Evaluación de Recursos de Agua de Costa Rica

Cuerpo de Ingenieros
de los Estados Unidos de America
Distrito de Mobile y
Centro de Ingeniería Topográfica

Junio 1996

Evaluación de Recursos de Agua de Costa Rica

Tabla de Contenidos

Título	Número De Pagina
Introducción	**3**
Antecedentes Generales	3
Propósito	3
Alcance de la Evaluación	3
Agencias Contactadas	3
Perfil del País	**4**
Geografía General	4
Valle Central	4
Tierras Bajas del Caribe	5
Costa del Pacífico	5
Distribución de la Población	7
Economía	7
Recursos de Agua Existentes	**8**
Introducción	8
Recursos de Agua Superficial	9
Recursos de Agua Subterránea	11
Utilización Actual de Recursos de Agua Superficial y Agua Subterránea	**15**
Hidroenergía	15
Transporte	15
Industrial/Comercial	15
Agricultura/Irrigación	16
Abastecimiento de Agua para uso Doméstico	16
Control de Crecidas/Inundaciones	17
Recreación	18
Transporte Interno en Canales	20
Oportunidades para Aumentar la Utilización	**20**
Red Nacional de Sistemas de Medición de Arroyos	20
Entrenamiento Tecnico Básico	21
Planificación de Recursos de Agua a Largo Plazo	22
Notas Finales	**23**
Apendice A - Oficiales Consultados	1
Apendice B - Información de Cuencas de Drenaje	1
Apendice C - Planta Hidroelectrica del Arenal y Corobicí	1
Apendice D - Red Nacional de Sistemas de Medición de Arroyos	1
Generalidades	1
Equipo de Monitoreo	2
Instalación del Sistema de Medición y Operación	2
Administración para la Red de Medición de Arroyos	4
Red de Estaciones de Medición de Lluvia	4

Tabla de Contenidos, continuación

Título — **Número De Pagina**

Apendice E - Bibliografía 1

Lista De Figuras

Figura A – Mapa Vecinal 4
Figura B – Mapa del País 6

Lista de Tablas

Tabla A. Agencias Consultados 4
Tabla B. Distribución de la Población 7
Tabla C. Proyecto de Irrigación Tempisque-Arenal 16
Tabla D. Rios y Arroyos Con Mayor Frecuencia de Desbordamientos 19

Evaluación de Recursos de Agua de Costa Rica

Introducción

Antecedentes Generales

En 1995, la Oficina de Ingenieros del Comando Sur de los Estados Unidos, (USSOUTHCOM) comisionó a la Oficina del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos. del Distrito de Mobile, Alabama, para llevar a cabo una evaluación de recursos de agua de Costa Rica. Esta evaluación se proporciona como parte de una iniciativa de los ingenieros del Comando Sur (USSOUTHCOM) para usar activos del Departamento de Defensa (DOD) en apoyo de instituciones cívicas y militares de Costa Rica.

Propósito

El propósito de este reporte es documentar los hallazgos del equipo de evaluación de agua y presentar sugerencias sobre inversiones para recursos de agua en Costa Rica. El equipo de evaluación del Distrito de Mobile estaba formado por tres ingenieros civiles profesionales quienes se especializan en Planificación de Recursos de Agua y Diseño Hidráulico. Para llevar a cabo la evaluación, el grupo visito Costa Rica por doce dias para consultar con varios ingenieros, oficiales y otros, haciendo visitas de reconocimiento en el campo para evaluar las necesidades de recursos de agua del país. Una lista de los individuos contactados esta contenida en el apendice A.

Alcance de la Evaluación

Esta evaluación servirá como un documento de consulta que puede ser usado como una base para posibles inversiones futuras en los recursos de agua de Costa Rica. Para este fin, el estudio describirá los mayores recursos de agua existentes en el país; identificará necesidades especiales de recursos hidráulicos y oportunidades; documentará actividades de desarrollo de fuente hidráulica planificadas y que se estén llevando acabo y sugerirá alcances que sean practicables para el desarrollo a corto y largo plazo en el país.

Agencias Contactadas

La responsabilidad de fiscalizar los recursos de agua de Costa Rica es compartida entre varias agencias del gobierno e instituciones. Limitaciones logísticas y de tiempo hicieron imposible contactar a cada agencia; sin embargo, sentimos que aquellas agencias que tubimos la oportunidad de conocer son algunas de las mas influyentes en determinar las prioridades y establecer las metas relacionadas con el uso de los recursos de agua Costa Rica.

A continuación hay una lista de las agencias contactadas durante nuestra visita y sus principales areas de responsabilidad.

Tabla A. Agencias Consultados

Agencia	Area de Responsabilidad
Instituto de Acueductos y Alcantarillados (AyA)	Abastecimiento de agua potable/control Ambiental
Instituto Nacional de Electricidad (ICE)	Plantas Hidroelectricas
Servicio Nacional de Aguas Subterráneas (SENARA)	Irrigación/Drenaje/Control de Inundaciones
Instituto Nacional de Meteorología (INM)	Registro de precipitaciones/datos de mediciones
Departamento de Administración de Emergencia (CNE)	Recuperación de Desastres Naturales

Perfil del País

Geografía General

Figura A – Mapa Vecinal

Costa Rica con sus 50,895 kilómetros cuadrados (19,652 millas cuadradas) de territorio es la segunda nación Centro Americana más pequeña después de El Salvador, y un poco más pequeña que West Virginia. En su punto mas angosto, en la región sur, solamente 119 kilómetros (74 millas) separan el mar Caribe del oceano Pacífico. En su punto mas ancho, Costa Rica tiene solamente 280 kilómetros (174 millas) de ancho. La costa Caribeña, entre Panamá y Nicaragua, es de alrededor de 160 kilómetros (100 millas) de largo y la costa Pacífico es de alrededor de 480 kilómetros (300 millas) de largo, medida a lo largo con una linea recta**.** El límite norte con Nicaragua esta formado por el Lago Nicaragua y el Rio de San Juan. A lo largo de la región central de Costa Rica hay una cadena de volcanes y cadenas montañosas. Esta es parte de la cadena de la Sierra Madre Andina que corre a lo largo de Centro America. Las montañas forman un punto distintivo de separación para las regiónes del Caribe y del Pacífico. Hay tres regiónes geográficas principales en Costa Rica: el Valle Central, los Valles Caribeños y la costa del Pacífico.

Valle Central - Esta región, con su clima favorable y amplias precipitaciones, es el hogar para casi tres quintos de la población del país. San Jose, la ciudad capital, esta ubicada en el centro de esta región junto con las ciudades de Cartago, Alajuela y Heredia. Las demandas asociadas a el abastecimiento de agua para el uso doméstico e industrial han contribuido para que esta area sea causa de la mayoria de los estudios de recursos de agua desarrollados para el país. Representantes de AyA nos dijeron que las fuentes de agua para esta región están igualmente divididas entre fuentes de superficie y subterráneas. Actualmente, la reserva de Cachi cerca de la ciudad de Cartago abastece aproximadamente el 50 % del agua de San Jose, con la

diferencia restante siendo de pozos y manantiales cerca de San Jose. Han habido dos estudios importantes en años recientes que tratan con los recursos de agua dentro de la región; un reporte en 1988 de la Encuesta Geologiga Britanica[1] que investigó fuentes de aguas subterráneas en el Valle Central y un reporte en 1990 realizado por la firma de ingenieria Tahal de Israel[2,] la cual actualizó el reporte Británico de 1988 y además comparó fuentes de aguas de superficie y subterránea. El reporte Tahal concluyó que las fuentes subterráneas o pozos serian las fuentes de agua más apropiadas para el desarrollo futuro en el Valle Central. Ambos reportes se concentraron en el area del gran San Jose. Oficiales consultados nos dijeron que un estudio de alcance similar es necesario para la región cerca de la ciudad de Cartago, al sureste de San Jose.

Tierras Bajas del Caribe - Las tierras bajas con su terreno relativamente llano están separados del valle central mas densamente habitado por grandes bosques de arboles de madera dura. Solamente en unas pocas areas las elevaciones exeden los 480 metros(1560) sobre el nivel del mar. Esta región comprende aproximadamente un quinto del area del terreno de Costa Rica. Hay cuatro rios importantes que desembocan en el Caribe, el Rio San Juan, el Rio Reventazón, el Rio Pacuare, y el Rio Sixaola. Estos rios, a causa de su pendiente aplanada en las cercanias del Caribe, proveen un medio de transporte para la población local utilizando botes de rio y canoas.

Costa del Pacífico - A diferencia de la relativamente homogenea costa Caribeña, la costa del Pacífico consiste de muchas bahias y ensenadas y dos grandes golfos: el Golfo de Nicoya (en el norte) y el Golfo Dulce (en el sur). Las peninsulas de Nicoya y Osa envuelven estos Golfos respectivamente.

Una área distinta a lo largo de la costa del Pacífico es la región de Guanacaste. Una gran planicie aluvial que se expande hacia el norte desde el golfo de Nicoya. Guanacaste es hogar para grandes ranchos de ganado y un número creciente de campos que siembran una variedad de cultivos que incluyen; algodón, arroz, sorgo y frijol de soya. El clima de esta región es un contraste total con en resto del país. Muy poca, o casi nada de lluvia es recibida durante la estación seca (de noviembre a abril), con la estación seca que dura más que en ningún otro lugar en el país. El promedio de precipitaciones en la provincia es menos que 162 centímetros (65 pulgadas) anualmente, con ciertas areas que reciben mucho menos. La cuenca de Tempisque es la región mas seca del país, y recibe menos de 45 centímetros (18 pulgadas) durante años de sequía, la mayoria de esta lluvia proviene de intensos aguaceros durante los seis meses de la estacion lluviosa. Debido al impacto negativo de la prolongada estación seca, además de las frecuentes sequías sobre la agricultura en la región, la provincia ha sido foco de varios proyectos de recursos de agua en los últimos años. Guanacaste es el hogar del proyecto hidroeléctrico del Lago Arenal; el proyecto de irrigación de Tempisque-Arenal, además de varios projectos pequeños de perforación de pozos.

[1] Ver Bibliografía item no. 58

[2] Ver Bibliografía item no. 59

Figura B – Mapa del País

Distribución de la Población

Con una población estimada en 1992 de 3.13 millones, Costa Rica tiene el más alto nivel de vida, el más alto ingreso per capita, y la más alta tasa de alfabetización (90 %) de todos los países Centro Americanos. La población de Costa Rica de 1973 cuya estimación era de 1.87 millones, y el censo de 1983 estimó la población en 2.4 millones, con una tasa crecimiento anual de alrededor de 2.7 %. Costa Rica en años recientes ha experimentado una afluencia de refugiados desde países vecinos. La migración interna es caracterizada por dos tendencias principales: movimientos desde pequeñas ciudades y areas rurales hacia principales centros urbanos, y desde areas rurales deprimidas hacia aquelllas que están experimentando desarrollo. El país consiste de siete (7) provincias:

Tabla B. Distribución de la Población

Provincias	Area (km^2)	Poblacion Actual (estimados)	Capital (con habitantes)
Alajuela	9,753	564,209	Alajuela (165,247)
Cartago	3,125	356,198	Cartago (113,610)
Guanacaste	10,141	252,386	Liberia (38,272)
Heredia	2,656	254,136	Heredia (70,392)
Limon	9,189	233,628	Puerto Limon (71,814)
Puntarenas	11,277	353,558	Puntarenas (96,413)
San Jose	4,960	1,152,847	San Jose (308,034)
Totales	**51,101**	**3,166,962**	

Economía

Agricultura - El sector más importante de la economía, contribuyó aproximadamente con un 16.1 % al total del producto nacional bruto in 1992 y empleo un 22.5 % de la fuerza laboral en 1993. De toda la tierra en uso para la producción agrícola en 1991, 5.6 % fue utilizada para agricultura de cultivo, 45.6 % fue usada para forraje, y 32.1 % en bosques. La producción agrícola aumento alrededor del 2 % por año entre 1976 y 1987, en contraste a los a los años sesenta y principios de los años 70 cuando la producción crecio a razón del 5 % al año. En 1992 la exportación agrícola de mayor importancia fueron: bananas por $490.6 M (M = millones), café por $202.7 M, y azúcar por $25.7 M. Las exportaciones de carne en 1992 alcanzaron un total de $44.2 M. Actualmente existen varios nuevos cultivos que están siendo investigados como potenciales exportaciones incluyendo, cocoa, aceite de palma africana, algodón, vegetales, flores, nuez de macadamia, coco, melones, piñas y otras frutas tropicales.

Industria - Alrededor del 20 % del PNB de Costa Rica es generado por el sector industrial de la economía. El segmento más grande es la industria de bienes perecederos, principalmente, comida, bebidas, y tabaco. Sin embargo, químicos, plásticos, vestimentas y farmacéuticos están actualmente siendo producidos.

Transporte - Hay aproximadamente 36,000 kilómetros de carreteras en Costa Rica, aproximadamente un 15 % de estas estan pavimentadas. La principal ruta pavimentada de Costa Rica es la Carretera Panamericana. Durante los años 1980 un nuevo puerto en el golfo de Nicoya en Caldera, reemplazo Puntarenas como el principal puerto del Pacífico. El puerto principal del Caribe esta en Puerto Limon. Este puerto sufrio daños de consideración en el terremoto que azotó el area en 1991. La extensión total de rieles que sirven al país es de alrededor de 950 kilómetros. Muchos de estos, sirviendo a plantaciones bananeras privadas. El aeropuerto principal, ubicado al rededor de 20 kilómetros al oeste de San Jose, es servido por vuelos nacionales e internacionales.

Recursos de Agua Existentes

Introducción

Costa Rica es uno de los paises más ricos en recursos de agua en el mundo. La combinación de una topografía muy montañosa y altas precipitaciones sobre un area geográfica pequeña, provee derrames de agua para agua superficial y suficiente recarga para agua subterránea. Los recursos de agua constituyen una de las razones mas viables para un desarrollo independiente en Costa Rica.[1] Este país es más desarrollado que sus vecinos en abastecimiento de agua y sanitización. En 1992, 100 % de la población urbana y 90 % de la población rural tuvo acceso a abastecimientos de agua segura. Sin embargo, falta de tratamiento está causando que las fuentes mas tradicionales de agua lleguen a ser inadecuadas para el consumo humano.[2]

Los recursos de agua de superficie son generalmente abundantes. Sin embargo, son estacionales en la parte noroeste del país, el cual tiene estaciones distintas lluviosa y seca. Durante la estación seca de diciembre a abril, los arroyos más pequeños del noroeste pueden llegar a secarse. El agua superficial de Costa Rica esta contaminada por fuentes naturales, agricolas, residenciales e industriales. El apéndice B contiene una lista de los sistemas superfiiciales de drenaje más importantes y su tamaño.

Abastecimientos de agua dulce subterránea están disponibles a traves de la mayor parte del país. Vertientes y pozos son la fuente más segura e importante de agua subterránea para el abastecimiento de agua para beber y para uso industrial en Costa Rica. Las fuentes mas abundantes se encuentran en volcánicas cuaternarias en el interior de las cuencas y en los suaves faldeos bajos de pendientes suaves de la mayoria de los volcanes. Estos acuiferos volcánicos abastecen de agua dulce para beber a la mitad de la población en las ciudades principales en la Meseta Central (Valle Central) donde vive la mitad de la población de Costa Rica.[3] Fuentes de suministro importantes tambien están disponibles en aluviones no consolidados y los sedimentos de las planicies costeras.

El abastecimiento de agua subterránea es adecuada en la mayor parte del resto del país. Sin embargo, contaminación biológica de agua subterránea poco profunda se ha transformado en un problema generalizado. Las aguas negras y los fertilizantes son la mayor fuente de contaminación del agua subterránea. Intrusión de agua salada está tambien degradando el

abastecimiento de agua dulce en varias areas costeras. Fuentes naturales de agua salobre a salada se encuentra bajo los mangleres que dominan varias areas costeras.

Recursos de Agua Superficial

Los rios son la fuente de alrededor del 40 % del agua dulce tratada para uso doméstico en Costa Rica.[4] El agua superficial es abundante a lo largo de todo el año excepto en la provincia de Guanacaste al noreoeste, la cual tiene una pronunciada estacion seca desde diciembre hasta abril. La mayoria del resto de país tiene un clima tropical húmedo a temperado húmedo con precipitaciones a lo largo de todo el año.[5] Costa Rica tiene un promedio de precipitación anual de 337 centimetros, todo en forma de lluvia. Las mayores cantidades de lluvia caen en las cadenas montañosas centrales y en las planicies de las tierras bajas en el extremo noreste.[6,7] Las precipitaciones mas altas generalmente ocurren desde Agosto hasta Octubre. Consecuentemente, las caudales mas altos de los rios ocurren usualmente durante este periodo de tiempo. Frecuentes e intensas tormentas tropicales causan grandes inundaciones a lo largo de la costa del noreste. Huracanes, que pueden causar inundaciones catastróficas, han causado deslizamientos de tierra en un promedio de uno cada 4 años a lo largo de la costa del noreste.[8]

Una seria de cadenas montañosas centrales dividen Costa Rica física y climáticamente a lo largo de la linea noroeste a sureste. Estas cadenas se extienden desde la punta de la esquina extrema noroeste del país hasta el limite con Panamá en el sur. Varios volcanes en estas cadenas están activos. Después de grandes erupciones de ceniza, pueden producir grandes flujos de lodo durante la primera lluvia fuerte.[9] Para propositos de este estudio, Costa Rica esta dividida en tres cuencas rivereñas generalizadas. Ellas son Cuenca del Caribe, Cuenca del Pacífico, y la Cuenca del Rio San Juan. Sin embargo, la mayoria de los estudios dividen el país en 34 cuencas principales. Durante un año normal, el total de agua superficial que fluye al oceano Pacífico y al mar Caribe es estimada en 112 kilómetros cubicos (112,250 millones de metros cubicos).[10] Ver tabla 1 y figura 1 del apendice F para mayores detalles.

Generalmente enormes cantidades de agua dulce se encuentran disponibles en los rios principales, reservorios, y lagos en casi todos menos en las partes mas altas de las cuencas del Caribe y en la cuenca del rio San Juan. La cuenca del Caribe y la parte este de la cuenca del Rio San Juan son las partes más húmedas del país, y tienen las variaciones estacionales mas pequeñas en su descarga. Los caudales máximos ocurren durante los meses de Octubre a noviembre. De Marzo a abril, los caudales en las cuencas mas pequeñas pueden limitarse a cantidades muy grandes. La calidad del agua es casi siempre agua dulce, pero altas cargas de sedimento causan alta turbiedad durante caudales máximos.[11] El rio San Juan es el rio mas grande de Costa Rica. La Cuenca del Rio San Juan cubre 40,670 kilómetros cuadrados de los cuales 12,325 kilómetros cuadrados se encuentran en Costa Rica. Esta cuenca representa un 24 % del area total del territorio de Costa Rica que es de 50,700 kilómetros cuadrados.[12,13]

De grandes a enormes cantidades de agua dulce es disponible de los rios principales en la parte este y central de la cuenca del Pacífico**.** Estas areas tienen distintos periodos de caudales bajos y altos, con caudales máximos ocurriendo de septiembre a noviembre. Caudales mínimos, ocurriendo desde Enero hasta abril, con un promedio de 10 a 30 % de la descarga máxima. Incluso durante el periodode caudal alto, se pueden dar varias semanas de clima seco, durante las cuales los caudales son drásticamente reducidos.[14]

De pequeñas a grandes cantidades de agua dulce estan disponibles provenientes de las cabeceras montañosas de las tres cuencas de los rios en las cadenas montañosa centrales y a

lo largo de la mayoria de los rios más grandes en la cuenca del Pacífico, al oeste del puerto de Punta Arenas. Los caudales mínimos representan del 10 al 25 % de los caudales máximos. Los caudales aumentan rápidamente respondiendo a las tormentas y traen corrientes rápidas y cargas altas de sedimento. El potencial de desbordamientos repentinos de riachuelos es alto. Especialmente en la parte mas alta y montañosa de la cuenca del Pacífico, a lo largo del lado suroeste de las cadenas montañosas centrales. Aguas geotermales existen en algunas areas adjacentes a los volcanes, y estas aguas causan que varios pequeños riachuelos en sus vecindades el tengan altos niveles de sólidos totales disueltos.[15]

De moderadas a grandes cantidades de agua dulce están disponibles estacionalmente en la cuenca del Pacífico al oeste del puerto de Punta Arenas, excepto en los alcances de las tierras bajas en los rios mas grandes. Una pronunciada estación seca de noviembre hasta a abril causa que pequeños riachuelos sean severamente agotados o que se sequen por extensos periodos. Los caudales de los riachuelos más grandes son tambien sustancialmente reducidos, y el sólidos totales disueltos puede incrementar en las areas donde el agua salobre subterránea está presente. Las descargas aumentan rápidamente en respuesta a la lluvia, e inundaciones repentinas son una amenaza en áreas montañosas. Cargas de sedimento, que usualmente son altas, lo son aún más durante caudales máximos. La contaminación por causa del ganado es común, particularmente donde los animales son concentrados, o donde les es permitido pastar cerca de los riachuelos y pantanos. La escases de abastecimiento de agua para uso doméstico puede afectar algunas áreas urbanas durante la estación seca.

De escazas a moderadas cantidades de agua dulce están estacionalmente disponible de riachuelos en pequeñas cuencas costeras, mayoritariamente en la peninsula de Nicoya, en la Peninsula de Osa, y en una área al sur de la Peninsula de Osa. Grandes cantidades pueden estar disponibles provenientes de rios más grandes por unas pocas horas después de una lluvia fuerte. Pocos de los riachuelos son peremnes; la mayoria se seca por periodos extensos durante la estacion seca. Los riachuleos suben y bajan rapidamente en respuesta a la lluvia, e inundaciones repentinas son una amenaza en algunas áreas montañosas. Los niveles de sedimentación son generalmente altos y la contaminación por causa del ganado es común.

De grande a enormes cantidades de agua salina o salobre están disponibles en las desembocaduras de los rios, lagunas, y estuarios a lo largo de las costas del Caribe y del Pacífico. Las lagunas y desembocaduras de los rios pueden contener agua salina y salobre, mientras que los estuarios generalmente contienen solo agua salina. Agua salobre y salina en pantanos de magleres costeros pueden contener grandes cantidades de materia orgánica natural. Los pantanos de mangles son areas ambientalmente sensitivas.

Las cabeceras de los rios montañosos de la cuenca Caribeña son lugares de dos embalses de agua artificial para la generación de energía hidroeléctrica. Uno de los embalses, aproximadamente 30 kilómetros al sureste de San Jose, es el Embalse Hidroelectrico de Cachi. Cubre 51 kilómetros cuadrados de la cuenca del Rio Reventazón. El otro embalse aproximadamente, alrededor de 110 kilómetros al noroeste de San Jose es la Laguna Arenal. Cubre 2,200 kilómetros cuadrados de la cuenca del rio San Carlos.[16] Este embalse es un lago natural que ha sido agrandado por una represa cerca de su salida.

Lagos poco profundos tierra adentro y areas pantanosas son comunes a lo largo del límite norte con Nicaragua y en las tierras bajas en el noreste. El lago más grande es la laguna Cano Negra, la cual esta ubicada aproximadamente 10 kilómetros al sur del límite con Nicaragua. Varios pantanos existen a lo largo del rio Tempiste, a lo largo del rio Bebedero y a lo largo de

sus tributarios. El más grande de estos esta ubicado aproximadamente 2 kilómetros noreste de la ciudad de Filadelfia.

El agua de superficial bajo las areas mas pobladas está frecuentemente contaminada por aguas servidas domésticas, agricolas e industriales. Las fuentes de contaminación de la agricultura incluyen pesticidas, fertilizantes y desperdicio animal en los desagues. Desperdicios provenientes del procesamiento del café, cañas de azúcar y de otros cultivos es probablemente vaciado en los en arroyos en algunas áreas. Material fibroso en estos desperdicios pueden llegar a tapar unidades de filtrado. Plantas industriales probablemente contribuyen con candidades importantes de desperdicios. La calidad del agua es mas pobre en la parte alta de la cuenca del rio Grande de Tarcoles. El tratamiento de aguas servidas es mínimo, ya que la disolución natural es la estrategia principal en la cual se confia para disminuir la contaminación. Como resultado, los problemas de contaminación pueden ser severos durante periodos de caudales bajos. Incluso en áreas subdesarrolladas, las condiciones naturales inherentes a los climas tropicales tales como aguas templadas y abundantes nutrientes frecuentemente resultan en una pobre calidad del agua. Todas las fuentes de agua superficial deberían ser concienzudamente tratadas antes de su uso.

Recursos de Agua Subterránea

Agua dulce proveniente de vertientes y pozos es la fuente mas segura e importante de abastecimiento para agua para beber y para uso industrial en Costa Rica. La mayoria de los acuiferos están formados por flujos de lava volcánica y piroclasticos de mediados de la era l Terciaria a la era Reciente, las cuales dominan la geología del país. Tienen una considerable capacidad de almacenamiento y una producción estimada de 20,040,000 litros por minuto (334 metros cubicos por segundo). Cincuenta y ocho % del agua subterránea descarga al Atlántico y 42 % al Pacífico.[17] En general, los mejores acuiferos volcánicos están en las unidades mas jovenes, las cuales están á menudo más cerca de la superficie. Acuiferos importantes se encuentran tambien en aluviones no consolidados y depositos sedimentarios costeros. Ver tabla 2 y figura 2 del apendice F para mas detalles.

El agua subterránea, obtenidas desde vertientes y pozos perforados es principalmente usada en Costa Rica para abastecimiento doméstico. Constituye el abastecimiento de agua doméstica para mas del 60 % de la población del país. Los sistemas de distribución de varias ciudades principales transportan el agua desde campos de pozos y cabezas de vertientes. La mitad del agua municipal para San Jose proviene del pozo del campo de Valencia y de las vertientes de Puente de Mulas. El agua subterránea es la única fuente de abastecimiento para la ciudad costera de Limón y para muchas áreas industriales.[18]

De moderadas a muy grandes cantidades de agua subterránea están disponibles provenientes de acuiferos altamente productivos en las formaciones de Colima y Barba de la era Pleistocena a la era reciente. Estos acuiferos están compuestos de brecahs volcánicas altamente porosas y de caudales de lava fracturada con depósitos de tobas pirolásticas entremetidas en capas. Están mayoritariamente concentrados en la Meseta Central donde son una importante fuente de abastecimiento de agua. El acuifero Barba se extiende encima del acuifero de Colima y descarga en varias vertientes de mucha altitud. El acuifero colima descarga como una serie de grandes vertientes a lo largo del Rio Virilla en el plano del valle. El agua subterránea es almacenada en zonas altamente fracturadas y zonas brechiformes en lavas y en granos gruesos sueltos de capas Pirolacticas.[19] Ambientes hidrogeológicos similares son probables en los faldeos volcánicos de las otras cadenas montañosas de la Cordillera Central, Cordillera de Guanacaste, y la Cordillera de Talamanca.

Los acuiferos volcánicos son fuentes de agua extremadamente valiosos ya que ellos proveen de agua para beber a las ciudades principales en la meseta central, incluyendo la mitad de la población de San Jose. El acuifero Barba gotea con su agua en las capas de lava del Colima. Estos acuiferos tienen alta conductividad hidráulica y transmiten agua subterránea rapidamente. Altos indices de infiltración y alta conductividad hidráulica hace que estos acuiferos sean más susceptibles a la contaminación, ya que el agua subterránea y los contaminantes pueden migrar relativamente rápido. Uso intensivo y extensivo de sistemas de tanques sépticos y de fertilizantes a lo largo del valle han resultado en altas concentraciones de nitrato en las aguas subterráneas. Altas concentraciones de nitrato en el agua para beber puede tener afectos adversos para la salud del ser húmano. [20]

De moderadas a grandes cantidades de agua dulce estan disponibles provenientes de planicies costeras y acuiferos aluviales del valle en el valle Tempisque, Puerto Limon, y en la ciudad de Puntarenas. Aluviones Cuaternarios en el valle de Tempisque forman el acuifero de Tempisque, el cual provee de agua subterránea para Tempisque y otras pueblos grandes y ranchos. El acuifero de Tempisque es el más grande de los acuiferos aluviales en Costa Rica y afortunadamente esta en el area del país con la menor cantidad de lluvia y de agua superficial.[21] Cerca de la ciudad costera del Atlántico de Puerto Limon, piedra caliza de coral de la formacion del Mioceno Gatum forma el acuifero Moin. El acuifero Moin descarga en la vertiente Moin, la cual provee parte del abastecimiento del agua municipal de Puerto Limon. Aluviones en el cercano valle del rio Banano formam el acuifero de La Bomba. Los acuiferos de La Bomba y Moin son las fuentes principales de agua de Puerto Limón.[22]

Aluviones Cuaternarios cerca de la ciudad costera del Pacífico de Puntarenas, forma un sistema acuifero de dos capas. Este sistema provee de agua subterránea para el abastecimiento de agua de Puntarenas. El acuifero superiorno confinado de Barranca está separado por una capa confinadora de arcilla del acuifero El Roble que está mas abajo, Roble. Sobre explotacion de ambos de estos acuiferos esta causando intrusion de agua salada.[23]

De pequeñas a moderadas cantidades de agua dulce están disponibles de brechas volvanicas y piedra arenizca en el valle del General y de depositos de laharicas (flujos de lodo volvanico) de granos finos a gruesos de la Llanura de la región de San Carlos. Los depositos laharicos pueden formar un acuifero regiónal no confinado con numerosos acuiferos asentados y de poca profundidad. Vegetación densa y falta de infraestructura pueden hacer difícil la explotación en cualquiera de estas regiónes.

De pequeñas a moderadas cantidades de agua dulce están disponibles localmente desde los acuiferos volcánicos Pleistocenicos que rodean el valle de Tempisque. Al norte del valle Tempisque hay flujos densos de lava balsáltica fracturada de la formación Bagaces. Ellos forman los acuiferos más productivos de la región fuera del acuifero aluvial de Tempisque. El acuifero de Bagaces provee de agua subterránea a numerosas villas y ranchos. Al sur del valle de Tempisque hay depositos sedimentarios fluviolascutrinos con riolita y pomez. Estos depósitos forman el acuifero de Liberia. Este acuifero tiene importancia regiónal para la agricultura y pequeñas industrias. Aunque la permiabilidad del acuifero está limitada por altos contenidos de arcilla, suficiente agua es almacenada en fracturas interconectadas para uso local urbano y del área rural.[24]

De muy pequeñas a pequeñas cantidades de agua dulce pueden encontrarse disponibles provenientes de formaciones volcánicas no diferenciadas y formaciones sedimentarias de las

eras Terciaria y Cretacea en la peninsula de Nicoya, Peninsula de Osa y en la cordillera de Talamanca. En la peninsula de Nicoya, el complejo de icoya de basaltos y sedimentos proveen algo de agua de zonas fracturadas.

Agua subterránea proveniente de estas rocas no forman un acuifero continuo, pero reside en fracturas y lentes aislados de grava y de arena, de poca profundidad. La totalidad de la capacidad de recarga del Complejo de Nicoya es menor que el 5 % de la lluvia annual.[25] En general las piedras volcánicas y sedimentarias no diferenciadas de las eras Terciaria y Cretacea forman un subterráneo relativamente permeable.

Agua dulce subterránea puede ser escasa o inexistente cerca de la cima de los volcanes activos. De mínimas a pequeñas cantidades de agua dulce puede estar disponible proveniente de basaltos permeables y flujos de lava andesita, aglomerados y piroclásticos. Sin embargo estas piedras puede que no sean capaces de almacenar agua subterránea debido a su alta elevación y pronunciados declives. El agua subterránea existente puede ser degradada por actividad hidrotermal cerca de volcanes activos. Alto riesgo de actividad volcánica generalmente impide el desarrollo en estas áreas.

El agua dulce es escasa o inexistente en la planicie costera y en acuiferos aluviales debajo de mangleres. De mínimas a grandes cantidades de agua salobre o salina puede encontrarse disponible. Sin embargo, esas areas generalmente no son consideradas para la perforación de pozos debido a inundaciones causadas por mareas y saturación continua.

La mayoria de la recarga del agua subterránea ocurre en áreas donde el suelo de la superficie es grueso o donde volcánicas inalteradas están expuestas en la superficie, tales como en las partes altas de los volcanes.[26] Algunas recargas tambien ocurren en sedimentos no consolidados en valles interiores a lo largo de los arroyos. El alto índice de recarga de varios materiales cerca de la cima de las montañas volcánicas es responsable por la gran producción á menudo disponible en las partes bajas o en la base de los volcanes. Flujos inalterados de lava expuesta pueden absorver hasta el 30 % de la precipitación disponible, mientras que los basaltos de escoria mas permeables pueden absorver hasta un 50 %.[27] Sedimentos no consolidados tambien tienen altos índices de recarga, absorviendo desde el 5 al 2 % de la precipitación disponible.[28]

Durante la estación seca, generalmente entre noviembre y abril, la tabla de agua en algunas áreas puede caer significativamente. Varios cuerpos pequeños de agua superficial alimentados por agua subterránea pueden secarse. La mas alta caida en la tabla de agua durante esta estación tiende a ser en las areas de mas alta elevación que están mas alejadas de los arroyos peremnes y en acuiferos en material fracturado.

La contaminación química y biológica del agua subterránea es común cerca de las areas pobladas. La contaminacón biológica de acuiferos de poca profundidad por patógenos debido a inapropiada disposición de desechos humanos y de animales es un problema común. La contaminación química se debe primariamente al uso indiscriminado de fertilizantes en la agricultura especialmente en áreas rurales. El acuifero de Moin está en peligro de contaminación química y biológica proveniente de desarrollos habitacionales y ganado.[29] La contaminación sigue la pendiente hidráulica, por lo tanto afectará a zonas pendiente abajo de las áreas pobladas. Acuiferos consistentes de flujos de lava fracturada o brechiforme son particularmente susceptibles a la contaminación por que el agua es transmitida rápidamente en la superficie con poca o ninguna filtración de contaminantes. Sistemas fracturados pueden

tambien transportar la contaminación en otras direcciones además de las que se ubican directamente pendiente abajo. En áreas de sedimentos no consolidados, el agua producida desde profundidades menores que 10 a 20 metros en áreas pobladas deberá esperarse que este contaminada. El agua obtenida de pozos cercanos a arroyos poblados tambien está propensa a estar contaminada.

El agua subterránea es generalmente apta para todos los usos, excepto en areas de agua salobre o salina cerca de la costa o cerca de manglares y áreas geotermales.[30] La actividad hidrotermal es común en aguas de superficie más profundas abajo de los límites de las partes mas altas de los volcanes, en fumarolas y en arroyos termales. Las temperaturas de algunos arroyos termales son relativamente cálidas (30 a 40^{o} C). Estas aguas termales pueden ser salobres y desagradables al paladar.[31] Los pozos cerca de estos arroyos probablemente están similarmente afectados.

Sobre explotación de los acuiferos en regiónes costeras causa intrusiones de agua salada. El desarrollo descontrolado de algunas atracciones turísticas ha excedido una segura producción de agua dulce de los acuiferos a lo largo de varias áreas costeras, especialmente durante las estación seca. La intrusión de agua salina ha ocurrido en la Bahia de Tamarindo, Chacarita, Puntarenas, Playa del Coco, Boco Barranca y en el Roble.[32]

Utilización Actual de Recursos de Agua Superficial y Agua Subterránea

Hidroenergía

Costa Rica posee amplios recursos de agua para un desarrollo de plantas hidroelectricas. Sin embargo, han habido recientes iniciativas nacionales hacia el desarrollo de recursos geotermales para la generación de electricidad en vez de las nuevas con carga de aceite o plantas hidroelectricas.

El mayor proyecto de hidroenergía en Costa Rica es el Proyecto Lago Arenal ubicado en la provincia de Guanacaste. ICE comenzó a trabajar en el proyecto en 1974 y completó la construcción en 1979. El agua del lago es trasportada por una linea de tuberias hasta la planta hidroeléctrica de El Arenal y despues a la planta hidroelectrica Corobicí cerca de la ciudad de Canas. Las plantas generan un total de 331.4 mega watts. El agua es despues usada para el proyecto de irrigación Tempisque Arenal, para irrigar tierras de cultivo en las areas secas de la región de Guanacaste. Para los detalles pertinentes de este proyecto de hidroenergía del Arenal ver apéndice C.

Una pequeña cantidad de energía es exportada, pero la poca caida de lluvia en años recientes ha reducido la capacidad, asi que no hay planes definitivos para incrementar la exportación de electricidad. Ingenieros de ICE nos dicen que Honduras comenzó una gran exportación de su electricidad y la poca caida de lluvia ha causado que el país tenga que racionar la electricidad a sus ciudadanos pare poder cumplir con las demandas de contratos extranjeros. Adicionalmente se nos dijo que ningún nuevo proyecto de hidroenergía será comenzado hasta que algunos de los prestamos existentes de hidroenergía sean cancelados. Estos factores, junto con el renovado interés en un desarrollo ambientalmente consisstente no proporcionan un pronostico favorablemente para el desarrollo de nuevas fuentes de hidroenergía, por lo menos no a la escala de Arenal.

Transporte

Muchos carreteras mejorados atravesadas durante la visita al país, carecian de las adecuadas sanjas, alcantarillas y aberturas en puentes para adecuadamente manejar el deslizamiento de aguas lluvias. La inhabilidad para manejar el agua superficial asociada con las carreteras conducen a daños en la superficie de uso, hoyos, inadecuada amplitud de bermas, daños a los puentes y a sus empalmes, y elevamiento de los caminos debido al desplazamiento de agua en la superficie. En varios oportunidades durante nuestros viajes de reconocimiento, encontramos puentes cuyas aberturas han sido inadecuadamente dimensionadas, causando que las aguas de las inundaciones erocionen y dañen los empalmes de los puentes y sus estribos. La causa de este problema, en muchos casos, puede encontrar su origen en la falta de información hidráulica/hidrológica necesaria para determinar apropiadamente el tamaño de las aberturas, forma y patrón de los estribos, etc.

Industrial/Comercial

(Información acerca de fuentes y demanda será obtenida de fuentes adicionales, estamos actualmente investigando articulos en publicaciones técnicas, será incluida cuando la información este disponible.)

Agricultura/Irrigación

Proyecto de irrigación Tempisque-Arenal - El proyecto Tempisque-Arenal es el proyecto de irrigación más grande que ha sido llevado a cabo por el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas (SENARA). Inicialmente, el agua es transportada por tuberias a 65 kilómetros desde el lago Arenal a las plantas de hidroelectricas del Arenal y Corobicí cerca del pueblo de Canas. La descarga de agua desde las plantas de energía es entonces transportada por dos canales para irrigar áreas agrícolas dentro de la región de Guanacaste, principalmente dentro de la cuenca de Tempisque. El Banco Internacional de Desarrollo (BID) está financiando el proyecto y la construcción se supone tomará 30 años para ser completada, a un costo estimado de $360,000,000. La construcción del proyecto esta ocurriendo en cuatro fases, con trabajos actualmente llevandose a cabo en fases uno y dos. El foco principal del proyecto de irrigación es el de proveer agua adecuada para los cultivos existentes, predominantemente arroz, sorgo, y pasto de forraje. Sin embargo, este proyecto tambien incluye un esfuerzo para poder introducir nuevos cultivos en el area para proveer una base de cultivos más diversificada. El proyecto proveerá agua para la región a traves de dos canales principales, un canal oeste y un canal sur. La etapa actual de construcción ha irrigado aproximadamente 7,000 hectáreas (17,300 acres), el proyecto completo proveera irrigación para 66,000 hectáreas (163,000 acres). La información continuación provee de detalles adicionales:

Tabla C. Proyecto de Irrigación Tempisque-Arenal

Canal	Capacidad (m^3/sec)	Longitud Actual, Kilómetros	Longitud Total al Termino del Proyecto, Kilómetros
Oeste	50	30	100
Sur	30	11	30

Hay varios proyectos de irrigación en el lado del Pacífico del País, Sistemas publicos administrados por SENARA y sistemas privados, diseñados por consultores e instalados por dueños individuales.

Abastecimiento de Agua para uso Doméstico

Las fuentes primarias de agua potable para beber en Costa Rica son los pozos, arroyos, grandes reservorios de agua, y pequeños depósitos. El Instituto Costaricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) es el responsable por el desarrollo y la regulación de las fuentes de agua para beber para usos domésticos. AyA usa una variedad de metodos para construir los sistemas de abastecimiento de agua mas pequeños, comunmente encontrados en la mayoria de los pueblos y villas. AyA ocasionalmente construirá el sistema completo y lo entregará al pueblo para su administración. El metodo utilizado para proveer agua es donde se asocia AyA junto con el pueblo local para proporcinar una combinación de equipo y guia técnica, y la comunidad poniend la mano de obra. Los oficiales dicen que el metodo de “sociedades” ha tenido resultados favorables, con ahorro de costos para AyA, junto con y tal vez lo mas importante, que la comunidad local tiene un sentido de propiedad y orgullo sabiendo que ellos se ayudan a si mismos. Este sentido de propiedad tambien disminuye las instancias de vandalismo al sistema, ya que la comunidad local asume el rol de vigilantes.

Los oficiales de AyA nos dicen que su prioridad mas importante es el abastecimiento de agua doméstica y la expanción del servicio sanitario. A pesar de este progreso, aun existen areas rurales que carecen de acceso al sistema de abastecimiento de agua y aunque la incidencia de

varias enfermedades ocasionadas por el agua han disminuido, la incidencia de otras ha incrementado. En las areas mas pobres del país, los índices de mortalidad duplican el promedio nacional. AyA posee seis camiones con equipos de taladros incorporados que utiliza para perforar pozos para pueblos y villas a traves del todo el país. Cinco de los equipos de taladros son equipos de percución Bucyrus-Erie, y uno es un taladro Ingersoll-Rand. Se nos dijo que actualmente hay un periodo de espera de 1 a 2 años, desde el requerimiento inicial hasta la finalización del proyecto. Ingenieros Costaricenses con los cuales hablamos sugirieron la necesidad de equipos adicionales, el período de espera para nuevos pozos refuerza esta necesidad. Aunque la cobertura del servicio de sanitización básica ha mejorado en años recientes, el problema de desperdicios solidos ha crecido. La Organización Panamericana de Salud (PAHO) reporta que aproximadamente 1.5 millones de kg de desperdicios sólidos son producidos diariamente, de los cuales 16 % es recogido regularmente, pero la disposición es inapropiada y 54 % no es recogido de ninguna forma.

Observamos varios anuncios de servicios públicos en la televisión local que prevenia a los ciudadanos acerca de la fiebre Dengue y Cólera y describian ciertas medidas de precaución. Durante nuestros viajes a la región de Guanacaste, notamos varias oficinas satelite de AyA y SENARA mostrando carteles prominentes describiendo la menera adecuada de manipular alimentos y reducir el esparcimiento del Cólera.

Control de Crecidas/Inundaciones

El problema primordial del agua superficial dentro de la región de las tierras bajas Caribeñas es el drenaje. Esta area es de tierras bajas, bosque tropical con muchos rios serpenteantes. El terremoto del 22 de abril de 1991, el cual registro un 7.4 en la escala de Richter y que se originó cerca del pueblo caribeño de Pandora agravó más aun el problema de drenaje. El sismo causó que la linea costera en algunas areas se elevara hasta 1.4 metros en algunas partes. Este incremento en el nivel del suelo cerca de la costa ha causado grandes áreas sean mas susceptibles a las inundaciones, al impedir que el agua corra y drene el agua de las inundaciones. Tambien, la erosión causada por prácticas pobres del uso de la tierra esta causando problemas de sedimentos en algunos rios, especificamente a lo largo del rio Sixaola cerca del pueblo de Bribi.

Mientras que las inundaciones es un problema común en Costa Rica. Se está haciendo muy poco en el área de control de inundaciones/crecidas o de su predicción. El departamento de Administración de Emergencia (CNE) es la agencia responsable en materia de recuperación por causa de inundaciones, sin embargo, su responsabilidad principal es la respuesta a las catastrofes. Ingenieros con los que hablamos ven una necesidad para projectos de prevención de inundaciones, pero reconocen que la CNE carece de autoridad para llevar a cabo dichos proyectos especificos. No tiene acceso en este momento a información de tiempo hidrológico e hidráulico real para hacer pronósticos modernos de inundaciones. Actualmente usa transmiciones telefónicas de información manual y de registros históricos como su principal medio para la predicción de inundaciones, advertencia y preparación para la respuesta a inundaciones. Oficiales de CNE nos comentan que ellos utilizan como comunicación una radio de dos vias en algunas de las areas de alto riesgo para advertir a pueblos y villas de la aproximación de aguas de inundaciones. Hay una preocupación de la necesidad de un mejor sistema de alerta de inundaciones, pero CNE tiene solamente cuatro (4) estaciones de telemetria que reportan los estados del rio y las cantidades de lluvia en forma de tiempo real.

El Instituto Nacional de Electricidad (ICE) mantiene muchas estaciones de medición en las cabeceras de los rios que sirven a sus proyectos de hidroenergía y hay plantas para hacer que

la información de tiempo real de ICE este disponible para CNE para el uso del pronóstico de los eventos de inundaciones. Esto involucrará la instalación del equipo de computación y programas de ICE en CNE conjuntamente con el entrenamiento del personal que utilizará esta tecnología. Este es un paso positivo que aumentará la habilidad de CNE de tomar decisiones basadas en información de tiempo real. Basados en nuestras conversaciones pensamos que la necesidad aun existe para desarrolar sistema de medición a lo largo de los rios y arroyos además de los que actualmente son monitoreados por ICE. Ubicar los fondos necesarios para llevar a cabo esto puede requerir el establecimiento de nuevas prioridades, pero esta información es absoluatmente necesaria para la prudente planificación y desarrollo de los recursos de augua.

La mayoria de la protección disponible para inundaciones está asociada con el almacenaje en varios de los lagos de hidroenergía. Se muestra en la tabla D una lista de rios y arroyos con la frecuencia más grande de inundaciones.

Recreación

Costa Rica está actualmente experimentando un gran crecimiento de escala en su industria turística. En 1988 hubo alrededor de 330,000 visitantes, en 1989 esta cantidad escaló a 376,000, y en 1990 el número de gente visistando el país fue casi sobre los 435,000. Las areas más populares de los turistas son las playas a lo largo de la costa del Pacífico en la región de Guanacaste. Esto ha llevado a una explosión para constructores de lugares de recreo de gran escala. Estos grandes lugares de recreo tienen que proveer su propia agua y muchos descansan en pozos para abastecer sus necesidades. Los problemas ocurren cuando sistemas de pozos de alto volumen perforados bajo de la tabla de agua causan que los pozos de poca profundidad de los campos cercanos y villas experimenten una reducción de caudales y en los peores casos que se sequen. Con el desarrollo que está ocurriendo a lo largo de la costa del Pacífico puede que exista tambien la posibilidad de intrusión de agua salada en el acuifero.

Tabla D.
Rios y Arroyos Con Mayor Frecuencia de Desbordamientos

RIO/ARROYO	PROVINCIA	AREA AFECTADO	TIPO DE EVENTO	INTERVALO DE REPETICION
Quebrada Negritos	San Jose	Escalanta Ent-San Pedro	Inundación	1 año
Quebrada Rivera	San Jose	Guadalupe-Tibas	Inundación	1 año
Rio Canas	San Jose	Desamparados-Aserri	Inundación	1 año
Rio Maria Aguilar	San Jose	San Jose Este y Sur	Inundación	2 año
Rio Torres	San Jose	Guadalupe-San Pedro-San Jose	Inundación	2 año
Rio Ocloro	San Jose	San Pedro-Zapote-Los Yoses Sur	Inundación	1 año
Rio Cucubres	San Jose	Desamparados	Inundación	1 año
Rio Tiribi	San Jose	Curridabat-San Jose Desamparados	Inundación	1 año
Rio Cano Seco	Puntarenas	Ciudad Neilly	Inundación	5 año
Rio Parrita	Puntarenas	Parrita	Inundación	1 año
Rio Claro	Puntarenas	Rio Claro Coto(s)	Inundación	3 año
Rio Coto	Puntarenas	Siiencio-Quepos	Inundación	2 año
Rio Savegre	Puntarenas	Coto(s) Viquillas y otras poblaciones	Inundación	1 año
Rio Balzar	Puntarenas	Puerto Cortes	Inundación	2 año
Rio Guarial	Puntarenas	Paquera Centro	Inundación	1 año
Rio Grande	Puntarenas	Rio Grande	Inundación	1 año
Rio Barranca	Puntarenas	Barranca	Inundación	3 año
Quebrada Tanques	Cartago	Sector Sur Este	Alud	1 año
Rio Purisil	Cartago	Purisil	Alud	5 año
Rio Grande de Orosi	Cartago	Orosi Centro y La Alegria	Inundación	2 año
Rio Turrialba	Cartago	Turrialba Ciudad-Sector Este	Inundación	3 año
Rio Colorado	Cartago	Turrialba-Sector Commercial	Inundación	1 año
Rio Tuis	Cartago	La Suiza-Tuis	Inundación/Alud	2 año
Rio Macho	Cartago	Rio Macho	Inundación/Alud	5 año
Rio Chirripo	Limon	Zent-Corina-Bline-Bristol	Inundación	1 año
Rio Sixaola	Limon	Bribi-Daytonia-Chase-Sixaola	Inundación	1 año
Rio Estrella	Limon	Estrella-Pandora	Inundación	1 año
Rio Limoncito	Limon	Limoncito-Envaco	Inundación	1 año
Rio Banano	Limon	La Bomba	Inundación	1 año
Rio Reventazon	Limon	Siqueirres	Inundación	3 año
Rio Matina	Limon	Matina Centroi	Inundación	1 año
Rio Pacuare	Limon	Pacurito-Indiana-La Perla	Inundación	3 año
Rio Sucio	Heredia	Sarapiqui	Inundación	1 año
Rio Frio	Heredia	Sarapiqui	Inundación	2 año
Rio Zapote	Alajuelo	Upala	Inundación/Alud	1 año
Rio Poas	Alajuelo	Itiquis	Inundación	2 año
Rio Itiquis	Alajuelo	Itiquis	Inundación	2 año
Rio Abangares	Guanacaste	San Fco.-Las Juntas-Palo Hueco	Inundación	2 año
Rio Tempisque	Guanacaste	Guardia-Filadelfia - Paso Tempisque	Inundación	5 año

Transporte Interno en Canales

Los rios en las planicies de la parte norte de Costa Rica son usados extensivamente para carga y transporte de pasajeros, especialmente donde otros medios de transporte son inexistentes. Muy importantes son los rios San Carlos, Sarapiqui y Frio que fluyen hacia el norte a traves de las planicies de las provincias de Alajuela y de Heredia. Los rios San Carlos y Saraqui desembocan en el Rio San Juan en el límite Nicaraguense y el rio Frio desemboca en el Lago Nicaragua. Varios tipos de carga son transportados por bote, incluyendo bananas, frejoles, cacao, madera, maiz, arroz y ganado para el uso local y de exportación.

La costa Caribeña es el hogar del canal Tortuguero, un canal que consiste de una serie de lagunas con canales conectados y que se extiende aproximadamente por 112 kilómetros hacia el norte desde Moin. El canal sirve como un canal intercostero permitiendo el transporte de carga con protección en contra de las encrespadas aguas del mar del Caribe. El canal fue completado en 1970 y como el tráfico de los rios del norte, la carga consiste de bananas, cocos, ganado, madera desde y hacia Moin y comestibles.

Los rios en el oeste de Costa Rica, o la costa del Pacífico son menos usados para el transporte de bienes, principalmente por las fluctuaciones durante la temporada seca y los pronunciados declives tierra adentro de la zona costera. Los rios General y Tebara ubicados en las provincias de San Jose y Puntarenas al sur de Costa Rica, permiten el tráfico entre pueblos y villas a lo largo de sus cursos, pero no permiten el tráfico comercial.

Oportunidades para Aumentar la Utilización de Recursos de Agua

Red Nacional de Sistemas de Medición de Arroyos

Costa Rica tiene una adecuada red de sistemas de medición en arroyos donde hay desarrollo de hidroenergía. Falta de información hidrológica sobre los caudales diarios de los arroyos a traves del país. La información hidrológica que esta disponible usualmente cubre solo periodos limitados y es generalmente insuficiente para el diseño o calibración de modelos avanzados de lluvia/desague de aguas.

Una tremenda cantidad de datos técnicos e información es necesitada para desarrollar y administrar efectivamente los recursos de agua de Costa Rica. Recomendamos que un programa comprensivo de monitoreo de flujos de corriente sea instalado y administrado. Hay dos razones principales para recoger datos hidráulicos del caudal de los arroyos. La primera razón es para acumular una archivo de datos base desde el cual los ingenieros puedan evaluar la disponibilidad de agua para miles de usos, incluyendo abastecimiento de agua, generación de hidroenergía, estudios de sequía o de bajos caudales, diseño de puentes o alcantarillas, protección de inundaciones, desarrollo de estrategias de administración de aguas y para el desarrollo y calibración de modelos computacionales de lluvia/desague. Sin estos datos, cualquier diseño que sea hecho será nada mas que un pronóstico educado de la situación. Los proyectos que se diseñan sin los datos suficientes son á menudo sobredimensionados, resultando en una perdida de valiosos y escasos recursos, o son bajo dimensionados, resultando en un riesgo para la seguridad de los habitantes locales. La segunda razón importante para recolectar información hidráulica sobre caudal de los arroyos es para el uso en la administración de tiempo real de los recursos de agua. Esto no solo incluye su uso para regulación de embalses y la administración de abastecimiento de agua, pero tambien para la

tarea muy importante de advertencia y lucha en contra de las inundaciones. El apendice D contiene una detallada discusión de un programa para desarrollar una red nacional para monitorear los caudales en rios que son críticos en el país.

Tiene que ser entendido que el sistema de monitoreo de flujo de caudales es solo una herramienta en la tarea de un efectivo sistema de advertencia de inundaciones. Una vez que el sistema de monitoreo este en marcha, con un modelo adecuado para predecir inundaciones, un Plan de Emergencia y Acción (PEA) tiene que estar en marcha para utilizar los datos.

El sistema de advertencia de inundaciones puede predecir la ubicación de la inundación y el tiempo, pero un sistema público de advertencia debe de estar en marcha para entregar esta información al público. Si evacuaciones son necesarias, el PEA determinaria cual agencia tiene la responsabilidad y autoridad para recomendar u ordenar. El PEA designaria tambien las áreas de responsabilidad a varias agencias para eliminar la duplicación de esfuerzos de respuesta como á menudo ocurre cuando un plan de respuesta coordinado no existe.

Recomendamos que un programa completo de monitoreo de flujo de caudales sea instalado y administrado para el país. Costa Rica esta en una crítica necesidad de una red que recoja información de los sistemas de medición de flujos de corriente desde puntos estratégico en los rios mas importantes del país. Las ubicaciones estarán en los cruces de los puentes, corriente abajo en la confluencia de grandes tributarios, corriene abajo de represas, corriente abajo de grandes puntos de efluencia industrial, y en puntos de monitoreo de nivel de agua cerca de las comunidades sujetas a inundaciones.

La red inicial de flujo de caudales deberá ser operada y los datos recopilados y analizados continuamente por cinco años. Al final de este período, un análisis de la red deberá llevarse a cabo y se deberá considerar la expanción de la red de estaciones de registro con la instalación de sistemas adicionales de medición en los rios o arroyos, reubicando los sistemas de medición existentes a mejores ubicaciones, y renovando el equipo con mejoras de acuerdo a los últimos avances. El objetivo de todas las instalaciones de medición deberá ser para operación continua.

Entrenamiento Tecnico Básico

En nuestras conversaciones con los ingenieros sentimos que hay una falta de entrenamiento avanzado en planificación e ingeniería de recursos de agua. Coincidentemente, El Distrito de Mobile durante la preparación de este reporte, recibio una petición para proveer de entrenamiento a ingenieros Costa Ricenses en el uso de HEC-5, un programa de computación que trata con la optimización de almacenamiento de agua en operaciones de embalses. El Cuerpo de Ingenieros tiene otros programas de computación que tratan con la administración de recursos de agua. Estos programas están considerados como las herramientas mas avanzadas internacionalmente. Los ingenieros con los cuales hablamos estaban al tanto de el programa HEC-2 del Cuerpo de Ingenieros para calcular el perfil de agua superficial, pero no estaban entrenados para el uso de este programa. Ya que el Distrito de Mobile ha suministrado entrenamieto de esta naturaleza a otros países en la región á menudo el manual del usuario ya ha sido traducido al Español.

Deberiamos enfatizar la interrelación entre redes de medida y el entrenamiento apropiado. El continuar diseñando proyectos sin los datos hidráulicos y tecnología necesaria es sin duda un costo sustancial para el país. Solo los ahorros en costos de sobrediseño o falla de puentes

serian más que el pago del programa. Más aún, esta tecnología puede ser usada para simular índices de sedimento en los principales embalses tales como el del Arenal y Cachi.

La totalidad de la formulación y planificación de las alternativas de recursos de agua podrían ser mejoradas. Sin el análisis apropiado como análisis de costos y beneficios o de evaluación ambiental cualquiera propuesta de recursos de agua fallará en optimizar el uso de los recursos del país. Nos damos cuenta el peso relativo de estas consideraciones pueden muy bien diferir entre Costa Rica y los Estados Unidos; sin embargo, estos hechos deben ser documentados para que asi los planes puedan ser fomulados y las personas encargadas de la toma de decisiones puedan hacer un juicio apropiado. Esta preocupación por la planificación podria probablemente ser mejor introducida en Costa Rica a traves de intercambio técnico y la asistencia a seminarios especializados.

Planificación de Recursos de Agua a Largo Plazo

En nuestras conversaciones con oficiales del gobierno de Costa Rica, nos impresionó sus metas de corto plazo y en general, su capacidad para tratar sus necesidades de recursos de agua. Todos los representantes de las agencias responsables por la supervisión de los recursos de agua con quienes hablamos eran muy capaces y entendidos en la materia y están activamente involucrados en tratar las necesidades inmediatas. Como ocurre á menudo con muchas agencias dentro de los Estados Unidos los recursos y el compromiso por parte de los lideres de los países son la llave para la realización de todas las metas. Sin embargo, sentimos una necesidad real por una planificación completa a largo plazo de los recursos de agua y de los proyectos de control de inundaciones, lo cual es esencial para la prosperidad del país a largo plazo. Fuimos informados en nuestra reunión con CNE, que una comisión de planificación ha sido recientemente formada para manejar la planificación a largo plazo de proyectos de control de inundaciones. Este es un paso en la dirección correcta. Sugeririamos una organización de protección o de fuerza de trabajo para concentrarse en la totalidad de las necesidades de largo plazo de desarrollo de recursos de agua/recursos naturales del país. Esta organización debe evaluar las varias necesidades, desarrollar alternativas y propuestas para su realización y coordinación de las propuestas entre varias agencias, como la legislatura y varias organizaciones públicas.

Notas Finales

1. G. Hartshorn, et al., Perfil Ambiental de Costa Rica No. 0000-C-00-1004-00, San José, Costa Rica: Centro de Ciencia Tropical, Agencia Internacional para el Desarrollo, 1982, página 72.

2. G. Rothe, 1993 Actualización: Planeación de Programas de Sanitación y Agua en Centro América, Proyecto de Salud Ambiental Agua y Sanitación para la Salud, Reporte de Campo No. 404, Washington, DC:Agencia Internacional para el Desarrollo, Septiembre de 1993, página 21.

3. J.S. Reynolds-Vargas y D.D. Richter, Jr., Ambiente Internacional, "Nitrato en las Aguas Subterráneas del Valle Central, Costa Rica" Vol. 21, No. 1 Ciencia Elsevier, Ltd. 1995, páginas 71-72.

4. J.C. Calvo, Revista de Ciencias Hidrológica, "Desarrollo de los Recursos de Agua en Costa Rica", 1970-2000, Vol. 35, No. 2 Abril 1990, páginas 185-196.

5. W. Schwerdtfeger, Climas de Centro y Sur América, "Estudio Climatológico Mundial", Vol. 2, New York: Compañía de Publicaciones Científicas Elsevier, 1976, páginas 424-427.

6. J.C. Calvo, página 188.

7. Agencia para el Desarrollo Internacional, Análisis Regional de los Recursos Físicos de Costa Rica, AID/RIC GIPR No. 4, Washington DC: AID Centro de Recursos de Inventario, Agosto 1965, página L8.

8. Grupo del Proyecto San Juan, Reporte de Pre-Factibilidad, Proyecto Hidrológico y de Navegación del Río San Juan, Managua, Nicaragua: Ministerio de Obras Publicas, Diciembre 1977, páginas A-30 - A-34.

9. C.A. Ulate-R y M.F. Corrales-V, Revista, División de Hidráulica, Artículos de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles, "Inundaciones de Lodo Relativas a la Erupción del Volcán Irazu" No. HY6, Vol. 92, Noviembre de 1966, páginas 117-129.

10. J.C. Calvo, página 188.

11. Oficina de Hidrología, Boletín de Sedimento en Suspención, No. 2, San José: Instituto Costarricense de Electricidad, Octubre 1988, página 303.

12. Grupo Proyecto San Juan, página A-1.

13. Frits Van der Leeden, Recursos de Agua del Mundo, Washington, New York: Centro de Información del Agua, Inc., 1975, página 307.

14. Universidad de Arizona, Centro de Información de Tierras Aridas, Borrador del Perfil Ambiental de Costa Rica, Contrato de Servicio del Parque Nacional, No. CX 001-0-0003, Tucson, Arizona, Julio 1981, página 7.

15. C.M. Pringle, F.J. Triska, y G. Browder, Hidrobiologia, “Variación Espacial en la Química Básica de los Arroyos que drenan los terrenos Volcánicos en la Pendiente Caribeña de Costa Rica”, Vol. 206, Bélgica: Publicaciones Académicas Kluwer, 1991, páginas 73-85.

16. Comisión Internacional para Grandes Embalses, Registro Mundial de Embalses, París, Francia, 1984, página 375.

17. J.R. Jovel, Boletín de Ciencias Hidrológicas, “Desarrollo de los Recursos de Agua en Centro América, de 1970 a 1980”, Vol. 19, No. 4, Diciembre 1974, página 404.

18. Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, Agua Subterránea en el Hemisferio Occidental, Costa Rica”, Recursos Naturales/Serie de Agua No. 4, ST/ESA/35, New York, 1976, páginas 94-96.

19. J.S. Reynolds-Vargas y D.D. Richter, Jr., páginas 71-72.

20. J.S. Reylnolds-Vargas y D.D. Richter, Jr. página 72.

21. Universidad de Arizona, Centro de Información de Tierras Aridas, página 42.

22. Naciones Unidas, Investigaciones de Aguas Subterráneas en Zonas Seleccionadas, Costa Rica, Informe Técnico, DP/UN/COS-65-502/1, New York, 1975 páginas 176-178.

23. Naciones Unidas, 1975, páginas 201-202.

24. Naciones Unidas, 1975, páginas 141-142.

25. J.R. Jovel, página 409.

26. B. Hoelting, Comunicaciones, Revista del Instituto Tropical de Investigaciones Científicas, “Problemas Hidrogeológicos en El Salvador”, Año 7, No. 12, San Salvador, 1958, página 75.

27. B. Hoelting, página 75.

28. Naciones Unidas, 1975, página 99.

29. G. Hartshorn, et al., página 94.

30. Naciones Unidas, 1975 página 100.

31. Naciones Unidas, 1975, página 100.

32. G. Hartshorn, et al., página 94.

APENDICE A

Oficiales Consultados

Apendice A - Oficiales Consultados

AGENCIA	NOMBRE	NUMERO DE TELEFONO	NUMERO DE FAX
U.S. EMBASSY	Mr. Joseph Becelia, DCM	220-3939	
	Ltc. Butch Muse	220-2929 ext. 2462	
	Maj. Otis Sollami	220-2929 ext. 2462	231-7097
MOPT	Ing. Hugo Paniaqua	257-7798 ext. 2441	223-9296
	Ing. Alejandro L. Molina	257-7798 ext. 2572	257-8098
AyA	Mr. Javier G. Jimemez		
	Mr. Gerardo V. Ramirez		
	Mr. Hugo Rodriquez	257-9222 ext. 282	
CNE	Ing. Julio J. Masis	220-2020 ext. 296	
	Dr. Manuel Obando	220-2020	
SENARA	Ing. German B. Matamois	257-9733	222-8785
ICE	Mr. Sadi M. Laporte	220-7309	231-4701
	Ing. Alex Rodriquez	220-7245	
USAID/OFDA	Mr. Paul Bell	220-4545	231-4111
	Mr. Alejandro James	220-4545	231-4111

APENDICE B

Información de Cuencas de Drenaje

Apendice B - Información de Cuencas de Drenaje

No.	NOMBRE de la cuenca	AREA (km^2)
1	RIO SIXAOLA	2,331
2	RIO LA ESTRELLA	1,002
3	RIO BANANO	204
4	RIO BANANITO Y OTROS	205
5	RIO MOIN Y OTROS	362
6	RIO MATINA	1,416
7	RIO MADRE DE DIOS Y OTROS	243
8	RIO PACUARE	882
9	RIO REVENTAZON-PARISMINA	2,950
10	RIO TORTUGUERO Y OTROS	1,644
11	RIO CHIRRIPO	1,635
12	RIO SARAPIQUI	1,923
13	RIO CURENA	343
14	RIO SAN CARLOS	2,646
15	RIO POCOSOL Y OTROS	1,641
16	RIO FRIO	1,551
17	RIO ZAPOTE Y OTROS	2,594
18	RIOS PENINS, DE NICOYA Y COSTA NORTE	4,202
19	RIO TEMPISQUE	3,405
20	RIO BEBEDERO	2,050
21	RIO ABANGARES Y OTROS	1,363
22	RIO BARRANCA	505
23	RIO JESUS MARIA	332
24	RIO GRANDE DE TARCOLES	2,169
25	RIO TUSUBRES Y OTROS	830
26	RIO PARRITA	1,273
27	RIO DAMAS Y OTROS	458
28	RIO NARANJO	332
29	RIO SAVEGRE	594
30	RIO BARU Y OTROS	562
31	RIO GRANDE DE TERRABA	5,077
32	RIOS PENINSULA DE OSA	1,968
33	RIOS ESQUINAS Y OTROS	1,828
34	RIO CHANGUINOLA (PORCION EN COSTA RICA)	256

APENDICE C

Plantas Hidroelectricas del Arenal y Corobicí

Apendice C - Planta Hidroelectrica del Arenal y Corobicí

PLANTA HIDROELECTRICA DEL ARENAL

RESERVORIO

Elevación mínima de la piscina	522	m.s.n.m
Elevación máxima de la piscina	546	m.s.n.m
Area de superficie a nivel máximo de la piscina	87.8	km^2
Capicidad total de almacenamiento	1,990,000,000	m^3

REPRESA SANGREGADO

Elevación de cresta	551	m.s.n.m
Longitud de cresta	1,012	m
Altura Máxima	66	m
Volumen de tierra	4,6000,000	m^3

DATOS DE CAIDA DE AGUA

Elevación de la caida	546	m.s.n.m
Capacidad	160	m^3/sec
Díametro de vórtice	10	m
Diímetro del egreso	6.3	m
Altura de la caida de agua	39.72	m

DIMENSIONES DEL TUNEL

Longitud del tunel	6,497.55	m
Díametro del tunel	5.2	m
Longitud del tubo de presión	641.38	m
Díametro del tubo de presión	4.6 & 2.0	m

TANQUE DE OSCILACION

Altura	111.5	m
Díametro	12.5	m

CASETA DE ENERGíA

No. de turbogeneradores	3	
Capacidad total	157,398	kW
Caida máxima	216	m
Caida mínima	192	m
Caudal máximo	97.5	m^3/sec
Elevación de retorno promedio	330	m.s.n.m
Generador de voltaje	13,800	volts
Transmición de voltaje	230,000	volts
Salida de energía anual	637	gigawatt-hr

PLANTA HIDROELECTRICA DE COROBICÍ

LAGUNA PRINCIPAL

Elevación mínima de la piscina	326	m.s.n.m
Elevación máxima de la piscina	330	m.s.n.m
Area de superficie a nivel máximo de operación	0.025	km^2
Capicidad total de almacenamiento	81,000	m^3

REPRESA

Elevación de cresta	332	m.s.n.m
Longitud de cresta	124.75	m
Altura Máxima	19	m
Tamaño de la cresta	4	m
Tamaño de la base	20	m
Volumen	26,971	m^3

TUBERIA DE CONDUCTO

Longitud del tunel	4,795	m
Díametro del tunel	5.2	m
Longitud de la tuberia de foso	3,362	m
Díametro de la tuberia de foso	4.7	m
Longitud de la tuberia de presión	803	m
Díametro de la tuberia de presión	4.4 & 2.0	m

TANQUE DE OSCILACION

Altura	101	m
Díametro	18	m

CASETA DE ENERGIA

No. de turbogeneradores	3	
Capacidad total	174,012	kW
Caida máxima	237.50	m
Caida mínima	232.40	m
Caudal máximo	98.50	m^3/sec
Elevación de retorno promedio	93	m.s.n.m
Generador de voltaje	13,800	volts
Transmición de voltaje	230,000	volts
Salida de energía anual	762	gigawatt-hora

APENDICE D

Red Nacional de Sistemas de Medición de Arroyos

Apendice D - Red Nacional de Sistemas de Medición de Arroyos

Generalidades

Basado en nuestras discuciones parece que el país de Costa Rica tiene una adecuada red de sistemas de medición en arroyos donde hay desarrollo de hidroenergía. Lo que falta son datos diarios de los caudales de los arroyos a traves del país. Mientras que esto esta disponible en areas muy limitadas, y ususalmente por periodos de tiempo muy cortos, generalmente es insuficiente para el diseño y la calibración de modelos avanzados de lluvias/escurrimiento. Los datos de caudales de los arroyos que estan disponible han sido encontrados dispersos, escasos y á menudo no muy seguros.

Esta falta de información fue verificada a traves de numerosos contactos en Costa Rica. En San Jose, nuestras visitas a CNE, SENARA y otros, dieron a luz la existencia de pocos datos de tiempo real del caudal de los rios. Numerosos ingenieros Costaricenses manifestaron la necesidad de datos básicos para ocupar modelos computacionales avanzados para simular flujo de canales. Otros solicitaron información mas amplia sobre el modelo de computación del Cuerpo de Ingenieros HEC (Centro de Ingenieria Hidráulica, Davis, California). En resumen, hay una seria necesidad por información básica de flujos de caudales en Costa Rica.

Hay dos razones principales para reunir datos hidráulicos de un flujo de caudalese. La primera razón es para acumular una archivo de datos base desde el cual los ingenieros puedan evaluar la disponibilidad de agua para miles de usos, incluyendo abastecimiento de agua, generación de hidroenergía, estudios de sequía o de bajos caudales, diseño de puentes o alcantarillas, protección de inundaciones, desarrollo de estrategias de administración de aguas y para el desarrollo y calibración de modelos computacionales de lluvia/desague. Sin estos datos, cualquier diseño que sea hecho será nada mas que un pronóstico educado de la situación. Los proyectos que se diseñan sin los datos suficientes son á menudo sobredimensionados, resultando en una perdida de valiosos y escasos recursos, o son bajo dimensionados, resultando en un riesgo para la seguridad de los habitantes locales. La segunda razón importante para recolectar información hidráulica sobre caudal de los arroyos es para el uso en la administración de tiempo real de los recursos de agua. Esto no solo incluye su uso de regulación de reservorios y la administración de abastecimiento de agua, pero tambien para la importante tarea de advertencia y lucha en contra de las inundaciones.

Recomendamos que un completo programa de monitoreo de flujo caudales sea instalado y administrado en el país. Costa Rica esta en una crítica necesidad de una red que recoja información de los sistemas de medición de flujos de corriente desde puntos estratégico en los rios mas importantes del país. Las ubicaciones estarán en los cruces de los puentes, corriente abajo en la confluencia de grandes tributarios, corriene abajo de represas, corriente abajo de grandes puntos de efluencia industrial, y en puntos de monitoreo de nivel de agua cerca de las comunidades sujetas a inundaciones.

La red inicial de flujo de caudales deberá ser operada y los datos recopilados y analizados continuamente por cinco años. Al final de este periodo, un analisis de la red deberá ser llevado a cabo y se deberá considerar la expanción de la red de estaciones de registro con la instalación de sistemas adicionales de medición los rios o arroyos, reubicando los sistemas de medición existentes a mejores ubicaciones, y renovando el equipo con mejoras de acuerdo con

los últimos avances. El intento de todas las instalaciones de medición deberán ser para operación continua.

Equipo de Monitoreo

Si una red de estaciones de medición es instalada y operada,¿En que consistirá?, ¿Cuanto costará?, ¿Quien estará a cargo de ella? Para instalar, operar, y mantener el sistema de medición de arroyos y también para hacer las medidas de caudales durante las crecidas, periodos de caudales bajos, o la calibración de las estaciones, será necesario tener una cuadrilla de camiones para los sistemas de medición. Estos camiones llevarán todas las herramientas y equipo necesario para instalar, operar, y mantener las estaciones de medición y tambien para realizar mediciones actuales de caudales. Por lo menos un camión totalmente equipado con sistemas de medición deberá estar disponible en cada departamento. La siguiente es una lista de los equipos necesarios para un camión de medición:

1. Camión de una tonelada equipado como sigue:
   a. 8- pies. Cuerpo utilitario con techo telescópico
   b. Doble ruedas traseras
   c. Tanque de gasolina de 30 galones
   d. Parachoques o defensa de acero con cigueñal de 12,000 libras
   e. Botalón retractable con cigueñal y motor eléctrico

2. Sistemas de medición de arroyos como sigue:
   a. Medidor de corriente de tipo de precio AA
   b. Medidor de corriente de tipo de precio Pygmy
   c. Pesas de plomo de 50 libras
   d. Varilla acolchada para instalación de superficie
   e. Digitizador de medida de corriente con cargador de bateria

Instalación del Sistema de Medición y Operación

Los sistemas de medición de arroyo y sus casetas para el equipo tendrán que ser instalados inicialmente en ubicaciones estratégicas como las descritas arriba. Generalmente, deben estar en las areas donde el canal permanece en una ubicación mas bien que en las rutas serpenteantes a traves de las planicies de las crecidas como lo hacen en muchas de los canales trenzados de Costa Rica. Para llevar a cabo esto, puede que incluso sea necesario el uso de estructuras para confinar el caudal en cierta area para que asi pueda ser medido. A menudo, los medidores están ubicados corriente abajo de los puentes donde están algo protegidos de desperdicios flotantes. Los puentes tambien ofrecen un lugar que es inmediatamente accesible y desde el cual se puede medir la corriente actual para la calibración del medidor. Los medidores que son ubicados en el rio, sólo miden la elevación del agua de la superficie y por lo tanto deben ser corelacionados con medidas de caudal actual para relacionar la altura del rio con un índice de caudal. Por ejemplo, si las condiciones físicas del rio se mantienen mas o menos constantes, habrá una relación directa entre la altura del rio y el índice de caudal. A medida que la altura del rio aumenta, el índice del caudal del rio tambien aumentará. Debido a que la erosión y la sedimentación causan que el rio cambie de forma en sus bancos y lecho a traves del tiempo, la relación entre el grado de altura y de caudal tambien cambia. Por esta razón es necesario recalibrar periodicamente los medidores a traves de las medidas actuales de caudales en diferentes etapas del caudal del rio.

Hay dos tipos básicos para registrar continuamente medidas que deberian ser consideradas para su uso en Costa Rica. Una provee un registro del nivel del agua el cual obtiene energía de un resorte o pesas y registra los niveles del agua a traves del tiempo en planillas o cintas de papel. Estos medidores son revisados y se les da servicio alrededor de cada 4 a 6 semanas para recoger datos, devolver la fuente de poder y llevar a cabo mantenimiento o recalibrar el medidor. Lo que sigue es una lista de equipo para una estación de medida de arroyo de este tipo:

1. El equipo de la estación de medición de caudal incluye:
   a. Nivel de registro de agua continuo Leopold y Stevens Tipo A-71 con reloj Chelsea, linea de flotación perforada de acero inoxidable, polea de flotación, y un flotador de bronce de 10 pulgadas de diametro
   b. Protector de aluminio para la estación de medida de 36 pulgadas de ancho x 30 pulgadas de fondo x 30 pulgadas de alto con tuberia de PVC de 12 pulgadas de diametro de pozo de apoyo

2. Los costos operacionales anuales de la estación de caudal de arroyo incluye:
   a. Costo de operación del vehiculo, (150 millas de ida o vuelta) desde y hacia la estación, equipo de servicio, llevar a cabo la medición del caudal del arroyo, nueve viajes por año
   b. Dos dias-hombre de trabajo y víaticos para cada uno de los nueve viajes por año
   c. Publicación de los datos en reportes de monitoreo de agua

El otro tipo de sistema básico de medición de arroyo es el que provee de datos de tiempo real sobre el estado de rios para uso en la recopilación de datos, regulación de reservas, advertencia de crecidas, y lucha en contra de inundaciones. Estos medidores consisten de equipo que mide la altura de los rios y los reporta hacia una central de computación de monitoreo via señal de radio. La computadora puede continuamente monitorear los datos, almecanarlos para decisiones de operaciones diarias normales o para referencias futuras, y mas importantemente dar alertas automáticas de posibles problemas potenciales, tales como crecidas o condiciones de caudales bajos. Este tipo de sistema requiere mantenimiento períodico, aunque menos frecuente que el que se les da a las registradoras de diagramas en papel, tambien necesita de recalibraciones períodicas debido a las condiciones cambiantes de los rios.

Estos medidores normalmente consisten en un dispositipo de medidas de etapas, tales como un sensor de presión o un burbujeador de aire en el rio y una tuberia de metal en el banco del rio o puente que alberga un transmisor de radio y antena, la cual manda los datos al punto central de recopilación de datos. La tubería tambien puede incluir un medidor de lluvias, termómetro y anemómetro para una estación climática completa. Una bateria de energía solar provee de energía para el transmisor de radio asi que ninguna fuente eléctrica es necesitada. Si el transmisor no tiene una linea directa de vista hacia el computador receptor de datos, una estación repetidora puede ser requerida en una montaña con el proposito de transmitir la señal. La repetidora tambien opera a bateria solar y no necesita de fuentes externas de energía. Una repetidora puede servir a una gran cantidad de estaciones de medida que estén ubicadas en varias cuencas de drenage que estén siendo monitoreadas.

Todo el equipo para tal sistema esta ya disponible en los mostradores de los proveedores incluyendo medidores, repetidoras, computadores y programas para administrar el sistema. Muchos de estos sistemas están ahora en operación como equipos de alerta de crecidas, pero el costo relativamente bajo y su capacidad de tiempo real para la administración y el uso de los

datos, los hace muy atractivos para la consideración de muchas aplicaciones ademas de las advertencias de las crecidas.

Al final de este apendice hay una descripción total de los sistemas de advertencia de crecidas y un diseño preliminar para un sistema.

Administración para la Red de Medición de Arroyos

Asumiendo que un programa se inicia reuniendo estos datos hidrológicos importantes, es imperativo que una sola agencia sea responsable por la administración y control general de este esfuerzo. Si hubiera alguna norma para asegurar la calidad en la adquisicion, almacenaje y analisis de los datos, debe ser manejada a nivel nacional. La recopilación de datos, operación y mantenimiento del equipo podria ser manejado por SENARA u otra agencia, pero el control general deberá recaer sobre el gobierno Federal. Un marco y organización institucional que sea responsable de este nuevo alcance de recolección de datos de los caudales de los arroyos ya existe. SENARA es la entidad gubernamental creada para conducir todo el trabajo relacionado con las ciencias metereológicas e hidrológicas. Esto incluye la recopilación de datos, mantenimiento de los sistemas y redes departamentales, observatorios nacionales, procesamiento de datos, estudios hidrológicos, estudios climáticos, estudios de agroclima y agrometeorología tambien estudios de atmósfera alta y capas de ozono. El cargo de SENARA le da la oportunidad para la administración de políticas de hidrometeorología, la cual incluye, planificación regulación monitoreo y control del uso y la protección de los recursos. Mas aún, llevará a cabo estas funciones en una forma descetralizada y autónoma, tambien como proveer servicios de información y de publicaciones especializadas, ya la organización ha desarrollado acuerdos cooperativos con varios departamentos de corporaciones de desarrollo, asi que no deberií ser difícil arreglar acuerdos para metodos estandares para reunir los datos de los caudales de los arroyos. Sin embargo, esta organización debe entender la importancia y necesidad por estos datos I debe agresivamente vigilar el programa para asegurar que los metodos apropiados son usados para la recolección, almacenamiento, verificación y reporte de estos datos. Si esto no se puede asegurarar, entonces otra organización debe ser encontrada o creada para llevar a cabo esta función.

Red de Estaciones de Medición de Lluvia

¿Cumplirá la instalación de esta red de medición de arroyos el llevar a cabo todos los requerimientos necesarios para tener un programa seguro de monitoreo de recursos de agua en Costa Rica? Lo hará “solo si” los otros elementos necesarios del programa están en marcha: un red segura de monitoreo de lluvias, un centro donde la información pueda ser almacenada y accesada a medida que se necesite, y una infraestructura agresiva que operará y mantendrá al sistema. En nuestra breve inspección de los recursos de agua de Costa Rica, nos quedo la impresión de que un adecuada red de registro de lluvias existe en el país y que un número relativamente pequeño de medidores de lluvia serian necesitados para establecer un programa inicial de monitoreo de recursos. Nuestra busqueda de literatura muestra que una cantidad considerable de datos de lluvia está disponible a traves del país por un período considerable de tiempo. No encontramos ninguna razón para dudar que los datos son exactos ni tampoco que los medidores aún están en operación. Mas aún, una agencia de gobierno, SENARA, es la encargada de la operación de tal sistema.

Asumiendo que los datos de lluvias son precisos, ¿Por qué es necesario agregar sistemas de medición de caudales de arroyos a la red? Para poder administrar los recursos de agua del país, es necesario que Costa Rica recopile, archive, analice, manipule y reporte acerca de

todos los tipos de datos climáticos e hidrológicos. Esto incluye datos sobre temperatura, dirección de vientos y su velocidad, potencial de evaporación, lluvias, humedad, presión barométrica y por ultimo pero no menos importante descarga de caudales de arroyos. En nuestro estudio de los recursos de agua de Costa Rica, repetidamente descubrimos datos climáticos sobre precipitaciones, temperatura, potencial de evaporación y vientos, pero encontramos muy pocos datos relativos a descarga de caudales de arroyos. Mientras es cierto que modelos matemáticos existen, los que pueden usar mapas topográficos y de precipitación para desarrollar relaciones lluvia/escurrimiento y por lo tanto, predecir los caudales de los arroyos, solo con saber la cantidad de lluvia que ocurre en un tiempo determinado sin saber acerca de las caracteristicas de escurrimiento de las condiciones de las cuencas puede dar resultados erroneos al computar las descargas de caudales de los arroyos que son producidos por eventos de lluvia.

Cuando un evento de lluvia ocurre, de la lluvia que realmente llega al suelo, parte se evapora hacia el aire, parte es recogida y atrapada en depresiones en el suelo o en la vegetación, parte es absorbida por la vegetación y transpirada hacia el aire, algo se infiltra en el terreno y se pierde en abastecimientos subterráneos, parte se infiltra en el terreno y reemerge a traves de riachulelos o desde el lecho de los arroyos como caudal adicional (esto es usualmenre referido como el caudal base del arroyo), y parte se escurre sobre el terreno y entra a los arroyos. Sea o no el resultado final de los modelos de lluvia/escurrimiento buenos o no, depende de la exactitud de los parametros de los modelos los que simulan las cosas como la topografía del suelo, las condiciones de humedad de la tierra, permeabilidad del suelo, tipo de suelo, condiciones previas de lluvia, capa vegetal, tiempo del año, temperatura, etc. Todos estos factores afectan la cantidad de precipitación que eventualmente terminará como caudal en un arroyo. Ya que es imposible en uso práctico saber todas estas características para cada cuenca que sea de interés, los modelos matemáticos usualmente tienen un parámetro genérico de calibre tales como permeabilidad del suelo, coeficiente de escurrimiento, y estimados de perdida de lluvia, los que son usados para ajustar el modelo para producir información realista.

¿Cómo el ingeniero ajusta estos parametros para producir estimados realista de los caudales de los arroyos? Los ajustes son hechos basados en la experiencia del ingeniero; sin embargo, este esfuerzo es facilitado grandemente con datos registrados durante los eventos actuales de caida de lluvia y correlacionando esta lluvia con medidas actuales de los caudales que resultaron del evento. Esto permite la calibración segura del modelo para ese evento específico y da una indicación de como reaccionan las cuencas a todos los eventos. Debe ser recordado que cada evento es único y debido a los diferentes parámetros de las cuencas que afectan el escurrimiento, cada evento mostrará una pequeña reacción diferente de la cuenca. Sin embargo, al monitorear los datos de varios eventos las cuencas pueden muy bien ser caracterizadas por un set de parámetros los cuales son usados en el modelo de computador. Es mejor si los parámetros son determinados por observacion de las cuencas bajo estudio, pero ya que no es práctico el instrumentar cada una de ellas, esta calibración puede tambien ser hecha con datos medidos de cuencas similares en el área. Mas aún, esta calibración de lluvia versus escurrimiento debe ser monitoreada y ajustada a traves del tiempo por la topografía cambiante, uso de la tierra, capa vegetal, clima, tiempo del año, antecedentes de lluvias, etc. Asi cualquier red segura de monitoreo hidrológico debe tener una fuente muy segura de datos de lluvias y de caudales de los arroyos, los datos deben ser continuamente recogidos y evaluados por un largo período de tiempo.

Se ha asumido que una red adecuada y exacta de monitoreo de lluvias esta en marcha en Costa Rica y la instalación de sistemas de monitoreo de medidas de caudales de los arroyos

completará, en su mayor parte, los elementos de la red hidrológica. Si esto resulta no ser cierto, entonces recursos tedrán que ser obtenidos para establecer o expandir la red para la medición de lluvias. En las etapas preliminares de delimitación de la red de recopilación de datos, el diseñador determinará la disponibilidad de medidores existentes y sus tipos, para las cuencas en cuestión, y hará uso de los medidores cuando sea posible. Por ahora no creemos que medidores adicionales de lluvias serán un numeral significativo, excepto por la instalación de sistemas de advertencia de crecidas donde una mayor densidad de medidores pueden ser requeridos.

APENDICE E

Bibliografía

Apendice E - Bibliografía

1. Some General Considerations About the Arrangements of Watersheds, 1985.

2. Preliminary Hydrogeologic Analysis of the Blanco River Watershed at Limon, 1981.

3. Delimitation of the Hydrogeologic Unit, the Recharge Zone of the Springs at Moin, Limon 1980.

4. Delimitation of the Support Zone of the Padre Carzo Springs, Tres Rios, Cartago, 1983.

5. Delimitation and Control of the Aqueduct at Guapiles, Limon, 1980.

6. Diagnosis of the Recharge Zone of the Agrojo Springs and Definition of the Limits for the Creation of the Support Zone, Corredores, Puntarenas, 1985.

7. Strategy for the management of Watersheds in Costa Rica; Upper Watershed of the Rio Virilla.

8. Preliminary Study of the Upper and Middle Watershed of the Siquerres River, Siquerres, Limon 1980.

9. Basic Studies of the Barranca River Watershed, Puntarenas, 1984.

10. Basic Studies of the Poas River Watershed, Aserri, San Jose, 1982.

11. Basic Studies of the Potrero River Watershed, Nicoya, Guanacaste, 1981.

12. Basic Studies of the Liberia River Upper Watershed, Liberia, Guanacaste, 1985.

13. Basic Studies of the Nosara River Watershed, Hojancha, Guanacaste, 1981.

14. Basic Studies of the Sarai River Watershed, Buenos Aires, Puntarenas, 1982.

15. Basic Studies of the Upper Watershed of the Tiribi River, Tres Rios, Cartago, 1981.

16. Basic Studies of the Upper and Middle Watersheds of the Aranjuez River, Puntarenas, 1982.

17. Basic Studies of the Upper and Middle Watersheds of the Balsar River, Cortes, Puntarenas, 1983.

18. Basic Studies of the Upper and Middle Watersheds of the Banano River, Limon, 1981.

19. Basic Studies of the Minor Watersheds of the Negro and Tabarcia Rivers at Tabarcia, San Jose, 1986.

20. Geologic Information for Future and Present Utilization of the Springs that Supply the Aqueduct/Watersheds Administered by AyA and the Municipalities in Various Parts of the Country, 1986.

21. Advance Report No. 1 - Banano River Watershed

22. Advance Report No. 2 - Banano River Watershed

23. Advance Report No. 3 - Banano River Watershed

24. Report on the Aquires Estate Springs, Turrialba, Cartago, 1985.

25. Report on the Springs of Naranjito de Quepos, Quepos, Puntarenas.

26. Report on the Nearly Zone of the Springs for la Asuncion de Belen/Diagnosis and Evaluation, Belen, Heredia, 1986.

27. Report of the Present System of the Flores Aqueduct in the New Huacalillo Springs, 1986.

28. Final Report - Banano River.

29. Final Report - Barranca River.

30. Preliminary Report of the Zone for the Hydrographic Resources of the Regional Aqueduct of Coto Brus, 1979.

31. Report on the Limon River Watershed, Alajuelita, San Jose, 1982.

32. Report on the Present Conditions of the Recharge Zone of the Guacimo Limon Springs, Limon, 1982.

33. Report on the Recharge Area Near the Prendas Springs, Alajuela, 1988.

34. Report on the Recharge Zone of the Desamparaditos Springs, Puriscal, 1981.

35. Report on the Pizote Property and the repercussions of the several disturbant factors over the quality of the Tiribi River water-Upper Watershed Tiribi River, Tres Rios, Cartago, 1983.

36. Report on Present Conditions of the recharge zone of the La Fila Spring and La Cangreja Puriscal Hill, Puriscal, San Jose, 1985.

37. Report on the recharge area of the City of Neily, Corredores, Puntarenas, 1985.

38. Report on the environmental impact that the deposit of materials from the excavation for the la Cruz Highway caused in the sub-watershed of the Agres River in Excazu, San Jose, 1985.

39. Report on the present condition of the sandbar on the La Rosa Springs, Cascaljal, San Jose, 1980.

40. National Inventory of Watersheds with potential for utilization for furnishing water supply, 1980.

41. National Inventory of Watersheds, Sub-watersheds, and Springs with potential for utilization for water supply, 1983.

42. National Inventory of Watersheds, Sub-watersheds, and Springs with potential for utilization for water supply, 1986.

43. Site and Location of Sampling Points and some disturbant factors in the Barranca River watershed, Puntarenas, 1984.

44. Policy and Actions taken by AyA for the conservation of hydrographic watersheds and springs (protection of the natural resources), 1983.

45. Paper on: "Diagnosis and evaluation of the recharge zone of the Abrojo Springs and the definition of the boundaries for the creation of a protection zone", Corredores, Puntarenas, (Chiriqui, Panama, 8-14 December, 1986).

46. Paper on: "Conservation of Watersheds" (Analysis Direction/Course of Hydric Resources-AyA).

47. Paper on: "Barranca River Watershed" (2nd Congress of Engineering of Hydraulic Resources; San Jose, C.R.; 1987).

48. Paper on: "Cartographic Principles" (Analysis Course for the Hydric Resources, AyA).

49. Problems of the use of soil in hydrographic watersheds of Costa Rica, 1980.

50. Proposal for the creation of a protection zone in the Banano River watershed, 1989.

51. Compilations of laws and decrees for the protection and conservation of the hydrographic watersheds and springs, 1983.

52. Geo-resistance soundings in the Blanco River, Province of Limon, 1991.

53. Present use of soil in some sub-watersheds and some nearby recharges areas of the springs considered as alternatives for supply of potable water for the City of Cartago (Report for the masterplan of the City of Cartago), 1983.

54. Report on the study of the sand from the Banano River preliminary version with emphasis on the activity pertaining to forestry, 1988.

55. Study for the utilization of the hydric potential of the Banano River for the potable water supply for Puntarenas and other cities, 1988.

56. Report on the studies, activities, and actions that were carried out by AyA in the watershed of the Banano River with the object to use as a water supply for the city of Puntarenas and other cities, 1988.

57. Investigation of subsurface waters in selected areas of Costa Rica, ONU, 1975, technical report.

58. Continuation of the hydrogeologic investigations in the north and east of the Central Valley of Costa Rica, Final Report 1984-97, by the National Service for Subsurface Waters, Drainage and Irrigation, (SENARA) British Geological Survey (BGS), 1988.

59. Masterplan for the supply of potable water to the greater metropolitan area, Tahal Consulting Engineering, 1990.

APENDICE F

EVALUACIÓN DE RECURSOS DE AGUA POR REGIONES

COSTA RICA

ENERO DE 1996

Preparado por:
Centro de Ingeniería Topográfica de la Fuerza Armada de los Estados Unidos
Centro de Análisis de Terrenos
7701 Telegraph Road
Alexandria, Va 22315-3864

PREFACIO

Esta Evaluación de los Recursos de Agua por Regiones presenta un resumen de la información sobre recursos de agua de un país especifico o región. Estas evaluaciones son muy útiles para los planificadores de los recursos de agua ya que proporcionan un panorama general de los recursos de agua disponibles en un país o escala regional. La evaluación incluye dos temas - Recursos de Agua Superficial y Recursos de Agua Subterránea - con su respectivo texto, tablas y figuras. También incluye una bibliografía, un glosario y una lista de nombres de lugares. El texto presenta un resumen de los tópicos de recursos de agua, mientras que las tablas presentan una información mas detallada y cuantitativa. La información de las tablas está representada gráficamente como unidades de mapa en el gráfico de mapa. La tabla y el mapa deberán ser usados conjuntamente para entender el tema de lo recursos de agua.

El tema de los Recursos de Agua Superficial presenta las características del agua superficial como posibles fuentes de agua. La tabla para este tema detalla la calidad, cantidad y las características significativas de agua por estación en cada región del país y describe el acceso a estas fuentes potenciales de agua. El mapa gráfico divide el país en regiones de agua superficial, delineando lugares donde el agua dulce esta siempre disponible, disponible estacionalmente y escasa o no la hay. También se describen, si los hubiere, los lugares donde hay agua salobre y salina. Los límites de las cuencas de ríos principales y estaciones de medición de ríos selectos también se muestran. Los reservorios hechos por el hombre se muestran, sin embargo las represas no están representadas.

El tema de los Recursos de Agua Subterránea, describe la disponibilidad de agua subterránea como fuente de agua utilizable a través de toda el área de estudio. La tabla para ese tema detalla las características predominantes para cada región del país, tal como los nombres de los acuíferos, material de los acuíferos, espesor de los acuíferos, profundidad al agua, fuentes productoras y calidad del agua. La tabla también presenta información útil para la localización de terrenos, diseño y construcción de nuevos pozos. El mapa gráfico divide el país en regiones de agua subterránea de características similares. La ubicaciones de pozos individuales generalmente no se delinean debido escala pequeña del mapa.

Esta evaluación hecha para Costa Rica apoya el programa de evaluación de recursos de agua del Distrito de Mobile del Cuerpo de Ingenieros de la Fuerza Armada de los Estados Unidos, y como tal, directamente apoya a la acción civica-humanitaria del programa de desarrollo del agua que lleva a cabo el Comando Sur de los Estados Unidos. La información que se suministra es la mas reciente disponible a enero de 1996 de fuentes publicadas en los Estados Unidos. El autor principal de esta evaluación es James A. Laprevote y Robert B. Knowles.

Solicitudes para Evaluaciones de los Recursos de Agua por Regiones u otra información relativa a recursos de agua deberán ser dirigidas al Centro Topográfico de Ingeniería de la Fuerza Armada de los Estados Unidos, La Division de Operaciones, Centro de Análisis del Terreno, 7701 Telegraph Road, Alexandria, Va 22315-3864.

Evaluación de los Recursos de Agua por Regiones

Contenido

Título	Número De Pagina
Prefacio	F-1
Lista de Nombres de Lugares	F-3
1. Introducción	F-4
2. Recursos de Agua Superficial	F-4
3. Recursos de Agua Subterránea	F-7
Notas Finales	F-11
Bibliografía	F-27
Glosario	F-30

Tablas

1. Recursos de Agua Superficial F-13
2. Recursos de Agua Subterránea F-18

Figuras

1. Recursos de Agua Superficial F-23
2. Recursos de Agua Subterránea F-25

Lista de Nombres de Lugares

Nombre del Lugar	Coordinada Geográfica
Bahía Tamarindo	1019N08553W
Boco Barranca	0958N08444W
Cadena Central de Montañas	1008N08408W
Chacarita	0959N08447W
Cordillera Central	1000N08400W
Cordillera de Guanacaste	1045N08510W
Cordillera de Talamanca	0930N08340W
Cuenca del Río San Juan	1030N08430W
El Roble	0959N08444W
Embalse Hidroeléctrico de Cachi (reservorio)	0949N08350W
Filadelfia	1027N08534W
Fuentes de Agua	1000N08305W
Laguna Cano Negro	1052N08447W
Laguna de Arenal (reservorio)	1032N08456W
Llanura de San Carlos	1037N08410W
Meseta Central (Valle Central)	0955N08405W
Pendiente de la Cuenca Caribeña	0940N08330W
Pendiente de la Cuenca del Pacífico	0940N08430W
Península de Nicoya	1000N08525W
Península de Osa	0833N08330W
Playa del Coco	1033N08543W
Provincia de Guanacaste	1030N08530W
Puente de Mulas (fuentes de agua)	0959N08411W
Puerto Limón	1000N08302W
Puntarenas	0958N08450W
Río Banano	0956N08300W
Río Bebedero	1015N08515W
Río Grande de Tarcoles	0947N08438W
Río Reventazon	1017N08325W
Río San Carlos	1047N08412W
Río San Juan	1056N08342W
Río Tempiste	1012N08514W
Río Virilla	0956N08422W
San José	0956N08405W
Valencia (Campo de pozos)	0958N08407W
Valle de Tempiste	1024N08520W
Valle del General	0908N08323W

Nota: Las coordinadas de los ríos generalmente son en la desembocadura del río.

Evaluación de Recursos de Agua Por Regiones

Costa Rica

1. Introducción

Costa Rica es uno de los países del mundo mas ricos en recursos de agua. La combinación de una topografía muy montañosa con altas precipitaciones sobre una pequeña área geográfica suministra corrientes para agua superficial y recargas para agua subterránea. Los recursos de agua constituyen una de las razones viables para el desarrollo sustancial en Costa Rica.[1] Este país es mas desarrollado que sus vecinos en el área de suministro de agua y sanitación. En 1992, el 100 % de la población urbana y el 90 % de la población rural tenían acceso a suministros de agua confiables. Sin embargo, la falta de tratamiento esta causando que las fuentes de agua mas tradicionales se vuelvan no aptas para el consumo humano.[2]

Los recursos de agua superficial son por lo general abundantes. Sin embargo, estos son estacionales en el noroeste del país, que posee una estación lluviosa y otra seca. Durante la estación seca de diciembre a abril, los arroyos pequeños del noroeste pueden secarse. El agua superficial de Costa Rica esta contaminada de fuentes naturales, industriales, residenciales y de la agricultura.

Suministros de agua dulce subterránea están disponibles a través de casi todo el país . Las fuentes de agua y los pozos son la fuente mas confiable e importante para el suministro de agua tanto para beber como de uso industrial en Costa Rica. Los suministros mas abundantes se encuentran en volcánicas cuaternarias en el interior de las cuencas y en las pendientes suaves y bajas de la mayoría de los volcanes. Estos acuíferos de origen volcánico proveen de agua dulce para beber a la mitad de la población de las principales ciudades en la Meseta Central (Valle Central) donde vive la mitad de la población de Costa Rica.[3] Suministros importantes también están disponibles en aluviones no consolidados y sedimentos en las planicies costeras.

Los suministros de agua subterránea son adecuados en el resto del país. Sin embargo, la contaminación biológica del agua subterránea poco profunda se está convirtiendo en un problema que se esta diseminando ampliamente. Las aguas negras y los fertilizantes son las mas grandes fuentes de contaminación de agua subterránea. También la intrusión de agua salada está degradando los suministros de agua dulce en muchas áreas costeras. Fuentes naturales de agua salobre o salina se encuentran bajo los manglares que dominan muchas áreas costeras.

2. Recursos de Agua Superficial

Los ríos son la fuente de aproximadamente el 40 % del agua dulce tratada para uso doméstico en Costa Rica.[4] El agua superficial es abundante todo el año excepto en el noroeste de la Provincia de Guanacaste, que tiene una pronunciada estación seca desde diciembre a abril. La mayoría del resto del país posee un clima de tropical húmedo a húmedo temperado con precipitaciones todo el año.[5] Costa Rica tiene un promedio de precipitación anual de 337

centímetros, todo en forma de lluvia. Las mas grandes cantidades de lluvia caen en la cadena central de montañas y en las planicies bajas en el extremo noreste.[6,7] La precipitación mas abundante generalmente ocurre de agosto a octubre. Consecuentemente, los caudales mas altos de los ríos se dan generalmente en este período. Frecuentes tormentas tropicales intensas son causa de inundaciones en la costa noreste. Los huracanes que pueden causar inundaciones catastróficas, se han adjudicado deslaves de tierra en un rango de una vez cada 4 años a lo largo de la costa noreste.[8]

Una serie de cadena de montañas a lo largo de la línea noroeste y sureste divide Costa Rica tanto físicamente como climáticamente. Esta cadena montañosa se extienden desde la esquina noroeste extrema del país hasta la frontera con Panamá en el sur. Varios volcanes en esta región están activos. Después de grandes erupciones de ceniza, grandes flujos de lodo pueden ocurrir durante las primeras lluvias copiosas.[9] Para el propósito de este estudio Costa Rica ha sido dividida en tres cuencas de ríos generalizadas. Estas son: La Cuenca del Caribe; la Cuenca del Pacífico y la Cuenca del Río San Juan. Sin embargo, la mayoría de los estudios dividen el país en 34 cuencas principales. Durante un año normal el flujo total de agua superficial al Océano Pacífico y el Mar Caribe se estima en 112 kilómetros cúbicos (112,250 millones de metros cúbicos).[10] Ver tabla 1 y figura 1 para mas detalles.

Generalmente cantidades enormes de agua dulce están disponible provenientes de ríos grandes, reservorios y lagos en todo el país menos las partes mas altas de la pendiente del Caribe y las cuencas del Río San Juan. La cuenca del Caribe y la cuenca del este del Río San Juan son las partes mas húmedas del país y poseen las variaciones estacionales mas pequeñas en descargas. Los caudales máximos se dan de octubre a noviembre. Los caudales mínimos se dan de Marzo a abril que es cuando los caudales en las cuencas mas pequeñas pueden estar limitados a grandes cantidades. La calidad del agua es generalmente dulce, sin embargo, altas cargas de sedimentos causan alta turbiedad durante caudales máximos.[11] El Río San Juan es el río mas grande de Costa Rica. La cuenca del Río San Juan cubre una extensión de 40,670 kilómetros cuadrados de los cuales 12,325 kilómetros cuadrados están en Costa Rica. Esta cuenca cubre el 24 % del área total de Costa Rica la cual es de 50,700 kilómetros cuadrados.[12,13]

De grandes a enormes cantidades de agua dulce están disponibles provenientes de grandes ríos en las partes este y central de la cuenca del Pacifico. Estas áreas tienen distintos períodos de caudales altos y bajo, caudales máximos ocurriendo de Septiembre a noviembre. Caudales mínimos ocurriendo de enero a abril, con un promedio del 10 al 30 % de la descarga máxima. Aún durante períodos de caudales altos, se puedan dar varias semanas de clima seco durante las cuales los caudales de los ríos pueden ser grandemente reducidos.[14]

De pequeñas a muy grandes cantidades de agua dulce están disponibles provenientes de nacimientos montañosos de cada una de las tres cuencas en la cadena central montañosa y a lo largo de los grandes ríos en la cuenca del Pacifico al oeste del puerto de Puntarenas. Flujos mínimos promedian del 10 al 25 % de los caudales máximos. Los caudales aumentan rápidamente como respuesta a las tormentas y traen corrientes rápidas y grandes cargas de sedimento. El potencial de desbordes inusitados en los ríos es alto, especialmente en las partes mas altas, generalmente partes montañosas de la Cuenca del Pacifico al suroeste, frente a uno de los lados de la cadena montañosa. Aguas termales están presentes en algunas áreas adyacentes a los volcanes, estas aguas son la causa de que algunos pequeños ríos aledaños tengan altos grados de sólidos totales disueltos.[15]

De moderadas a muy grandes cantidades de agua dulce están disponibles estacionalmente en la Cuenca del Pacifico al oeste del puerto de Puntarenas, excepto en las tierras bajas de los ríos mas grandes. Una estación seca pronunciada de noviembre a abril es la causa de bajas en los ríos mas pequeños o que se sequen durante periodos largos. Los caudales en los ríos mas grandes también se ve grandemente reducida y el sólidos totales disueltos puede incrementar en áreas donde agua subterránea salobre esta presente. Las descargas suben rapidamente a consecuencia de la lluvia e inundaciones súbitas representan un peligro en áreas montañosas. Las cargas de sedimentos, las cuales generalmente son altas, se vuelven aún mas altas durante flujos máximos. La contaminación por el ganado es común, particularmente donde se concentran los animales o se les permite pastar cerca de los lagos y pantanos. Escasez en el suministro de agua potable de uso domestico puede afectar algunas áreas urbanas durante la estación seca.

Escasas a moderadas cantidades de agua dulce están estacionalmente disponibles provenientes de ríos en pequeños nacimientos costeros en su mayoría en la Península de Nicoya, Península de Osa y en una área al sur de la Península de Osa. Grandes cantidades pueden estar disponibles provenientes de ríos mas grandes durante unas cuantas horas luego de lluvias abundantes. Solo pocos ríos son perennes, la mayoría se secarán por períodos largos durante la estación seca. Los ríos suben y bajan rapidamente en respuesta a la lluvia, e inundaciones súbitas son una amenaza en áreas montañosas. Los niveles de sedimentos son generalmente altos, y la contaminación por ganado es común.

De grandes a enormes cantidades de agua salina o salobre están disponibles en la desembocaduras de los ríos, lagunas y estuarios a lo largo de las costas del Pacifico y del Caribe. En las desembocaduras de las lagunas y los ríos se puede encontrar ambas aguas, salobre y salina, mientras que en los estuarios generalmente se encuentra únicamente agua salina. El agua salina y salobre en los manglares costeros puede contener grandes cantidades de material orgánico natural. Los manglares son zonas ambientales sensitivas.

Los nacimientos montañosos de la cuenca del Caribe son las ubicaciones de dos importantes embalses hechos por el hombre que generan energía hidroeléctrica. Uno de los embalses, ubicado aproximadamente 30 kilómetros al sureste de San José, es el Embalse Hidroeléctrico de Cachi. Este cubre 51 kilómetros cuadrados de la cuenca del Río Reventazon. El otro embalse, ubicado aproximadamente 110 kilómetros al noroeste de San José, es el de la Laguna de Arenal. Este cubre 2,200 kilómetros cuadrados de la cuenca del Río San Carlos.[16]

El agua superficial bajo las áreas mas populosas esta generalmente contaminada por desperdicios domésticos, agrícolas e industriales. Las fuentes de contaminación agrícola incluyen pesticidas, fertilizantes y excremento animal en las descargas. La disposición de los desperdicios agrícolas del proceso del café, caña de azúcar y otros cultivos se va en ríos en algunas áreas. El material fibroso de estos desperdicios puede tapar las unidades de filtración. En las áreas urbanas, las industrias contribuyen con cantidades significativas de desperdicios. La calidad del agua es mas pobre en la cuenca superior del Río Grande de Tarcoles. El tratamiento de aguas negras es mínimo, ya que la disolución natural constituye la estrategia en la que se confía para disminución de la contaminación. Como resultado, los problemas de contaminación pueden ser severos durante los períodos de flujos bajos. Aún en áreas no desarrolladas, condiciones naturales inherentes a los climas tropicales tal como aguas templadas y abundantes nutrientes traen como consecuencia una calidad de agua pobre. Todas las fuentes de agua superficial deberían ser cuidadosamente tratadas antes de usarse.

3. Recursos de Agua Subterránea

Agua dulce subterránea proveniente de fuentes y pozos es el mas confiable e importante recurso para el suministro de agua para beber e industrial en Costa Rica. La mayoría de los acuíferos están formados de flujos de lava volcánica y piroclasticos de la era media terciaria a era reciente, los cuales dominan la geología del país. Estos tienen capacidad considerable de almacenaje y una producción estimada de 20,040,000 litros por minuto (334 metros cúbicos por segundo). El 58 % del agua subterránea se descarga en el océano Atlántico y el 42 % en el océano Pacifico.[17] En general, los mejores acuíferos volcánicos están localizados en las unidades mas jóvenes, que son usualmente aquellas que se encuentran mas cerca de la superficie. Acuíferos importantes también se encuentran localizados en aluviones no consolidados y depósitos costeros de sedimentos. Ver tabla 2 y figura 2 para mas detalles.

El agua subterránea obtenida de las fuentes y pozos perforados, es usada primordialmente para suministro de uso domestico y industrial en Costa Rica. Constituye el suministro de agua para beber y de uso domestico para mas del 60 % de la población del país. Los sistemas de distribución de la mayoría de las ciudades grandes combinan agua de pozos con fuentes surtidoras. La mitad del suministro de agua municipal para San José proviene del pozo de Valencia y de las fuentes de Puente de Mulas. El agua subterránea constituye la única fuente de suministro para la ciudad costera de Limón y para muchas áreas industriales.[18]

De moderadas a grandes cantidades de agua subterránea están disponibles de acuíferos altamente productivos en Colima y Barba, formaciones geológicas del pleistoceno a la era reciente. Estos acuíferos están compuestos de brechas volcánicas altamente porosas y flujos de lava fracturada con depósitos piroclasticos de tobas en capas sobrepuestas. Estos están en su mayoría concentrados en la Meseta Central en donde son un recurso importante de suministro de agua. Los acuíferos de Barba sobrepasan el acuífero de Colima y se descargan en muchos manantiales a grandes alturas. El acuífero de Colima que se extiende por debajo se descarga en una serie de manantiales largos a lo largo del Río Virilla en tierras del valle. El agua subterránea se almacena en áreas altamente fracturadas y zonas brechiformes en capas de lavas y en capas piroclasticas sueltas, granuladas gruesas.[19] Ambientes hidrogeologicos similares probablemente se encuentran en las pendientes de otras cadenas montañosas volcánicas de la Cordillera Central, Cordillera de Guanacaste y Cordillera de Talamanca.

Los acuíferos volcánicos son recursos de agua de valor incalculable, ya que ellos suministran agua para tomar a las ciudades principales en la Meseta Central incluyendo a la mitad de la población de San José. El acuífero de Barba se recarga con las lluvias. El acuífero de Barba gotea en las camas de lava de las capas subterráneas superficiales de Colima. Estos acuíferos poseen una conductividad hidráulica alta y transmiten agua subterránea rapidamente. Los altos grados de infiltración y alta conductividad hidráulica hacen a estos acuíferos mas susceptibles a la contaminación, ya que ambas, el agua subterránea como los contaminantes pueden emigrar relativamente rápido. Uso intensivo y extenso de sistemas de fosa sépticas y fertilizantes en todo el valle han dado como resultado altas concentraciones de nitrato en el agua subterránea. Altas concentraciones de nitrato en el agua para tomar pueden tener efectos adversos en la salud de los seres humanos.[20]

De moderadas a grandes cantidades de agua dulce están disponibles provenientes de la planicie costera y los acuíferos aluviales en el Valle de Tempiste, Puerto Limón y la ciudad de Puntarenas. El acuífero de Tempiste, en el valle de Tempiste, esta formado por aluviones cuaternarios, este provee de agua subterránea para Tempiste y otros pueblos grandes y

haciendas. El acuífero de Tempiste es el acuífero aluvial mas grande de Costa Rica y afortunadamente esta localizado en el área del país que tiene la menor cantidad de agua lluvia y agua superficial.[21] Cerca de la ciudad costera del Atlántico de Puerto Limón, piedras calizas de coral de la Formación Geológica Miocena Gatun forman el acuífero de Moin. El acuífero de Moin se descarga en los manantiales de Moin que proveen parte del suministro de agua municipal de Puerto Limón. El aluvión localizado en el cercano valle del Río Banano forma el acuífero de La Bomba. Los acuíferos de La Bomba y Moin son los principales recursos de agua de Puerto Limón.[22]

El aluvión cuaternario cercano a la ciudad costera del Pacifico de Puntarenas forma un sistema de acuífero de dos capas. Este sistema provee agua subterránea para el suministro de agua de Puntarenas. El acuífero superior no confinado de Barranca esta separado por una cama confinada de barro cenagoso proveniente del acuífero del Roble que se encuentra mas abajo. La sobre explotación de estos dos acuíferos esta causando intrusión de agua salada.[23]

De pequeñas a moderadas cantidades de agua dulce están disponibles de brechas volcánicas y piedras areniscas en el Valle del General y también provenientes de depósitos de laharic (flujo lodoso volcánico) granulado de fino a grueso en la región de la Llanura de San Carlos. Los depósitos de laharic pueden formar un acuífero regional no confinado con numerosos acuíferos elevados y poco profundos. La densa vegetación y la falta de infraestructura pueden hacer la explotación difícil en cualquiera de estas regiones.

De pequeñas a moderadas cantidades de agua dulce están localmente disponibles provenientes de acuíferos volcánicos pleistocenos localizados alrededor del Valle de Tempiste. Al norte del Valle de Tempiste se encuentran densos flujos de lava basáltica fracturados de la Formación Geológica de Bagaces. Estos forman el acuífero mas productivo en la región aparte del acuífero aluvial de Tempiste. El acuífero de Bagaces provee de agua subterránea a numerosas villas y haciendas. Al sur del Valle de Tempisque se encuentran depósitos sedimentarios fluviales lacustres con pomas y riolitas. Estos depósitos forman el acuífero de Liberia. Este acuífero tiene una importancia regional para la agricultura y las pequeñas industrias. Aunque el nivel de permeabilidad en el acuífero es limitado debido al alto contenido de barro, suficiente cantidad de agua esta almacenada en fracturas interconectadas para abastecer el uso en áreas urbanas locales y áreas rurales.[24]

De muy pequeñas a pequeñas cantidades de agua dulce pueden estar localmente disponibles provenientes de formaciones volcánicas no diferenciadas y sedimentarias de las eras Terciaria y Cretácea en la Península de Nicoya, Península de Osa y la Cordillera de Talamanca. En la Península de Nicoya, el Complejo de Nicoya de basaltos y sedimentos provee cierta cantidad de agua proveniente de zonas fracturadas. El agua subterránea de estas rocas no forma un acuífero continuo, solo residencias de agua en lentes fracturados, poco profundos, aislados de arena y grava. En general la capacidad de recarga del Complejo de Nicoya es menor que el 5 % de la precipitación anual.[25] Usualmente, las volcánicas no diferenciadas de la era Terciaria y Cretácea y las rocas sedimentarias forman una base relativamente impermeable.

Agua dulce subterránea puede ser escasa o inexistente cerca del tope de los volcanes activos. Cantidades de mínimas a pequeñas de agua dulce pueden estar disponibles provenientes de basaltos permeables y flujos de lava andesita, de aglomerados y piroclasticos. Sin embargo, estas rocas puede que no almacenen agua subterránea debido a su elevada ubicación y pendientes empinadas. El agua subterránea existente puede también ser degradada por la

actividad hidrotermal cerca de volcanes activos. El alto riesgo volcánico generalmente evita que estas áreas sean desarrolladas.

El agua dulce es escasa o inexistente en acuíferos aluviales y costeros que se localizan por debajo de manglares. De mínimas a grandes cantidades de agua de salobre a salina pueden estar disponibles. Sin embargo, estas áreas generalmente no son consideradas para la perforación de pozos debido a inundaciones por la marea y saturación continua.

La mayoría de la recarga de agua subterránea ocurre en áreas donde los suelos de la superficie son gruesos o donde volcánicas no alteradas están expuestas en la superficie, como por ejemplo en las faldas mas altas de los volcanes.[26] Cierta recarga también se da en sedimentos no consolidados en el interior de los valles y a lo largo de los manantiales. El alto grado de recarga de muchos elementos cerca de la cima de montañas volcánicas se debe a la gran producción usualmente disponible en los flancos bajos o en la base de los volcanes. Flujos expuestos de lava no alterada pueden absorber hasta un 30 % de la precipitación disponible, mientras que los basaltos de escoria mas permeables pueden absorber hasta un 50 %.[27] Flujos no consolidados también tienen altos grados de recarga, absorbiendo de 5 a 20 % de la precipitación disponible.[28]

Durante la estación seca, generalmente entre los meses de noviembre a abril, el nivel freático del agua en algunas áreas baja considerablemente. Muchas extensiones de agua superficial pequeñas las cuales son alimentadas por aguas subterráneas se secan. La baja mas grande en el nivel freático del agua durante esta estación tiende a darse en las áreas de mayor elevación las cuales están mas lejos de los ríos perennes y en acuíferos no continuados en material fracturado.

La contaminación química y biológica del agua subterránea es común cerca de las áreas populosas. La contaminación biológica por medio de agentes patógenos de los acuíferos poco profundos debido a la incorrecta disposición de desechos humanos y de animales representa un problema común. La contaminación química se debe principalmente al uso indiscriminado de fertilizantes en la agricultura, especialmente en las áreas rurales. El acuífero de Moin esta en peligro de ambas contaminaciones, biológica y química, provenientes de desarrollos urbanos y del ganado.[29] El curso contaminante generalmente sigue el gradiente hidráulico de esta forma, la contaminación típicamente afectará las áreas pendiente abajo de áreas populosas. Los acuíferos formados por flujos de lava fracturados o brechiformes son particularmente susceptibles a la contaminación debido a que el agua es transmitida rapidamente a la superficie con escasa o ninguna filtración de contaminantes. Los sistemas fracturados pueden también transportar la contaminación en otras direcciones y no únicamente pendiente abajo. En áreas de sedimentos no consolidados, el agua que se produce a profundidades menores de 10 a 20 metros en zonas populosas se deberá esperar que este contaminada. El agua que se obtiene de pozos que están a la par de ríos contaminados también estará contaminada.

El agua subterránea es generalmente apropiada para todos los usos, excepto en áreas de aguas salinas o salobres cerca de la costa o a la par de manglares y en zonas geotermales.[30] Actividad hidrotermal es común en aguas mas profundas de la sub-superficie debajo de flancos altos de volcanes, en fumarolas y en manantiales termales. La temperatura de algunos manantiales de aguas termales es relativamente caliente (de 30 a 40 grados Centígrados). Estas aguas termales pueden ser salobres y desabridas.[31] Los pozos localizados cerca de estos manantiales estarán probablemente afectados en forma similar.

La sobre explotación de los acuíferos en las regiones costeras causa la intrusión de agua salada. El desarrollo no controlado de algunas atracciones turísticas ha sobrepasado la producción sostenible y segura de los acuíferos de agua dulce a lo largo de varias áreas costeras, especialmente durante la estación seca. Intrusión de agua salada ha ocurrido en la Bahía Tamarindo, Chacarita, Puntarenas, Playa del Coco, Boco Barranca y El Roble.[32]

Notas Finales

1. G. Hartshorn, et al., Perfil Ambiental de Costa Rica No. 0000-C-00-1004-00, San José, Costa Rica: Centro de Ciencia Tropical, Agencia Internacional para el Desarrollo, 1982, página 72.

2. G. Rothe, 1993 Actualización: Planeación de Programas de Sanitación y Agua en Centro América, Proyecto de Salud Ambiental Agua y Sanitación para la Salud, Reporte de Campo No. 404, Washington, DC:Agencia Internacional para el Desarrollo, Septiembre de 1993, página 21.

3. J.S. Reynolds-Vargas y D.D. Richter, Jr., Ambiente Internacional, "Nitrato en las Aguas Subterráneas del Valle Central, Costa Rica" Vol. 21, No. 1, Ciencia Elsevier, Ltd., 1995, páginas 71-72.

4. J.C. Calvo, Revista de Ciencias Hidrológica, "Desarrollo de los Recursos de Agua en Costa Rica", 1970-2000, Vol. 35, No. 2, Abril 1990, páginas 185-196.

5. W. Schwerdtfeger, Climas de Centro y Sur América, "Estudio Climatológico Mundial", Vol. 2, New York: Compañía de Publicaciones Científicas Elsevier, 1976, páginas 424-427.

6. J.C. Calvo, página 188.

7. Agencia para el Desarrollo Internacional, Análisis Regional de los Recursos Físicos de Costa Rica, AID/RIC GIPR No. 4, Washington DC: AID Centro de Recursos de Inventario, Agosto 1965, página L8.

8. Grupo del Proyecto San Juan, Reporte de Pre-Factibilidad, Proyecto Hidrológico y de Navegación del Río San Juan, Managua, Nicaragua: Ministerio de Obras Publicas, Diciembre 1977, páginas A-30 - A-34.

9. C.A. Ulate-R y M.F. Corrales-V, Revista, División de Hidráulica, Artículos de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles, "Inundaciones de Lodo Relativas a la Erupción del Volcán Irazu" No. HY6, Vol. 92, Noviembre de 1966, páginas 117-129.

10. J.C. Calvo, página 188.

11 Oficina de Hidrología, Boletín de Sedimento en Suspención, No. 2, San José: Instituto Costarricense de Electricidad, Octubre 1988, página 303.

12. Grupo Proyecto San Juan, página A-1.

13. Frits Van der Leeden, Recursos de Agua del Mundo, Washington, New York: Centro de Información del Agua, Inc., 1975, página 307.

14. Universidad de Arizona, Centro de Información de Tierras Aridas, Borrador del Perfil Ambiental de Costa Rica, Contrato de Servicio del Parque Nacional, No. CX 001-0-0003, Tucson, Arizona, Julio 1981, página 7.

15. C.M. Pringle, F.J. Triska, y G. Browder, Hidrobiologia, “Variación Espacial en la Química Básica de los Arroyos que drenan los terrenos Volcánicos en la Pendiente Caribeña de Costa Rica”, Vol. 206, Bélgica: Publicaciones Académicas Kluwer, 1991, páginas 73-85.

16. Comisión Internacional para Grandes Embalses, Registro Mundial de Embalses, París, Francia, 1984, página 375.

17. J.R. Jovel, Boletín de Ciencias Hidrológicas, “Desarrollo de los Recursos de Agua en Centro América, de 1970 a 1980”, Vol. 19, No. 4, Diciembre 1974, página 404.

18. Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, Agua Subterránea en el Hemisferio Occidental, Costa Rica”, Recursos Naturales/Serie de Agua No. 4, ST/ESA/35, New York, 1976, páginas 94-96.

19. J.S. Reynolds-Vargas y D.D. Richter, Jr., páginas 71-72.

20. J.S. Reylnolds-Vargas y D.D. Richter, Jr. página 72.

21. Universidad de Arizona, Centro de Información de Tierras Aridas, página 42.

22. Naciones Unidas, Investigaciones de Aguas Subterráneas en Zonas Seleccionadas, Costa Rica, Informe Técnico, DP/UN/COS-65-502/1, New York, 1975, página 176-178.

23. Naciones Unidas, 1975, páginas 201-202.

24. Naciones Unidas, 1975, páginas 141-142.

25. J.R. Jovel, página 409.

26. B. Hoelting, Comunicaciones, Revista del Instituto Tropical de Investigaciones Científicas, “Problemas Hidrogeológicos en El Salvador”, Año 7, No. 12, San Salvador, 1958, página 75.

27. B. Hoelting, página 75.

28. Naciones Unidas, 1975, página 99.

29. G. Hartshorn, et al., página 94.

30. Naciones Unidas, 1975, página 100.

31. Naciones Unidas, 1975, página 100.

32. G. Hartshorn, et al., página 94.

Tabla 1. Recursos de Agua Superficial

Unidad de Mapa (Ver Fig.1)	Fuentes	Cantidad[1]	Calidad[2]	Accesibilidad	Observaciones
1 Agua dulce perennemente disponible	Rios principales, lagos y represas a lo largo de las cuencas del Caribe (0940N08330W) y la cuenca del Rio San Juan (1030N08430W) excepto las fuentes de aguas provenientes de las partes mas altas y montañosas. **Cuenca del Caribe (I):** Rio Chirripo (tributario al rio Matina) (1003N08316W), Rio Estrella (0949N08254W), Rio Matina (1007N08311W), Rio Pacuare (1014N08317W), Rio Parasimina (1019N08321W), Rio Reventazón (1017N08325W), Rio Sixaola (0934N08234W), y Rio Tortuguero (1032N08331W). Un embalse, El embalse Hidroeléctrico de Cachi (0949N08350W), está en la cuenca del Rio Reventazón. **Cuenca del Rio San Juan (II):** Rio Chirripo (1045N08342W), Rio Frio (1103N08444W), Rio Poco Sol (1058N08427W), Rio San Carlos (1047N08412W), Rio San Juan (1056N08342W), Rio Sarapiqui (1043N08356W), Rio Toro Amarillo (1020N08351W), y Rio Zapote (1056N08455W). Un lago, la Laguna Cano Negro (1052N08447W), está en la cuenca del Rio Frio).	Enormes cantidades provenientes de rios principales, lagos y represas durante todo el año. Generalmente los caudales máximos ocurren de agosto a octubre. Los flujos de caudales estacionales son relativamente pequeños, con un promedio mínimo que oscila entre 20 y 40% de los niveles máximos. La mayor variación ocurre cerca de las zonas de agua montañosas. Estaciones de medición con mínimas descargas se listan a continuación bajo su correspondiente cuenca.[3] **Cuenca del Caribe (I):** **1** Rio Sixaola a 9 km cerca del puente de la línea del tren (0930N08237W), 2,600,000 L/min; **2** Rio Estrella en Pandora (0944N08258W), 370,200 L/min; **5** Rio Chirripo en Playa Hermosa (0958N08321W), 672,000 L/min; **6** Rio Pacuare en Siquirres (1006N08331W), 660,000 L/min; **7** Rio Reventazón en Pascua (1001N08336W), 978,000 L/min; El Embalse Hidroeléctrico de Cachi guarda 51 Mm^3 en la cuenca alta del rio reventazón. **Cuenca del Rio San Juan (II):** **8** Rio Toro Amarillo en Guapiles (1013N08418W), 258,000 L/min; **9** Rio San Juan abajo de Trinidad (1042N08355W), 35,000,000 L/min; **10** Rio Sarapiqui cerca del Puerto Viejo (1028N08401W), 1,300,000 L/min; **11** Rio San Carlos cerca de Cano Pataste (1041N08413W), 2,300,000 L/min; **12** Rio Frio cerca de San Rafael (1040N08449W), 273,000 L/min.	El agua es generalmente dulce con sólidos totales disueltos fluctuando desde 80 a 1,000 mg/L, con altos niveles de sólidos totales disueltos a la par de la desembocadura del rio, esteros y lagunas. En otros lados, el sólidos totales disueltos es <200 mg/L. Los iones dominantes son Calcio (Ca) y Bicarbonato (HCO_3^-). Las fuentes pueden estar biologicamente contaminadas cerca de ciudades densamente pobladas. Las cargas de sedimentos son grandes en la época de agosto a octubre cuando los caudales son altos. Las cantidades de sedimentos son altas aguas abajo de las zonas de cultivo abandonadas. Las altas cargas de sedimentos generalmente van acompañadas de un alto contenido de bacterias. En algunas zonas, la contaminación de químicos agrícolas e industriales es un problema. Por ejemplo, tenemos los altos niveles de cobre, que antes se utilizaba para control de plagas en los cultivos de banano, y los residuos de pesticidas cerca de los cultivos de algodón. Datos de calidad del agua provenientes de estaciones de medición, se listan a continuación bajo su correspondiente cuenca. **Cuenca del Caribe (I):** **1** Rio Sixaola a 9 km cerca del puente de la linea del tren, dureza entre 20 y 52 mg/L, pH 7.6 a 8.6, sólidos totales disueltos 65 a 81 mg/L, SiO_2 de 17 a 23 mg/L, temperaturas de 23 a 29 ºC; **2** Rio estrella en Pandora, dureza de 62 a 95 mg/L, pH 7.7 a 8.0, SiO_2 de 21 a 23 mg/L, sólidos totales disueltos de 102 a 125 mg/L; **5** Rio Chirripo (tributario al Rio Matina) en Playa Hermosa, dureza de 63 a 85 mg/L, pH de 7.8 a 8.3, sólidos totales disueltos de 77 a 102 mg/L, SiO_2 de 15 a 20 mg/L, temperatura de 22 a 26 ºC; **7** Rio Reventazón en Pascua, dureza de 35 a 51 mg/L, pH de 7.5 a 8.4, sólidos totales disueltos 70 mg/L, temperatura de 21 a 24 ºC. **Cuenca del Rio San Juan (II):** **9** Rio San Juan abajo de Trinidad, sólidos totales disueltos 84 mg/L dureza 45 mg/L, SiO_2 16mg/L; **10** Rio Sarapiqui cerca de la confluencia con rio San Juan sólidos totales disueltos 94 mg/L, dureza 60 mg/L, SiO_2 12 mg/L; **12** Rio Frio en Guatoso, dureza 17 a 45 mg/L, pH 6.8 a 7.7, sólidos totales disueltos 29 a 51 mg/L, temperaturas de 23 a 27 ºC.	El acceso a lugares donde existe tomas de agua se ve influenciado por la topografía y la vegetación. Las condiciones que impiden el acceso son bancos de tierra altos de los rios y lagos y los cañones estrechos de las zonas montañosas centrales. En las partes bajas a lo largo de la costa del caribe al norte de Puerto Limón (1000N08302W), altos caudales, zonas de tierras húmedas extensas, y terrenos muy planos crean zonas fáciles para empozamientos de agua. Areas extensas en las partes bajas y fronterizas en la zona norte con Nicaragua desde la longitud 08440W hasta 08510W hacia el sur, hasta 15 km al sur de Laguna Cano Negro. El acceso se hace dificil, particularmente en la época de mas caudal. En áreas montañosas, las fuertes lluvias hacen que los rios crezcan rapidamente y el acarreo de deshechos puede dañar las fuentes de agua. El acceso a tomas de agua es factible en las isletas formadas como barrera en la costa, también en tierras aguas arriba provenientes de pantános y en zonas pobladas.	El equipo necesita ser protegido contra inundaciones y todo tipo de basura o residuos que se generan durante un huracán o una tormenta trópical. Los Huracanes ocasionan derrumbes en un promedio de una vez cada 4 años en el noroeste. Mantenimiento frecuente durante cada estación del año tiene que hacerse para el equipo de toma a lo largo de canales que acarrean altas cantidades de sedimentos con el objeto de combatir la rápida sedimentación. Las primeras lluvias fuertes que caen en lugares donde existen depósitos de cenizas en las pendientes de los volcanes activos, pueden ocasionar deslizamientos de tierra y lodo a lo largo de los rios y por muchos kilómetros aguas abajo de los rios.

Tabla 1. Recursos de Agua Superficial (continuación)

Unidad de Mapa (Ver Fig. 1)	Fuentes	Cantidad[1]	Calidad[2]	Accesibilidad	Observaciones
2 Agua dulce perennemente disponible	Rios y lagos ocupando todos los nacimientos de agua con excepción de los de las partes altas de las montañas en la parte oriental y central de la cuenca del Pacífico (0940N08430W), y las partes bajas de los rios mas grandes en la región occidental de la cuenca del pacífico. **Cuenca del Pacífico (III):** Rio Barranca (0958N08444W), Rio Bebedero (1015N08515W), Rio Buena Vista (0924N08340W), Rio Cabagra (0905N08312W), Rio Esquinas (0843N08220W), Rio Grande de Candelaria (0938N08418W), Rio Grande de Tarcoles (0947N08438W), Rio Grande de Terraba (0859N08337W), Rio Naranjo (0922N08407W), Rio Pirris (Parrita) (0930N08420W), Rio Savegre (0921N08402W), y Rio Tempisque (1012N08514W).	Cantidades enormes provenientes de rios principales durante la estación de altos caudales, de mayo a diciembre. Grande a enormes cantidades están disponibles durante la estación de poco caudal, entre enero y abril. La variación de caudal es moderada con caudales mínimos oscilando entre 10 y 30% de los caudales máximos, con una gran variabilidad en los lugares de nacimientos de agua en la montaña y en zonas al norte de Cartago (0952N08355W). Pequeños rios en las cuencas de la costa al norte de Rio Grande de Tarcoles a menudo se secan por períodos extensos entre enero y abril. Rios seleccionados con caudales mínimos se listan a continuación bajo su cuenca correspondiente.[3] **Cuenca del Pacífico (III):** **15** Rio Tempisque en La Guinea (1025N08528W), 98,400 L/min; **21** Rio Barranca arriba de San Jerónimo (1002N08438W) 71,400 L/min; **22** Rio Grande de Tarcoles, 4 km al este de Orotina (0955N08428W), 950,000 L/min; **24** Rio Grande de Candelaris, 3 km al norte del Rio Rey (0939N08418W), 153,600 L/min; **25** Rio Pirris (Parrita) cerca de Guadalupe (0939N08400W) 50,800 L/min; **26** Rio Naranjo en Londres (0928N08404W), 190,000 L/min; **27** Rio Savegre 4 km al norte de Savegre (0924N08402W), 380,000 L/min; **28** Rio Savegre 2 km al sur de Providencia (0932N08351W), 8,200 L/min; **29** Rio Buena Vista cerca de Rivas (0925N08340W), 216,000 L/min; **30** Rio Grande de Terraba en el Palmar Norte (0858N08328W), 1,200,000 L/min; **31** Rio Cabagra cerca de Bamba de Cedro (0903N08312W), 201,000 L/min.	El agua es generalmente dulce con un sólidos totales disueltos que varía de 80 a 1,000 mg/L, con altos niveles de sólidos totales disueltos cerca de agua salobre a la par de las bocas de los rios, esteros y lagunas. Los sólidos totales disueltos son mas altos en la zona occidental del pais durante la época seca de enero hasta abril. Cantidades grandes de sedimentos son normales cuando llueve fuerte. La sedimentación es grande aguas abajo de los campos abandonados. En las grandes cantidades de sedimentos es común encontrar muchas bacterias. La contaminación de químicos agroindustriales es un problema en algunas áreas. Los resíduos de Pesticidas son un problema conocido cerca de las plantaciones de algodón y altos niveles de cobre disuelto que se acostumbraba antes para controlar plagas cerca de la plantaciones de banano en el sur del pais. Las fuentes estan biológicamente contaminadas cerca de zonas pobladas adonde el ganado se concentra. Contaminación proveniente de quimicos agroindustriales es tambien un problema. Los problemas de contaminación son mas severos en la época de bajo caudal. Condiciones polvosas pueden ocasionar una contaminación biológica en aguas que se dejan al descubierto. Los resultados respecto a la calidad del agua y que son obtenidos de estaciones de medición se listan abajo: **Cuenca del Pacífico (III)**: **15** Rio Tempisque en La Guinea, dureza 30 a 65 mg/L, pH 7.4 a 8.5, SiO_2 53 a 82 mg/L, temperaturas entre 24 a 30 ºC; **21** Rio Barranca arriba de San Jerónimo, dureza 25 a 46 mg/L, pH 8.0 a 8.8, SiO_2 de 17 a 42 mg/L, temperaturas de 21 a 26 ºC; **22** Rio Grande de Tarcoles a 4 km al este de Orotina, dureza de 46 a 78 mg/L, pH 6.8 a 7.1, SiO_2 de 42 a 56 mg/L, sólidos totales disueltos de 77 a 131 mg/L; **23** Rio Tiribi en Electriona, dureza de 35 a120 mg/L, pH 7.2 a 7.6, sólidos totales disueltos de 112 a 131 mg/L; SiO_2 de 15 a 45 mg/L, temperaturas de 22 a 25 ºC; **24** Rio Grande de Candelaria a 3 km al norte de Rio Rey, dureza de 41 a 120 mg/L, pH 7.6 a 8.6, sólidos totales disueltos de 79 a 141 mg/L, SiO_2 de 8 a 35 mg/L, temperaturas de 23 a 25 ºC; **25** Rio Pirris (Parrita) cerca de Guadalupe, dureza 37 a 59 mg/L, pH 7.3 a 8.1, sólidos totales disueltos 56 to 77 mg/L, SiO_2 19 a 24 mg/L, temperaturas de 17 a 21 ºC; **26** Rio Naranjo en Londres, dureza 38 a 58 mg/L, pH 7.6 a 9.1, SiO_2 16 a 28 mg/L, sólidos totales disueltos de 59 a 79 mg/L, temperaturas de 21 a 25 ºC;	El acceso a lugares adonde existe fuentes de agua se ve influenciado por la topografía, la vegetación y las estaciones. Las condiciones que impiden el acceso son bancos de tierra altos y cañones estrechos es zonas montañosas tanto en el interior como en la parte occidental del pais. Bosques tropicales densos también hacen el acceso dificil, mas que todo en parques naturales y reservas biológicas. Las condiciones de las calles de acceso son pobres durante la estación lluviosa y solamente hay puentes en las calles principales. El paso de los rios no es posible durante la estación lluviosa de alto caudal. La lluvia fuerte hace que el nivel de agua en los rios suba rapidamente, la corriente aumenta y el ripio flotante puede destruir los puntos de fuentes de agua. El acceso a las fuentes potenciales es factible en las zonas pobladas y en planicies de inundación.	El equipo necesita ser protegido contra inundaciones y todo tipo de basura o residuos que se generan durante una tormenta tropical. Mantenimiento frecuente durante cada estación del año tiene que hacerse para el equipo de toma a lo largo de canales que acarrean altas cantidades de sedimentos con el objeto de combatir la rápida sedimentación. Las primeras lluvias fuertes que caen en lugares adonde existen cenizas recien depositadas en las pendientes de los volcanes activos, pueden ocasionar peligrosos deslizamientos de tierra y lodo a lo largo de los rios y por muchos kilómetros aguas abajo.

Table 1. Recursos de Agua Superficial (continuación)

Unidad de Mapa (Ver Fig. 1)	Fuentes	Cantidad[1]	Calidad[2]	Accesibilidad	Observaciones
2 Agua dulce perennemente disponible (continuación)			**28** Rio Savegre 2 km al sur de Providencia, dureza de 51 a 66 mg/L, pH 7.4 a 8.4, SiO_2 de 11 a 23 mg/L, sólidos totales disueltos de 63 a 86 mg/L, temperaturas de 14 a 17 ºC; **29** Rio Buena Vista cerca de Rivas, dureza de 25 a 128 mg/L, pH 7.3 a 9.0, SiO_2 de 15 a 23 mg/L, sólidos totales disueltos de 42 a 179 mg/L, temperatura de 19 a 25 ºC; **30** Rio Grande de Terraba en el Palmar Norte, dureza de 29 a 50 mg/L, pH 7.2 a 8.4, SiO_2 de 12 a 23 mg/L, sólidos totales disueltos de 52 a 80 mg/L, temperaturas de 24 a 26 ºC.		
3 Agua dulce perennemente disponible	Rios y lagos en las zonas montañosas mas altas y centrales del pais, en la cabecera de las cuencas de rios principales. Tambien en las orillas a lo largo de las partes bajas de los rios en la zona occidental del pais. **Cuenca del Caribe (I):** Rio Bananito (0953N08257W), Rio Banano (0956N08300W), Rio Blanco (tributario a rio Moin) (1000N08306W), Rio Madre de Dios (1014N08315W), y Rio Moin (1000N08305W). **Cuenca del Rio San Juan (II):** Rio Curena (Cano Curena) (1047N08406W) y la Laguna de Arenal (1032N08456W). Un lago, el Lago de Cote (1035N08455W), es en la cuenca del Rio Frio. **Cuenca del Pacifico (III):** Rio Bebedero, Rio Blanco (tributario al Rio Bebedero) (1022N08512W), Rio Corobici (1026N08509W), Rio Lagarto (1004N08457W), Rio Tempisque, y Rio Tiribi (0958N08411W).	Grandes a enormes cantidades provenientes de rios principales en la época de altos caudales desde mayo hasta diciembre. Pequeñas a grandes cantidades provenientes de rios principales durante la época de bajo caudal desde enero hasta abril. La variabilidad de caudales en las estaciones es de moderada a alta. El promedio de caudales mínimos es entre el 5 y 20% del caudal máximo, con el mayor cambio en las áreas de cabeceras particularmente en la cuenca del Pacifico. Los rios seleccionados con descargas mínimas se listan a continuación bajo su correspondiente cuenca.[3] **Cuenca del Caribe (I):** **3** Rio Banano en la Bomba (0955N08304W), 233,400 L/min; **4** Rio Blanco (tributario al rio Moin) cerca de Blanco (0958N08309W), 7,620 L/min. **Cuenca del rio San Juan (II):** Laguna arenal guarda 2,220 Mm^3 en la cabecera de la cuenca del rio San Carlos. **Cuenca del Pacifico (III):** **17** Rio Blanco (tributario al rio Bebedero) en Punta de Palo (1036N08513W), 40,000 L/min; **18** Rio Corobici en Corobici (1027N08508W), 25,200 L/min; **19** Rio Abangares en Limonal (1015N08501W), 8,900 L/min; **20** Rio Lagarto cerca de Pozo Azul (1012N08454W), 7,700 L/min. **23** Rio Tribi en Electriona (planta eléctrica) (0958N08409W), 10,000 L/min.	El agua es generalmente dulce con un sólidos totales disueltos <100 mg/L en las montañas centrales, <500 mg/L en rios de tierras bajas, y <1000 mg/L en las bocas de los rios, esteros y lagunas. Algunos riachuelos en los linderos de los volcanes son alimentados por aguas termales con un alto sólidos totales disueltos y pueden tener altos niveles de sílica. Los rios originados en el nacimiento de agua en las montañas centrales generalmente no tienen altos contenidos de contaminación biológica excepto cuando hay mucha sedimentación. Cargas de sedimentos son mas altas aguas abajo de tierras abandonadas. Contaminación biológica es común aguas abajo de áreas pobladas y adonde pasta el ganado en las orillas de los rios. Contaminación biológica se asocia también con grandes cargas de sedimentos después de una lluvia fuerte. Contaminación proveniente de químicos agroindustriales es problema en algunas zonas. Los mayores problemas en cuanto a calidad del agua se encuentra en zonas altamente pobladas cerca de la capital y aguas abajo del rio Grande de Tarcoles durante los meses secos noviembre – abril ya que no hay corrientes de agua que laven los sedimentos. En condiciones muy polvosas, se puede esparcir una contaminación biológica hacia aguas tratadas que se han dejado descubiertas. Resultados de la calidad del agua proveniente de estaciones de medición se muestran a continuación: **Cuenca del Pacifico (III):** **17** Rio Blanco en Punta de Palo, dureza 95 a 240 mg/L, pH 7.3 a 8.1, sólidos totales disueltos 173 a 450 mg/L, SiO_2 40 a 100 mg/L, temperaturas de 25 a 27 ºC; **18** Rio Corobici en Corobici, dureza de 40 a 50 mg/L, pH de 7.3 a 8.2, sólidos totales disueltos de 58 a 77 mg/L, SiO_2 de 20 a 50 mg/L; temperaturas de 23 a 27 ºC;	El acceso y desarollo de puntos potenciales de nacimientos de agua es por lo general muy dificil en la zona montañosa central debido a lo rústico del terreno y sus pendientes muy inclinadas. Las condiciones que impiden el acceso son bancos de tierra altos y cañones estrechos es zonas montañosas. Los puentes son escasos fuera de la capital. El encauce de un rio no es posible cuando el caudal es grande. Lluvias fuertes provocan inundaciones repentinas en rios produciendo corrientes irregulares que acarrean residuos flotantes que pueden destruir la fuente de agua.	El equipo necesita ser protegido contra inundaciones y todo tipo de basura o residuos que se generan durante una tormenta tropical. Mantenimiento frecuente durante cada estación del año tiene que hacerse para el equipo de toma a lo largo de canales que acarrean altas cantidades de sedimentos con el objeto de combatir la rápida sedimentación. Lluvias fuertes que caen en lugares adonde existen cenizas recien depositadas en las pendientes de los volcanes activos, pueden ocasionar peligrosos deslizamientos de tierra y lodo a lo largo de los rios y por muchos kilómetros aguas abajo.

Tabla 1. Recursos de Agua Superficial (continuación)

Unidad de Mapa (Ver Fig. 1)	Fuentes	Cantidad[1]	Calidad[2]	Accesibilidad	Observaciones
3 Agua dulce perennemente disponible (continuación)			**19** Rio Abangares en el Limonal, dureza de 60 a 100 mg/L;pH de 7.9 a 8.6, sólidos totales disueltos de 106 a 115 mg/L; SiO_2 de 41 a 70 mg/L; temperaturas de 24 a 29 ºC; **20** Rio Lagarto cerca de Pozo Azul, dureza 63 a 75 mg/L, pH de 8.0 a 8.7, sólidos totales disueltos de 102 a 125 mg/L, SiO_2 de 20 a 50 mg/L; temperaturas de 26 a 30 ºC.		
4 Agua dulce disponible en estaciones	Lagos poco profundos y rios al oeste del puerto de puntarenas (0958N08450W) con excepción de las desembocaduras de los rios principales. **Cuenca del Pacífico (III):** Rio Abangares (1010N08505W), Rio Bebedero, Rio Canas (1021N08529W), Rio Lagarto, Rio Liberia (1027N08528W), Rio Morote (1003N08512W), y Rio Tempisque.	Cantidades Moderadas a muy grande de rios principales durante la época lluviosa de mayo a octubre, sin embargo cantidades enormes están disponibles hasta por un dia despues de una fuerte lluvia en estos meses. De noviembre hasta abril, algunos rios se secan parcialmente. Lagos poco profundos se pueden convertir en lagos de agua salobre en la época seca. La variación de flujo de agua en las estaciones es de alta a extrema, con caudales mínimos variando entre 0 y 10% del caudal máximo y con gran variabilidad en los nacimientos. Se han seleccionado los siguientes rios con sus descargas mínimas: **Cuenca del Pacifico (III):** **13** Rio Morote en Hacienda Roxana (1003N08516W), 1,980 L/min; **14** Rio Liberia en Liberia (1037N08526W), 1,800 L/min; **16** Rio Canas en Rio Canas (1021N08534W), 0 L/min (seco).	El agua es por lo general dulce sin embargo puede tener altos valores de sólidos totales disueltos y pH, particularmente próximo a la costa. Los problemas en la calidad del aguas son mas severos en la época seca debido a la falta de corrientes de agua que laven y arrastren los contaminantes. Muchos rios tienen altos valores de sólidos totales disueltos en la época seca. Muchos lagos poco profundos, en la parte baja del Rio Tempisque y desembocadero del Rio Bebedero se puede volver salobres o se pueden secar en la época seca. Contaminación biológica es común en las cercanias y aguas abajo de áreas pobladas y adonde pasta el ganado a lo largo del rio. La contaminación biológica esta asociada con la alta carga de sedimentos en los rios despues de fuertes lluvias. Resultados de la calidad del agua proveniente de estaciones de medición se muestran a continuación: **Cuenca del Pacifico (III):** **13** Rio Morote en Hacienda Roxana dureza 70 a 180 mg/L, pH de 8.0 a 8.7, sólidos totales disueltos 205 mg/L, temperaturas de 28 a 36 ºC; **14** Rio Liberia en Liberia dureza 9 a 31 mg/L, pH de 7.3 a 8.3, sólidos totales disueltos de 24 a 35 mg/L, SiO_2 de 20 a 38 mg/L, temperaturas de 23 a 28 ºC; **16** Rio Canas en Rio Canas, dureza 33 a 263 mg/L, pH de 7.8 a 8.4, sólidos totales disueltos de 166 a 237 mg/L, SiO_2 de 10 a 48 mg/L, temperaturas de 26 a 30 ºC.	El acceso a puntos potenciales de nacimientos de agua es por lo general muy dificil por la falta de calles y por lo moderamente rústico del terreno, excepto en el valle del rio Tempisque y algunas zonas cerca de la costa. La parte baja del Valle del Rio Tempisque se inunda durante la época lluviosa. Muchos pasos de rios no se pueden cruzar en la época lluviosa debido a las fuertes lluvias. Después de una fuerte lluvia, los rios crecen rápidamente, produciendo corrientes irregulares que acarrean residuos flotantes que pueden destruir la fuente de agua.	El equipo necesita ser protegido contra inundaciones repentinas y contra todo tipo de basura o residuos. Se requiere mantenimiento frecuente para el equipo de toma a lo largo de los canales ya que acarrean altas cantidades de partículas que sedimentan rápidamente. Se deben tomar precauciones para proteger el equipo contra cambios en los canales y derrumbamientos de los bancos de tierra.
5 Agua dulce deficiente o inexistente	Rios en áreas de la costa en la cuenca del Pacífico, en la península de Nicoya, en la península de Osa, y al sur de la Península de Osa.	Relativamente pocos rios son perennes. Mínimas a moderadas cantidades en las épocas de altos caudales y estación lluviosa de mayo a octubre proveniente de rios grandes. Grandes cantidade s pueden estar disponibles en estos rios por unas horas después de una lluvia fuerte. La mayoria de rios se mantienen secos de noviembre hasta abril.	El agua es por lo general dulce pero puede tener altos valores de sólidos totales disueltos y pH, particularmente después de épocas secas y en zonas próximas a la costa. Contaminación biológica es común en las cercanías y aguas debajo de áreas pobladas y adonde pasta el ganado a lo largo del rio. La contaminación biológica esta asociada con la alta carga de sedimentos en	El acceso a puntos potenciales de nacimientos de agua es por lo general muy dificil por la falta de calles de acceso y por lo moderamente rústico del terreno.	El equipo necesita ser protegido contra inundaciones repentinas y contra todo tipo de basur a o residuos. Se requiere mantenimiento frecuente para el equipo de toma a lo largo de los canales ya que acarrean altas cantidades de partículas que sedimentan rapidamente.

Tabla 1. Recursos de Agua Superficial (continuación)

Unidad de Mapa (Ver Fig. 1)	Fuentes	Cantidad[1]	Calidad[2]	Accesibilidad	Observaciones
5 Agua dulce deficiente o inexistente		Mínimas a pequeñas cantidades pueden estar disponibles proveniente de los rios perennes presentes en la zona durante la época seca.	los rios después de fuertes lluvias. En la época seca se dan los problemas mas severos en cuanto a la calidad del agua debido a caudales insuficientes para lavar los contaminantes.	Después de una fuerte lluvia, los rios crecen rapidamente, produciendo corrientes irregulares que acarrean resíduos flotantes que pueden destruir la fuente de agua.	
6 Agua dulce deficiente o inexistente	Bocas de los rios, esteros, lagunas, y pantanos costeros a lo largo del pacífico y la costa del Caribe. Los Pantanos Costeros se componen de manglares, tierras lodosas planas y palmeras.	Grande a enormes cantidades en todo el año.	El agua es de salobre a salina. Sedimentos finos (arcillas) son abundantes después de fuertes tormentas, y a menudo resulta en una alta turbidad y con muchas bacterias. Empozamientos de agua salina pueden estar presentes en las orillas del terreno adonde se encuentra el pantano.	Altos caudales ocasionados por fuertes lluvias acarrean una acumulación de basura, residuos y sedimentos que pueden afectar los puntos de fuentes de agua.	Se deben tomar precauciones para proteger el equipo contra cambios en los canales y derrumbamientos de los bancos de tierra.

[1]Términos Cuantitativos

Enorme	= >400,000 L/min (100,000 gal/min)
Muy Grande	= >40,000 a 400,000 L/min (10,000 to 100,000 gal/min)
Grande	= >4,000 to 40,000 L/min (1,000 a 10,000 gal/min)
Moderado	= >400 a 4,000 L/min (100 a 1,000 gal/min)
Pequeño	= >40 a 400 L/min (10 a 100 gal/min)
Muy Pequeño	= >4 a 40 L/min (1 to 10 gal/min)
Minimo	= ≤4 L/min (1 gal/min)

[2]Términos Cualitativos:

Agua Dulce	= sólidos totales disueltos máximo ≤1,000 mg/L; cloruro máximo ≤ 600 mg/L; y sulfatos máximos ≤300 mg/L
Agua Salobre	= sólidos totales disueltos máximo >1,000 mg/L pero ≤15,000 mg/L
Agua Salina	= sólidos totales disueltos >15,000 mg/L

Términos de Dureza

Suave	= 0 a 60 mg/L $CaCO_3$
Moderadamente dura	= 61 a 120 mg/L CaCO3
Dura	= 121 a 180 mg/L $CaCO_3$
Muy Dura	= >180 mg/L $CaCO_3$

[3]Los números de la cuencas ríos se muestran entre paréntesis, estaciones de medición de caudales en ríos se muestran con los números más oscuros. El período de anotación generalmente 10 a 30 años.

Nota:

$CaCO_3$	= carbonato de calcio
gal/min	= galones por minuto
HCO_3^-	= bicarbonato
km^2	= kilómetros cuadrados
mg/L	= miligramos por litro
Mm^3	= millones de metros cúbicos
L/min	= litros por minuto
SiO_2	= silica
km	= kilómetros
TDS	= sólidos totales disueltos

Tabla de Conversión:

Para Convertir	Multiplique Por	Para Obtener
Litros por minuto	0.264	galones por minuto
Litros por minuto	15.852	galones por hora
Litros por minuto	380.517	galones por dia

Tabla 2. Recursos de Agua Subterránea

Unidad de Mapa (Ver Fig. 2)	Características del Acuífero	Cantidad[1]	Calidad[2]	Aspectos del Desarrollo de Agua Subterránea	Observaciones
1 Agua dulce generalmente abundante	En su mayoria acuíferos volcánicos de la era Pleistocénica superior a la era reciente. Brechas volcánicas altamente porosas y lavas fracturadas forman acuíferos en las formaciones geológicas de Colima y Barba en la meseta central (valle central) (0955N08405W). Lavas extensas de la formación Colima están expuestas en la parte mas baja del valle. Las lavas de Colima están separadas por una capa gruesa de depósitos de tobas piroclásticas en dos acuíferos, el Colima Superior y el Colima Inferior. Los acuíferos desembocan a una serie de nacimientos grandes a lo largo del cañon del Rio Virilla (0956N08422W), en el valle. Varios flujos de lava hasta de 95 m de espesor comprenden la Formación Barba. Ellos forman acuiferos separados en elevaciones altas y bajas. Están expuestos en la parte de arriba de las pendientes del volcán Barba (1008N08406W) formando dos acuíferos, Los Bambinos y Los Angeles los cuales descargan a muchos nacimientos de altura y recargan acuíferos mas profundos. A elevaciones mas bajas, flujos de agua mas antiguos forman el extenso e intermedio acuífero Barba (que también se conoce como acuífero Bermudez) el cual esta expuesto en cañones de rios profundos.	De moderada a grandes cantidades. Los pozos situados en la formación geológica Colima proveen mas de 3,000 L/min con muy poco abatimiento. Los valores de transmisibilidad varian entre 1,000 m²/d hasta 5,000 m²/d (80 a 402,500 gal/d/ft. Las Lavas de la formación Colima tienen un gradiente hidraúlico excepcionalmente alto de mas ó menos 1% lo cual indica que existe una alta velocidad del agua subterránea. La edad de residencia del agua subterránea en la formación de Colima se estima que es de 10 a 15 años. La producción de agua es mucho mayor en las lavas aglutinadas altamente fracturadas y también en materiales piroclásticos sueltos o de grano grueso. Las lavas aglutinadas del acuífero de Colima descargan a una serie de nacimientos a lo largo del Rio Virilla. En el Puente de Mulas (0959N08411W), cuatro nacimientos descargan 27,300 L/min. Otro nacimiento importante de Colima y sus descargas incluyen: La Libertad (0958N08406W), 6,000 L/min; Las Animas (0958N08409W), 6,000 L/min; Guachipelin (0958N08412W), 20,700 L/min; Fredy (00958N08412W), 6,000 L/min; Chorros (0958N08412W), 4,800 L/min; Potrerillos (0958N08413W), 25,200 L/min; y Penal (0958N08413W), 9,000 L/min. La formación Barba descarga a los nacimientos y recarga la formación Colima que está por debajo de ella. Ojo de Agua es el nacimiento mas grande, con una descarga de 13,500 L/min hacia el Rio Segundo (1000N08411W). Otra cantidad de nacimientos numerosos más pequeños descargan desde el acuífero Barba, el promedio de producción de agua del nacimiento es de 3,000 L/min.	Agua dulce en la mayoría de areas. El agua del acuífero Colima mas bajo es del tipo Bicarbonato de Calcio cerca del Puente de Mulas: sólidos totales disueltos de 60 a 204 mg/L; temperatura de 20 a 27.5 ºC; pH de 7.0 a 7.45; y la dureza de 60 a 96 mg/L. El agua del acuífero Barba mas bajo es del tipo Bicarbonato de Calcio cerca de Ojo de Agua: sólidos totales disueltos de 85 a186 mg/L; temperatura de 22 a 24 ºC; pH promedio de 7.0; y dureza de 33 a 76 mg/L.	Los pozos productores de agua en el acuífero Colima son tipicamente de 52 a 114 m de profundidad. La profundidad al agua es de 40 a 105 m. Un pozo típico es de 12" de diámetro (30.5 cms.) y utiliza una bomba de turbina vertical. Perforaciones en flujos de lava puede requerir técnicas de perforación para roca dura. Las capas de materiales piroclásticos sueltos, pueden ocasionar que el agujero de perforación se haga mas grande si se utiliza unicamente aire a presión para hacer dicha perforación. La tubería de revestimiento de PVC no es recomendada debido al riesgo sismico.	Los pozos y nacimientos proveen agua para la capital de la región. El pozo del campo Valencia (0958N08407W) produce 42,000 L/min, y el nacimiento de Puente de Mulas produce 39,000 L/min proveniente del acuífero Colima para suministrar agua a San José. Las áreas que tienen subestratos de lava son por lo general adecuados para cualquier tipo de pozos. Las áreas de piroclásticos varian, con áreas de depósitos gruesos adecuados para todos los pozos. Areas de piroclásticos relativamente impermeables pueden ser adecuados solamente para pozos de bomba manual debido a la baja cantidad que producen. Los movimientos de tierra (temblores) pueden dañar severamente aun los pozos con tubería de revestimiento metálica.
2 Agua dulce generalmente abundante	Planicies costeras y acuíferos aluviales del valle de Tempisque (1024N08520W), Puntarenas (0985N08450W), Puerto Limón (1000N08302W), y a lo largo de los rios principales. Areas con alta permeabilidad están concentrados en zonas de sedimentos no sonsolidados debido a la abundancia de arcillas y lodos en los aluviones que están en los valles de los rios. El acuífero Tempisque cuaternario ocupa todo el valle de Tempisque	Moderadas a grandes cantidades. El acuífero Tempisque descarga a los pantános del Valle de Tempisque. Los pantanos están permanentemente inundados en los meses de lluvia. Los pozos en los aluviones producen de 666 a 674 L/min. El acuífero se recarga verticalmente por la lluvia y horizontalmente por las colinas de alrededor. Los niveles de agua fluctúan uniformemente, la profundidad al agua aumenta en Junio y disminuye en octubre. El promedio de fluctuación de agua es de 8 m en las orillas del valle	Agua dulce en la mayoria de las áreas. El agua del acuífero Tempisque es del tipo de bicarbonato cálcico magnésico: sólidos totales disueltos de 265 a 347 mg/L; temperatura de 27 a 29 ºC; pH de 6.6 a 8.4; y dureza de 150 a 390 mg/L.	Los pozos de producción en el acuífero de Tempisque son por lo general de 40 m de profundidad. La profundidad al agua es normalmente <8 m. El pozo típico es de 8 pulgadas de diámetro (20 cms) y utiliza una bomba de turbina vertical. Los pozos de producción en el acuífero La Bomba son por lo general de 6.1 a 19.8 m de profundidad.	El agua subterránea del Tempisque es principalmente utilizada por pueblos grandes y ranchos. El agua es llevada en tubería hasta Puntarenas proveniente de los pozos en el acuífero La Barranca produciendo 27,000 L/min. 600 L/min es el límite de extracción de pozos

Tabla 2. Recursos de Agua Subterránea (continuación)

Unidad de Mapa (Ver Fig. 2)	Características del Acuífero	Cantidad[1]	Calidad[2]	Aspectos del Desarrollo de Agua Subterránea	Observaciones
2 Agua dulce generalmente abundante (continuación)	desde Guardia (1034N08536W) hasta Bolsom (1021N08527W). El espesor saturado del aluvión es de 9 a 30 m. Cerca de Puerto Limón, la formación mioceno de Gatun y el aluvión Holoceno del valle del Rio Banano (0956N08300W) forman dos acuíferos de importancia para la región. Piedra caliza de coral proveniente de la parte superior de la formación de Gatun forma el acuifero Moin y los aluvios del Rio Banano forman el acuífero Bomba. Estos acuíferos pueden ser confinados localmente. El acuífero Moin tiene 40 m de espesor. Cerca de Puntarenas el acuífero cuaternario forma un sistema de acuífero de dos capas. El acuífero Barranca de la parte superior no confinada está compuesto de gravas y arenas con poco material fino y arcillas. Está localizado sobre una capa confinada de arcillas lodosas. Esta capa confinada lo separa del acuífero El Roble que se encuentra justamente abajo. El nivel freático del acuífero Barranca se inclina hacia el suroeste y descarga en el Océano Pacífico. El acuífero es de 12 a 48 metros de espesor. El acuífero del Roble está compuesto de capas de grava fina, arena mediana y grava mezclada con cantidades variables de sedimentos y arcilla. El acuífero es localmente artesiano.	y de 4 m cerca del centro, indicando una inlfitración horizontal de las orillas del valle hacia el centro. La capacidad específica en la parte oriental del valle es <5 L/min y la transmisibilidad es hasta 750 m^2/d (60,375 gal/d/ft). En el centro del valle la capacidad específica varia de 0.2 a 5 L/s/m y la transmisibilidad de 18 a 130 m^2/d (1,500 a 10,465 gal/d/ft). Cerca de Puerto Limón, el acuífero Moin que se forma de piedra caliza de coral descarga a los nacimientos Moin (1000N08305W). Los nacimientos descargan 6,600 L/min durante los períodos de lluvia normal, 6,000 L/min durante períodos de poca lluvia, y un máximo de 7,200 L/min durante lluvia fuerte. Se estima que la infiltración de lluvia es de 18%. Por debajo del acuífero Moin, en la parte superior de la formación Gatun, se encuentran capas de arenas glauconíticas y conglomerados de la parte baja de la formación geológica Gatun. Tiene unos 700 m de espesor y forman un acuífero artesiano con superficies potenciométricas 46 m arriba de la parte alta de la capa arenosas glauconíticas. Resultados de pruebas muestran que la capacidad específica es de 0.3 L/s/m de abatimiento con una transmisibilidad de 25 m^2/d (2,013 gal/d/ft). Los pozos producen de 18 a 420 L/min en profundidades de 17.4 a 25 m. Los pozos en el acuífero La Bomba producen de 189 a 6,600 L/min de los aluviones del Valle del Rio Banano. Las condiciones hidraúlicas del aluvión varían grandemente. La parte superior del acuífero tiene una alta capacidad de infiltración y almacenaje la cual permite que el acuífero se recargue. El nivel freático del agua fluctúa de acuerdo a los caudales del rio. El promedio de fluctuación es de 3.4 metros con un promedio alto observado de 5 metros. El grado de transmisibilidad es de 1,500 a 8,700 m^2/d (120,750 a 700,350 gal/d/ft) y una capacidad específica de 0.4 a 7.5 L/s/m.	El agua del acuífero Moin es del tipo bicarbonato de calcio potásico sódico durante las épocas húmedas y del tipo bicarbonato de calcio durante la época seca. Algunos pozos se contaminan biológicamente por basura deshechada por los hombres. El agua del acuífero artesiano del bajo Gatun es del tipo bicarbonato potásico sódico con sólidos totales disueltos de 701 mg/L. Algunos pozos tienen concentraciones de hierro dos veces mas altas que el límite recomendado de 0.3 mg/L. El agua subterránea no tratada es desagradable debido a su mal olor y sabor que proviene de la descomposición del material orgánico. El agua subterránea proveniente del cercano acuífero aluvial de La Bomba en el rio Banano, es dulce. El agua del acuífero La Bomba es del tipo bicarbonato de calcio: sólidos totales disueltos de 86 a 286 mg/L; temperatura promedio de 26 ºC; pH de 7.3 a 8.0; y la dureza de 84 a 148 mg/L. Los pozos con gran capacidad pueden provocar una intrusión de agua salada. El agua del acuífero Barranca tiene un sólidos totales disueltos de 73 a 550 mg/L; una temperatura de 24 a 31 ºC; pH de 7.05 a 7.9; y dureza de 13 a 185 mg/L. Debido a su habilidad de transmitir agua subterránea rapidamente, el acuífero de Barranca es susceptible a la contaminación proveniente de la industria local, fertilizantes para la agricultura y pesticidas y basura provocada por el hombre y animales. Hierro, color, turbiedad y sólidos suspendidos pueden ser mas altos de lo normal.	La profundidad al agua es de 3.6 a 11.9 m. Un pozo típico es de 6 a 14 pulgadas de diámetro (15 a 35.6 cms) y utiliza una bomba de turbina vertical. Los pozos de producción del acuífero en la parte baja de la formación geológica Gatun tienen una profundidad de 39 a 54 m. La profundidad al agua es de 27 a 43 m. Un pozo típico tiene 10 pulgadas de diámetro (25.4 cms) y utiliza una bomba de turbina vertical. Los pozos de producción en el acuífero La Barranca tienen una profundidad de 45 a 61 m. La profundidad al agua es normalmente de 27 a 32 m. Un pozo típico es de 12 pulgadas de diámetro (30.5 cms) y utiliza una bomba de turbina vertical. Los pozos de producción en el acuífero El Roble tienen una profundidad de 50 a 55 m. La profundidad al agua es normalmente de 44 a 48 m. Un pozo típico es de 10 a 12 pulgadas de diámetro (25.4 a 30.5 cms) y utilizan una bomba de turbina vertical. El acceso al lugar es generalmente bueno. Intrusión de agua salada puede ocurrir a lo largo de la costa y aumentar durante la estación seca.	individuales en la zona. El agua que llega a Puerto Limón es principalmente agua subterránea. 4,800 L/min proveniente de los nacimientos Moin y 6,000 L/min proveniente del pozo de los campos de La Bomba (0955N08304W). La mayoría de áreas del Valle de Tempisque es adecuada para todo tipo de pozos. Todos los acuíferos aluviales son adecuados para pozos con bombas manuales y la mayoria son adecuados para pozos tácticos. Solo los acuíferos aluviales a lo largo de los rios mas grandes son adecuados para pozos municipales o para irrigación.

Tabla 2. Recursos de Agua Subterránea (continuación)

Unidad de Mapa (Ver Fig. 2)	Características del Acuífero	Cantidad[1]	Calidad [2]	Aspectos del Desarrollo de Agua Subterránea	Observaciones
2 Agua dulce generalmente abundante (continuación)		En Puntarenas los pozos en el acuífero de Barranca producen de 1,320 a 2,310 L/min. El promedio de fluctuación de la nivel freático es de 1.83 m. Transmisibilidad varía de 1,385 a 3,186 m^2 (111,493 a 256,473 gal/d/ft) y el promedio regional es de 2,200 m^2/d (177,100 gal/d/ft) con capacidad específica de 3.2 a 5.1 L/s/m. Los pozos en el acuífero El Roble producen de 312 a 1,560 L/min. La transmisibilidad varía de 124 a 128 m^2/d (9,982 a 10,304 gal/d/ft) con capacidad específica de 0.3 a 2.1 L/s/m.	El agua del acuífero El Roble tiene un sólidos totales disueltos de 85 a 177 mg/L; temperatura promedio de 29 ˚C; pH de 7.3 a 7.5; y dureza de 19 a 88 mg/L. Intrusión de agua salada ocurre entre Chacarita (0959N08447W) y Boca de Barranca (0958N08444W).		
3 Agua dulce generalmente abundante	En la región de la Llanura de San Carlos se encuentran primordialmente depósitos cuaternarios de laharic de granos finos a gruesos (1037N08410W) y en el Valle del General, brechas volcánicas del Eoceno a la era cuaternaria, y también piedras areniscas con rocas marinas de carbonato (0908N08323W). Acuíferos aislados poco profundos pueden ser comúnes en zonas poco elevadas. El agua subterránea regional no es confinada y tiene bastantes acuíferos confinados perchados o aislados.	De pequeñas a moderadas cantidades provenientes del nivel freático subterráneo regional. Cantidades mínimas son posibles provenientes de mas acuíferos aislados o perchados que son poco profundos.	Agua dulce en casi todas las áreas.	El acceso es difícil debido a la densa vegetación y falta de caminos adecuados. Capas de piroclásticos sueltos pueden causar huecos de diámetro demasiado grandes si se usa solamente aire a presión para perforar. En zonas altamente permeables se pueden dar pérdidas excesivas de fluidos utilizados en la perforación. No se recomiendan tuberías de recubrimiento de PVC debido a la actividad sísmica.	Acuíferos mas grandes a elevaciones mas bajas pueden ser apropiados para usarse con bombas manuales y pozos tácticos. También pueden ser apropiados para otros tipos de pozos, pero no hay estudios detallados al respecto.
4 Agua dulce localmente abundante	En su mayoría acuíferos volcánicos de la era Pleistocena superior. En la región del Valle de Tempisque las formaciones geológicas de Bagaces y Liberia son de local importancia para numerosas villas y haciendas. El acuífero de Bagaces se da en brechas y lavas basálticas y sus asociadas ignimbritas. Flujos densos y fracturados de lava de la parte media de la Formación de Bagaces forman el acuífero mas productivo. El acuífero tiene hasta 350 m de espesor. El acuífero de Liberia es un recurso importante para areas urbanas y rurales. Está compuesto de depósitos fluvio-lacustrinos con riolita granular entremetida y pomez. Hasta un 60% de la formación consiste de material arcilloso. La arcilla reduce la permeabilidad en las fracturas, pero no lo suficiente como para detener a la formación de que almacene la suficiente cantidad de agua para que sea regionalmente importante. El acuífero tiene hasta 100 m de espesor.	De pequeñas a moderadas cantidades. Los pozos en el acuífero de Bagacaes producen de 265 a 1,124 L/min. El promedio de transmisibilidad es de 745 m^2/d (59,972 gal/d/ft) con una capacidad específica de 1.53 a 2.06 L/s/m. Los pozos en el acuífero de Liberia tienen una producción promedio de 95 L/min. Promedio de transmisibilidad de 6 a 15 m^2/d (de 483 a 1,208 gal/d/ft) con una capacidad especifica de 0.15 L/s/m en el acuífero de Liberia.	Agua dulce en la mayoria de las áreas. Los acuíferos de Bagaces y Liberia tienen sólidos totales disueltos y pH bajos. Ambos acuíferos tienen un sólidos totales disueltos de 127 a 248 mg/L; temperatura promedio de 28 a 29 ºC; pH de 6.7 a 7.4; y dureza de 21 a 49 mg/L. Contaminación biológica es común en los acuíferos poco profundos.	En el acuífero de Bagaces, la profundidad al agua es de 85 a 140 m, promediando 100 m de profundidad. El acceso varía, la mayoria de las áreas están en planicies o áreas de pendiente moderada. En el área del acuífero de Liberia (1038N08526W) cientos de pozos excavados hasta 70 m de profundidad explotan el acuífero de Liberia. Profundidad al agua es de aprox. 20 m. Perforación en flujos de lava puede requerir de técnicas de perforación para roca dura. La tubería de revestimiento con PVC no es recomendable debido a la actividad sísmica.	Casi todas las áreas son apropiadas para pozos de bombas manuales. Muchas áreas son apropiadas para pozos tácticos. Los sitios con fracturas grandes pueden ser adecuados para suministro municipal o pozos de irrigación.

Tabla 2. Recursos de Agua Subterránea (continuación)

Unidad de Mapa (Ver Fig. 2)	Características del Acuífero	Cantidad[1]	Calidad[2]	Aspectos del Desarrollo del Agua Subterránea	Observaciones
5 Agua dulce localmente abundante	Formaciones volcánicas no diferenciadas y sedimentarias de las eras Terciaria y Cretácea. Los acuíferos no son continuados y existen solamente en fracturas y en formaciones poco profundas, aisladas de arena y grava. La capacidad de recarga general viene siendo el 5% de la cantidad de lluvia caida anualmente. En la Peninsula de Nicoya (1000N08525W), el Complejo de Nicoya provee alguna agua subterránea de zonas fracturadas. El complejo de Nicoya está compuesto de basaltos, conglomerados con silíceos entremetidos y piedras calizas arenosas, e intrusiones de diabasa.	De pequeñas a muy pequeñas. Transmisibilidad <10 m^2/d (800 gal/d/ft). La producción de los pozos puede ser de un promedio de 30 L/min en la Península de Nicoya y podría producir hasta 264 L/min localmente. En la cuenca del Rio Tarcoles (0947N08438W) los basaltos del complejo tienen producciones de 300 L/min. Producciones mayores están disponsibles en fracturas mas grandes.	Agua dulce en casi todas las áreas. El agua del Complejo de Nicoya tiene un sólidos totales disueltos de 155 a 473 mg/L; temperatura promedio de 27 a 28.5 ºC; pH 6.88 a 7.5; y dureza de 156 a 202 mg/L. El agua subterránea en contacto con basaltos puede tener un alto contenido de hierro, hasta de 7 mg/L.	La profundidad al agua es menor de 200 m. El acceso es generalmente difícil debido a las empinadas pendientes, valles rugosos angostos y falta de caminos adecuados. La perforación en los flujos de lava puede requerir de técnicas para perforación en roca dura.	Generalmente los pozos deberian estar situados en las intersecciones de las fracturas. Muchos lugares en las partes bajas de los valles y en fracturas mayores son apropiados para pozos de bombas manuales. La mayoría de las áreas no son adecuadas para otro tipo de pozos. Generalmente éstas áreas no son favorables para el almacenamiento de agua subterránea pero no han sido estudiadas en detalle.
6 Agua dulce poca o inexistente	mayormente rocas volcánicas que consisten en basaltos y flujos de lava de andesita, aglomerados y piroclásticos. Estos depósitos se encuentran en la parte alta del los volcánes activos. Las rocas pueden ser permeables pero las áreas son muy altas sobre los rios perennes y puede que no almacenen agua subterránea. El agua subterránea existente puede ser transmitida rapidamente a elevaciones mas bajas debido al gradiente hidraulico empinado.	Mínimas a pequeñas cantidades. Producciones de agua son mayores localmente en fracturas mas grandes.	Agua dulce, pero puede ser degradada por actividad geotermal.	El acceso es difícil a la mayoria de las áreas debido a lo agreste e inestable que es el terreno y también porque no existen caminos de acceso adecuados. La perforación en flujos de lava puede necesitar de técnicas de perforación para roca dura.	La mayoria de las áreas no son adecuadas para pozos porque su producción es insuficiente y por el riesgo de actividad volcánica.
7 Agua dulce poca o inexistente	Acuíferos en las planicies costeras consisten en arenas no consolidadas, sedimentos, y arcillas que estan geológicamente sobre una capa de pantanos y manglares.	Mínima a grandes cantidades de agua variando de salobre a salada dentro de un rango de 2 km del océano, especialmente donde las elevaciones del del terreno son <10 m sobre el nivel del mar.	Agua de salobre a salina. La química del agua subterránea en toda la costa es similar a la del agua del mar.	La profundidad al agua es menor de 20 m en todas las areas donde se encuentran agua de salobre a salina. El acceso a estas zonas es difícil cerca a los manglares debido a la condición pantanosa de los suelos.	Todas las areas son inadecuadas para pozos debido a la presencia de agua salina o salobre. La mayoría de las áreas podrían ser adecuadas para pozos tácticos o para pozos operados con bombas manuales con sistemas de desalinización.

[1]Términos Cuantitativos

Enorme	= >400,000 L/min (100,000 gal/min)
Muy Grande	= >40,000 a 400,000 L/min (10,000 a 100,000 gal/min)
Grande	= >4,000 a 40,000 L/min (1,000 a 10,000 gal/min)
Moderado	= >400 a 4,000 L/min (100 a 1,000 gal/min)
Pequeño	= >40 a 400 L/min (10 a 100 gal/min)
Muy Pequeño	= >4 a 40 L/min (1 a 10 gal/min)
Minimo	= ≤4 L/min (1 gal/min)

[2]Términos Cualitativos:

Agua Dulce	= sólidos totales disueltos máximo ≤1,000 mg/L; cloruro máximo ≤ 600 mg/L; y sulfatos máximos ≤300 mg/L
Agua Salobre	= sólidos totales disueltos máximo >1,000 mg/L pero ≤5,000 mg/L
Agua Salina	= sólidos totales disueltos >15,000 mg/L

Términos de Dureza

Suave	= 0 a 60 mg/L $CaCO_3$
Moderadamente dura	= 61 a 120 mg/L $CaCO_3$
Dura	= 121 a 180 mg/L $CaCO_3$
Muy Dura	= >180 mg/L $CaCO_3$

Nota:

$CaCO_3$	= carbonato de calcio
gal/min	= galones por minuto
gal/d/ft	= galones por dia por pie
km^2	= kilómetros cuadrados
L/min	= litros por minuto
L/s/m	= litros por segundo por metro
m^2/d	= metros cuadrados por dia
mg/L	= miligramos por litro
pH	= potencial de Hidrógeno
PVC	= cloruro de polivinilo
TDS	= sólidos totales disueltos

Tabla de Conversión:

Para Convertir	Multiplique Por	Para Obtener
Litros por minuto	0.264	galones por minuto
Litros por minuto	15.852	galones por hora
Litros por minuto	380.517	galones por dia

Recursos de Agua Superficial map goes here.

Recursos de Agua Subterránea map goes here.

Bibliografía

Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. *Análisis Regional de los Recursos Físicos de Costa Rica*. AID/RIC GIPR No. 4, Washington, DC: Centro de Inventario de Recursos del AID, Agosto 1965.

Agencia Hidrográfica de Mapas/Centro Topográfico. *Operaciones Gráficas Conjuntas*. Escala de Mapas 1:250,000, Series 1501, NC 1604, NC 1608, NC 1612, NC 1705, NC 1709, NC 1710, NC 1713, Washington, DC, 1970 a 1989.

Ahlgren, L., E. Basso ad R, Jovel. *Balance del Agua en Norte América*, "Evaluación Preliminar del Balance del Agua en el Istmo de Centro América". Herndon, Virginia: Asociación Americana de Recursos de Agua, 1969.

Calvo, J.C. *Revista de Ciencias Hidrológicas*, "Desarrollo de los Recursos de Agua en Costa Rica, 1970-2000 Vol. 35, No. 2, Oxford, Inglaterra: Publicaciones Científicas Blackwell Ltd., Abril 1990.

Centro de Ciencia Tropical. *Costa Rica, Perfil Ambiental del País*. USAID Contrato No. 0000-C-00-1004-00, San Jose, 1982.

Chinchilla-V., E. *Atlas Cantonal de Costa Rica*. San José: Instituto de Fomento y Asesoría Municipal, 1987.

Comisión Internacional en Represas Grandes. *Registro Mundial de Represas*. Edición completa, París, 1984.

Cunningham, et. Al. *Tierra y Recursos de Agua y Amenazas en Centro América*. Estudio Geológico de los Estados Unidos, Circular No. 925, Washington, DC, 1984.

Dengo, G. *Estructura Geología, Historia Técnica y Morfología de América Central*. Edición 1, Ciudad de México, México: Centro Regional de Ayuda Técnica, Agencia para el Desarrollo Internacional, 1989.

Departamento de Estudios Básicos. *Inventario Nacional de Cuencas Potencialmente Utilizables para Abastecimiento de Agua*. San José: Dirección de Estudios y Proyectos, Julio 1980.

Dumbleton, B. *Mundo del Agua*, "Historia de la Portada: Problema de Acueductos en Costa Rica", Vol. 12, No. 11, Londres: Thomas Telford Ltd. Marzo 1990.

Encuesta Geológica de los Estados Unidos. *Evaluación de Recursos Minerales de la República de Costa Rica*. Encuesta Geológica de los Estados Unidos Serie de Investigaciones Varias, Mapa 1-1865, Washington, DC, 1987.

Foster, S. Et al. *Agua Subterránea*, "Papel que Desempeñan las Tobas Volcánicas en el Agua Subterránea del Valle Central, Costa Rica", Vol. 23, No. 6, Dublin, Ohio: Asociación Nacional de Agua Subterránea, Noviembre-Diciembre 1985.

Grupo del Proyecto del Río San Juan. *Reporte de Pre-Factibilidad – Proyecto Hidrológico y de Navegación del Río San Juan*. Managua, Nicaragua: Ministerio de Obras Públicas, Diciembre 1977.

Harshorn, G. Et al. *Costa Rica Perfil Ambiental del País*. No.0000-C-00-1004-00, San José, Costa Rica: Centro de Ciencia Tropical, Agencia para el Desarrollo Internacional, 1982.

Herrera-S., W. *Atlas Natural de Costa Rica – Libro Guía*. Heredia, Costa Rica: Incafo, S.A., 1992.

Hoelting, B. *Comunicaciones, Revista del Instituto Tropical de Investigaciones Científicas*, “Problemas Hidrogeológicos en El Salvador” Año 7, No. 1-2, San Salvador, 1958.

Jovel, J.R. *Boletín Hidrológico de Ciencias*, “Desarrollo de Recursos de Agua en Centro América”, 1970 a 1980, Vol. 19, No. 4, Diciembre de 1974.

Jovel, J.R. y L.E. Ahlgren. *Boletín de la Asociación Internacional de Ciencias Hidrológicas*, “Los Recursos de Agua de la Cuenca del Río Grande de Tarcoles, Costa Rica”, Vol. 17, No. 4, Wallingford: Oxfordshire, 1991.

Krushensky, R.D., S.M. Cargill, y G. L. Raines. *Desarrollo de Minerales, Energía, Recursos de Agua y Mitigación de Daños en Centro América*, “Situación Geológica Actual en Costa Rica”, U.S. Circular 1006 Estudio Geológico, Washington, DC; Oficina de Impresión del Gobierno de los Estados Unidos, 1987.

Leeden, Frits van der. *Recursos de Agua del Mundo*. Port Washington, New York : Centro de Información del Agua, Inc. 1975.

Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. *Agua Subterránea en el Hemisferio Occidental*, “Costa Rica”. Recursos Naturales/Agua, Series No. 4 , ST/ESA/35, New York, 1976.

Oficina de Hidrología. *Boletín de Calidad Fisico-Quimica*. No. 2, San José: Instituto Costarricense de Electricidad, Noviembre 1987.

Oficina de Hidrología. *Boletín de Sedimento en Suspensión*. No. 2, Octubre 1988.

Oficina de Hidrología. *Boletín Hidrológico*. No. 18, 1990.

Pringle, C.M. et al. *Limnología y Oceanografía*, "Enlaces entre la Actividad Geotermal, Composición Soluble y la Respuesta Ecológica en las Aguas Superficiales que Drenan la Pendiente del Atlántico de Costa Rica", Vol. 38, No. 4, Dos Ríos, Wisconsin: Sociedad Americana de Limnología y Oceanografía, 1993.

Pringle, C.M. y F.J. Triska. *Ecología*, “Efectos del Agua Subterránea Geotermal en la Dinámica de los Nutrientes de un Arroyo en Tierras Bajas de Costa Rica”, Vol. 72, No. 3, Tempe, Arizona: Sociedad Ecológica de América, 1991.

Pringle, C.M., F.J. Triska, y G. Browder. *Hidrobiologia*, “Variación Espacial en la Química Básica de los Arroyos que Drenan los terrenos Volcánicos de la Cuenca del Caribe de Costa Rica”, Vol. 206, Dordrecht, Países Bajos: Publicaciones Académicas Kluwer, 1991.

Protti, E., et al. *El Sistema Fluvial de Tarcoles, Costa Rica: Estudios Preliminares sobre Geomorformetria y Geofactores Básicos*. San José, Costa Rica: Instituto Geográfico Nacional, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, 1983.

Proyecto de Desarrollo de las Naciones Unidas. *Investigaciones del Agua Subterránea en Zonas Seleccionadas*. DP/UN/COS-65-502/1, New York, 1965.

Reynolds-Vargas, J.S. y D.D. Richter, Jr. *Medio Ambiente Internacional*, "Nitrato en Aguas Subterráneas del Valle Central, Costa Rica”, Vol. 21, No. 1, Ciencia Elsevier Ltd., 1995.

Rothe, G. *1993 Actualización: Planificación de Programas de Agua y Santifican en Centro América*. Proyecto de Salud Ambiental, Agua y Santifican para la Salud, Reimpresión. Reporte de Campo No. 404, Washington, DC: Agencia para el Desarrollo Internacional, Septiembre 1993.

Samson, K., y J. Aukshuna. *Guía de Viaje Completa de Frommer: Costa Rica ’95*. New York: Viajes Macmillan.

Schwerdtfeger, W. *Estudio Climatológico del Mundo*, “Climas de Centro y Sur América”, Vol. 12, NW York: Compañía de Publicaciones Científicas Elsevier, 1976.

Ulate-R, C.A. y M.F. Corrales-V. *Revista-División de Hidráulica: Actas de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles*, “Inundaciones de Lodo Relacionadas con la Erupción del Volcán Irazu.” No. HY6, Vol. 92, Reimpresión 4984, New York, Sociedad Americana de Ingenieros Civiles, Noviembre de 1966.

Universidad de Arizona, Centro de Información de Tierras Aridas. *Apuntes sobre el Perfil Ambiental de Costa Rica*. Contrato de Servicio del Parque Nacional No. CX-0001-0-0003, Tucson, Arizona, Julio 1981.

Velasquez, E. *Actas de un Simposio Internacional Convocado por UNESCO en Cooperación con el Comité Nacional de la República Federal de Alemania para el Programa Internacional Hidrológico, Koblenz, República Federal de Alemania*, “Agua Subterránea en Rocas Volcánicas”. Vol. 1, New York, 28 de Agosto – 3 Septiembre 1983.

Weyl, R. *Beitraege zur Regionalen Geologie der Erde – Geología de Centro América*. Edición 2, Banda 15, Berlín, Alemania: Gebruder Borntraeger, 1980.

Glosario

acuífero	Una formación, grupo de formaciones, o parte de una formación que contiene suficiente material permeable saturado para producir cantidades significativas de agua para pozos y vertientes.
acuífero aislado	La tabla de agua de una capa saturada del suelo la cual esta separada de otra capa saturada que pasa por abajo por medio de una capa no-saturada.
acuífero confinado	Un acuífero limitado por encima y por debajo por capas impermeables, o por capas de permeabilidad distintivamente mas bajas.
acuífero no confinado	Un acuífero donde la tabla de agua está expuesta a la atmósfera por aberturas en el material que lo cubre.
aglomerado	Brecha volcánica formada por el rompimiento de recubrimientos sólidos o tapones endurecidos de lava. Bloques de aglomerados pueden juntarse como mosaicos sueltos o pueden estar completamente en desorden.
agua dulce	Agua que contiene 600 miligramos por litro o menos de cloruros, 300 miligramos por litro o menos de sulfatos y 1,000 miligramos por litro o menos de sólidos disueltos totales.
agua salina	Agua que contiene mas de 15,000 miligramos por litro de sólidos disueltos totales. El agua salina no se puede beber sin tratamiento.
agua salobre	Agua que contiene mas de 1,000 miligramos por litro, pero no mas de 15,000 miligramos por litro de sólidos disueltos totales.
aguas servidas	Las aguas gastadas o usadas por una comunidad o industria que contienen material suspendido o disuelto.
aluvión	Sedimento depositado por corrientes de agua, como en el banco de un río, planicie de inundación o delta.
andesita	Roca volcánica ígnea granulada de fina a media, dura, densa, marrón a plomo. La andesita es generalmente usada con moderación para propósitos de ingeniería.
area geotermal	Area donde las temperaturas de la subsuperficie son significativamente mas altas que las promedio.

arena	Como un elemento separado del suelo, roca individual o fragmentos minerales con diámetros menores de 0.08 a menores de 4.76 milímetros. La textura de clasificación del suelo que determina si un suelo es arena requiere del 85 % o mas del suelo que sea arena y que no tenga mas del 10 % de arcilla. La mayoría de la arena consiste de cuarzo.
artesiano	Describe agua subterránea que esta bajo suficiente presión que puede levantarse por arriba del acuífero que la contiene. Pozos artesianos fluyentes se producen cuando la presión es tal para forzar el agua por arriba de la superficie del terreno.
bahía	Un receso en la orilla de la playa o una entrada de mar o un lago entre dos cabos o promontorios de tierra. Una bahía no es tan grande como un golfo pero. Si mas grande que una ensenada.
barro	Como un elemento separado del suelo, partículas individuales menores de 0.002 milímetros de diámetro. Como una clase de textura del suelo, material que contiene 40 % de barro.
basalto	Una roca ígnea de color oscuro, de granos finos, dura, densa, que se presenta comúnmente en caudales de lava. Los basaltos son generalmente una fuente para todos los usos de construcción, sin embargo, es muy difícil de perforar.
bicarbonato (HCO_3^-)	Un ion cargado negativamente el cual es el sistema de especies de carbonato dominante presente en la mayoría de las aguas, teniendo un valor de pH entre 6.4 y 10.3. Concentraciones excesivas típicamente resultan en la formación de costras.
brecha	Fragmentos de roca angular del tamaño de la grava a mas grande, en un material granulado más pequeño. Las brechas son un material impredecible para propósitos de construcción y es generalmente evitada por los ingenieros militares.
brecha volcánica	Roca piroclastica que consiste de fragmentos volcánicos angulares que son mas grandes de 64 milímetros de diámetro y que pueden o no pueden tener matriz.
brechiforme	Similar a una brecha en su estructura; por ejemplo, roca que ha sido completamente fracturada y que pareciera estar compuesta por fragmentos individuales altamente angulares.
cabecera de vertiente	Una vertiente desarrollada que se usa para suministro de agua municipal.
capacidad especifica	La producción de un pozo por unidad de retiros de agua, expresada en litros por minuto por metro.

ceniza	Sedimento volcánico de restos de roca, usualmente vidrioso, que es menor de 4 milímetros de diámetro. La ceniza generalmente es expulsada de los volcanes.
cieno	Como un elemento separado del suelo, roca individual o fragmentos minerales con diámetro menor de 0.002 a menor de 0.08 milímetros. La textura de clasificación del suelo que determina si el suelo es cenagoso requiere del 80 % o mas del suelo que contenga cieno y no mas del 12 % de arcilla.
conductividad hidráulica	El volumen de agua a la viscosidad cinemática existente la cual se moverá en unidad de tiempo bajo un gradiente de unidad hidráulica a través de una unidad de área de un acuífero medido en ángulos rectos hacia la dirección del flujo.
cono	Una eminencia en forma de cono formada por descargas volcánicas.
consolidado	Donde materiales de terreno suaves, sueltos o líquidos se han transformado en roca coherente y firme.
contaminación biológicade	La presencia en el agua de cantidades significativas de organismos productores de enfermedades.
corrosión	La eliminación de material de una superficie por medios químicos.
Cretáceo	El tiempo geológico, sistema de rocas, y depósitos sedimentarios del período Tercero y último de la era Mesozoica.
desabrido	Agua que no es agradable al paladar y significativamente libre de color, sabor, turbiedad y odor. El agua puede ser desabrida pero sigue siendo potable.
descarga	Cantidad de flujo derramado.
división de drenaje	Límite, usualmente definido por la topografía de la superficie entre áreas de drenaje o cuencas de drenaje.
dureza	Una característica fisico-química que se reconoce comúnmente por la cantidad de incremento de jabón necesaria para producir espuma. Se atribuye principalmente a la presencia de calcio y magnesio y se expresa como equivalente a carbonato de calcio. La clasificación de dureza del agua potable es: suave de 0 a 60 miligramos por litro (mg/L); moderada de 61 a 120 mg/L; dura de 121 a 180 mg/L; muy dura mas de 180 mg/L.
Eoceno	División del tiempo geológico de 38 a 55 millones de años atrás. Cae geológicamente después del Paleoceno y antes del Oligoceno.
escoria	Roca volcánica que tiene al menos 50 % de huecos, típicamente se forma de una solidificación rápida de lava rica en burbujas de gas.

escorrentia	La porción de la lluvia en un área de drenaje que es descargada en canales de ríos. Los tipos de escorrentias pueden ser superficiales o de agua subterránea.
Fe	Hierro disuelto en agua subterránea natural proveniente de rocas. Concentraciones tan bajas como 0.3 miligramos por litro de hierro causan manchas marrón rojizas en fisuras y en telas lavadas en esas aguas.
flujos o caudales	Grandes flujos o caudales de mezcla de agua y tierra (ej. Lodo) rápidos y generalmente catastróficos. Los caudales de lodo son generalmente altamente destructivos y ponen en peligro las vida debido a su tremenda fuerza, velocidad y que suceden en forma inesperada. En zonas volcánicas se puede dar la presencia de lahares.
fluviolacustre	Sedimentos depositados parcialmente en aguas de lagos y parcialmente en Ríos.
formación	Estrato o serie de estratos de rocas o sedimentos que muestran las propiedades o características litológicas claras y unificantes lo suficientemente grandes como para ser trazadas. Una formación es usualmente tabular en su forma.
fosa séptica	Una fosa subterránea para tratar aguas negras de una vivienda individual o edificio por medio de una combinación del efecto del asentamiento de heces y un proceso anaerobico. La disposición del efluente es generalmente mediante lixiviación.
fractura	Una grieta, junta o falla u otro quiebre en una roca.
fumarola	Escape, usualmente volcánico, por el cual gases y vapores son emitidos.
gradiente hidráulico	El ritmo de cambio por unidad de distancia del flujo en un punto determinado y en una dirección dada en un acuífero.
grava	Como un elemento separado del suelo, son fragmentos minerales o rocas individuales con diámetros menores de 4.76 a menores de 76 milímetros.
hidrotermal	Agua caliente, o depósitos minerales que se precipitan de una solución acuosa caliente.
ignimbrite	Roca volcánica formada por deposiciones esparcidas y consolidación de flujos de ceniza.
impermeable	Banco o estrato de material a través del cual el agua no se moverá.
interflujo	Suelo estacional y perfiles de ceniza entre flujos de lava.

intrusión de agua salada	Desplazamiento de agua dulce superficial o agua subterránea por el avance de agua salada debido a su mayor densidad. Las intrusión de agua salada generalmente ocurre en áreas costeras o de estuarios donde contamina los pozos de agua dulce.
lahar	Flujo volcánico de lodo.
lava	Roca fluida como la que sale de un volcán o fisura de la superficie de la Tierra. Lava también es el mismo material solidificado por enfriamiento.
lixiviar	La remoción de elementos solubles del suelo, planicies, desperdicios de minas, depósitos de sedimentos fangosos u otro material por medio de la infiltración de agua.
manglar	Un grupo de plantas que crece en un pantano marino tropical o subtropical. Un pantano marino dominado por una comunidad de estas.
Mioceno	División geológica de tiempo entre 5 y 24 millones de años atrás. Recae cronológicamente después del Oligoceno y antes del Plioceno.
nacientes	Los tramos superiores de un río cerca de su fuente. Los ríos en sus áreas nacientes son típicamente muy pequeños y pueden fluir únicamente en respuesta a la lluvia o cuando la nieve se esta derritiendo.
nitratos	Un componente mineral caracterizado por una estructura fundamental anionica de NO_3. El nitrato puede ser un indicador de contaminación de agua subterránea.
no consolidado	Suelto, suave o materiales líquidos de la tierra que no son firmes o compactados.
nutriente	Compuestos que se dan naturalmente o son agregados por el hombre. Estos promueven el crecimiento de las plantas o animales. En aguas cálidas, los nutrientes agregados por las actividades del hombre tienden a degradar la calidad del agua rapidamente y están generalmente asociados con patógenos.
patógeno	Micro organismo causante de enfermedad, tal como un virus o bacteria.
permeabilidad (roca)	La propiedad o capacidad de una roca porosa de transmitir un fluido. Permeabilidad es la medida de facilidad relativa con la que un fluido fluye bajo presión desigual. Su unidad de medida usual es el milidarcy.
pH	Una medida de acidez o alcalinidad de una solución, numéricamente igual a 7 para soluciones neutrales, incrementando con el aumento de alcalinidad y disminuyendo con el incremento de acidez. La escala de pH comúnmente en uso oscila entre 0 y 14.

piedra caliza	Roca suave a moderadamente dura compuesta de carbonato de calcio; variedades compactas cristalinas son generalmente buenos materiales para todas las necesidades de construcción. Las piedras calizas son generalmente altamente fracturadas y disolubles, por lo general producen volúmenes significativos de agua subterránea.
piedra pómez	Una roca de color claro, glaseada, celular que comúnmente tiene la composición de la riolita.
Pleistoceno	División del tiempo geológico entre 10,000 y 1.6 millones de años atrás que se ubica cronológicamente después del Plioceno y antes del Holoceno.
Plioceno	División del tiempo geológico entre 1.6 millones de años atrás que se ubica cronológicamente después del Mioceno y antes del Pleistoceno. El Plioceno corresponde a la últimas división de tiempo del período Terciario.
plumas	La propagación de un contaminante en la dirección del flujo del agua subterránea desde el punto de origen hasta el punto donde la concentración del contaminante cae bajo los límites permitidos.
producción sostenida	La cantidad de agua subterránea que ocurre naturalmente la cual puede ser económicamente y legalmente sacada de un acuífero en bases constantes sin atentar contra la calidad del agua subterránea autóctona o crear un efecto no deseado tal como daños al medio ambiente.
recarga	Adición de agua a la zona de saturación ya sea por precipitaciones, infiltración por arroyos superficiales y otras fuentes.
Reciente	La división del tiempo geológico mas reciente, desde 10,000 años atrás hasta el presente en el período Cuaternario. Comenzando al final del Pleistoceno. Reciente es sinónimo de Holoceno.
reducción	La reducción del agua o presión en un pozo único o en la totalidad de un acuífero debido al retiro de agua.
riolita	Una roca ígnea moderadamente dura de color claro y granos finos. La riolita tiene ciertos usos en ingeniería.
sísmico	Relacionado a terremotos o temblores de tierra.
sólidos suspendidos	Sólidos no solubles que flotan en la superficie o están suspendidos en el agua, aguas servidas u otros líquidos.
subsuelo	Rocas no diferenciadas, generalmente ígneas y metamórficas que se encuentran bajo las rocas de interés, generalmente sedimentarias, en un área determinada.

sulfato	Ion divalente SO_4^{2-} cargado negativamente presente en aguas naturales. Concentraciones excesivas son indeseables para muchos usos del agua, debido a su propiedad corrosiva de mediana a moderada.
tabla de agua (nivel freático)	La profundidad o nivel bajo el cual el terreno esta saturado con agua.
temperado	Temperatura moderada o suave. En latitudes tropicales, las tierras altas son temperadas y tienen variaciones estacionales pequeñas en la temperatura, pero usualmente tienen variaciones durante el día.
Terciario	La primera división importante de tiempo geológico en la era Cenozoica, 1.6 a 66 millones de años atrás. El Terciario es caracterizado mundialmente por la actividad volcánica y la formación de montañas.
tiempo de residencia	El tiempo requerido por el agua subterránea para moverse de diferentes partes de un área de recarga al área de descarga mas cercana.
tierra húmeda	Areas en las cuales el suelo esta de periódicamente a permanentemente saturado con agua. Generalmente son áreas bajas cerca de ríos y lagos que están mojados o inundados durante la estación alta de agua o cuando se está derritiendo la nieve.
toba	Una roca suave formada de fragmentos volcánicos compactados. Las tobas se puede excavar fácilmente y tienen algunos usos en la ingeniería, sin embargo, puede ser usada como material de relleno o como material grueso para base.
transmisividad	La proporción en la que el agua de viscosidad cinemática prevaleciente es transmitida a través de una unidad de amplitud de un acuífero bajo una unidad de gradiente hidráulica; la proporción en la que el agua pasa por una unidad de amplitud de un acuífero.
turbiedad	Una medida de la reducción de la claridad del agua. Agua poco clara o barrosa es causada por partículas suspendidas de arena, sedimento, arcilla o material orgánico. La turbiedad excesiva debe ser eliminada para hacer potable el agua.
vertiente	Un lugar donde el agua subterránea fluye naturalmente desde una roca, o del suelo a la superficie o a un cuerpo de agua superficial.
vertiente perenne	Una vertiente que fluye todo el año y tiene un flujo mínimo de 40 litros por minuto. Una vertiente perenne es generalmente alimentada por agua subterránea y su agua superficial generalmente comienza a un nivel mas bajo que el de la tabla de agua en el área.

vertiente termal	Una vertiente caliente o tibia, en la que el agua producida ha sido calentada por procesos naturales.
volcán	Ventosa en la superficie de la tierra a través de la cual se expulsan magmas y gases asociados y ceniza; también, la forma o estructura, generalmente cónica es producida por el material que es expulsado.
volcán activo	Un volcán que esta en erupción o que se espera que haga erupción.