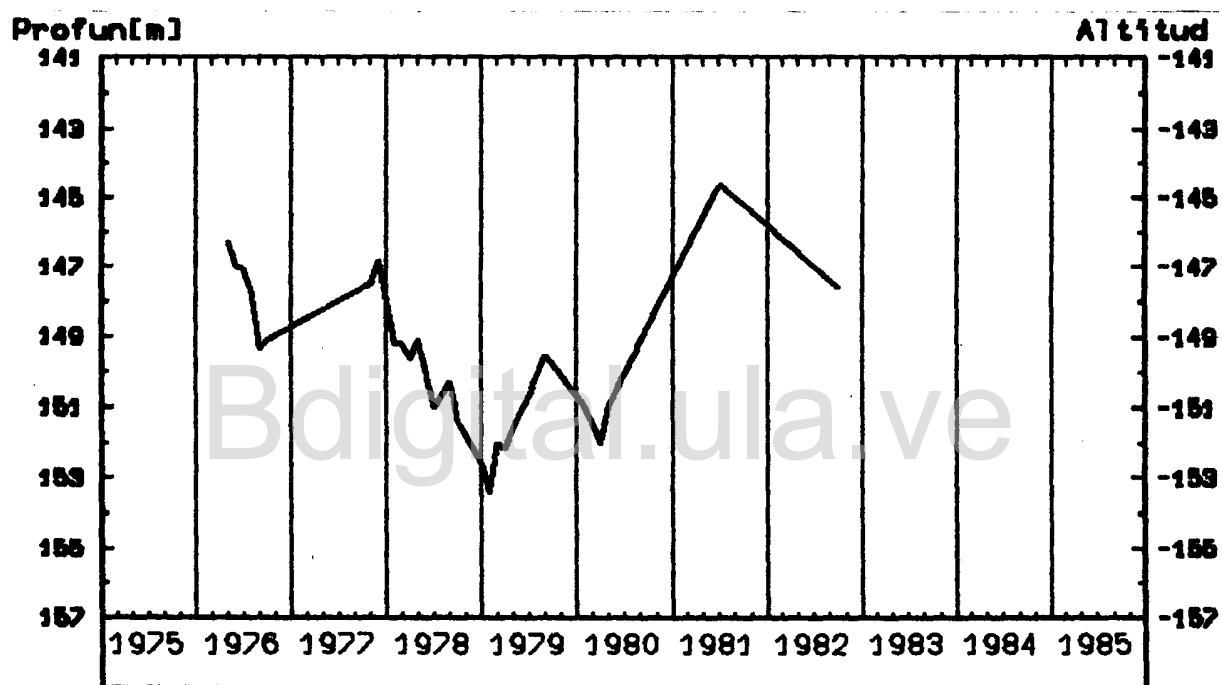
Feb 1, 1992 -- Jun 30, 1992

Figura B.16. Variación del nivel de agua subterránea en el pozo 607073, 1975-1992.



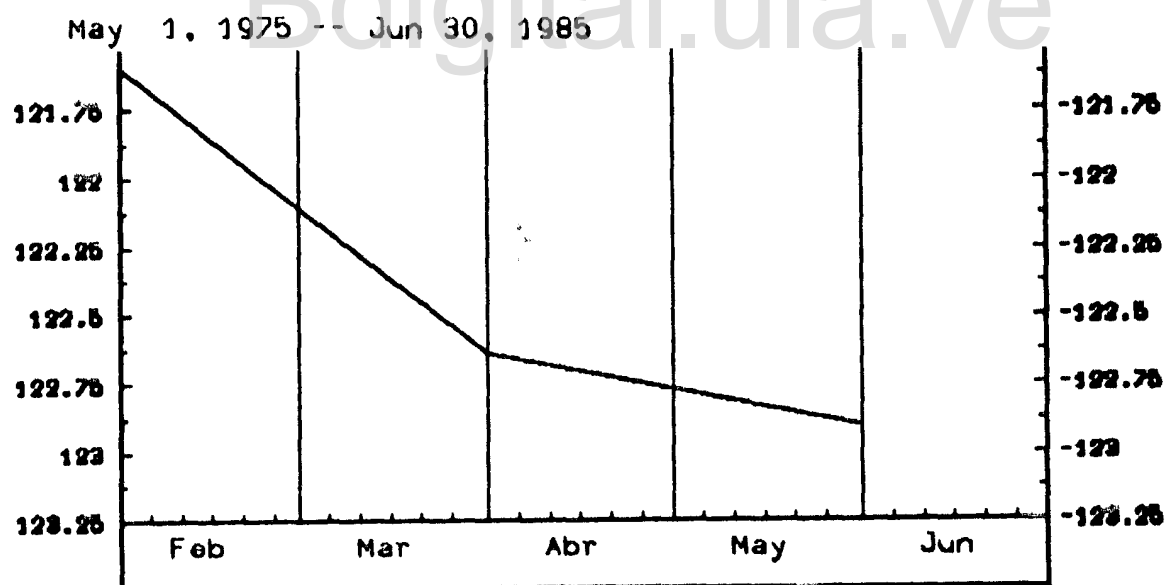
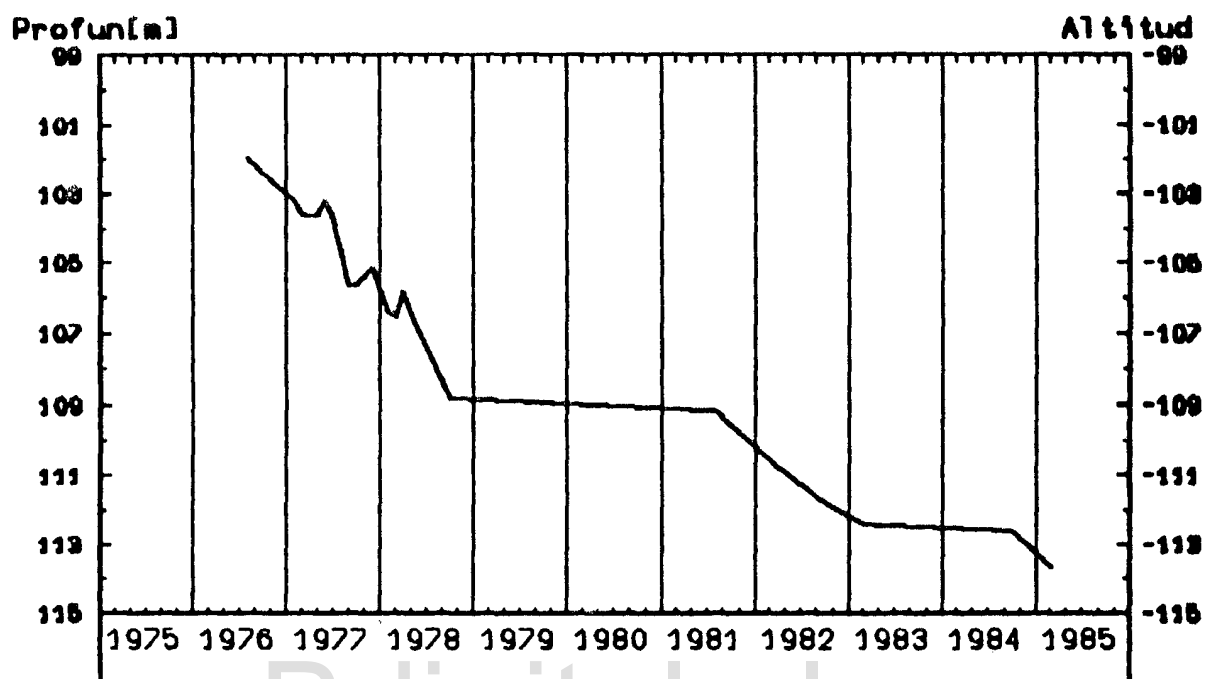
Feb 1, 1992 -- Jun 30, 1992

Figura B.17. Variación del nivel de agua subterránea en el pozo 607084, 1975-1992.



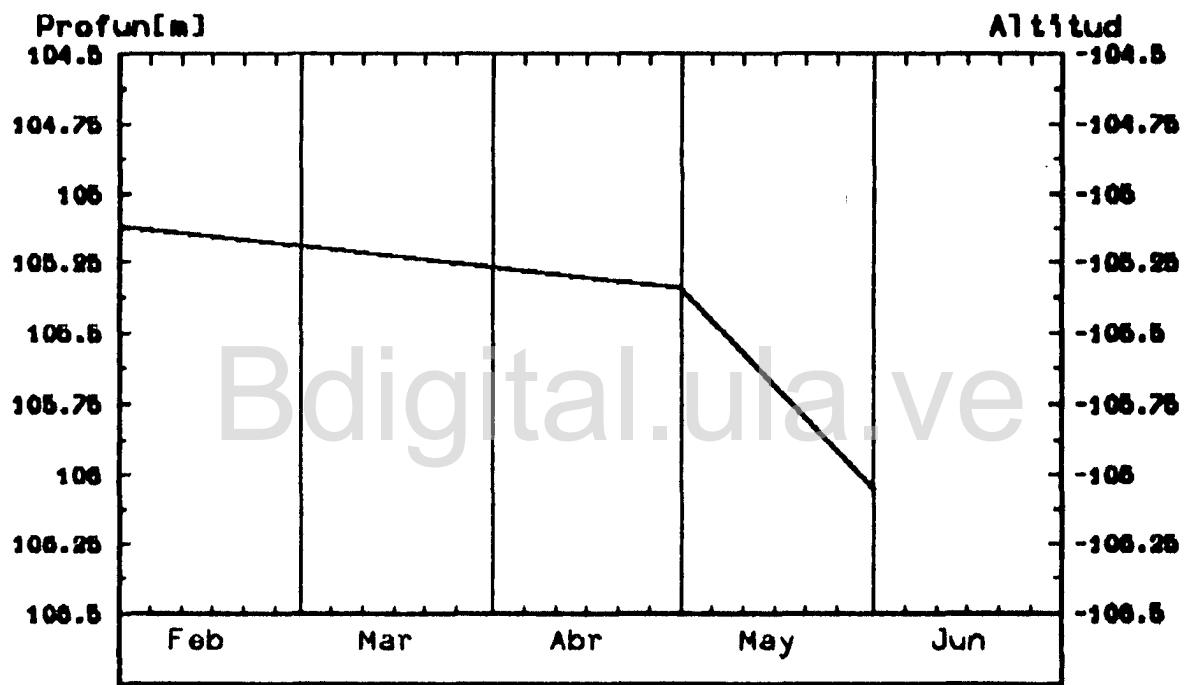
May 1, 1975 -- Jun 30, 1985

Figura B.18. Variación del nivel de agua subterránea en el pozo 607099, 1975, 1985.



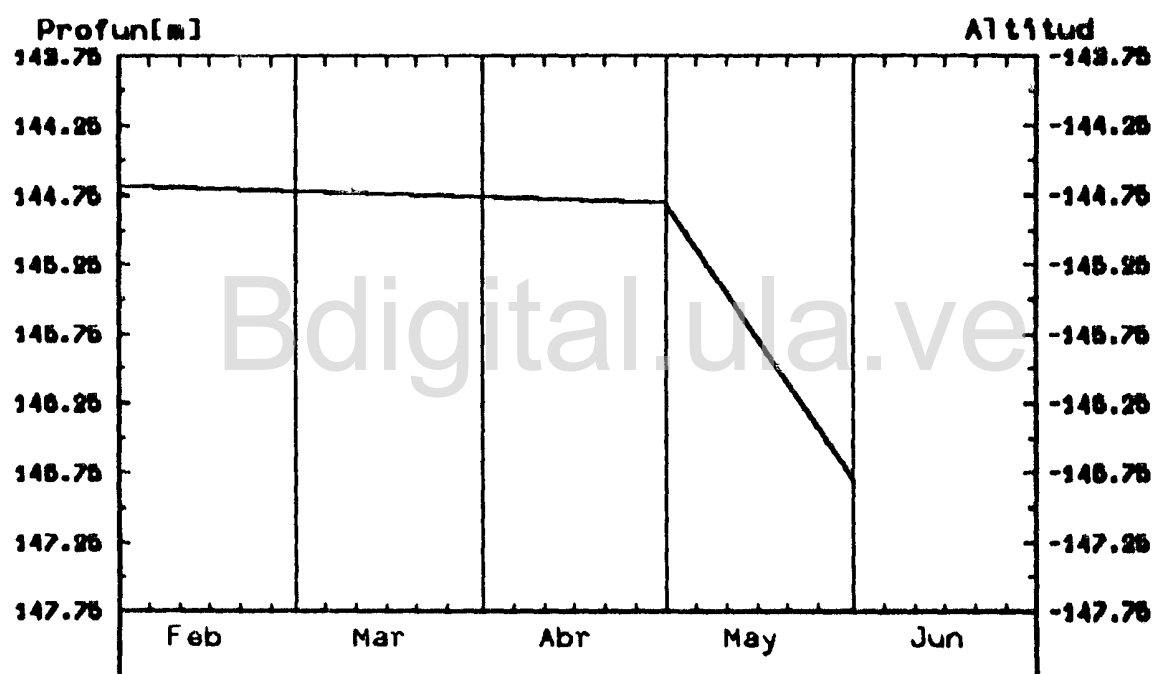
Feb 1, 1992 -- Jun 30, 1992

Figura B.19. Variación del nivel de agua subterránea en el pozo 6070110, 1975-1992.



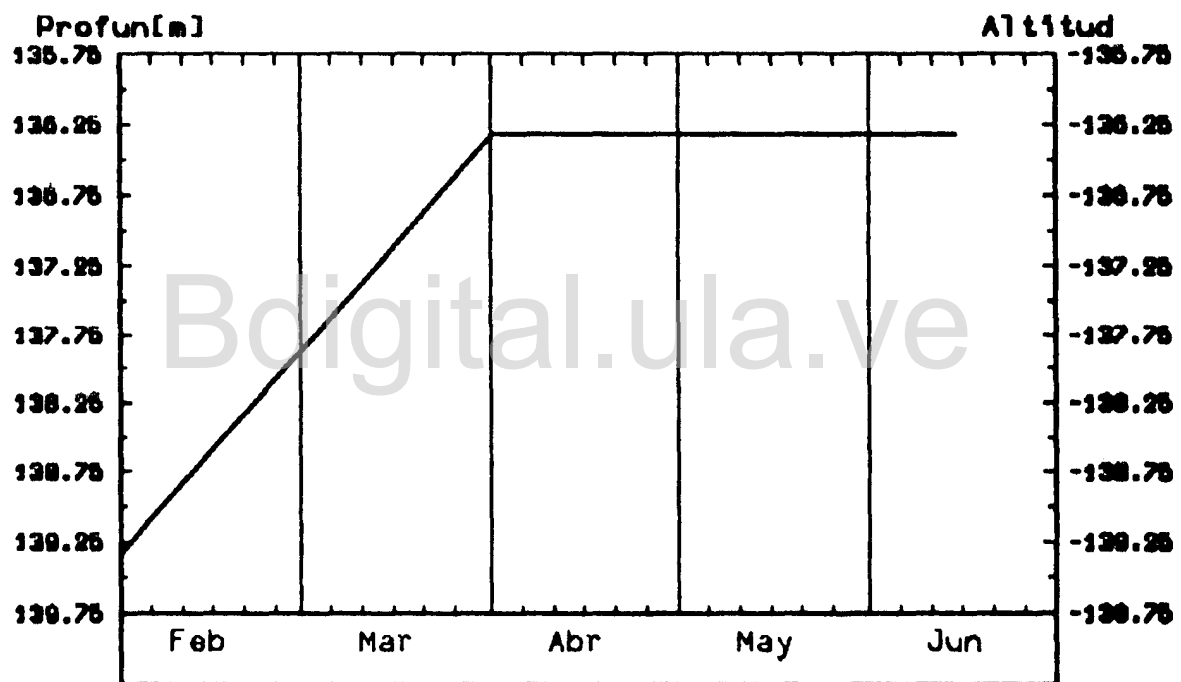
Feb 1, 1992 -- Jun 30, 1992

Figura B.20. Variación del nivel de agua subterránea en el pozo 6070110, 1992.



Feb 1, 1992 -- Jun 30, 1992

Figura B.21. Variación del nivel de agua subterránea en el pozo 6070111, 1992.



Feb 1, 1992 -- Jun 30, 1992

Tabla B.22. Variación del nivel de agua subterránea en el pozo 6070132, 1992.

Tabla B.1. Producción Media Anual de Agua en Pozos del Valle de Quíbor (Información Recopilada).

	1962	1966	1969-71	1974	1977	1978	1981
MOP	46,7						
TAHAL		72,2					
FUDECO			54,8				
OCHOA				42,2			
AGUASUELOS					50	61,2	31,5

Fuente: Aguasuelos Ingeniería, 1982

Tabla B.2. Producción Media Anual de agua en Pozos del Valle de Quíbor.

	1975	1976	1977	1978	1979	1980
N° de Pozos	40	40	73	78	65	71
Prom/Pozo (l/s)	21,88	21,46	22,51	19,10	17,6	15,33
Sd	17,5	15,5	17,6	16,7	13,7	13,2
Cv	0,8	0,7	0,8	0,9	0,8	0,9
Total (l/seg)	875,3	858,7	1643,4	1490,4	1144,1	1088,5
Total (10 ⁶ m ³ /año)	27,6	27,0	51,8	47,0	36,0	34,3

Tabla B.3. Producción Media Anual de agua en Pozos del Valle de Quíbor. (Continuación).

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
N° de Pozos	66	62	55	51	51	52	58
Prom/Pozo (l/s)	16,69	16,81	18,25	19,63	18,87	18,63	20,00
Sd	12,6	14,5	15,4	15,5	15,1	15,1	18,8
Cv	0,7	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9
Total (l/seg)	102,0	1042,2	1004,2	1001,2	962,6	969,0	1160,4
Total (10 ⁶ m ³ /año)	34,7	32,8	31,7	31,1	30,3	30,5	36,6

Fuente: Alvarado, 1987

Tabla B.3. Producción Media Anual de Agua en Pozos del Area de Mayor Explotación en el Valle de Quibor.

	1975	1976	1977	1978	1979	1980
N° de Pozos	25	23	31	31	27	33
Prom/Pozo (l/s)	25,92	26,81	28,75	27,9	24,42	20,42
Sd	18,6	16,9	18,7	19,3	15,4	14,7
Cv	0,7	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7
Total (l/seg)	648,1	616,7	891,3	865,3	659,2	673,9
Total (10 ⁶ m ³ /año)	20,4	19,5	28,1	27,3	20,8	21,3

Tabla B. Producción Media Anual de Agua en Pozos del Area de Mayor Explotación en el Valle de Quibor (Continuación).

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
N° de Pozos	29	29	27	25	25	22	23
Prom/Pozo (l/s)	22,45	23,63	25,54	27,86	26,36	26,15	32,64
Sd	13,2	15,7	16,6	15,8	15,6	15,9	17,7
Cv	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5
Total (l/seg)	650,9	685,3	689,6	696,4	659,0	575,3	750,7
Total (10 ⁶ m ³ /año)	20,5	21,6	21,7	22,0	20,8	18,1	23,7

Fuente: Alvarado, 1989

Tabla B.4 Niveles Promedios para 1992, correspondientes a los meses de Febrero, Mayo y Junio. Valle de Quibor.

N°	Identificación del pozo	Niveles (m.s.n.m)	N°	Identificación del pozo	Niveles (m.s.n.m)	N°	Identificación del pozo	Nivel (m.s.n.m)
1	607014	550,61	30	6070103	803,85	59	617110	558,63
2	607018	560,21	31	6070110	547,50	60	617111	553,67
3	607022	588,40	32	6070111	550,91	61	617114	592,20
4	607024	559,53	33	6070112	555,04	62	617128	567,10
5	607026	576,47	34	6070114	734,90	63	617129	561,97
6	607028	577,82	35	6070115	749,51	64	617134	555,51
7	607030	565,68	36	6070121	563,95	65	607104	631,70
8	607034	572,92	37	6070122	579,97	66	607106	631,22
9	607035	572,80	38	6070123	812,35	67	607107	637,70
10	607038	549,64	39	6070130	558,30			
11	607039	551,83	40	6070132	550,34			
12	607043	568,92	41	617001	589,43			
13	607048	805,34	42	617004	577,59			
14	607049	804,22	43	617005	591,79			
15	607050	798,13	44	617010	554,00			
16	607056	574,15	45	617013	563,46			
17	607057	555,10	46	617014	558,08			
18	607062	587,22	47	617018	568,36			
19	607063	564,12	48	617020	578,56			
20	607070	566,48	49	617021	581,23			
21	607073	584,68	50	617024	586,36			
22	607084	568,09	51	617037	576,44			
23	607077	559,40	52	617039	596,71			
24	607086	579,00	53	617047	613,81			
25	607087	566,96	54	617048	603,83			
26	607091	567,53	55	617049	619,99			
27	607097	557,50	56	617103	559,44			
28	607099	583,48	57	617104	560,05			
29	6070100	551,62	58	617109	609,61			

Tabla B.5 Comparación de Niveles en el Valle de Quíbor, entre los años 86, 87 y 92.

N°	Identificación del pozo	Nivel (m.s.n.m.) 86	Nivel (m.s.n.m.) 87	Nivel (m.s.n.m.) 92
1	607014	565,00	-	550,61
2	607017	572,70	572,80	550,00
3	607018	566,60	565,28	560,21
4	607022	587,70	588,54	588,40
5	607024	569,70	566,00	559,53
6	607026	577,40	-	576,47
7	607028	577,70	577,22	577,82
8	607030	568,70	570,14	565,68
9	607032	576,48	576,48	-
10	607039	552,10	550,00	551,83
11	607043	559,60	558,00	568,92
12	607049	807,60	-	804,22
13	607050	801,64	-	798,13
14	607056	571,00	568,13	574,15
15	607057		559,10	555,10
16	607063	566,00	565,00	564,12
17	607073	586,10	585,52	584,68
18	607084	569,50	569,50	568,09
19	607087	574,20	573,52	566,96
20	607099	592,50	592,54	583,48
21	6070100	559,40	559,60	551,62
22	6070110	550,00	553,30	547,50
23	6070112	575,00	574,18	555,04
24	6070114	735,40	735,56	734,90
25	6070121	569,80	564,74	563,93
26	6070122	582,50	-	579,97
27	6070130	564,50	563,73	558,30
28	617001	591,40	590,44	589,43
29	617004	585,06	576,20	577,59
30	617005	593,40	590,00	591,79

Tabla B.5 Comparación de Niveles en el Valle de Quíbor, entre los años 86, 87 y 92. (Continuación).

N°	Identificación del pozo	Nivel (m.s.n.m.) 86	Nivel (m.s.n.m.) 87	Nivel (m.s.n.m.) 92
31	617013	556,80	557,36	563,46
32	617010	-	565,26	554,00
33	617021	587,40	-	581,23
34	617024	587,50	587,78	586,36
35	617037	578,00	-	576,44
36	617047	-	616,74	613,81
37	617048	-	603,76	603,83
38	617049	-	621,48	619,99
39	617103	-	561,28	559,44
40	617104	563,06	-	560,05
41	617110	-	559,68	558,63
42	617111	508,80	-	553,67
43	617114	589,60	589,70	592,20
44	617129	569,84	567,34	561,97

A P E N D I C E C

GRAFICOS DE ABATIMIENTO VS. TIEMPO

Bdigital.ula.ve

QUIBOR1-RECUPERACION-OBS

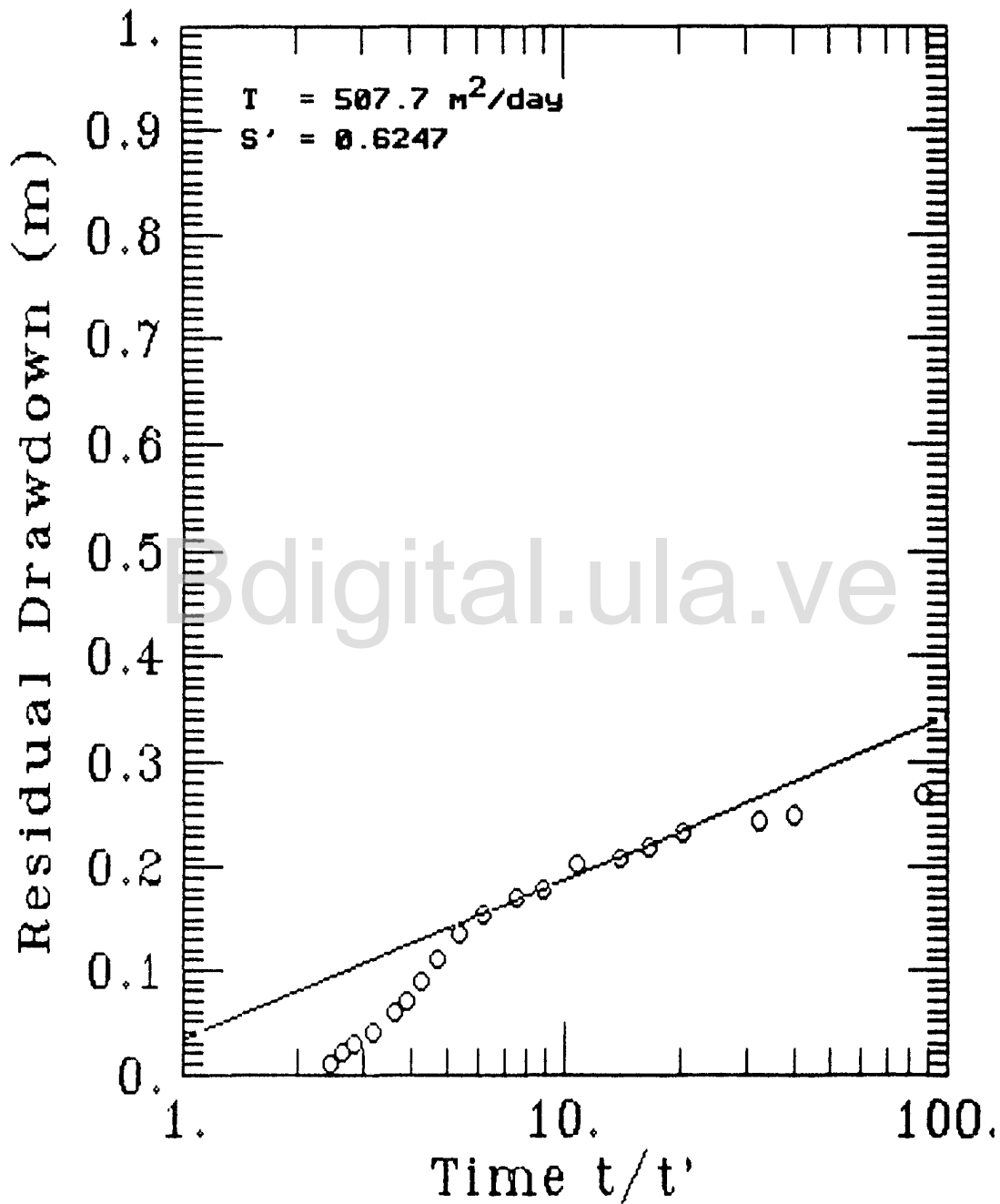


Figura C.1. Curva de abatimiento residual vs. tiempo, prueba de bombeo 1, recuperación en el pozo de bombeo, al norte del Valle de Quíbor, 1992.

QUIBOR1-POZO-RECUPERACION

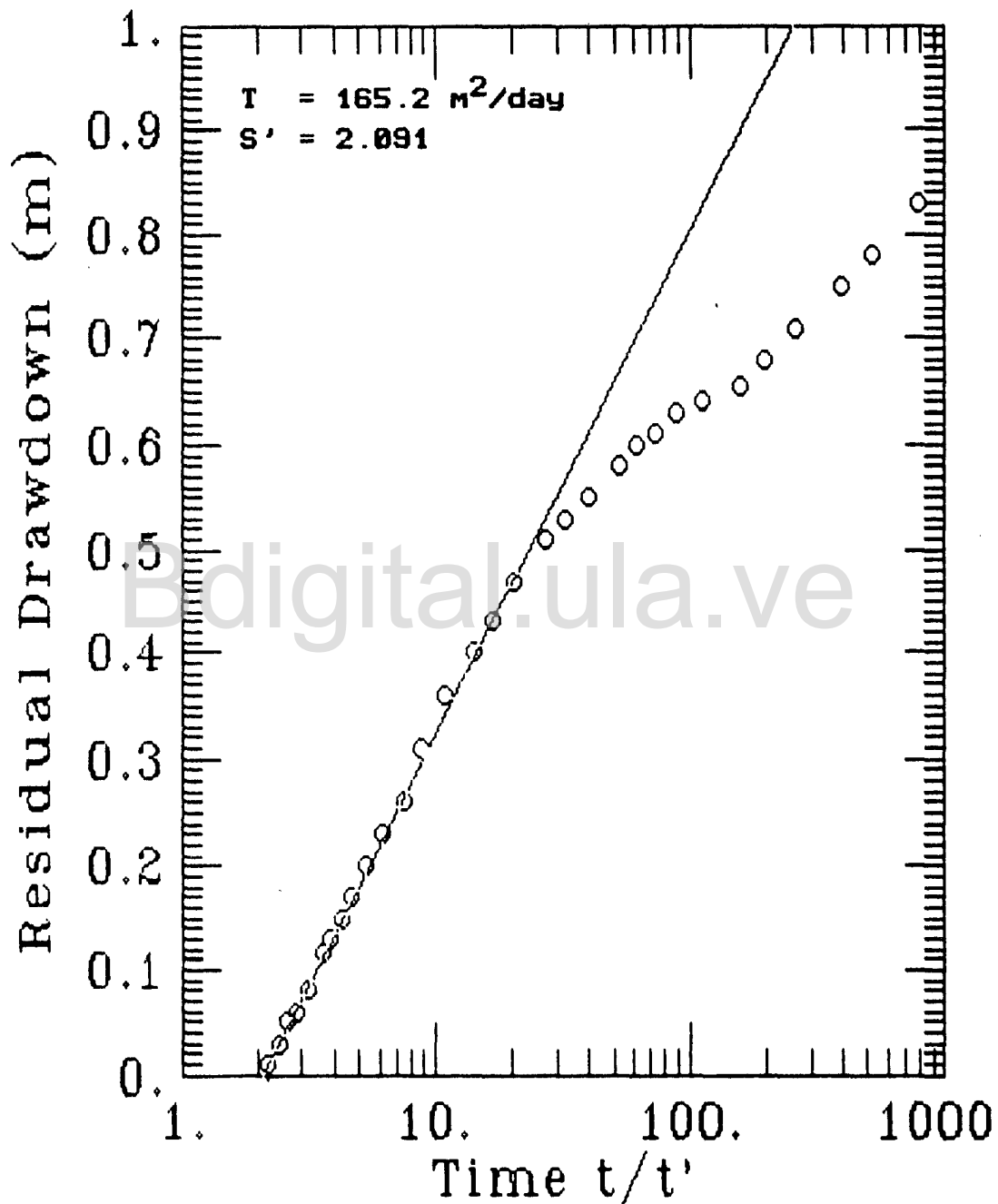


Figura C.2. Curva de abatimiento residual vs. tiempo, prueba de bombeo 1, recuperación en el pozo de bombeo, al norte del valle de Quíbor, 1992.

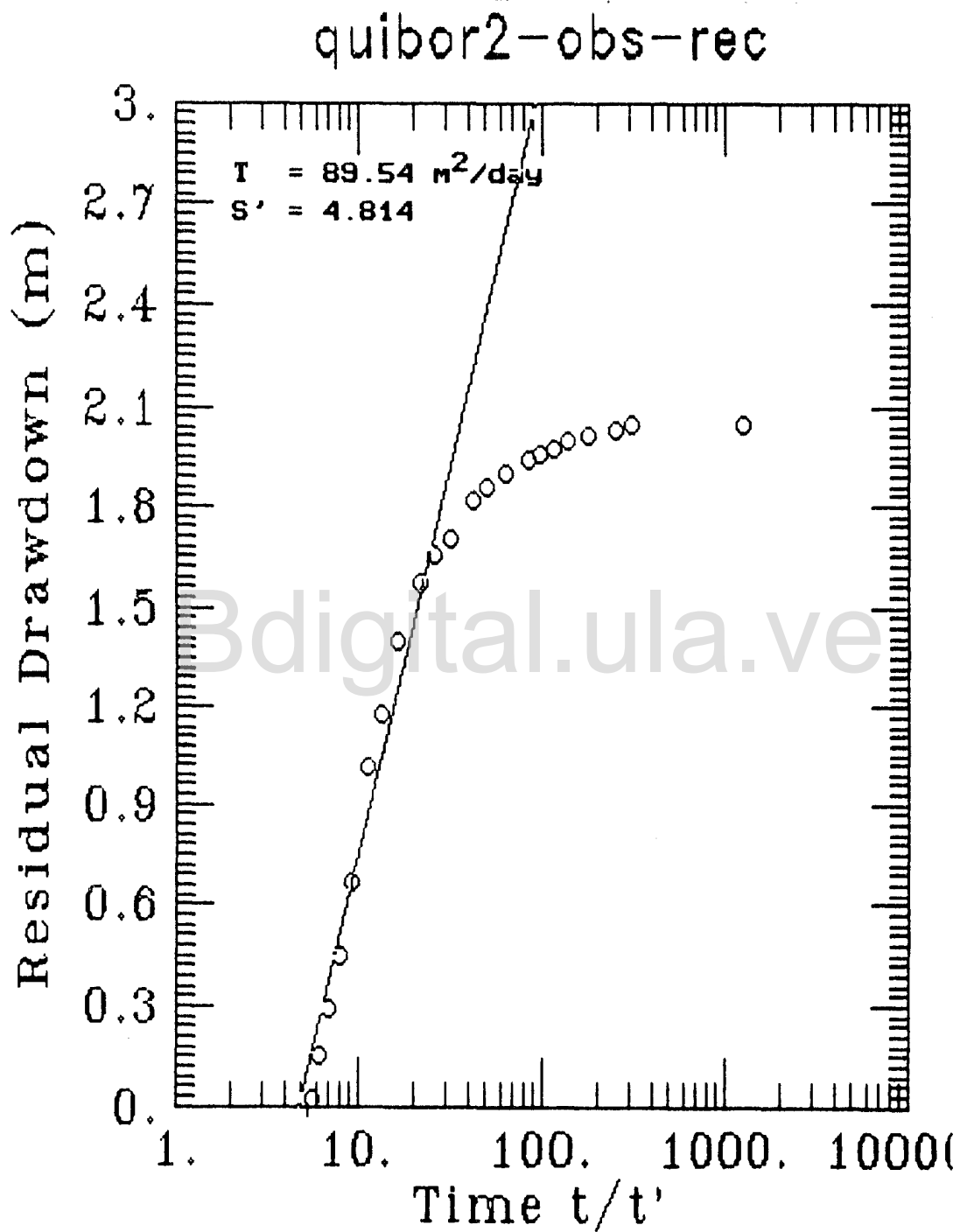


Figura C.3. Curva de abatimiento residual vs. tiempo, prueba de bombeo 2, recuperación en el pozo de observación, al sur del Valle de Quíbor, 1992.

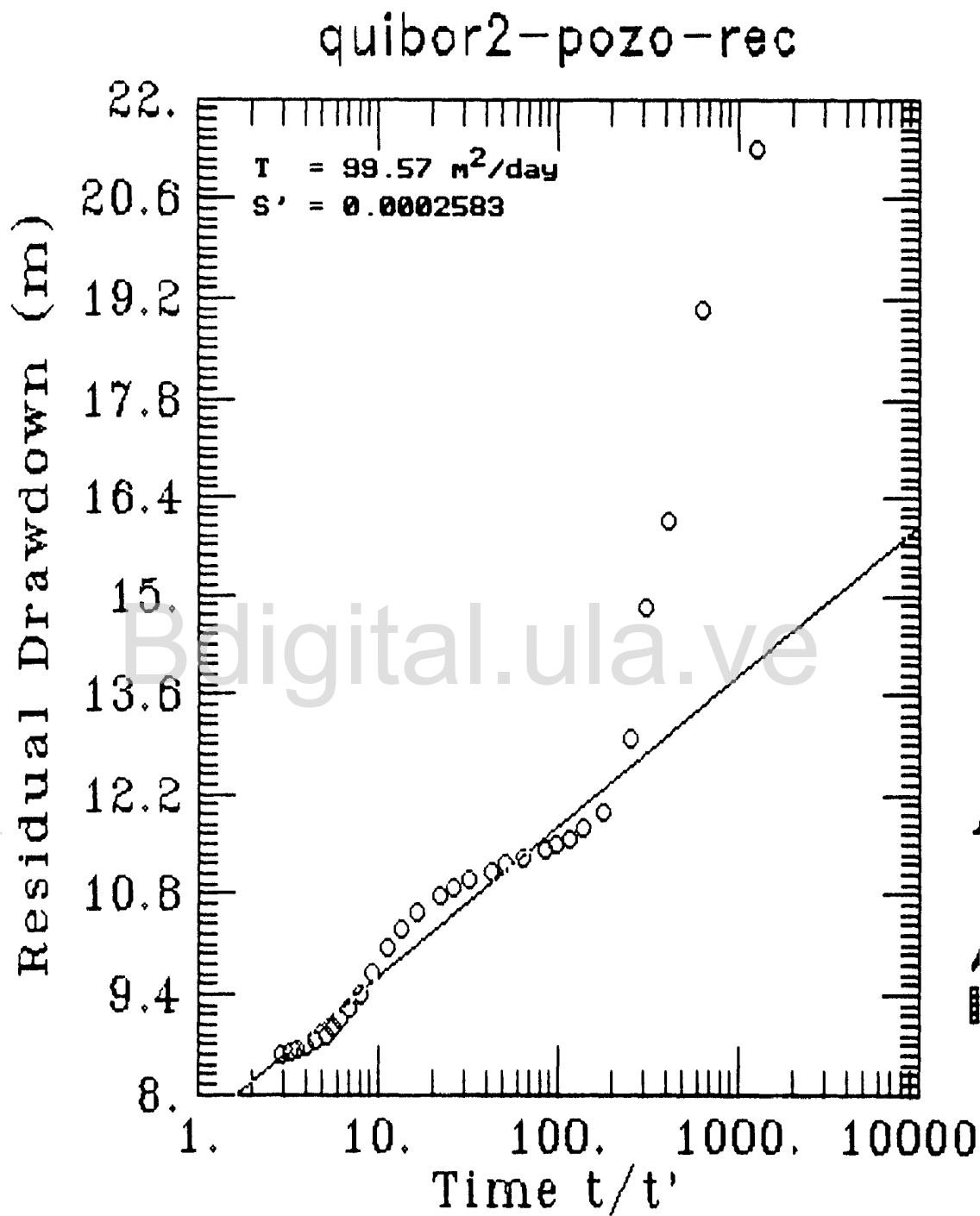


Figura C.4. Curva de abatimiento residual vs. tiempo, prueba de bombeo 2, recuperación en el pozo de bombeo, al sur del Valle de Quíbor, 1992.

APENDICE D
ARCHIVO DE DATOS Y PROCESO DE CALIBRACION Y
VERIFICACION DEL MODELO.

AJUSTES ACEPTADOS

MODEL Q1

TESTS
 CIDIAT-FUNDACION POLAR
 17
 10

MODEL82. DAT.

17 10

0.30E+02

60

5.00

150

1000.00

10

8	11	10	7	13	14	17	8	13
5	10	3	14	14	14	20	17	15

OBSW87.DAT.

18

607018	8	3565.30
607024	8	4569.70
607030	7	5570.14
607039	12	3550.00
607043	13	6558.00
607057	13	2559.10
607061	8	1565.60
607063	9	5565.00
607064	10	5568.28
607084	8	5569.50
607085	8	7574.80
607087	7	7573.52
6070110	11	2553.30
6070112	7	8574.18
6070113	14	4561.38
6070117	7	1570.50
6070130	11	6563.73
6070100	13	3559.60

MODEL82. ST, MODEL 82.TR.

0	0.09	0.038	0.1	0.084	0.068	0.025	0.0003	0.01	1e21
1	4444888888118		1	0 - ST=0.00					
2	44448888811181		2	1 - ST=0.09	MODEL82.ST				
3	44448888811111		3	2 - ST=0.038	STORAGE COEFFICIENTS				
4	44444888888811		4	3 - ST=0.1					
5	4444448182888111		5	4 - ST=0.084					
6	4444448818888111		6	5 - ST=0.068					
7	4444448111111111		7	6 - ST=0.025					
8	44444488888811		8	7 - ST=0.0003					
9	44444488888811		9	8 - ST=0.01					
10	4444448888888		10						

0.	214	400	591	3000	1345	2019	50	100	190
1	4446413753113		1	0 - T=000.0 M2/DAY					
2	44464300114115		2	1 - T=214 M2/DAY					
3	44468500144112		3	2 - T=400					
4	444468453323434		4	3 - T=591	MODEL82.TR				
5	4444463321333334		5	4 - T=3000	TRANSMISSIVITY				
6	4444443335431144		6	5 - T=1345					
7	444444211233155		7	6 - T=2019					
8	444444444433544		8	7 - T=50					
9	4444444444566444		9	8 - T=100					
10	44444444444444		10	9 - T=190					

MODEL82. LEV.

573.3 572.9 572.5 572.1 571.7 571.5 572.5 564.4 581.1 559.2 557.2 574.6 574.0 5
 74.1 572.4 570.9 569.9
 573.8 573.4 573.0 572.5 572.0 571.6 571.3 572.2 000.0 000.0 558.2 563.9 574.1 5
 71.6 569.5 568.7 568.1
 574.4 574.0 573.5 572.9 572.1 571.1 569.9 568.6 000.0 000.0 560.9 554.8 565.6 5
 68.1 568.5 565.4 566.0
 575.0 574.7 574.2 573.7 572.8 571.5 570.2 568.0 569.9 571.3 562.3 559.6 560.4 5
 64.8 560.0 562.2 564.1
 575.7 575.4 575.1 574.8 574.2 573.5 575.2 572.2 565.5 566.6 563.2 560.8 562.5 5
 50.0 557.6 560.9 563.3
 576.4 576.3 576.2 576.0 575.9 576.1 576.6 580.0 573.2 569.0 564.2 559.5 560.3 5
 60.5 560.5 562.4 564.1
 577.1 577.1 577.1 577.2 577.5 577.9 579.0 579.6 576.4 576.1 569.2 565.4 565.6 5
 65.2 565.5 565.5 566.0
 577.8 577.8 578.0 578.2 578.5 579.0 579.6 580.0 578.4 576.1 573.3 570.2 569.3 5
 71.4 569.6 568.5 568.2
 578.3 578.5 578.7 578.9 579.2 579.6 579.8 579.8 579.1 577.6 575.6 573.6 572.8 5
 72.5 571.8 570.7 570.0
 578.8 579.0 579.2 579.4 579.7 579.9 580.0 579.8 579.3 578.2 576.8 575.5 574.5 5
 73.9 573.1 572.2 571.5

MODEL82.WEL.

```

17  ITMP: NUMBER OF WELLS IN THIS TIME STEP (IF ITMP<0 - 1
10  1      2332.8 : W/607014
8    3      4536   : W/607018
8    1      3628.8 : W/607021
8    4      4536   : W/607024
7    5      3628.8 : W/607030
8    6      2073.6 : W/607032
8    8      3326.4 : W/607035
12   1      4789.1 : W/607036
12   5      6168.0 : W/607039
13   6      5572.8 : W/607042
13   7      4751.2 : W/607045
14   4      1792.8 : W/607053
9    3      691.2  : W/607062
9    5      561.6  : W/607063
10   4      4079.8 : W/607064
10   7      2548.8 : W/607070
12   2      3270.3 : W/607075
11   1      2274.9 : W/607077
11   6      820.8  : W/607082
8    5      656.6  : W/607084
8    7      2651.2 : W/607085
11   2      5443.2 : W/607090
13   1      2073.6 : W/607093
9    4      604.8  : W/607097
13   3      1468.8 : W/6070100
7    8      7500.8 : W/6070105
13   5      1656.8 : W/6070109

```

PRIOR TO FEB/DIC 1982

```

1
-1
1
-1
-1
-1
-1
-1
-1
-1

```

8	4	4320.0	:	W/607024
0	1	3318.1	:	W/607014
8	1	3218.4	:	W/607021
7	5	3628.8	:	W/607030
8	6	2505.6	:	W/607032
0	8	2419.2	:	W/607035
2	1	4406.4	:	W/607036
3	6	3283.2	:	W/607043
5	7	468.3	:	W/607045
4	4	1261.4	:	W/607053
9	3	432	:	W/607062
9	5	561.6	:	W/607063
0	5	2015.7	:	W/607064
0	4	907.2	:	W/607065
6	7	3024	:	W/607070
2	2	3283.2	:	W/607074
1	1	2592	:	W/607077
1	6	234.1	:	W/607082
8	5	575.4	:	W/607084
8	7	3937.6	:	W/607085
1	2	7436.4	:	W/607090
5	1	2073.6	:	W/607093
9	4	432	:	W/607097
7	8	7603.2	:	W/6070105
5	5	950.4	:	W/6070109

PRIOR TO 1983ENE -1984DIC

[illegible]

MODEL82.WEL (Continuación)

26

10	1	1382.4	: W/607014
8	3	8856	: W/607018
8	1	2207.5	: W/607021
8	4	4557.6	: W/607024
7	5	5412.8	: W/607030
8	6	5356.8	: W/607033
8	8	7052.8	: W/607035
12	1	2980.8	: W/607036
13	6	6452.8	: W/607043
13	2	1382.4	: W/607056
9	5	432	: W/607063
10	4	1382.4	: W/607065
10	7	3369.6	: W/607070
12	2	1814.4	: W/607074
11	1	2937.6	: W/607077
8	7	2397.6	: W/607085
11	2	5011.2	: W/607090
9	4	345.6	: W/607097
13	3	1123.2	: W/6070100
7	8	6048	: W/6070105
15	9	1166.4	: W/6070114
6	10	2246.4	: W/6070122
16	10	691.2	: W/6070124
12	3	1728	: W/6070129
11	6	302.4	: W/607082
14	4	345.6	: W/6070113

PRIOR TO ENE. 1985 A DIC. 1986

1
-1
-1
-1
-1
-1
-1
-1
-1
-1

3024 : Q/607021
4536 : Q/607024
4536 : W/607030
12741 : W/607034

PERIODO ENE/FEB. 1987

3024 : Q/607021
4536 : Q/607024
4536 : W/607030
12741 : W/607034

Tabla D.1. Período de calibración, diferencia de niveles observados y simulados, 1982-1987, región central, Valle de Quíbor.

Nombre de Pozo de OBS	I	J	Hent.	Hsal.	Diferencia
6070181	8	3	565.30	563.10	2.20
6070241	8	4	569.70	564.13	5.57
6070301	7	5	570.14	568.75	1.39
6070391	12	3	550.00	554.80	-4.80
6070431	13	6	558.00	559.78	-1.78
6070571	13	2	559.10	558.52	0.58
6070611	8	1	565.60	565.58	0.02
6070631	9	5	565.00	564.83	0.17
6070641	10	5	568.28	564.52	3.76
6070841	8	5	569.50	565.67	3.83
6070851	8	7	574.60	571.86	2.74
6070871	7	7	573.52	573.78	-0.26
60701101	11	2	553.30	550.34	2.96
60701121	7	8	574.18	575.00	-0.82
60701131	14	4	561.38	561.46	-0.08
60701171	7	1	570.50	568.09	2.41
60701301	11	6	563.73	565.32	-1.59
60701001	13	3	559.60	559.20	0.40

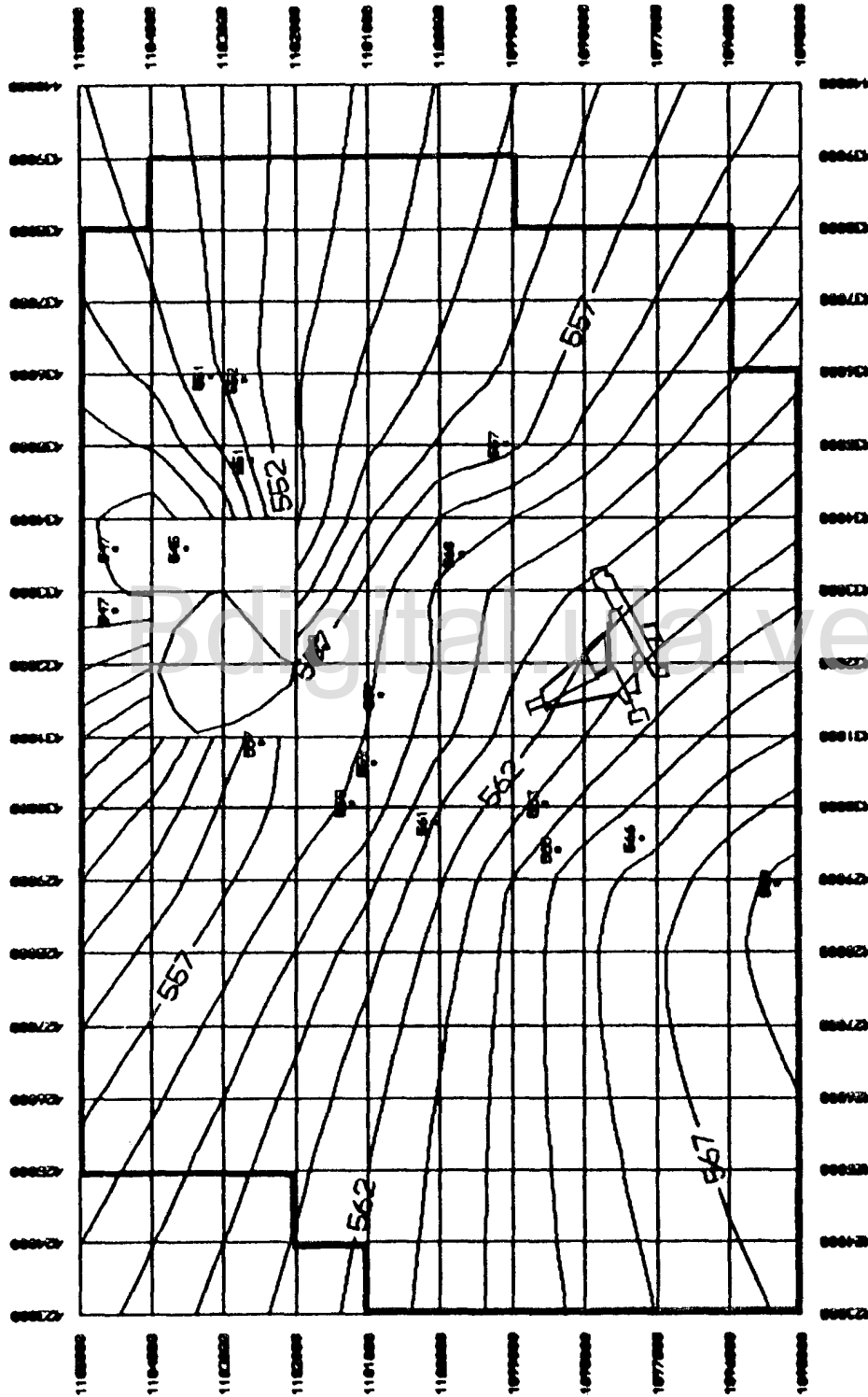


Figura D.1. Isolíneas simuladas, período de calibración, región central, 1987, Valle de Quíbor.

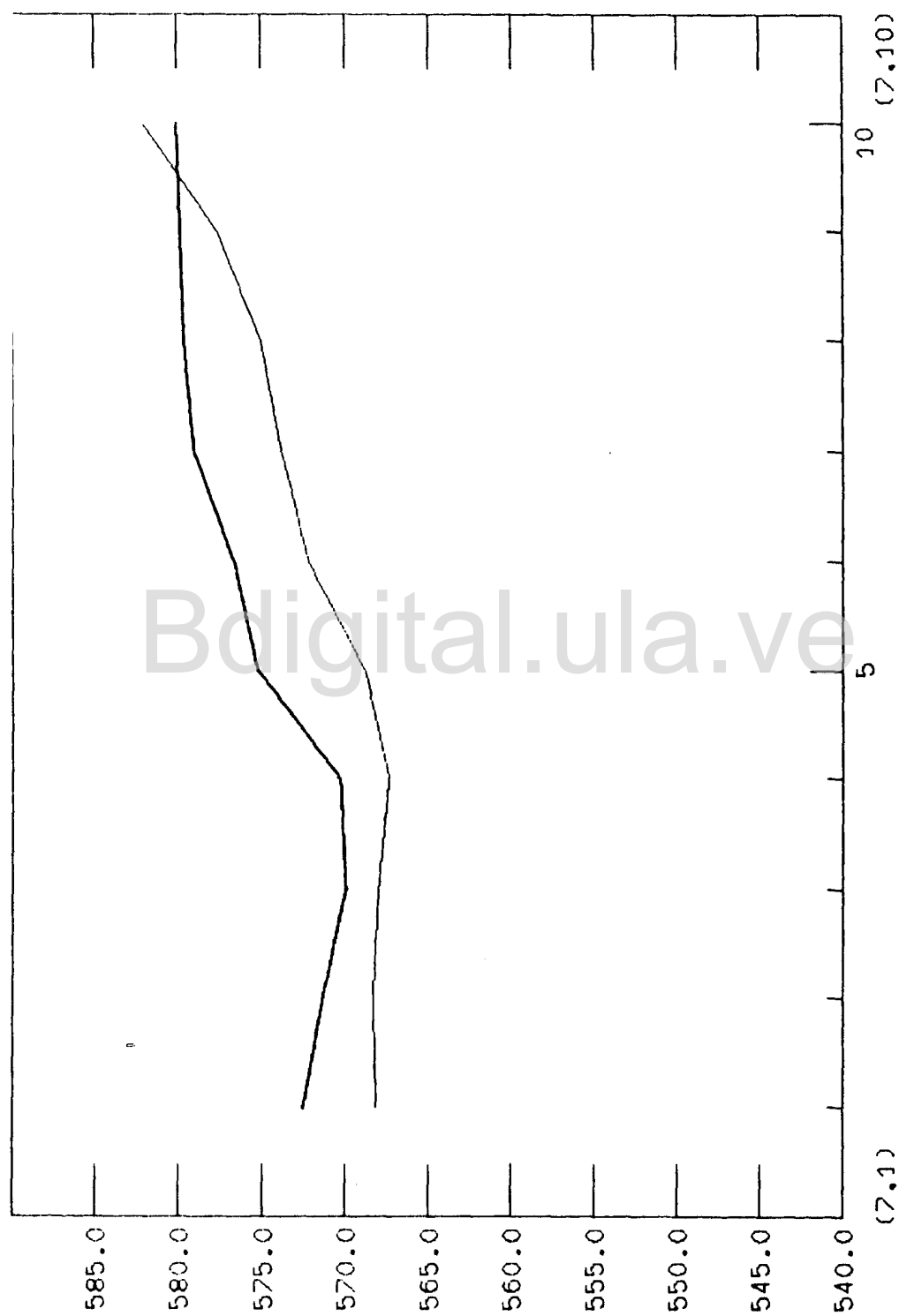


Figura D.2. Período de calibración, columna 7, 1982-1987, región central, Valle de Quíbor.

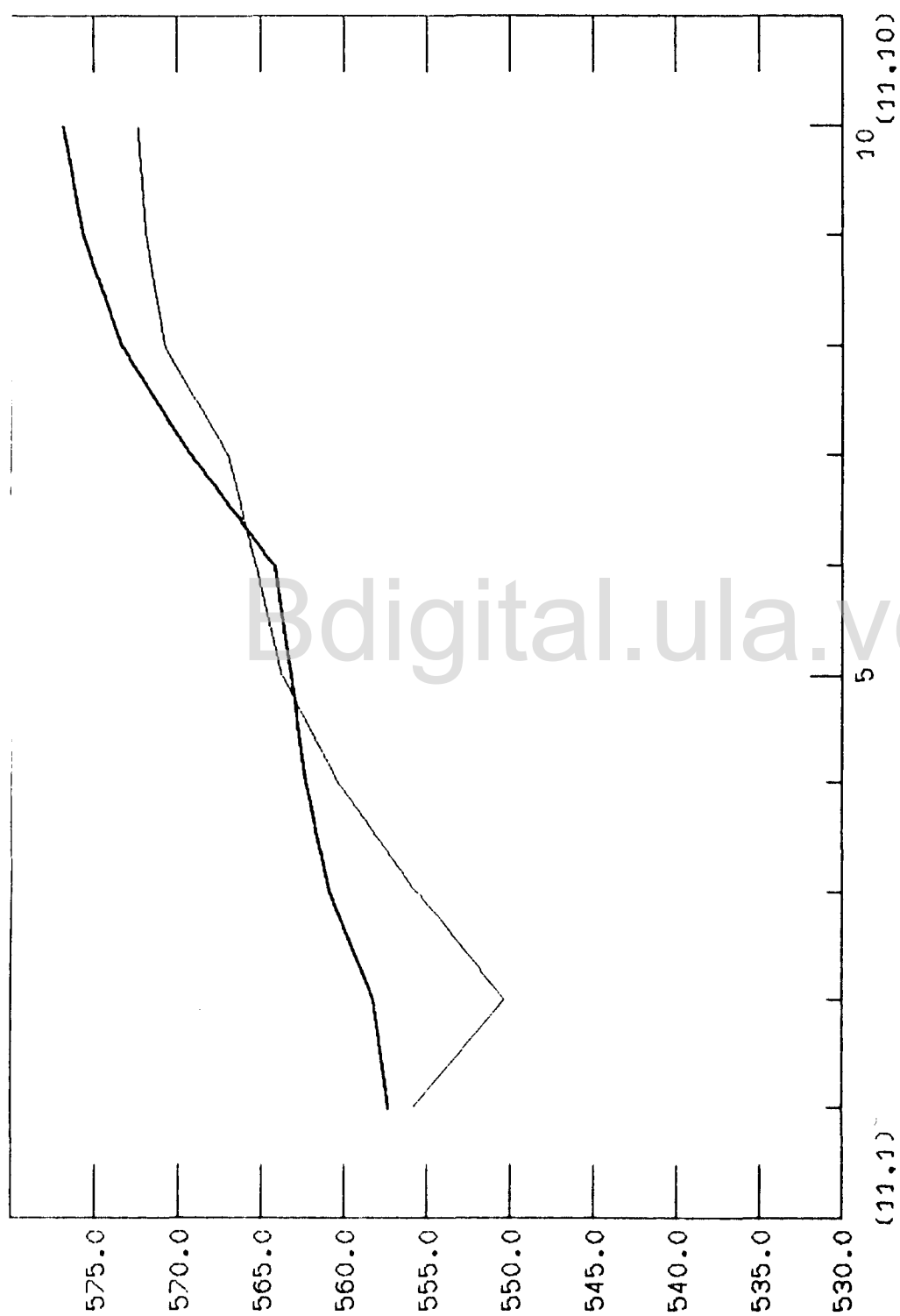


Figura D.3. Período de calibración, columna 11, 1982-1987, región central, Valle de Quíbor.

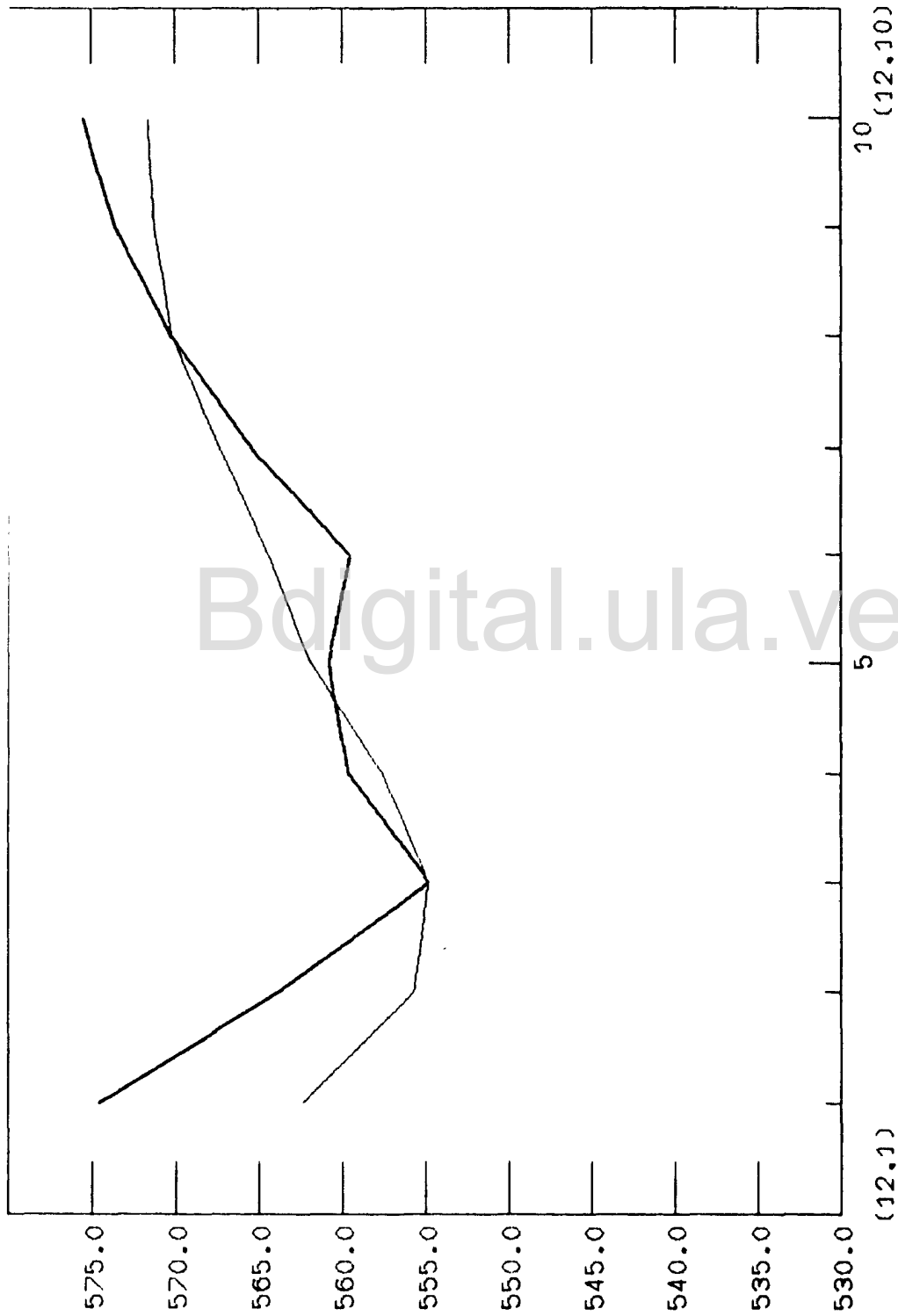


Figura D.4. Período de calibración, columna 12, 1982-1987, región central, Valle de Quíbor.

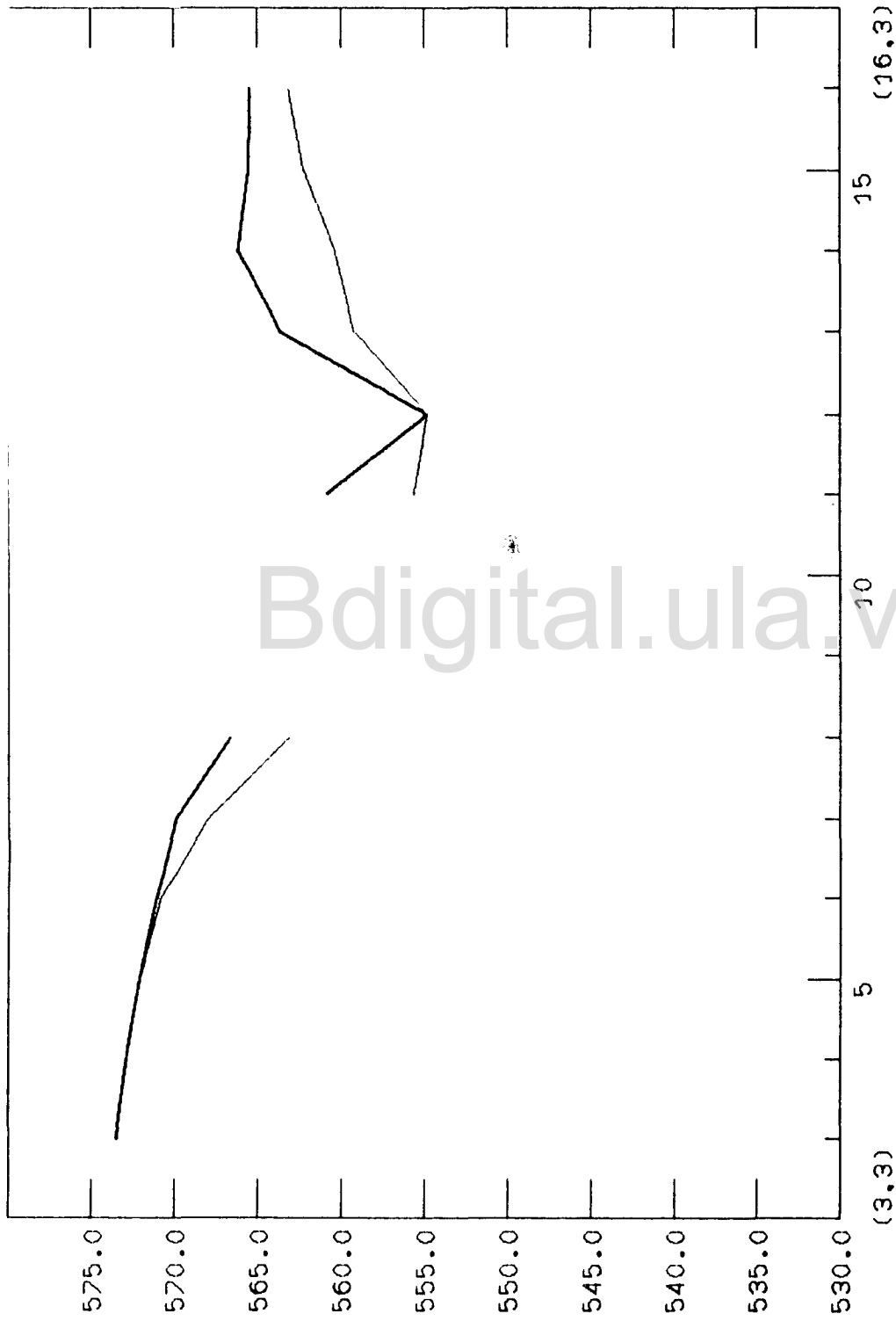


Figura D.5. Período de calibración, fila 3, 1982-1987, región central, Valle de Quíbor.

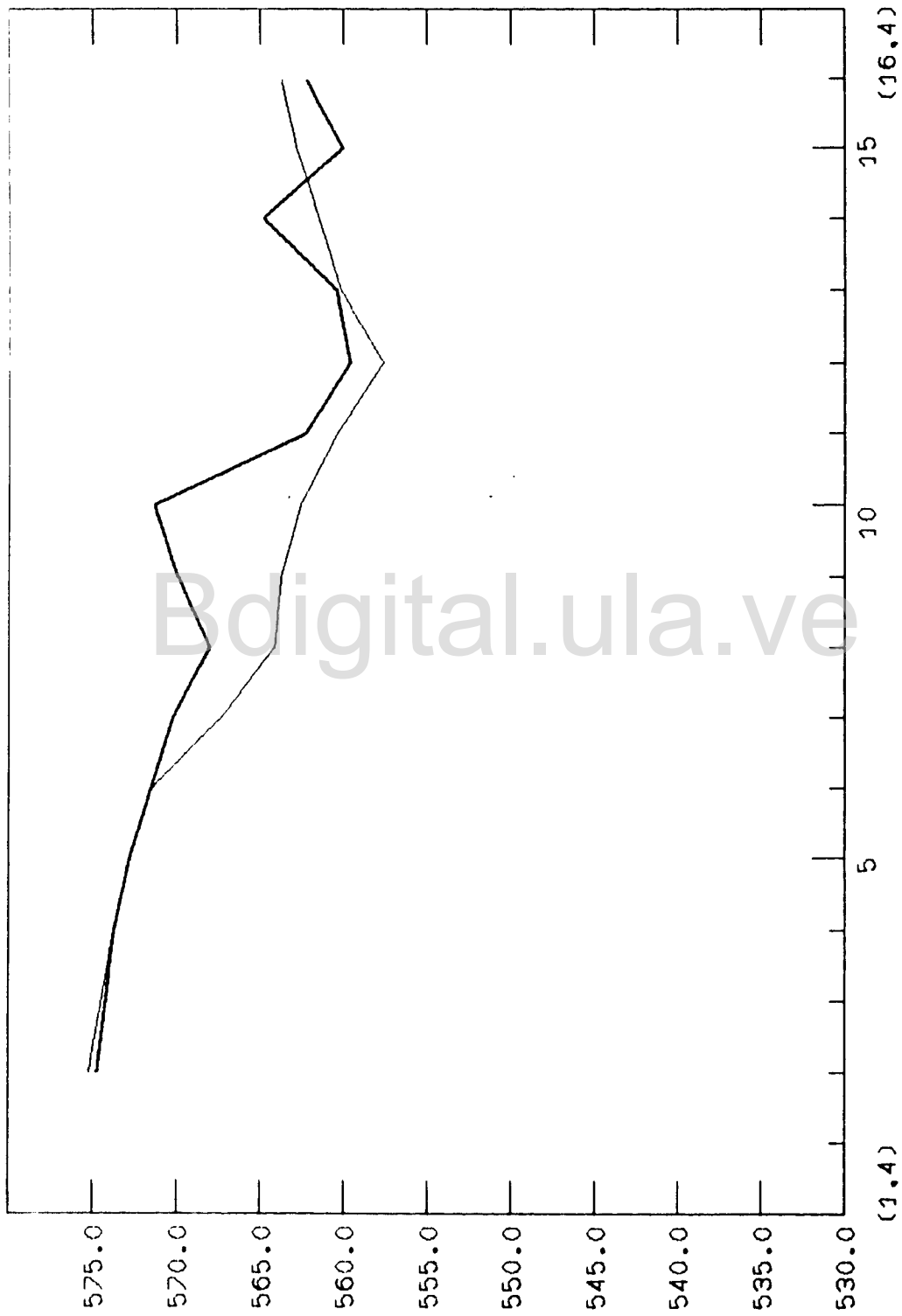


Figura D.6. Período de calibración, fila 4, 1982-1987, región central, Valle de Quíbor.

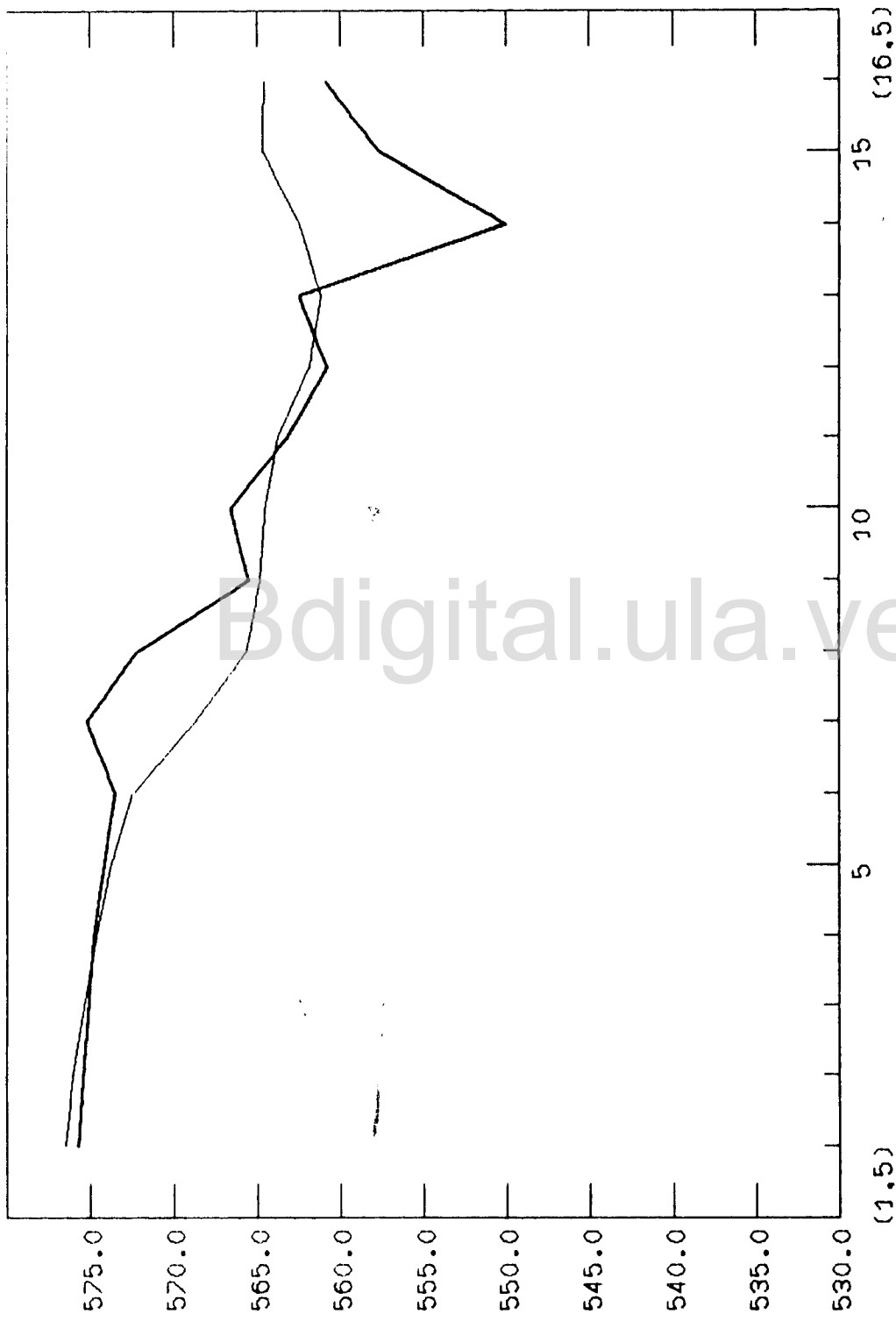


Figura D.7. Período de calibración, fila 5, 1982-1987, región central, Valle de Quibor.

Tabla D.2. Período de verificación, diferencia de niveles observados y simulados, 1987-1992, región central, Valle de Quibor.

Nombre de Pozo de Obs.	I	J	Hent.	Hsal.	Diferencia
607018	8	3	560.44	562.94	-2.50
607024	8	4	559.04	563.36	-4.32
607030	7	5	565.74	567.01	-1.27
607039	12	3	552.16	556.66	-4.50
607043	13	6	569.00	558.64	10.36
607057	13	2	555.10	556.43	-1.33
607063	9	5	563.22	563.17	0.05
607084	8	5	567.64	564.51	3.13
607087	7	7	566.50	571.47	-4.97
6070110	11	2	548.00	550.66	-2.66
6070112	7	8	568.04	572.32	-4.28
6070130	11	6	558.44	563.83	-5.39
6070100	13	3	552.40	557.04	-4.64
607064	10	5	560.00	563.33	-3.33
607085	8	7	569.70	569.46	0.24
607014	10	1	550.68	555.02	-4.34
607077	11	1	559.00	554.82	4.18
6070122	6	10	579.70	576.48	3.22

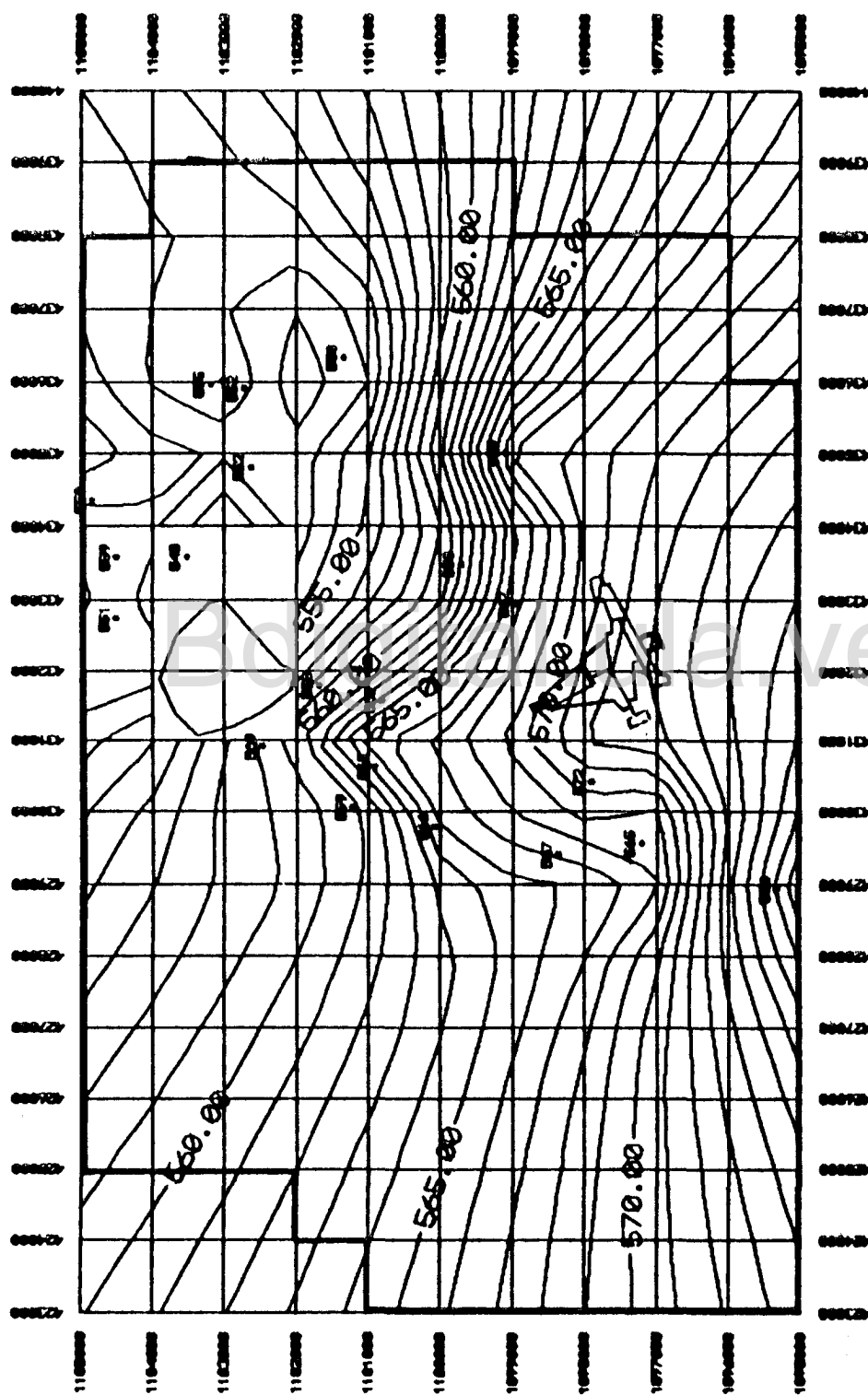


Figura D.8. Isolíneas simuladas, período de verificación, 1987-1992, región central, Valle de Quibor.

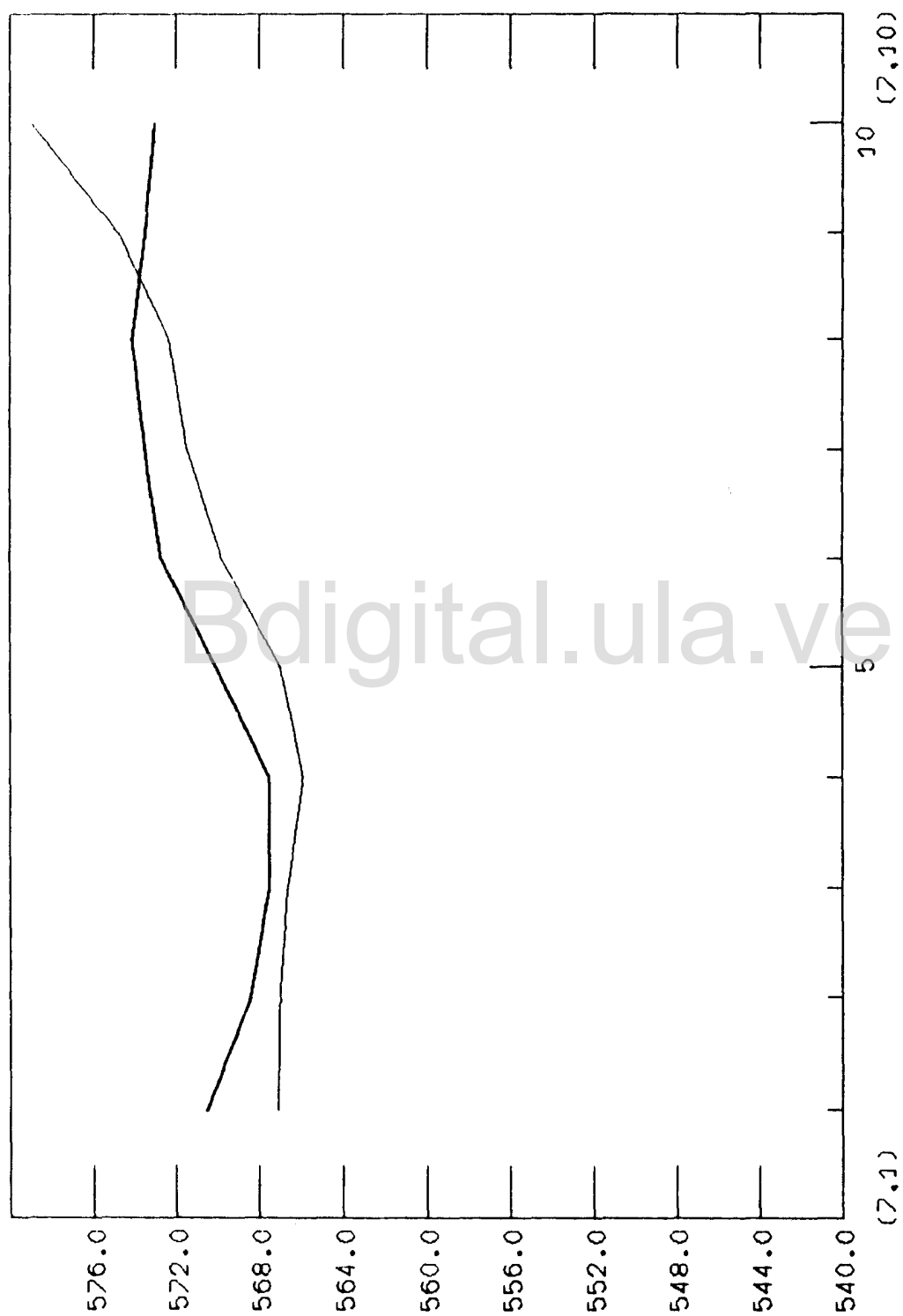


Figura D.9. Período de verificación, columna 7, 1987-1992, región central, Valle de Quíbor.

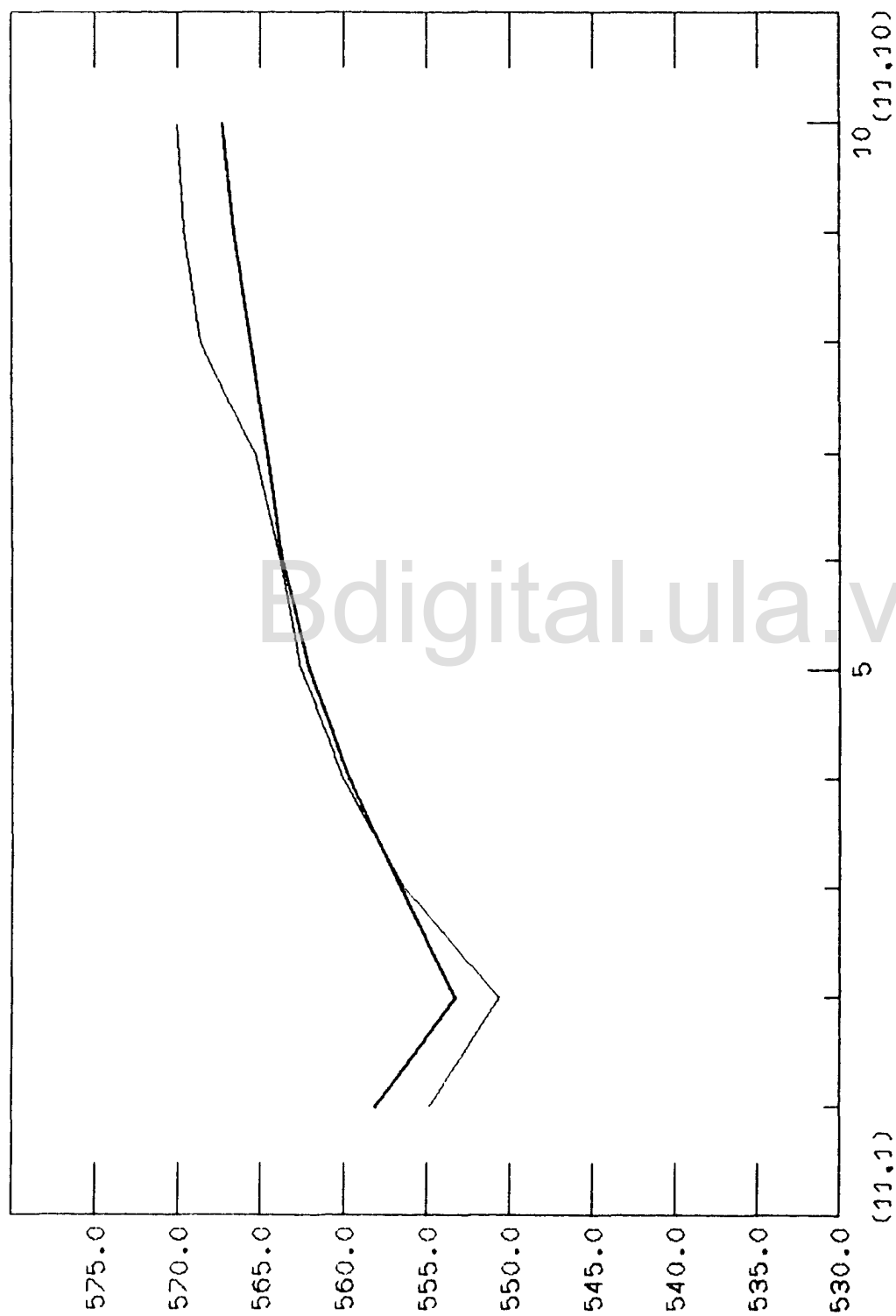


Figura D.10. Período de verificación, columna 11, 1987-1992, región central, Valle de Quibor.

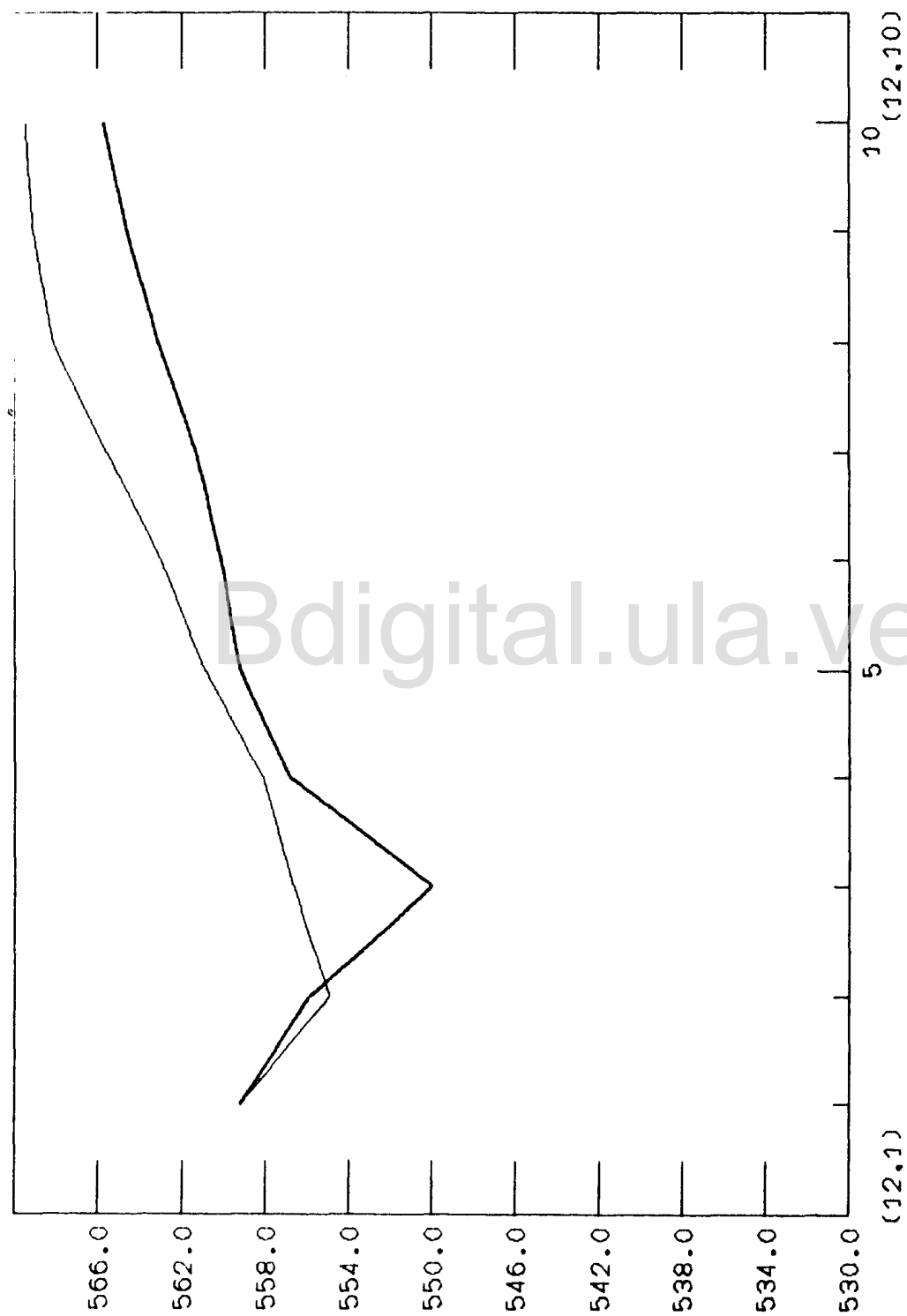


Figura D.11. Período de verificación, columna 12, 1987-1992, región central, Valle de Quíbor.

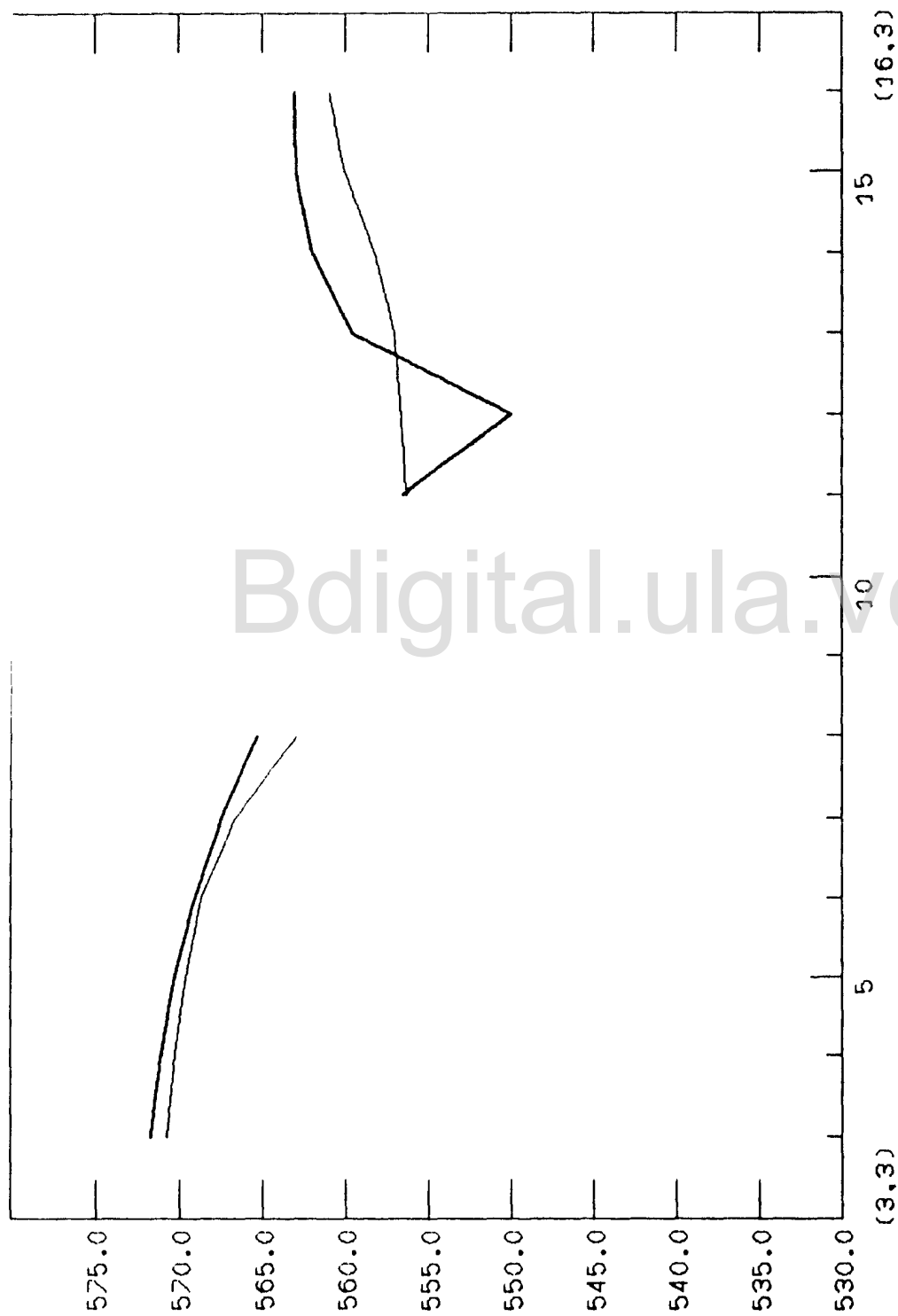


Figura D.12. Período de verificación, fila 3, 1987-1992, región central, Valle de Quíbor.

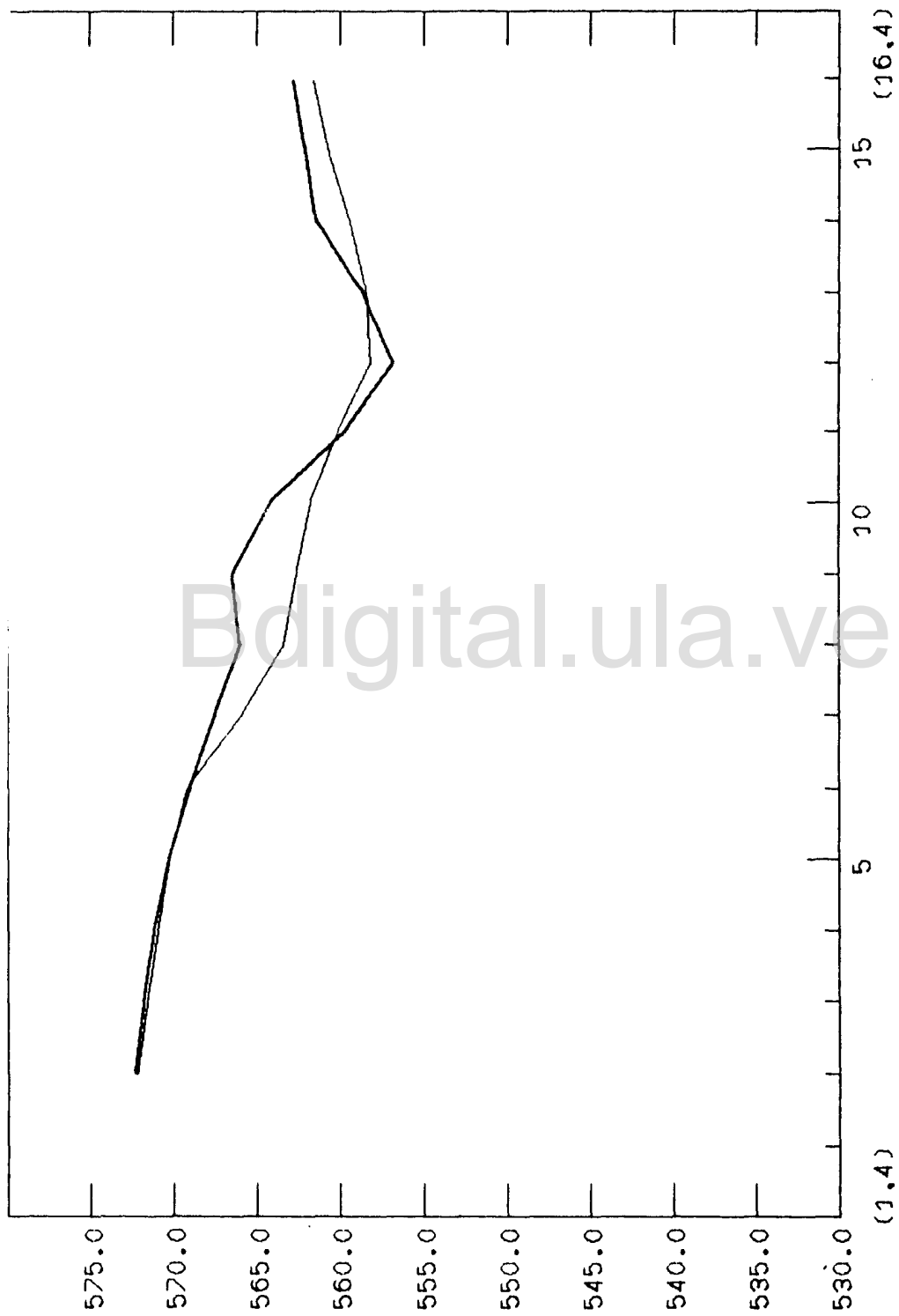


Figura D.13. Período de verificación, fila 4, 1987-1992, región central, Valle de Quibor.

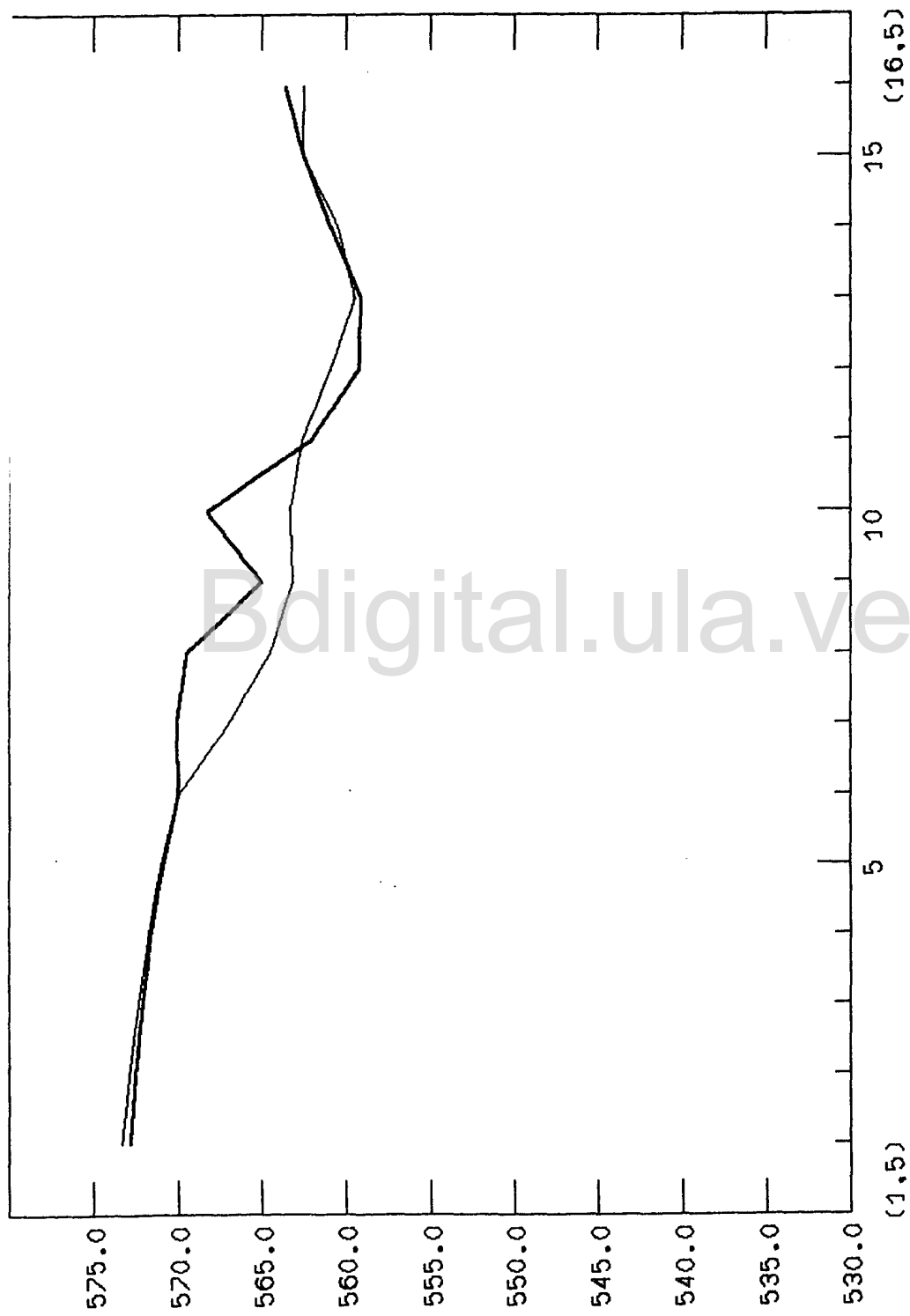


Figura D.14. Período de verificación, fila 5, 1987-1992, región Central, Valle de Quíbor.

Bdigital.ula.ve

C.C.Reconocimiento

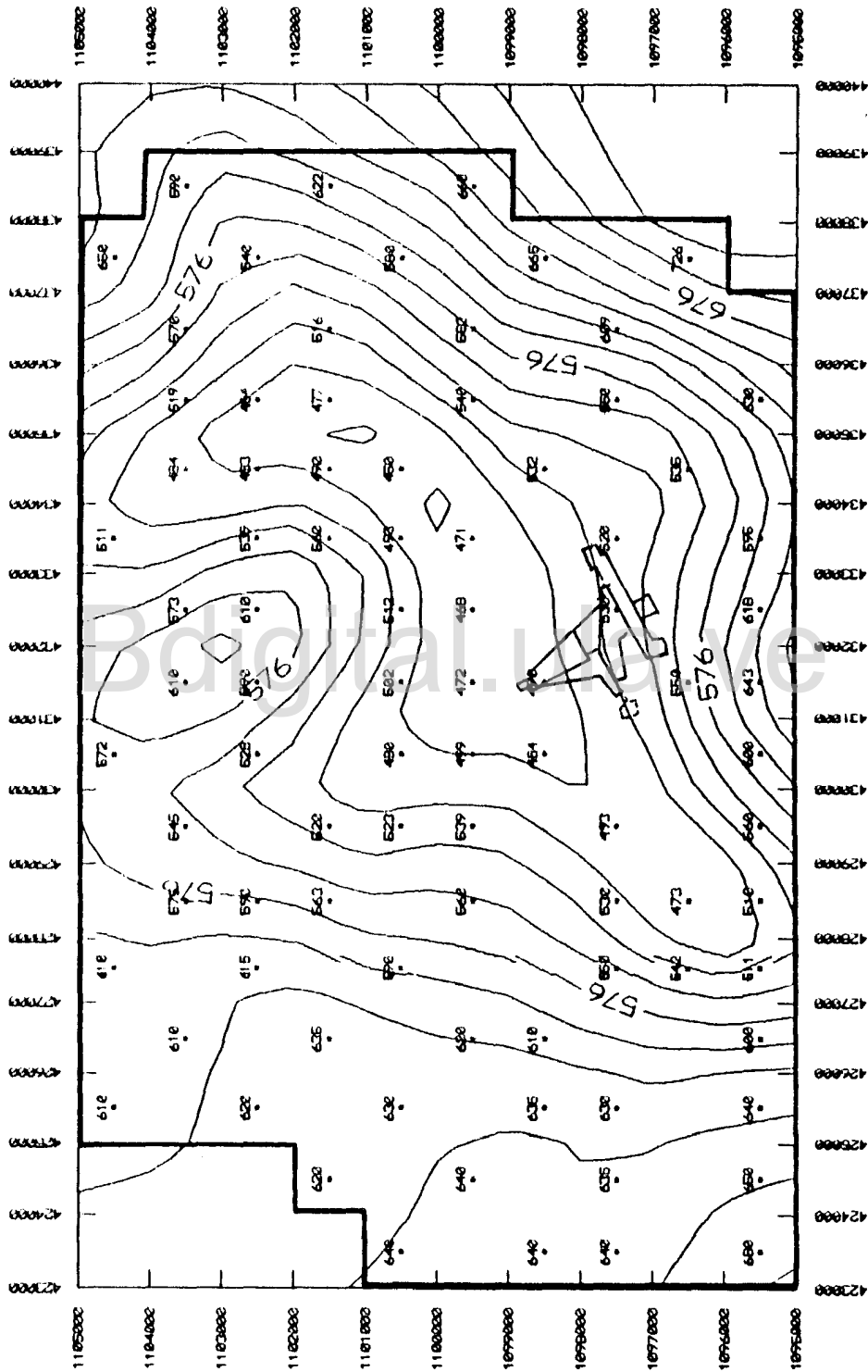
A P E N D I C E E

**ESPESOR DEL ALUVION, COTA DE FONDO DEL ACUIFERO
ESPESOR SATURADO, 1987**

ESPESOR SATURADO, 1992 DE LA REGION CENTRAL



Figura E.1. Espesor del aluvión o profundidad del tope de roca, región Central, Valle de Quíbor.



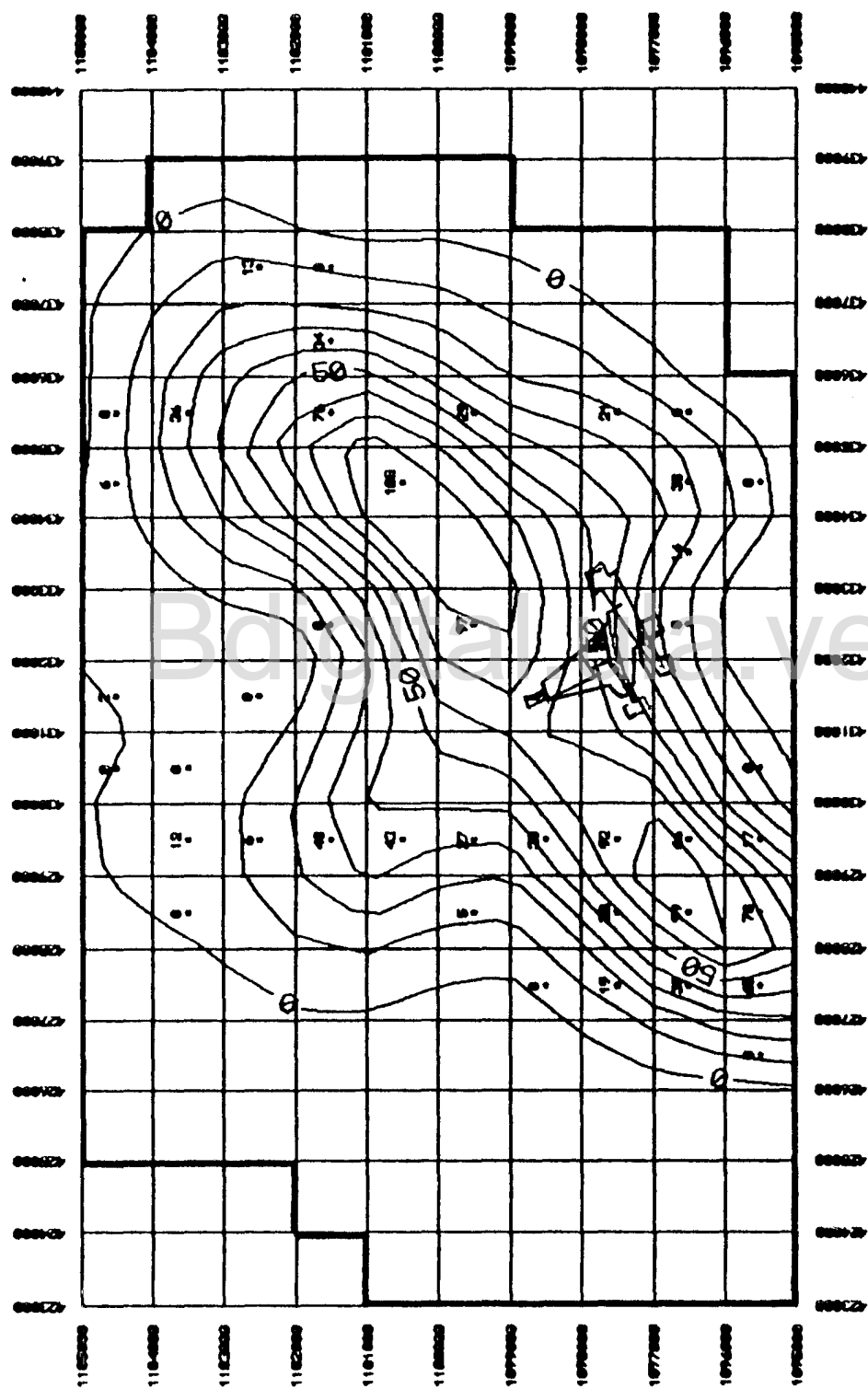


Figura E.4. Espesor saturado, región Central, 1992 Valle de Quibor.

A P E N D I C E F
RESULTADOS DE LAS POLITICAS DE EXPLOTACION
PROCESO DE SIMULACION

Tabla F.1. Período de simulación diferencia de niveles observados y simulados, 1992-1997, región Central Valle de Quíbor.

Hombre de Pozo de Ubaí	I	J	Hent.	Hsal.	Diferencia
6070181	8	3	560.44	557.97	2.47
6070241	8	4	559.04	558.39	0.65
6070301	7	5	565.74	562.37	3.37
6070391	12	3	552.16	550.41	1.75
6070431	13	6	569.00	554.82	14.18
6070571	13	2	555.10	549.77	5.33
6070631	9	5	563.22	557.66	5.56
6070841	8	5	567.64	559.50	8.14
6070871	7	7	566.50	567.40	-0.90
60701101	11	2	548.00	544.47	3.53
60701121	7	8	568.04	568.09	-0.05
60701301	11	6	558.44	559.38	-0.94
60701001	13	3	552.40	550.96	1.44
607064	10	5	560.00	558.52	1.48
607065	8	7	569.70	565.01	4.69
607014	10	1	550.68	546.91	3.77
607077	11	1	559.00	547.20	11.80
6070122	6	10	579.70	572.02	7.68

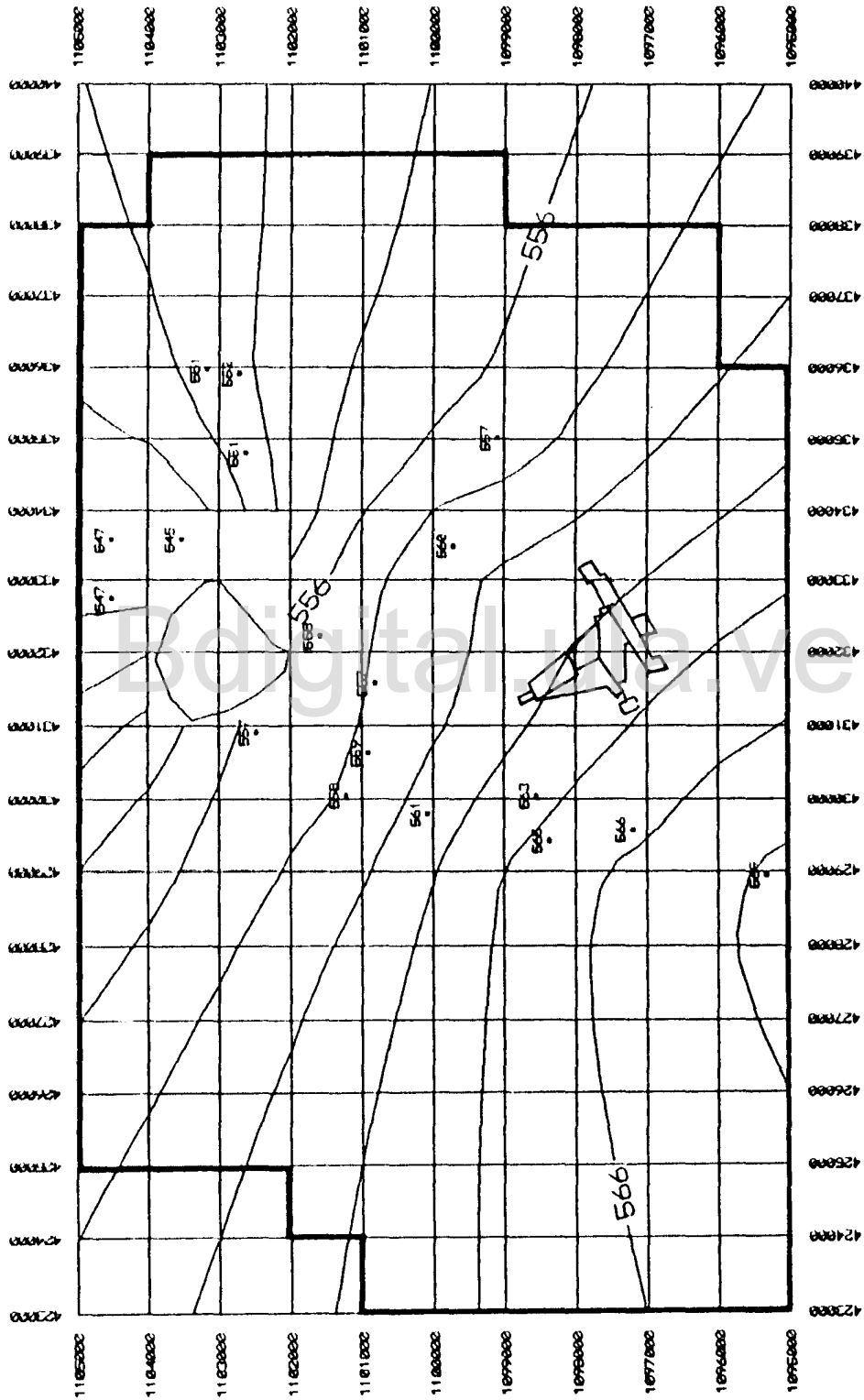


Figura F.1. Isolíneas simuladas región Central 1997, Valle de Quibor.

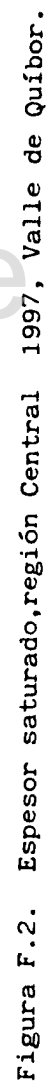


Figura F.2. Espesor saturado, región Central 1997, Valle de Quíbor.

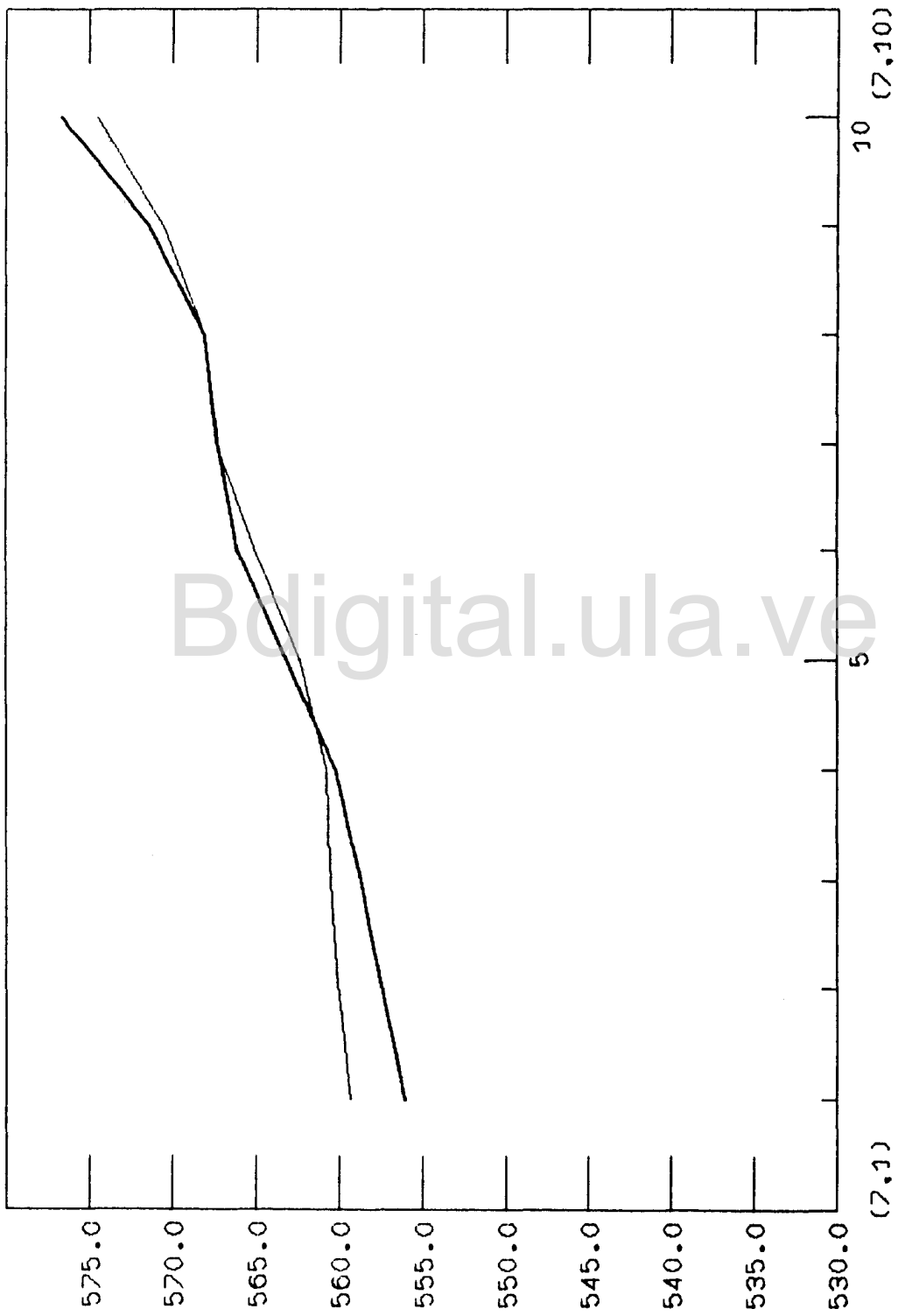


Figura F.3. Período de simulación, columna 7, 1992-1997, región Central Valle de Quibor.

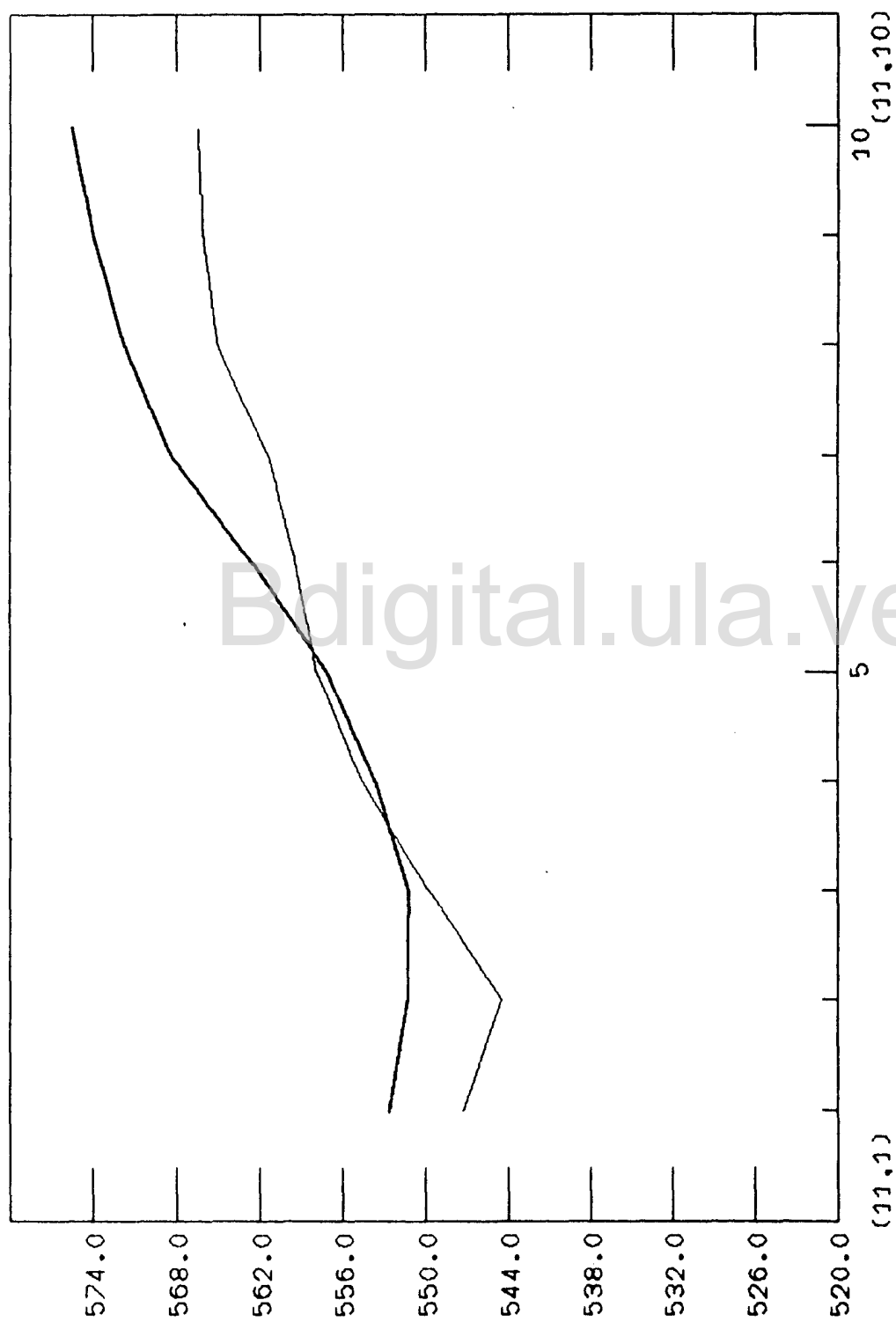


Figura F.4. Período de simulación, columna 11, 1992-1997, región Central, Valle de Quíbor.

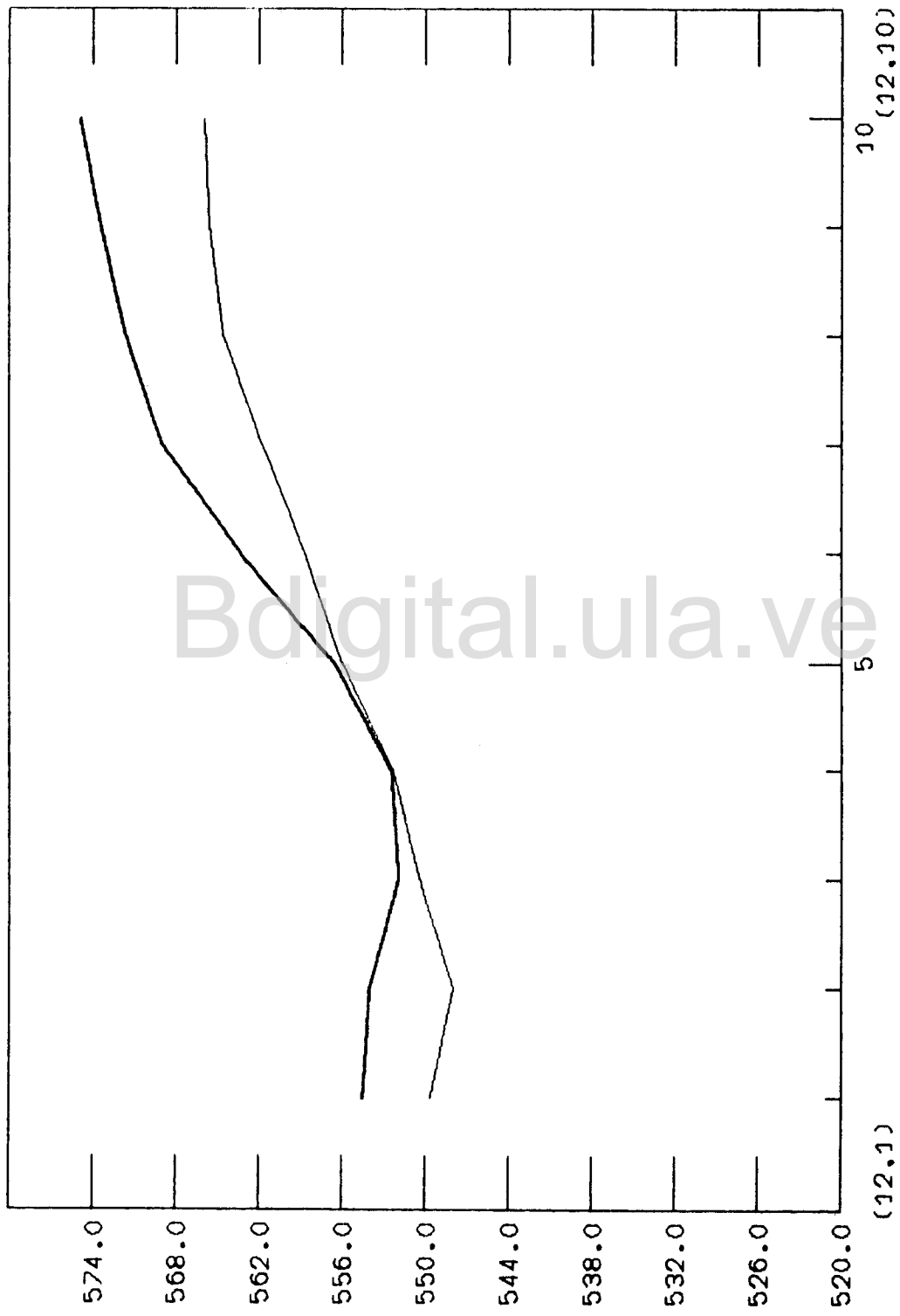


Figura F.5. Período de simulación, columna 12, 1992-1997, región Central, Valle de Quibor.

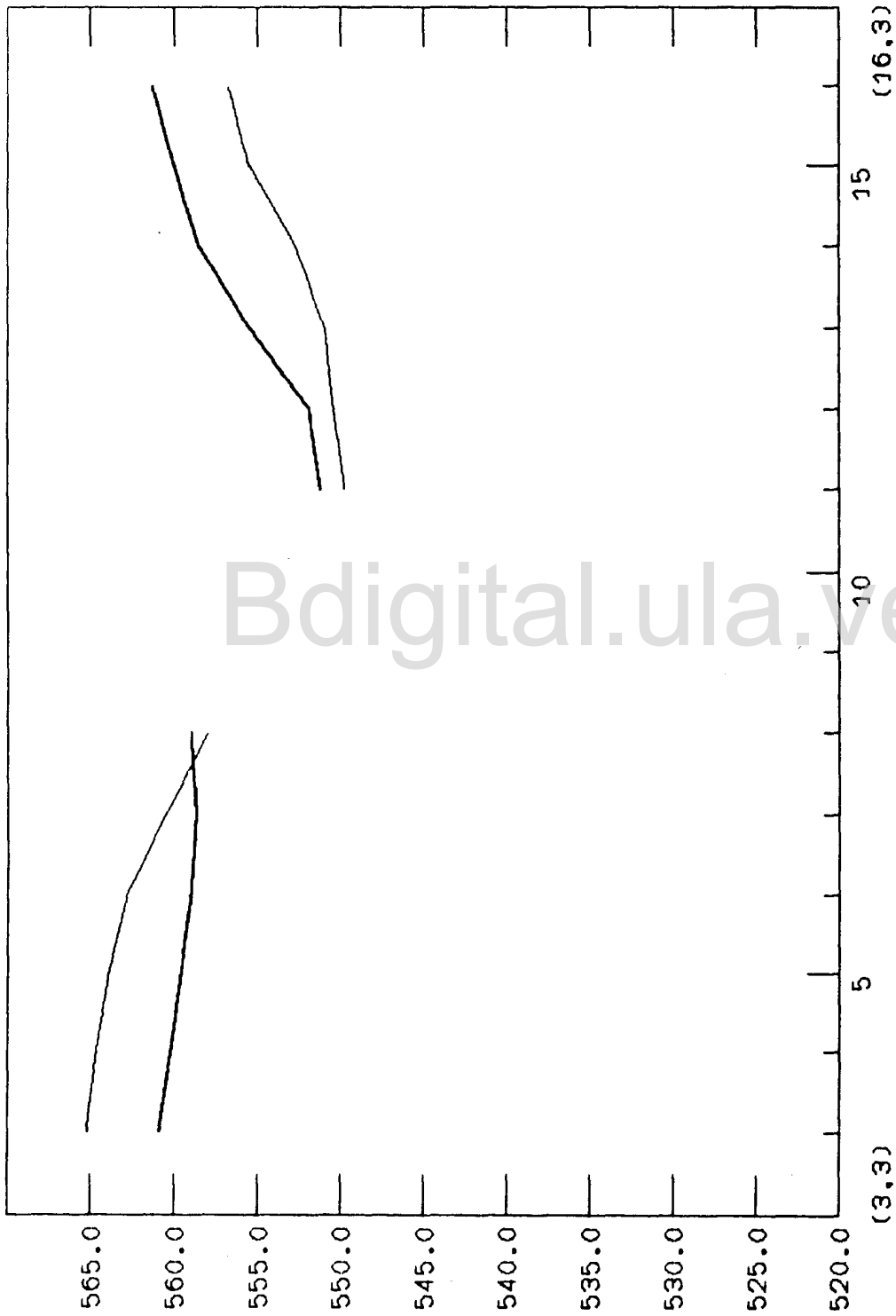


Figura F.6. Período de simulación, fila 3, 1992-1997, región Central, Valle de Quibor.

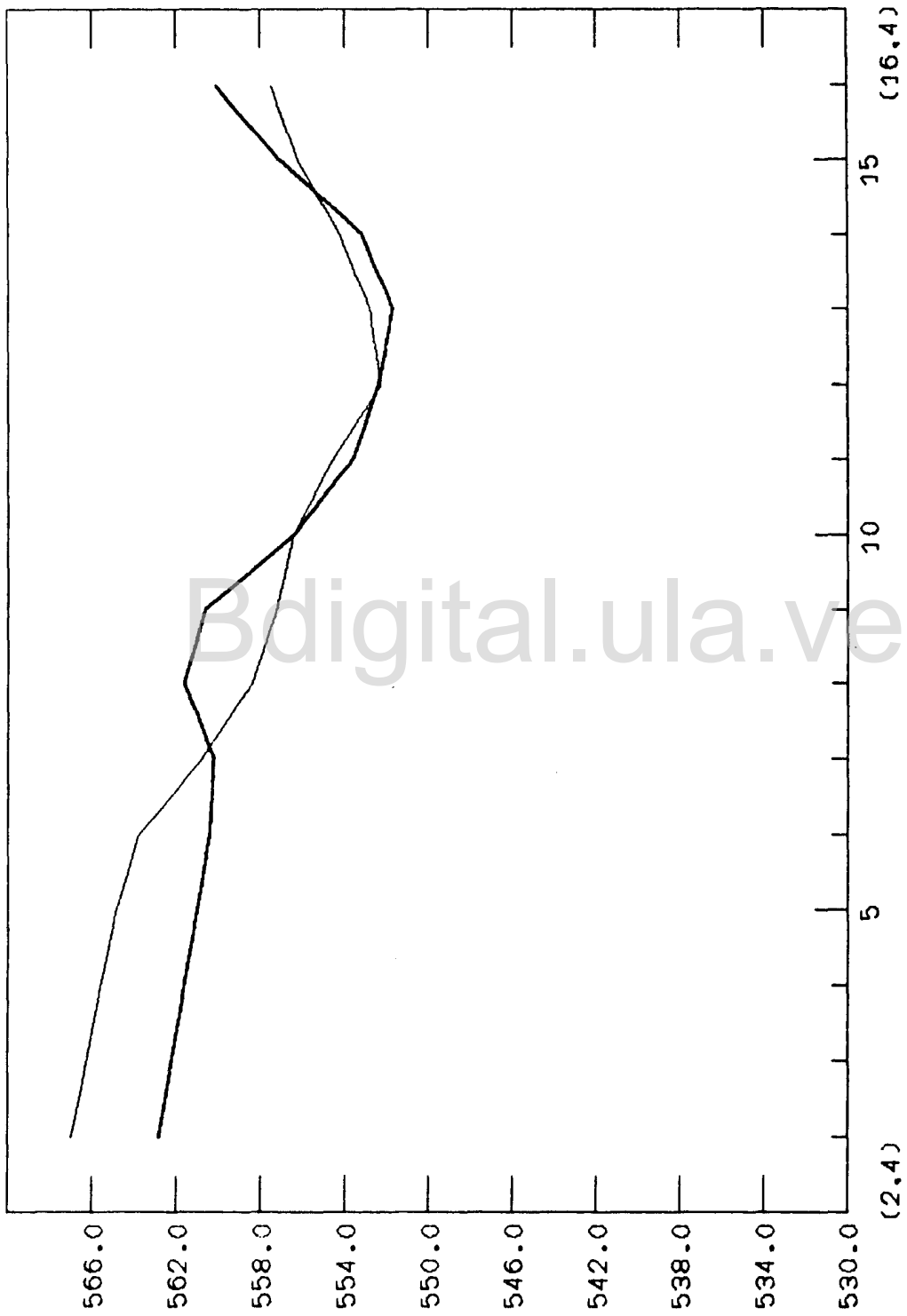


Figura F.7. Período de simulación, fila 4, 1992-1997, región Central, Valle de Quíbor.

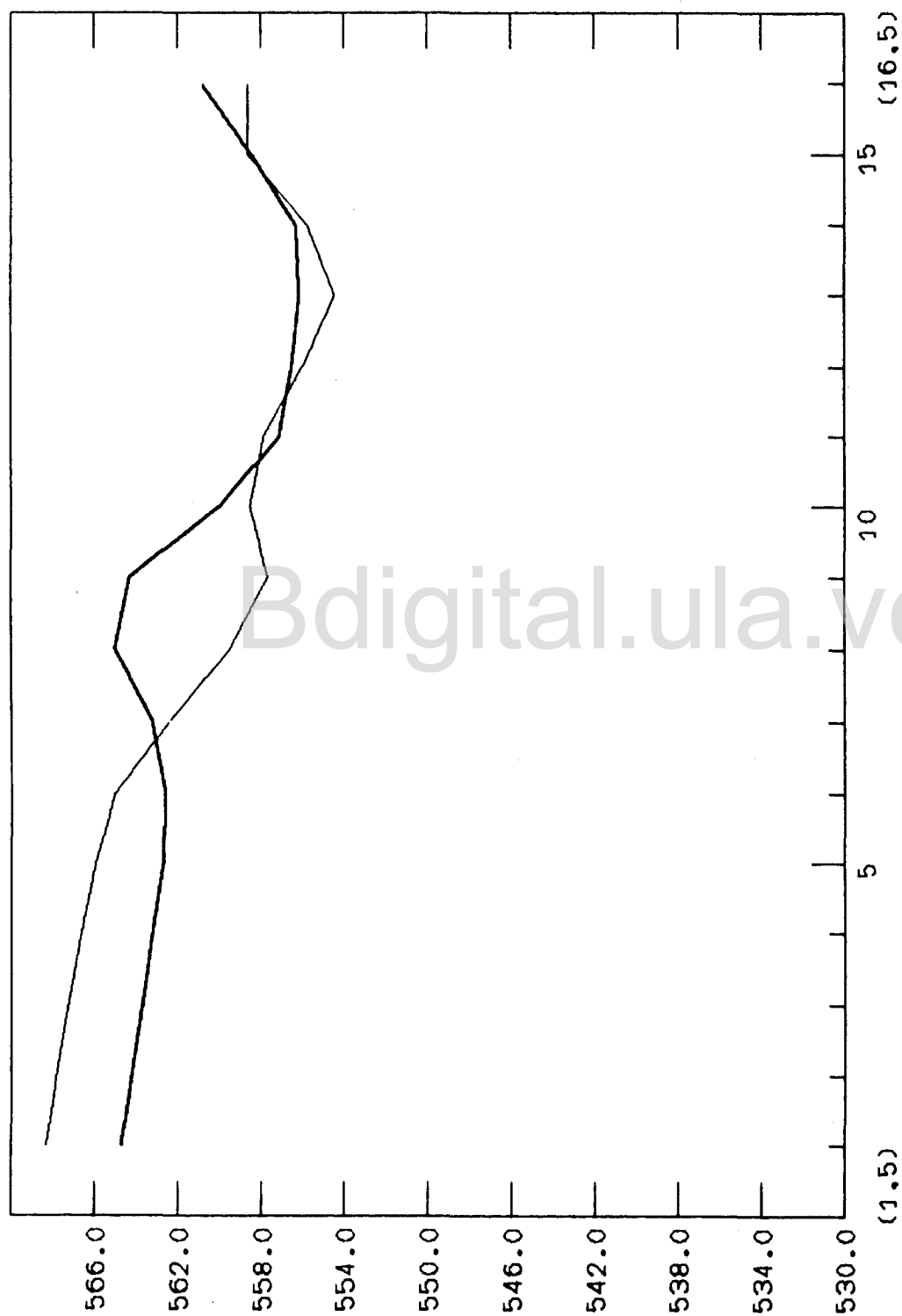


Figura F.8. Período de simulación, fila 5, 1992-1997, región Central, Valle de Quíbor.

Tabla F.2. Período de simulación, diferencia de niveles observados y simulados, 1997-2002, región Central, Valle de Quibor.

Nombre de Pozo de Obs.	I	J	Hent.	Hsal.	Diferencia
607018	8	3	557.29	554.29	3.00
607024	8	4	557.64	554.50	3.14
607030	7	5	561.16	558.41	2.75
607039	12	3	551.23	545.93	5.30
607043	13	6	556.56	549.77	6.79
607057	13	2	550.63	545.34	5.29
607063	9	5	557.06	553.48	3.58
607084	8	5	558.63	555.50	3.13
607087	7	7	565.30	563.19	2.11
6070110	11	2	544.90	541.20	3.70
6070112	7	8	565.58	563.77	1.81
6070130	11	6	559.70	554.66	5.04
6070100	13	3	552.00	546.35	5.65
607064	10	4	558.42	552.17	6.25
607085	8	7	563.07	560.61	2.46
607014	10	1	547.00	544.21	2.79
607077	11	1	547.31	544.48	2.83
6070122	6	10	568.52	567.75	0.77

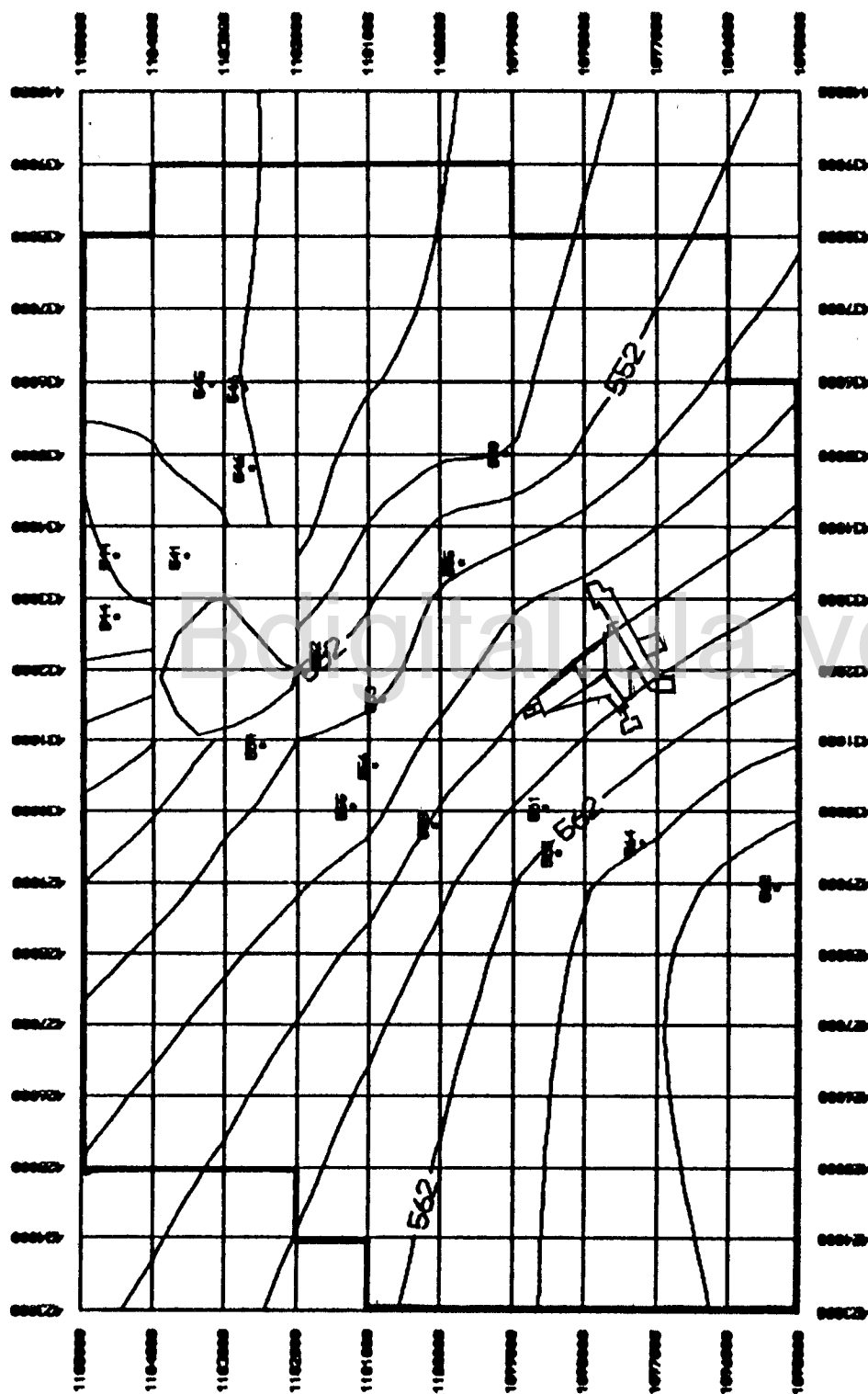


Figura F.9. Isolines simuladas, región Central año 2002, Valle de Quibor.

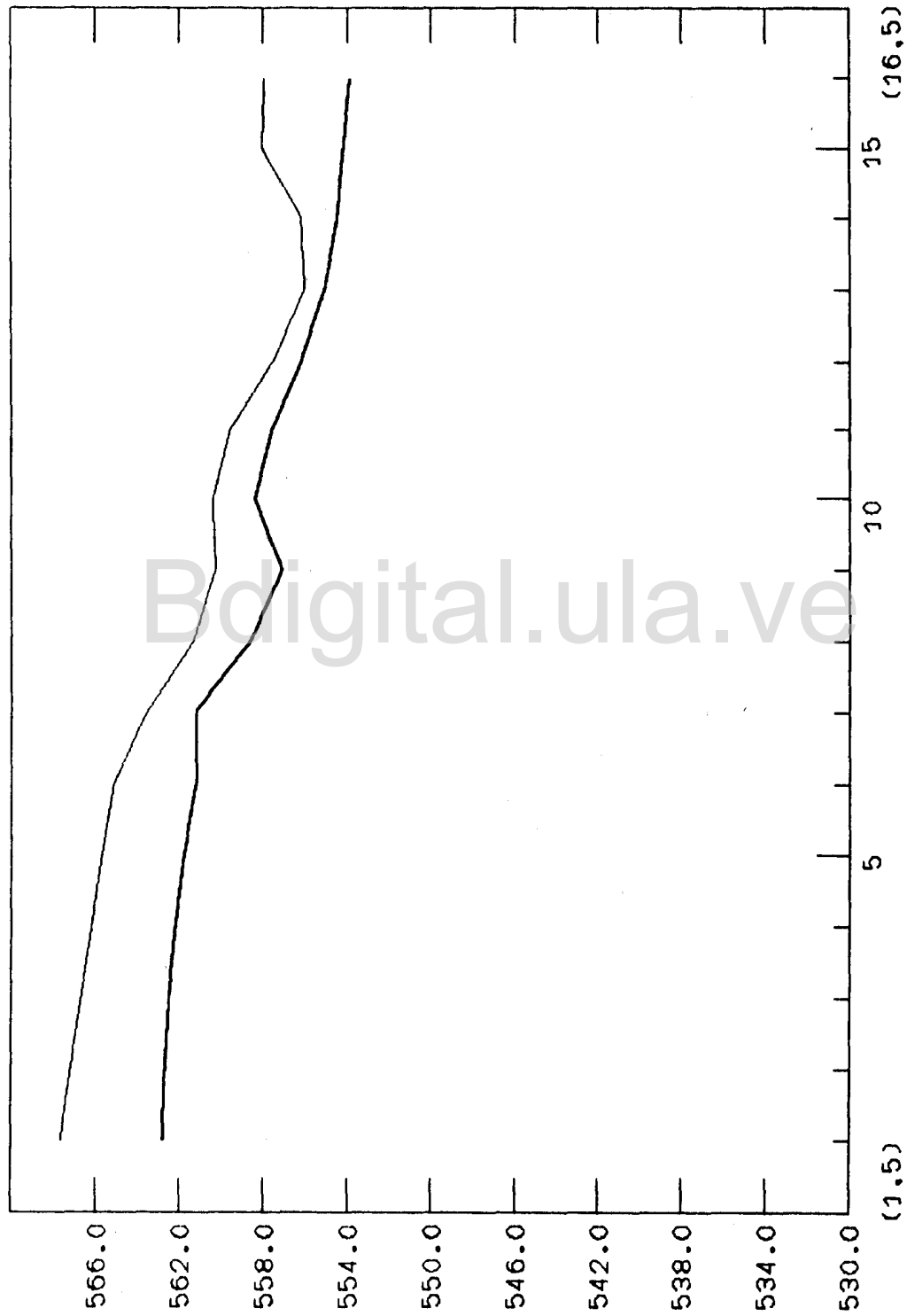


Figura F.24. Período de simulación, fila 5, (con el 50% menos del Q92), año 1997-2002, región Central, Valle de Quíbor.

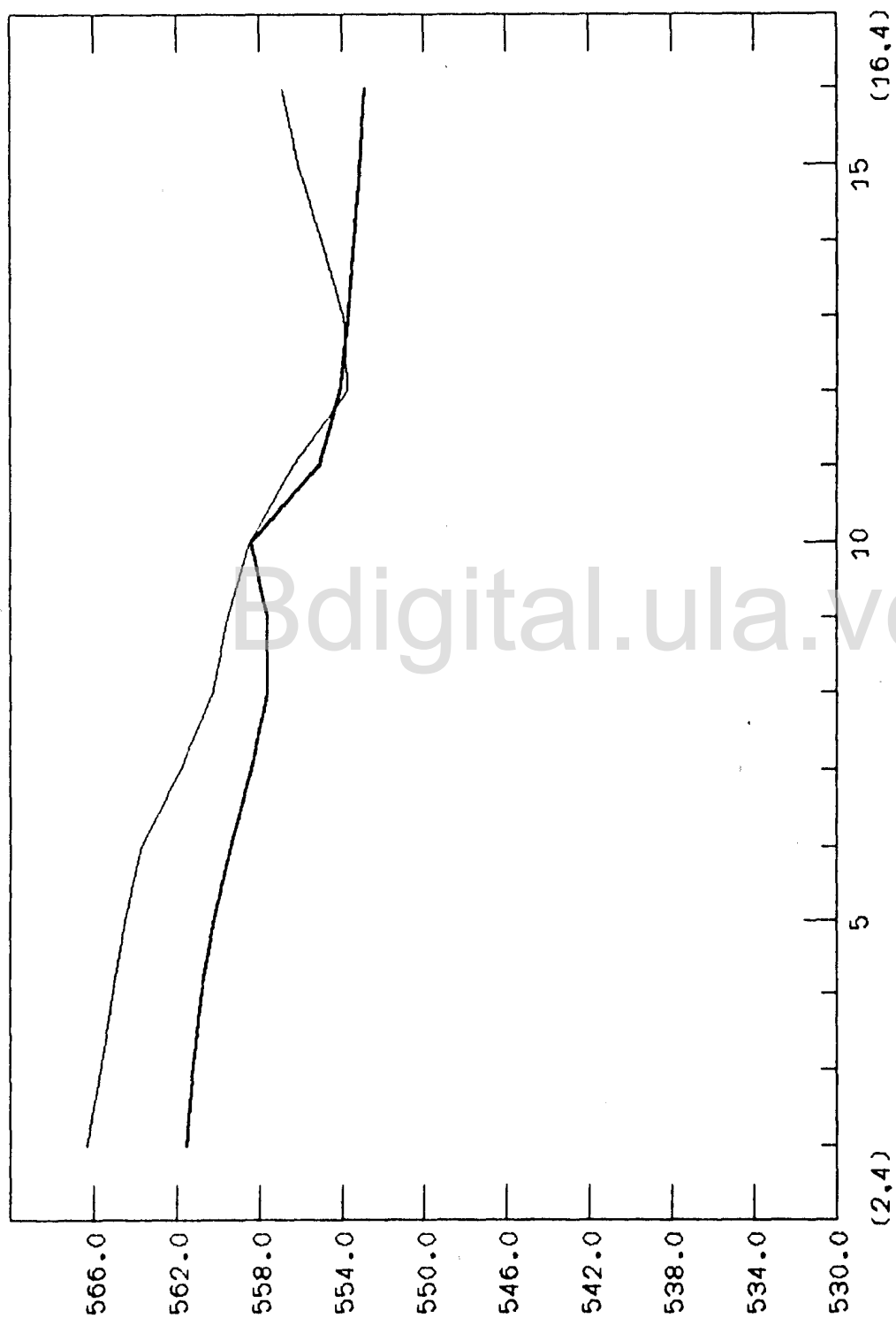


Figura F.23. Período de simulación, fila 4, (con el 50% menos del Q92), año 1997-2002, región Central, Valle de Quíbor.

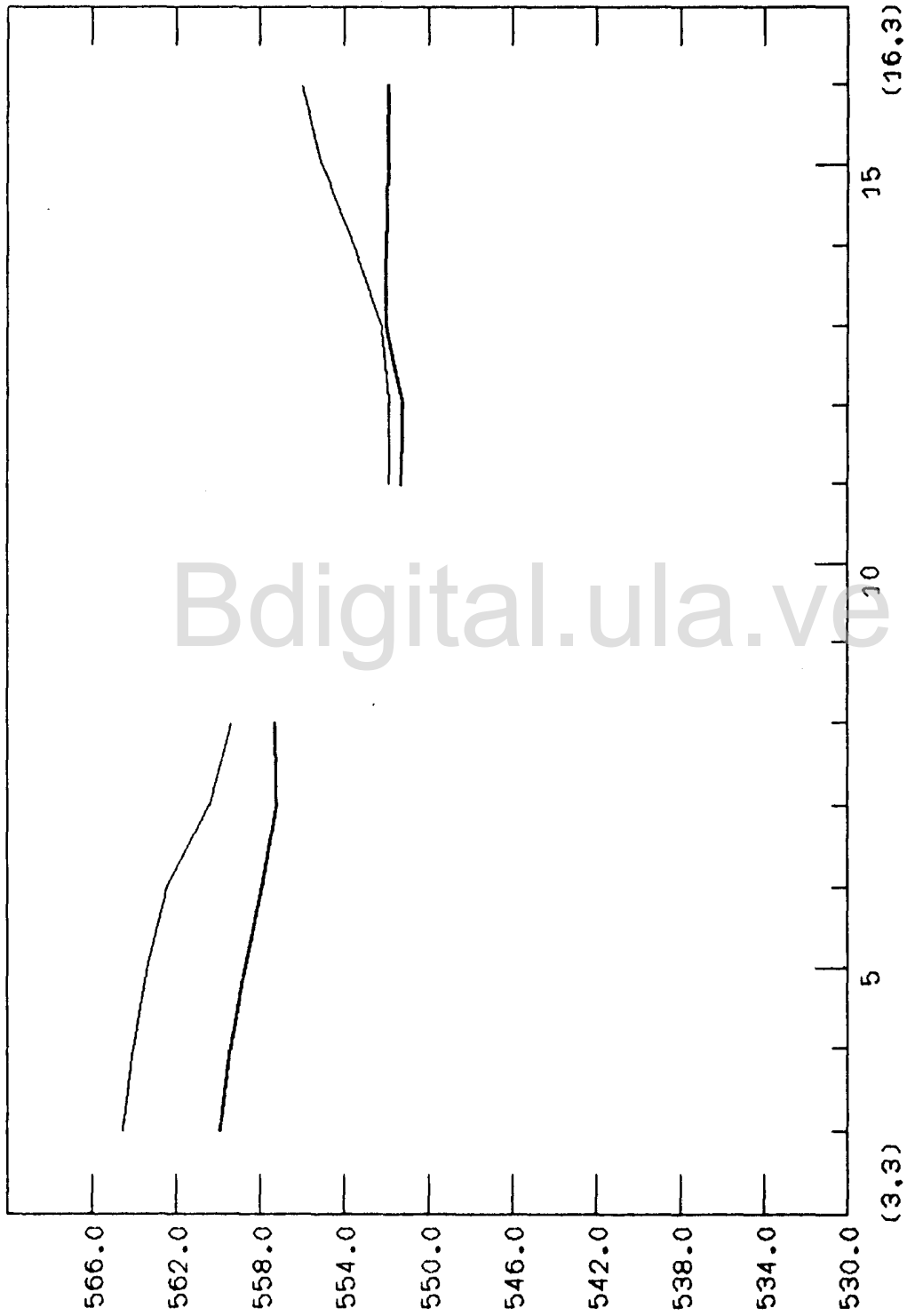


Figura F.22. Período de simulación, fila 3, (con el 50% menos del Q92), año 1997-2002, región Central, Valle de Quibor.

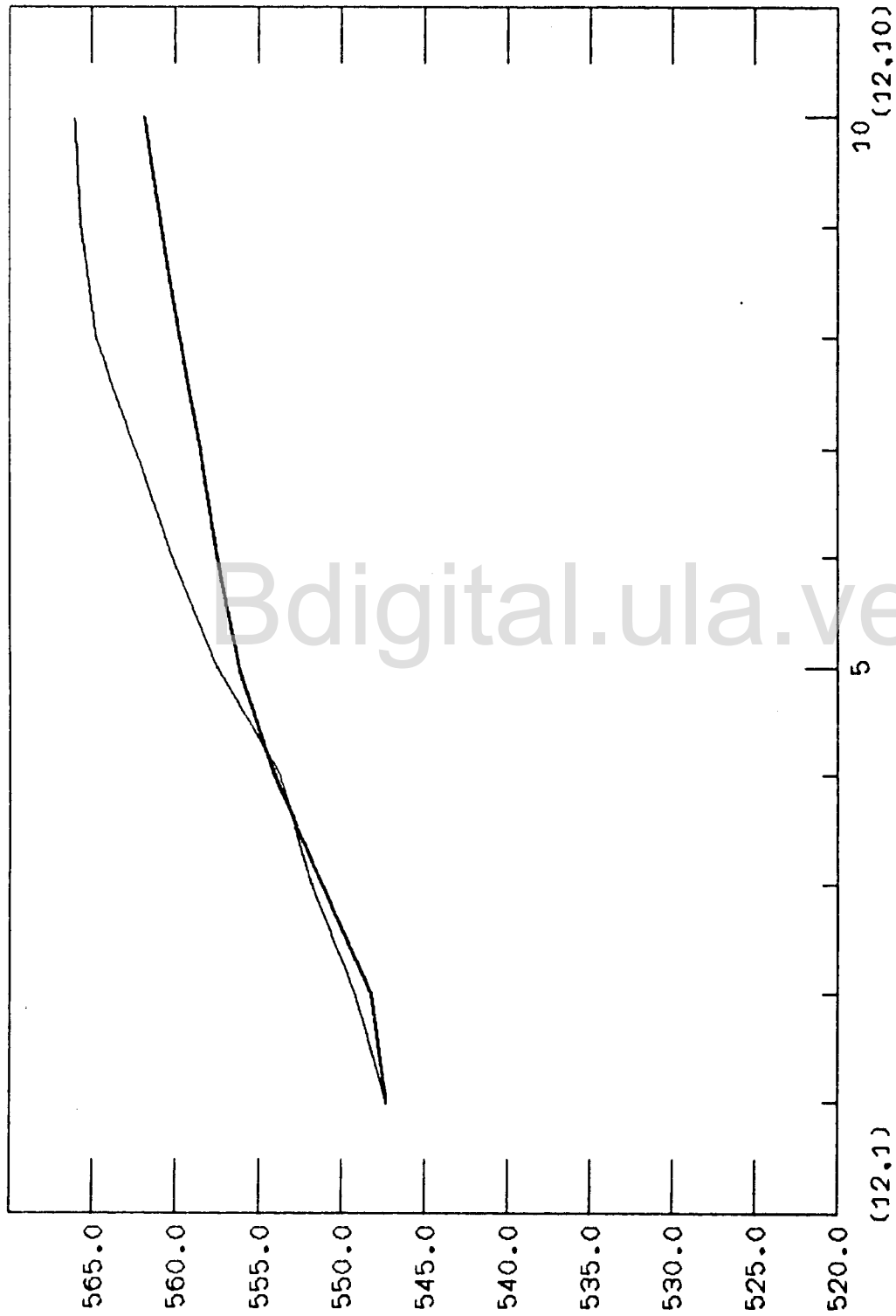


Figura F.21. Período de simulación, columna 12, (con el 50% menos del Q92), año 1997-2002, región Central, Valle de Quíbor.

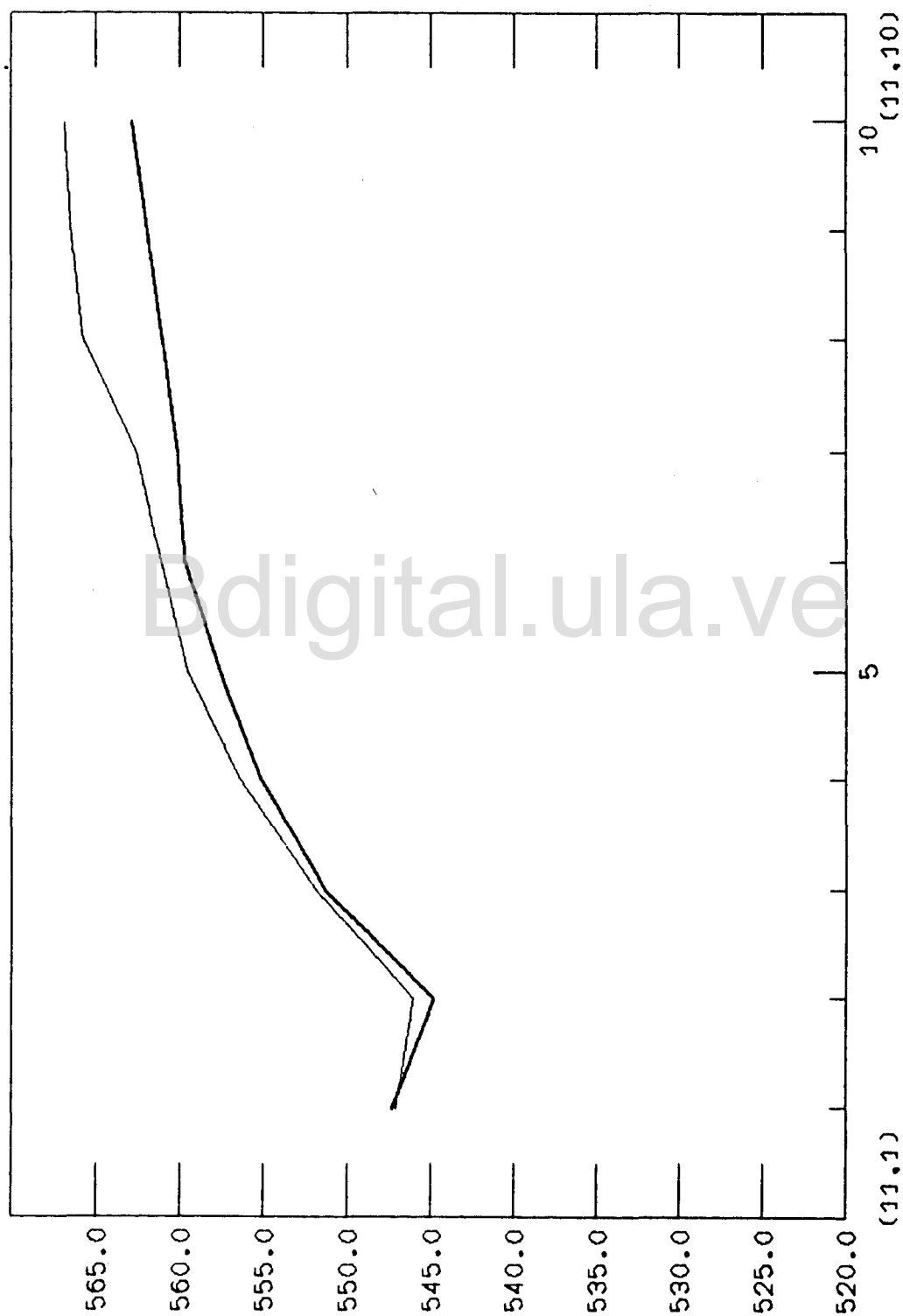


Figura F.20. Período de simulación, columna 11, (con el 50% menos del Q92), año 1997-2002, región Central, Valle de Quíbor.

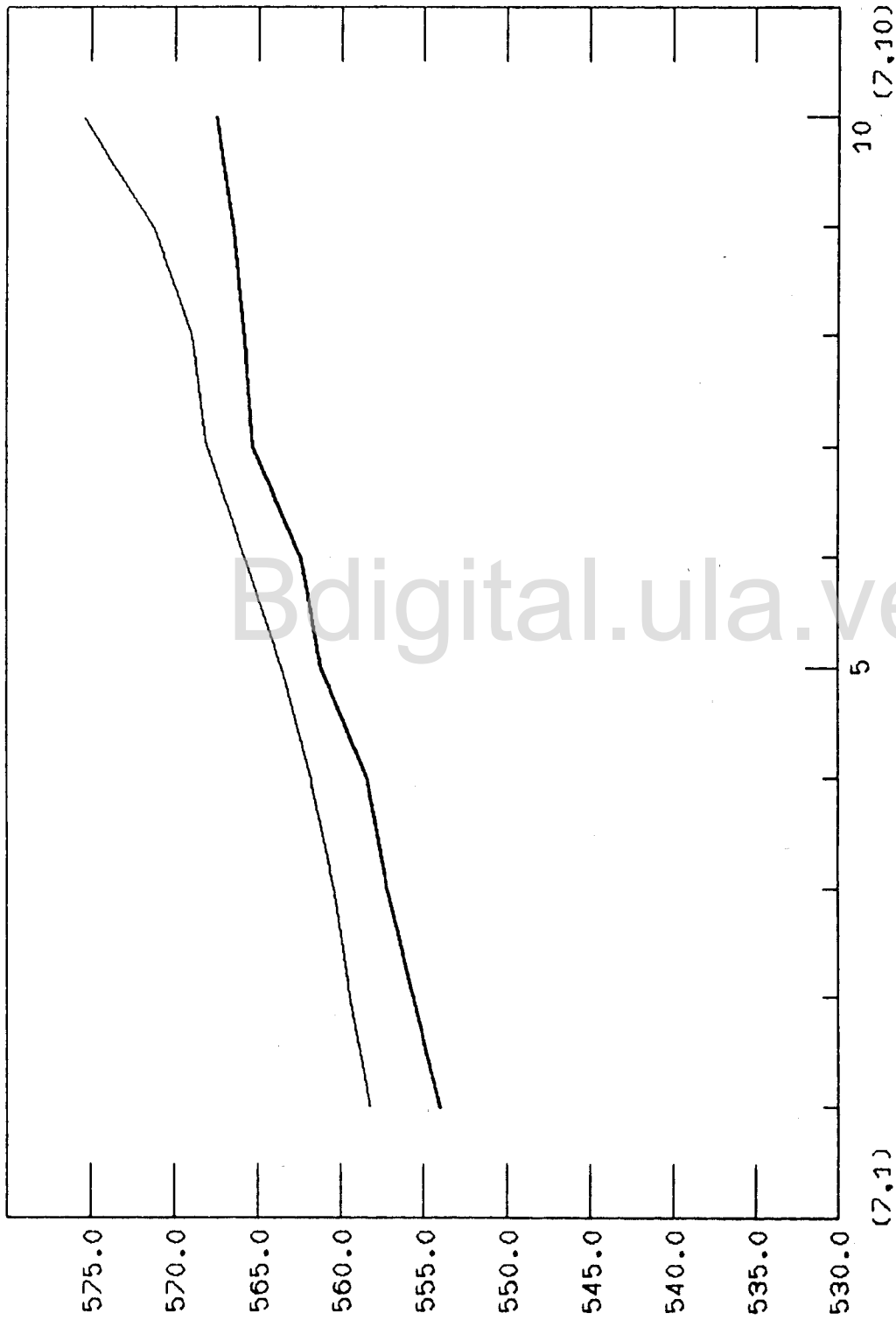


Figura F.19. Período de simulación, columna 7, (con el 50% menos del Q92), año 1997-2002, región Central, Valle de Quíbor.

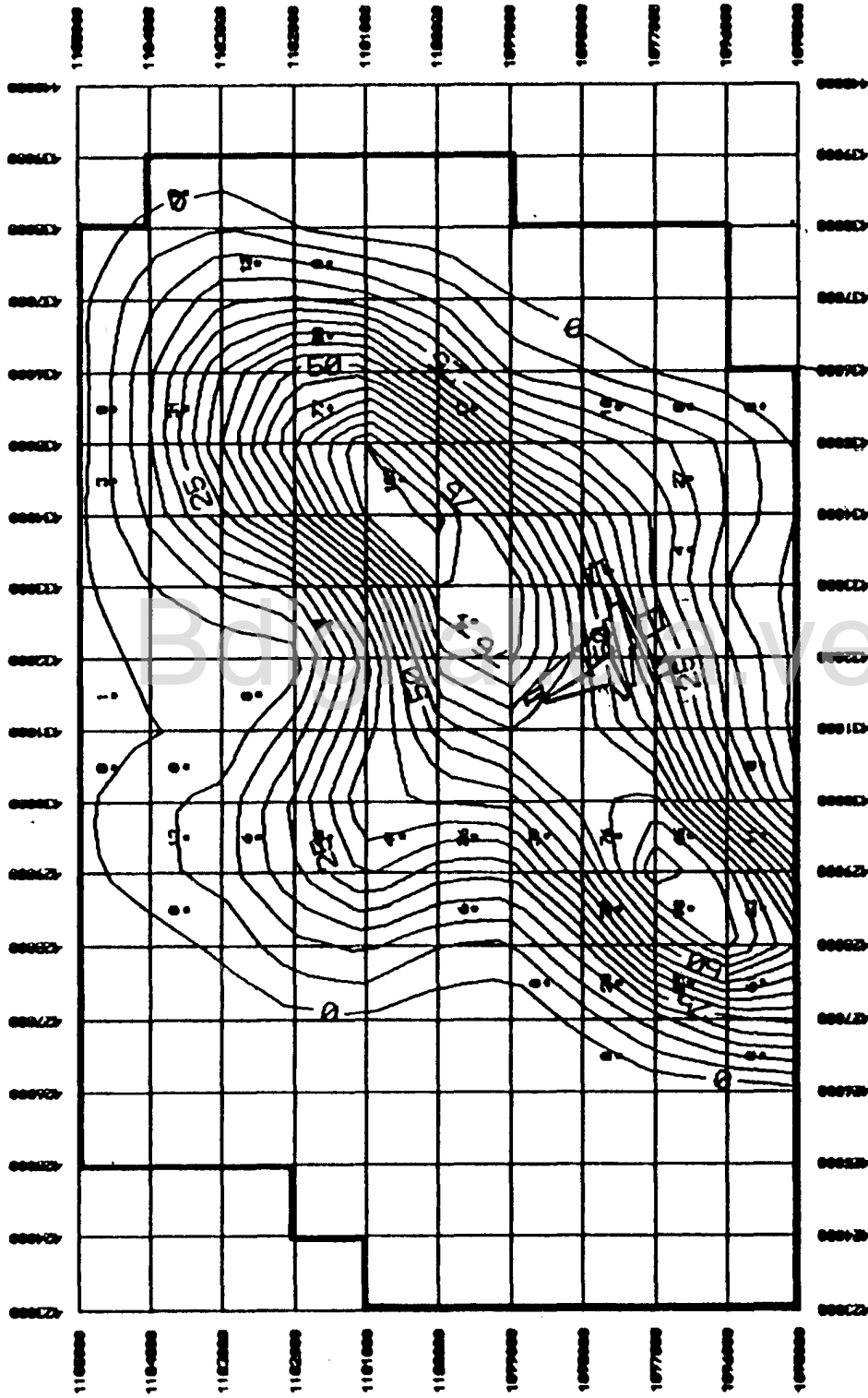


Figura F.18. Espesor saturado, región Central, (menos el 50% del Q92) año 2002, Valle de Quibor.

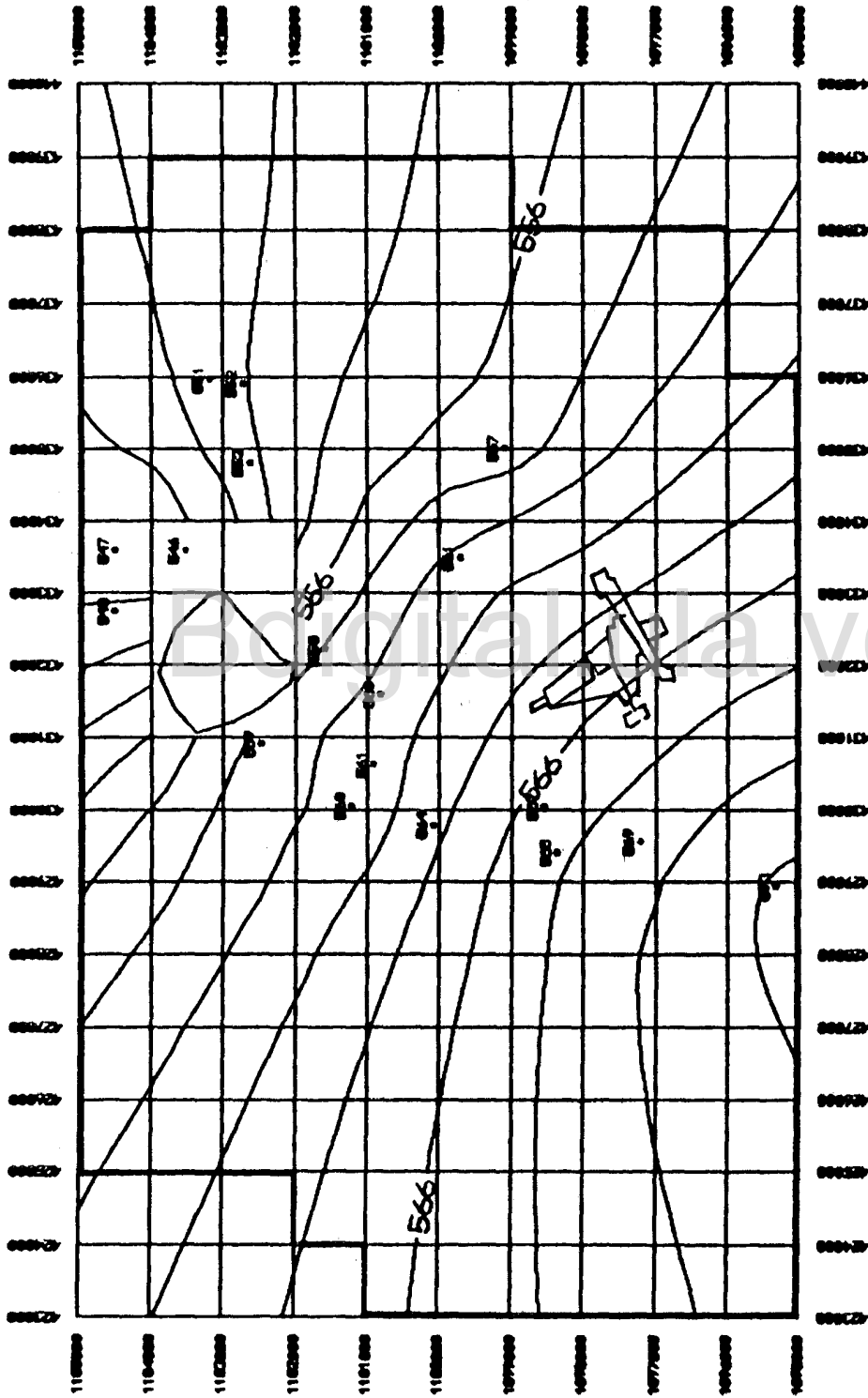


Figura F.17. Isolíneas simuladas, región Central, año 2002, con 50% menos del caudal de 1992, Valle de Quibor.

Tabla F.3. Período de simulación diferencia de niveles observados y simulados con el 50% menos del caudal de bombeo de 1992, 1997-2002, región Central, Valle de Quibor.

Nombre de Pozo de Obs.	I	J	Hent.	Hsal.	Diferencia
607018	8	3	557.29	559.34	-2.05
607024	8	4	557.64	560.23	-2.59
607030	7	5	561.16	563.56	-2.40
607039	12	3	551.23	551.84	-0.61
607043	13	6	556.56	556.79	-0.23
607057	13	2	550.63	550.95	-0.32
607063	9	5	557.06	560.26	-3.20
607084	8	5	558.63	561.33	-2.70
607087	7	7	565.30	568.04	-2.74
6070110	11	2	544.90	546.04	-1.14
6070112	7	8	565.58	568.94	-3.36
6070130	11	6	559.70	561.09	-1.39
6070100	13	3	552.00	552.22	-0.22
607064	10	4	558.42	558.48	-0.06
607085	8	7	563.07	566.67	-3.60
607014	10	1	547.00	547.88	-0.88
607077	11	1	547.31	547.06	0.25
6070122	6	10	568.52	572.65	-4.13

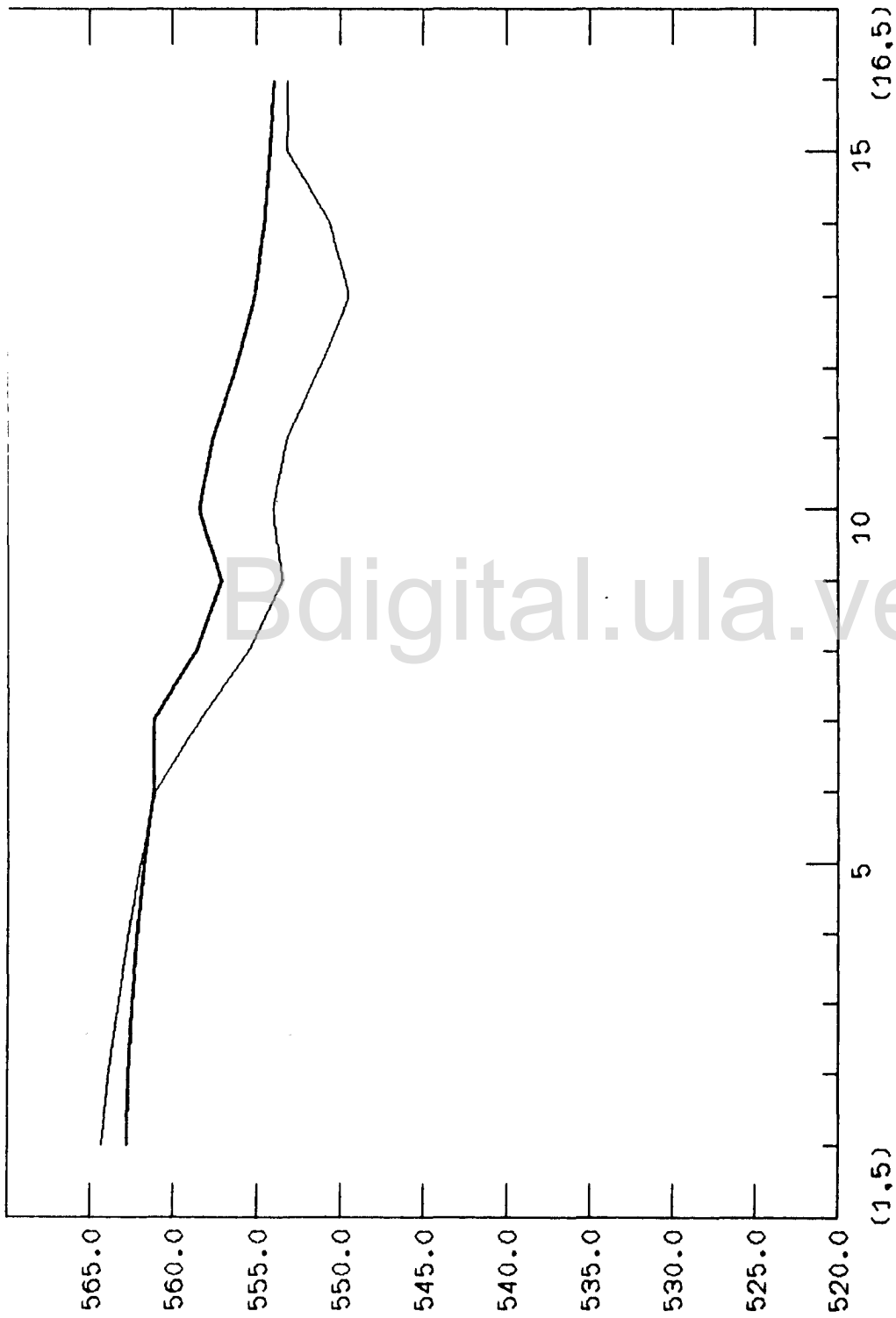


Figura F.16. Período de simulación, fila 5, 1997-2002, región Central, Valle de Quíbor.

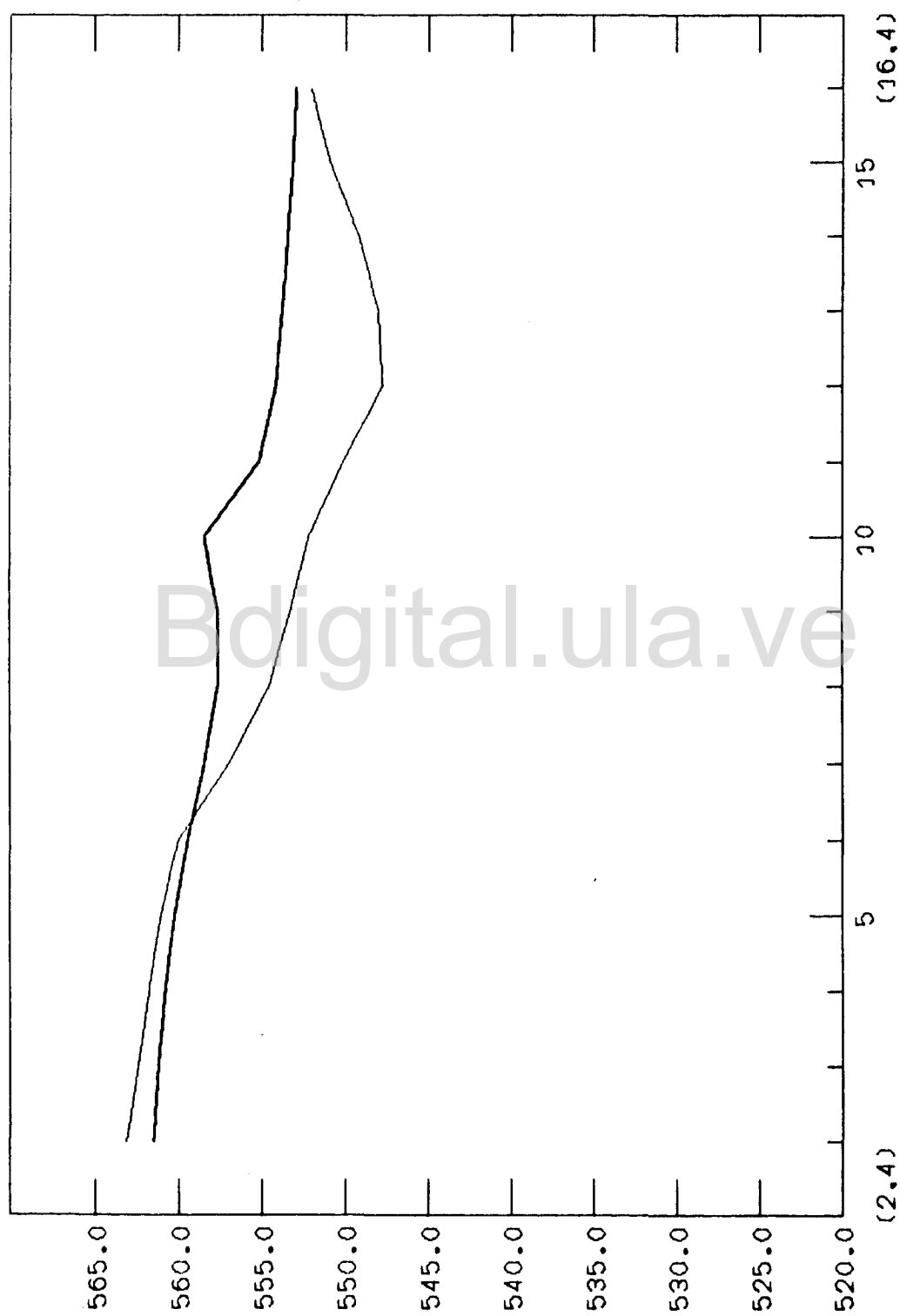


Figura F.15. Período de simulación, fila 4, 1997-2002, región Central, Valle de Quíbor.

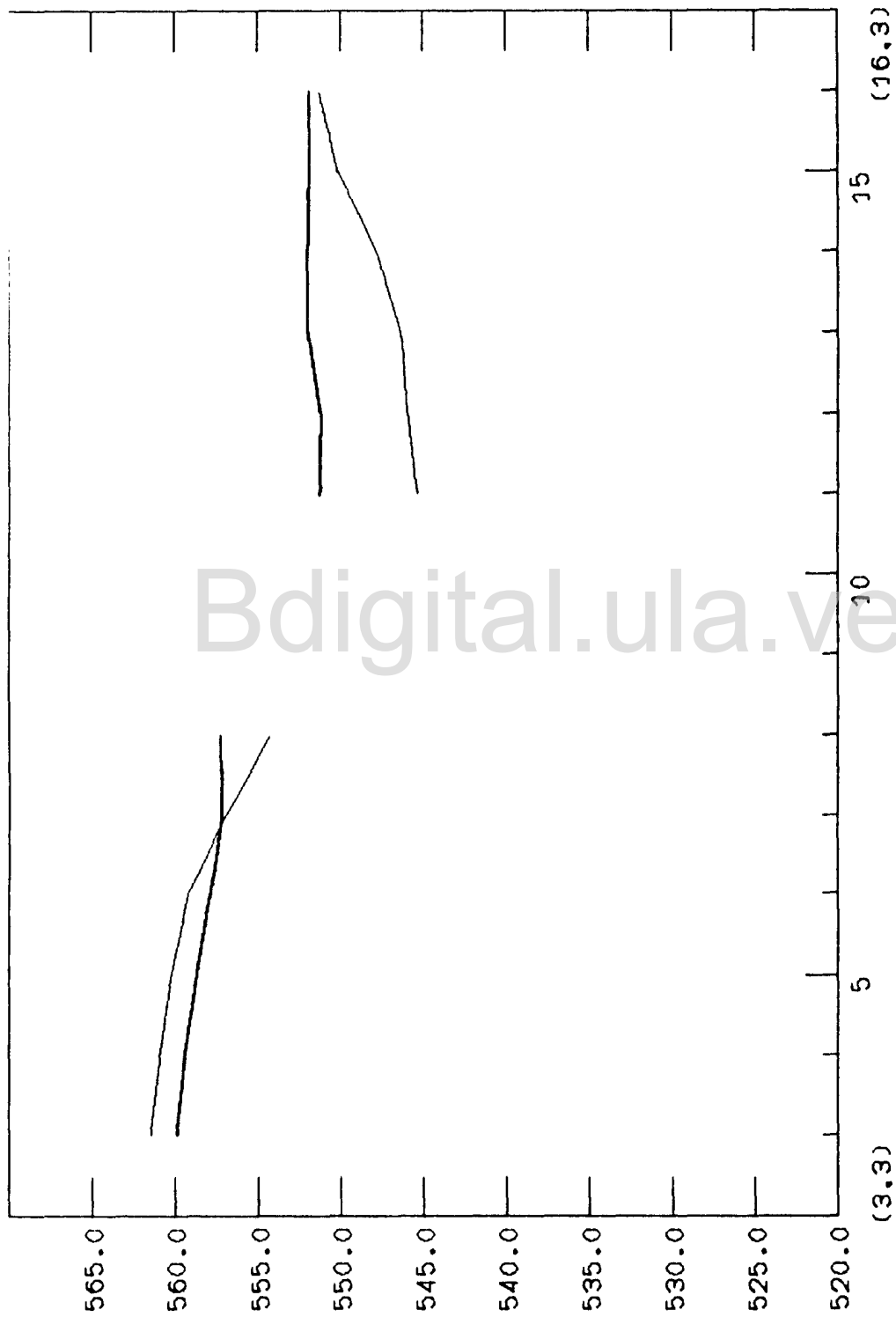


Figura F.14. Período de simulación, fila 3, 1997-2002, región Central, Valle de Quíbor.

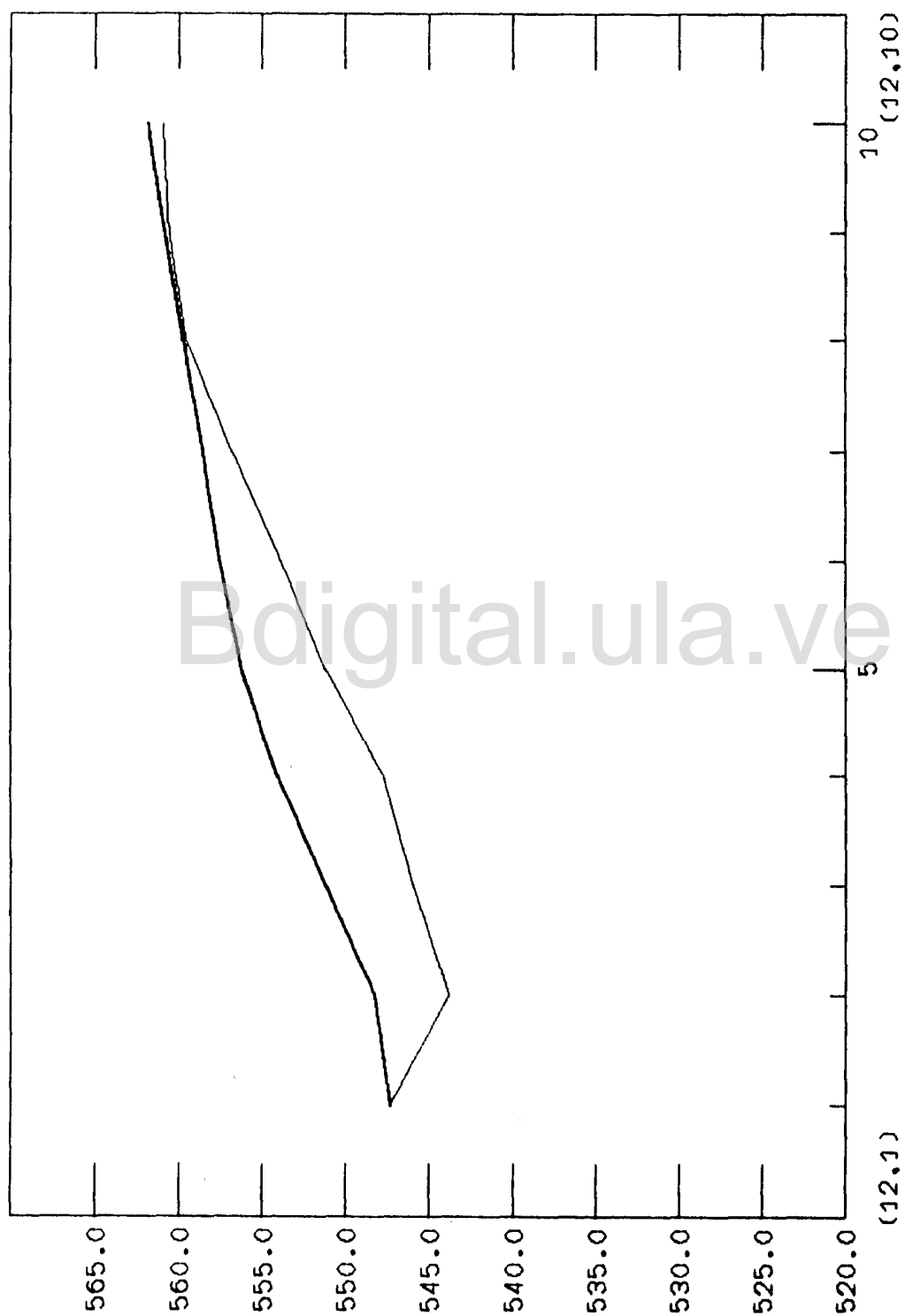


Figura F.13. Período de simulación, columna 12, 1997-2002, región Central, Valle de Quibor.

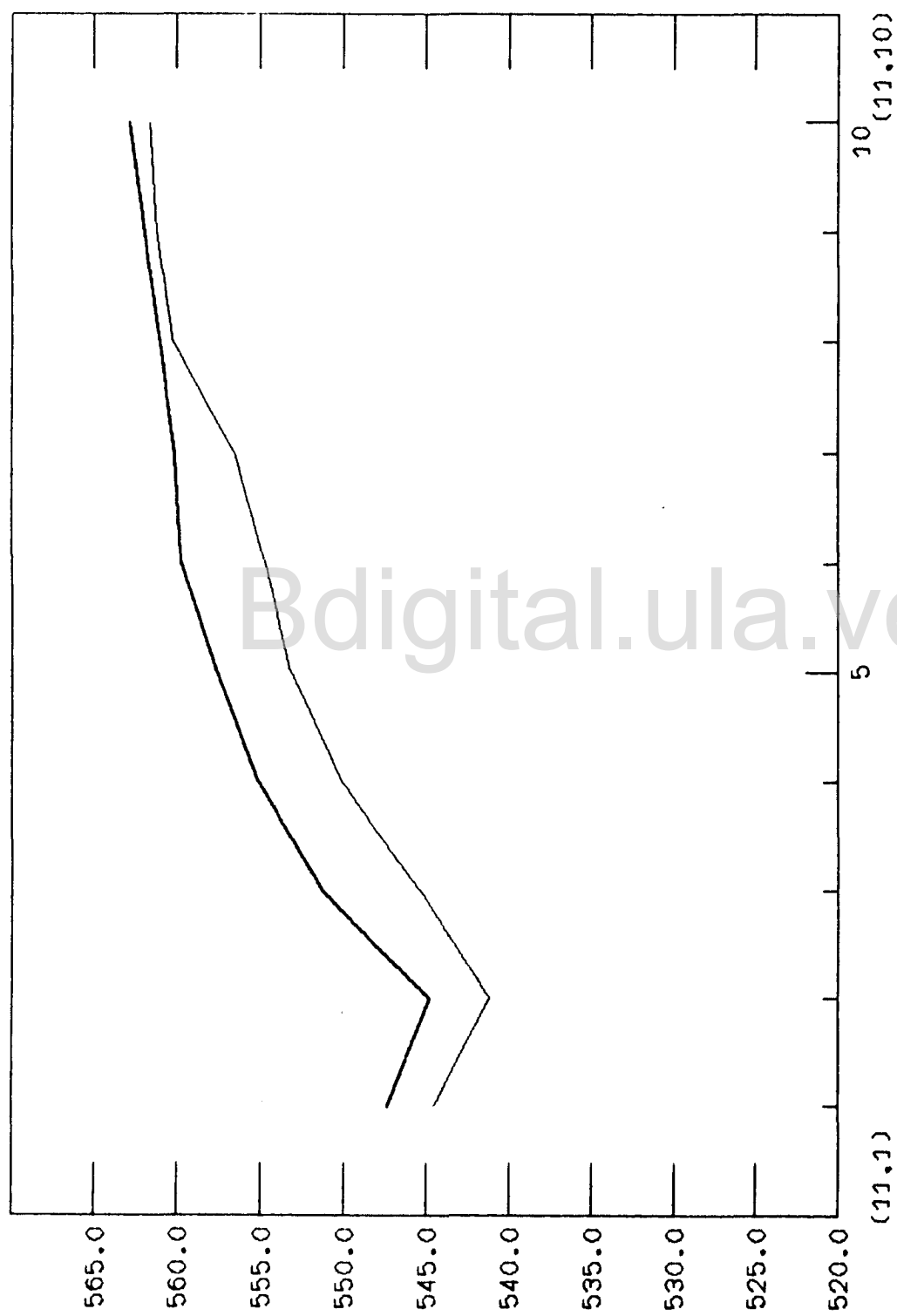


Figura F.12. Período de simulación, columna 11, 1997-2002, región Central, Valle de Quibor.

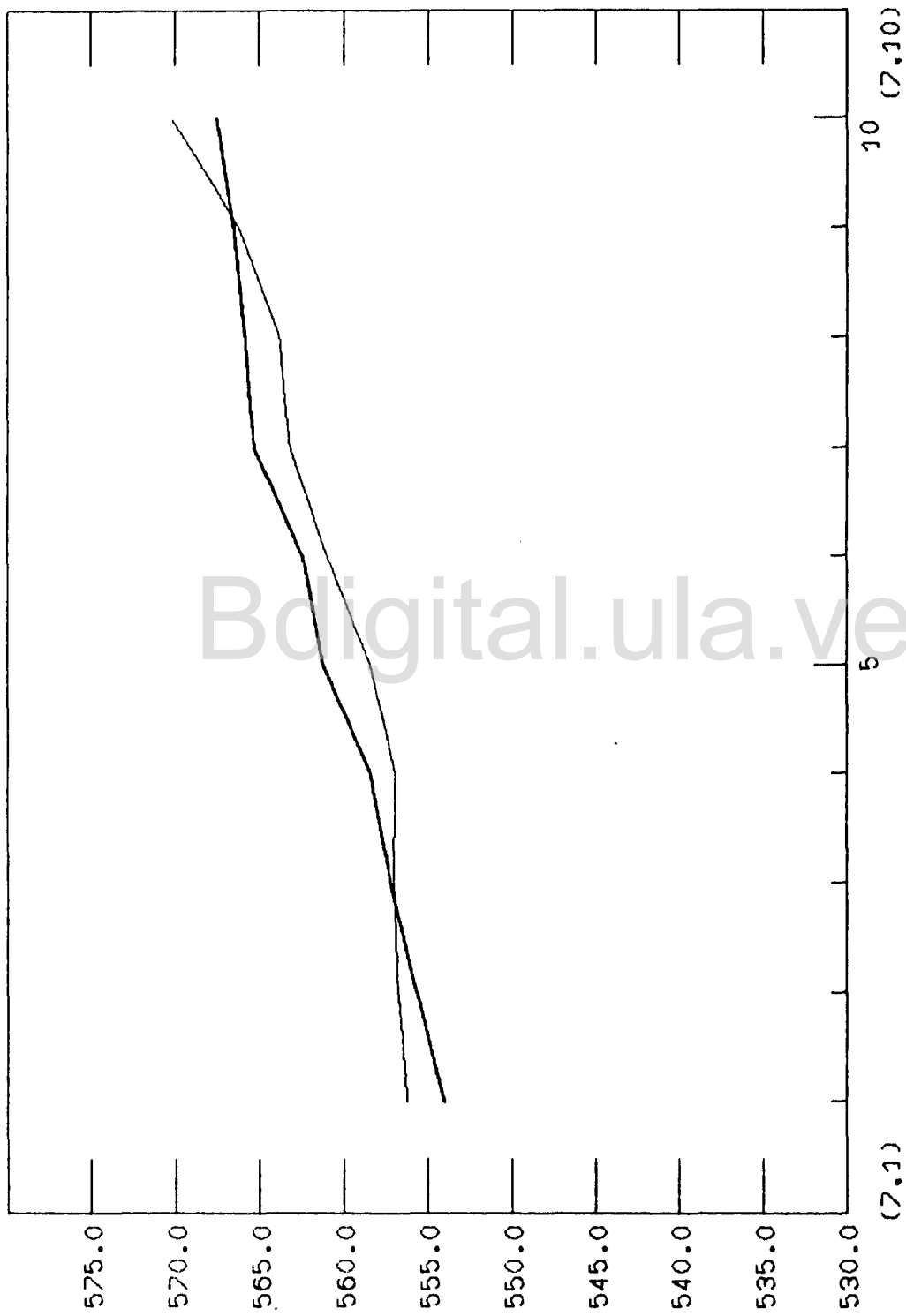


Figura F.11. Período de simulación, columna 7, 1997-2002, región Central, Valle de Quíbor.

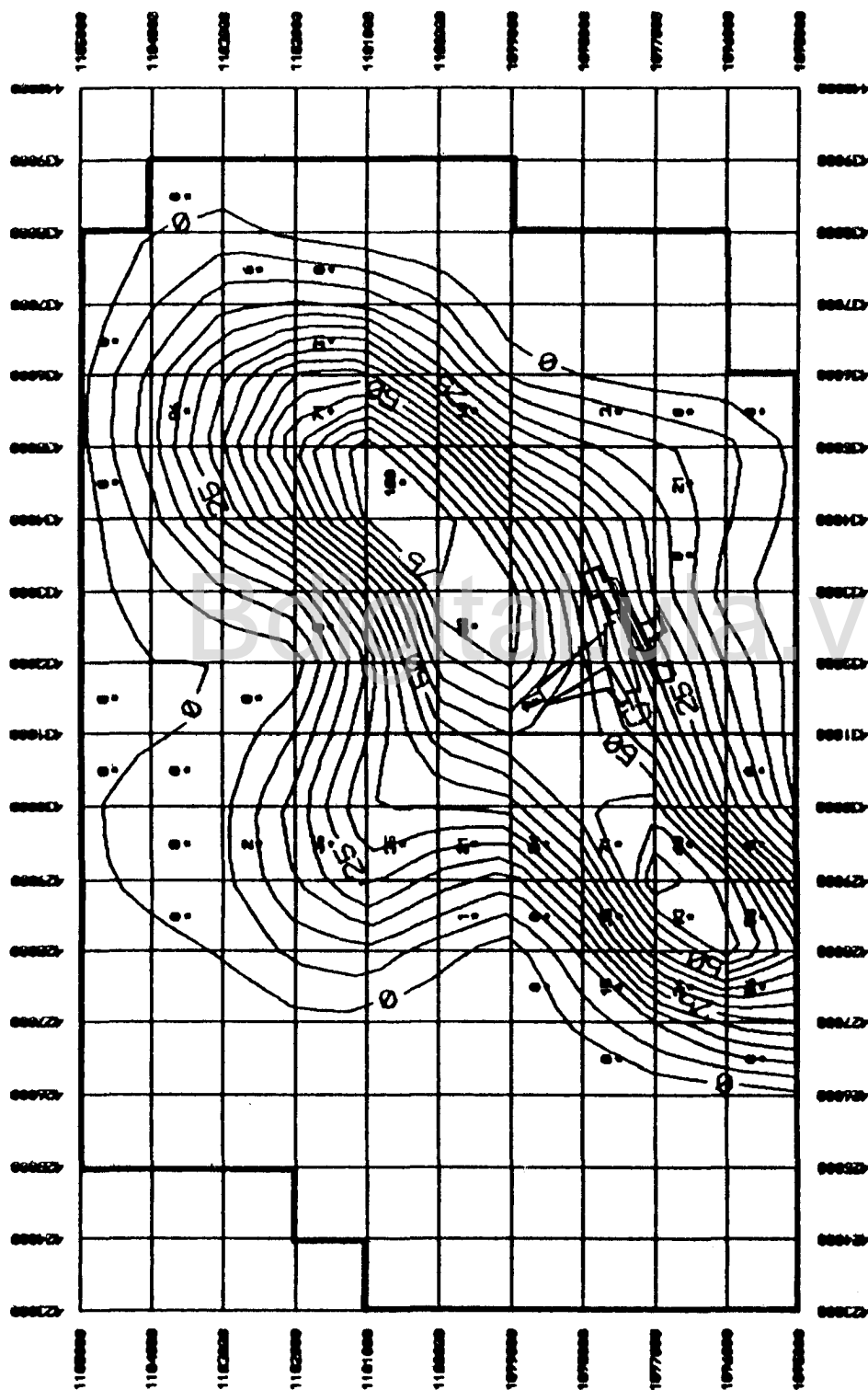


Figura F.10. Espesor saturado, región Central, año 2002, Valle de Quibor.

Tabla F.4. Período de simulación, diferencia de niveles observados y simulados con el 50% más del caudal de bombeo de 1992, año 1997-2002, región Central, Valle de Quíbor.

Nombre de Pozo de Obs	I	J	Hent.	Hsal.	Diferencia
607018	8	3	557.29	549.16	8.13
607024	8	4	557.64	548.67	8.97
607030	7	5	561.16	553.23	7.93
607039	12	3	551.23	539.41	11.82
607043	13	6	556.56	542.14	14.42
607057	13	2	550.63	539.06	11.57
607063	9	5	557.06	546.49	10.57
607084	8	5	558.63	549.56	9.07
607087	7	7	565.30	558.27	7.03
6070110	11	2	544.90	536.10	8.80
6070112	7	8	565.58	558.50	7.08
6070130	11	6	559.70	547.79	11.91
6070100	13	3	552.00	539.79	12.21
607064	10	4	558.42	545.56	12.86
607085	8	7	563.07	554.40	8.67
607014	10	1	547.00	540.45	6.55
607077	11	1	547.31	541.78	5.53
6070122	6	10	568.52	562.78	5.74

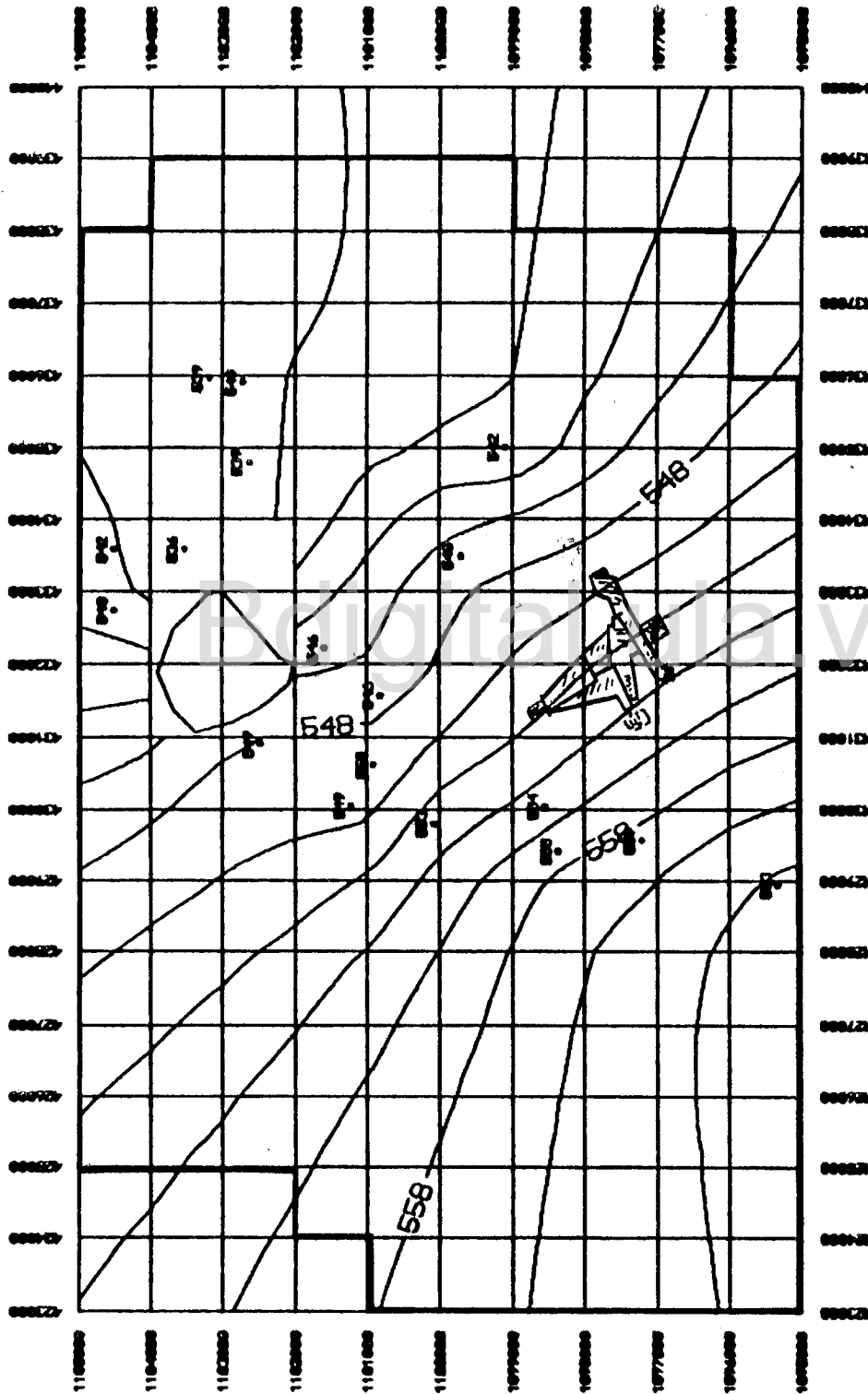


Figura F.25. Isolíneas simuladas, con el 50% más del Q92, región Central, año 1997-2002, Valle de Quibor.

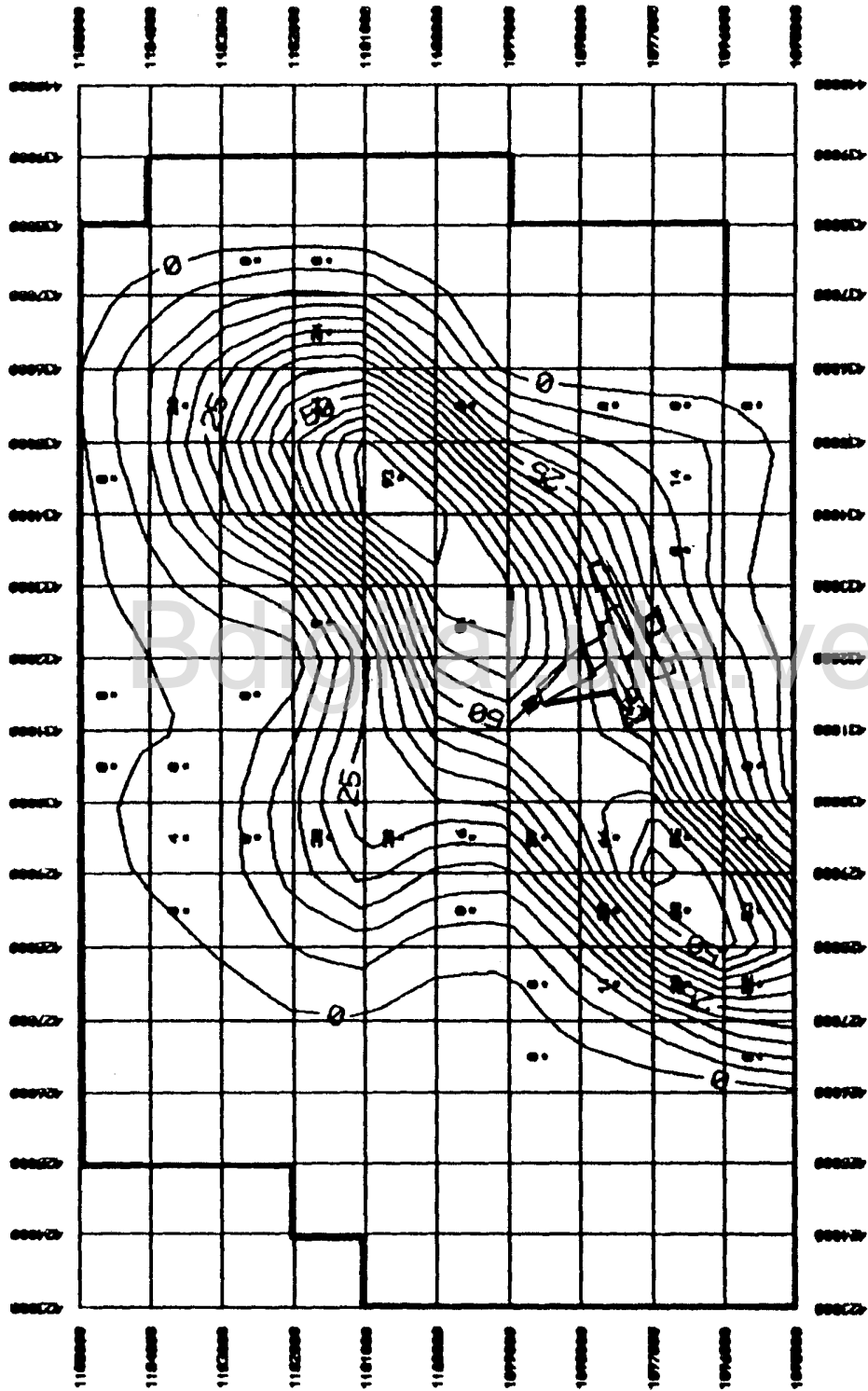


Figura F.26. Espesor saturado, región Central, (con el 50% más del Q92), año 2002, Valle de Quibor.

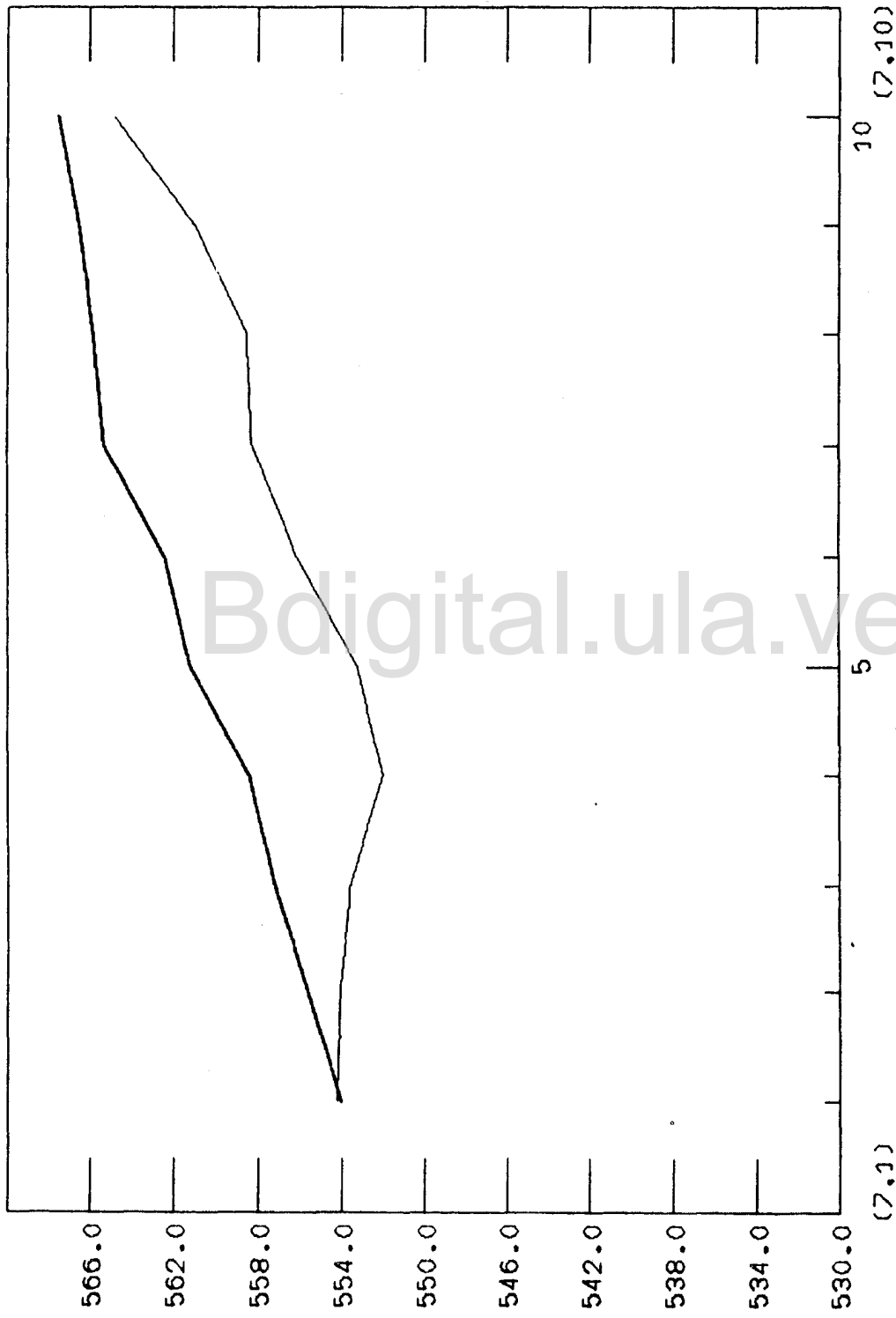


Figura F.27. Período de simulación, columna 7, con el 50% más del caudal de bombeo de 1992, región Central, año 1997-2002, Valle de Quíbor.

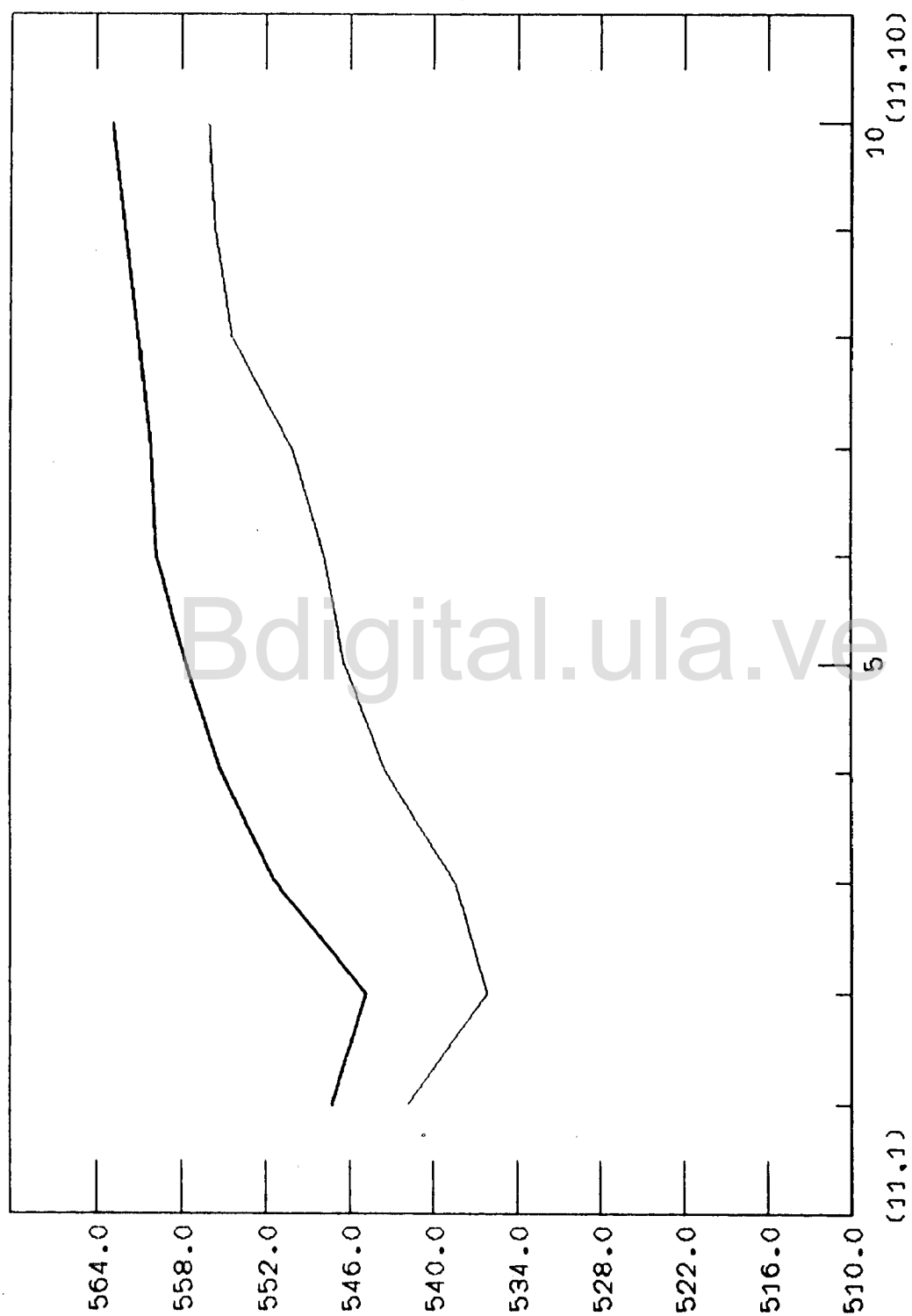


Figura F° 28. Período de simulación, columna 11, con el 50% más del caudal de bombeo de 1992, región Central, año 1997-2002, Valle de Quíbor.

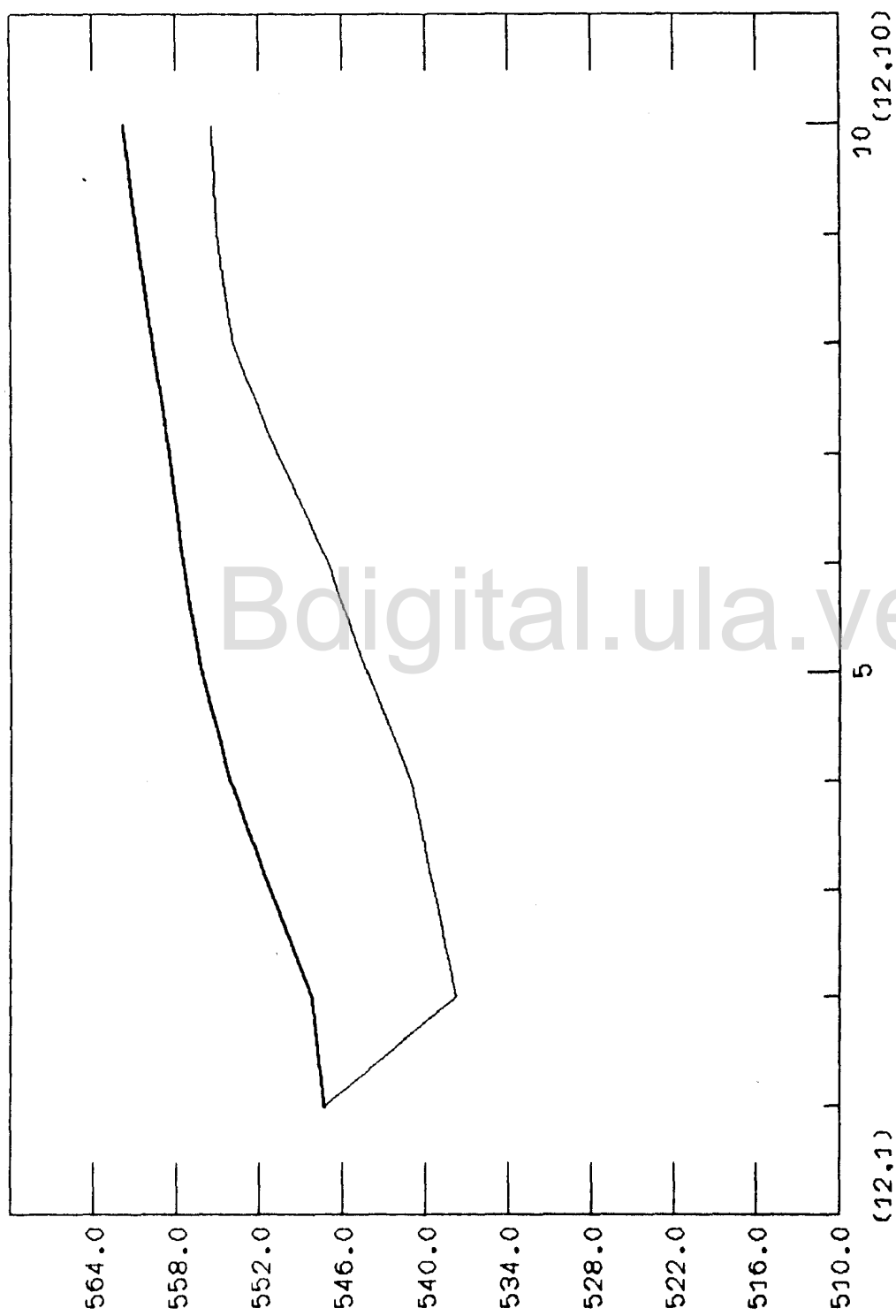


Figura F.29. Período de simulación, columna 12, con el 50% más del caudal de bombeo de 1992, región Central, año 1997-2002, Valle de Quibor.

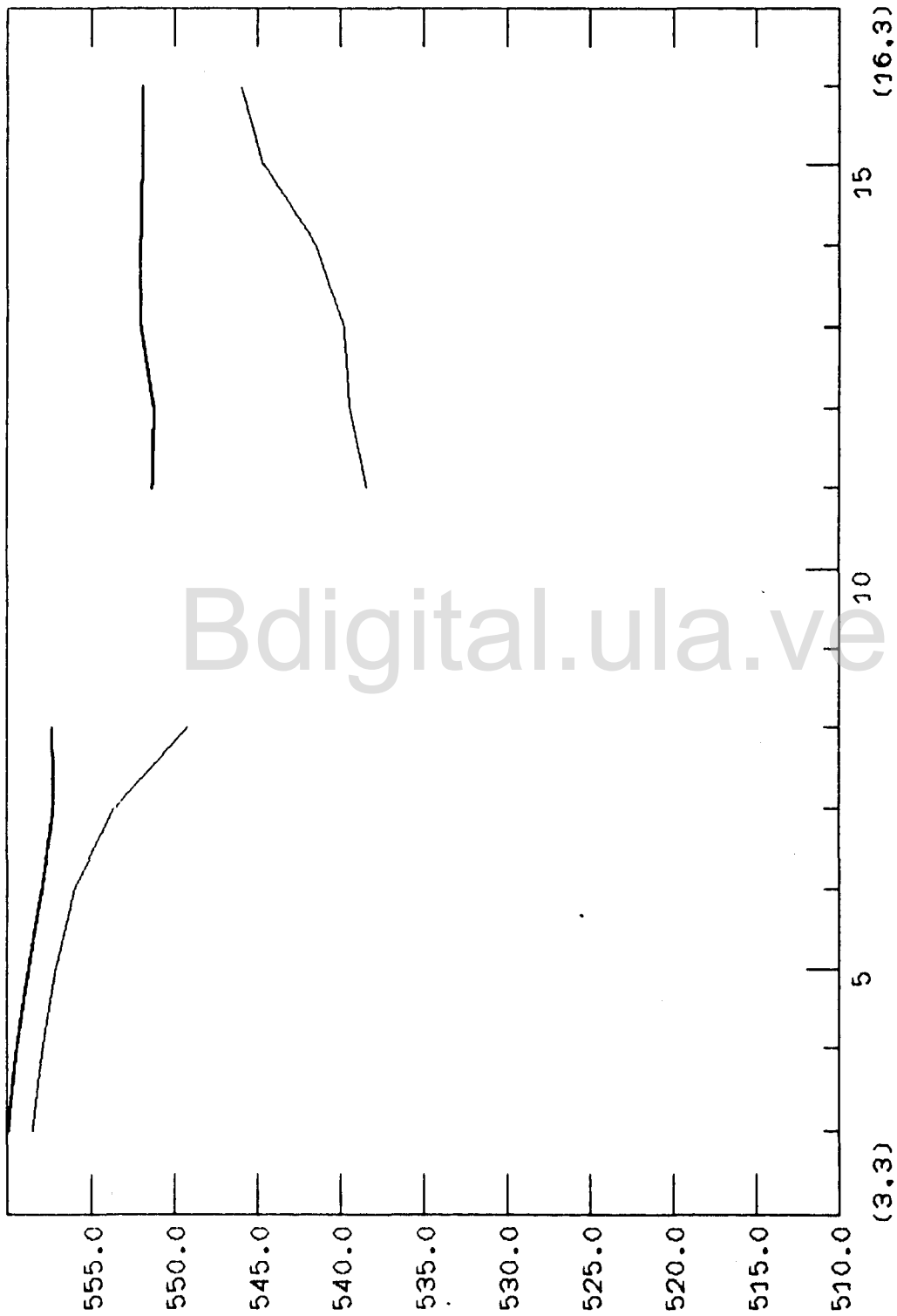


Figura F.30. Período de simulación, fila 3, con el 50% más del caudal de bombeo de 1992, región Central, año 1997-2002, Valle de Quíbor.

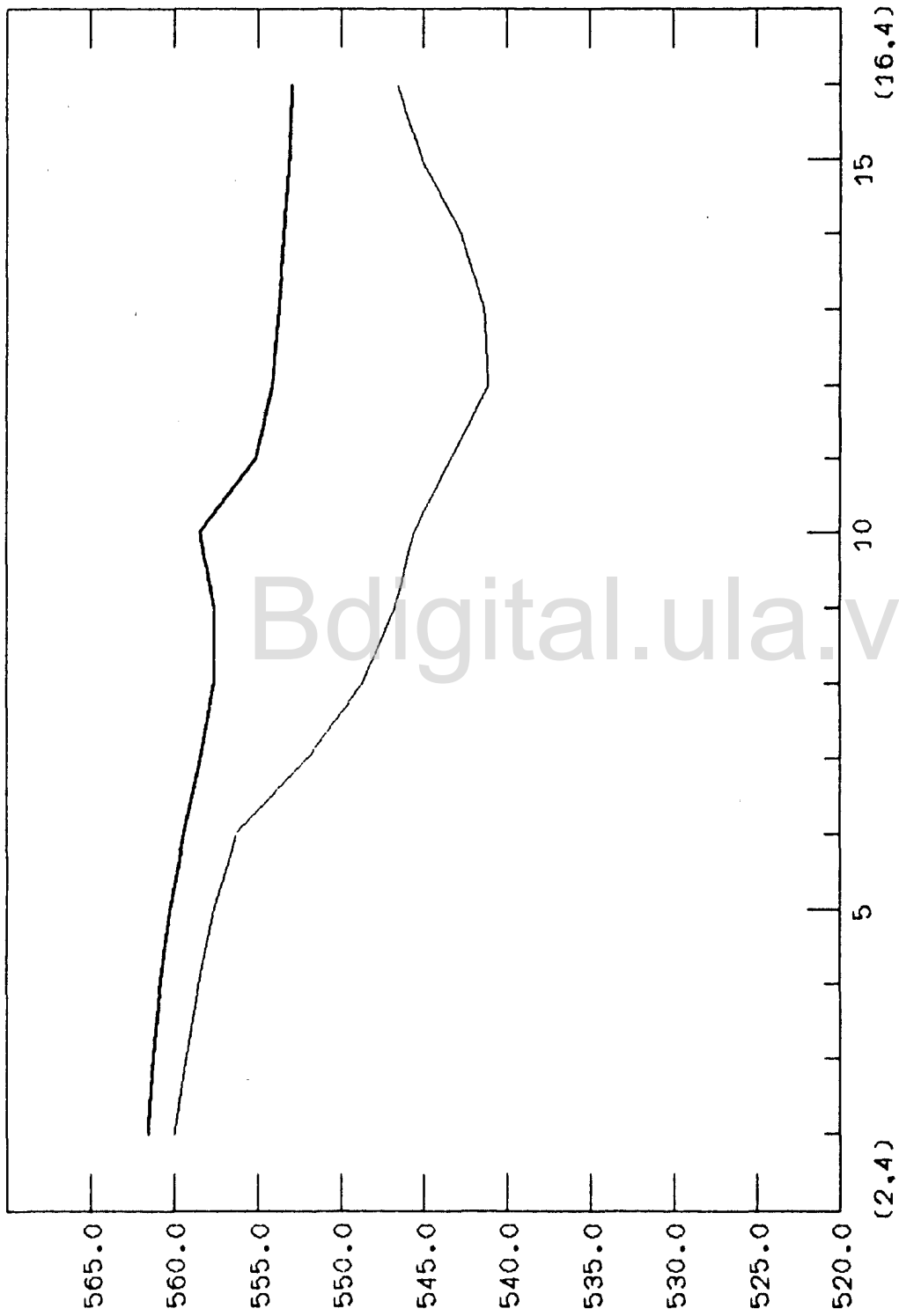


Figura F.31. Período de simulación, fila 4, con el 50% más del caudal de bombeo de 1992, región Central, año 1997-2002, Valle de Quíbor.

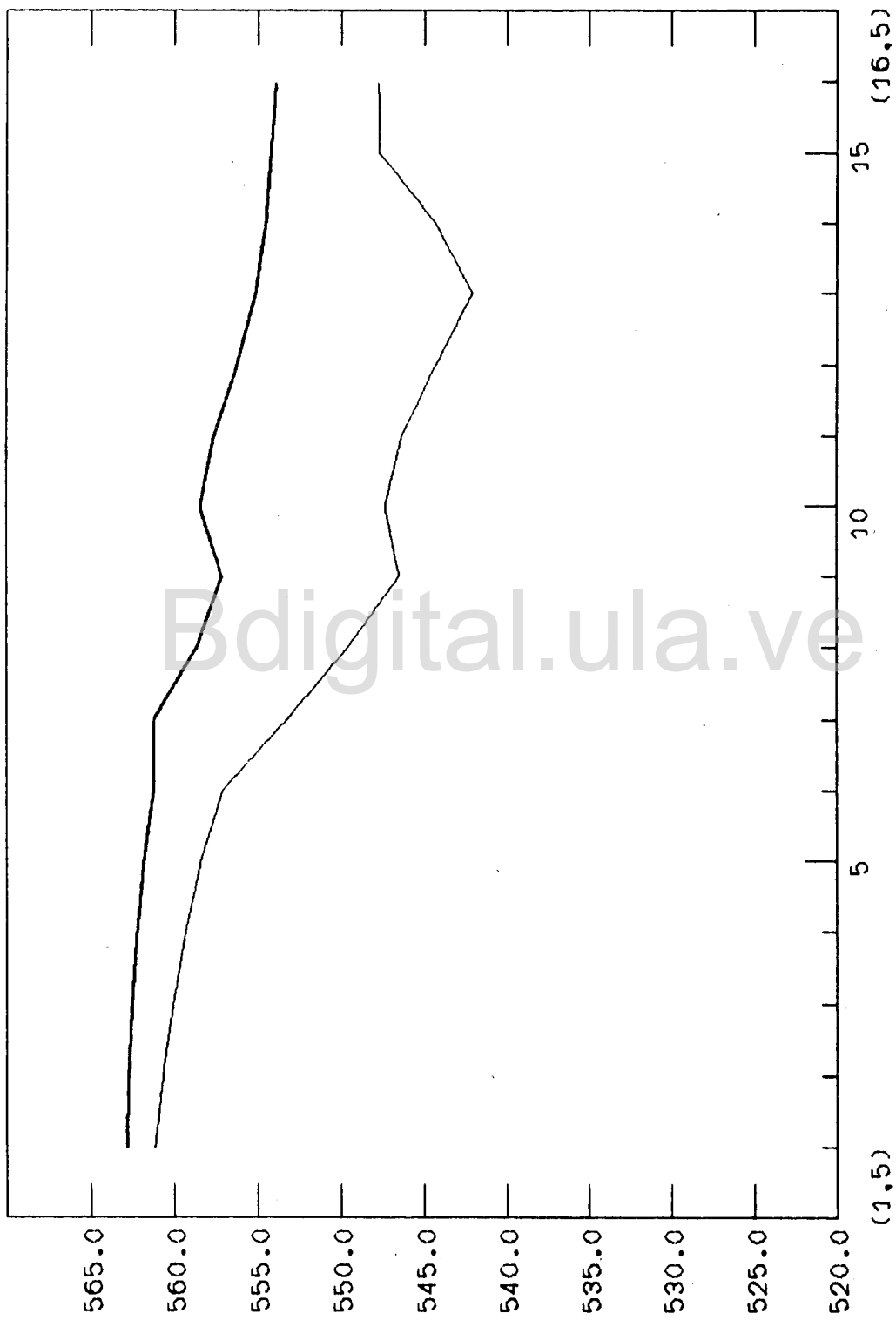


Figura F.32. Período de simulación, fila 5, con el 50% más del caudal de bombeo de 1992, región central, año 1997-2002, Valle de Quibor.

Tabla F.5. Período de simulación, diferencia de niveles observados y simulados, cero extracción (1993-1997), región Central, Valle de Quíbor.

Nombre de Pozo de Obs:	1	J	Hent.	Hsal.	Diferencia
607018:	8	3	560.44	567.19	-6.75
607024:	8	4	559.04	568.70	-9.66
607030:	7	5	565.74	571.75	-6.01
607039:	12	3	552.16	561.56	-9.40
607043:	13	6	569.00	568.59	0.41
607057:	13	2	555.10	560.19	-5.09
607063:	9	5	563.22	569.81	-6.59
607084:	8	5	567.64	569.96	-2.32
607087:	7	7	566.50	576.62	-10.12
6070110:	11	2	548.00	555.43	-7.43
6070112:	7	8	568.04	578.27	-10.23
6070130:	11	6	558.44	570.57	-12.13
6070100:	13	3	552.40	561.61	-9.21
607064:	10	5	560.00	569.75	-9.75
607085:	8	7	569.70	576.56	-6.86
607014:	10	1	550.68	553.71	-3.03
607077:	11	1	559.00	552.63	6.37
6070122:	6	10	579.70	581.02	-1.32

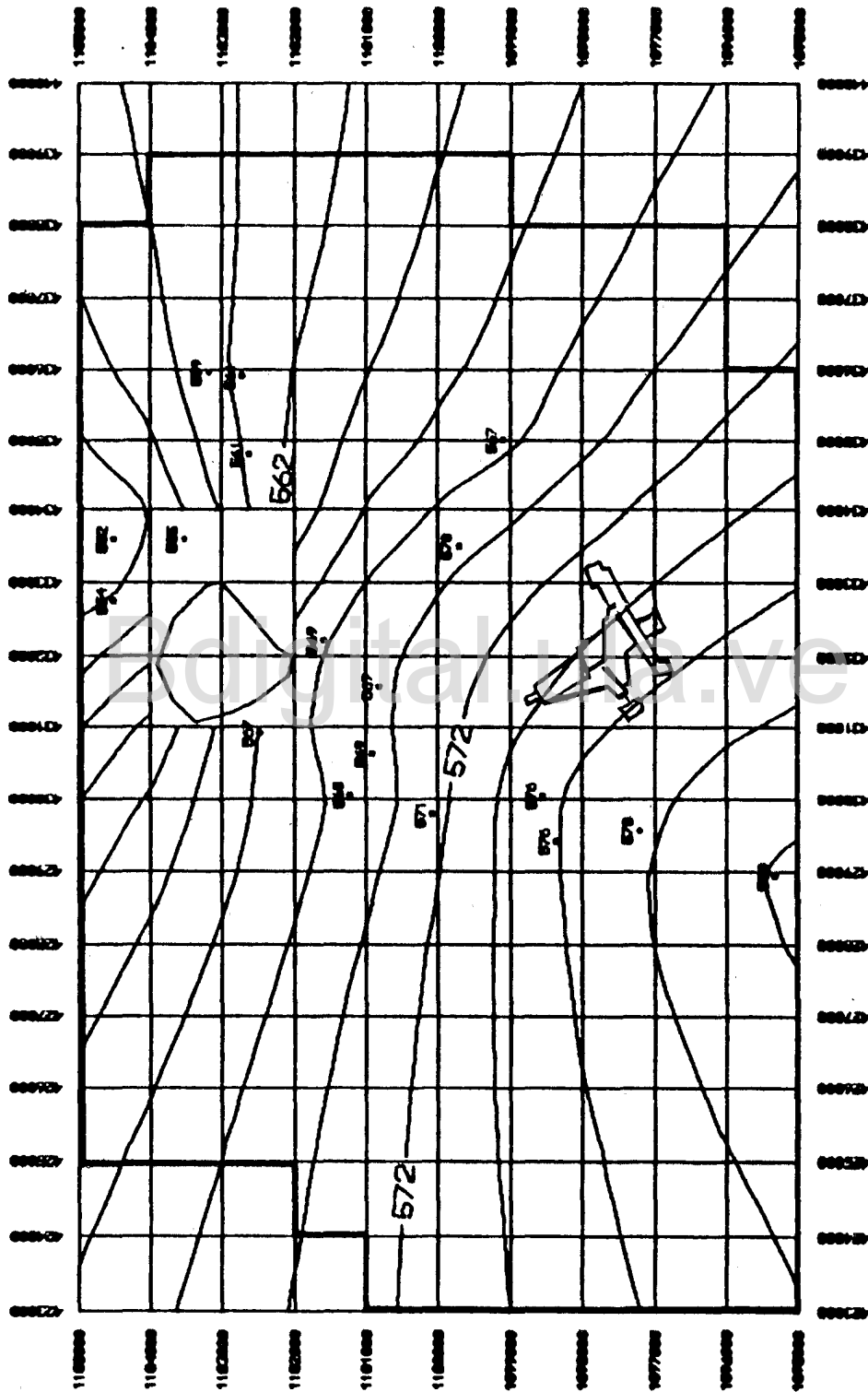


Figura F. 33. Isolinéas simuladas, O extracción, región Central, 1997, Valle de Quibor.

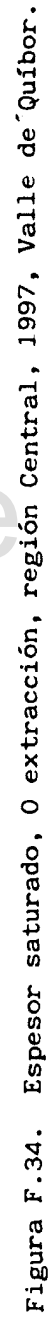


Figura F.34. Espesor saturado, 0 extracción, región Central, 1997, Valle de Quibor.

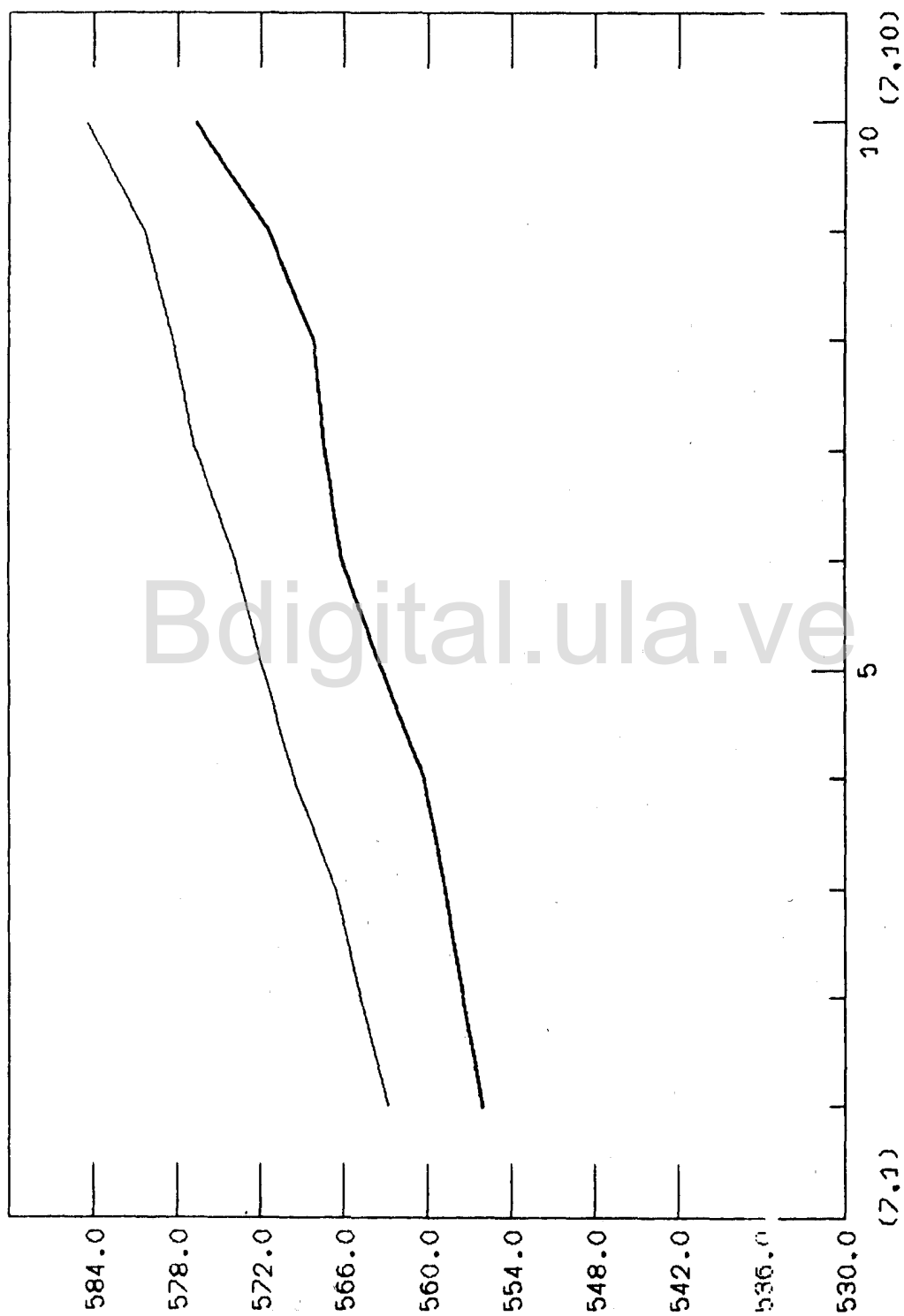


Figura F. 35. Período de simulación, columna 7, 0 extracción 1993-1997, región Central, Valle de Quíbor.

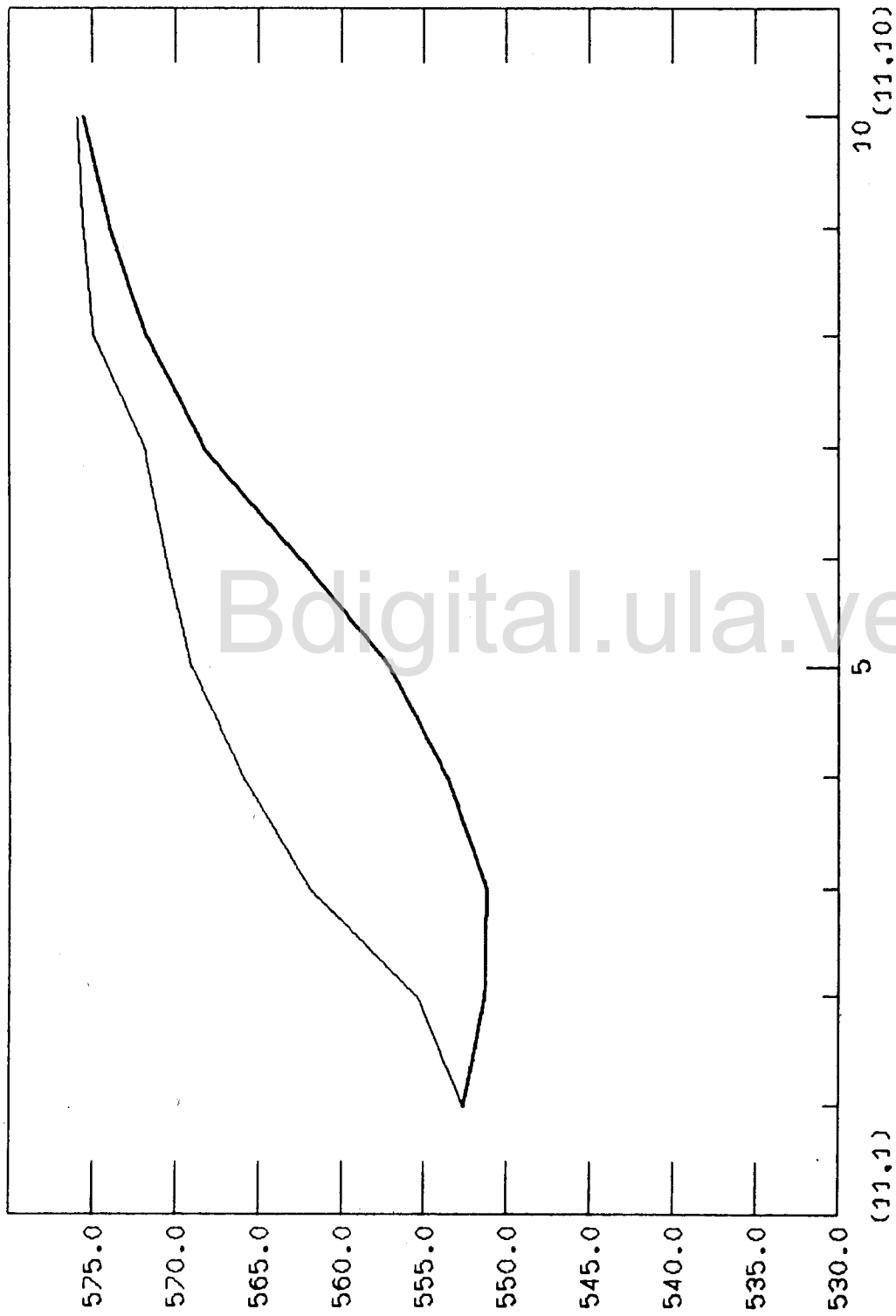


Figura F.36. Período de simulación, columna 11, cero extracción 1993-1997, región Central, Valle de Quíbor.

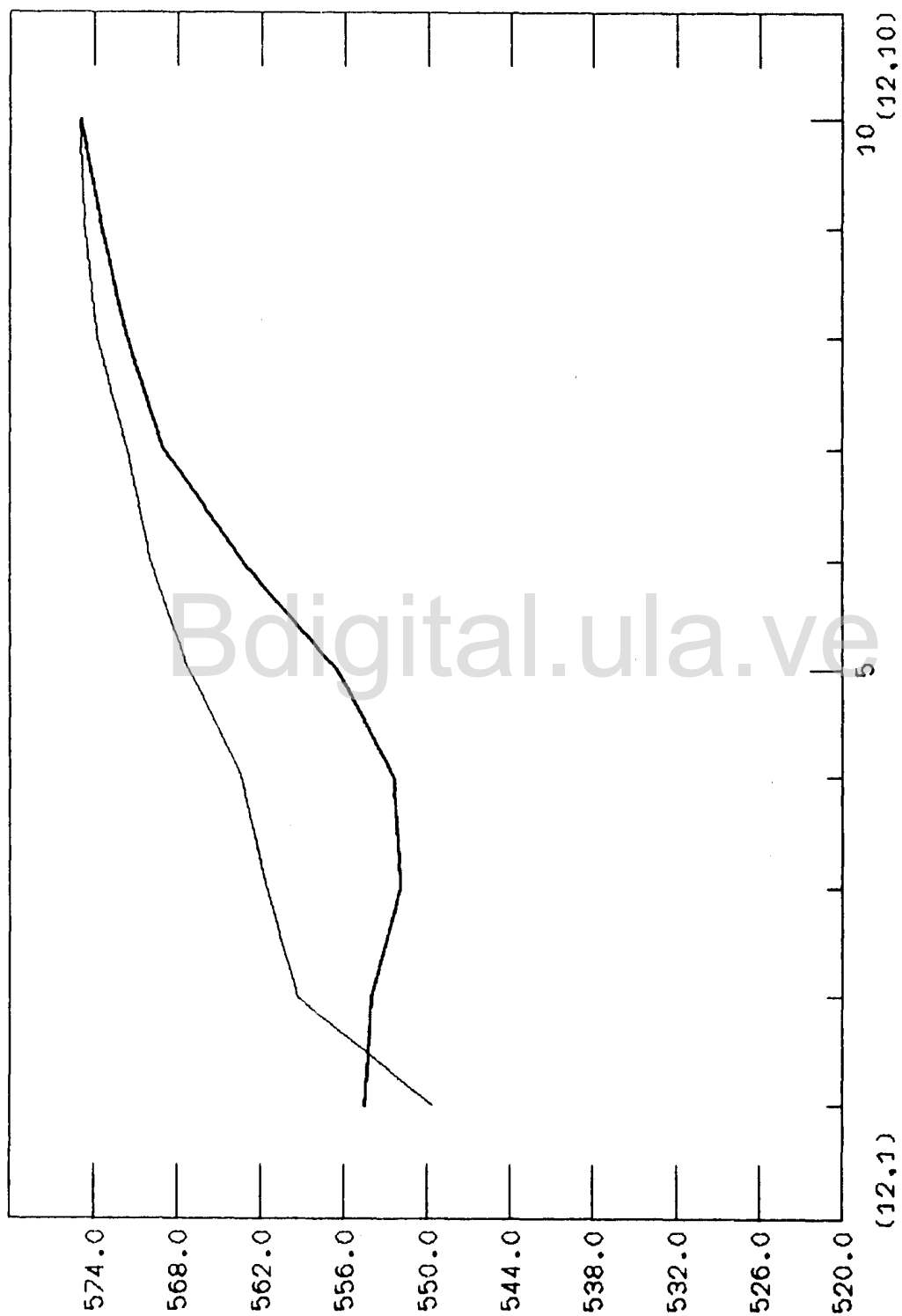


Figura F.37. Período de simulación, columna 12, cero extracción 1993-1997, región Central, Valle de Quibor.

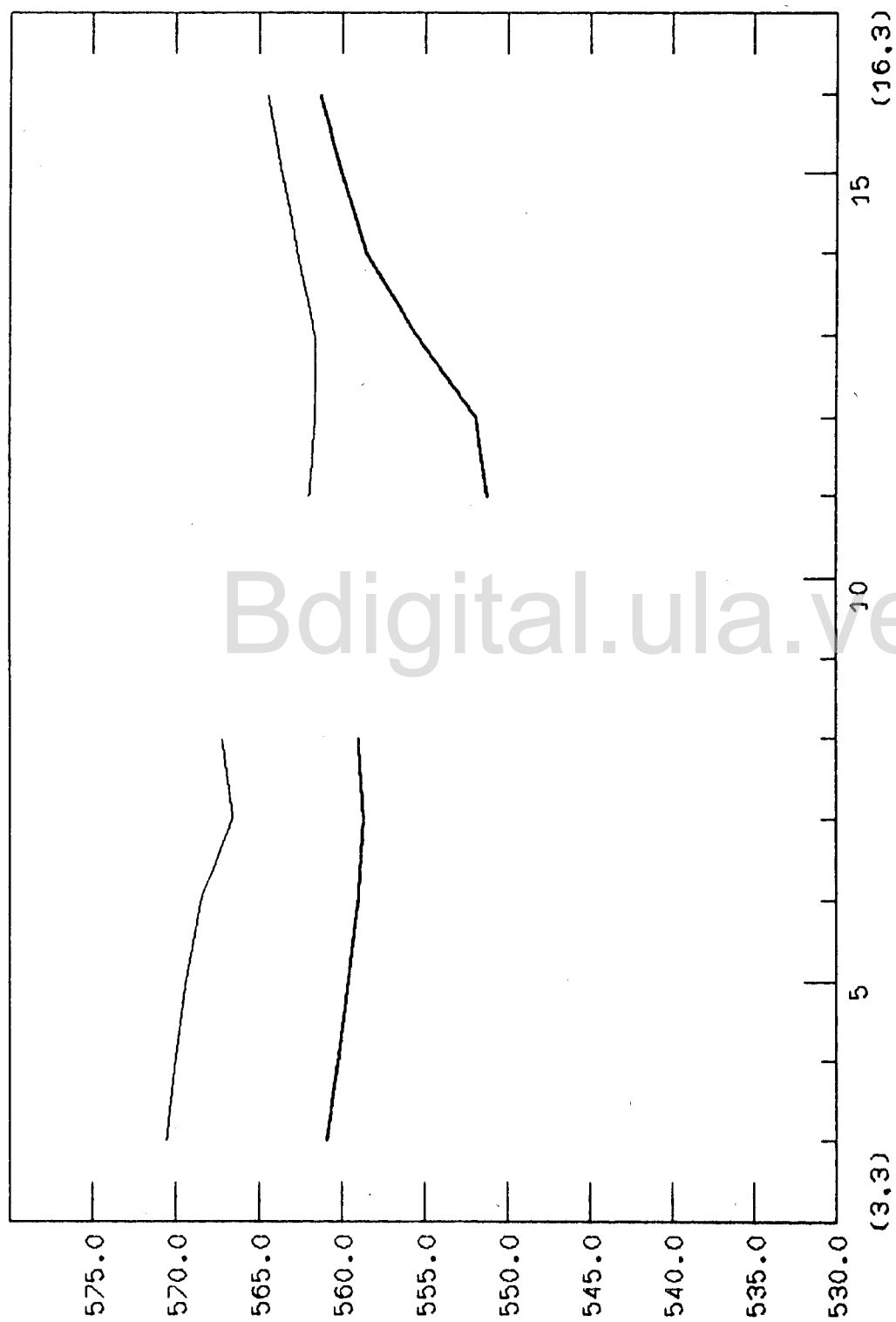


Figura F.38. Período de simulación, fila 3, cero extracción 1993-1997, región Central, Valle de Quíbor.

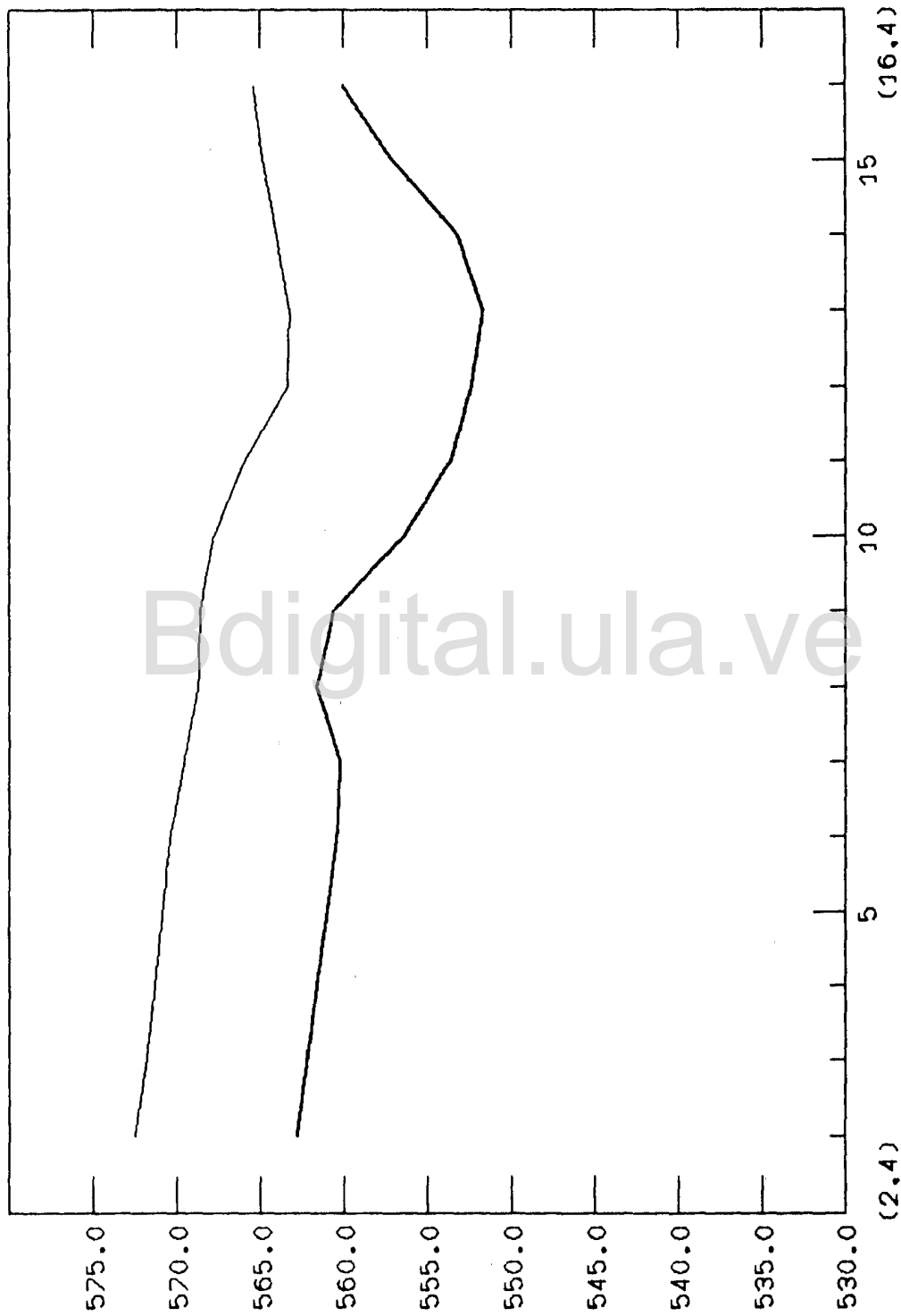


Figura F.39. Período de simulación, fila 4, cero extracción 1993-1997, región Central, Valle de Quíbor.

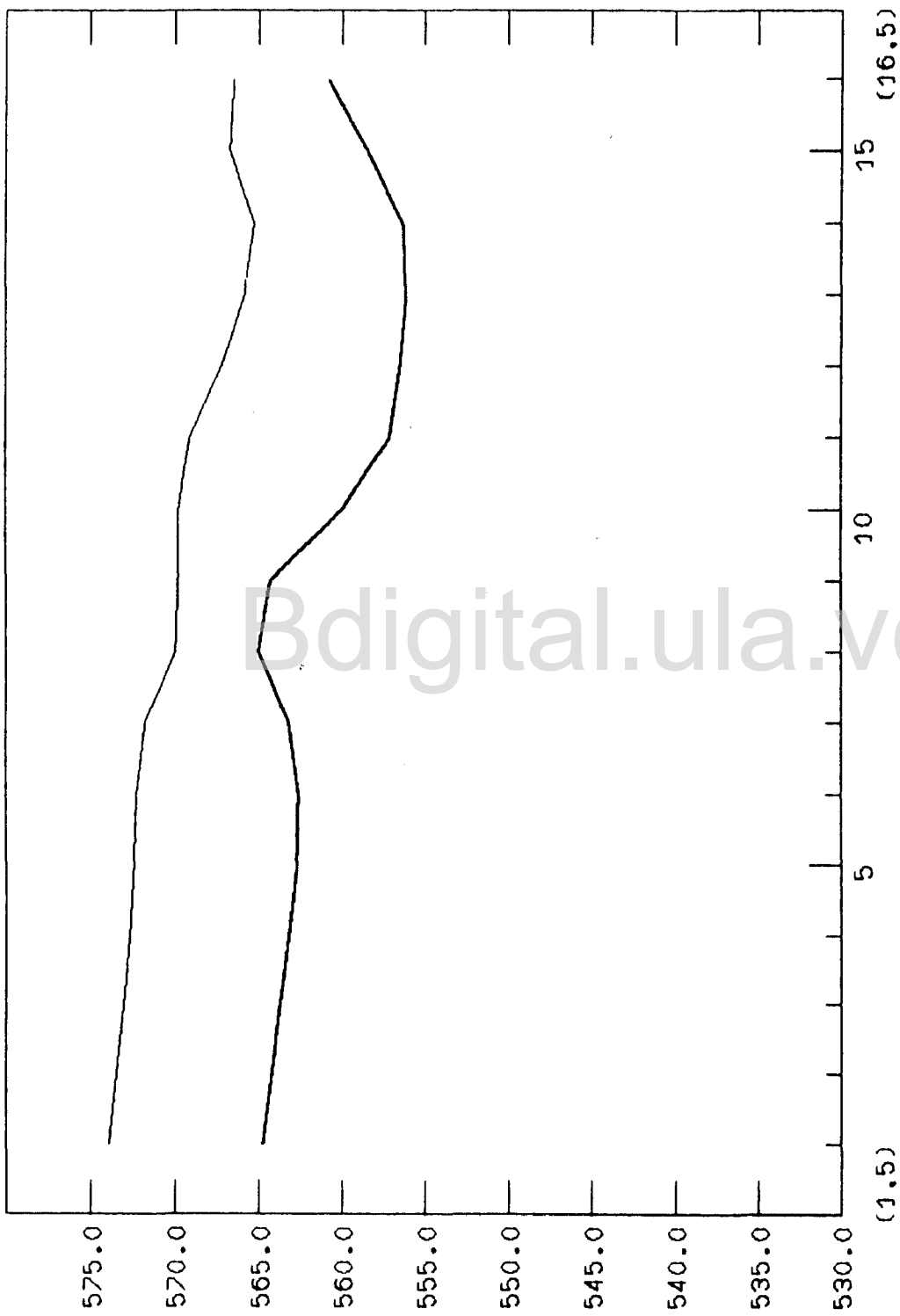


Figura F.40. Período de simulación, fila 5, cero extracción 1993-1997, región Central, Valle de Quíbor.

Tabla F.6. Período de simulación, diferencia de niveles observados y simulados, demandas de riegos en 1992-1997, región Central Valle de Quíbor.

Nombre de Pozo de Obs	I	J	Hent.	Hsal.	Diferencia
607018	8	3	560.44	559.20	1.24
607024	8	4	559.04	559.86	-0.82
607030	7	5	565.74	563.74	2.00
607039	12	3	552.16	555.53	-3.37
607043	13	6	569.00	556.37	12.63
607057	13	2	555.10	554.64	0.46
607063	9	5	563.22	559.37	3.85
607084	8	5	567.64	561.66	5.98
607087	7	7	566.50	569.23	-2.73
6070110	11	2	548.00	548.78	-0.78
6070112	7	8	568.04	569.75	-1.71
6070130	11	6	558.44	561.82	-3.38
6070100	13	3	552.40	555.57	-3.17
607064	10	5	560.00	561.50	-1.50
607085	8	7	569.70	566.91	2.79
607014	10	1	550.68	548.02	2.66
607077	11	1	559.00	549.14	9.86
6070122	6	10	579.70	573.30	6.40

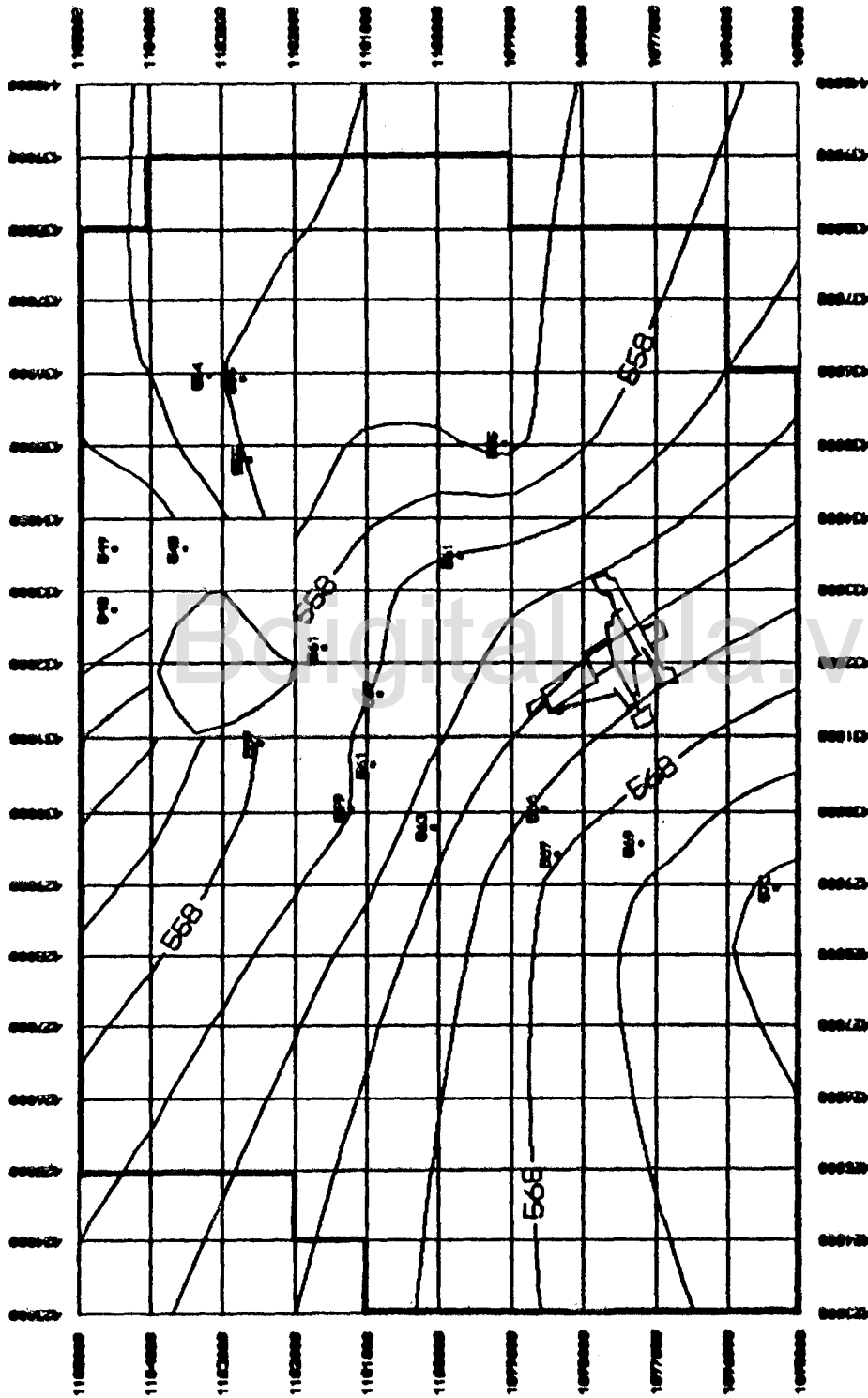


Figura F.41. Isolíneas simuladas, región Central, demandas de riegos 1992-1997, Valle de Quibor,

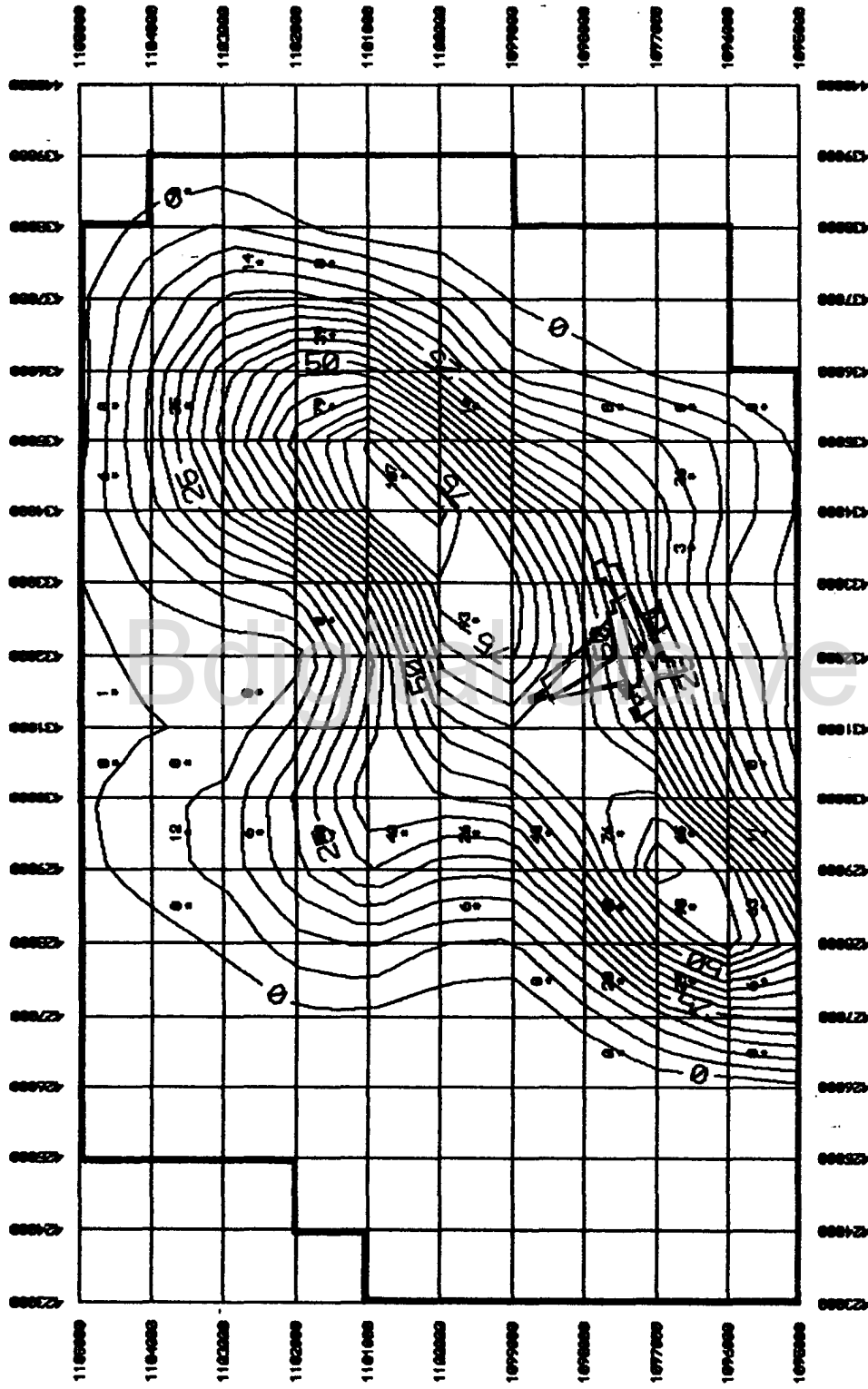


Figura F.42. Espesor saturado, región Central, demandas de riegos 1992-1997, Valle de Quibor.

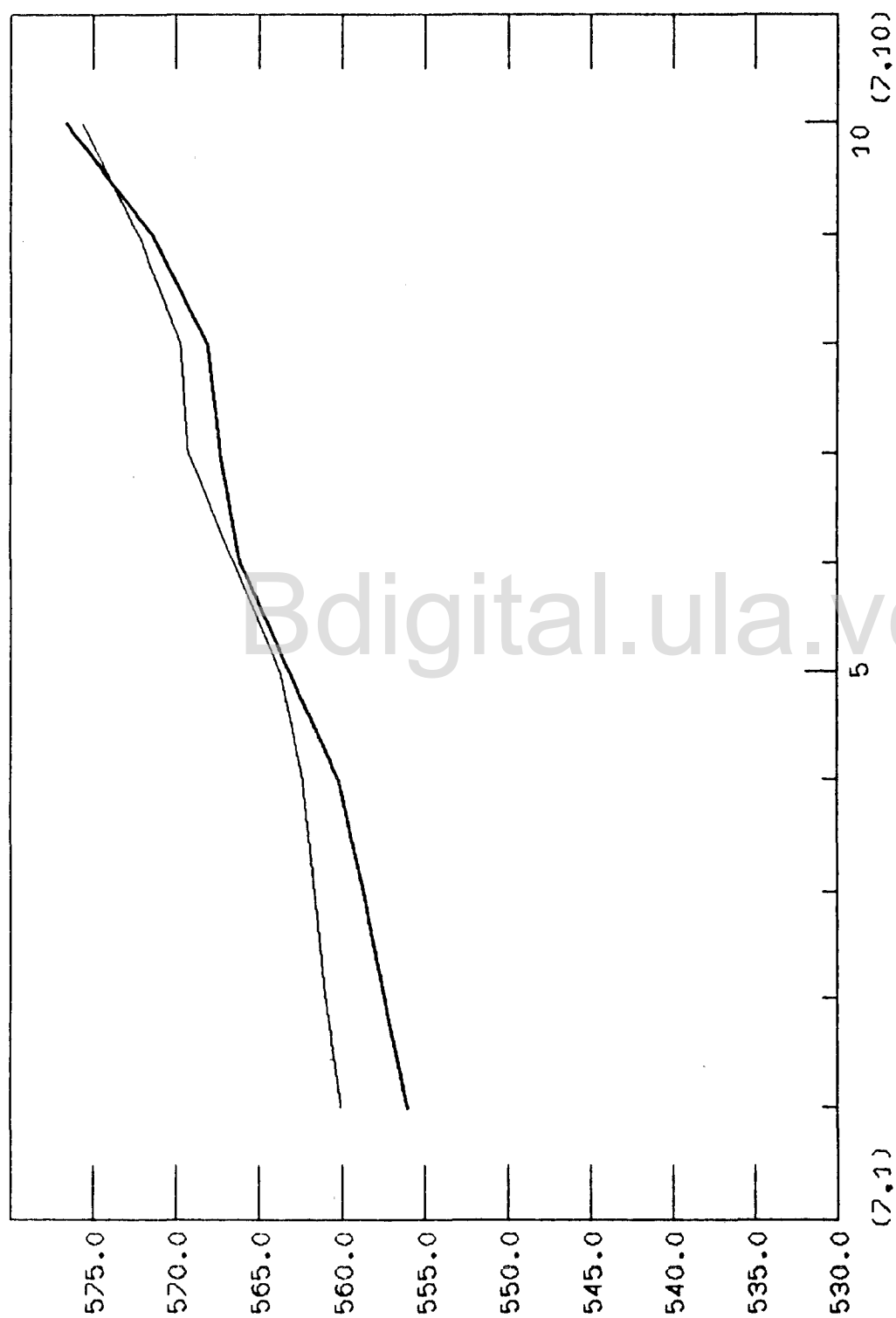


Figura F. 43. Período de simulación, columna 7, demandas de riego 1992-1997, región Central Valle de Quíbor.

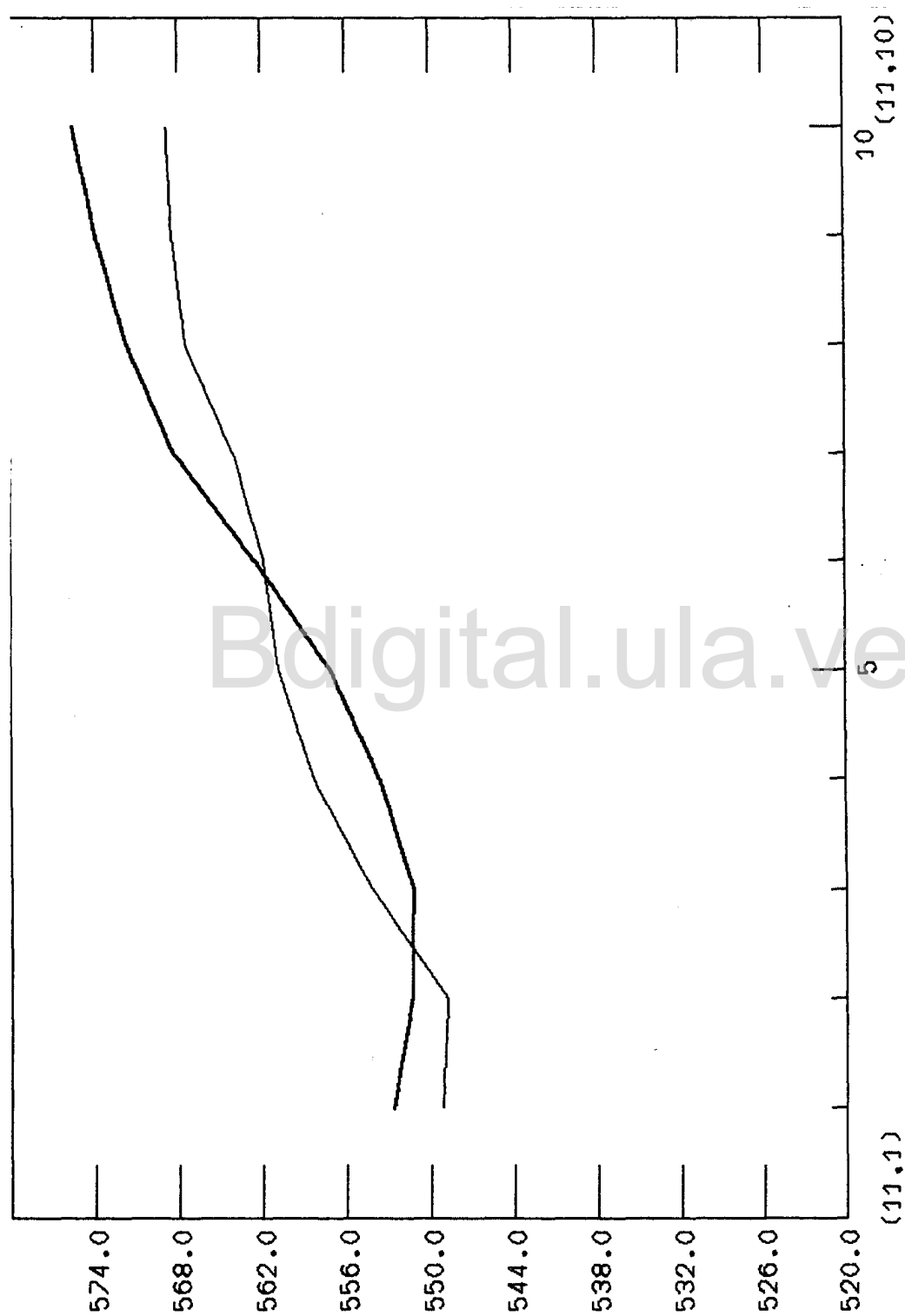


Figura F. 44. Período de simulación, columna 11, demandas de riego 1992-1997, región Central Valle de Quibor.

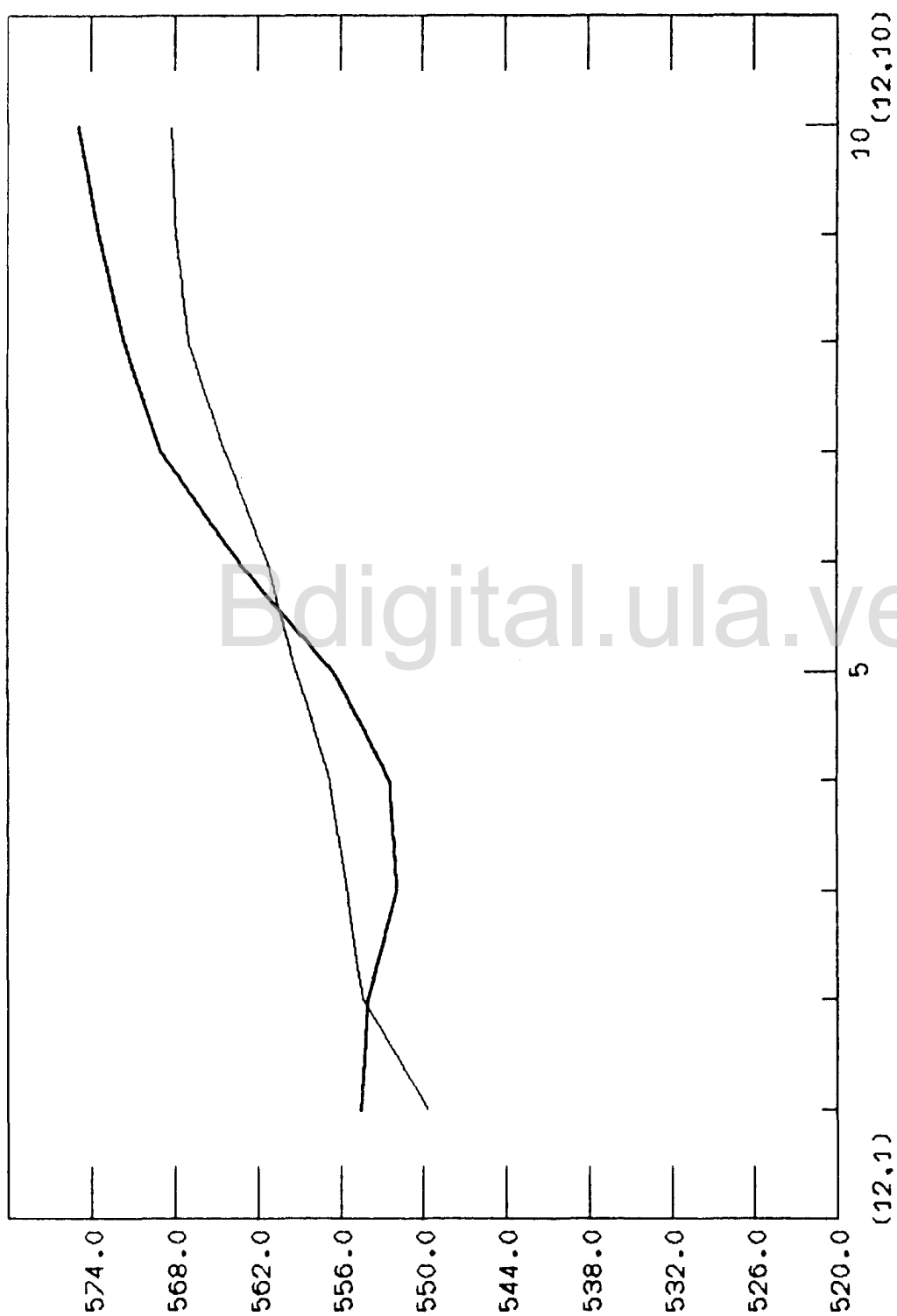


Figura F.45. Período de simulación, columna 12, demandas de riego 1992-1997, región Central, Valle de Quíbor.

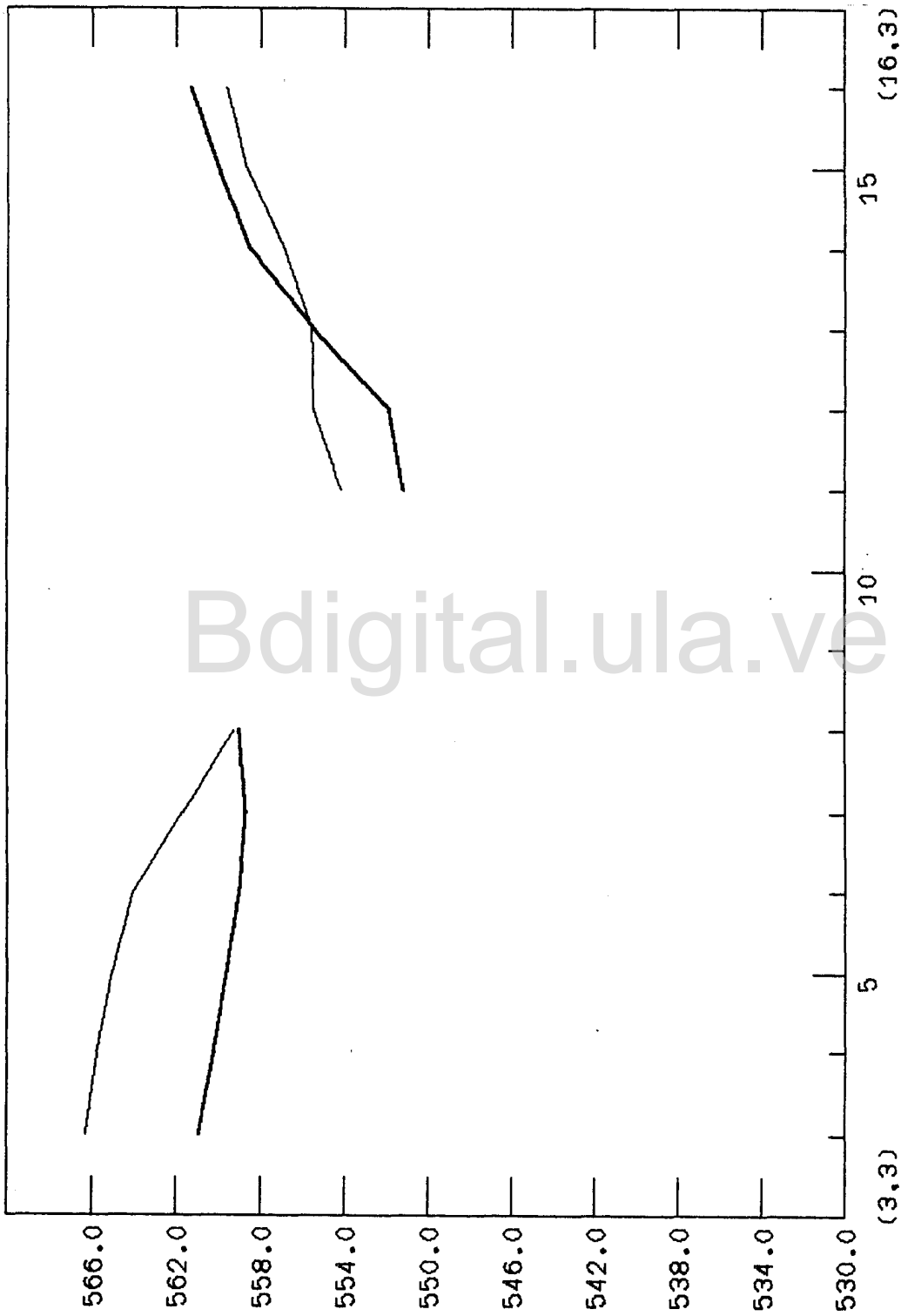


Figura F. 46. Período de simulación, fila 3, demandas de riego 1992-1997, región Central, Valle de Quíbor.

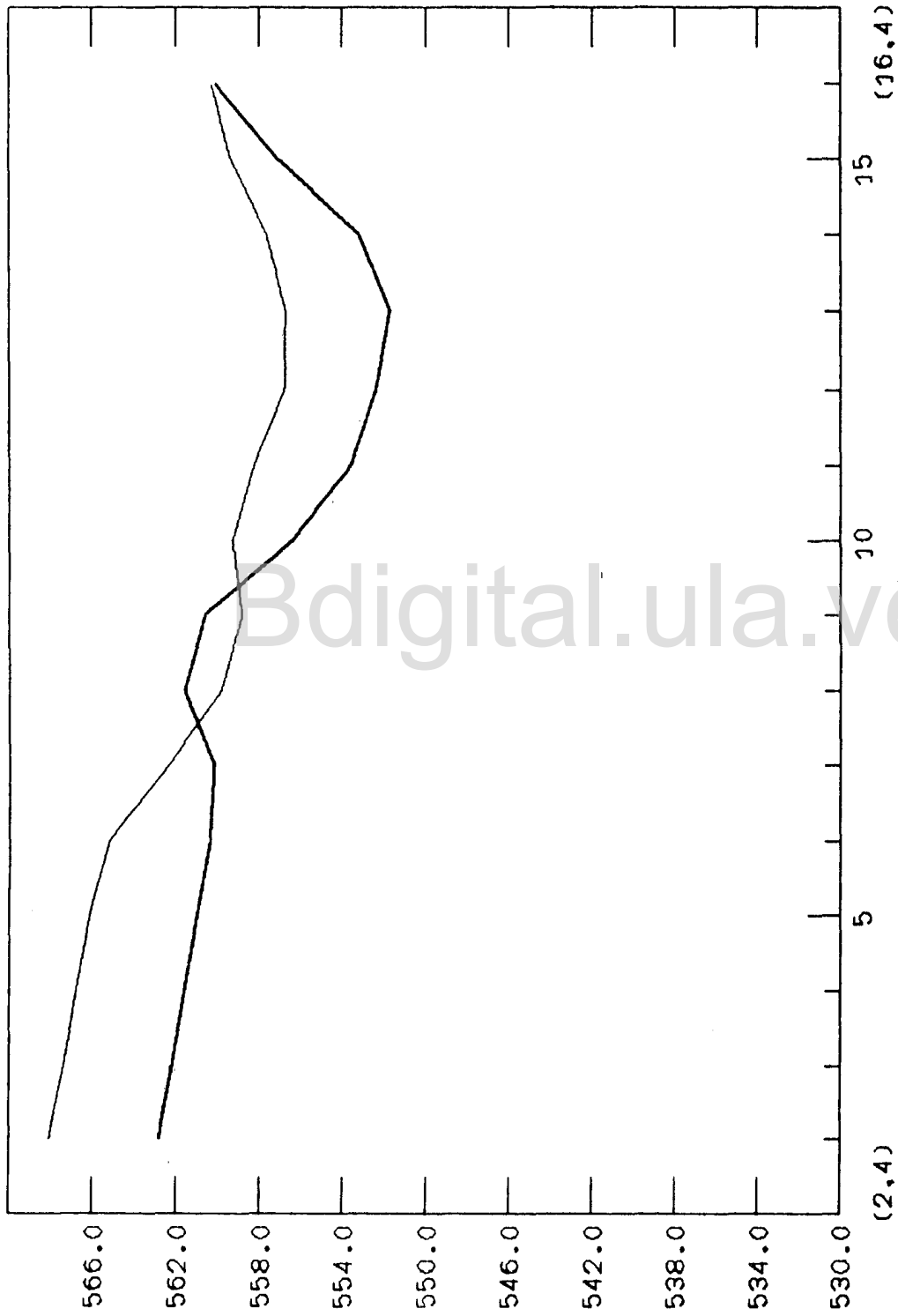


Figura F. 47. Período de simulación, fila 4, demandas de riego 1992-1997, región Central Valle de Quíbor.

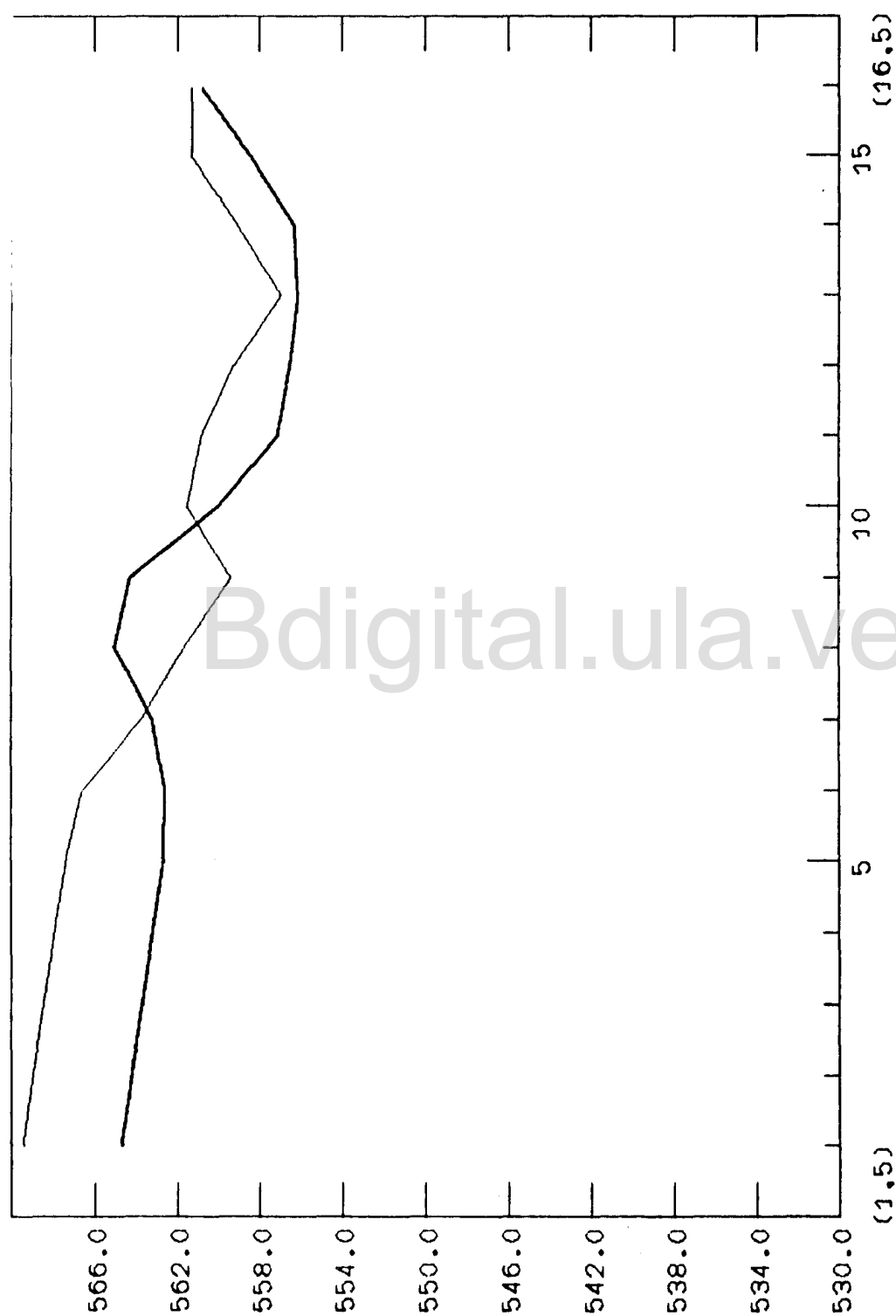


Figura F.48. Período de simulación, fila 5, demandas de riego 1992-1997, región Central, Valle de Quíbor.

A P E N D I C E G

1. DIAGRAMA DE PIPER

2. DIAGRAMA DE WILCON

3. DIAGRAMA DE SFIFF

Tabla G.1. Identificación de las muestras para el análisis de la calidad del agua, 1992, región central, diagrama de PIPER, Valle de Quíbor

Signo	Numero	Identificación de Muestra
1	1	6070104
2	2	6070/SN
3	3	607035
4	4	607085
5	5	607034
6	6	6070/SN
7	7	6070130
8	8	607070
9	9	607018
A	10	607030
B	11	607032
C	12	6070110
D	13	607091
E	14	6070/73
F	15	607043
G	16	6070111
H	17	607074
I	18	607087
J	19	6070/63
K	20	6070/SN
L	21	607024
M	22	607097
N	23	6070123
P	24	6070100
Q	25	6070134
R	26	6070/SN
S	27	6070122
T	28	6070121
U	29	6070132
V	30	607093
W	31	6070105
X	32	6070112
Y	33	6070114

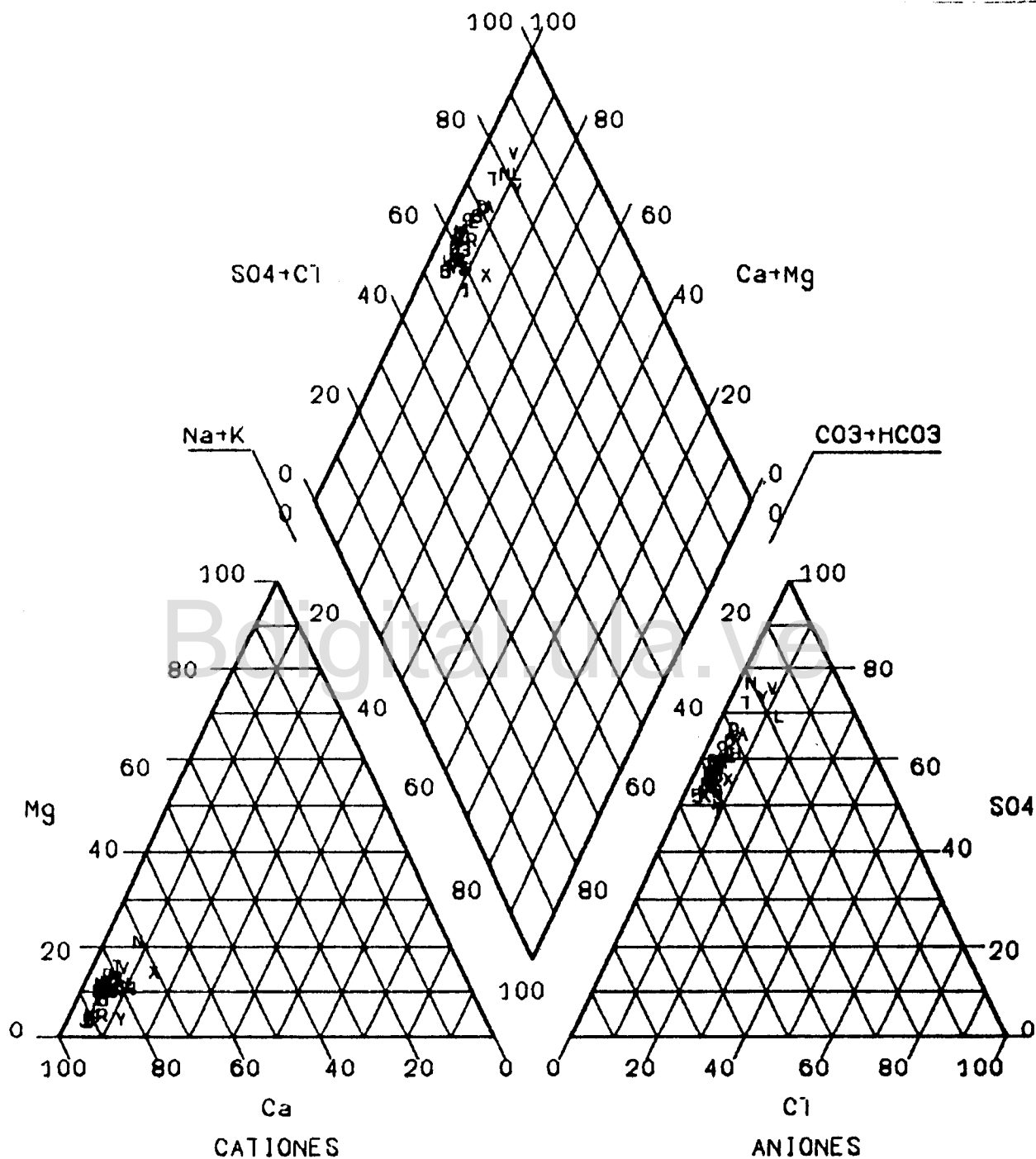


Figura G.1. Diagrama de PIPER, clasificación de la calidad del agua, 1992, región central, Valle de Quibor.

Tabla G.2. Identificación de las muestras para el análisis de la calidad del agua para riego, 1992, región central, diagrama de WILCON, Valle de Quíbor.

Signo	Numero	Identificacion de Muestra
1	1	6070104
2	2	6070/SN
3	3	607035
4	4	607085
5	5	607034
6	6	6070/SN
7	7	6070130
8	8	607070
9	9	607018
A	10	607030
B	11	607032
C	12	6070110
D	13	607091
E	14	6070/73
F	15	607043
G	16	6070111
H	17	607074
I	18	607087
J	19	6070/63
K	20	6070/SN
L	21	607024
M	22	607097
N	23	6070123
P	24	6070100
Q	25	6070134
R	26	6070/SN
S	27	6070122
T	28	6070121
U	29	6070132
V	30	607093
W	31	6070105
X	32	6070112
Y	33	6070114

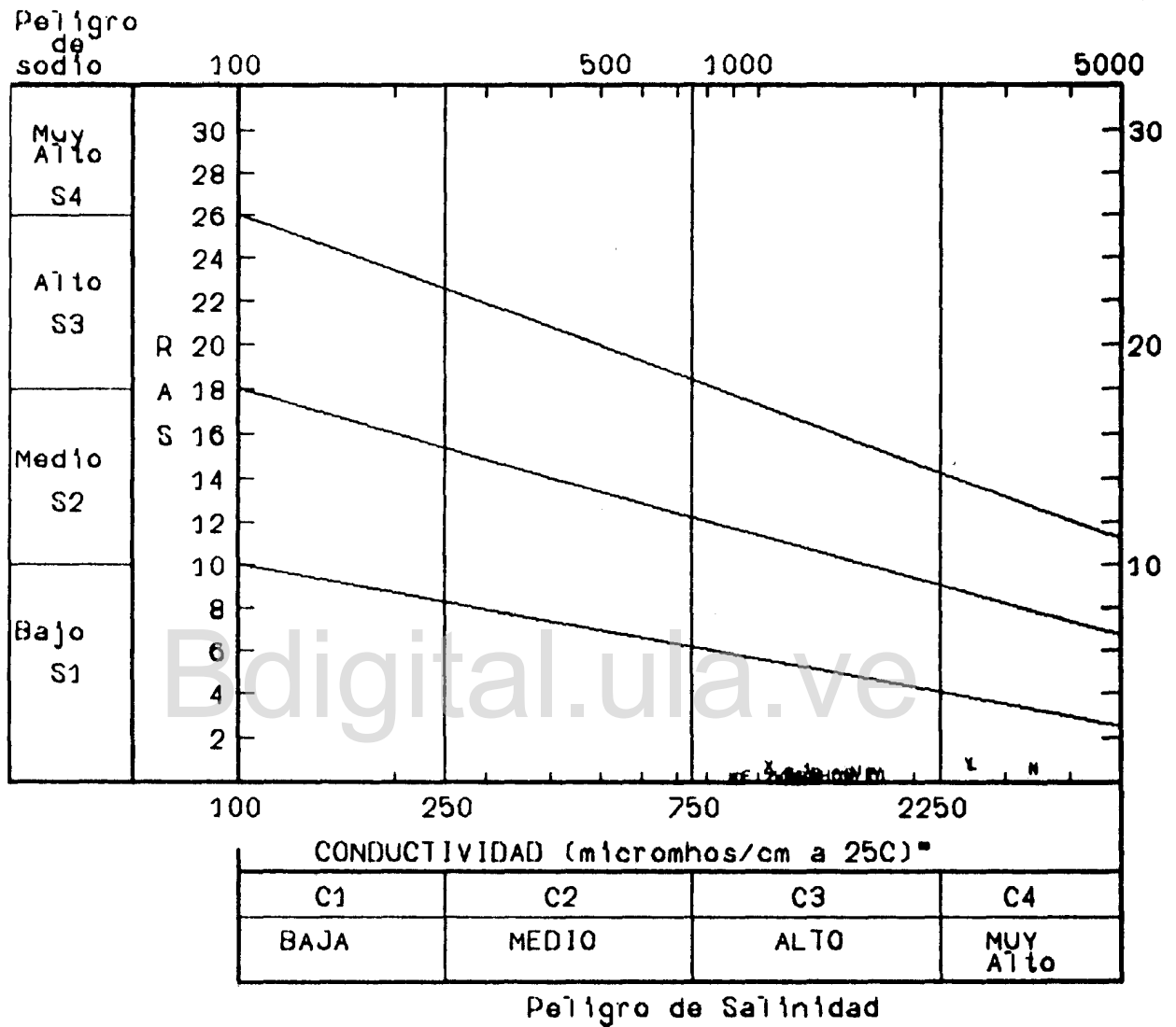
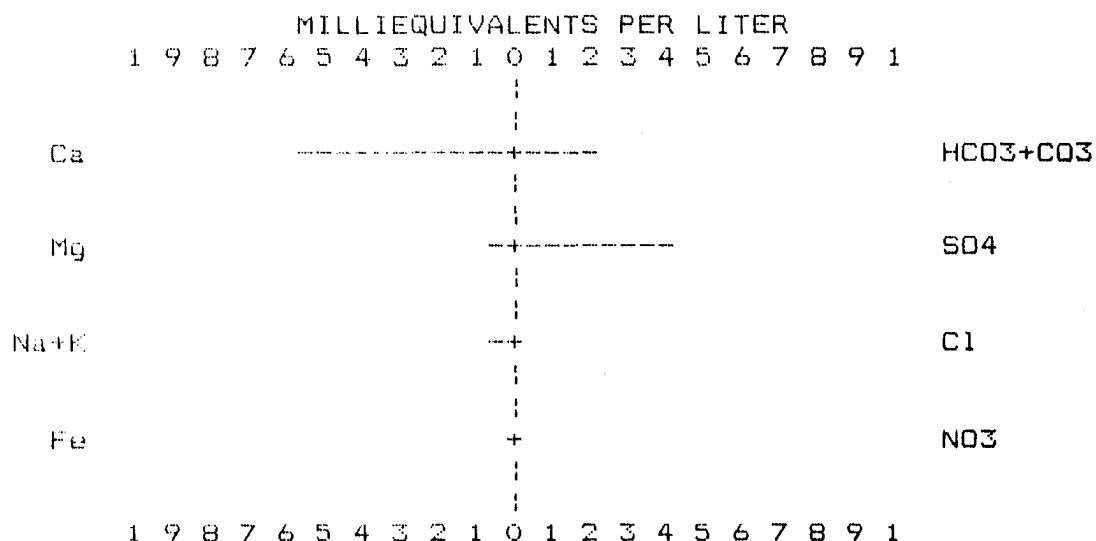


Figura G.2. Diagrama de WILCON, clasificación de la calidad del agua para riego, 1992, región central, Valle de Quíbor.

Sample : 607018

TOTAL SCALE = 20 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 1.00



WATER TYPE ---- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 10.55 Mg= 1.46 Na= 0.56 K= 0.01 Fe= 0.00
HCO₃= 4.23 CO₃= 0.00 SO₄= 7.80 Cl= 0.46 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=211. Mg= 18. Na= 13. K= 0. Fe= 0.00
HCO₃=258. CO₃= 0. SO₄= 374. Cl= 16. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 1255.

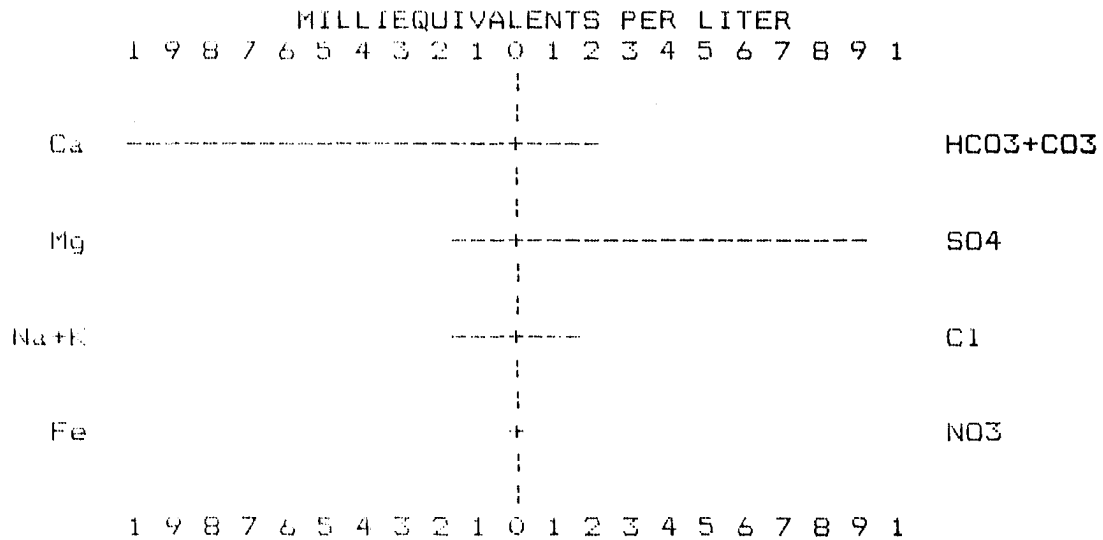
pH= 7.3

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.23

Diagrama de STIFF, pozo No. 607018

Sample : 607024

TOTAL SCALE = 20 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 1.00



WATER TYPE ---- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 19.98 Mg= 3.14 Na= 2.80 K= 0.01 Fe= 0.00
HCO₃= 4.46 CO₃= 0.00 SO₄= 18.01 Cl= 3.46 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=400. Mg= 38. Na= 64. K= 0. Fe= 0.00
HCO₃=272. CO₃= 0. SO₄= 865. Cl= 123. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 2605.

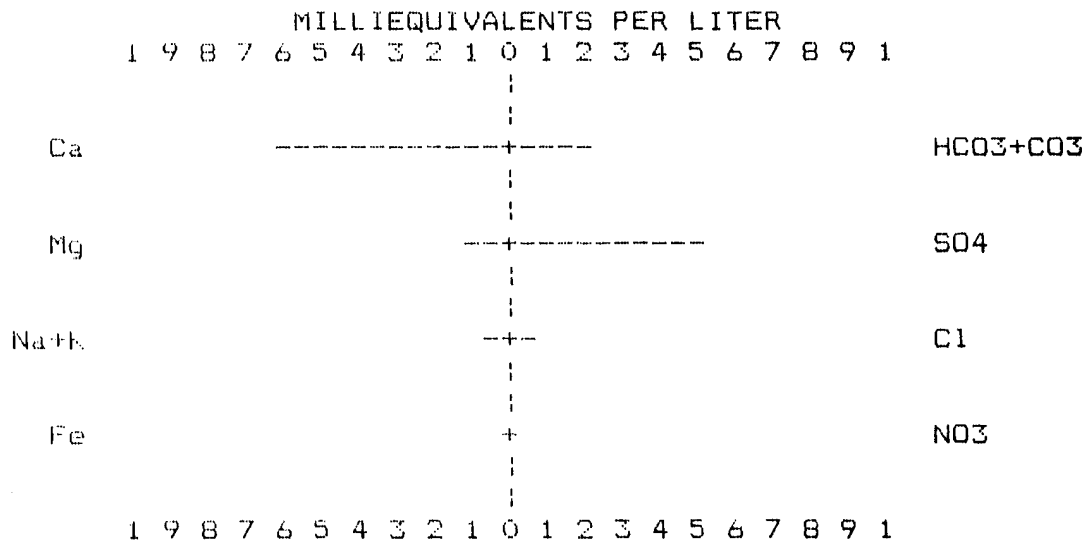
pH= 7.1

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.82

Diagrama de STIFF, pozo No. 607024.

Sample : 607030

TOTAL SCALE = 20 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 1.00



WATER TYPE ---- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 12.24 Mg= 1.91 Na= 1.19 K= 0.01 Fe= 0.00
 HCO₃= 4.21 CO₃= 0.00 SO₄= 9.98 Cl= 1.02 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=245. Mg= 23. Na= 27. K= 0. Fe= 0.00
 HCO₃=257. CO₃= 0. SO₄= 480. Cl= 36. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 1535.

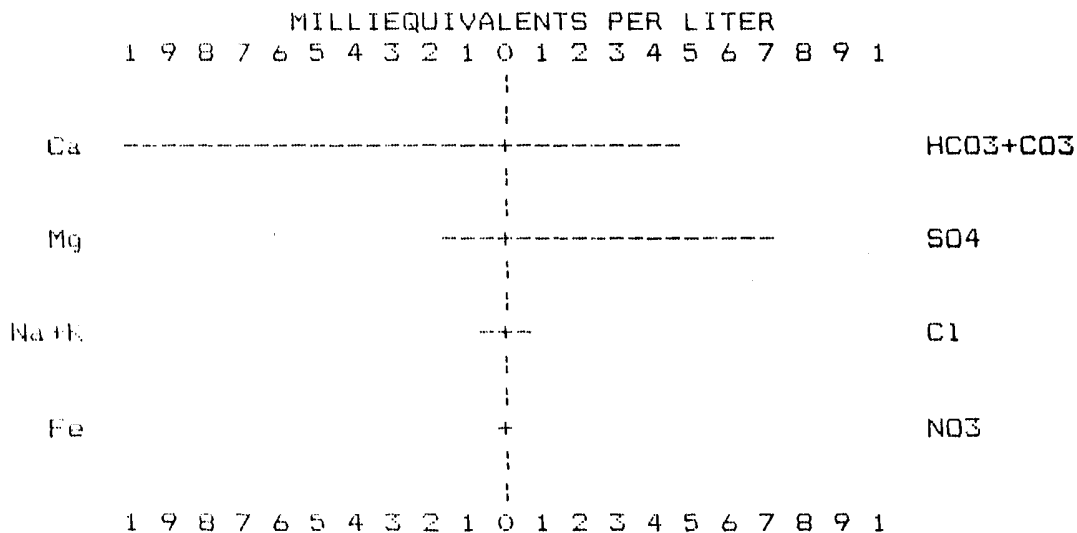
pH= 7.3

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.45

Diagrama de STIFF, pozo No. 607030

Sample : 607032

TOTAL SCALE = 10 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 0.50



WATER TYPE ----- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 9.99 Mg= 1.68 Na= 0.56 K= 0.01 Fe= 0.00
HCO₃= 4.63 CO₃= 0.00 SO₄= 7.06 Cl= 0.47 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=200. Mg= 20. Na= 13. K= 0. Fe= 0.00
HCO₃=282. CO₃= 0. SO₄= 339. Cl= 17. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 1225.

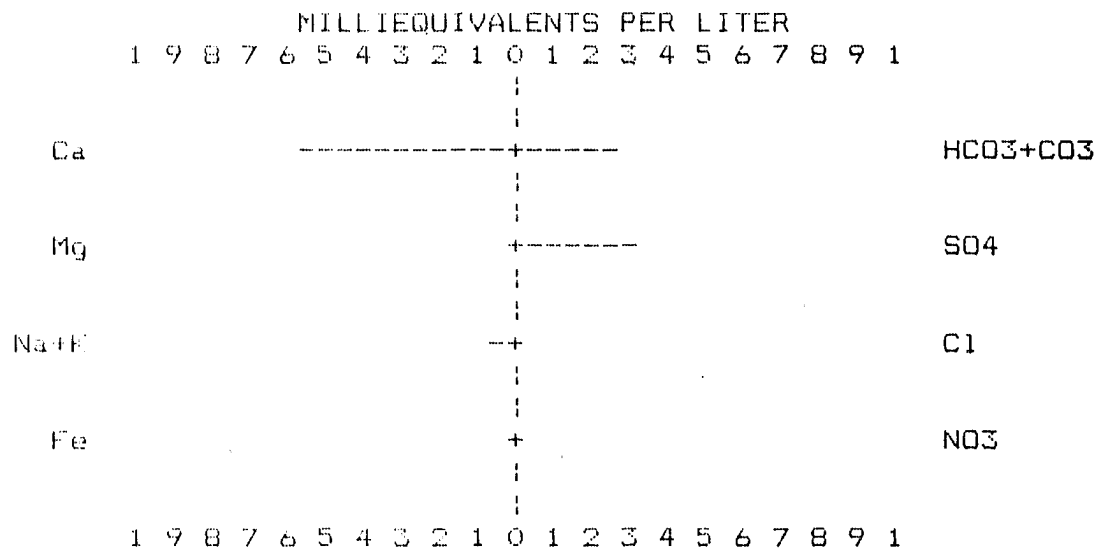
pH= 7.4

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.23

Diagrama de STIFF, pozo No. 607032

Sample : 607034

TOTAL SCALE = 20 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 1.00



WATER TYPE ---- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 10.66 Mg= 0.45 Na= 0.59 K= 0.01 Fe= 0.00
HCO3= 5.30 CO3= 0.00 SO4= 6.13 Cl= 0.39 NO3= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=214. Mg= 5. Na= 14. K= 0. Fe= 0.00
HCO3=323. CO3= 0. SO4= 294. Cl= 14. NO3= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 1155.

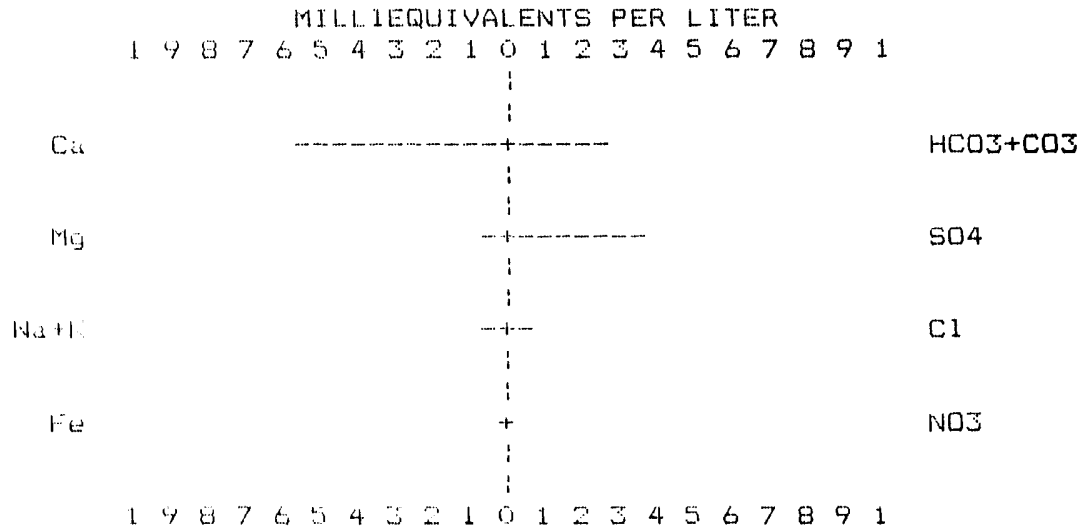
pH= 7.5

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.25

Diagrama de STIFF, pozo No. 607034

Sample : 607035

TOTAL SCALE = 20 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 1.00



WATER TYPE ----- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 10.66 Mg= 1.35 Na= 0.92 K= 0.01 Fe= 0.00
HCO3= 4.97 CO3= 0.00 SO4= 7.38 Cl= 0.73 NO3= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=214. Mg= 16. Na= 21. K= 0. Fe= 0.00
HCO3=303. CO3= 0. SO4= 354. Cl= 26. NO3= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 1305.

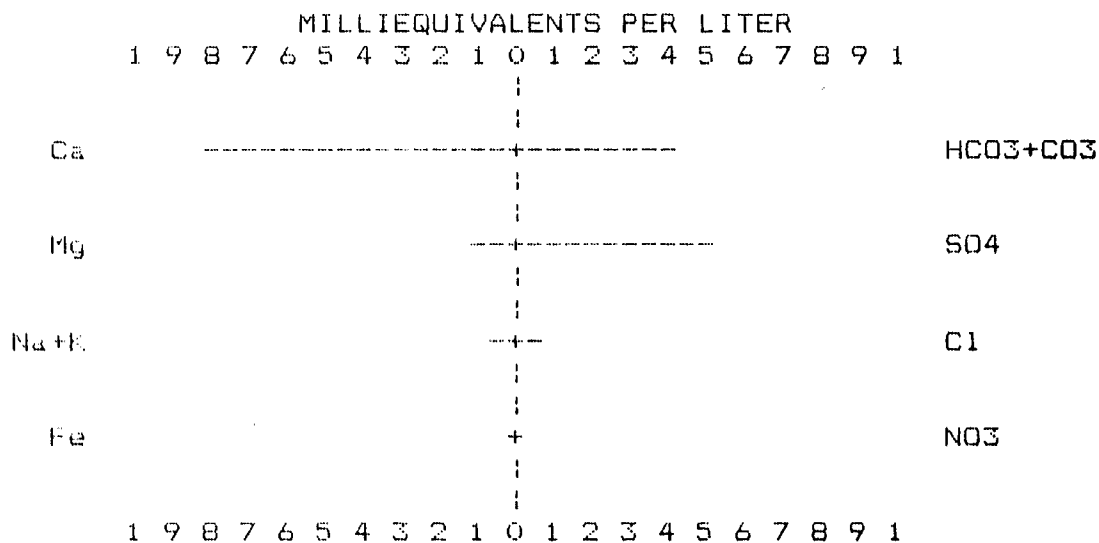
pH= 6.9

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.38

Diagrama de STIFF, pozo No. 607035

Sample : 607043

TOTAL SCALE = 10 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 0.50



WATER TYPE ----- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 7.86 Mg= 1.12 Na= 0.56 K= 0.01 Fe= 0.00
HCO₃= 3.96 CO₃= 0.00 SO₄= 5.21 Cl= 0.40 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=158. Mg= 14. Na= 13. K= 0. Fe= 0.00
HCO₃=242. CO₃= 0. SO₄= 250. Cl= 14. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 955.

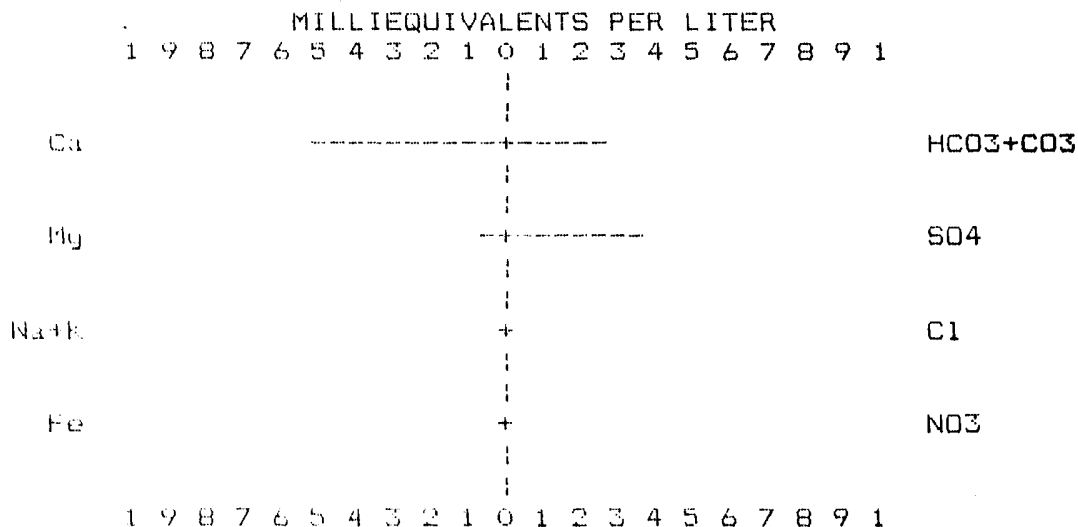
pH= 7.1

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.26

Diagrama de STIFF, pozo No. 607043

Sample : 607070

TOTAL SCALE = 20 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 1.00



WATER TYPE ---- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 10.21 Mg= 1.23 Na= 0.45 K= 0.01 Fe= 0.00
HCO₃= 4.51 CO₃= 0.00 SO₄= 7.17 Cl= 0.34 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=205. Mg= 15. Na= 10. K= 0. Fe= 0.00
HCO₃=275. CO₃= 0. SO₄= 344. Cl= 12. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 1195.

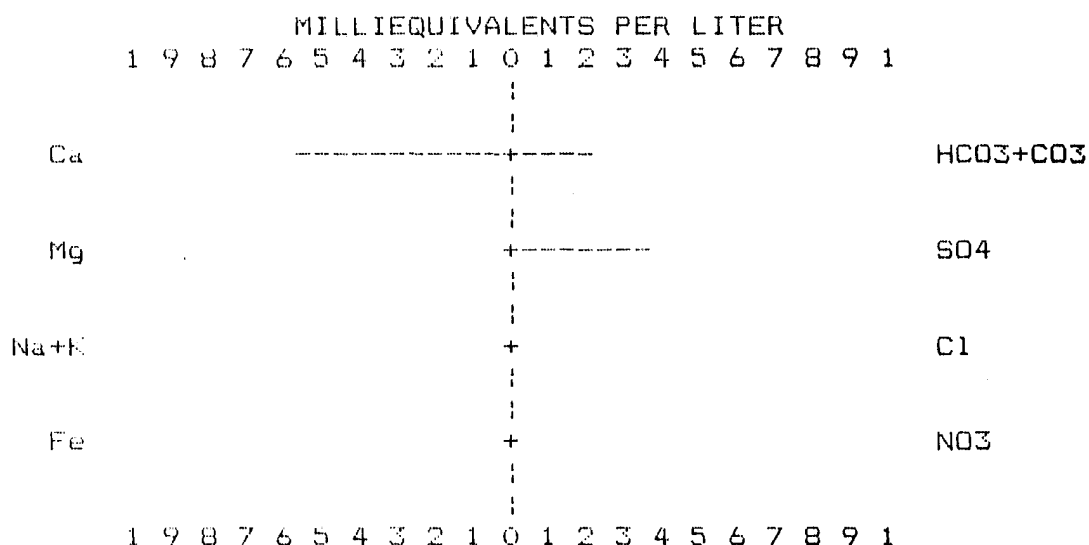
pH= 7.0

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.19

Diagrama de STIFF, pozo No. 607070

Sample : 6070/63

TOTAL SCALE = 20 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 1.00



WATER TYPE ---- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 10.78 Mg= 0.45 Na= 0.48 K= 0.01 Fe= 0.00
HCO₃= 4.20 CO₃= 0.00 SO₄= 7.00 Cl= 0.49 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=216. Mg= 5. Na= 11. K= 0. Fe= 0.00
HCO₃=256. CO₃= 0. SO₄= 336. Cl= 17. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 1185.

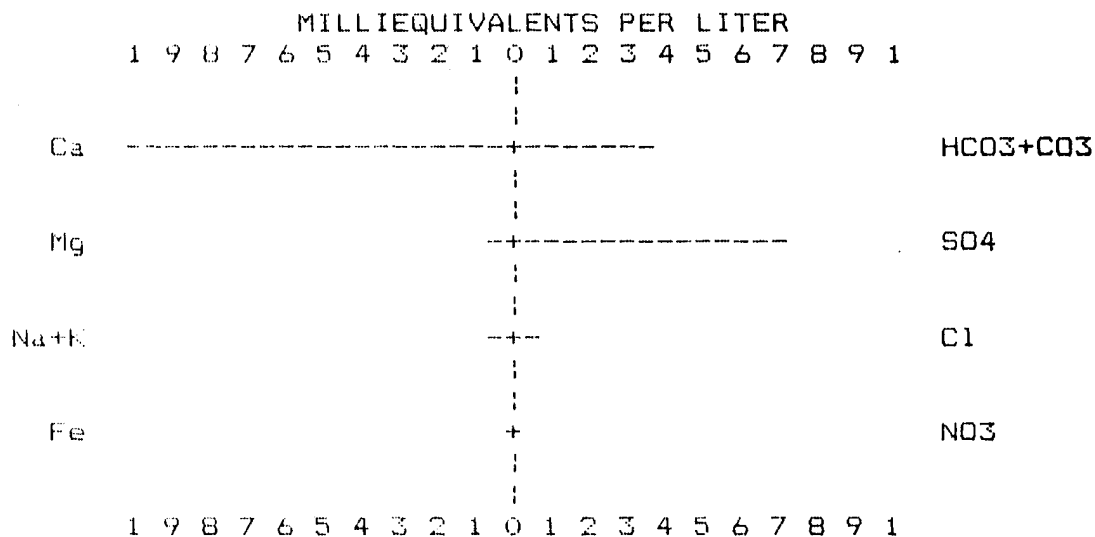
pH= 7.2

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.20

Diagrama de STIFF, pozo No. 607063

Sample : 6070/73

TOTAL SCALE = 10 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 0.50



WATER TYPE ---- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 9.88 Mg= 0.67 Na= 0.70 K= 0.01 Fe= 0.00
HCO₃= 3.67 CO₃= 0.00 SO₄= 6.86 Cl= 0.74 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=198. Mg= 8. Na= 16. K= 0. Fe= 0.00
HCO₃=224. CO₃= 0. SO₄= 329. Cl= 26. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 1155.

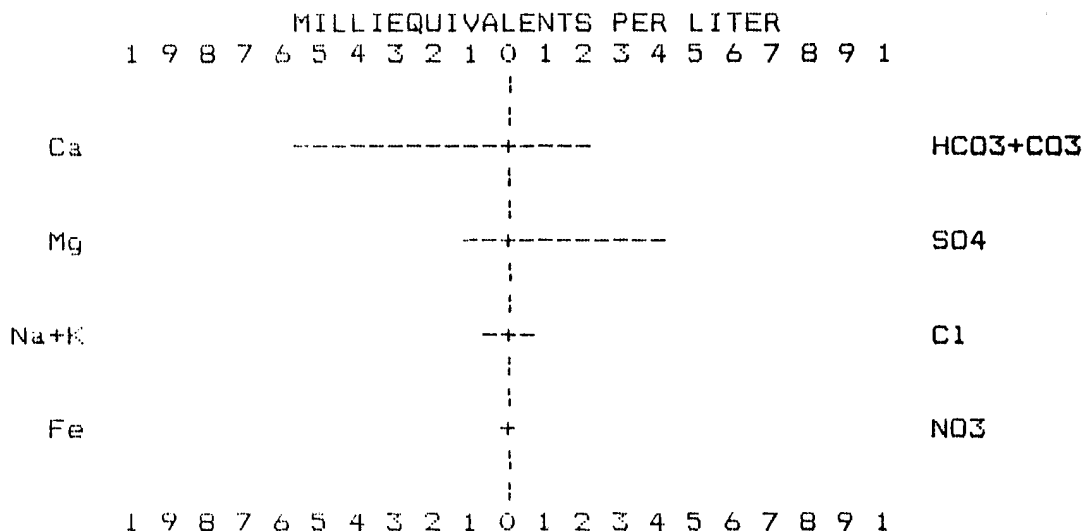
pH= 7.6

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.30

Diagrama de STIFF, pozo No. 6070/73

Sample : 607074

TOTAL SCALE = 20 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 1.00



WATER TYPE ---- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 10.89 Mg= 1.81 Na= 0.81 K= 0.01 Fe= 0.00
HCO₃= 4.27 CO₃= 0.00 SO₄= 8.35 Cl= 0.99 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=218. Mg= 22. Na= 19. K= 0. Fe= 0.00
HCO₃=260. CO₃= 0. SO₄= 401. Cl= 35. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 1355.

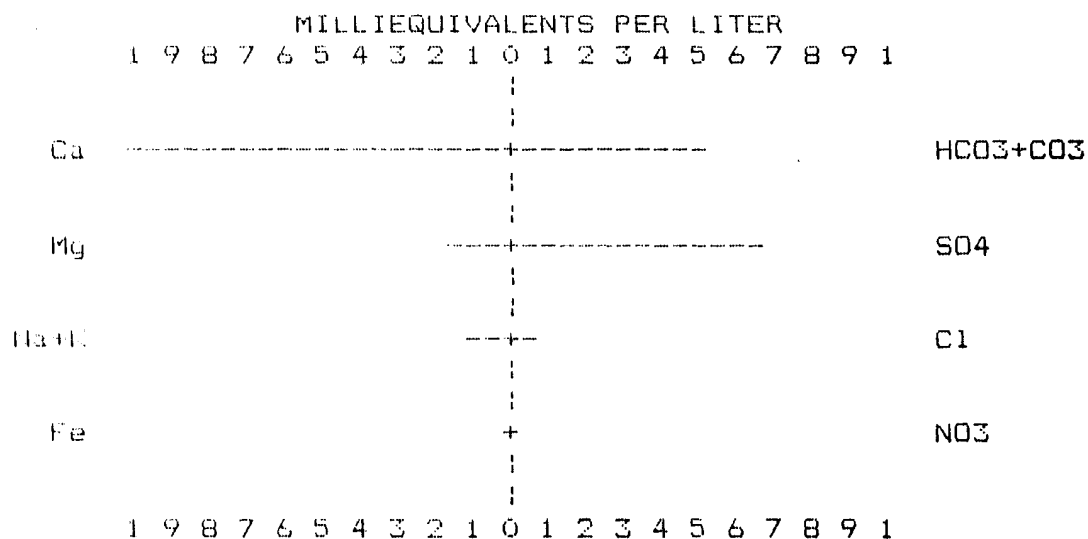
pH= 6.9

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.32

Diagrama de STIFF, pozo No. 607074

Sample : 607085

TOTAL SCALE = 10 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 0.50



WATER TYPE ----- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 9.99 Mg= 1.35 Na= 0.74 K= 0.01 Fe= 0.00
HCO₃= 4.87 CO₃= 0.00 SO₄= 6.54 Cl= 0.53 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=200. Mg= 16. Na= 17. K= 0. Fe= 0.00
HCO₃=297. CO₃= 0. SO₄= 314. Cl= 19. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 1200.

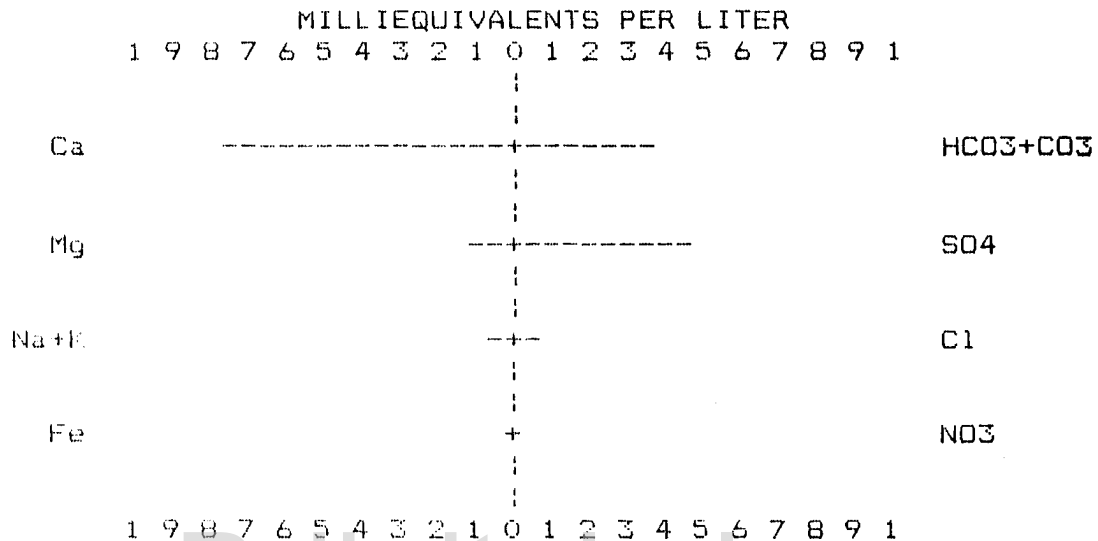
pH= 7.0

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.31

Diagrama de STIFF, pozo No. 607085

Sample : 607087

TOTAL SCALE = 20 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 1.00



WATER TYPE ----- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 14.93 Mg= 1.57 Na= 0.70 K= 0.01 Fe= 0.00
HCO₃= 6.75 CO₃= 0.00 SO₄= 9.04 Cl= 1.40 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=299. Mg= 19. Na= 16. K= 0. Fe= 0.00
HCO₃=412. CO₃= 0. SO₄= 434. Cl= 50. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 1755.

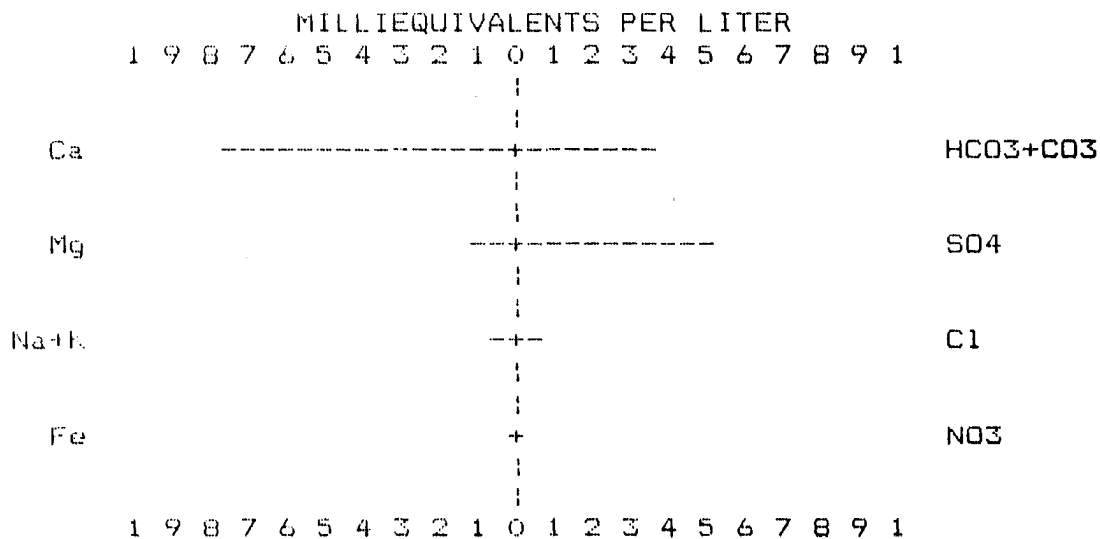
pH= 6.9

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.24

Diagrama de STIFF, pozo No. 607087

Sample : 607091

TOTAL SCALE = 10 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 0.50



WATER TYPE ---- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 7.63 Mg= 1.12 Na= 0.45 K= 0.01 Fe= 0.00
HCO₃= 3.69 CO₃= 0.00 SO₄= 5.14 Cl= 0.34 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=153. Mg= 14. Na= 10. K= 0. Fe= 0.00
HCO₃=225. CO₃= 0. SO₄= 247. Cl= 12. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 925.

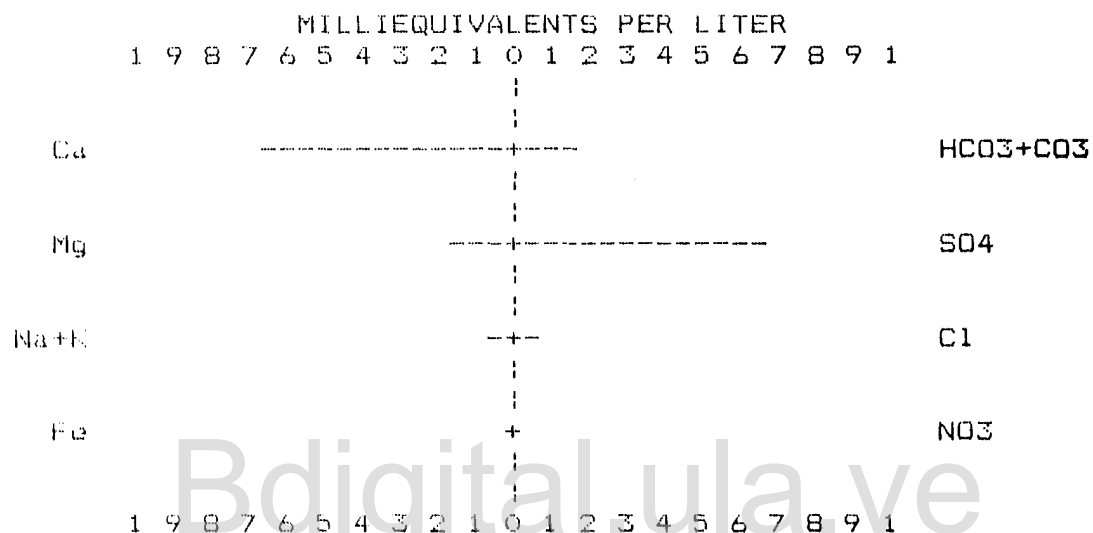
pH= 7.4

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.22

Diagrama de STIFF, pozo No. 607091

Sample : 607093

TOTAL SCALE = 20 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 1.00



WATER TYPE ---- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 13.24 Mg= 2.69 Na= 1.19 K= 0.07 Fe= 0.00
HCO3= 2.72 CO3= 0.00 SO4= 13.01 Cl= 1.47 NO3= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=365. Mg= 33. Na= 27. K= 3. Fe= 0.00
HCO3=166. CO3= 0. SO4= 625. Cl= 52. NO3= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 1705.

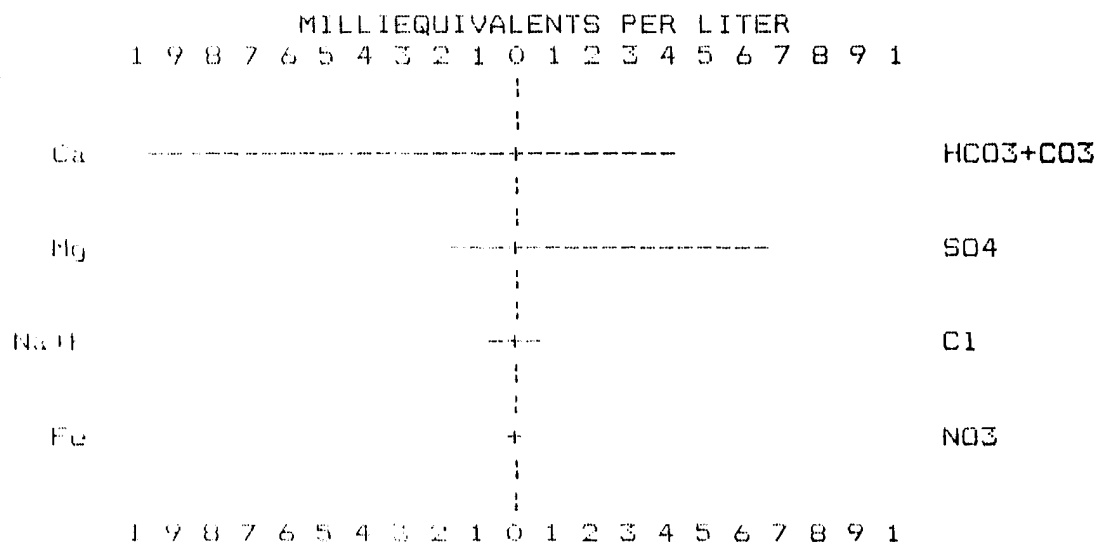
pH= 7.3

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.42

Diagrama de STIFF, pozo No. 607093

Sample : 607097

TOTAL SCALE = 10 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 0.50



WATER TYPE ----- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 9.43 Mg= 1.35 Na= 0.41 K= 0.01 Fe= 0.00
HCO₃= 4.14 CO₃= 0.00 SO₄= 6.69 Cl= 0.37 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=189. Mg= 16. Na= 9. K= 0. Fe= 0.00
HCO₃=253. CO₃= 0. SO₄= 321. Cl= 13. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 1155.

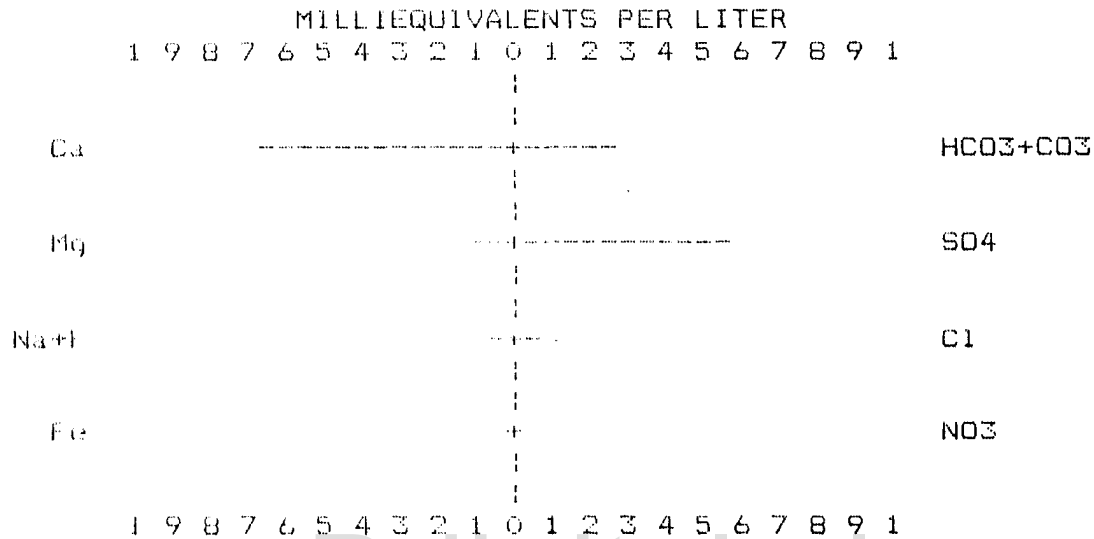
pH= 7.6

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.18

Diagrama de STIFF, pozo No. 607097

Sample : 6070100

TOTAL SCALE = 20 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 1.00



WATER TYPE ---- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 13.47 Mg= 1.91 Na= 1.19 K= 0.01 Fe= 0.00
HCO₃= 4.83 CO₃= 0.00 SO₄= 11.00 Cl= 0.71 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=270. Mg= 23. Na= 27. K= 0. Fe= 0.00
HCO₃=295. CO₃= 0. SO₄= 528. Cl= 25. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 1655.

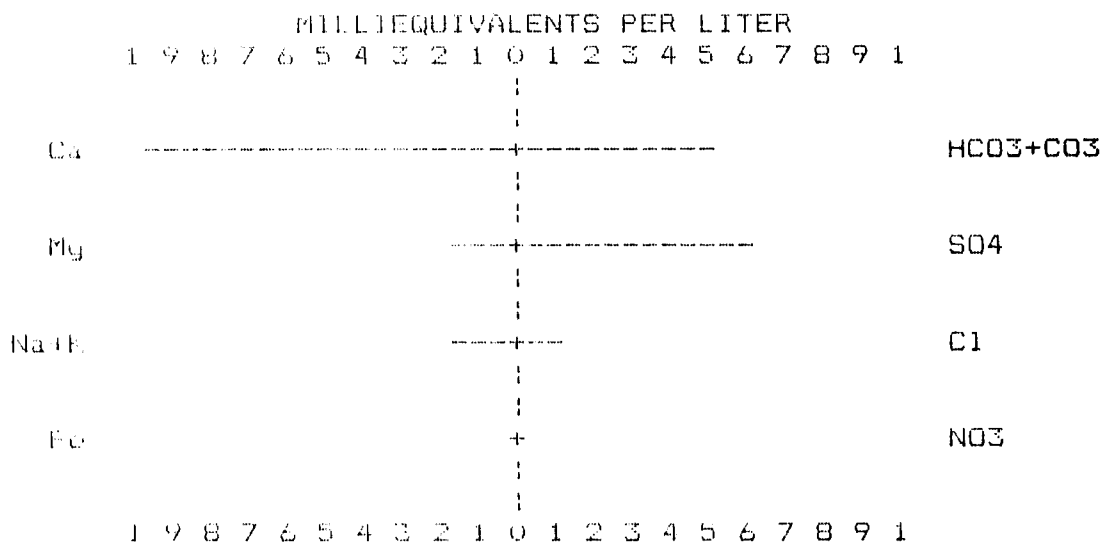
pH= 6.9

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.43

Diagrama de STIFF, pozo No. 6070100

Sample : 6070104

TOTAL SCALE = 10 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 0.50



WATER TYPE ----- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 9.32 Mg= 1.35 Na= 1.43 K= 0.01 Fe= 0.00
HCO₃= 5.18 CO₃= 0.00 SO₄= 6.02 Cl= 1.17 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=187. Mg= 16. Na= 33. K= 0. Fe= 0.00
HCO₃=316. CO₃= 0. SO₄= 289. Cl= 41. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 1255.

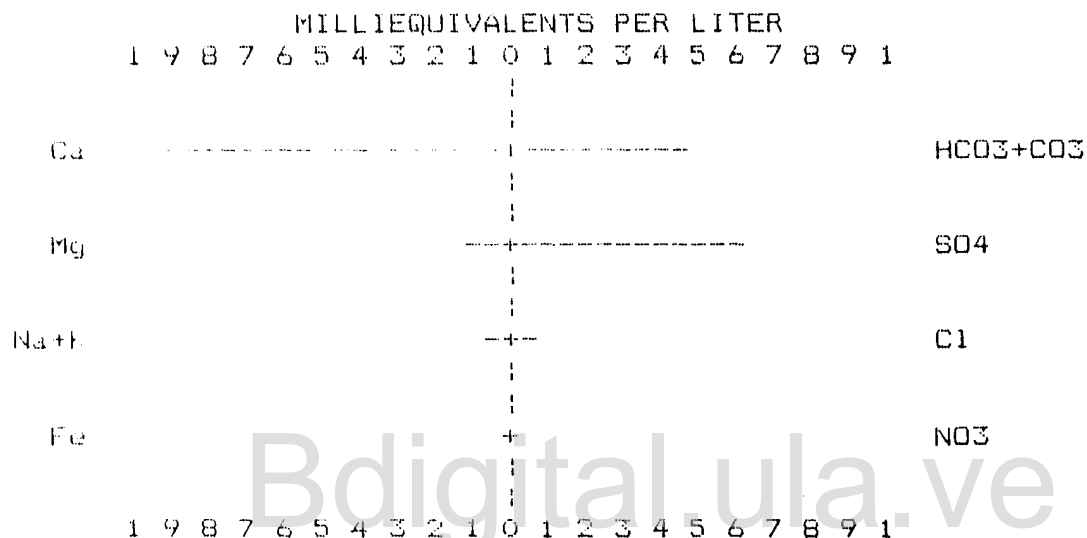
pH= 7.0

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.62

Diagrama de STIFF, pozo No. 6070104

Sample : 6070105

TOTAL SCALE = 10 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 0.50



WATER TYPE ----- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 9.20 Mg= 1.23 Na= 0.59 K= 0.05 Fe= 0.00
HCO₃= 4.75 CO₃= 0.00 SO₄= 5.87 Cl= 0.44 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=184. Mg= 15. Na= 14. K= 2. Fe= 0.00
HCO₃=290. CO₃= 0. SO₄= 282. Cl= 16. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 1105.

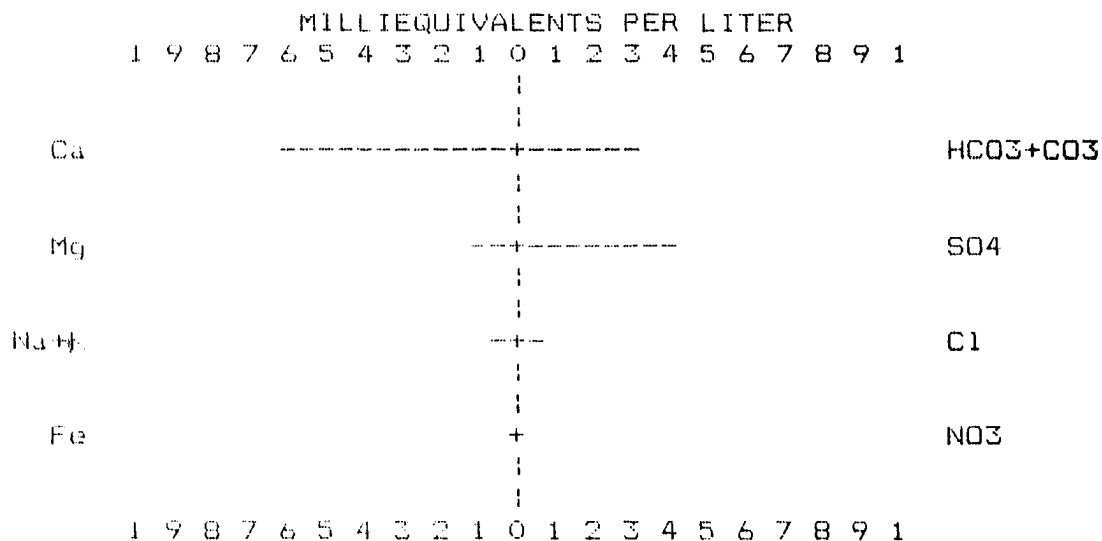
pH= 7.3

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.26

Diagrama de STIFF, pozo No. 6070105

Sample : 6070110

TOTAL SCALE : 20 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 1.00



WATER TYPE ----- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 12.35 Mg= 1.57 Na= 0.70 K= 0.01 Fe= 0.00
HCO₃= 5.81 CO₃= 0.00 SO₄= 7.80 Cl= 0.80 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=247. Mg= 19. Na= 16. K= 0. Fe= 0.00
HCO₃=354. CO₃= 0. SO₄= 374. Cl= 28. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 1475.

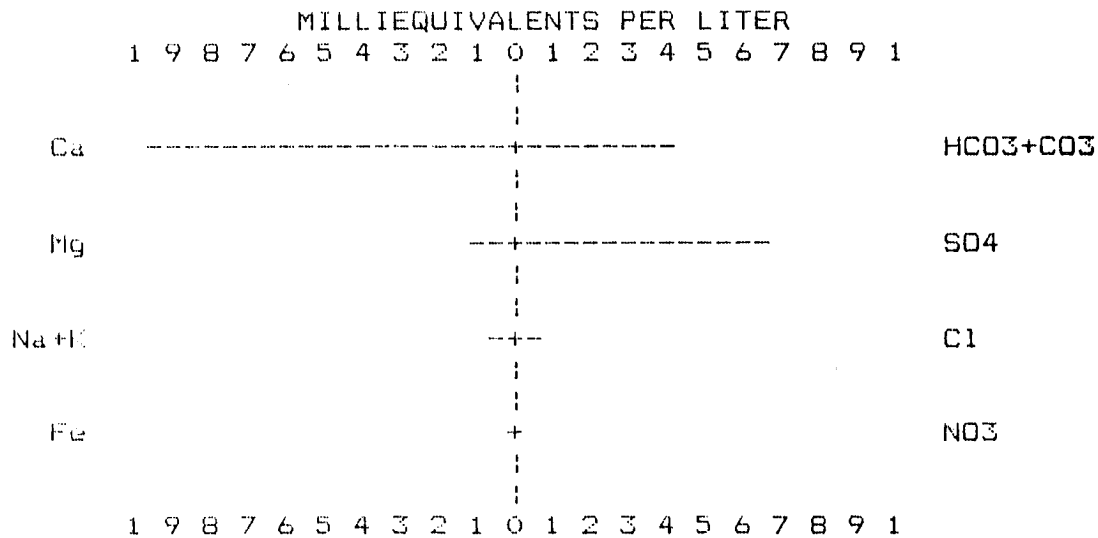
pH= 7.2

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.27

Diagrama de STIFF, pozo No. 6070110

Sample : 6070111

TOTAL SCALE = 10 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 0.50



WATER TYPE ---- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 9.54 Mg= 1.23 Na= 0.63 K= 0.01 Fe= 0.00
HCO₃= 4.18 CO₃= 0.00 SO₄= 6.75 Cl= 0.51 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=191. Mg= 15. Na= 14. K= 0. Fe= 0.00
HCO₃=255. CO₃= 0. SO₄= 324. Cl= 18. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 1155.

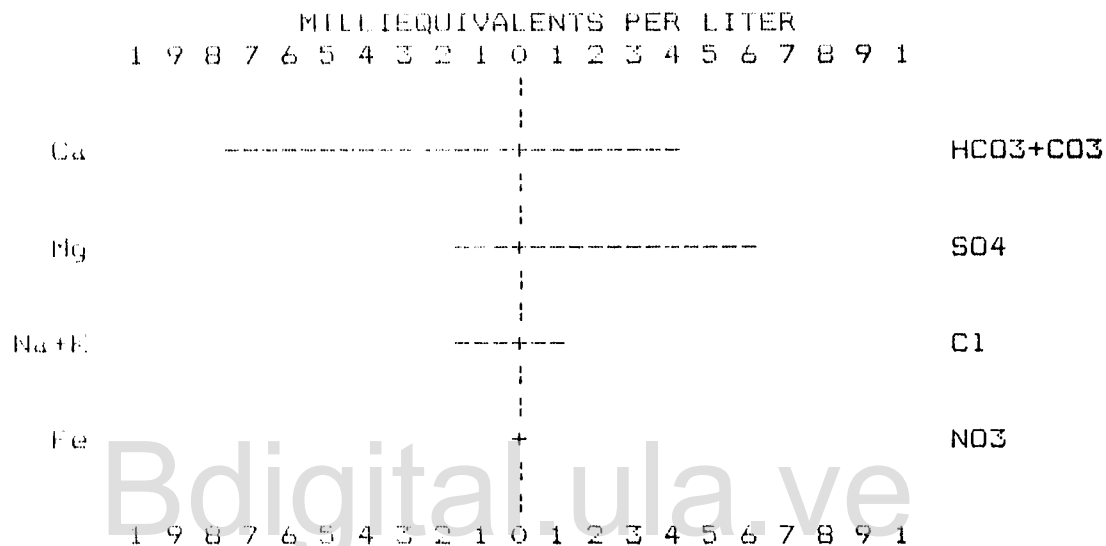
pH= 6.9

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.27

Diagrama de STIFF, pozo No. 6070111

Sample : 6070112

TOTAL SCALE = 10 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 0.50



WATER TYPE ----- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 7.63 Mg= 1.57 Na= 1.51 K= 0.09 Fe= 0.00
HCO₃= 3.81 CO₃= 0.00 SO₄= 5.92 Cl= 0.89 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=153. Mg= 19. Na= 35. K= 4. Fe= 0.00
HCO₃=232. CO₃= 0. SO₄= 284. Cl= 32. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 1055.

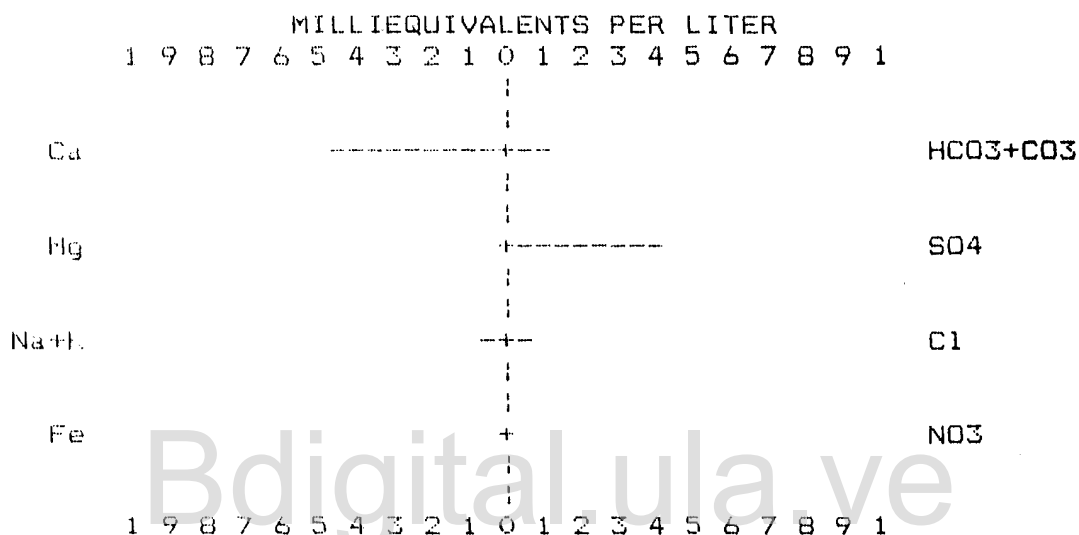
pH= 7.2

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.70

Diagrama de STIFF, pozo No. 6070112

Sample : 6070114

TOTAL SCALE = 50 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 2.50



WATER TYPE ---- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 21.33 Mg= 1.12 Na= 3.05 K= 0.09 Fe= 0.00
HCO₃= 4.85 CO₃= 0.00 SO₄= 18.84 Cl= 1.88 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=427. Mg= 14. Na= 70. K= 4. Fe= 0.00
HCO₃=296. CO₃= 0. SO₄= 905. Cl= 67. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 2555.

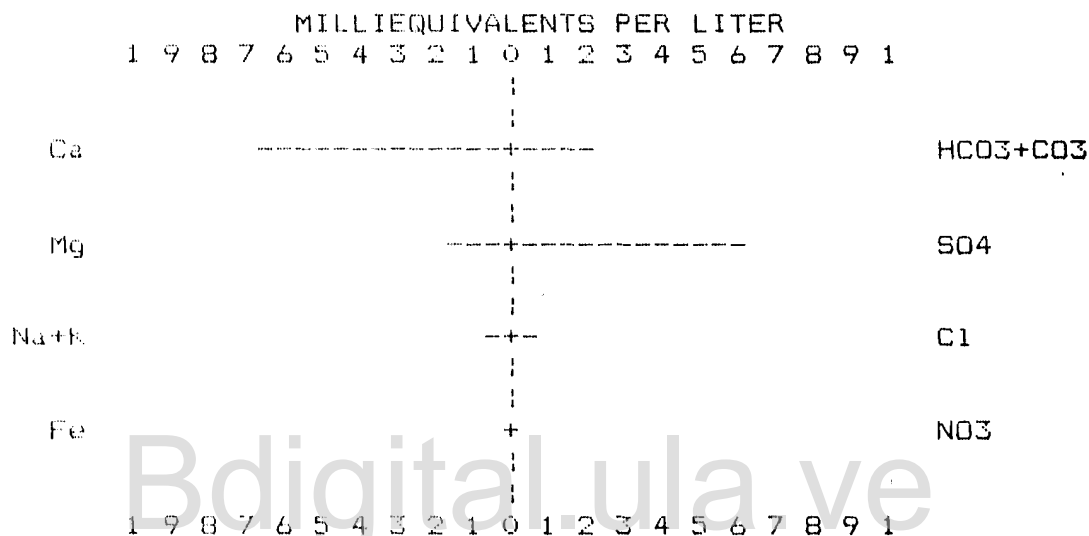
pH= 6.9

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.91

Diagrama de STIFF, pozo No. 6070114

Sample : 6070121

TOTAL SCALE = 20 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 1.00



WATER TYPE ---- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 12.80 Mg= 2.58 Na= 0.92 K= 0.01 Fe= 0.00
HCO₃= 3.82 CO₃= 0.00 SO₄= 11.75 Cl= 0.71 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=257. Mg= 31. Na= 21. K= 0. Fe= 0.00
HCO₃=233. CO₃= 0. SO₄= 564. Cl= 25. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 1655.

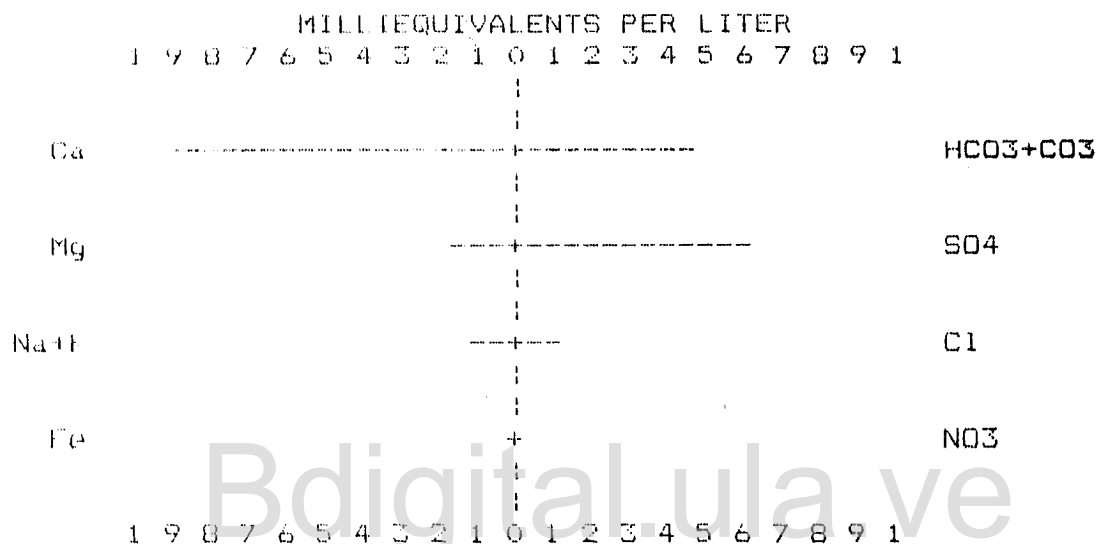
pH= 7.3

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.33

Diagrama de STIFF, pozo No. 6070121

Sample : 6070122

TOTAL SCALE = 10 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 0.50



WATER TYPE ---- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 9.09 Mg= 1.28 Na= 1.00 K= 0.01 Fe= 0.00
HCO₃= 4.59 CO₃= 0.00 SO₄= 5.87 Cl= 0.92 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=182. Mg= 16. Na= 23. K= 0. Fe= 0.00
HCO₃=280. CO₃= 0. SO₄= 282. Cl= 33. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 1155.

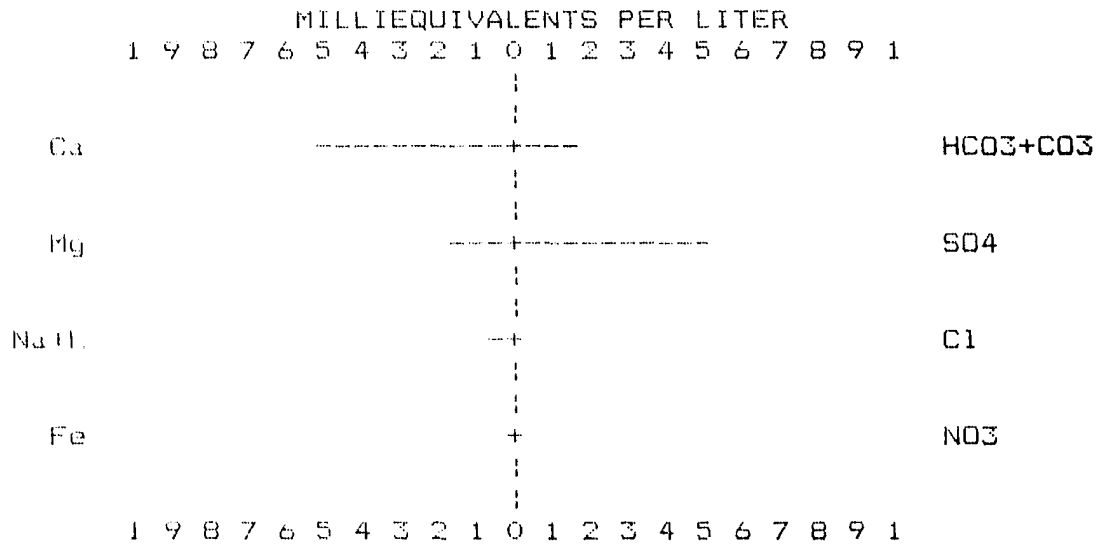
pH= 7.4

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.44

Diagrama de STIFF, pozo No. 6070122

Sample : 6070123

TOTAL SCALE = 50 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 2.50



WATER TYPE ---- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 24.13 Mg= 7.30 Na= 2.64 K= 0.01 Fe= 0.00
HCO₃= 6.85 CO₃= 0.00 SO₄= 26.14 Cl= 1.01 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=484. Mg= 89. Na= 61. K= 0. Fe= 0.00
HCO₃=418. CO₃= 0. SO₄= 1256. Cl= 36. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 3405.

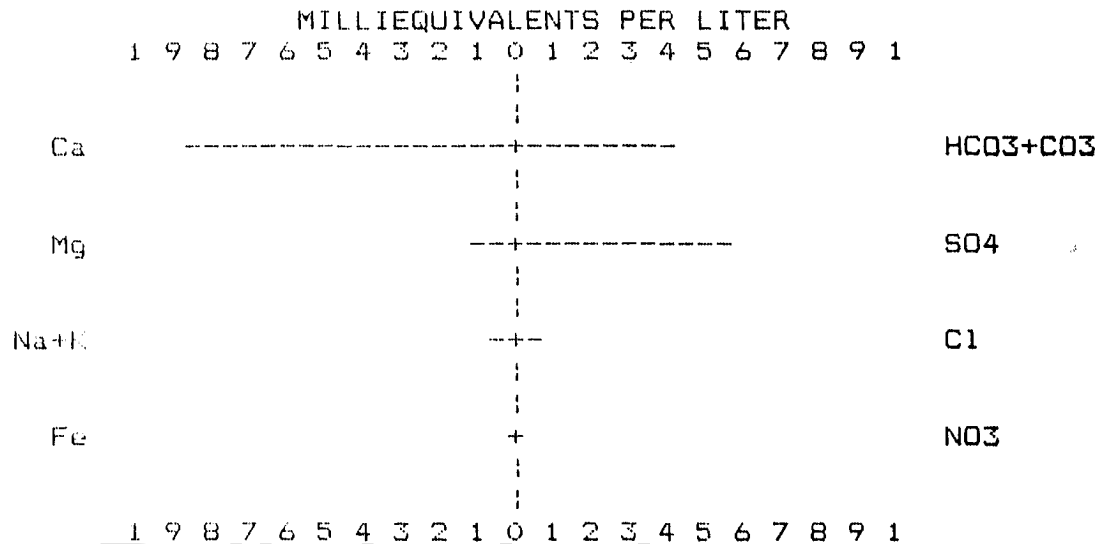
pH= 7.0

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.67

Diagrama de STIFF, pozo No. 6070123

Sample : 6070130

TOTAL SCALE = 10 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 0.50



WATER TYPE --- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 8.53 Mg= 1.12 Na= 0.45 K= 0.01 Fe= 0.00
HCO₃= 4.04 CO₃= 0.00 SO₄= 5.71 Cl= 0.32 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=171. Mg= 14. Na= 10. K= 0. Fe= 0.00
HCO₃=246. CO₃= 0. SO₄= 274. Cl= 11. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 1055.

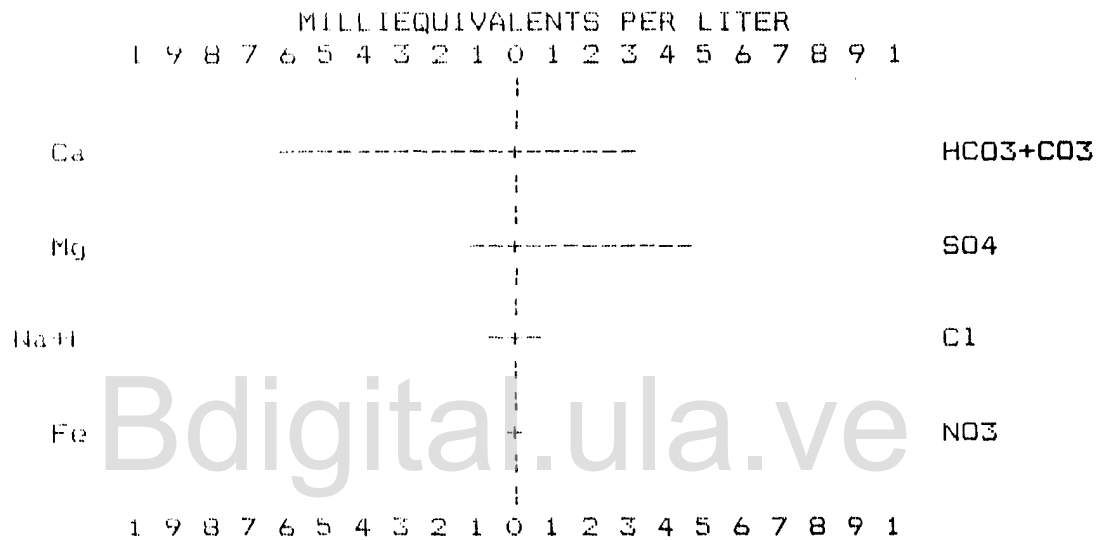
pH= 7.0

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.20

Diagrama de STIFF, pozo No. 6070130

Sample : 6070132

TOTAL SCALE = 20 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 1.00



WATER TYPE ---- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 12.35 Mg= 1.68 Na= 1.43 K= 0.01 Fe= 0.00
HCO₃= 6.11 CO₃= 0.00 SO₄= 8.58 Cl= 0.76 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=247. Mg= 20. Na= 33. K= 0. Fe= 0.00
HCO₃=373. CO₃= 0. SO₄= 412. Cl= 27. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 1555.

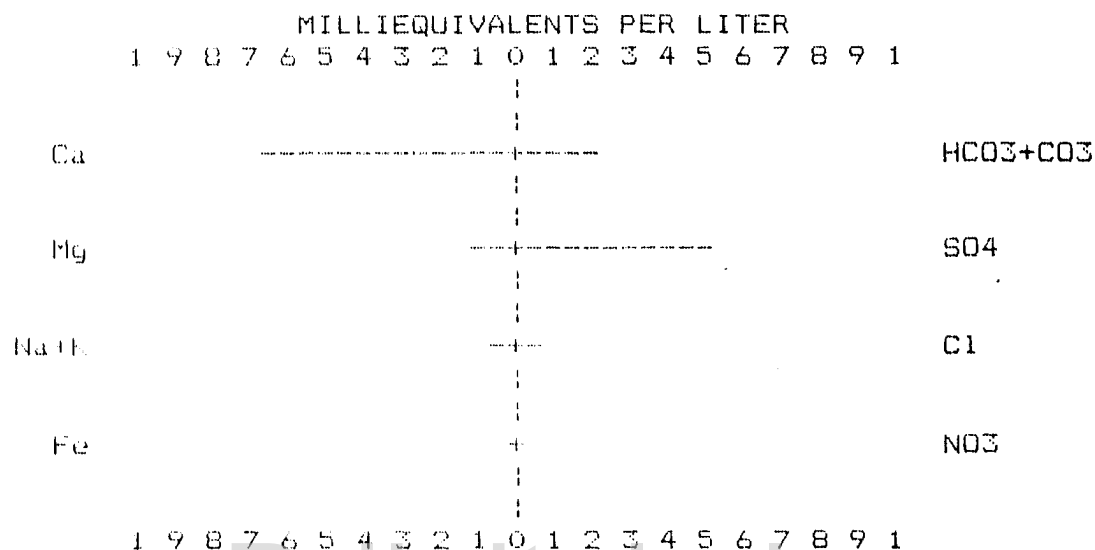
pH= 7.3

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.54

Diagrama de STIFF, pozo No. 6070132

Sample : 6070134

TOTAL SCALE = 20 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 1.00



WATER TYPE ---- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 12.57 Mg= 1.57 Na= 0.96 K= 0.00 Fe= 0.00
HCO₃= 4.43 CO₃= 0.00 SO₄= 9.99 Cl= 0.65 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=252. Mg= 19. Na= 22. K= 0. Fe= 0.00
HCO₃=270. CO₃= 0. SO₄= 480. Cl= 23. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 1505.

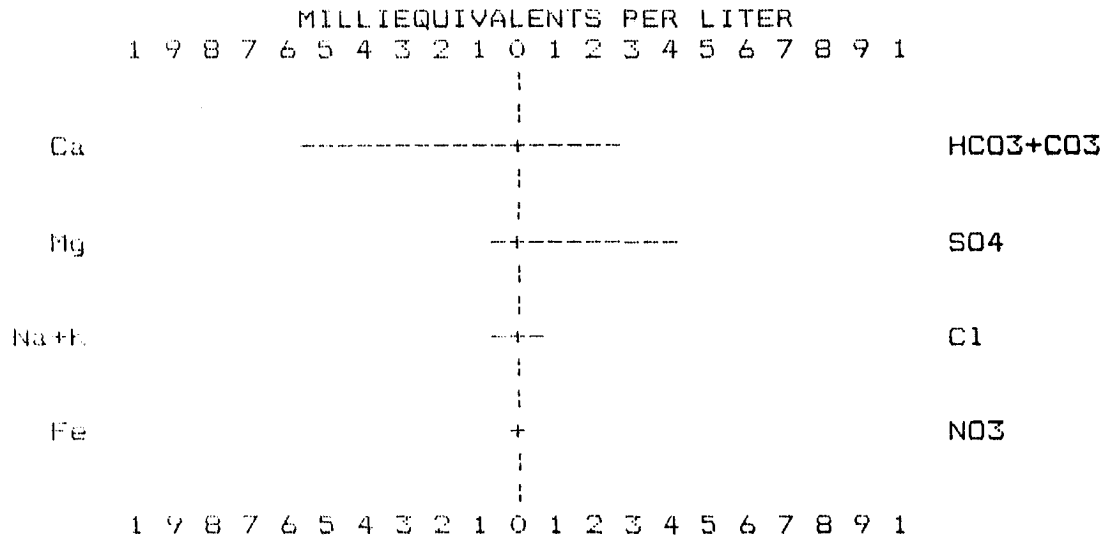
pH= 6.8

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.36

Diagrama de STIFF, pozo No. 6070134

Sample : 6070/SN

TOTAL SCALE = 20 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 1.00



WATER TYPE ---- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 11.45 Mg= 0.67 Na= 1.00 K= 0.00 Fe= 0.00
HCO₃= 4.64 CO₃= 0.00 SO₄= 7.81 Cl= 0.68 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=229. Mg= 8. Na= 23. K= 0. Fe= 0.00
HCO₃=283. CO₃= 0. SO₄= 375. Cl= 24. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 1300.

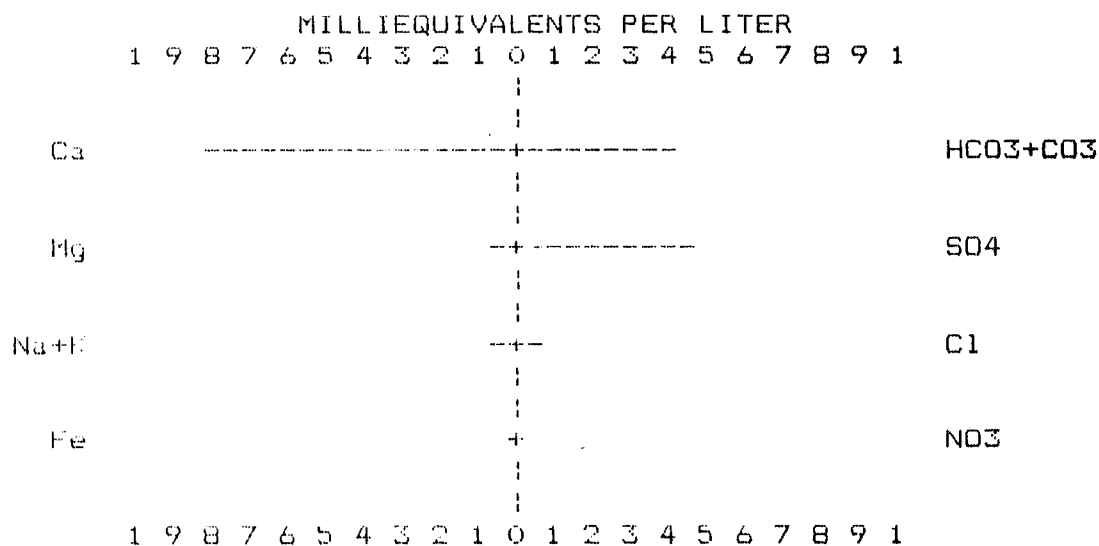
pH= 6.9

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.41

Diagrama de STIFF, pozo No. 6070/SN

Sample : 6070/SN

TOTAL SCALE = 10 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 0.50



WATER TYPE ---- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 8.08 Mg= 0.45 Na= 0.41 K= 0.01 Fe= 0.00
HCO₃= 3.84 CO₃= 0.00 SO₄= 4.66 Cl= 0.45 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=162. Mg= 5. Na= 9. K= 0. Fe= 0.00
HCO₃=234. CO₃= 0. SO₄= 224. Cl= 16. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 905.

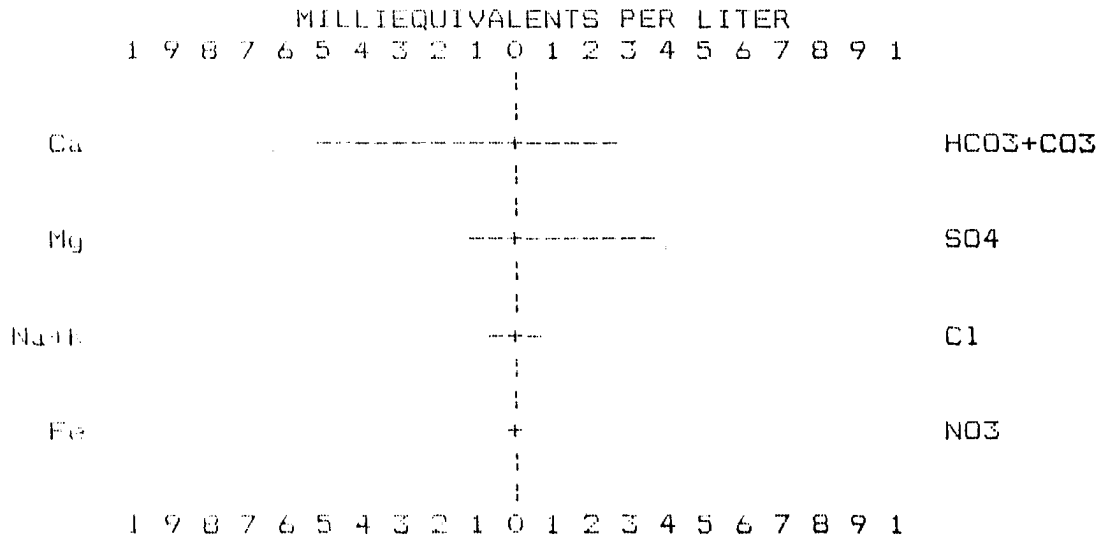
pH= 7.1

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.20

Diagrama de STIFF, pozo No. 6070/SN

Sample : 6070/SN

TOTAL SCALE = 20 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 1.00



WATER TYPE ----- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 10.21 Mg= 1.68 Na= 0.89 K= 0.01 Fe= 0.00
HCO₃= 5.10 CO₃= 0.00 SO₄= 6.88 Cl= 0.68 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=205. Mg= 20. Na= 20. K= 0. Fe= 0.00
HCO₃=311. CO₃= 0. SO₄= 330. Cl= 24. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 1305.

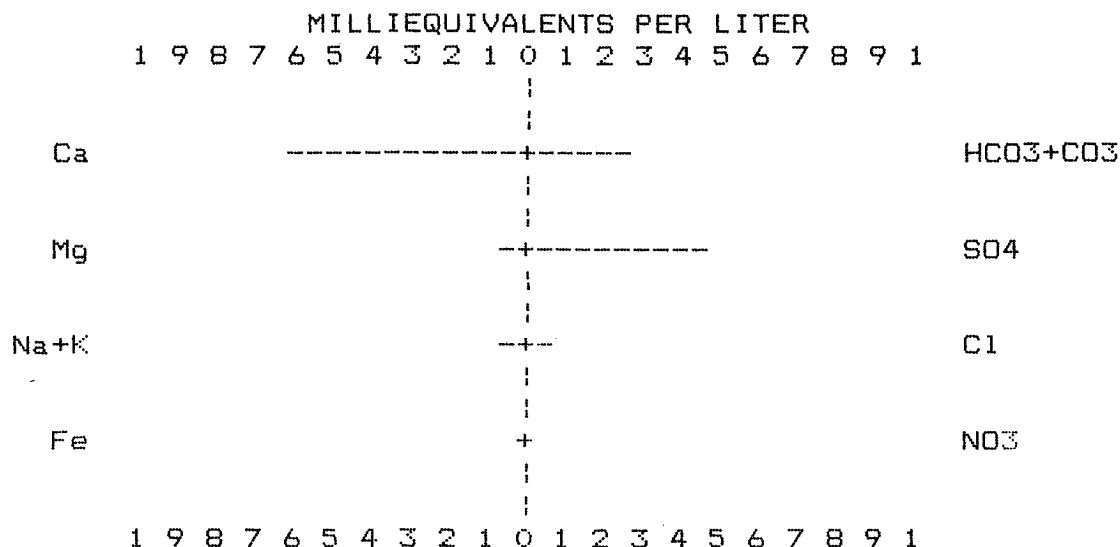
pH= 7.3

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.37

Diagrama de STIFF, pozo No. 6070/SN

Sample : 6070/SN

TOTAL SCALE = 20 MILLIEQUIVALENTS PER LITER EACH DASH = 1.00



WATER TYPE ---- CALCIUM SULFATE

CONSTITUENTS IN MILLIEQUIVALENTS PER LITER

Ca= 12.34 Mg= 1.22 Na= 0.89 K= 0.01 Fe= 0.00
HCO₃= 4.52 CO₃= 0.00 SO₄= 9.25 Cl= 0.64 NO₃= 0.00

CONSTITUENTS IN MILLIGRAMS PER LITER

Ca=247. Mg= 15. Na= 20. K= 0. Fe= 0.00
HCO₃=276. CO₃= 0. SO₄= 444. Cl= 23. NO₃= 0.00

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN MICROMHOS/CM AT 25 C 1425.
pH= 7.1

SODIUM ADSORPTION RATIO (SAR) = 0.34

Diagrama de STIFF, pozo No. 6070/SN

A P E N D I C E H
DEMANDAS DE RIEGO PARA LOS DIFERENTES CULTIVOS
EN LA REGION CENTRAL

Tabla H.1. Demandas de riegos, sector 6, región central, Valle de Quibor

Demanda de agua para riego por sector y cultivo

Sector 6 Area total: 1160 ha
 Demanda Area a regar: 115 ha
 (m³/mes/ha) Area cultivo corto: 77 ha (sorgo, soya)
 Area cultivo largo: 38 ha (lechoza)

Mes/año	1	2	3	4	5	
Enero	0,73	1,89	2,31	2,36	1,46	
Febrero	2,34	3,60	3,98	4,29	3,57	Sorgo
Marzo	4,08	5,81	6,20	5,22	4,99	
Abril	4,54	3,02	6,00	2,00	4,33	
Mayo		-	-	-	-	
Junio		-	-	-	-	
Julio		-	-	-	-	
Agosto		-	-	-	-	
Septiembre	1,89	1,01	1,66	1,18	0,75	
Octubre	1,30	1,53	2,98	1,70	0,29	Soya
Noviembre	1,51	3,49	3,93	3,76	1,39	
Diciembre	4,04	2,28	4,52	3,78	5,91	

Mes/año	1	2	3	4	5	
Enero	1,70	3,70	4,46	4,54	2,94	
Febrero	2,27	3,51	3,89	4,18	3,49	
Marzo	2,87	4,06	4,65	3,58	3,50	
Abril	4,14	2,77	5,63	1,81	4,01	
Mayo	1,90	1,38	3,55	2,28	3,82	
Junio	3,92	2,97	2,90	3,39	2,32	Lechoza
Julio	3,90	2,27	3,33	3,83	3,66	
Agosto	4,33	4,07	3,37	3,32	2,58	
Septiembre	3,63	2,39	3,40	2,91	2,01	
Octubre	1,23	1,52	2,90	1,64	0,26	
Noviembre	0,75	2,37	2,70	2,53	0,71	
Diciembre	3,74	2,08	4,18	3,51	5,48	

Tabla H.2. Demandas de riegos, sector 7, región central, Valle de Quibor

Sector 7	Area total:	1150 ha
Demanda	Area a regar:	175 ha
(m ³ /m ² /ha)	Area cultivo corto:	117 ha (tomate, alfalfa)
	Area cultivo largo:	58 ha (uva)

Mes/año	1	2	3	4	5	
Enero	0,73	1,83	2,31	2,36	1,46	
Febrero	2,34	3,60	3,98	4,29	3,57	
Marzo	4,08	5,81	6,20	5,22	4,99	Tomate
Abril	4,54	3,02	6,00	2,00	4,33	
Mayo	-	-	-	-		
Junio	-	-	-	-		
Julio	-	-	-	-		
Agosto	-	-	-	-		
Septiembre	1,79	0,93	1,56	1,08	0,69	
Octubre	0,84	1,22	2,46	1,22	0,07	Alfalfa
Noviembre	0,97	2,72	3,10	2,91	0,92	
Diciembre	3,32	1,80	3,71	3,12	4,87	

Mes/año	1	2	3	4	5	
Enero	-	-	-	0,03	0,04	
Febrero	-	-	-	0,04	0,03	
Marzo	-	-	-	0,02	0,01	
Abril	-	0,02	-	0,01	0,01	
Mayo	-	-	-	0,03	0,03	
Junio	-	-	0,02	0,03	0,04	Uva
Julio	-	0,01	0,03	0,04	0,04	
Agosto	0,01	-	0,03	0,04	0,04	
Septiembre	0,01	-	0,05	0,02	0,05	
Octubre	0,01	-	0,04	0,03	0,03	
Noviembre	-	-	0,04	0,03	0,03	
Diciembre	-	-	0,04	0,03	0,04	

Sector: 10	Area total:	1220 ha
Demanda	Area a regar:	350
(m ³ /mes/ha)	Area cultivo corto:	234 ha (sorgo, soya)
	Area cultivo largo:	116 ha (lechoza)

Las demandas para este sector son las mismas aplicadas al sector 6, mostrado anteriormente.