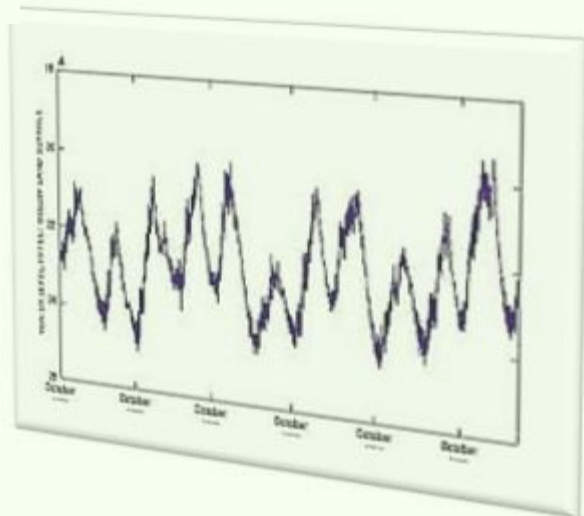
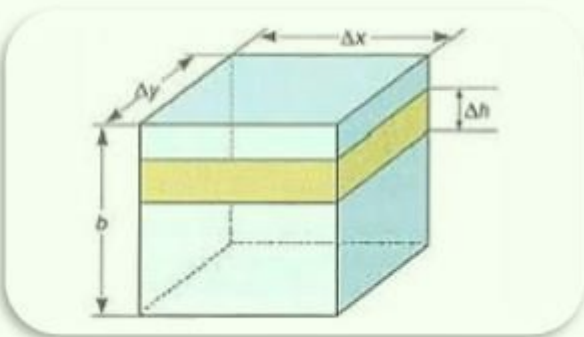




**MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE LA RECARGA
EN ACUÍFEROS LIBRES MEDIANTE EL CONTROL
DE LA VARIACIÓN DE LOS NIVELES DE AGUA SUBTERRÁNEA**



PREÁMBULO

El propósito de este trabajo es el de aportar una guía práctica para el planeamiento y ejecución de las labores de medición de las fluctuaciones de agua subterránea en pozos. El control de las variaciones de niveles en pozos seleccionados no solo es una herramienta muy útil para la valoración de la recarga de agua subterránea a los reservorios, sino que también resulta de suma importancia para controlar el comportamiento de los acuíferos, en áreas donde se da una explotación intensiva del recurso hídrico subterráneo, ya sea para el abastecimiento público o para proyectos privados turísticos, industriales o agropecuarios.

En años pasados, en que se presentaron disminuciones drásticas de la precipitación, algunos acuíferos costeros fueron afectados por contaminación salina. Si en dichas cuencas hubiera existido un control preciso y periódico de la evolución de los niveles de agua subterránea, hubiera sido posible identificar a tiempo el problema que se estaba generando, y aplicar las medidas correctivas inmediatas, como la adecuación de las extracciones que se realizaban, y adoptar los tiempos de bombeo continuo más apropiados, para los pozos ubicados en los sectores más críticos de la cuenca, cercanos a la línea de costa.

Los cambios climáticos y otros posibles efectos antropogénicos, pueden alterar la disponibilidad y calidad del agua subterránea, por esta razón, resulta primordial que se implementen controles hidrogeológicos en donde existen acueductos de abastecimiento público, administrados por municipalidades o ASADAS, y para determinados proyectos privados, en función de la cantidad de agua subterránea que empleen (grandes usuarios) o por condiciones especiales como pueden ser la disponibilidad del recurso o la vulnerabilidad a determinada afectación, que muestre la cuenca donde se localiza el acuífero captado.

Finalmente, debo aclarar que en el presente trabajo se aportan copias de las figuras, los cuadros y de los gráficos de los distintos informes técnicos originales consultados.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Hidrogeólogo Hugo Virgilio Rodríguez Estrada, por la revisión realizada a este documento y por las valiosas observaciones que me aportó.

Me permito hacer un reconocimiento a los proyectos Meliá-Conchal, Reserva Conchal, Ecodesarrollo Papagayo, Acueducto Beko y muy especialmente a Agroganadera Pinilla, en la persona del Gerente de Operaciones Ing. Mauricio Estrada, por sus valiosas iniciativas de implementar controles hidrogeológicos, sobre las cuencas hidrográficas en las que se localizan los acuíferos aprovechados para cubrir sus requerimientos de agua y, agradecerles la confianza que me brindaron para que desarrollara, en distintos momentos, dichas investigaciones.

DEDICATORIA:

A la memoria de mi gran amigo, colega y compañero de trabajo por muchos años, Hidrogeólogo Julio Alberto Elizondo Méndez.

A mi muy estimado maestro, Ing. Mario Fernández Castro, por sus invaluable aportes al conocimiento y desarrollo de la Hidrogeología de Costa Rica y por sus valiosas enseñanzas.

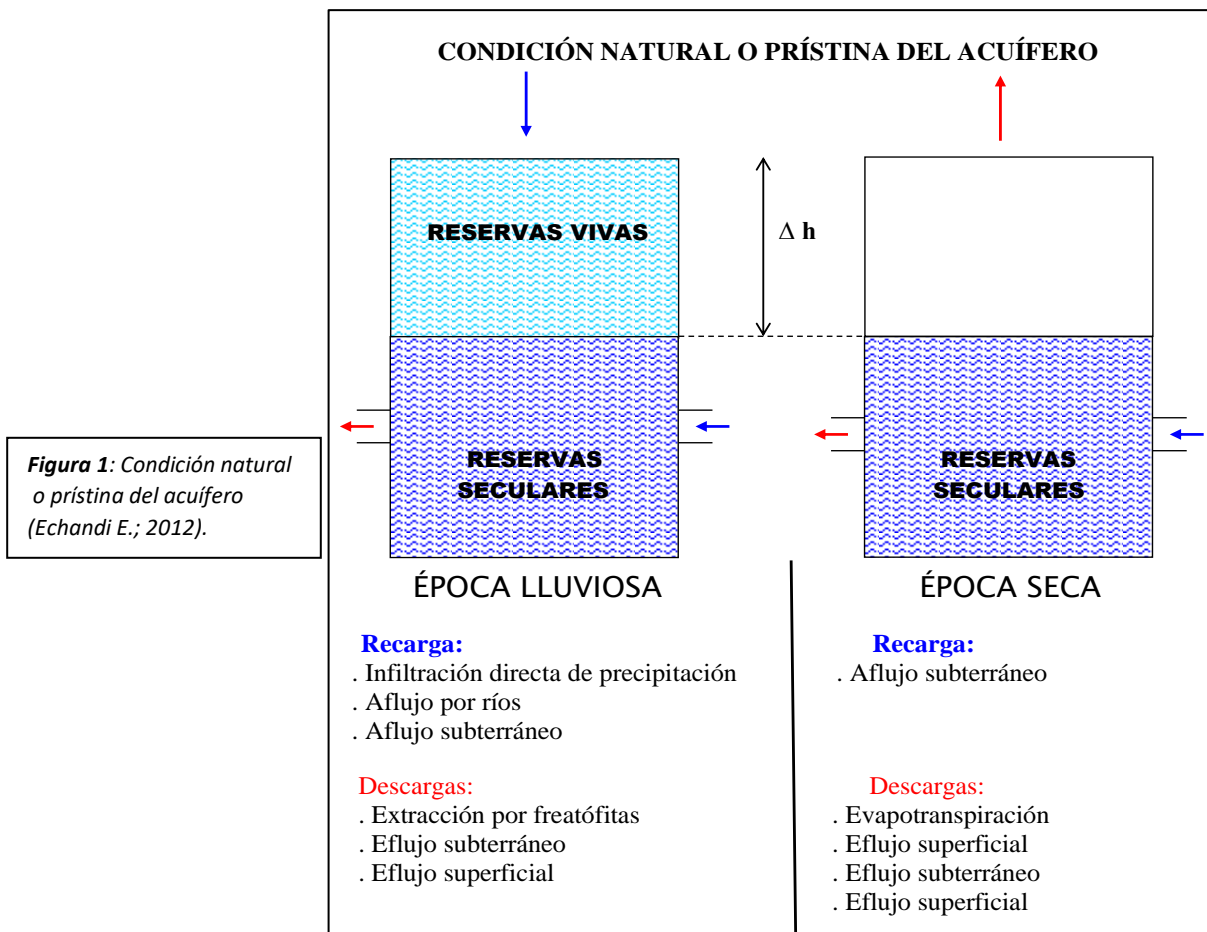
1. INTRODUCCIÓN

El proceso de reconocer los mecanismos de recarga, las áreas preferenciales donde ésta se origina y los volúmenes de agua que alimentan a los acuíferos, es quizás uno de los aspectos más complejos en la valoración de un reservorio de agua subterránea.

La recarga es un componente primordial dentro del balance hídrico de un sistema acuífero (figuras 1 y 2) y puede definirse de manera simple, como el flujo vertical de agua hacia un manto acuífero; no obstante, existen otros mecanismos de recarga, por ejemplo, a través de flujos laterales subterráneos o desde corrientes superficiales de agua, lo cual podría considerarse en función de la delimitación del sector de acuífero que se valore.

Existen varias metodologías para la estimación del volumen de agua que recarga a un acuífero, en un período de tiempo determinado. Uno de los tratados más recientes y completos sobre este tema, es el libro "Estimating Ground Water Recharge" de *Richard W. Healy (2010)*. En dicha publicación, se analizan muy detalladamente, siete métodos para realizar los cálculos de la recarga acuífera.

Para elaborar este documento, se han revisado varios de los tratados de agua subterránea que se muestran en la bibliografía; además se incorporan valoraciones y experiencias prácticas de trabajos efectuados en distintas cuencas hidrogeológicas de Costa Rica, los que se citan en los anexos de este trabajo.



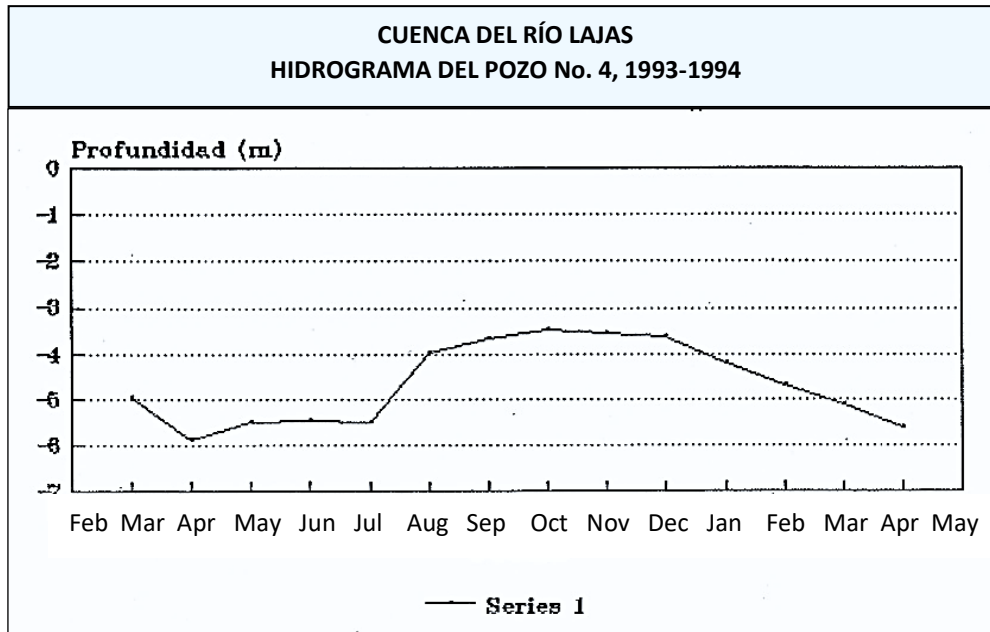


Figura 3: Hidrograma del pozo MTP-113 Proyecto Meliá Conchal (1993-1994) Puede observarse que la principal recarga al acuífero se origina en los primeros meses de inicio de las lluvias y, en los meses más lluviosos, no se originan más ascensos importantes del nivel. Esta condición refleja que el reservorio se satura muy rápidamente y luego hay un rechazo de la recarga (Echandi E.; 1994)

Por ejemplo, en una valoración para el Acuífero Huacas-Tamarindo (SENARA, 2003) se aplica el balance hídrico de suelos de Gunther Schosinsky, para establecer la disponibilidad del recurso hídrico disponible. De acuerdo con el cuadro 3 A del estudio, la recarga potencial es nula entre enero y agosto del año evaluado, y solo se origina una recarga en los meses de setiembre y octubre. Sin embargo, en el cuadro 1 de este mismo trabajo, se presentan los niveles de agua de 22 pozos medidos entre marzo de 2002 y marzo de 2003, en el cual se puede comprobar que todos los niveles de agua empezaron a recuperarse a partir del mes de julio.

Definitivamente que las medidas realizadas a los pozos fueron determinantes en identificar una recarga al acuífero a partir del mes de julio. La explicación de las diferencias obtenidas en los cálculos de la recarga por ambos métodos podría estar relacionada a algún otro mecanismo efectivo de recarga al acuífero, o a la incorporación de datos no reales al modelo aplicado para el balance.

2. ASPECTOS RELEVANTES PARA INICIAR EL PROYECTO DE MEDICIÓN DE NIVELES

Una red de monitoreo está constituida normalmente, por un conjunto de pozos de observación, junto con determinado número de pozos de extracción. El período de tiempo para la obtención de las medidas de los niveles de agua es de suma importancia para poder acumular la mayor cantidad de datos a través del año hidrológico. Por esta razón, es razonable que como una primera etapa de la investigación hidrogeológica, se implemente la red de pozos de monitoreo a través del área de estudio y se inicien las mediciones.

Esto puede efectuarse con un previo reconocimiento de la geomorfología de la cuenca y de las características hidrogeológicas básicas del área de estudio, que permita una identificación preliminar del acuífero que será monitoreado. Deberá establecerse si en el área de estudio se presenta un solo tramo acuífero o si es de tipo multicapa o estratificado; además, es indispensable reconocer la morfología del reservorio subterráneo.

Para una adecuada valoración de las fluctuaciones del nivel de agua subterránea, se requiere contar con un determinado número de pozos, con ubicaciones estratégicas dentro del área de estudio. Los pozos de observación pueden ser excavados o perforados, según las características del acuífero que se investiga. Igualmente, pueden emplearse pozos fuera de uso o que estén siendo explotados; más adelante se explicarán los procedimientos de medición para estos últimos.

Para cada pozo de observación, es preciso determinar si existe una corriente de agua superficial o pozos de producción cercanos, que puedan modificar los gradientes naturales del flujo subterráneo. Es importante reconocer las características que presentan los pozos con relación a su diseño; de esta manera se podrá comprobar si en cada pozo el acuífero ha sido plena o parcialmente penetrado; además es importante analizar la localización de las rejillas de admisión de agua y cualquier otro aspecto relevante de la captación. Adicionalmente se debe tener la certeza de que los pozos de observación a utilizarse representen el comportamiento del acuífero de interés.

3. PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN DE LOS NIVELES DE AGUA SUBTERRÁNEA

3.1. Métodos de medición

Las mediciones de los niveles de agua en los pozos pueden realizarse manualmente, con la sonda de niveles, o automáticamente, por medio de sensores, como los electrodos interactuando sobre la superficie del agua o por medio de transductores de presión.

Debido a los costos de los equipos de medición automática, podría ser posible emplearse los dos métodos de control, instalando medidores automáticos, en los sitios más estratégicos o representativos de la cuenca, y medidas manuales en los pozos restantes.

En el caso de que los controles se realicen manualmente, y a fin de asegurar una permanente y efectiva medición de los pozos, es recomendable delegar ese trabajo en alguna persona idónea que tenga su lugar de residencia dentro del área estudiada, complementado con visitas periódicas del profesional responsable, que acompañará a dicho empleado a realizar las medidas. De esta manera, se asegurará que los controles se estén efectuando de la manera correcta, y que, las medidas que esté aportando el técnico, sean consistentes con las que realiza el profesional en cada gira

3.2. Nivelación de cada pozo de la red de monitoreo

Es de fundamental importancia, realizar una nivelación lo más precisa posible de cada pozo de monitoreo, para obtener su elevación referida a nivel del mar. La nivelación puede ser realizada por medición topográfica o mediante el empleo de alfileros manuales; actualmente existen alfileros con precisión de hasta 30,48 centímetros (un pie). Este grado de precisión puede estar relacionado con el área o escala del trabajo de investigación.

3.3. Referencias para efectuar las medidas en cada pozo

Se establecerá una marca en cada pozo, ya sea sobre un brocal o en el tramo de tubería que sobresalga, que será utilizada como referencia para todas las mediciones periódicas que se hagan. De esta manera todas las mediciones se harán bajo la misma referencia. En los cuadros de anotaciones de los datos, se incorporará la altura de ese nivel de referencia con respecto al nivel del suelo.

3.4. Frecuencia de las mediciones

La frecuencia de los controles de los niveles se establecerá de acuerdo con el método de medición y a criterio del profesional (figura 4). Es recomendable que cada medida de pozo se realice un mismo día de la semana, quincena o mes. Bajo ciertas condiciones climáticas, por ejemplo sequías prolongadas o temporales o tormentas con precipitaciones anómalas, podría ser importante variar el cronograma de mediciones.

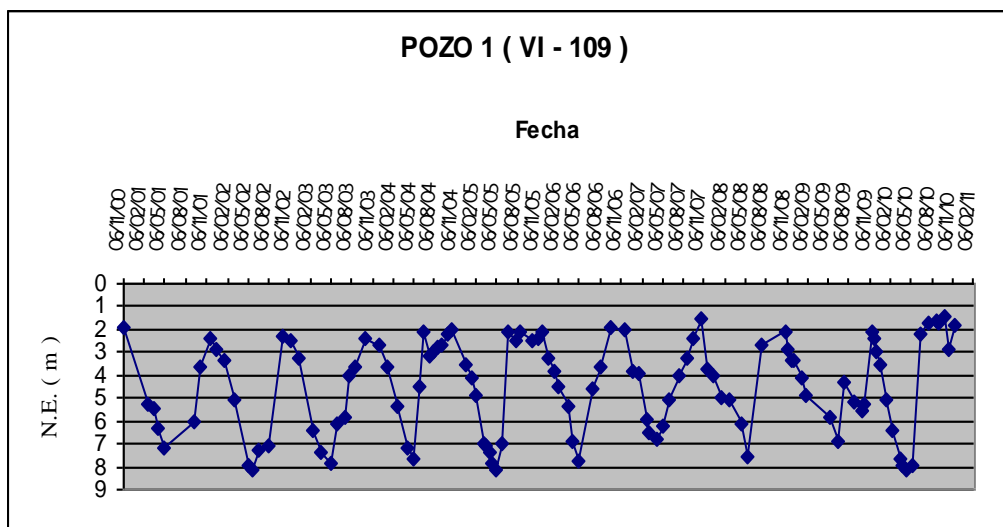


Figura 4: Hidrograma del pozo VI-109 – Hacienda Pinilla. Cuenca hidrográfica del río San Francisco. Pozo localizado lejos de las áreas de extracción de agua por bombeo, por lo que el comportamiento de los niveles son muy uniformes o repetitivos. En algunos años se observa el efecto del veranillo de San Juan a medio año (Echandi E.; 2012).

3.4. Mediciones en pozos de producción

Si se incorporan pozos de producción a la red de monitoreo, es recomendable implementar las medidas de niveles de agua a régimen dinámico y estático (figura 5). Por lo general, los pozos que se encuentran en uso se someten a un régimen de bombeo intermitente, por determinadas horas al día, alternando con períodos de reposo. Bajo estas condiciones, se recomienda programar una medición del nivel dinámico antes de finalizar el lapso de producción del día en que se efectúan las medidas, y efectuar una segunda medición, al finalizar el período de reposo, inmediatamente antes de que se inicie el nuevo bombeo. Para asegurarse de que se está midiendo un nivel estático que no está influenciado por el bombeo del propio pozo, se recomienda hacer un seguimiento de la etapa de recuperación del nivel del agua por el tiempo que sea necesario, una vez que se detiene la extracción y comprobar que se ha alcanzado la recuperación total.

Para la figura 5, es importante aclarar que en teoría, los niveles dinámicos que se presentan a través del año en un pozo determinado, bajo condiciones de bombeo regulares, no deberían de ser lineales, pues la desecación del acuífero reduce los valores de transmisividad y por consiguiente, los abatimientos serían mayores conforme se va reduciendo el espesor saturado, de acuerdo con la ecuación de Jacob. Sin embargo, en este caso, el pozo muestra al final de la estación lluviosa un nivel por encima del techo del acuífero, el cual desciende muy pronto al entrarse a la estación seca. Esto provoca la mayor variación de los niveles entre diciembre y enero, por lo que el desecamiento real del acuífero libre, en los siguientes meses secos, es relativamente bajo, de aproximadamente 2,50 metros en las inmediaciones del campo de pozos.

3.5. Otros aspectos por incorporar en los reportes de medición

Cada vez que se efectúe la medición de los niveles de agua, se anotará si estaban ocurriendo precipitaciones y las intensidades de estas; si existen ríos o quebradas cercanas, se indicará su condición aproximada de escorrentía. Todos estos datos se incorporarán en los cuadros de almacenamiento de datos.

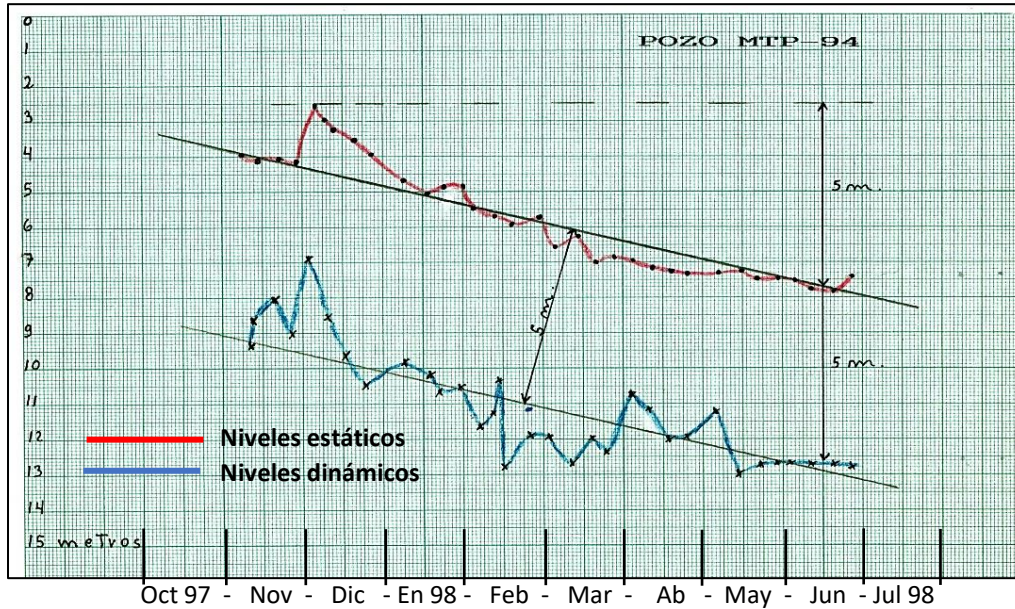


Figura 5: Hidrograma del pozo MTP-94 – Campo de Pozos Meliá-Conchal. Cuenca hidrográfica del río Lajas. Bombeo aproximado de 11 l/s y niveles dinámicos medidos al final del bombeo diario de 18 horas. (Echandi E.; 2012).

4. FUNDAMENTOS DEL MÉTODO DE FLUCTUACIÓN DE LOS NIVELES DE AGUA SUBTERRÁNEA

La disponibilidad del agua subterránea en un área determinada, con relación a su recarga real, la definen Schicht y Walton (en Healy R., 2010) mediante la siguiente fórmula:

$$\Delta S^{gw} = R - Q^{bf} - ET^{gw} - Q^{gw}_{of} - Q^{gw}_{on}$$

ΔS^{gw} = Variación del almacenamiento en la zona saturada, R = Recarga, Q^{bf} = Flujo base

ET^{gw} = Evapotranspiración desde la superficie freática,

Q^{gw}_{of} y Q^{gw}_{on} = Flujos subsuperficiales lejos o cerca del área de estudio

La estimación de la recarga, mediante la fluctuación del nivel freático (**FNF**), se realiza mediante la fórmula:

$$R = S_y * \Delta H / \Delta t$$

R = Recarga

S_y = Rendimiento específico

$\Delta H / \Delta t$ = Variación del nivel de agua en un intervalo de tiempo

La recarga total que se genera al acuífero a través de un área (A) determinada será de:

$$R = S_y * \Delta H / \Delta t * A$$

El valor de la variación del nivel de agua se obtiene de un hidrograma de los niveles medidos, extrapolando la curva de recesión hasta el punto de máxima altura alcanzada por el nivel de agua (figura 7).

El valor de la variación del nivel obtenido directamente de la diferencia entre las alturas mínima y máxima del nivel freático, a través de un año hidrológico, también es válida para efectuar la valoración de recarga; posiblemente se obtendrá un valor menor o más conservador de la recarga.

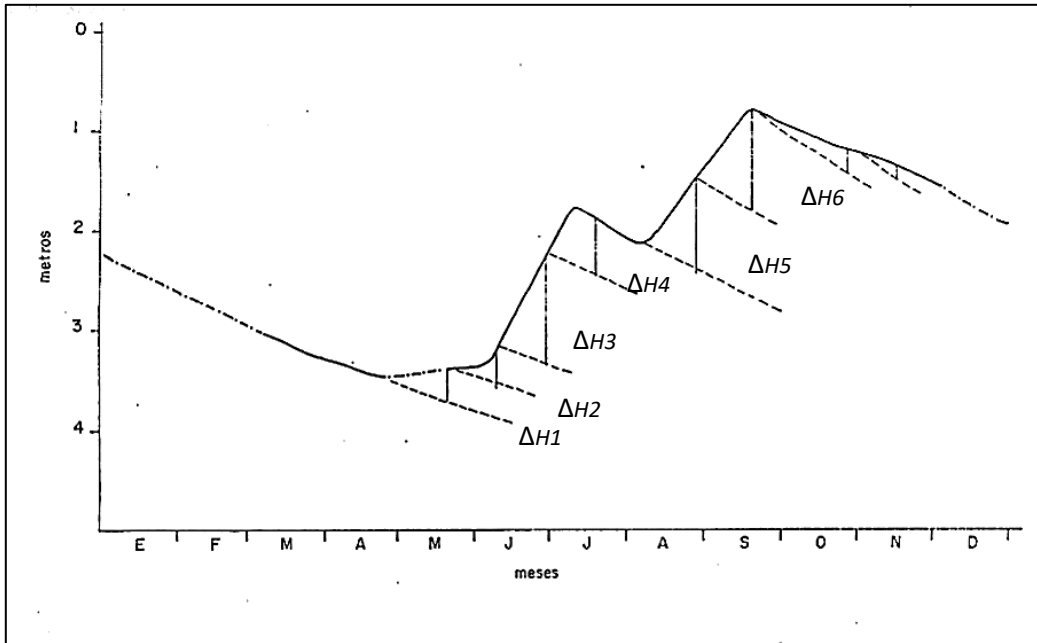


Figura 6: Hidrograma del pozo BE-60 (año 1974) localizado en la margen derecha de la parte alta de la cuenca del río Tempisque (Elizondo J.; 1982). Los ΔH se obtienen mediante la sumatoria de distintos tramos medidos desde la extrapolación de la curva de agotamiento, hasta el pico correspondiente de la curva.

Es importante considerar que, la recarga medida mediante la valoración del FNF, estaría contemplando tanto las descargas naturales del acuífero, como las descargas artificiales que se efectúan dentro del área de estudio. Esto significa que el valor de recarga que se obtenga mediante esta metodología determinará la disponibilidad real de agua subterránea dentro del área analizada, al régimen dinámico de explotación que se esté dando allí.

Si se quisiera valorar la recarga real de la cuenca, es preciso proceder a un balance hídrico que involucre otras variables, como el valor de la descarga natural anual sobre el final de la cuenca hidrogeológica analizada, la descarga por evapotranspiración y la que se origina por medios artificiales como la explotación de pozos, considerando también posibles aguas de retorno del bombeo efectuado (figuras 1 y 2).

Los datos de la FNF pueden ser interpretados y aplicados de distintas maneras. Una primera interpretación sencilla, pero que puede arrojar resultados muy certeros sobre la recarga, consiste en emplear los valores del nivel freático más bajo y el más alto, medidos a través de un año hidrológico, y obtener así la variación de nivel más alta que se dio en el acuífero.

La interpretación de las FNF, empleando datos continuos a través del año, permite obtener resultados más precisos de la recarga, además de que es muy útil para efectuar otras valoraciones, como la manera en que los niveles descienden con la entrada de la estación seca y la razón de los ascensos en la estación lluviosa, en función de tiempos cortos de medición, que pueden ser diarios o semanales por ejemplo.

La complementación de las FNF con las medidas continuas de precipitación es de vital importancia para reconocer los tiempos de respuesta del acuífero al llenado y vaciado del reservorio en función de los aspectos de intensidad, duración y frecuencia de los aguaceros, a través del año hidrológico.

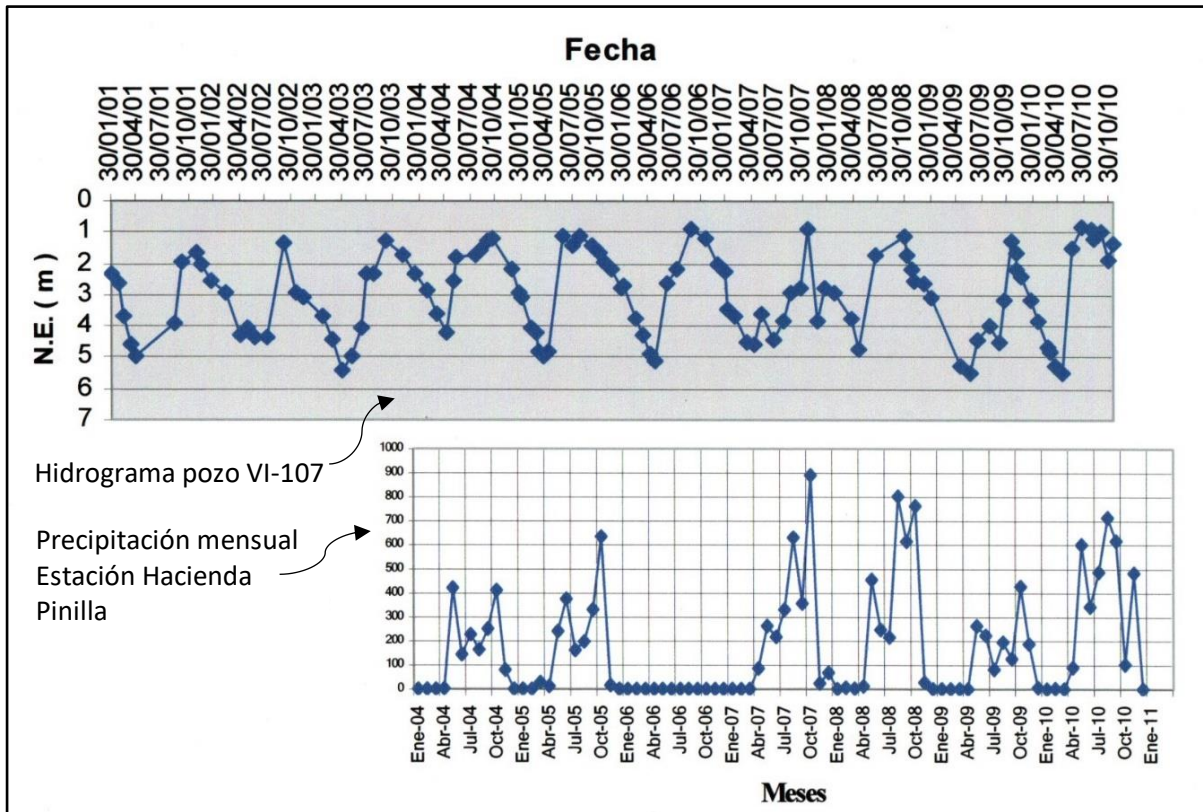


Figura 7: Hidrograma del pozo VI-107 en Hacienda Pinilla y gráfico de precipitación de la estación Hacienda Pinilla (Echandi E.; 2012). Se observa una buena regularidad del comportamiento del nivel de agua a través de 6 años de medición, con un cambio de almacenamiento aproximado de 4,50 metros. Acuífero aluvial.

Dos terminologías que se incorporan al trabajo de Echandi (2012), son las de **“razón de recarga”** y **“razón de descarga”**, que sencillamente representan las velocidades a las que ocurren los ascensos y descensos de los niveles de agua subterránea en un área determinada. Para obtener estos valores, es preciso contar con medidas de los niveles de agua efectuadas a través de períodos bien cortos de tiempo; por lo tanto, resulta idóneo de aplicar en pozos con sensores automáticos instalados, de lo contrario, se requeriría de al menos una medida semanal de niveles. De igual manera, es relevante aplicar estos controles tanto al inicio de la estación de lluvias como al final de estas.

Dicha información puede resultar muy útil para reconocer los mecanismos y las áreas preferenciales de recarga, así como la efectividad de los procesos de infiltración. También podría permitir conocer algunas de las características intrínsecas del acuífero, y ser de suma importancia, para la valoración de los riesgos de contaminación del agua subterránea y los tiempos de tránsito de contaminantes.

5. ORIGEN DE LAS FLUCTUACIONES DE LOS NIVELES DE AGUA SUBTERRÁNEA

Las alteraciones de las medidas de la fluctuación de los niveles del agua subterránea pueden ser de dos tipos, leves y que se muestran en corto tiempo, o de mayor significación y que se identifican a través de distintos períodos de tiempo evaluados. Los cambios leves pueden darse por efectos de la evapotranspiración, también como consecuencia de variaciones en la presión atmosférica, o por efectos de la marea, en zonas litorales. Estas variaciones no son significativamente relevantes, en el proceso de valorar los cambios de almacenamiento anual de un reservorio acuífero.

Las anomalías más significativas que puedan presentarse en el comportamiento regular de las fluctuaciones de los niveles de agua subterránea, a través de distintos períodos de tiempo, pueden estar relacionadas con muy diversas causas. Pueden obedecer primordialmente al proceso natural de las variaciones climáticas, que se han acentuado mucho más en las últimas décadas, pero también, a efectos antropogénicos, como pueden ser los cambios en el uso de los suelos, que modifican los procesos naturales de infiltración o a las extracciones del agua subterránea.

Hace algunas décadas, el Fenómeno del Niño se presentaba regularmente en Costa Rica cada cuatro años, con una drástica disminución de la precipitación, afectando de manera más severa a la provincia de Guanacaste. Por esta razón, cuando se dio inicio al control hidrogeológico del tramo superior de la cuenca del río Lajas, para el proyecto Meliá-Conchal, fue posible conocer el efecto que originó tal fenómeno sobre los niveles de agua de la red de monitoreo de pozos que se había implementado, a través de dos períodos de ocurrencia de éste.

Se pudo comprobar que, ante la disminución drástica de la precipitación, los niveles de agua subterránea, a finales de las estaciones secas, posteriores a los efectos de El Niño, descendieron por debajo del nivel que representaba las reservas vivas del acuífero. Por lo tanto, se evidenció que para suplir las extracciones por medio de pozos que se dieron en esos años, se había tomado agua de las reservas muertas o seculares, por debajo del nivel de desagüe natural del acuífero.

Esta situación no generó problemas de intrusión marina para el reservorio subterráneo, debido a que la zona costera se localiza muy distante del tramo de la cuenca en cuestión, y a que no existen zonas sensibles cercanas, tales como humedales.

También, fue posible reconocer que una vez que se entró al período normal de lluvias, el acuífero recuperó de manera muy rápida los niveles normales de saturación, mediante un mecanismo de recarga inducida, al disponerse de mayor almacenamiento .

Ya entrado el siglo XXI, la presencia del Fenómeno del Niño dejó de presentarse con la regularidad de cada 4 años, por lo que sus efectos, en la merma de las precipitaciones, empezaron a ser más severos sobre los reservorios de agua subterránea en algunas regiones del país.

Esta condición se pudo observar y valorar directamente, mediante los controles hidrogeológicos que se implementaron a partir del año 2002 sobre las cuencas de los ríos Pinilla y San Francisco, para el proyecto Hacienda Pinilla, en el cantón de Santa Cruz de la provincia de Guanacaste. Las mediciones de los niveles de agua realizadas por más de una década, sobre una extensa red de monitoreo de pozos sobre las cuencas de estos ríos, permitieron identificar las afectaciones que provocaron las recurrentes disminuciones de las precipitaciones sobre los acuíferos.

Un ejemplo de esta situación se muestra en los cuadros 1, 2 y 3 y en la figura 8. Se observa la disminución de lluvias en el año 2011 que se extendió con un efecto muy drástico de El Niño al siguiente año 2012 y la afectación que originó esa acumulación del déficit de lluvia en los niveles de los pozos.

La disminución de la precipitación se extendió por todo el año 2012 y en los siguientes meses secos de 2013, los niveles se mantuvieron siempre muy bajos (cuadro 4, anexos).

PROMEDIOS MENSUALES DE LLUVIA (mm)							
ESTACIONES:							
No. 149 - Hacienda Pinilla - Latitud norte: 249.525 Longitud oeste: 334.490							
N.1 Mantenimiento de Golf Hacienda Pinilla: Latitud norte: 248.980 Longitud oeste: 335.630							
Localización: Hacienda Pinilla, distrito Tamarindo, cantón Santa Cruz, provincia de Guanacaste							
MES / AÑO	2004	2005	2007	2008	2009	2010	2011
ENERO	0,0	0,4	0	0	0	0,4	0
FEBRERO	0,0	0	0	5,5	0,6	1,4	0
MARZO	0,0	28	0	2,4	0	0,3	0,4
ABRIL	1,8	12,7	86,6	12,7	0,3	89,7	3,6
MAYO	420,7	241,1	264,1	454,1	263,1	599,9	70,1
JUNIO	142,8	375,4	217,9	247,3	222,7	344,1	45,1
JULIO	228,1	162,2	331,9	214,6	81,7	487,1	306,4
AGOSTO	164,4	197,7	631,6	803,1	194,8	714,2	164,7
SETIEMBRE	251,8	332,2	356,3	614,9	125,2	616,4	312
OCTUBRE	410,5	634,1	890,7	763	426,7	101	438,5
NOVIEMBRE	80,3	15,2	23,5	28,4	186,9	483,3	16,5
DICIEMBRE	0,6	0	67,3	0	5,08	0	0
TOTAL	1701,0	1999,0	2869,9	3146,0	1507,08	3437,8	1357
PROMEDIO DE LLUVIAS EN 7 AÑOS: 2288 mm							
Nota: No se incluyen datos del 2006							
E. ECHANDI E.							

Cuadro 1: Promedios mensuales de lluvia (Echandi E.; 2012).

Cuadro 2: Comparación de las precipitaciones (Echandi E.; 2012).
Nota: el año 2012 terminó con un total de 594 mm

Est. Automática No. 149 - Hacienda Pinilla -			
Latitud norte: 249.525 Longitud oeste: 334.490			
Pluviómetro N.1 Mantenimiento de Golf Hacienda Pinilla:			
Latitud norte: 248.980 Longitud oeste: 335.630			
Localización: Hacienda Pinilla,			
distrito Tamarindo, cantón Santa Cruz, provincia de Guanacaste			
	Promedios 2004 a 2010 (mm)	2012	Diferencia (mm)
Junio	258,37	48,01	
Julio	250,93	65,58	
Agosto	450,97	135,64	
Total	960,27	249,23	711,04
E. ECHANDI E.			

POZO	4 agosto 2011	9 agosto 2012	Δh (m)
1	2,55	8,96	6,41
2	2,63	7,44	4,81
3	1,91	5,49	3,58
4	2,56	5,61	3,05
5	3,39	6,13	2,74
6	2,88	6,11	3,23
7	1,58	10,65	9,07
8	1,52	9,72	8,2
8 t	2,14	10,37	8,23
9	3	5,18	2,18
10	1,15	11,25	10,1
11	1,18	4,77	3,59
12	1,52	11,12	xxx
12 t	0,95	10,54	xxx
13	1,72	6,96	5,24
14	4,9	14,88	9,98
15	2,11	11,35	9,24
16	1,07	4,9	3,83
17	1,09	10,96	9,87
Rodera 1	3,37	6,61	3,24
Rodera 2	3,86	7,54	3,68
Rodera 3	4,06	7,46	3,4
Icacal	7,36	9,98	2,62
Vivero 1	7,33	10,22	2,89
Vivero 2	3,56	9,6	xxx
Vivero 3	1,48	4,35	2,87

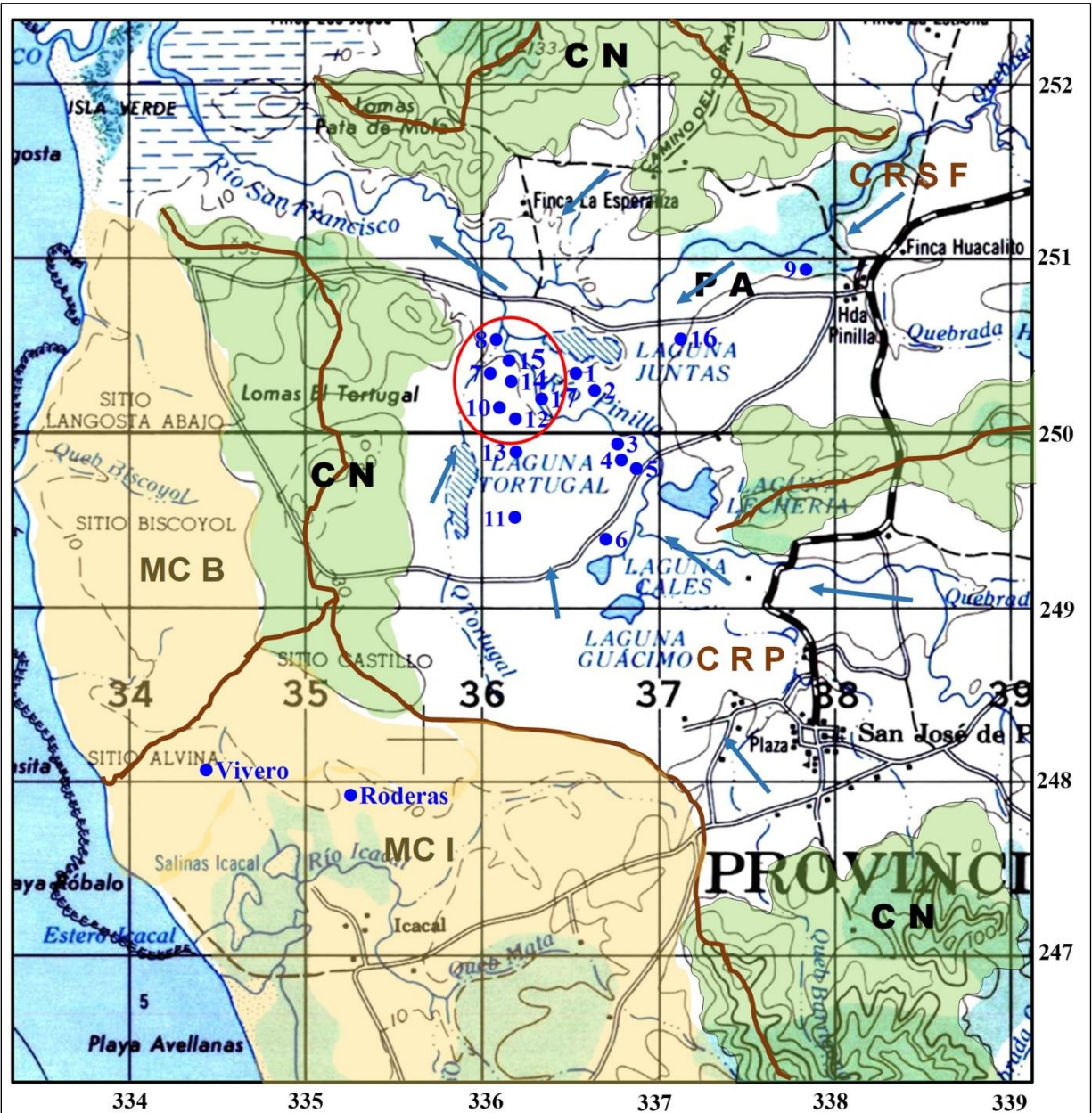
Números en rojo representan medidas de niveles dinámicos

Cuadro 3: Variación de niveles entre 2011 y 2012 (Echandi E.; 2012).



- 1- El pozo No. 9 a la entrada, está siendo afectado en pequeña escala relativa.
- 2- El pozo 16 donde se da el flujo de agua subterránea de la cuenca del río San Francisco, presenta una afectación mediana.
- 3- El pozo 1 muestra siempre una mayor afectación, debido a que se encuentra en un borde o límite poco permeable entre dos subcuencas.
- 4- Los pozos 2 a 6 presentan moderada afectación debido a que se han explotado poco en los últimos meses.
- 5- Los pozos 8, 10, 14, 15 y 17, localizados en la parte central del acuífero más explotado, presentan la mayor afectación debido a la escasa recarga de este año y a la mayor extracción de agua en ese sector.
- 6- Hacia el sur del campo de pozos, los pozos 13 y 11 disminuyen el grado de afectación por extracción nula de agua.
- 7- Los tres pozos de Roderas muestran un comportamiento similar de afectación de la sequía.
- 8- Los pozos del Vivero muestran una afectación baja a mediana por la escasa recarga y extracción de agua.

Figura 8: Gráfico muestra la **variación del ΔH** de los pozos localizados dentro de la Hacienda Pinilla, en el tramo inferior de la cuenca del río San Francisco, ocurrida entre agosto de 2011 y agosto de 2012, debido a una disminución drástica en la precipitación (Echandi E.; 2012).



- Planos coluvio aluviales
 - Antigua terraza de abrasión levantada
 - Zonas de estero o manglar
 - Terrenos montañosos. Rocas del Complejo de Nicoya.
- C R S F: Cuenca hidrográfica del río San Francisco C R P: Cuenca hidrográfica del río Pinilla
 Mc B: Mico cuencas Biscoyol Mc L: Mico cuenca del río Icacal
- 4 : Pozos perforados de producción y control. ○ Campo de pozos de mayor producción
 - ➔ Dirección del flujo de agua subterránea — Divisorias de aguas y límites de cuencas hidrográficas

Mapa base es parte de la hoja VILLARREAL a escala 1: 50.000 editada por el Instituto Geográfico Nacional

Figura 9: Localización de los pozos que se presentan en el gráfico de la figura 8 (Echandi E.; 2012).

6. APLICACIÓN DEL MÉTODO

Tal como se señaló en el capítulo 4, la estimación de la recarga total que se origina en un acuífero libre, a través de un área determinada, puede calcularse mediante la aplicación de la fórmula:

$$R = S_y * \Delta H / \Delta t * A$$

R = Recarga disponible

S_y = Rendimiento específico

$\Delta H / \Delta t$ = Variación del nivel de agua en metros, durante un intervalo de tiempo.

A: Área del acuífero evaluado en metros cuadrados.

Obtención del ($\Delta H / \Delta t$):

Por lo general, los datos de la fluctuación de los niveles de agua subterránea (FNF), se obtienen a través de un año hidrológico. Lo idóneo es mantener los controles sobre los pozos por varios años o de manera continua en las cuencas en las que se explota el agua subterránea para el abastecimiento público.

Área (A):

Los valores de FNF pueden variar a través del sector de la cuenca analizada. Esto puede ocurrir debido a aspectos como la morfología que muestra la unidad geológica que da origen al acuífero, los gradientes del agua subterránea, las características de los terrenos como, sus elevaciones y pendientes, presencia de cuerpos superficiales de agua o de pozos de producción o variaciones de la porosidad del acuífero. Cuando los aspectos antes señalados den origen a valores muy diferentes de las FNF, es preciso delimitar áreas de influencia para efectuar los cálculos con cada valor obtenido sobre la cuenca analizada, y realizar luego la sumatoria de cada recarga obtenida.

Rendimiento específico (S_y):

Los valores del rendimiento específico de la unidad que constituye al acuífero, y que serán aplicados a la fórmula de la recarga, pueden ser obtenidos mediante distintos procedimientos. Puede ser mediante pruebas de laboratorio, si se cuenta con una muestra representativa de la unidad geológica que constituye el acuífero.

También puede obtenerse mediante la interpretación de las pruebas de bombeo, considerando que:

$$S_y = V_w / V_c$$

V_w = Volumen de agua extraída durante el ensayo

V_c = Volumen del cono de depresión

La manera más directa de obtener el valor de S_y mediante un ensayo de bombeo, es contando con al menos un pozo testigo, que permita derivar dicho valor mediante alguno de los métodos de interpretación de los gráficos generados. Esto aplica para los acuíferos libres, en los que, los valores del coeficiente de almacenamiento equivalen al rendimiento específico de la formación.

También es posible obtener este valor, analizando la prueba de bombeo mediante el método de "Pruebas de Bombeo en Pozos de Gran Diámetro", de Gunther Schosinsky (2002). Para obtener un valor bastante preciso del coeficiente de almacenamiento mediante este método, es preciso que el pozo muestre pérdidas de carga poco significativas, que no causen desviaciones importantes al inicio del gráfico de descenso.

Si no es posible obtener los valores de rendimiento específico por alguno de los métodos indicados, se puede hacer uso de tablas elaboradas por distintos autores, como las que se muestran en los anexos en los cuadros 5, 6 y 7.

Ejemplo:

Para el acuífero aluvial Potrero, en Santa Cruz de Guanacaste, María Magdalena Monge (2012) efectúa el siguiente cálculo:

Área de acuífero: 15 186 649,3 m²

Cambio del almacenamiento anual: 3,80 m

Rendimiento específico: 0,15

$$\text{Volumen de recarga anual: } 15\ 186\ 649,3\ \text{m}^2 * 3,80\ \text{m} * 0,15 = 8\ 656\ 390,118\ \text{m}^3/\text{año} = 274,50\ \text{l/s}$$

7. APLICACIÓN DEL MÉTODO EN ACUÍFEROS FISURALES

Para los acuíferos de tipo fisural, aun siendo de tipo no confinado, la aplicación del método de estimación de la recarga, mediante la fluctuación de niveles, puede resultar muy compleja debido a múltiples factores.

Se ha comprobado que, pese a la heterogeneidad que suelen mostrar los sistemas de fracturas en las rocas del subsuelo y los distintos valores de conductividad que se pueden presentar, algunos de los acuíferos generados en este tipo de rocas, a través de toda su extensión tienden a promediar el comportamiento del flujo de agua subterráneo, y aportar parámetros hidráulicos consistentes.

Sin embargo, el principal problema que se presenta en estos acuíferos es el de obtener los valores reales de porosidad, por lo que se limita y dificulta la aplicación de la fórmula de recarga valorada en este trabajo.

8. CONCLUSIONES

8.1. El método para el cálculo de la recarga a un acuífero, mediante la valoración de las fluctuaciones del nivel freático, es señalado por diversos autores como uno de los más deseables y utilizados, debido a que aplica datos obtenidos directamente de la zona saturada. Esta información permite identificar las variaciones de la altura del nivel freático y la capacidad de almacenamiento del acuífero, y obtener de esta manera, un cálculo muy aproximado de la recarga real al reservorio subterráneo. Esta recarga real calculada se puede catalogar como “recarga disponible”, ya que implícitamente se está excluyendo en este cálculo, la proporción de recarga que es utilizada por extracciones a través de pozos o que se escapa de manera natural del acuífero a través de manantiales o flujo base a los ríos.

Otros métodos de evaluación que se basan en los cálculos de la infiltración del agua superficial, a través de la zona no saturada, determinan un valor de recarga potencial, quedando supeditada la cuantificación de la recarga real, a la identificación de la capacidad de almacenamiento de la unidad donde se genera el acuífero y al comportamiento de los distintos elementos del balance hídrico general del sistema.

En todo caso, es importante recordar que, a efectos de alcanzar una valoración hidrogeológica más completa y precisa de un área determinada, es aconsejable aplicar varios de los métodos de la cuantificación de la recarga reconocidos, que permitan comparar o contrastar los posibles resultados obtenidos.

8.2. Dentro de las dificultades que puede presentar el método de FNF para valorar la recarga, está la disponibilidad de suficientes pozos para efectuar el monitoreo, y que éstos muestren una óptima distribución a través del área de estudio. También es preciso implementar mediciones periódicas en los pozos y que, en el caso de los controles manuales, requerirá de la disponibilidad de un técnico que habite cerca del área del proyecto.

Se requiere de un proceso de mediciones durante al menos un año hidrológico. Este período de un año podría aplicarse siempre y cuando se tenga plena seguridad de que, el año anterior al inicio de los controles y el propio año en que se desarrolla la investigación, no presenten condiciones climáticas anómalas, muy distintas a los promedios reconocidos en la zona a través de muchos años. De lo contrario, el monitoreo de los niveles de agua tendría que extenderse por períodos mayores de tiempo.

8.3. La disponibilidad del agua a ser extraída de un acuífero, acorde al término de “rendimiento seguro”, vendrá dada por un porcentaje determinado del volumen de recarga subterránea anual, definido de la manera más simple, a partir del nivel freático más alto medido al final de la estación lluviosa.

A su vez, este porcentaje de agua subterránea que podría ser extraído, dependerá de muy diversos factores como, la localización de la cuenca hidrogeológica, los ecosistemas naturales presentes y las características de los mecanismos de recarga, entre otros.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA

- Custodio, E y Llamas, M.R.; 1979: Hidrología Subterránea. Ediciones Omega. Barcelona, España.
- Echandi E., E; 1994: Hidrogeología de la Cuenca del Río Lajas. Distrito Tempate, cantón de Santa Cruz, provincia de Guanacaste. Informe Interno
- Echandi E., E; 1998: Control del Acuífero y los Pozos que Abastecen al Hotel Meliá-Playa Conchal. Distrito Tempate, cantón de Santa Cruz, provincia de Guanacaste. Informe Interno
- Echandi E., E; 1999: Estudio Hidrogeológico en la finca Linda Vista en Dulce Nombre de Cartago. Distrito Dulce Nombre, cantón de Cartago, provincia de Cartago.
- Echandi E., E y Schosinsky N., G.; 2001: Estudio Hidrogeológico del Valle Aluvial Superior del río Tempisque. Cantones de Carrillo y Liberia. Provincia de Guanacaste. Informe Interno
- Echandi E., E; 2002: Aspectos Hidrogeológicos de la Cuenca Alta y Media del río Nimboyores. Cantón de Santa Cruz, provincia de Guanacaste. Informe Interno
- Echandi E., E; 2002: Hidrogeología de la Cuenca Alta y Media del río Tempisque para el Proyecto Papagayo. Cantones de Carrillo y Liberia, provincia de Guanacaste. Informe Interno
- Echandi E., E; 2005: Evaluación de Pozos de Reserva Conchal. Distrito Tempate, cantón de Santa Cruz, provincia de Guanacaste. Informe Interno
- Echandi E., E; 2006: Nuevas valoraciones efectuadas para la investigación de las aguas subterráneas en el sector inferior de las cuencas de los ríos San Andrés y Matapalo. Cantón de Santa Cruz, provincia de Guanacaste. Informe Interno
- Echandi, E; 2008: Informe sobre los nuevos trabajos y los controles hidrogeológicos realizados en las cuencas hidrográficas de los ríos San Francisco y Pinilla - Período 2005 – 2006 - Informe Interno
- Echandi E., E.; 2012: Caracterización Hidrogeológica de la cuenca del río San Francisco y la captación de Agua Subterránea por parte del Proyecto Hacienda Pinilla. Distrito Tamarindo, cantón de Santa Cruz, provincia de Guanacaste. Informe Interno.
- Elizondo M., J.; 1982: Estudio Hidrogeológico con fines de Riego en la Margen Derecha del Río Tempisque. Informe Técnico No. 152 Servicio Nacional de Aguas Subterráneas. Provincia de Guanacaste.
- Healy, R.W.; 2010: Estimating Groundwater Recharge. Cambridge University Press.
- Lohman, S. W.; 1977: Hidráulica Subterránea. Editorial Ariel, España
- Monge C., M. M.; 2012: Estudio hidrogeológico de los acuíferos de Playa Potrero y Playa Brasilito. Senara.
- Murillo D., J.M.; 2004: Recarga de Acuíferos. Evaluación y análisis de condicionantes técnicos y económicos. Acuífero Aluvial del Bajo Guadalquivir. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.

Schosinsky, G; 2001: Balance Hidrológico de las Cuencas de los Ríos Pinilla y San Francisco. Cantón de Santa Cruz, Provincia de Guanacaste. Inédito.

SENARA; 2003: Evaluación del potencial y demanda hídrica en el acuífero costero Huacas-Tamarindo. Santa Cruz, Guanacaste.

Otros trabajos consultados:

Echandi E., E.:

- 1989 – 1991: Control de medición de niveles de pozos y extracciones de agua subterránea para las fincas UNIBAN, Matina, Limón. Duración: 3 años.
- 1992 – 2005: Control de medición de niveles de pozos y extracciones de agua subterránea en la cuenca alta del río Lajas, Huacas y en cuenca litoral en Playa Conchal, Guanacaste. Proyecto Meliá-Conchal. Duración: 13 años.
- 1998 – 1999: Control de medición de niveles de pozos y extracciones de agua subterránea para las fincas Linda Vista en Dulce Nombre de Cartago. Duración: 2 años.
- 1998 – 2003: Control de medición de niveles de pozos en la cuenca alta del río Nimboyores, Guanacaste. Proyecto Meliá-Conchal. Duración: 5 años.
- 1999-2002: Control de medición de niveles de pozos y extracciones de agua subterránea en la cuenca alta del río Tempisque, Guanacaste. Proyecto Papagayo. Duración: 4 años.
- 2001 – 2012: Control de medición de niveles de pozos y extracciones de agua subterránea en las cuencas de los ríos Pinilla y San Francisco, Guanacaste. Proyecto Hacienda Pinilla. Duración: 12 años.
- 2006 – 2008: Control de medición de niveles de pozos y extracciones de agua subterránea en la cuenca del río San Andrés y en la cuenca de la quebrada Divisionero; Tamarindo. Acueducto Beko. Duración: 3 años.

ANEXOS

CONTROL DE NIVELES DE AGUA EN LA HACIENDA PINILLA

Período: 16 de febrero de 2012 - 14 de febrero de 2013

POZO	16 febrero 2012	14 febrero 2013	Δh (m)	
16	2,97	4,11	1,14	
1	6	6,07	0,07	
2	10,15	4,78		
3	3,18	3,8	0,62	
4	3,36	4,23	0,87	
5	13,14	23,75	10,61	A V
6	4,81	5,31	0,5	
8	5,76	7,37	1,61	23/2/12
8 t	6,35	7,97	1,62	
14	8,44	12,13	3,69	A V
15	6,63	8,11	1,48	7/2/13
17	4,24	7,33	3,09	A V
7	5,69	8,87	3,18	A V
10	4,21	7,01	2,8	A V
12	5,9	9,46	3,56	9/2/12 - A V
12 t	3,58	7,71	4,13	9/2/12 - A V
13	3,59	4,96	1,37	
11	2,6	3,62	1,02	7/2/13
9	4,83	5,75	0,92	7/2/13
Rodera 1	5,26	5,93	0,67	
Rodera 2	5,71	6,6	0,89	
Rodera 3	5,97	6,89	0,92	
Icacal	8,33	9,83	1,5	
Vivero 1	9,07	9,9	0,83	23/2/12
Vivero 2	7,23	10,67	3,44	A V
Vivero 3	3,25	4,2	0,95	

Cuadro 4: Variación de niveles entre 2012 y 2013. Acumulado de afectación de 2011 a 2013 (Echandi E.; 2012).

Números en rojo indican niveles dinámicos

Números verdes indican niveles más bajos en 2013

A V : Altos valores de variación de nivel entre los dos años

Números en azul indican fecha real de medición efectuada

Notas:

En el área central del campo de pozos (CP), donde se localizan los pozos No. 7, 10, 12 y 14 se observa un descenso anómalo de los niveles entre los años 2012 y 2013 de entre 3 y 3,70 metros.

El pozo No. 17 localizado al centro del CP, el cual no se bombea actualmente y que sirve como testigo, refleja muy claramente esa situación.

Al oeste del CP, la variación solo ha sido de 1,61 metros debido a que el pozo No. 8 no está trabajando actualmente.

El pozo Vivero 2 muestra un descenso muy significativo del nivel dinámico entre ambos años.

Table 6.1 Statistics on specific yield from 17 studies compiled by Johnson (1967).

Texture	Average specific yield	Coefficient of variation (%)	Minimum	Maximum	Number of determinations
Clay	0.02	59	0.0	0.05	15
Silt	0.08	60	0.03	0.19	16
Sandy clay	0.07	44	0.03	0.12	12
Fine sand	0.21	32	0.10	0.28	17
Medium sand	0.26	18	0.15	0.32	17
Coarse sand	0.27	18	0.20	0.35	17
Gravelly sand	0.25	21	0.20	0.35	15
Fine gravel	0.25	18	0.21	0.35	17
Medium gravel	0.23	14	0.13	0.26	14
Coarse gravel	0.22	20	0.12	0.26	13

Cuadro 5: Tomado de Healy (2010)

Material	Porosidad eficaz %		
	máx	mín	media
Arcilla arenosa	12	3	7
Arena fina	28	10	21
Arena media	32	15	26
Arena gruesa	35	20	27
Arena con grava	35	20	25
Gravas finas	35	21	25
Gravas medias	26	13	23
Gravas gruesas	26	12	22

Cuadro 6: Tomado de Custodio y Llamas (1976)

Valores estimados de la porosidad (%), según Sanders (1998)

	total	eficaz
Arcillas	40 a 60	0 a 5
Limos	35 a 50	3 a 19
Arenas finas, arenas limosas	20 a 50	10 a 28
Arena gruesa o bien clasificada	21 a 50	22 a 35
Grava	25 a 40	13 a 26
Shale intacta	1 a 10	0,5 a 5
Shale fraturada/alterada	30 a 50	
Arenisca	5 a 35	0,5 a 10
Calizas, dolomías NO carstificadas	0,1 a 25	0,1 a 5
Calizas, dolomías carstificadas	5 a 50	5 a 40
Rocas ígneas y metamórficas sin fracturar	0,01 a 1	0,0005
Rocas ígneas y metamórficas fracturadas	1 a 10	0,00005 a 0,01

Cuadro 7

RESUMEN DE NIVELES DE POZOS															
POZO	24/8/10 Mx asc.	3/2/11	3/3/11	7/4/11	5/5/11	2/6/11 Mx des.	Δ h (-)	9/6/11	7/7/11	4/8/11	8/9/11	6/10/11	3/11/11 Mx asc.	Δ h (+)	Dif recarga
1	1,63	4,67	6,48	7,73	7,72	7,87	6,24	7,8	3,19	2,55	2,33	2,31	1,77	6,1	-0,14
2	1,39	8,81	5,62	22	6,53	6,84	5,45	6,79	2,82	6,07	2,05	4,83	1,19	5,65	0,2
3	1,08	2,79	3,69	4,51	5,11	5,44	4,36	5,54	2,45	1,8	1,52	1,49	1,36	4,08	-0,28
4	1,65	8,05	11,29	11,64	17,75	6,84	5,19	17,27	2,97	2,61	2,19	1,98	1,82	5,02	-0,17
5	1,72	10,09	13,49	18,04	23,72	6,93	5,21	23,75	3,31	3,09	3,04	2,87	2,39	4,54	-0,67
6	1,78	4,32	4,86	5,37	5,7	5,74	3,96	5,66	3,05	2,49	2,69	2,32	2,04	3,7	-0,26
7	1,08	5,07	6,68	18,82	10,28	9,34	8,26	8,98	2,49	1,58	1,14	1,16	1,08	8,26	0
8	0,87	7,84	6,35	15,05	15,92	15,61	xxx	12,66	4,7	1,51	3,24	3,08	2,77	xxx	
8 t	1,47	6,56	6,98	13,27	13,93	12,86	xxx	10,06	3,12	2,14	1,91	1,99	1,82	xxx	
9	2,1	4	4,64	5,2	6,92	5,19	3,09	5,72	3,24	3,18	3,13	3,18	2,46	2,73	-0,36
10	0,63	3,57	19,65	9,04	21,06	7,95	7,32	7,39	3,05	1,2	0,76	0,75	0,69	7,26	-0,06
11	0,72	2,26	2,71	3,34	3,84	3,91	3,19	3,94	1,4	1,22	0,95	1	0,88	3,03	-0,16
12	0,85	3,29	7,22	9,46	11,03	7,85	7	7,38	2,72	2,59	1,85	0,91	0,79	7,06	0,06
12 t	0,2	2,65	4,81	7,88	9	7,61	7,41	7,08	2,43	0,98	0,44	0,44	0,36	7,25	-0,16
13	0,98	3,12	3,63	4,58	5,34	5,62	4,64	5,57	3,14	1,63	1,41	1,13	1,16	4,46	-0,18
14 din.	4,06	7,58	10,19	12,83	14,99	12,11	8,05	10,96	5,68		4,18	4,16	4,3	7,81	-0,24
14 est.	1,13	4,26		10,02		11,55	10,42		1,75	1,83	1,85	1,46	1,32	10,23	-0,19
15	1,38	4,69	12,35	10,74	17,52	12,06	10,68	9,43	2,78	2,01	1,47	1,59	1,39	10,67	-0,01
16	0,07	2,42	3,2	4,47	5,01	5,06	4,99	4,74	0,78	0,92	0,71	0,67	0,44	4,62	-0,37
17		2,7	4,79	8,04	9,54	7,9		7,4	2,67	1,1	0,63	0,56	0,49	7,41	
Rodera 1	1,67	4,88	5,62	6,38	6,53	6,44	4,77	6,34	4,81	3,48	2,58	2,66	2,47	3,97	-0,8
Rodera 2	1,02	5,2	6,03	6,78	7,24	7,42	6,4	7,33	6,17	4	3,01	2,5	2,14	5,28	-1,12
Rodera 3	2,15	5,45	6,19	6,85	7,19	7,11	4,96	7,08	5,6	4,25	3,05	3,22	2,95	4,16	-0,8
Icacal	3,48	7,73	8,44	9,13	9,64	9,84	6,36	9,77	8,76	7,45	6,75	5,97	4,9	4,94	-1,42
Vivero 1	5,27	7,78	11,49	9,35	10,02	9,75	4,48	9,68	8,24	9,87	6,65	5,99	5,78	3,97	-0,51
Vivero 2	1,23	4,59	6,24	7,33	8,84	7,78	6,55	7,67	4,32	4,75	2,52	2,02	1,85	5,93	-0,62
Vivero 3	0,02	2,18	2,92	14,18	7,24	3,81	3,79	3,74	2,33	1,15	0,73	0,28	0,14	3,67	-0,12

POZO	3/11/11 Mx asc.	1/12/11	5/1/12	2/2/12	1/3/12	3/5/12	7/6/12	5/7/12	2/8/12 Mx des.	Δ h (-)	6/9/11	4/10/12	1/11/12 Mx asc.	Δ h (+)
1	1,77	3,19	4,13	5,01	6,46	7,72	7,58	7,87	7,91	6,14	8,1	3,92	1,83	6,08
2	1,19	3,02	6,21	7,69	9,77	6,54	6,41	6,97	7,46	6,27	7,18	2,78	2,4	5,06
3	1,36	2,14	2,5	2,73	3,66	5,16	5,12	5,27	5,42	4,06	5,42	2,42	1,4	4,02
4	1,82	2,58	2,92	3,07	11,57	17,89	5,25	5,36	5,51	3,69	5,47	2,78	1,84	3,67
5	2,39	3,27	3,47	3,57	20,77	6,1	5,84	5,87	6,12	3,73	6,04	10,05	2,71	3,41
6	2,04	3,04	3,77	4,61	5,62	5,84	5,83	6,04	6,08	4,04	5,95	3,37	2,12	3,96
7	1,08	1,97	3,88	4,91	12,79	18,93	11,06	11,04	11,42	10,34	10,51	2,97	0,28	11,14
8	2,77	3,87	5,59	8,83	11,22	14,89	14,63	11,52	9,56	6,79	9,22	2,16	1,13	8,43
8 t	1,82	2,54	4,38	7,31	9,26	12,87	12,26	11,99	10,25	8,43	9,87	2,76	1,58	8,67
9	2,46	4,11	4,05	4,55	5,41	6,37	5,05	5,03	4,77	2,31	4,76	3,86	3,06	1,71
10	0,69	1,6	15,84	4,09	16,03	9,81	10,07	11,17	11,01	10,32	9,81	3,85	0,94	10,07
11	0,88	1,42	1,98	2,4	2,84	4,02	4,32	4,63	4,63	3,75	4,72	2,14	0,2	4,43
12	0,79	3,23	4,48	4,37	5,66	11,08	10,91	11,52	12,04	11,25	9,12	3,18	1,07	10,97
12 t	0,36	1,39	2,55	3,25	4,83	9,34	9,16	9,92	11,1	10,74	8,87	2,91	0,52	10,58
13	1,16	2	2,8	3,3	3,88	5,52	6,03	6,53	6,85	5,69	6,93	3,89	1,31	5,54
14 din.	4,3	4,91	6,78	7,97	9,45	14,67	13,83	14,08	15,16	10,86	12,88	6,14	4,45	10,71
14 est.	1,32	3,18	x	x	x	10,43	x	x	x	x	x	x	1,89	
15	1,39	2,36	6,89	6,09	7,52	11,52	10,81	11,21	11,23	9,84	10,52	3,19	1,68	9,55
16	0,44	1,36	2,11	2,58	3,55	5,12	5,26	5,42	4,76	4,32	4,81	1,8	0,48	4,28
17	0,49	1,57	2,51	3,54	5,15	9,05	9,72	10,34	10,6	10,11	9,1	2,26	0,63	9,97
Rodera 1	2,47	3,64	4,35	4,91	5,57	6,51	6,52	6,73	6,57	4,1	6,41	4,62	2,88	3,69
Rodera 2	2,14	3,85	4,65	5,3	6,06	7,18	7,43	7,61	7,46	5,32	7,42	5,76	2,9	4,56
Rodera 3	2,95	4,02	4,9	5,61	6,28	7,23	7,38	7,55	7,3	4,35	7,12	5,69	3,68	3,62
Icacal	4,9	6,37	7,35	8,04	8,64	9,69	9,85	9,93	9,92	5,02	9,61	8,8	7,24	2,68
Vivero 1	5,78	6,62	11,36	13,32	13,39	10,26	14,64	9,84	10,09	4,31	9,98	8,66	7,7	2,39
Vivero 2	1,85	3,76	6,25	7,07	7,89	9,04	7,84	7,68	10,35	x	7,45	6,79	2,62	7,73
Vivero 3	0,14	1,11	2,26	5,74	3,52	4,4	4,37	4,19	4,14	4	3,95	2,57	0,88	3,26

Cuadros 8: Pozos Hacienda Pinilla. Número en rojo representan mediciones con el pozo en producción