

SISTEMAS DE MANANTIALES Y TERRAZAS IRRIGADAS EN LAS MONTAÑAS MEDITERRÁNEAS

Zvi Y.D. Ron
Universidad de Tel-Aviv, Israel

IMPORTANCIA DE LOS MANANTIALES EN LA AGRICULTURA TRADICIONAL

En las regiones mediterráneas, caracterizadas por una estación seca muy larga, los agricultores siempre han intentado utilizar las fuentes permanentes de agua, incluso las de pequeño caudal, para desarrollar una agricultura de regadío. Los manantiales son la principal fuente de agua permanente en las regiones montañosas y rocosas de Tierra Santa. La mayoría de ellos no están alimentados por los grandes acuíferos regionales sino por sus ramificaciones. Por ello, gran parte de estos manantiales son pequeños y tienen un flujo escaso e inestable. Existe a menudo una importante variación mensual y anual en el caudal debido al pequeño volumen de los acuíferos cársticos que los alimentan. A menudo el caudal de estos manantiales no excede de unos pocos metros cúbicos por día. (Ron, 1985).

A pesar de su escaso caudal, muchos de ellos, incluso los más pequeños, han sido la única fuente de agua para la agricultura de regadío en las regiones montañosas de Tierra Santa. Esta es la razón de que, desde la Antigüedad, se haya realizado una enorme inversión tecnológica y económica para el desarrollo de los sistemas de riego por terrazas. Un fenómeno similar puede observarse en Yemen (Varisco, 1983), en la Alpujarra y otras regiones andaluzas (Barceló et al, 1986), en las montañas de Mallorca (Carbonero, 1986; Carbonero, 1992), en Sierra de los Filabres, al norte de Portugal y en los Andes de Perú. En la mayoría de las poblaciones árabes en Judea y Samaria, en Tierra Santa, estos pequeños manantiales locales continúan siendo la única fuente de riego para la agricultura.

Fue necesario un alto nivel de sofisticación para desarrollar, mantener y utilizar estas fuentes de agua, manantiales pequeños e inestables, para poder regar pequeñas áreas de cultivo. La mayoría de los manantiales en estas regiones corren a través de túneles y cuevas subterráneas excavadas en los acuíferos (minas).

El desarrollo y la utilización de aguas subterráneas para riego en las regiones montañosas de Tierra Santa, y otras áreas de Medio Oriente, Norte de África, España, Portugal y otras regiones no áridas del mundo ha sido descrito en la literatura de viajes e investigación de manera superficial. Esto contrasta enormemente con la amplia literatura relativa a las instalaciones subterráneas desarrolladas para utilizar estas aguas en los sistemas de riego de zonas áridas: los qanats.

Muchas minas, similares en algunos aspectos a los qanats, se construyeron desde tiempos antiguos por los habitantes de las regiones montañosas de Tierra Santa y otras áreas

como Líbano, Yemen, Irán, España y Portugal. La mayoría de estos sistemas permanecen ocultos, con pequeñas y oscuras aberturas por las que el agua llega hasta los depósitos. Algunos de ellos tienen pozos visibles.

El autor fue el primero en descubrir e investigar los sistemas subterráneos en la región montañosa de Tierra Santa. (Ron, 1966, 1985, 1986). Este artículo está basado en una detallada investigación sobre 250 manantiales en Tierra Santa y algunas decenas en Mallorca, la Alpujarra, la Sierra de los Filabres en España y el Norte de Portugal, de los que más de un centenar fueron medidos y localizados en mapas. El artículo se refiere al desarrollo y utilización de los sistemas de riego en las zonas de clima montañoso mediterráneo de Tierra Santa. Se realizan comparaciones con los qanats, la mayoría de ellos encontradas en los valles de Jordania y Arava, en Tierra Santa, así como otras halladas al pie de la Sierra de los Filabres cerca de Tabernas (Fig. 12).

DESARROLLO DE LAS MINAS

En su estado original, un manantial, antes de su explotación para riego, normalmente fluye desde un promontorio rocoso hacia una pendiente o el lecho de un río, donde el caudal resulta expuesto debido a la erosión o a una línea de falla (Fig. 1A).

A menudo, el tamaño del acuífero que alimenta el manantial es pequeño y además se encuentra afectado por las variaciones cársticas y climáticas. Esto provoca que frecuentemente el área circundante baje su nivel durante la época de flujo continuo (Fig. 1B). Por lo tanto, el aporte del manantial frecuentemente se reduce o se interrumpe por completo. Junto a los sistemas de riego, es habitual encontrar numerosos manantiales secos, como por ejemplo en Ein Gedi. La dependencia del aporte del manantial en las lluvias genera el fenómeno de caudal intermitente o discontinuo, que se recoge en los estudios post-bíblicos del Talmud (Ron, 1985). Para renovar el aporte, o aumentarlo, se excavaba un hueco en forma de cueva y se ensanchaba hasta la zona saturada por debajo del nivel del acuífero. Aún pueden encontrarse manantiales que fluyen desde estas pequeñas cuevas. Como resultado del continuo retroceso del nivel del agua, debido a sequías continuadas y a la disminución del nivel, surgió la necesidad de ensanchar estas cuevas hasta convertirlas en túneles (Fig. 1C). El aumento de la eficacia del drenaje en el acuífero saturado a través de túneles y cavidades trajo como consecuencia un nivel de agua estable (Fig. 1D). Sin embargo, a través del tiempo y debido a la excavación gradual, los túneles eran ensanchados y ramificados de tal modo que el origen del manantial, dentro de la pendiente, estaba a gran distancia de la salida exterior del túnel. Es habitual hallar túneles de 10 a 25 metros de largo, aunque existen algunos mayores (Tabla 1).

Los métodos para exponer y drenar el acuífero saturado son variados:

1. Excavar y añadir ramificaciones al túnel principal (Fig. 2).
2. Crear canales serpenteantes dentro del túnel principal a lo largo del acuífero saturado, con lo que el agua debía recorrer una distancia mucho mayor que la existente línea recta entre los dos extremos del túnel. Es el caso de Ein Jeweizeh cerca de Beit Jala, donde el largo del túnel es de 225 metros, aunque la línea recta es de solamente 115 metros. (Fig. 3).

3. Excavar un túnel (Fig. 7) o varios túneles paralelos dentro de la zona de saturación. El manantial fluiría desde dos túneles vecinos pero separados. En algunos casos, el túnel principal se divide en dos (Fig. 4).

4. Alargar el extremo más alejado del túnel. En este caso, la cavidad se convierte en un largo corredor que finaliza en un gran agujero con forma de cueva (Figs. 2C y 5). Debido al continuo retroceso del nivel del agua, a veces era necesario alargar la cavidad excavando otro túnel estrecho que seguía el curso del agua. Al final de este túnel, se excavaba otro hueco para penetrar en el nuevo nivel subterráneo. Esta complicada historia del desarrollo de un túnel queda revelada por la morfología del sistema (Fig. 5).

5. Excavar el suelo del túnel hasta un nivel más bajo, a la vez que se alarga. De esta manera, los túneles que habitualmente tenían un metro de altura, alcanzaron a veces los 3 a 5 m (Figs. 6I-L, 7 izquierda). La profundización del túnel provocaba que el nivel del depósito a la salida fuera más alto que el del suelo del túnel. Si este nivel no se bajaba, el túnel se llenaba de agua. Este es el caso del túnel de Ein Sappir (Fig. 5). En algunos casos, solamente el extremo interior del túnel se hacía más profundo para alcanzar el nivel del agua en retroceso, y esa porción de túnel se llenaba de agua. En otros, en lugar de aumentar la profundidad del túnel, se excavaba otro a un nivel inferior que se convertía en el principal del acuífero cuando el primero se secaba. A menudo, la excavación del túnel inferior comenzaba con un pozo descendente desde el superior hasta alcanzar el nuevo nivel del agua. Estos manantiales con dos minas, una encima de la otra, con la zona superior seca y la inferior saturada eran bastante comunes. En el manantial de Ein Artas, próximo a Bethlehem existe una instalación similar. (Fig. 6L).

6. En los sistemas de minas más desarrollados pueden encontrarse combinaciones de algunos o todos estos métodos. (Fig. 5).

Los métodos de excavación utilizados eran los que mejor se adaptaban a la topografía local. Donde existía una fina capa rocosa por encima del acuífero, era más sencillo alcanzar la zona saturada mediante la excavación de un canal descubierto desde la superficie hasta el nivel del agua. Una vez completado, se cubría con trozos de piedra toscamente tallados o por medio de sillares planos o abovedados (Figs. 6A-G, 7, centro y derecha). El pozo techado se tapaba entonces con rocas y tierra para que la superficie quedara lisa, convirtiéndose así en un túnel subterráneo que protegía el sistema de daños y evaporaciones. El túnel no constituía un obstáculo y el suelo por encima de él podía continuar siendo cultivado. Aproximadamente el 40% de los manantiales utilizados se desarrollaron de esta forma.

Cuando el acuífero saturado se encontraba muy por debajo de la superficie, bajo capas de roca dura, las excavaciones continuaban como un túnel horizontal y no como un pozo abierto (Figs. 7 izq., 6 H-J, L). El 25% de las minas eran de este tipo. En muchos casos, se aplicaban ambos métodos combinados. La parte interior era un túnel excavado que penetraba horizontalmente en la roca, muy por debajo de la superficie, mientras que la parte exterior del túnel, que estaba más próxima a la superficie, se excavaba como un pozo abierto y luego era cubierta con piedras y tierra, convirtiendo el pozo en un túnel subterráneo (Figs. 2, 3, 4, 5). De esta manera era el 30% de las instalaciones utilizadas.

En algunas minas se cortaban, en el techo del túnel, canales perpendiculares, de sección cuadrada o circular como chimeneas, o bien se construían durante el proceso de techado de los pozos. Se utilizaban a menudo como entradas, a veces las únicas existentes, y como vías de iluminación y aireación. Existen muchas minas sin estas aberturas, hay otras que tienen una (Fig.3) y algunas poseen dos, tres o un máximo de cuatro aberturas a lo largo del túnel (Tabla 1). El sistema del túnel hacía el manantial prácticamente invisible. Una persona que estuviera en el exterior no podría darse cuenta de lo que había dentro, ya que a menudo la abertura exterior estaba tapiada mediante un muro, dejando solamente una pequeña salida para el agua. Probablemente este es el origen de la expresión bíblica "una fuente cerrada, un manantial tapado" (Cantar de los Cantares, 4:12).

El desarrollo de los manantiales mediante la excavación de túneles y cavidades hasta la zona saturada y su prolongación siguiendo el nivel descendente del agua es característico de los manantiales alimentados por acuíferos elevados. Este es el caso de la mayoría de los pequeños manantiales de las zonas montañosas de Tierra Santa y las áreas mediterráneas. En el caso de los manantiales más grandes, originados en el acuífero principal, no existía la necesidad de desarrollar una instalación tan compleja de ramales para aumentar el aporte, ya que normalmente afloraban a través de cavidades naturales de las rocas.

CREACIÓN DE FUENTES ARTIFICIALES

El desarrollo y mantenimiento de los manantiales artificiales requería conocimientos geo-hidrológicos. Podemos preguntarnos cómo estos conocimientos fueron adquiridos en la Antigüedad. Existe evidencia de ellos en la Mishnah y el Talmud. Este último hace referencia a la interdependencia entre el caudal de los manantiales y las lluvias. El conocimiento de cómo alargar un túnel para alcanzar el nivel del agua en retroceso aparece sugerido en el siguiente párrafo de Baba Metsiah, 103:

“Si uno toma en alquiler un terreno irrigado de un amigo... Si el manantial se seca debe acondicionar otro manantial. ¿Qué significa otro manantial? dice Rabbi Isaac: si el manantial seco tiene una profundidad de dos codos, y puede aumentarse la profundidad hasta tres codos, entonces podrá ser utilizado otra vez. El propietario del terreno está obligado a excavar el manantial para que quien renta la tierra pueda utilizarlo para el riego”.

En el Talmud de Jerusalén se hace referencia al manantial de Siloam:

“El Siloam descargaba poca agua y se dijo: —Déjanos agrandararlo para aumentar su caudal de agua”(Succah, 85).

Estos conocimientos fueron adquiridos de forma gradual. Una vez que la tecnología estuvo disponible, solamente fue una cuestión de tiempo el que la explotación de los manantiales existentes derivara hacia la creación de manantiales artificiales mediante la excavación de túneles dentro del acuífero saturado por debajo del nivel del agua. Cabe preguntarse si los agricultores antiguos realmente reconocían el estrato geológico de los acuíferos y su significado hidrológico en la creación de manantiales artificiales. Esto no puede probarse,

aunque el procedimiento tuviera éxito. No puede decirse cuál de los cientos de manantiales que fluyen a través de los sistemas de túneles y galerías fueron en sus orígenes manantiales naturales o conseguidos por la mano del hombre. Paradójicamente, la teoría puede probarse a través de los fracasos. Si la excavación no tenía éxito, era porque el túnel se excavaba en un acuífero insaturado. Por ello, el hallazgo de túneles secos o con muy bajo caudal, excavados en acuíferos rocosos, que no tienen depósitos, acequias o terrazas de cultivo o restos de alguna de estas instalaciones en sus alrededores, puede revelar, a primera vista, un intento fracasado de crear un manantial artificial. Cuatro de estos túneles fueron encontrados en las montañas de Judea, cerca de Jerusalén.

ORIGEN DE LAS MINAS

En Tierra Santa existen dos clases diferentes de túneles conectados a los manantiales: las minas, desarrolladas principalmente para riego, y las galerías de acceso oculto que conectan las ciudades amuralladas con los manantiales que se encuentran en el exterior. Ambos son antiguos. Mucha de la evidencia arqueológica relacionada con las minas proviene de los períodos griego y romano (Ron, 1985). Las galerías son mucho más antiguas. (Dever, 1969; Pritchard, 1961; Shiloh, 1984; Yadin, 1970).

Para poder comprender el origen y el desarrollo de las minas se llevó a cabo un análisis comparativo geo-hidroológico y morfológico entre estas dos clases de túneles y su significado. Las evidencias demostraron que el desarrollo posterior de las minas se debió a la acumulación de técnicas especiales de ingeniería y, fundamentalmente, a un conjunto de conocimientos geo-hidroológicos y morfológicos. Este conocimiento hizo posible seguir el curso del nivel del agua dentro de los acuíferos, así como la creación de manantiales artificiales mediante la excavación de túneles en los acuíferos saturados subterráneos. Los descubrimientos geo-hidroológicos que permitieron el desarrollo de los recursos subterráneos aparecen en época tan temprana como la del Primer Templo, en el siglo IX a.C. Por razones de seguridad se construyeron pozos ocultos y túneles, excavados desde las ciudades amuralladas hasta los manantiales extra-muros, para asegurar el suministro de agua durante los sitios. Las razones de seguridad justificaron siempre la gran inversión en recursos y esfuerzos. El análisis de estos sistemas subterráneos muestra paso a paso el desarrollo del conocimiento geo-hidroológico, que surgió de la experiencia empírica adquirida durante la búsqueda de soluciones para el problema de un suministro de agua seguro y defendido en las ciudades. Era vital que estos manantiales tuvieran un acceso secreto para los habitantes, haciendo imposible que el enemigo cortara el suministro de agua o utilizara los túneles para entrar en la ciudad.

El primer paso de este desarrollo fue el agrandamiento de las cavidades cársticas y los cauces, conectándolos y convirtiéndolos en túneles continuos de acceso a los manantiales ubicados fuera de los muros urbanos (Pozo de Warren, Ciudad de David, Jerusalén, Shiloh, 1984, Fig.8). El siguiente paso fue la excavación de túneles de acceso y pozos hacia los manantiales exteriores (Gibeon, Fig. 9, Pritchard, 1961; Lamon, 1935; Schumacher, 1911). En algunos casos el caudal de agua se desviaba por medio de un túnel inclinado, siendo derivado hacia el depósito por la gravedad (como en el pozo de Warren y en Megido), o hacia un pozo construido dentro de las murallas de la ciudad (Túnel de Hezekiah en Jerusalén).

Esta solución tuvo dos desventajas. El enemigo podía desviar el curso de agua y evitar que llegara hasta la población sitiada, o podía utilizar este túnel para acceder al manantial y, por tanto, a la ciudad.

La solución provino entonces de la acumulación de conocimientos hidro-geológicos durante el desarrollo de los pozos y túneles. La vasta experiencia ganada aumentó la comprensión de las características de los acuíferos, ríos subterráneos y áreas adyacentes. Descubrieron que el acuífero saturado que alimentaba el manantial continuaba por debajo de él, y que estas aguas podrían encontrarse, no solamente en el mismo manantial, sino en el acuífero subterráneo saturado que atravesaba los cimientos de la ciudad a una cierta profundidad. Esta conclusión condujo al siguiente paso del desarrollo hidro-geológico, evidenciado tecnológicamente en los siglos IX y VIII a.C. Los ejemplos incluyen pozos excavados y canales inclinados por debajo de la ciudad, sin relación con el manantial natural, que se convierten en fuentes o manantiales artificiales. Estos sistemas de abastecimiento fueron desarrollados con éxito en Gibeon (Fig. 9), Gezer, Hazor (Yadin 1970) y más probablemente en Yoqneam, al oeste de Megido. Existe una depresión en el antiguo "tel" de Yoqneam que aún no ha sido excavada, y probablemente exista allí un pozo escalonado o un túnel de gran inclinación conectados con un manantial artificial.

El desarrollo hidrológico explica la razón de que se haya excavado junto al túnel de acceso al manantial de Gibeon, localizado fuera de los muros, un pozo que finaliza en un túnel corto y muy inclinado. (Fig. 9) El pozo penetra directamente en el acuífero saturado que se encuentra bajo la ciudad sin tener que acercarse al manantial a cielo abierto, aumentando enormemente la entrada de aguas subterráneas, en contraposición al antiguo acceso inclinado al manantial. Este logro hidro-geológico significó un gran avance en el desarrollo de sistemas de suministro de agua. Basándose en esta clase de conocimientos empíricos, se excavaron minas horizontales que penetraban directamente en el caudal de agua subterráneo en retroceso. El lógico agotamiento de los manantiales trajo como consecuencia el gradual alargamiento de las minas, cuyo desarrollo provocó el agotamiento de los manantiales y su posterior renovación. El paso siguiente, lógicamente, fue la excavación de minas, no sólo verticales sino horizontales, dentro del acuífero subterráneo cuando éste no fluía naturalmente hacia afuera, creándose así los manantiales artificiales.

Estos tres estadios fundamentales del desarrollo pueden verse claramente en Gibeon, donde, como resultado del alargamiento progresivo de la mina horizontal, el manantial mismo salió a la superficie al final de un túnel alrededor de 40 metros más allá de su ubicación original. Así, la mina vuelve a aparecer a cinco metros del pozo del segundo nivel a través del corto túnel inclinado hacia el manantial artificial. Originalmente, este pozo estaba a 40 metros de distancia del manantial. (Fig.9)

SIMILITUDES Y DIFERENCIAS ENTRE LAS MINAS Y LOS QANATS

En ciertos aspectos existen numerosas similitudes entre las minas y los qanats. Ambos son túneles excavados que desembocan en el acuífero saturado para extraer agua por medio de la gravedad en cantidades suficientes para el riego (Fig. 12, derecha). Con objeto de aumentar el aporte, los qanats pueden ramificarse y las minas pueden alargarse y dividirse

para lograr un crecimiento del volumen de la zona saturada. En algunos casos, las dimensiones de los túneles son similares. Sin embargo existen entre ellos diferencias esenciales.

Distribución

Los qanats se encuentran, fundamentalmente, en cuencas áridas o semi-áridas, a pie de monte o en altas mesetas con grandes escorrentías.

Determinantes geomorfológicos de su ubicación

Los qanats están normalmente excavados en terrenos de aluvión o de gravas a pie de monte, donde la capacidad de infiltración de las escorrentías en los acuíferos subterráneos es alta. Las aguas son recogidas por los sedimentos aluviales convirtiéndose en excelentes acuíferos superficiales.

Determinantes hidrológicos de su ubicación

En la mayoría de los casos, el descubrimiento de aguas subterráneas canalizadas por medio de qanats se realiza de manera artificial excavando un "manantial madre" dentro del acuífero saturado, que usualmente se encuentra a 10 o 15 metros de la superficie, pero en ocasiones a mucha mayor profundidad. A veces las aguas fluyen naturalmente hacia la parte más baja de la cuenca, donde el agua y el suelo son tan salinos que no resultan útiles para uso agrícola. Uno de los problemas que debieron enfrentar los primeros agricultores fue cómo elevar el agua subterránea y utilizarla para riego. La excavación de pozos hasta el nivel del acuífero subterráneo era conocida desde la Antigüedad, pero estos pozos servían para proveer fundamentalmente agua para el consumo y no eran aptos para el riego. Los qanats resolvieron el problema haciendo posible la conducción de grandes cantidades de agua subterránea por medio de la gravedad. Esto se consiguió utilizando un túnel excavado con una pendiente más suave que la del curso de agua, facilitando así el riego de los campos. El origen del desarrollo del qanat es un pozo, el "pozo madre", que se convierte en un manantial artificial que aflora lejos de la fuente de agua, mientras que las minas se originaron por el desarrollo de un manantial.

Determinantes agrícolas de la localización y largo de los túneles

Los qanats son incuestionablemente más largos que las minas. La mayoría de ellos tienen entre uno y cinco kilómetros de largo, pero algunas son mayores (English, 1968; Beaumont, 1971). El largo de los qanats o la gran distancia entre el terreno irrigado y el "pozo madre" está determinada de manera que responde a dos particulares necesidades: las parcelas deben estar suficientemente por debajo como para permitir el flujo del agua a través del qanat por gravedad, además de encontrarse a la suficiente altura para quedar por encima de la zona de suelos salinos y aguas subterráneas salinizadas que fluyen por la parte más baja de las cuencas áridas o que forman un acuífero salino y superficial debajo de ellas. En contraste, la mina más larga descubierta en Tierra Santa es de 225 m de longitud (Fig. 3).

Desarrollo del túnel y sus secciones

El túnel y los pozos del qanat se excavaban desde la salida hasta el pozo madre en una sola unidad. El túnel tiene dos secciones, la interior que penetra en la zona saturada por debajo del nivel del agua —la sección de producción de agua—, y el resto del túnel, que es

mucho más largo, que pasa a través de la zona de ventilación y sirve como zona de transporte de agua del qanat. En contraste, las minas se desarrollaron durante generaciones como excavaciones progresivas. Cada segmento de la mina se excavaba directamente en la zona saturada y el túnel se alargaba solamente una vez que la sección anterior se hubiera secado, siguiendo el nivel de retroceso del agua. En épocas de grandes lluvias, parte de las secciones secas de los túneles de las minas recuperaban su aporte de agua.

Desarrollo de los pozos

La característica física más evidente de los qanats es la cantidad de pozos que acompañan su recorrido. Los pozos son una parte esencial del proceso de excavación y se construían al mismo tiempo que el túnel de la cimbra (qanat). Tienen gran importancia en la determinación del curso correcto de la instalación durante su excavación, además de ser usados como aberturas para retirar el material excavado. Los pozos, sin embargo, no son esenciales en el proceso de construcción de las minas. Muchos de los túneles no tienen ninguno (Tabla 1). En los túneles excavados como canales a cielo abierto y luego cubiertos con piedras y tierra, no existía la necesidad de utilizar pozos en el proceso de excavación. Básicamente, se empleaban para la iluminación, ventilación y acceso, especialmente en aquellas minas cuyo extremo final estaba cegado, dejando solamente una pequeña abertura para que el agua fluyera hacia el depósito. Los pozos también eran útiles en aquellos túneles cuya altura y anchura eran pequeñas, y resultaba más sencillo entrar hacia las secciones interiores a través de un pozo adyacente que atravesando todo el largo del túnel (Fig. 3). Estos largos y estrechos túneles con hasta cuatro pozos pueden verse en las instalaciones de Ein el Unkar y Ein Beroshim, Ein Naka'a y Ein Kharab (Tabla 1).

Pendiente del túnel

Los qanats consisten en un túnel con una pendiente muy suave, de gradiente entre 1:1.000 y 1:2.500, ya que una pendiente mayor causaría demasiada erosión y destruiría el sistema. Las minas, excavadas en roca sólida, tienen una pendiente abrupta y caídas verticales que provocan pequeñas cascadas en los túneles.

Estabilidad y mantenimiento

Como la mayoría de los qanats están excavados en sedimentos aluvionales poco consolidados, estas estructuras se derrumban y erosionan con el tiempo. Esto supone que el mantenimiento y cuidado de estas instalaciones sea continuo y necesario. A veces se encuentran secciones de los túneles que han tenido que ser reemplazadas por desviaciones tras un derrumbamiento. De hecho, muchos qanats que caen en desuso se derrumban, se rellenan y desaparecen, dejando solamente pequeñas depresiones redondeadas en la superficie, rodeadas por terraplenes de baja altura que señalan la ubicación de los pozos. Los qanats descubiertos en Tierra Santa, en los valles del Jordán y el Arava, se encuentran derrumbados y taponados. En contraste con esto, las minas, excavadas en roca dura, son muy estables. Las posibilidades de derrumbamiento o erosión son mínimas y su mantenimiento, reconstrucción y desarrollo requieren poco esfuerzo. Por ello, muchos de los túneles de minas en regiones montañosas permanecen en excelentes condiciones y han conservado su forma original, incluyendo los diversos estadios de su construcción desde épocas bíblicas, misnaicas, talmúdicas, edad del hierro, greco-romana y bizantina hasta nuestros tiempos. Numerosas canalizaciones de manantiales de los siglos IX y VIII a.C., originalmente ubicadas dentro de

ciudades, quedaron enterradas bajo capas de materiales de construcción cuando las ciudades fueron destruidas en batallas. Algunas fueron excavadas por arqueólogos y encontradas en buen estado, como los de Jersusalén, Gibeon, Gezer, Megido y Hazor.

Propiedad

La mayoría de los qanats son de propiedad privada, mientras que las minas, al menos en Tierra Santa, son de propiedad comunal.

SISTEMAS DE RIEGO Y ALMACENAMIENTO

Los depósitos para almacenar agua de un manantial se excavaban o se construían, dependiendo de las condiciones topográficas a la salida del túnel. En un caso, en Ein Zova, el depósito está cortado en la roca como una cueva subterránea, de 10 m de largo, 6,5 m de ancho y 3 m de profundidad. El agua almacenada durante la noche se distribuía durante el día. El depósito era el centro de distribución y reparto del agua entre las explotaciones familiares de acuerdo con la superficie de sus tierras de regadío particulares y sus derechos. Un fenómeno similar puede observarse en Yemen (Varisco, 1983), en pequeños manantiales del Líbano, en la Alpujarra y la Sierra de los Filabres, en Andalucía, en Mallorca (Carbonero, 1984) y en el norte de Portugal.

Por el contrario, en los antiguos sistemas de riego por terrazas del período incaico, estudiados por el autor, no existían depósitos. (Aterrazamientos de Pisac, Ollantaytambo, Chinchero y Tipón en el área de Cuzco, en Machu-Pichu, Perú y los del valle del río Colca en la región de Arequipa). Posiblemente esto se debe a los diferentes sistemas de propiedad de la tierra y el agua durante el reinado de los Incas. La mayoría de los terrenos no se cultivaban de forma particular, ya que todas las tierras cultivables se dividían en tres partes: una asignada a la religión, otra para la "Corona" y una tercera para el uso comunal (Rowe, 1963).

El volumen de los depósitos varía desde 10 a 600 m³ cúbicos, dependiendo del caudal del manantial y de la ubicación topográfica del depósito. Normalmente, las paredes estaban selladas para evitar la pérdida de agua por infiltración. A veces, varios manantiales próximos o varios túneles excavados uno cerca de otro en el acuífero saturado, descargaban en el mismo depósito. Ocasionalmente ocurría lo contrario: un mismo manantial desaguaba en dos depósitos contiguos.

En ocasiones, al aumentar el aporte de agua, el depósito original podía resultar pequeño y se añadiría un segundo. Este fenómeno se menciona en el Talmud: "Un manantial bendito es aquel cuyo caudal aumenta o nace un nuevo manantial junto a uno antiguo" (Talmud de Jerusalén, Moed Kattan 81). A veces, como resultado de una disminución del aporte, el depósito original resultaba demasiado grande y se reducía tabicando una parte, y rellenando la zona para convertirla en terraza de cultivo.

En pocos casos, el depósito se construía lejos de la salida de la mina, en un sitio más bajo aprovechando la caída de agua para mover un molino. En el caso de Ein Balad, en Battir, se excavó y construyó una acequia de suave pendiente para conducir el agua desde la salida de la mina hacia el molino.

El agua almacenada se transportaba por gravedad a través de acequias para regar las terrazas. El canal principal del depósito se dividía en varias acequias secundarias, divididas a su vez para llevar el agua del manantial a todas las zonas del sistema de aterrazamientos. La acequia tenía forma de U, con una sección directamente proporcional al caudal del agua y la pendiente. La acequia principal estaba generalmente excavada en la roca, construida con piedras o hecha de mortero o argamasa y yeso (Fig. 11). Acequias y canales similares se encuentran en Yemen (Varisco, 1983), Líbano, Mallorca, Alpujarra, Sierra de los Filabres, norte de Portugal y en los sistemas de riego incaicos del Perú. "Cuando el riego se combinaba con aterrazamientos, se construían acequias de roca tallada. Los emperadores Incas construyeron numerosos sistemas de riego muy complejos" (Rowe, 1963). Existen ejemplos impresionantes de acequias construidas o excavadas en la roca en Perú, en las terrazas de aterrazamiento de Típon, Chinchero, Pisac, Ollantaytambo y Machu-Pichu. Existen también restos de impresionantes canales y acequias del período pre-incaico cerca de Piquillacta, en la pendiente del extremo sudeste del valle del Cuzco.

En los casos en que el manantial fluye por el fondo de un valle, la primera terraza de cultivo está normalmente lejos del depósito, ya que éste se encuentra más bajo que la zona circundante y por lo tanto, que no puede regarse por gravedad. El canal normalmente atraviesa esta distancia mediante un túnel que, como los de las minas, se excava a cielo abierto. Las paredes se sujetan con rocas sin argamasa, se cubren con bloques de piedra y luego con cantos. De esta manera, los agricultores protegen sus canales y evitan que el agua que fluye por ellos encuentre obstáculos. Estos túneles-acequia pueden verse en Ein Khandaq y en Ein Artas.

Las acequias se ramificaban en canales secundarios. En lo alto de la superficie de aterrazamiento, las acequias que atraviesan las zonas de cultivo se convierten en surcos superficiales de 10 a 20 cm de ancho y 10 cm de profundidad. (Fig. 13).

A veces era necesario conducir el agua de una terraza superior a otra inferior. En estos casos, la acequia se transformaba en un desnivel cavado en la roca o una cascada. Al caer el agua era captada por un canal para prevenir la erosión de la superficie próxima a la caída y las pérdidas. En los canales, se han hallado aberturas circulares para dirigir el agua a la acequia deseada (Fig. 11 derecha). A veces, en Perú, estos desniveles se excavaban en las paredes de sujeción de las terrazas, como en Típon y Chinchero.

Las acequias y canales atraviesan completamente las zonas irrigadas. Las acequias principales desaguan fuera del sistema de terrazas para facilitar el drenaje del agua sobrante durante las épocas de altas precipitaciones, evitando así la erosión. Las acequias requieren trabajos de mantenimiento y reparación constantes. Ocasionalmente, puede producirse una pérdida de agua. A mayor longitud de la acequia, mayor es el riesgo de filtraciones. Generalmente, los agricultores participaban en las tareas de reparación de las acequias. (Caponera, 1954). Para evitar los frecuentes daños y las grandes pérdidas de agua, los agricultores cimentaron las paredes de las acequias principales, ya fueran excavadas en la roca o construidas con piedras, convirtiendo así las canalizaciones de tierra en otras sólidamente construidas. Las mejoras y reparaciones normalmente requerían inversiones considerables.

Las aguas flúan, por la fuerza de la gravedad, desde el manantial a través de un túnel hasta el depósito y desde allí, por medio de acequias, hasta las terrazas irrigadas.

MÉTODOS DE DISTRIBUCIÓN DEL AGUA

En la mayoría de los manantiales de poblados árabes en Tierra Santa, hoy, al igual que en el pasado, el agua pertenece a todos los habitantes. La utilizan para sus necesidades domésticas. Los derechos de regadío, sin embargo, se adjudicaban de acuerdo con la propiedad de los terrenos irrigados. Cada uno de los propietarios poseía una porción fija del agua del manantial. Un agricultor no podía transferir o vender parte de sus terrenos irrigados sin vender también los derechos sobre el agua. Tampoco podía vender estos derechos sin la tierra asociada a ellos. (Caponera, 1954). Los derechos sobre el agua se conocían en Tierra Santa desde la Antigüedad. Existe evidencia de ello en documentos: derechos sobre el agua vendidos o transferidos junto con la tierra, como los que se mencionan en la Mishna (siglo I d.C.). La distribución del agua se realizaba de acuerdo con la superficie de cultivo, los derechos heredados por los clanes del poblado y los de las familias de cada clan. El agua se repartía de acuerdo con un esquema fijo. La duración de un turno de riego dependía del caudal del manantial y del número de agricultores que lo compartían. Cada granjero sabía el tiempo que le correspondía y lo respetaba escrupulosamente. Los propietarios recibían, de acuerdo con sus derechos, un cierto número de horas de agua en cada turno de riego. Por ejemplo, en la actualidad, en el poblado de Artas, cerca de Bethlehem, cada propietario recibe agua una vez cada 12 días. En Battir, al oeste de Jerusalén (Fig. 15), el sistema de terrazas de riego está dividido entre los ocho clanes propietarios de la tierra en el poblado, recibiendo cada uno agua cada ocho días. El agua se distribuye entre las familias del clan de acuerdo con sus derechos. La cantidad de agua está fijada por el período de tiempo en que el agua fluye por cada parcela. (Un fenómeno similar se registra en Yemen, de acuerdo con Varisco, 1983). Pero existen también otros factores que afectan a la distribución. Una parcela de cierto tamaño, en época primaveral, recibe menos agua que otra de igual medida en época más avanzada de la primavera. De este modo se compensa la pérdida de agua de la acequia, de modo que las parcelas del mismo tamaño reciben más o menos la misma cantidad de riego. Esto ocurre en el poblado de Artas.

En ocasiones, el agua se distribuía en base al volumen y no de acuerdo con el tiempo de riego. La medición se efectuaba observando la disminución del nivel de agua del depósito (Varisco, 1983 registra un fenómeno similar en Yemen). En el poblado de Battir, uno de los ancianos de la villa es el responsable de la distribución del agua, con el acuerdo de todas las familias. Con una vara de madera, en la que hay insertadas una serie de clavijas, mide la profundidad del agua. El número de clavijas es igual al número de familias que comparten el agua, siendo la distancia entre ellas el volumen de agua que corresponde a cada propietario de acuerdo con sus derechos. El anciano se dirige al depósito, inserta la vara y ordena la apertura de la salida de agua. El agua fluye por las acequias hasta la parcela de la familia que posee el turno de riego. Cuando el nivel llega hasta la siguiente clavija, el paso de agua se cierra.

La distribución de agua de acuerdo con un sistema regulador forzaba a los agricultores a completar el riego de todas sus parcelas en el corto tiempo de su turno. El sistema no siempre resultaba conveniente ya que, por ejemplo, surgían problemas si el turno de riego

correspondía a las horas más calurosas del día debido al alto grado de evaporación o si no se adaptaba a las necesidades específicas de un cultivo determinado (por ejemplo, algunas cosechas requerían menos cantidad de agua con mayor frecuencia). Para resolver estos problemas, los agricultores construían depósitos en sus terrenos que, al contrario que los depósitos comunales, eran de propiedad privada. Se construían en las zonas laterales de los campos de riego para no desperdiciar tierra de cultivo. Estos depósitos privados se han hallado en los poblados de Artas, Wadi Fukin y Dura el Kara'a, en las montañas de Judea y en Banyalbufar, en Mallorca. Veinticinco de los sesenta propietarios de Artas construyeron depósitos privados en sus parcelas (Fig. 14). De este modo, el agua de riego podía tomarse directamente de las acequias principales o de los depósitos privados. En ocasiones, a cambio de un pequeño pago (generalmente en agua), los colonos cedían a sus vecinos el uso de sus depósitos particulares. Estos servían para racionalizar el uso de las escasas aguas de los manantiales. Por ejemplo, en Artas, uno de los granjeros recibe cinco horas de agua cada doce días. Utiliza dos horas para regar su parcela, otras dos para llenar su depósito y el resto del tiempo de su turno lo cede a uno de sus vecinos, que más adelante le retribuye con un volumen equivalente.

TERRAZAS IRRIGADAS

Las áreas regadas con agua del manantial estaban formadas por terrazas completamente niveladas, lo cual constituye el más impresionante y avanzado sistema de terrazas, como es el caso de Líbano, Yemen, Mallorca, la Alpujarra, Sierra de los Filabres, norte de Portugal, Nepal y Perú. Las paredes se construían de piedra sin argamasa. Estos muros, en ocasiones, eran más altos para nivelar la terraza; en otros casos, eran pequeños y estrechos. Las terrazas se nivelaban cuidadosamente para facilitar la inundación, dividiéndose la superficie en cuadros de aproximadamente 1 m de lado. Cada dos hileras de cuadros, se construía un canal de drenaje poco profundo apilando pequeños montículos de tierra (Varisco, 1983, registra un fenómeno similar en Yemen). El agua que fluía por el surco se topaba con una barrera que la derivaba hacia un cuadro ligeramente inferior. Cuando éste quedaba inundado, la barrera se retiraba con un golpe de azada, cerrando el montículo para evitar el desperdicio de agua. El sistema de inundación por cuadros obligaba al agricultor a permanecer en el campo cerrando y abriendo los surcos y montículos durante su turno de riego (Fig. 13). La utilización de surcos que serpentean a través de la superficie de la terraza puede observarse en el Líbano, la Alpujarra y en Mallorca. En Yemen (Varisco, 1983) observa el uso simultáneo de varios surcos perpendiculares a la acequia principal.

El tamaño de las áreas irrigadas por el sistema de terrazas era directamente proporcional al caudal del manantial. Como éste habitualmente era escaso, el conjunto de aterrazamientos solía ser pequeño, siendo la superficie del más pequeño de solamente 0,2 acres. Algunos sistemas de regadío no excedían una superficie de 0,5 a 1 acre y muchos medían entre 2 y 5 acres.

Debido a la influencia cárstica y al pequeño tamaño de los acuíferos, existía una gran variación en el caudal de los manantiales, haciendo imposible en los años de sequía, el riego de todas las terrazas preparadas para el riego, por lo que algunas se dejaban en barbecho. Este fenómeno es característico de Wadi Fukin, donde en 1971 solamente fue posible el cultivo del 59% del área preparada para riego con agua de los cuatro manantiales de la villa.

En 1945 únicamente pudieron regarse el 57% y en 1937 sólo el 77%. Los agricultores realizaron un gran esfuerzo para conservar las áreas de cultivo, arando y abonando la tierra y realizando el mantenimiento del sistema. Generalmente, las parcelas irrigadas se utilizan para cultivos intensivos de crecimiento rápido. En las terrazas pueden verse pocos árboles ya que su sombra perjudica el desarrollo de las cosechas.

TERRAZAS IRRIGADAS EN LADERAS Y VALLES

Las terrazas irrigadas pueden dividirse en dos grupos ligeramente diferenciados de acuerdo con su localización topográfica: terrazas irrigadas ubicadas en fondos de valle (Fig. 14) y terrazas irrigadas ubicadas en laderas (Fig. 15).

Las terrazas de los valles suelen ser más anchas que las de las laderas. En los valles que poseen zonas de drenaje pequeñas, se utiliza el ancho total del mismo para construir anchas terrazas, aprovechando el canal natural del río que corre por debajo de ellas. Este es el caso en Ein Sit Miriam y en Ein Karem o Ein Qobi. En Tipon, en la región peruana del Cuzco, puede observarse un fenómeno similar. En los valles que poseen un área de desagüe mayor, se construye un sistema de drenaje para sustituir el lecho enterrado del río y eliminar así el exceso de agua. Este es el caso de Artas, Wadi Fukin y Walaja, donde se excavó un canal artificial de desagüe en un costado del valle a un nivel más elevado, con lo que el lecho enterrado del río dejó de ser un obstáculo en el centro del sistema de terrazas (Fig. 16). En algunos casos, las acequias principales funcionan como desagües, reemplazando el cauce natural del río enterrado como en Ein Khandaq y Walaja (Fig. 16B).

Cuando un arroyo atraviesa un sistema de terrazas, se construyen muros de piedra a ambos lados del cauce para proteger las terrazas y las dos laderas del valle de la erosión. Lo mismo ocurre en Pisac y en Río Colca, en el Perú. Por otra parte, no es necesario drenar la pendiente después de ser aterrazada, ya que el exceso de agua se dispersa y es absorbido por el suelo. Los senderos en la pendiente pueden ocasionar problemas de drenaje ya que se convierten en salidas para el flujo de agua canalizado. Por ello siempre eran bordeados con piedras. La construcción de terrazas en ángulo recto con respecto a la pendiente creaba considerables diferencias de altura entre unas y otras. Esto obligaba a la instalación de diferentes sistemas como cañerías, canalones y resbaladeros para transportar el agua de una terraza a la otra (Fig. 11, derecha). Por otra parte, en los valles donde las diferencias de altura entre las terrazas era menor no existía la misma necesidad de dirigir el agua, ya que las acequias principales corrían de forma paralela al valle.

Las terrazas irrigadas en laderas estaban situadas por debajo del manantial y el depósito, pero a escasa distancia en sentido horizontal. En los lechos de los ríos existía a veces una distancia considerable entre el depósito subterráneo y la primera terraza irrigada, que, obviamente, tenía que estar por debajo. La distancia se superaba mediante el excavado de una acequia subterránea.

En ocasiones, el agua del manantial se elevaba para acortar la distancia horizontal entre el depósito y la primera terraza. La elevación se conseguía construyendo el suelo del depósito por encima del fondo del túnel del manantial. No existía pérdida de agua ya que cada gota

que salía del manantial iba a parar al depósito. El agua elevada se hacía pasar por un túnel para prevenir la evaporación. Tampoco existían pérdidas por infiltración, ya que los lados del túnel estaban cimentados y el fondo excavado dentro de la vía de agua. Por ejemplo, en Ein Khandaq, cerca de Jerusalén, el agua se elevaba 140 cm y se conducía por un canal que regaba la primera terraza a lo largo del valle, a veintidós metros del depósito, en lugar de los 91 metros que existirían sin esta elevación. El mismo método de elevación de agua se utilizaba en el antiguo túnel de Shiloah, Ein Sappir (Fig. 5), Ein Seif, Walaja (Fig. 17), Abu Ghosh y otros manantiales. En estos casos, la acumulación de agua elevaba el nivel dentro de los túneles convirtiéndolos en parte del depósito. De este modo se aumentaba el área de almacenamiento subterránea para proteger el agua de la evaporación.

Los túneles de elevación de agua a menudo eran ampliados y utilizados como depósitos en lugar de los estanques a cielo abierto. Para ello, se construía una pared de piedras en su extremo final, donde existía una abertura que permitía el paso del agua a través de la acequia principal durante los turnos de riego. De esta manera el agua se elevaba hasta el túnel para su almacenamiento. Un ejemplo de este tipo puede encontrarse en el manantial de Ein es Seif en el valle a los pies de la villa de Walaja (Fig. 1).

Atravesar las áreas aterrazadas era difícil, mucho más en el caso de las terrazas irrigadas. La senda más transitada contaba con una serie de escalones construidos en las paredes de la terraza, un fenómeno que también es habitual en Perú. El sendero principal dentro de un sistema de terrazas irrigadas corre paralelo a la acequia principal (Figs. 11, medio, 14, 15).

Longitud de los túneles seleccionados y número de pozos de las montañas de Judea

Nº	Manantial	Area o Poblado	Región	Longitud túnel (m)	Nº pozos
1	Ein Rafa	cerca de Abu Gosh	J	1	0
2	Ein Kesalon	Kesalon	J	3	0
3	Ein Matta 2	Matta	J	3.6	0
4	Ein Giyyora	Bar Giyyora	J	5.5	0
5	manantial	cerca de Even Sappir	J	10	0
6	Ein el Birke	Nes Harim	J	13.5	1
7	Ein Uzi 1	cerca de even Sappir	J	15	0
8	Ein Yoel	Mevo Betar	J	16.5	0
9	Ein es Seif	cerca de Wallaja	J	18	0
10	Ein Jaryut 1	Amminadav	R	18.8	0
11	Ein Jaryet 2	cerca de Ein Arrik	R	19.7	0
12	Ein el Ammar	cerca de Ein Arrik	R	22	2
13	Ein Dilba	cerca del bosque Umm Saffa	J	22.7	0
14	Ein Tanur	cerca de Wallaja	J	23.6	0
15	Ein Se'adin	Amminadav	J	24	3
16	Ein Kharab	cerca de Matta	J	24.2	2
17	Ein Hantash	cerca de Amminadav	H	25	1

18	Ein Shikh	Zova	J	25.4	2
19	Ahmed	Beit Jala	J	25.4	0
20	Ein Sataf	Kesalon	H	25.7	2
21	Ein Dilba	Sataf, cerca de Even Sappir	J	30	2
22	Ein Davan	cerca de Arub, cerca de Hebrón	J	34	0
23	Ein Bikura	cerca de Ora	J	39.5	3
24	Ein Hod	Sataf, cerca de Even Sappir	R	40	0
25	Ein el Balad	cerca de Nes Harim	J	40	3
26	Mai Nefto'ah	Gibeon (el-Jib)	J	41	2
27	Ein Haska	cerca de Jerusalén	J	41	0
28	Ein Khandaq	cerca de Halhul	J	42	0
29	1	Even Sappir	J	42.8	1
30	Ein Sappir	Even Sappir	J	45	1
31	Ein Minhar	cerca de Bar Giyyora	H	50.5	4
32	Ein Sit	Ein Karim	J	51	2
33	Miryam	cerca de Hebrón	J	52	1
34	Ein Unkur	Nes Harim	J	52	1
35	Ein Marj el	Even Sappir	H	58	0
36	Ein	Beit Zait	J	60	3
37	Ein Khandaq	Battir	H	62	1
38	2	Beith Nekoffa	J	65	2
39	Ein Broshin	Artas, cerca de Bethlehem	J	69	3
40	Ein Balad	Zova	H	100	1
41	Ein Nakaa	Mevo Betar	H	225	1
	Ein Artas	entre Bethlehem			
	Ein Zova	y Hebrón			
	Ein Qobi	Beith Jala			
	Ein Wadi el				
	Biyar				
	Ein Jeweizeh				

(J) Montañas de Jerusalén (H) Montes de Hebrón (R) Montes de Ramallah

BIBLIOGRAFIA

- ABDULFATTAH, K. (1981), *Mountain farmer and fellah in Asir, south-west Saudi Arabia*. Erlangen.
- AMIRAN, R. (1975), "The water supply of Israelite Jerusalem", in *Jerusalem Revealed* (Jerusalem), pp. 75-8.
- BARCELÓ M., M. A. CARBONERO, R. MARTÍ y G. ROSSELLÓ-BORDOY (1986), *Les Aigües Cercades*. Institut Estudis Balearics, Palma de Mallorca.
- BEAUMONT, P. (1968), "Qanats on the Varamin Plain, Iran", *Trans. Inst. Br. Geogr.*, 45, pp. 169-80.
- (1971), "Qanat's systems in Iran", *Bull. Int. Ass. Hydro.*, XVI.

- BLISS, F. J. and DICKIE, A. C. (1898), *Excavations at Jerusalem, 1894-1897*. London.
- BUNYARD, P. (1980), "Terraced agriculture in the Middle East", *Ecol.*, 10, pp. 312-316.
- CAPONERA, D. A. (1954), "Water laws in Moslem countries", *FAO Development Paper*, no.43, Roma.
- CARBONERO, M. A. (1984), "Terrasses per al cultiu irrigat i distribucio social de l'aigua a Banyalbufar (Mallorca)", *Documents d'Analisi Geografica*, 4, Dept. de Geografia Univ. autonoma de Barcelona, pp. 31-68.
- (19) *L'espai de l'aigua. Petita hidraulica tradicional a Mallorca*, Palma de Mallorca.
- CONDER, C. R. and H. H. KITCHENER (1883), *The survey of Western Palestine*, Vol. II, London.
- COOK, O. F. (1916a), "Agriculture and native vegetation in Peru", *Jl Washington Acad. Sci.*, 6, pp. 284-93.
- COOK, O. F. (1916b), "Staircase farms of the Ancients", *Natn. Geogr. Mag.*, 29, pp. 474-534.
- COOK, C. W. (1931), "Why the Mayan cities of the Peten district, Guatemala were abandoned", *Jl Washington Acad. Sci.*, 21: 283-7.
- CRESSEY, G. B. (1958), "Qanats, kargey and foggaras", *Geogr. Rev.*, 48, pp. 27-44.
- DALMAN, G. H. (1932-35), *Arbeit und Sitte in Palastina*. Vols. 2, 3, 4 (Gueterslah).
- DESPOIS, J. (1961), "Note sur les Cultures en Terrasses de la Sardaigne", *Revue Geogr.*, Lyon 36:7-11.
- DEVER, W. G. (1969), "Water systems of Hazor and Gezer", *The Biblical Archaeologist*, pp. 71-78.
- DONKIN, R. A. (1979), *Agricultural terracing in the Aboriginal New World*. Tucson.
- ENGLISH, P. W. (1968) "The origin and spread of qanats in the Old World", *Proc. Am. Phil. Soc.* 112, de OLARTE ESTRADA, J., "Agricultura Y Poblamiento en las Vertientes de los Andes Centrales", *Revista Universitaria Cuzco*, pp. 240-272.
- EVENARI, M., L. SHANAN and N. TADMOR (1971), *The Negev, the challenge of a desert*, Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass.
- GADE, D. W. (1975), *Plants, man and the land in the Vilcanota valley of Peru*. La Haya.
- GAUSSEN, H (1927), "Les Cultures en Terrasses dans le Bassin Mediterranéen Occidental", *Annals Geogr.*, 36, pp. 276-278.
- HULUN, J. (1959), *Le Geographie de l'Afghanistan*. Copenhagen
- IONIDES, M. G. (1939), *Report on the water resources of Trans-Jordan and their development*. London
- KIRKBY, A. V. (1969), "Primitive irrigation", in R. J. CHORLEY (ed.), *Water, earth and man*, London, pp. 209-12
- LAMON, R. S. (1935), *The Megido Water System*, Chicago Univ. Press, Chicago.
- MACALISTER, R. A. S. (1902), "Ain el Khanduk", *Palestine Explor. Fund Q. Stat* (PEFQSt) 34, pp. 245-247.
- MASTERMAN, E. (1902), "The recently discovered aqueduct from the Virgin's Fountain", *PEFQSt.*, 34, pp. 35-38.
- MAZAR, A. (1975), "The aqueducts of Jerusalem", in *Jerusalem revealed*, Jerusalem, pp. 79-84
- (1984), *Survey of the Jerusalem aqueducts*, 27 pp. *Papers at the Symposium Historical Water Development Projects in the Eastern Mediterranean*. Braunschweig.
- MINISTRY OF AGRICULTURE, WATER COMMISSION, HYDROLOGICAL SERVICE (1973) *Judean and Samarian Springs*, "Flow and Water Quality Data for the Period 1967/68-1970/71". Jerusalem.
- PORATH, Y. (1985), *Ancient Irrigation Agriculture in the Arid Zone of Eretz Israel*, Ph.D. thesis, Tel-Aviv University.

- PRITCHARD, J. B. (1961), *The water system of Gibeon*, Univ. of Pennsylvania Museum Monographs, Philadelphia
- RON, Z. (1966), "Agricultural terraces in the Judean mountains", *Israel Explor. Jl*, 16, pp. 33-49, 111-22.
- (1985), "Development and management of irrigation systems in the mountain regions of the Holy Land", *Transactions of the Institute of British Geographers*, 10, pp. 149-69.
- (1986a), "Geohydrological breakthrough in the First Jewish Temple Period and its effect on the development of ground-water resources", *Proceedings of the 12th Archaeological Conference in Israel*, Jerusalem.
- (1986b), "Ancient and Modern development of water resources in the Holy Land and the Israeli-Arab conflict - a reply", *Transactions of the Institute of British Geographers*, 11:360-9.
- ROWE, J. H. (1963), "Inca culture at the time of the Spanish Conquest", in STEWARD, J. H. (ed.) *Handbook of South American Indians*, New York, pp. 183-300.
- SCHICK, C. (1908), "The second Siloah Aqueduct", *PEFQSt.*, 40, p. 29.
- SCHUMACHER, G. (1911), "The great water passage of Khirbet Bel' Ameh", *Palestine Exploration Fund Quarterly Statement*, pp. 107-12.
- SHILOH, Y. (1921), "The rediscovery of 'Warren's Shaft'", *Biblical Archaeology Review*, 7, pp. 24-39.
- (1984), "Excavations at the city of David, interim report of the first five seasons", *Qedem, Monographs of the Institute of Archaeology*, Vol. 19, The Hebrew University of Jerusalem
- SWANSON, E. (1955), "Terrace agriculture in the Central Andes", *Davidson J. Anthropol.*, I, pp. 123-32.
- VARISCO, D. M. (1983), "Irrigation in the Arabian valley, a system of highland terraces in the Yemen Arab Republic", *Expedition*, 25, pp. 26-34.
- YADIN, Y. (1970), *Hazor, the head of all these kingdoms*, con un capítulo sobre el israelí Megido, London.

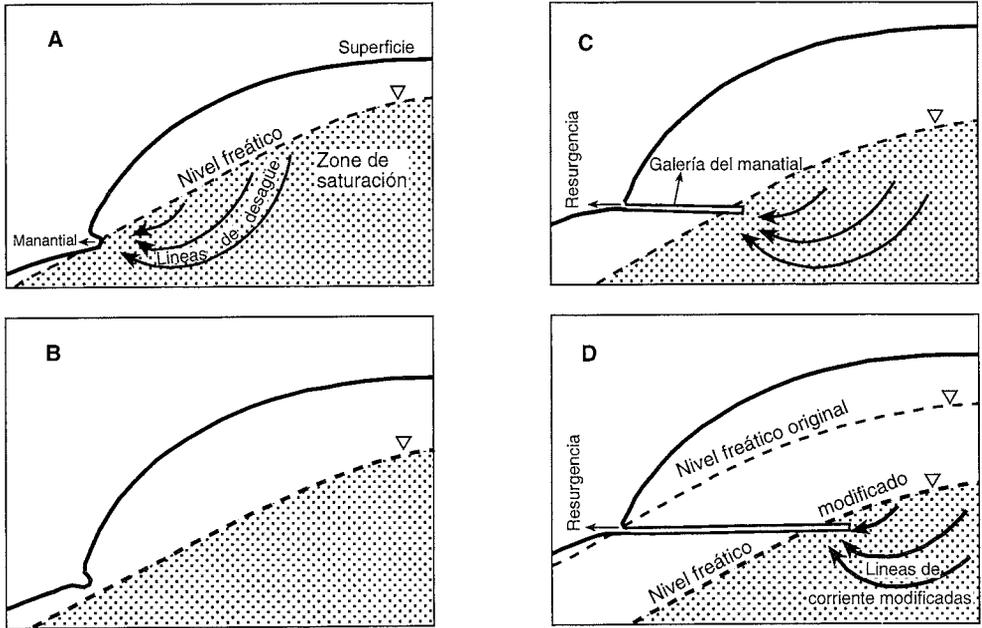


Fig. 1. Diferentes estadios del desarrollo de un manantial para riego. Los túneles se excavaban y alargaban constantemente, siguiendo el nivel de las aguas retroceso para renovar y aumentar el caudal del manantial. (Mapa realizado por Z. Ron).

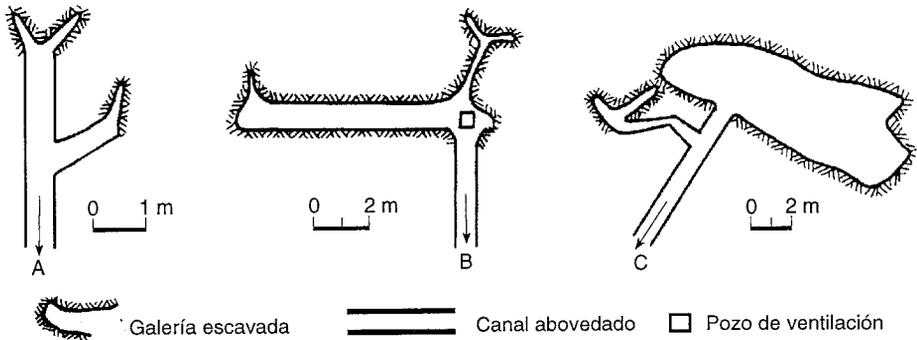


Fig. 2. Tipos de ramificaciones en túneles. A: Ein Dilba, Walaja, cerca de Battir (Montañas de Judea). El túnel principal se divide en tres más pequeños. B: Ein Münhar, cerca de Bar Giyyora (Montes de Jerusalén). El túnel principal se alarga y se divide en varios túneles. C: Ein Bikura, Sataf (Montes de Jerusalén). El túnel principal se ramifica en un túnel secundario, mientras que el cauce principal atraviesa una cavidad excavada. (Mapa realizado por Z. Ron).

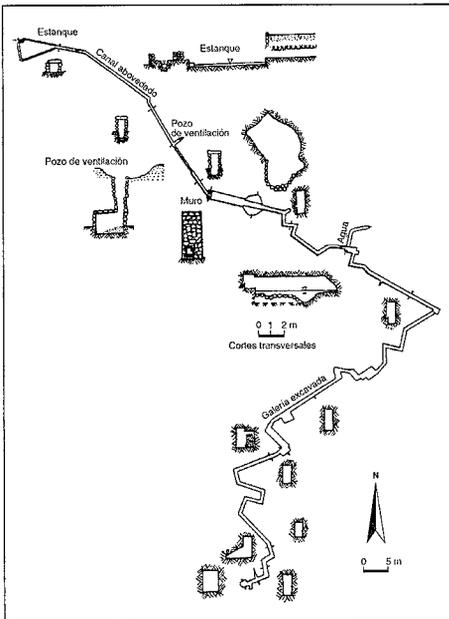


Fig. 3. Ein Jeweize, Beit Jala, cerca de Battir (Montañas de Judea), la mina más larga encontrada en Tierra Santa. Longitud total: 225 m. El 20% del recorrido del túnel era un canal abierto cubierto con piedras y tierra y convertido en un túnel o canal techado (desde el depósito hasta la pared). La parte interior del túnel estaba tallada de manera horizontal a la roca sólida. (Mapa realizado por Z. Ron).

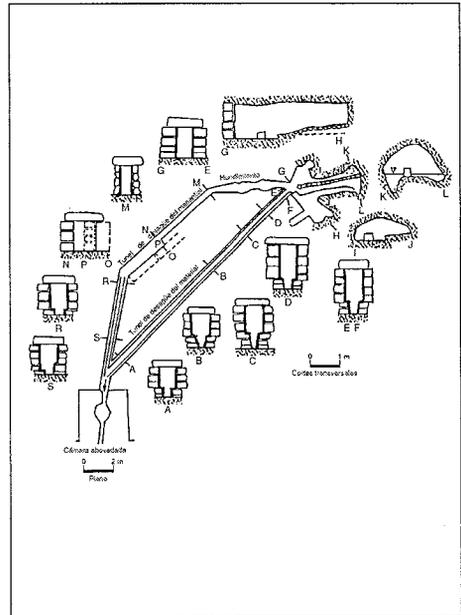


Fig. 4. Minas de Ein Zeitim cerca de Zefat (Safad), Alta Galilea. La parte interior está excavada en la roca, mientras que la parte exterior está constituida por dos canales techados. La línea gruesa es argamasa. (Mapa realizado por Z. Ron).

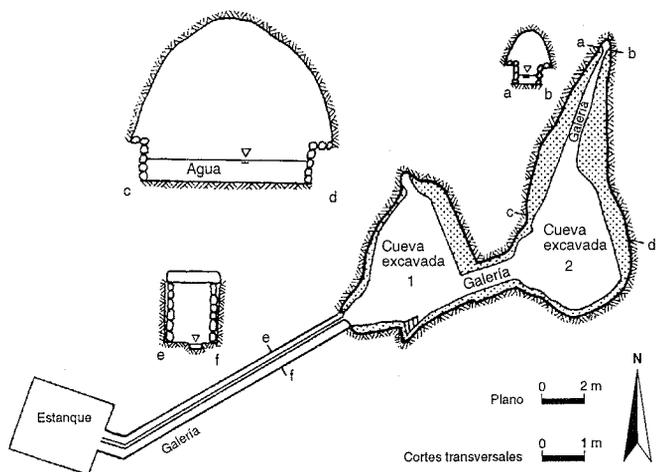


Fig. 5. Sistema subterráneo de Ein Sappir, Even Sappir (Montes de Jerusalén). Dos o tres momentos del desarrollo. En cada uno puede verse un túnel estrecho que se expande en su extremo interior dentro de una cámara. El agua del manantial se elevaba 50 cm. (Mapa realizado por Z. Ron).

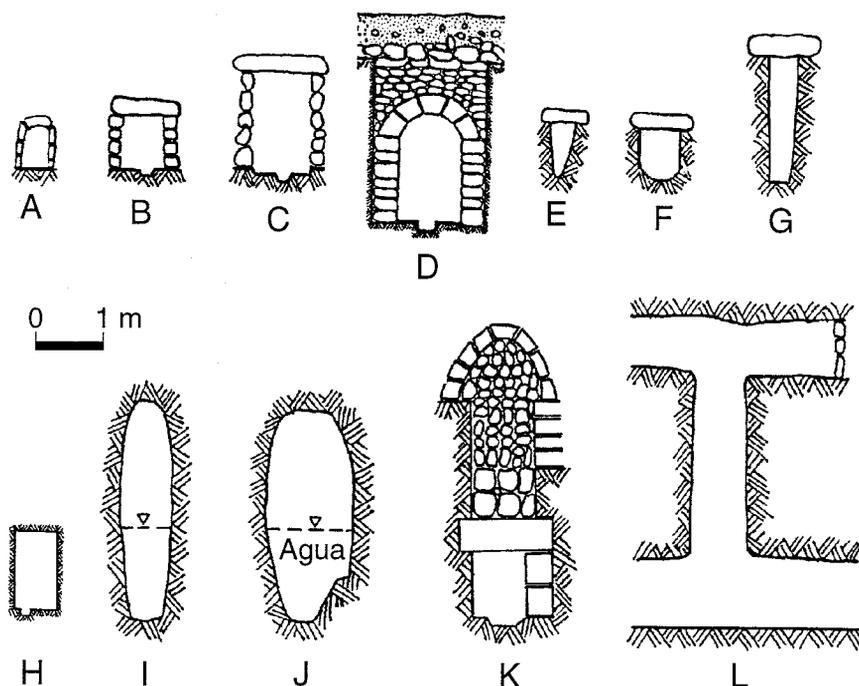


Fig. 6. Secciones de varios tipos de mina. A a G: los túneles se excavaban como canales abiertos o acequias y luego se cubrían con trozos de piedra tallados toscamente (A-C, E-G) o con sillares abovedados (D). En algunos de estos túneles los lados se reforzaban con paredes de piedra (A-D). H a J: Túneles excavados en la roca. K, L: túneles elevados secos, abandonados como resultado del retroceso del nivel del agua. Puede verse que un pozo ha sido excavado (L) o que el suelo del túnel ha sido profundizado (K) hasta penetrar en la zona de saturación y luego drenado a través de una mina inferior. La parte superior del túnel excavado (K) ha sido en parte bloqueada con rocas y piedras, sirviendo como depósito para el material extraído al excavar la parte inferior. Ubicación: A- Ein Unkar, cerca de Hebrón, B: Ein Haniya, cerca de Battir, C: Ein Bikura, Sataf, cerca de Jerusalén, D: Ein Zova, cerca de Jerusalén, E: Ein Haska, Halhul, cerca de Hebrón, F: Ein el Ammud, Hussan, cerca de Battir, G: Ein Balad, Battir, H: Ein Nakaa, Beith Nekoffa, cerca de Jerusalén, I y J: Ein Khandaq, cerca de Jerusalén, K y L: Ein Artas, cerca de Bethlehem. (Mapa realizado por Z. Ron).

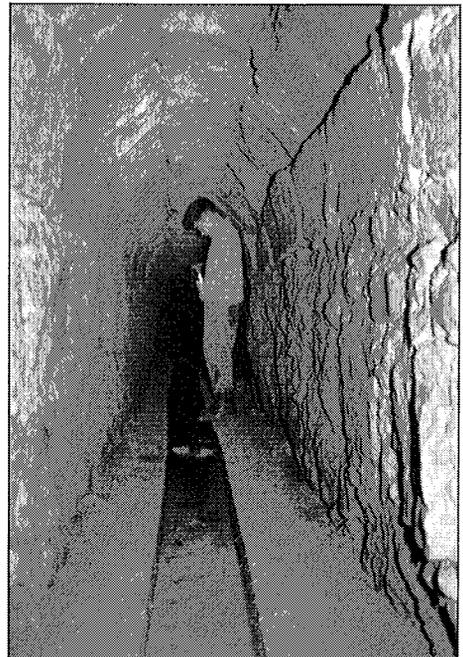
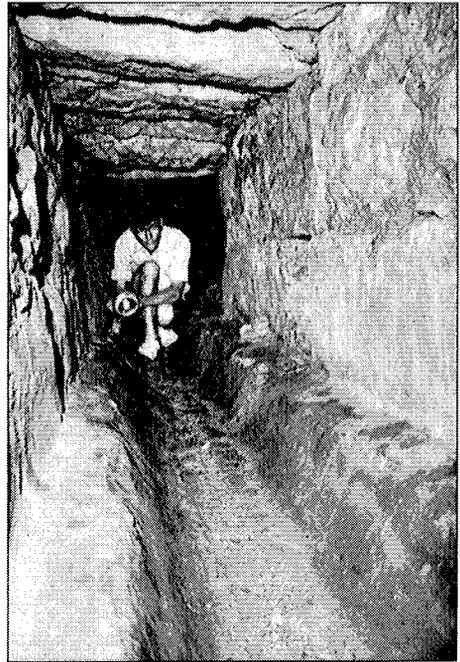
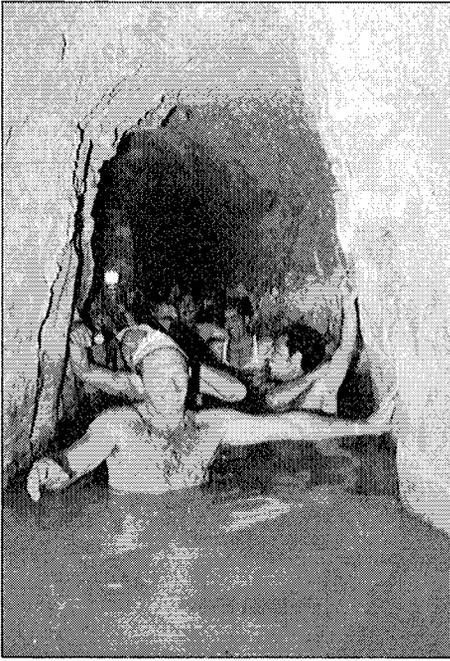


Fig. 7. Diferentes tipos de minas. Izquierda: un túnel excavado en la roca. Las aguas del manantial se elevan 140 cm y se encauzan en el túnel. Ein Khandaq (ver también figura 6, I-J). Centro y Derecha: túneles excavados como acequias y cubiertos posteriormente: Centro, Ein Haniya, túnel cubierto con trozos de roca, Derecha, Ein Zova, túnel cubierto con un techo de sillares abovedados (ver también fig. 6, D). Los desagües están cimentados. (Mapa realizado por Z.Ron).

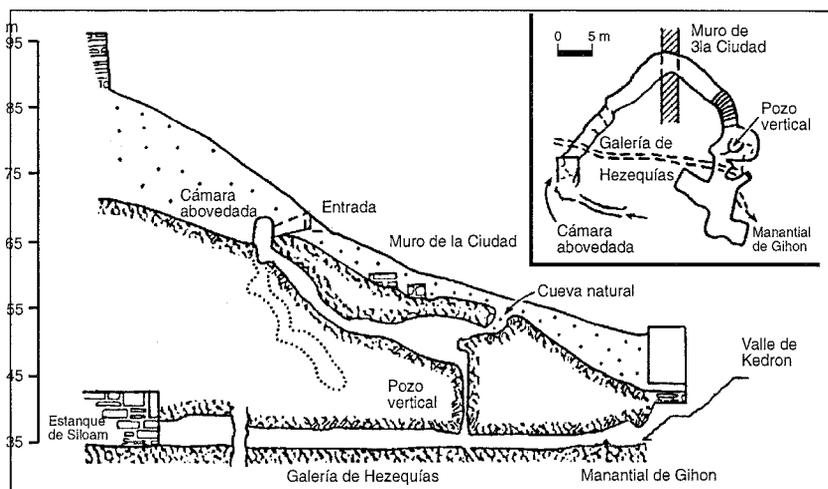


Fig. 8. Pozo de Warren y manantial de Gihon (Siloam), ciudad de David, Jerusalén Vieja (según Shiloh, 1984).

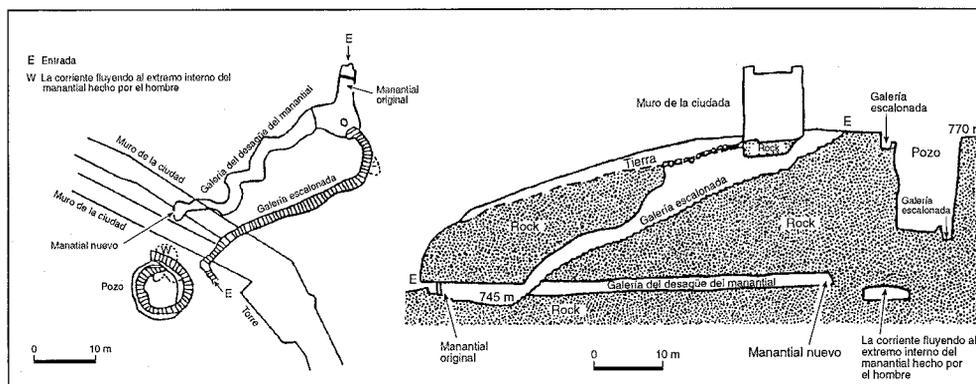


Fig. 9. Sistemas subterráneos de Gibeon, plano y secciones superpuestas (según Pritchard, 1961).



Fig. 10. Depósito subterráneo excavado de Ein Zova, cerca de Jerusalén. (Fotografiado por Z. Ron).

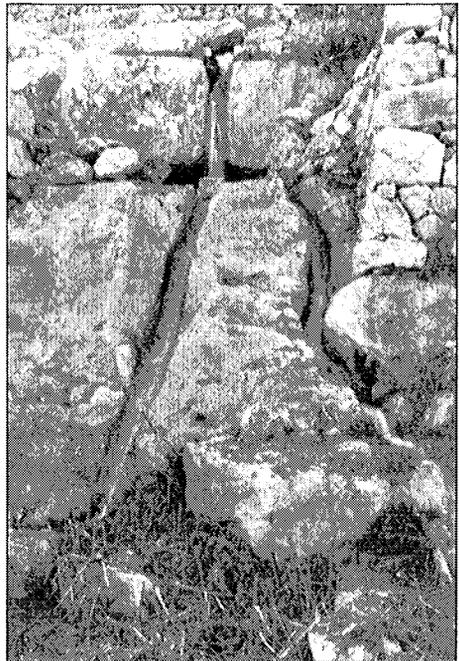
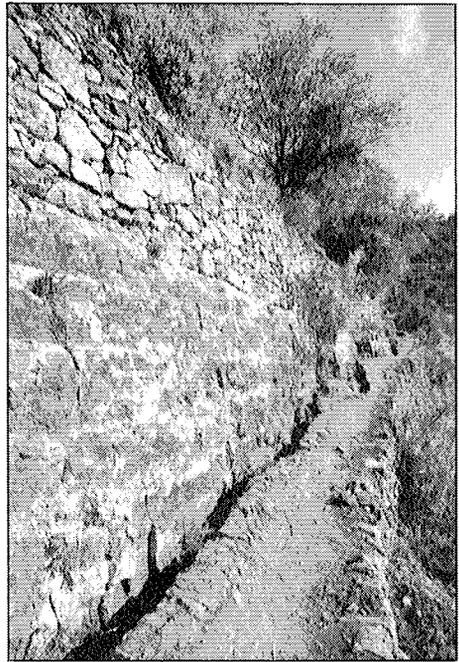


Fig. 11. Diferentes tipos de acequias: Izquierda: acequia excavada, Ein Uzi, cerca de Jerusalén. Un pequeño arco construido en la acequia que, al cerrarse, deriva el agua hacia los diferentes ramales (abajo). Centro. Acequia excavada y construida paralelamente a la senda principal a través de las terrazas irrigadas, dos metros por encima de la terraza. Ein Khandaq, Even Sappir, cerca de Jerusalén. Derecha. Acequia excavada que se convierte en una cascada y que finaliza en dos resbaladeros. El agua se almacena en dos receptáculos de piedra para prevenir la erosión y las pérdidas. Altura total aproximada de 4 metros. Ein Uzi, cerca de Jerusalén. (Fotografiado por Z. Ron).



Lám. 12. Una mina (izquierda) y una cimbra (qanat) en Andalucía. Izquierda: la mina está por encima de la villa de Gualchos (Alpujarra). Longitud 70 m, ancho 1,6 m y alto 2 m. Derecha: la cimbra (qanat) próxima a Tabernas en la Sierra de los Filabres. Longitud 2 km, altura 90 cm y ancho 70/80 cm. La parte interior excavada en terreno aluvional se denomina "mina", mientras que la parte superior se llama "cimbra". Las paredes inferiores de la cimbra están cimentadas. (Fotografiado por Z. Ron).

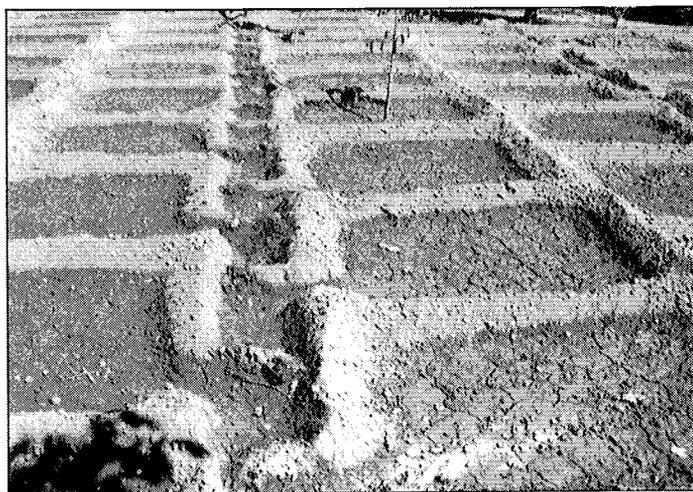
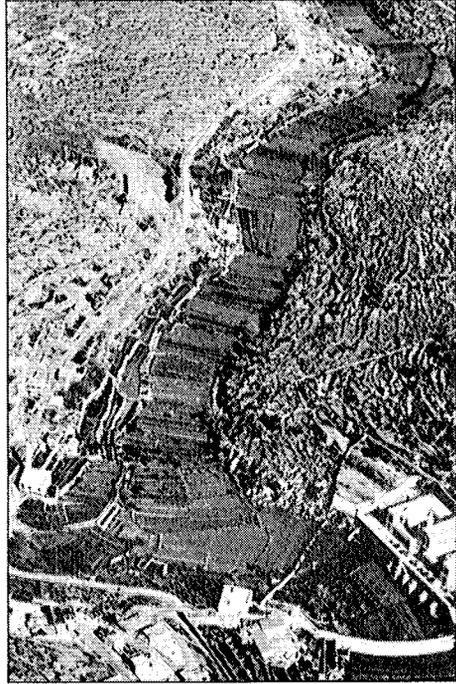


Fig. 13. Terrenos altos irrigados a ambos lados de los surcos, en la villa de Ein Raffa, cerca de Jerusalén. (Fotografiado por Z. Ron).

Lám. 14. Sistema de terrazas irrigadas construido en un valle en el poblado de Artas, cerca de Bethlehem. En la zona de riego se han construido varios pozos particulares. El poblado está situado por encima de las terrazas de riego. (Fotografiado por Z. Ron).



Lám. 15. Sistema de terrazas irrigadas construido en pendiente en un estrecho valle de Battir, en las Montañas de Judea. Un surco y una acequia parten del depósito y atraviesan el sistema de terrazas en diagonal, permitiendo el acceso a cada hilera de terrazas. El surco principal en dirección al poblado (a la izquierda) se encuentra fuera del área de riego. La villa se encuentra por encima de las terrazas regadas. (Fotografiado por Z. Ron).

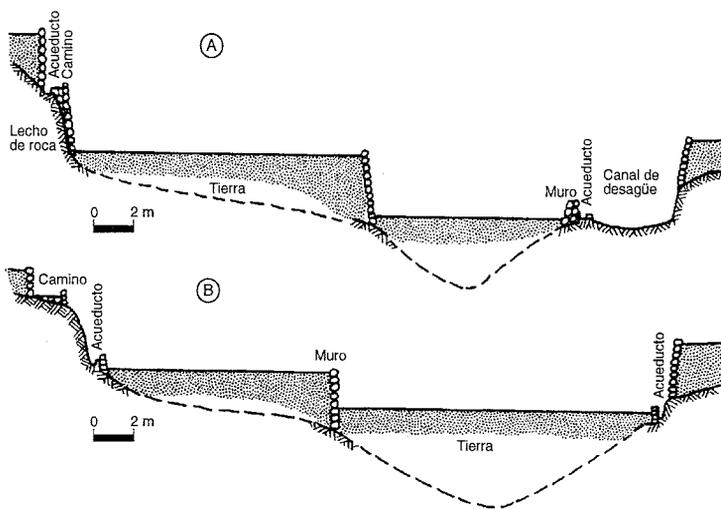


Fig. 16. Sección de un sistema de terrazas elevadas construido en un valle cerca de Amminadav. Las terrazas cubren el ancho total del valle. El manantial atraviesa las terrazas de manera subterránea. Para facilitar el drenaje, el cauce ha sido reemplazado por un canal de desagüe en la margen este, excavado en la pendiente y con una pared que protege las terrazas adyacentes (A), o que desagua en las acequias laterales (B). (Mapa realizado por Z. Ron).

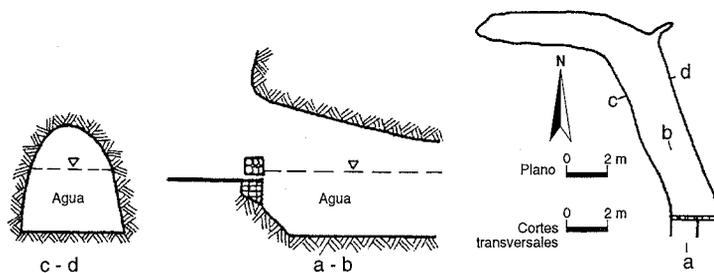


Fig. 17. Mina in Ein es Seif, Walaja, Montes de Jerusalén. El agua del manantial se eleva mediante una acequia construida por encima del final del túnel. La parte más ancha se utiliza como depósito subterráneo en lugar de una alberca descubierta. Posee una pared de piedras en el extremo exterior del túnel y el agua se eleva aún más. (Mapa realizado por Z. Ron).