

ACUEDUCTO OROSI: UNA EXPERIENCIA REGIONAL SOBRE IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

Ing. Arturo Rodríguez, M.Sc.

1. Antecedentes:

El acueducto Orosi es el principal y más caro sistema del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). De su funcionamiento depende el abastecimiento de gran parte de la población de la capital y algunas ciudades cercanas. Sus características principales son:

- Fuente de abastecimiento: embalse El Llano (propiedad del Instituto Costarricense de Electricidad)
- Caudal: 2.100 l/s, que se mantiene casi constante a lo largo de todo el año.
- Longitud: 30 Km, incluyendo un túnel de casi 1 Km de longitud en las montañas de La Carpintera.
- Transporta agua cruda hasta la planta de tratamiento de Tres Ríos, con tuberías de 1.100 y 900 mm de diámetro.
- La tubería es de Hierro Dúctil con uniones espiga-campana en los primeros 4.5 Km de la conducción, y de acero soldado el resto (excepto el túnel que es de concreto reforzado).
- La máxima presión estática en su recorrido es de 520 metros columna de agua.
- Abastece al 45% de la población de San José, Cartago y Paraíso, para un total de más de medio millón de habitantes.
- Inicio sus operaciones en 1987.
- La tubería atraviesa zonas de alto riesgo sísmico y de deslizamientos. Además cruza tres ríos o quebradas donde está expuesta a inundación o socavación.

2. Estudios de vulnerabilidad

Considerando la importancia del sistema y las amenazas propias de la zona, se realizó en 1993 un primer estudio de vulnerabilidad, el cual indicó la necesidad de estudios detallados en los siguientes campos:

- Vulnerabilidad sísmica
- Vulnerabilidad geofísica
- Vulnerabilidad hidrológica, hidráulica y estructural

Estos estudios fueron realizados por consultores expertos en cada tema y sus resultados son los siguientes:

2.1 Principales riesgos detectados

Sísmicos:

- Aceleraciones en miembros de inercia diferente
- Corrimiento de fallas
- Deslizamientos asociados
- Licuefacción

Geofísicos:

- Deslizamientos
- Erosión

Hidrológicos:

- Inundación
- Socavación
- Golpe de rocas en suspensión

2.2 Principales conclusiones en el campo sísmico

Los estudios realizados luego del terremoto de Limón de 1991 demostraron que el país puede ser dividido en dos regiones con comportamiento sísmico diferente, como se muestra en la Figura 1:

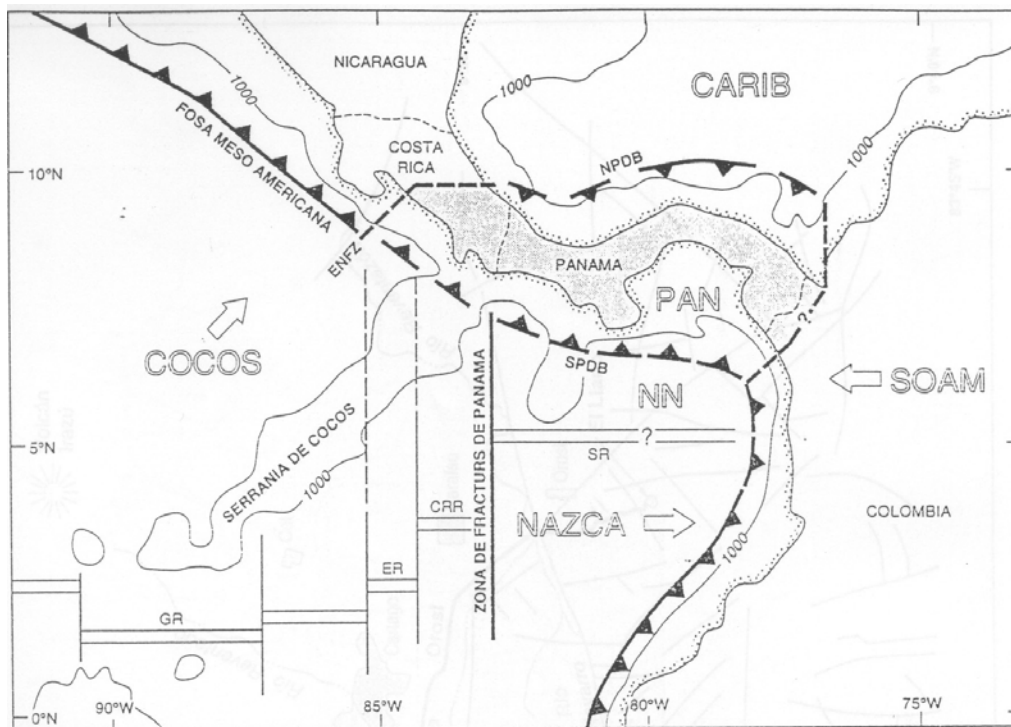


Figura 1: Placas tectónicas en la zona. Fuente: Geomatrix Consultants Inc. "Estudio de vulnerabilidad sísmica del acueducto Orosi". 1995.

En la parte norte de Costa Rica la subducción de la placa Cocos respecto a la placa Caribe ocurre con un ángulo muy leve, lo que somete al continente a un empuje muy fuerte. Ese empuje fue el que dio origen a la

península de Nicoya, que inicialmente no existía, y a todos los volcanes activos del país.

Por el contrario, en la parte sur del país la subducción ocurre con un ángulo muy fuerte, por lo que el empuje sobre el continente es relativamente pequeño.

Como resultado de la diferencia de empujes, en la parte central del país se genera un enorme esfuerzo cortante, que da origen a gran cantidad de fallas locales y centros de actividad sísmica. Estos pueden provocar terremotos hasta de magnitud 5.5 en la escala Richter que, debido a su superficialidad, pueden generar grandes daños.

Las principales ciudades, carreteras, hospitales, industrias, aeropuertos, oleoductos, etc. del país se ubican en esa zona central, incluyendo al acueducto Orosi.

Se determinó que la falla Navarro es la más peligrosa para el acueducto, ya que puede generar desplazamientos relativos de hasta 50 cm, y corta al sistema en un punto de alta presión y difícil acceso. Además, la tubería se colocó dentro de un corte de roca, con paredes sólidas a 20 cm de la tubería, y la zanja de rellenó con un material compactado que limita cualquier movimiento de la misma.

En caso de ocurrir un rompimiento de falla de 50 cm, como el previsto, las paredes de roca someterían a la tubería a un efecto de tijera que sobrepasaría la resistencia del material, llegando a romperlo. La rotura generaría un escape de agua a enorme presión que desestabilizaría totalmente la ladera donde se ubica la tubería, formando una especie de cráter donde el acceso sería sumamente difícil.

Además, el caudal en la fuga sería tan alto que provocaría enormes velocidades y altas presiones negativas dentro de la tubería, lo que haría que ésta colapsara en otros puntos del sistema.

2.3 Principales recomendaciones en el campo sísmico

Una gran ventaja la constituye el hecho de que la tubería en el punto donde cruza la falla Navarro es de acero soldado. Este material ha demostrado un excelente comportamiento sísmico siempre y cuando tenga libertad de movimiento.

Para hacer el sistema más flexible se propuso cambiar la forma de la zanja (como se muestra en la Figura 2), dejándole pendientes a 45° y rellenándola con material redondeado que permita movimiento a la hora de

un sismo. La tubería podría entonces apoyarse contra cualquiera de las paredes o incluso salir a la superficie sin llegar a romperse.

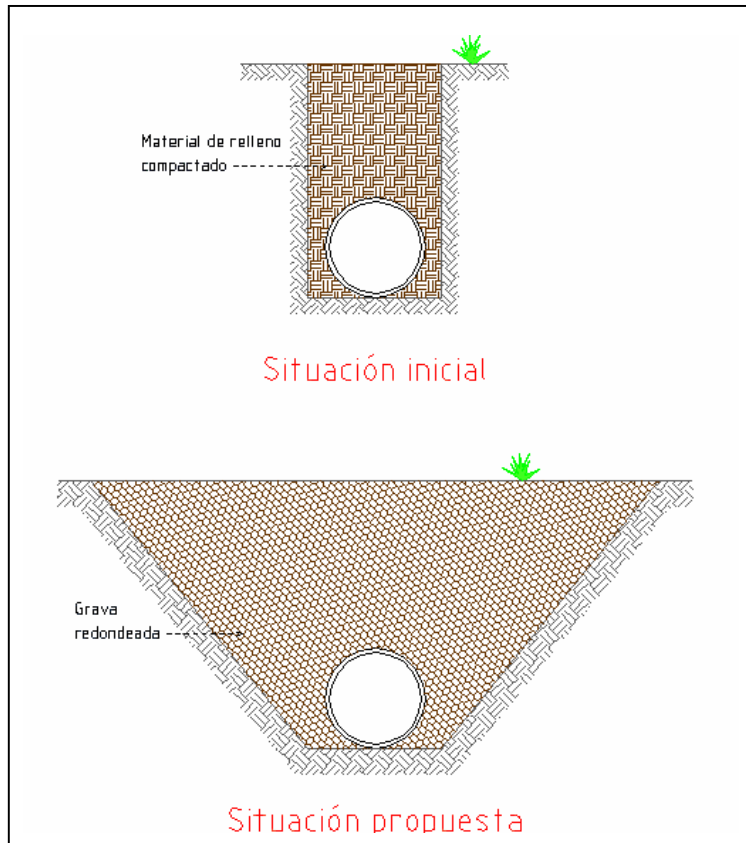


Figura 2. Recomendación implementada en el cruce de la falla Navarro

2.4 Otras recomendaciones en el campo sísmico

El cruce de la tubería por el río Agua Caliente representaba un punto vulnerable, ya que tenía una configuración muy rígida, está ubicado muy cerca de la falla Navarro y tiene una altísima presión.

Para flexibilizar el sistema se ampliaron las columnas de apoyo y el sistema de soporte, que era rígido, se cambió a uno que permite movimiento de la tubería respecto a las columnas, como se muestra en la Figura 3.

Además, un bloque de anclaje de varias toneladas ubicado cerca de la falla, fue cimentado de manera diferente, excavando y sustituyendo el terreno de apoyo por una capa de grava redondeada que le permite cierta flexibilidad a la hora de un terremoto, como se muestra en la Figura 4.

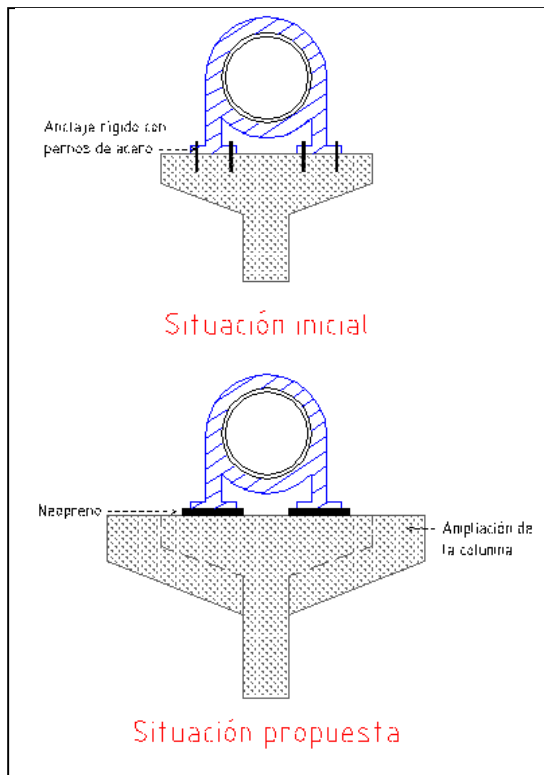


Figura 3. Flexibilización de estructura en el río Agua Caliente

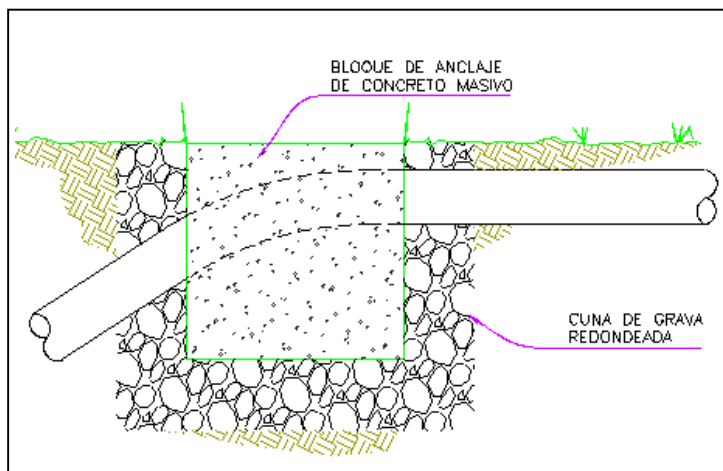


Figura 4. Flexibilización de apoyo del bloque de anclaje

2.5 Principales conclusiones en el campo geotécnico

Los primeros 7 Km de la conducción se ubican en una zona de altas pendientes (mayores a 25° en algunos casos), fuertes precipitaciones ocasionales y una conformación hidrogeológica que favorece los deslizamientos, como se muestra en la Figura 5.

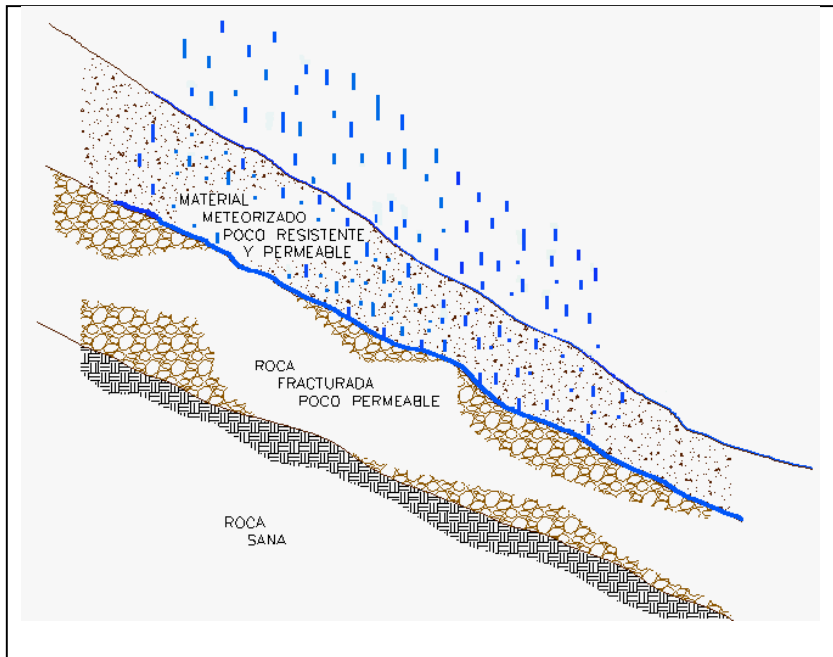


Figura 5. Condición geológica predominante

Como se aprecia en esta figura, el estrato más superficial, de unos 10 a 15 metros de espesor, está conformado por un material meteorizado, de escasa resistencia mecánica y alta permeabilidad. Al llover, parte del agua escurre y un alto porcentaje se infiltra a través del material permeable. El segundo estrato es prácticamente impermeable, por lo que el agua que infiltró al primer material no puede atravesarlo. En esa condición, el agua escurre en el contacto de ambos estratos, formando una superficie lubricada que facilita el deslizamiento del primero.

2.6 Principales recomendaciones en el campo geotécnico

Para evitar el riesgo de deslizamientos se recomendaron varias obras alternativas que incluyen: pilotes reforzados chorreados en sitio, vigas de amarre, tensores, subdrenajes para reducir el nivel freático, canales, etc. como se muestra en la Figura 6.

Además se han realizado las siguientes obras:

- Desección de humedales, que mantenían los taludes saturados y en riesgo de deslizamiento.
- Control mediante inclinómetros y piezómetros, utilizando aparatos electrónicos de muy alta precisión para indicar cualquier movimiento del terreno o el aumento en los niveles freáticos.
- Reforestación, con más de 15.000 arbolitos de la zona.
- Evacuación de aguas subterráneas y superficiales, mediante canales superficiales y subdrenajes.

- Muros de gaviones de hasta 10 metros de altura y 50 metros de longitud (Foto 1)

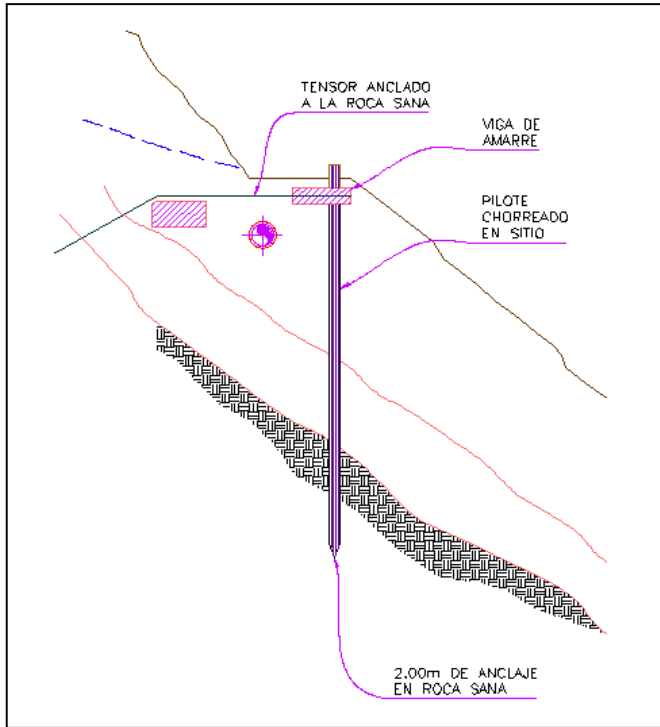


Figura 6. Obras de estabilización de taludes



Foto 1. Muro de gaviones en "La Vuelta del Queque"

2.7 Principales conclusiones en el campo hidrológico

El punto más vulnerable en este sentido era el paso de la tubería por el río Agua Caliente, donde se construyó un paso elevado que redujo considerablemente el cauce del río. Aunque la estructura tenía suficiente

altura, la restricción del cauce provocaba alta velocidad del agua, socavación y daños a la estructura en épocas de lluvia (Foto 2). La solución planteada consistió en reducir al mínimo el tamaño de las obras de protección de columnas para devolver al río su cauce original. Esas protecciones fueron reconstruidas con concreto armado y reforzadas con tensores para evitar daños posteriores.



Foto 2. Daños en el paso del río Agua Caliente.

La mayoría de las recomendaciones ya han sido implementadas, y el sistema ha sido sometido a varios fenómenos importantes, incluyendo el terremoto de Limón de 1991 y algunos deslizamientos importantes en la zona sin llegar a dañarse.

Además, cada año el sistema es inspeccionado por ingenieros de una firma inglesa especialista en riesgos que evalúa la prima que paga el AyA por el seguro del acueducto Orosi. Sus inspecciones han sido siempre satisfactorias y eso ha permitido mantener un monto bajo por la prima del seguro.

3. Evaluación económica

3.1 Consideraciones económicas

- El acueducto Orosi se construyó entre 1984 y 1987, con un costo total de US\$53 millones.
- El Acueducto Metropolitano genera ingresos a la Institución del orden de \$ 4 millones por mes, lo que representa un porcentaje muy alto del total de los ingresos. De esa suma, al menos \$1.6 millones corresponden al Acueducto Orosi, por lo que la salida de operación de este sistema generaría problemas financieros muy serios para la Institución.
- Un gran número de industrias se ubican en el área metropolitana y dependen del agua para su labor. Las pérdidas para esas industrias

serían millonarias en caso de que tuvieran que reducir o suspender su producción por falta de agua.

- Los índices macroeconómicos del país dependen en gran medida de la producción y el empleo que se generan en el área metropolitana.

3.2 Costo de los estudios y obras de prevención y mitigación

Fase I: Diagnóstico general de vulnerabilidad	\$ 8.300
Fase II: Vulnerabilidad sísmica	\$ 40.200
Vulnerabilidad geotécnica	\$ 8.700
Vulnerabilidad hidráulica, hidrológica y estructural	\$ 9.600
Fase III: Análisis de estudios previos y priorización de obras	\$ 7.000
Fase IV: Estudios detallados para implementación de recomendaciones	\$ 20.000
Implementación de las recomendaciones	\$ 1.400.000
Total	\$ 1.493.800

3.3 Costos **directos** estimados en caso de que el sistema hubiera fallado (una sola vez)

Disminución en la recaudación durante los 3 meses que se estima se tardaría reparando el sistema	\$ 4.800.000
Costos de reparación del sistema	\$ 1.300.000
Costos operativos (reparto de agua en cisternas, programa de racionamiento, etc)	\$ 1.200.000
Total	\$ 7.300.000

3.4 Conclusiones de la evaluación económica

El costo del programa de reducción de vulnerabilidad del Acueducto Orosi representa solamente el **20.5%** de las pérdidas directas que se hubieran generado si ese programa no se realiza y el sistema llega a fallar. Eso sin considerar las **pérdidas indirectas**, que pueden ser mucho mayores, y que incluyen:

- *La pérdida de vidas humanas y de propiedades en la zona*
- *La reducción considerable en la producción nacional y las pérdidas para las empresas, causando incluso problemas de desempleo.*
- *Las molestias para los usuarios y el grave daño a la imagen institucional.*
- *Los problemas en otros acueductos como los de Cartago, Oreamuno y Paraíso que también dependen del sistema*
- *Las posibles demandas contra la Institución y sus profesionales.*

Respecto al costo del proyecto, el monto de las obras de prevención y mitigación representa solo el **2.8%**

Cabe agregar que en este caso los estudios de vulnerabilidad y la implementación de recomendaciones se hicieron luego de la puesta en operación del sistema. Si se hubieran realizado desde la concepción del proyecto el costo hubiera sido mucho menor.

Este breve análisis justifica ampliamente la realización de estudios de vulnerabilidad y la implementación de medidas de reducción de vulnerabilidad de sistemas.

4. Participación de la comunidad

El pueblo de Orosi posee características particulares que han influenciado de una u otra manera las obras de prevención y mitigación. Se trata de una comunidad pequeña, con una gran exposición a fenómenos naturales: sismos, deslizamientos e inundaciones.

Hay evidencia histórica de fenómenos importantes que incluso han cambiado la geografía del lugar. Sin embargo, desde que se construyó el acueducto, en 1987, algunos vecinos han culpado al AyA por todos los fenómenos adversos que ocurren en la zona. AyA cometió el error de no involucrar e informar a la comunidad sobre el desarrollo de los trabajos de prevención y mitigación, lo cual provocó una relación aún más tirante.

Esa situación se agravó cuando ocurrió un deslizamiento a finales del 2002 que provocó 7 muertes y mucha destrucción en Orosi (Fotos 3 y 4). Algunos vecinos y la prensa culparon al acueducto por el desastre. Sin embargo, se comprobó que el deslizamiento ocurrió lejos de la conducción y por efecto de una precipitación excesiva y de las condiciones hidrogeológicas mencionadas anteriormente.



Fotos 3 y 4. Deslizamiento de Alto Loaiza en Orosi (set. 2002)

Lo ocurrido ayudó a la Institución a comprender que se requería un mayor acercamiento con la comunidad, lo que se ha estado trabajando desde entonces con las siguientes actividades:

- *Charlas y visitas al sitio para mostrar los trabajos de prevención y mitigación, incluyendo a los alumnos, profesores y padres de familia de todas las escuelas y colegios de la zona.*
- *Se creó un grupo de inspección que incluye al presidente del Comité Local de Emergencias, al cura de la localidad, a profesionales de la Comisión Local de Emergencias y a algunos vecinos (ingenieros, geólogos) de la zona. Este grupo realiza visitas mensuales a las obras e informa a la comunidad.*
- *Se editó una publicación que se distribuye a los vecinos donde se informa sobre los avances en los trabajos de mantenimiento correctivo y preventivo*
- *Se colabora con el sistema de alerta temprana que estableció la comunidad.*
- *Se elaboró un video donde se muestran las obras de prevención y mitigación. Ese video ha sido presentado en varias charlas y en la Iglesia de la comunidad.*
- *Se dio apoyo al colegio para el diseño de una fuente ornamental y se alquiló maquinaria para limpieza de cauces*
- *Se inició un proyecto de reforestación conjunto donde las escuelas administran los viveros y AyA compra y siembra los arbolitos*
- *Se realizan concursos en las escuelas donde los niños deben hacer redacciones, dibujos o modelos a escala de las obras de prevención y mitigación del acueducto.*
- *Se hacen reuniones mensuales con un Comité de vecinos para discutir y resolver en grupo cualquier problema que se pudiera presentar.*
- *Se ha fomentado una política de transparencia que le ha dado confianza a la comunidad de acercarse a comentar o preguntar cualquier inquietud que tengan, evitando los chismes o exageraciones.*

Los resultados han sido muy satisfactorios y ahora la comunidad y la Institución trabajan como un equipo en la resolución de los problemas, con beneficios evidentes para ambos.

Fin del documento

Elaborado por: Ing. Arturo Rodríguez, M.Sc.
hidrogeotecnia@racsa.co.cr
Octubre 2003