

## Caso 5\*

# Brasil, Kenia: Presas Sub-superficiales para Aumentar el Almacenamiento de Agua Subterránea en Terrenos con Basamento para la Subsistencia Humana

**Autor:** Stephen Foster

**Gerente de Proyecto:** Gabriel Azevedo y Alexandre Baltar (World Bank - LCR) y Rafik Hirji (Banco Mundial – ENV)

**Organismos Contraparte:** Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) – Brasil y Fundación SASOL–  
Ministerio de Recursos Hídricos e Irrigación, Kenia

*El objetivo de estas iniciativas fue evaluar la estrategia técnica, los beneficios sociales y la eficacia económica de las llamadas presas sub-superficiales para aumentar el almacenamiento del acuífero en terrenos semiáridos con basamento, con agua subterránea natural muy limitada y alta propensión a la sequía. Se considera que estas presas son una posible tecnología de bajo costo que podría ayudar a los pobres en el medio rural en su batalla por sobrevivir en tales áreas. Este caso esquemático resume las condiciones de campo y los principales hallazgos, los cuales tienen una relevancia geográfica más amplia.*

Las presas sub-superficiales de uno u otro tipo (especialmente las presas de agua subterránea y arena) pueden encontrarse en varios países, particularmente en las regiones semiáridas. La tecnología utilizada no es nueva—pero su eficiencia para conservar agua subterránea, la facilidad de abordarlas con un enfoque participativo, y su relativa sencillez recientemente han revivido el interés en esta técnica.

Este estudio tiene como centro las localidades representativas de las principales experiencias nacionales de esta tecnología en:

el nordeste brasileño, en las zonas *agreste* y *sertão* del interior del Estado de Pernambuco, en donde se construyeron unas 500 presas sub-superficiales durante los noventa

el Distrito Kitui de Kenia, en donde la Fundación SASOL empezó a construir presas sub-superficiales en 1995, llegando a construir 400 y a planear otras 500.

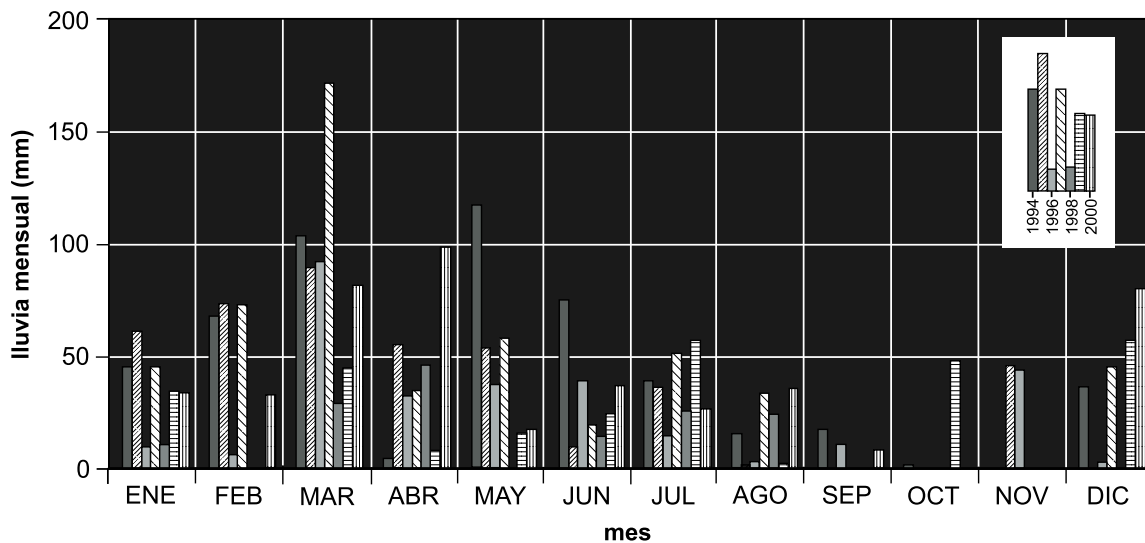
## CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS DE CAMPO

Esta sub-región (Figura 1) comprende unos 88.000 km<sup>2</sup>, con una densidad demográfica general de 25 a 75 personas/km<sup>2</sup>. Tiene clima semiárido y una lluvia promedio debajo de los 600 mm/a, con un estiaje extendido de agosto a diciembre (Figura 2), alta propensión a la sequía y una evaporación potencial arriba de los 2.000 mm/a.

La mayor parte de esta extensa región se encuentra sobre un basamento de rocas cristalinas, las cuales no cuentan con un manto intemperizado profundo y tienen una transmisión y capacidad de almacenamiento de agua subterránea extremadamente bajas. El terreno tiene un relieve suave pero significativo y en la mayor parte la ocurrencia del agua subterránea se restringe a depósitos delgados coluviales y aluviales en pequeños valles, cuyos arroyos fluyen sólo durante períodos limitados después de eventos importantes de lluvias generalmente de marzo a mayo.

En partes de esta sub-región se desarrollan suelos salinos, cuya presencia puede producir niveles significativos de salinización en el agua subterránea, lo cual puede agravarse aún más por la evaporación directa cuando la acumulación de agua en la superficie produce niveles someros de agua subterránea.

**Figura 1: Variación de la lluvia mensual durante el ciclo anual para 1994-2000 en un lugar típico en la zona del sitio en Brasil**



El Distrito Kirui está ubicado en el oriente de Kenia y cubre una superficie de 20.400 km<sup>2</sup> con una densidad demográfica de 25 personas/km<sup>2</sup>. El clima se clasifica como semiárido con lluvia errática bimodal que ocurre de octubre a diciembre y de marzo a mayo. La lluvia total va de 250 a 750 mm/a y la evaporación registrada en evaporímetro es superior a los 2.000 mm/a.

Gran parte del área está ocupada por un complejo basamento de rocas metamórficas e ígneas, cuyo manto intemperizado tiene espesor variable. Depósitos Pérmicos subyacen el lado sur del distrito, mientras que en el occidente hay depósitos volcánicos Terciarios, pero en general los recursos de agua subterránea son escasos y los ríos fluyen solamente durante las temporadas húmedas. En la parte occidental del distrito hay suelo negro "black cotton soil", pero en el resto se encuentran suelos característicos rojos arenosos de baja fertilidad.

## CONCEPTO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS PRESAS

Hay dos tipos de estructuras sub-superficiales (Figuras 2 y 3): (a) presas cortadas en la cubierta aluvial para interceptar el flujo de agua subterránea (presas de agua subterránea) y (b) presas construidas en los lechos de los cauces, aguas arriba de los cuales la sedimentación forma un acuífero (presas de arena).

**Figura 2: Construcción de una presa sub-superficial en Brasil (izquierda) y una presa madura en Kenia (derecha)**



La capacidad de almacenamiento de una presa y reservorio típicos sub-superficiales (digamos en promedio con una profundidad de 4 m, 50 m de ancho y 500 m de longitud) es de unos 10.000 m<sup>3</sup>, suponiendo un coeficiente de almacenamiento susceptible de ser drenado de 0,10. Esto no es suficiente para que tales presas proporcionen una regulación multi-anual, a menos que su uso se limite a consumo humano y animal. Sin embargo, la regulación intra-anual hace posible que el agua se aproveche para riego de pequeña escala durante el estiaje facilitando la producción de varios cultivos.

Dado que en las áreas bajo estudio normalmente la construcción de pequeñas presas superficiales ocasiona pérdidas por evaporación muy altas, la presa subterránea es una alternativa interesante, siempre que existan estratos no confinados en una profundidad de pequeña a moderada (preferentemente de no más de 10 m) y en su parte inferior haya una capa impermeable bien definida.

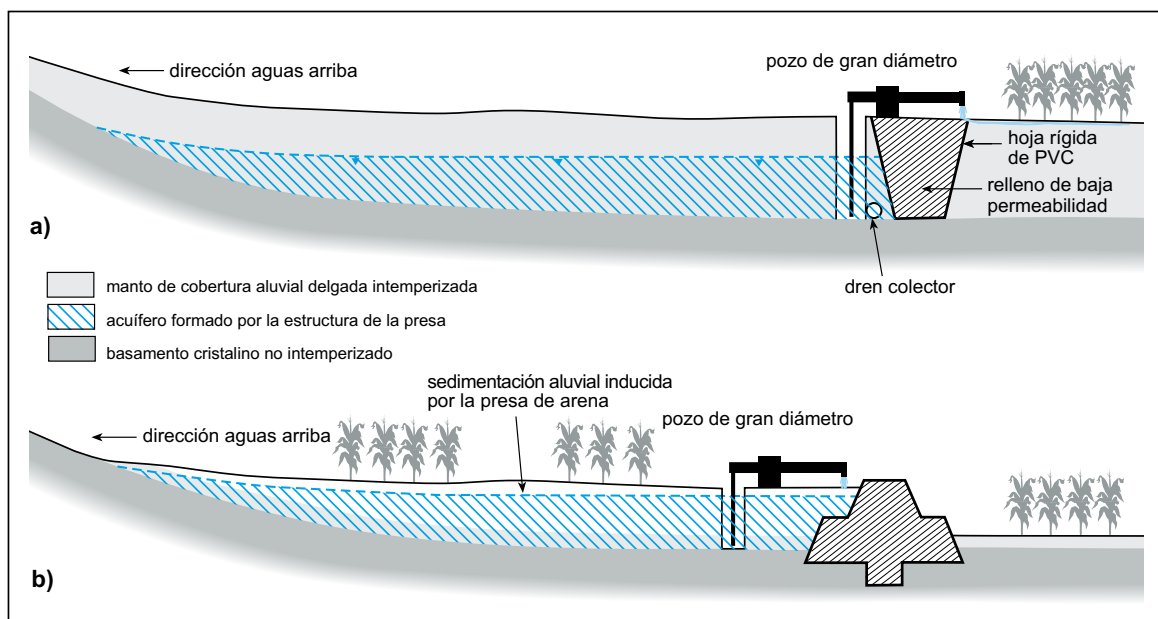
No deben construirse presas en sitios con suelos salinos. Si bien es factible reducir los niveles de sal mediante el uso continuo del agua, se requieren procedimientos operativos más allá de los que normalmente pueden esperarse de pequeños agricultores. Las mejores formas de mitigar las tendencias a la salinización son el secado periódico de los reservorios sub-superficiales y/o el mantenimiento de sus niveles de agua subterránea bastante por debajo de la superficie.

Las condiciones económicas en los sitios son tales que para construir las presas se hace necesario un enfoque participativo 'de abajo hacia arriba', para poder obtener los máximos beneficios socioeconómicos. El uso de materiales locales y mano de obra de la comunidad reduce los costos y mejora la eficiencia, aceptación y vida útil de la presa.

En resumen, los principales problemas en la construcción encontrados y documentados fueron:

- errores en la selección del sitio que ocasionan un potencial de almacenamiento insuficiente
- insuficiente profundidad para alcanzar un basamento rocoso relativamente impermeable
- ubicación en un tipo de suelo con muy baja capacidad de infiltración
- ubicación en un tipo de suelo que podría ocasionar salinización severa del agua subterránea
- pozos de extracción de baja capacidad debido a una construcción deficiente
- restricciones en la tenencia de la tierra.

**Figura 3: Secciones longitudinales esquemáticas para ilustrar (a) presas de agua subterránea y (b) presas de arena**



Durante la década de los noventa se construyeron muchas presas subterráneas con 'cubierta aluvial' (Figura 2), que pueden agruparse en tres categorías principales:

pequeñas estructuras de hasta 3 m de profundidad construidas bajo 'programas gubernamentales de emergencia durante sequías para generar empleo' en sitios seleccionados por comités municipales sin asesoría ni seguimiento técnicos; excavadas a mano, incorporando membranas de plástico y pozos de agua de gran diámetro y anillos de concreto

estructuras de tamaño similar construidas por ONG bajo iniciativas locales y con asesoría especializada, pero rellenas solamente con arcilla compactada y sin un pozo para extraer el agua

estructuras mucho mayores de hasta 10 m de profundidad (en áreas con cubierta aluvial más espesa), localizadas con criterios técnicos y construidas con el objetivo de apoyar a la agricultura de pequeña escala en zonas en donde ya había alguna agricultura de riego—con la ventaja de usar excavadoras mecánicas y la incorporación de membranas impermeables de plástico, así como pozos de agua mejorados de gran diámetro y algún monitoreo técnico.

El tamaño de las 400 presas construidas en lechos de cauces en el Distrito Kitui varía conforme las medidas del valle, y las dimensiones de las presas deben tomar en cuenta el nivel de los escurrimientos pico del río. Durante la construcción se excava en el lecho y las márgenes del río para alcanzar un estrato impermeable y firme, y en promedio las presas de Kitui tienen una altura de entre 2 y 4 m y una longitud de unos 500 m (pero también hay estructuras de 7 m de altura y 2.000 m de longitud).

Hay dos tipos de construcción: uno que utiliza un cajón de muros relleno de tabique o piedra y otro que consiste en una estructura de madera rellena de piedra y mortero, pero cuando no había piedras disponibles se utilizaban otros materiales (tales como hojas de plástico, hierro galvanizado o rollos de arcilla). En algunas zonas los pozos se construyeron cerca del paramento aguas arriba de las presas sub-superficiales (a una distancia máxima de 200 m del lecho del río) para la recolección diaria de agua y/o el riego de pequeña escala.

El diseño y construcción de presas resultaron de proyectos solicitados por la comunidad "community-driven projects". Se responsabilizó a un comité en cada sitio de la movilización local de recursos para la construcción, la planificación del trabajo, y la operación y el mantenimiento de la instalación desarrollada, mientras que los miembros de SASOL proporcionaron asistencia técnica y supervisaron la construcción.

## **EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LAS PRESAS**

### ***Proceso de Evaluación***

El reconocimiento de campo apoyado por GW•MATE se llevó a cabo en dos fases distintas. En la fase inicial se examinó un sub-conjunto ampliamente distribuido de las 500 presas conocidas y se hizo una evaluación preliminar de su estado, los problemas constructivos, la disponibilidad y calidad del agua subterránea, el tipo de uso, y sus beneficios y beneficiarios.

Con los resultados de la fase inicial, se seleccionó un grupo menor de presas representativas de las situaciones que se habían encontrado para hacer un estudio más detallado en los municipios São Caetano, Ouricuri y Mutuca. De este conjunto, se practicó una evaluación socioeconómica sistemática en 19 presas de la región de Mutuca, que se habían desarrollado principalmente para agricultura de riego de pequeña escala.

### ***Utilización Básica***

De las 151 presas visitadas en la primera fase, el 37% estaban esencialmente inactivas a causa de uno o más de los problemas constructivos mencionados antes, los cuales hacían imposible que la comunidad las utilizara. Otro 13% estaba en buenas condiciones pero la comunidad las utilizaba poco porque había también presas de agua superficial con abastecimiento confiable. El restante 50% correspondía a presas aprovechadas activamente para usos múltiples casi exclusivamente para abastecimiento doméstico, abrevadero y riego manual de pequeña escala.

### ***Beneficios Socioeconómicos***

La segunda fase de un reconocimiento socioeconómico más detallado llevó a varias conclusiones y observaciones. El beneficio de la presa sub-superficial en términos de mejorar la calidad de vida de la comunidad puede ser muy significativo como resultado de la mayor variedad y mejor calidad de los alimentos que pueden producirse. Frecuentemente las presas juegan un papel importante como abrevaderos y en la producción de forraje durante el estiaje, aunque esto genera un agua subterránea ligeramente salobre. En la Tabla 1 se presenta el desglose de costos para una presa típica, pero los costos pueden variar considerablemente dependiendo del tamaño y función de la estructura.

Las presas sub-superficiales más grandes, como las construidas alrededor de Mutuca, pueden sostener agricultura de riego de pequeña escala en el estiaje y generar ingresos para los propietarios de la tierra y la comunidad. En esta zona fue posible sembrar tres cultivos por año. Es importante señalar que la zona de Mutuca tenía ya una tradición de agricultura de riego de pequeña escala y en la zona de Ouricuri fue posible estimularla, mientras que en las otras partes (por ejemplo en São Caetano) no fue así. El acceso a los mercados es un aspecto relevante y, en donde esto no es posible, los precios de los cultivos y la generación de ingreso son mucho menores.

En localidades que experimentan un estancamiento casi total de la economía rural no es posible que la construcción de presas sub-superficiales por sí misma transforme la situación socioeconómica. Para lograr un impacto positivo, hay que abordar otros factores, tales como el abastecimiento de energía, la inversión de capital y la asistencia técnica. Es importante tomar esto en cuenta, ya que en casos como São Caetano y otros municipios, en donde se construyeron presas sub-superficiales como parte de un programa de emergencia para mitigar sequías, no se tomaron en cuenta en forma adecuada ni las necesidades de la comunidad, que es el factor primordial para escoger el sitio, ni otros factores.

**Tabla 1: Análisis de costos (en US \$) para la construcción de presas subterráneas\***

<b>COMPONENTE DEL COSTO</b>	<b>COSTO REPRESENTATIVO**</b>
<b>Estudio de Factibilidad</b>	210
<b>Construcción</b>	1410 <sup>^</sup>
<b>Apoyo Técnico</b>	275
<b>Total</b>	1895 <sup>^^</sup>

\* basado en una presa típica con 4 m de profundidad máxima y 40 m de longitud máxima

\*\* precios bajo condiciones locales en marzo de 2001 (convertidos de Reales de Brasil a un tipo de cambio de 2,0 R/US\$)

<sup>^</sup> incluye el costo de un pozo de gran diámetro para extraer al agua almacenada

<sup>^^</sup> US \$410 menos si se emplea excavación manual (no mecánica) en la presa subterránea y el pozo de agua

El análisis socioeconómico más detallado de presas construidas para apoyar la agricultura de riego de pequeña escala en el estiaje en la zona de Mutuca (Tabla 2) sugirió que en general se podía recuperar el costo de inversión en unos cuantos años de operación (en algunos casos después del primer año). Sin embargo, hay que reconocer que en el caso de esta evaluación:



por una parte, Mutaca es una zona con condiciones de alguna manera más favorables para la construcción de presas más profundas con mayor almacenamiento y también con mayor experiencia en la agricultura de riego

pero, por otra parte, tuvo que restringirse la evaluación (a causa de la falta de datos confiables durante un período largo) a la duración de un 'año hidrológico normal' cuando 6 de las 19 presas no se estaban utilizando.

**Tabla 2: Análisis beneficio/costo (en US \$) para presas subterráneas en la zona de Mutuca**

PARÁMETRO	COSTO DE INVERSIÓN	DESGLOSE DE BENEFICIOS ANUALES*			BENEFICIO TOTAL ANUAL
		Ahorro de Tiempo	Valor de producción Animal	Valor de producción de Cultivos	
promedio de 19 presas en la zona	3.413	70	702	3.216	3.987
promedio para 13 presas activas en el año de estudio	4.410	102	1.025	4.701	5.828
promedio para 8 presas con cultivos bajo riego	5.034	83	877	7.614	8.598
valores máximos para una presa individual	-	644	3.760	20.550	-

\* precios para condiciones locales en marzo de 2001 (convertidos de Reales de Brasil a un tipo de cambio de 2,0 R/US\$)

### **Utilización y Evaluación**

En Kitui hay ejemplos de presas sub-superficiales que ya han estado en operación durante 25 años, y la mayor parte de las que se han construido después todavía están en operación plena. SASOL ha llevado a cabo varios estudios sobre su uso y beneficios socioeconómicos, complementados con trabajo desarrollado por estudiantes. Actualmente se está preparando una evaluación exhaustiva hidrológica, ambiental y socioeconómica.

### **Beneficios Socioeconómicos**

La principal ventaja de las presas de Kitui es que utilizan tecnología sencilla barata y que las comunidades pueden construirlas básicamente con materiales disponibles localmente. El costo de una presa de 60 m<sup>3</sup>, con una vida útil de 50 años y un almacenamiento de por lo menos 2.000 m<sup>3</sup>, es de aproximadamente US\$ 7.500. La comunidad aporta alrededor del 40% del costo total de construcción.

A pesar de que aún no se cuenta con inventarios hidrológicos detallados, las evaluaciones iniciales indican que, como resultado de la construcción de presas de tierra, el agua está disponible con mucha mayor facilidad en el estiaje, lo cual incrementa la productividad agrícola. Por ejemplo, en la localidad de Wii, en 1999, antes de la construcción de 14 presas de arena y las estructuras parcelarias asociadas para cosecha de lluvia, solamente existían dos pozos someros productivos, y actualmente existen 39 pozos de agua en operación.

En general, en la zona de Kitui, SASOL ha construido presas consecutivas a intervalos de 0,5 a 1,0 km a lo largo de cursos de agua y casi 200.000 domicilios se han beneficiado al reducirse el tiempo promedio empleado para acarrear agua (principalmente a cargo de las mujeres) de más de 5 horas/día a menos de 1 hora/día. Por lo tanto, hay más tiempo disponible para nuevas actividades económicas, tales como la agricultura de riego de pequeña escala (cultivo

de hortalizas, viveros de árboles) y producción de ladrillo (que requiere mucha agua).

El incremento en la producción de cultivos y una mayor cantidad y calidad del abastecimiento de agua para beber han mejorado la higiene y nutrición de la gente. Este efecto puede también apreciarse en el ganado y las aves de corral, lo que incrementa más la ingesta nutricional y el ingreso económico. La mayor certeza en la disponibilidad de alimentos también ha permitido que la zona enfrente las sequías con mayor seguridad.

Un reconocimiento efectuado en la localidad de Ithumula/Maluma, mostró un incremento en el ingreso anual de sus habitantes, especialmente durante el estiaje, y 38% de los casa tenientes entrevistados manifestaron que son capaces de sembrar hortalizas en el primer año después de completar la presa; algunos han triplicado su actividad agrícola y todos se han hecho más actores de su propio desarrollo. El ingreso neto en el estiaje aumentó de US\$ 75 a US\$ 1.625, comparado con el ingreso per cápita anterior estimado en US\$ 25.

Pareciera que el uso de presas subterráneas pudiera aplicarse en otras regiones semi-áridas con suelos y clima similares, y con condiciones hidrogeológicas igualmente desfavorables. Sin embargo, es importante recordar que es necesario contar con basamento rocoso no intemperizado y relativamente impermeable a poca profundidad para que las presas aumenten el almacenamiento de agua subterránea y hay que tener cuidado con el riesgo de que se acumule la salinidad en suelos y agua. Hacen falta más estudios detallados, y ya se están llevando a cabo, para documentar los efectos hidrológicos positivos de las presas sub-superficiales y sus beneficios socioeconómicos, tanto en Brasil y Kenia, como en otras partes, notablemente en la India (ver Ramasesha et al en los Proceedings ISAR 4, Adelaide, 2002).

El factor humano es esencial para tener éxito con las presas sub-superficiales. Si no existe un esfuerzo de cooperación con la comunidad y posteriormente ésta no se siente dueña de la instalación, es poco probable que después se logre una cooperación eficaz y un mantenimiento adecuado. Es más, se requiere asistencia técnica continua para la agricultura de riego y el mantenimiento de los pozos de agua.

Un requisito fundamental para aumentar la vida útil de las presas sub-superficiales es utilizar técnicas de construcción de baja tecnología y materiales disponibles localmente, para evitar el riesgo de descuidar el mantenimiento por su alto costo.

#### Publicación

La Colección de Casos Esquemáticos del GW·MATE ha sido publicada en inglés por el Banco Mundial, Washington, D.C., EEUU. La traducción al español fue realizada por Héctor Garduño. También está disponible en formato electrónico en la página de Internet del Banco Mundial ([www.worldbank.org/gwmate](http://www.worldbank.org/gwmate)) y la página de Internet de la GWP – Asociación Mundial del Agua ([www.gwpforum.org](http://www.gwpforum.org)).

Los resultados, interpretaciones y conclusiones expresados en este documento son responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan los puntos de vista del Directorio Ejecutivo del Banco Mundial ni de los gobiernos en él representados.

#### Patrocinio económico



El GW·MATE (Groundwater Management Advisory Team – Equipo Asesor en Gestión de Aguas Subterráneas) es parte del Bank-Netherlands Water Partnership Program (BNWPP) y usa fondos de fideicomiso de los gobiernos holandés y británico.

