

# LA EXPANSIÓN DEL ESPACIO URBANO COSTERO EL COCO Y SU RELACIÓN CON LA VULNERABILIDAD A LA CONTAMINACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO, PENÍNSULA DE NICOYA, COSTA RICA

## THE SPRAWL OF URBAN COASTAL SPACE AND ITS RELATIONSHIP TO THE POLLUTION OF WATER RESOURCES ALONG THE COCO COAST, NICOYA PENINSULA, COSTA RICA

*Lidia Orias Arguedas<sup>1</sup>*

*Universidad Nacional, Costa Rica*

### RESUMEN

La presente investigación se realizó en el espacio urbano costero El Coco, perteneciente al distrito de Sardinal del cantón de Carrillo, en la península de Nicoya, el cual muestra un acelerado crecimiento orientado a la actividad turística, con el consecuente incremento en el consumo del recurso hídrico. Esta situación conlleva a una alta vulnerabilidad a la contaminación del acuífero El Coco. Se identificó y caracterizó los pozos potencialmente vulnerables a la contaminación y se correlacionaron con el Mapa de vulnerabilidad a la contaminación (GOD). Asimismo, se determinaron las áreas de Protección Perimetral de Pozos (PPP) y de las zonas de captura o de carga de pozos (ZOC). Se utilizaron como fuentes primarias entrevistas abiertas. Se emplearon técnicas de fotointerpretación y teledetección, y la aplicación Sistemas de información Geográfica (SIG).

**Palabras claves:** expansión urbana, vulnerabilidad a la contaminación, recurso hídrico, disponibilidad del recurso hídrico, ordenamiento territorial, metodología GOD.

---

<sup>1</sup> Pertenece a la Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. Correo electrónico: lidiaoria@gmail.com

## **ABSTRACT**

This research was conducted in the El Coco coastal urban area belonging to the Sardinial District of the Canton of Carrillo in the Nicoya Peninsula, which shows rapid growth in tourism-related activity and the subsequent increase in water resource consumption. This situation leads to a high vulnerability of contamination to the El Coco aquifer. Wells potentially vulnerable to contamination were identified and characterized and correlated with the map of vulnerability to contamination. Likewise, areas of Perimeter Protection Wells were identified along with capture or well-loading zones. Open interviews were used as primary sources. Photo interpretation and remote sensing techniques were employed along with Geographic Information Systems.

**Keywords:** Urban sprawl, water resource vulnerability, water resources, contamination, land use planning, geographic information systems (GIS), Nicoya Peninsula, Costa Rica

## **Introducción**

La extracción de las aguas subterráneas en el espacio urbano costero El Coco ha estado realizada con escaso control. La demanda hídrica ha aumentado para satisfacer el crecimiento de sectores de la construcción y los servicios, debido a la existencia de pozos ilegales destinados a abastecer las exigencias de los servicios hoteleros y las residencias de lujo (consumo interno, piscinas, riego de jardines siempre verdes y otras).

Las comunidades asentadas en el área de estudio, populares y en condiciones de pobreza, no disponen de pozos privados, dependen exclusivamente del abastecimiento de agua potable servido por el Instituto Costarricense de Acueductos y alcantarillados (A y A); asimismo, los costos por el servicio de agua son más elevados que en las áreas metropolitanas de Costa Rica.

El recurso hídrico es vulnerable a amenazas que incluyen la excesiva utilización y contaminación. Asimismo, dado que los temas de utilización y de calidad de las aguas subterráneas han recibido, desde siempre, menos atención que el de las aguas superficiales, se ha generado la motivación por incursionar en esta temática que es actual y de carácter global.

En el Espacio urbano costero El Coco no existen programas de control y monitoreo de la extracción de los pozos existentes, que proporcionen un seguimiento sostenible del recurso, que a su vez es vulnerable a fenómenos atmosféricos como El Niño. Hay que agregar que el costo más alto de no gestionar integralmente el recurso hídrico es la emigración de los sectores populares ante la escasa disponibilidad y los altos precios del agua.

Es importante generar estudios con elaboración de mapas de vulnerabilidad intrínseca a la contaminación (GOD), junto a un inventario de

los pozos existentes y sus Perímetros de Protección de Pozos (PPP). Asimismo, es elemental continuar con la evaluación del uso de la tierra, sus actividades de impacto presente y los escenarios de demanda de largo plazo, como insumos para la gestión integral del recurso hídrico subterráneo.

### **Delimitación y caracterización física del área de estudio**

Territorialmente, el Espacio urbano costero El Coco, se ubica en el distrito Sardinal en el cantón de Carrillo, en la Península de Nicoya. Representa una extensión de 21,32 km<sup>2</sup>, con un perímetro de 27,75 Km. Se localiza, según el Sistema de proyección cónica conforme Lambert para Costa Rica norte, en las coordenadas: 279000-283000 y 347000-352000, de la Hoja topográfica Carrillo Norte, escala 1:50000 del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

### **Caracterización de las unidades poblacionales del espacio costero urbano El Coco**

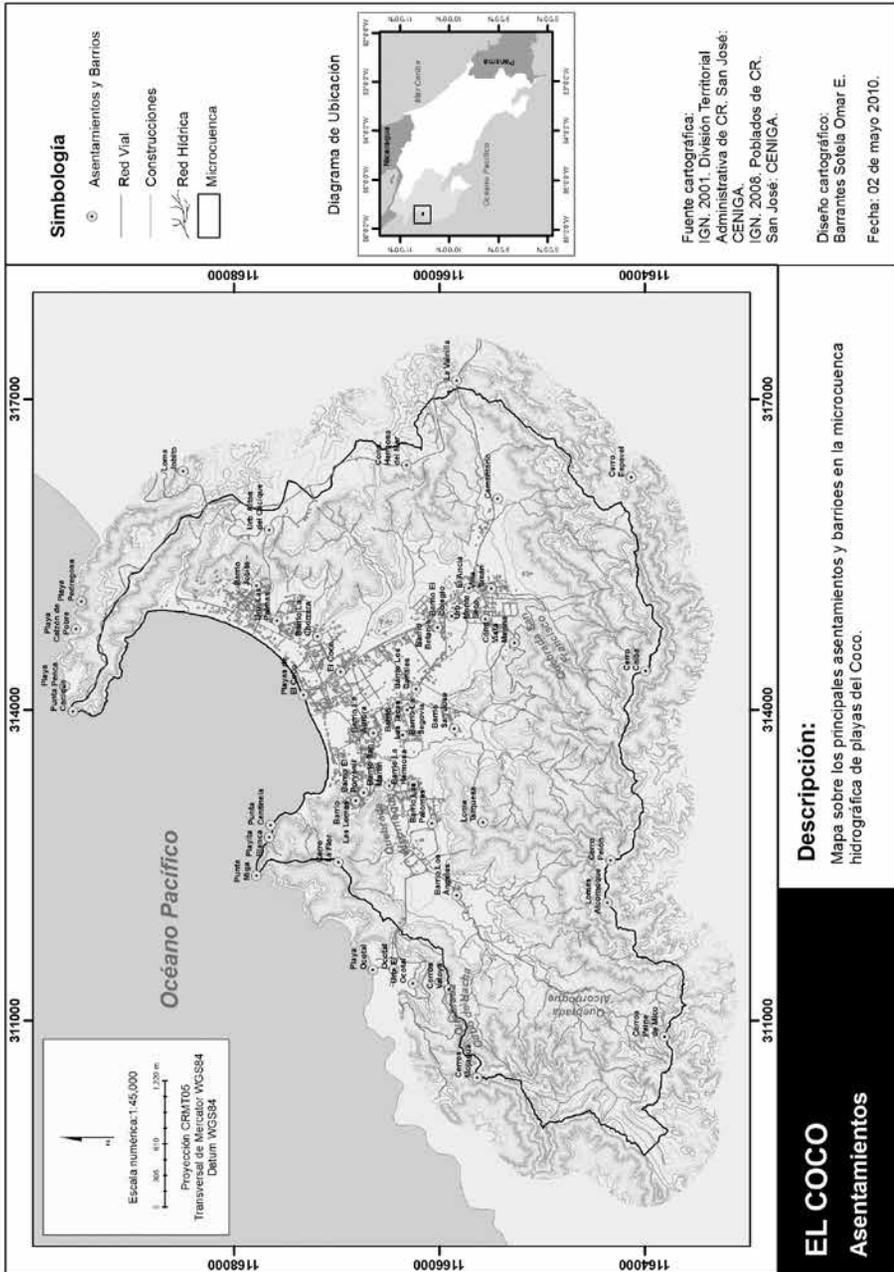
El espacio costero urbano El Coco, presenta un crecimiento que ha hecho cambiar la conformación original de su área litoral, ha seguido un patrón vial de tipo radial. Este crecimiento presenta una distribución lineal Sur- suroeste, de residencias y condominios de lujo, de hoteles, de servicios y de comercios, ocupando la tierra de mayor valor dedicada a la especulación. Sin embargo, también el crecimiento urbano se presenta de manera diseminada, formando una expansión horizontal espontánea, que ha dejado grandes espacios internos y que son desaprovechados; favorecido por la carencia de regulación urbanística para delimitar el uso de la tierra.

El mapa 1 muestra como el crecimiento urbano se ha expandido hacia todas las áreas de los Depósitos Cuaternarios.

El crecimiento residencial de alto costo está compuesto por viviendas individuales y por complejos habitacionales, con características y precios muy variables, cientos de veces más costosos que los de los pobladores de El Coco.

Historicamente los barrios populares se hallan distribuidos principalmente en el área litoral, al noreste: La Chorrera y Jobito. Al noroeste: La Aurora, San Martín y el Porvenir. Muy cercano a estos barrios, se encuentra el asentamiento en condiciones de pobreza Las Lomas; como su nombre lo indica, se encuentra en una pendiente bastante inclinada y muy cercano al área de recarga acuífera.

Mapa 1. Asentamientos y barrios en espacio costero urbano El Coco



## **Características geológicas del área de estudio**

### **Geología Complejo de Nicoya**

El Complejo de Nicoya se originó entre el Jurásico Temprano y el Cretácico. Las unidades litoestratigráficas que afloran en el norte de la Península de Nicoya, presentan rocas originarias en el punto caliente de Galápagos. La corteza oceánica se originó en la dorsal medio oceánica, que al pasar por Galápagos ocasionó los basaltos intraplaca e intrusivo Potrero. Este último engrosó la corteza oceánica primitiva, formando las montañas submarinas, que al colisionar formaron micro complejos dentro del complejo de Nicoya (Arias y Denyer, 1993).

En el Espacio urbano costero El Coco existen tres unidades litoestratigráficas, correspondientes a los basaltos, las radiolaritas y las intrusivas (gabros), cuyo origen se estableció en el Jurásico-Cretácico en el que se originó el basamento oceánico que lo constituye.

Los basaltos se relacionan probablemente con las manifestaciones extrusivas del punto caliente (Galápagos), el cual también dio origen a las intrusivas, (Arias y Denyer, 1993).

En el área de estudio los cerros se corresponden con rocas basálticas, rocas que se hallan normalmente muy meteorizadas en la superficie. La meteorización presente es de tipo esferoidal; asimismo, aparecen numerosas diaclasas en todas las direcciones, asociadas al tectonismo. Estas rocas son más duras conforme se profundizan las perforaciones de pozos para la extracción de agua, de igual manera se hacen más masivas, con menos poros y menos fracturas; lo que indica que no existen espacios suficientes para el depósito y almacenamiento de agua.

Las radiolaritas son de origen pelágico de grano fino a muy fino, estratificadas en estratos milimétricos a centimétricos (en colores rojo, verde, amarillo, blanco, gris y negro), frecuentemente asociados con mineralizaciones de Hierro (Fe) y Magnesio (Mg) por alteración hidrotermal.

Las rocas intrusivas correspondientes a los gabros (oscuros) son de textura porfirítica y muy rica en minerales (Arias y Denyer, 1993).

### **Depósitos cuaternarios**

Durante el Cuaternario ocurre la sedimentación de depósitos aluviales afectados por el tectonismo, principalmente expresado en el

levantamiento de la costa; estos tienen un espesor máximo de 70 metros y cubren un área de 8,37 Km<sup>2</sup>.

### **Fallas locales**

El Mapa Geológico del área de estudio muestra la presencia de dos fallas. Existe una falla observada que presenta una dirección N - SE, que atraviesa el complejo de Nicoya, en el área que cubre el área de playa arenosa se sugiere una falla cubierta. La segunda falla presenta una dirección N - SW, se considera que gran parte los Depósitos Cuaternarios son atravesados por ella, de manera cubierta o hipotética (Arias y Denyer, 1993).

El mapa 2, muestra la geología del área de estudio, en él se aprecian las unidades geológicas descritas: basaltos, radiolaritas y gabros. Los depósitos cuaternarios y el fallamiento local.

### **Características hidrogeológicas del acuífero El Coco**

El Espacio urbano costero El Coco se asienta en un acuífero libre, el cual se considera en correspondencia con los depósitos cuaternarios y presenta un área de 7, 43 km<sup>2</sup>. El espesor promedio del acuífero es de 13 m. y está constituido por gravas, arenas, bloques y arcillas (Gómez, 2005).

Las pruebas de bombeo realizadas indican que la transmisividad promedio del acuífero es de 921 m<sup>2</sup>/día, con una conductividad hidráulica promedio de 47,18 m/día y con un valor de coeficiente de almacenamiento promedio de 0,2.

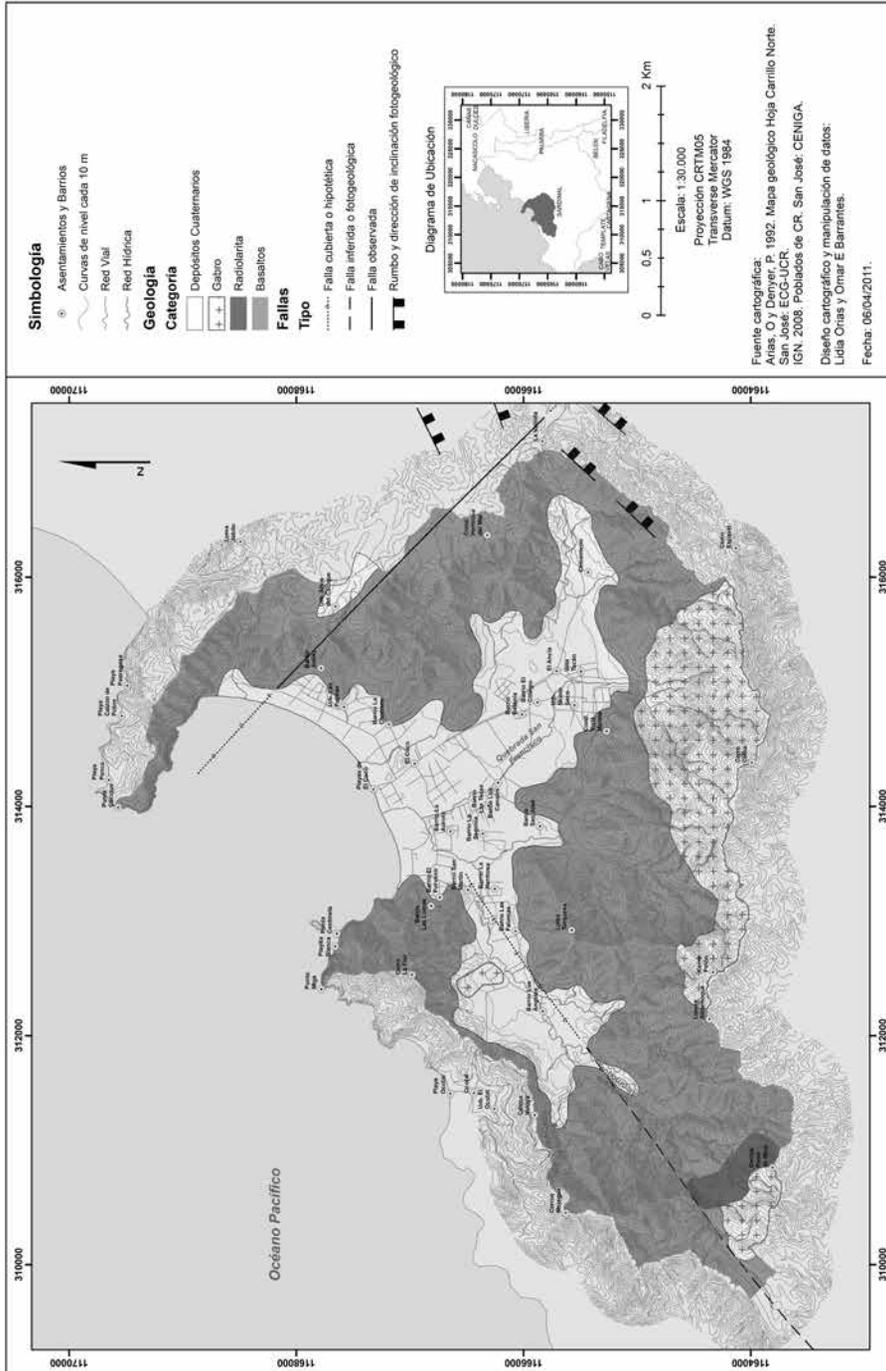
### **Áreas de recarga y descarga del acuífero El Coco**

La recarga del acuífero El Coco es directa, por infiltración en los depósitos coluvio-aluviales cuaternarios, asimismo presenta recarga lateral en los basaltos y las radiolaritas del Complejo de Nicoya.

Según el balance hídrico de suelos, el acuífero El Coco tiene una recarga potencial anual directa en los depósitos cuaternarios de 2 210 743,30 m<sup>3</sup> y una recarga potencial anual máxima de 3 536 665, 38 m<sup>3</sup>, desde el Complejo de Nicoya. La capacidad de almacenamiento es de 111 450 000 m<sup>3</sup>, considerando el tamaño del área del acuífero y su espesor promedio. Las quebradas Alcornoque y San Francisco se comportan como afluentes y producen descargas durante el período lluvioso (Gómez, 2005). Asimismo, cabe señalar que el acuífero El Coco descarga en el Océano Pacífico.

Lidia Orias Arguedas. La expansión del espacio urbano costero El Coco y su relación con la vulnerabilidad a la contaminación del recurso hídrico, Península de Nicoya, Costa Rica

Mapa 2. Geología del área de estudio



La tabla 1 muestra el resumen de los datos calculados de recargas y descargas anuales (Gómez, 2005) para el acuífero El Coco.

**Tabla 1.** Recarga anual y descarga anual para el acuífero aluvial El Coco

Recarga anual ( m³)	Descarga anual (m³)
3 536 .665,38 Complejo de Nicoya	3 615. 259,15 Descarga al mar
2 210 .743, 30 Depósitos cuaternarios	1 595. 635, 2 Quebradas San Francisco y Alcornoque
	1 188. 415 Extracción por pozos
Total: 5 747. 408, 68	Total: 6 399. 309, 35

Fuente: Gómez (2005)

La tabla 1 evidencia que el total anual de descarga es mayor el de recarga, con una diferencia de 651 900, 67 m³. De acuerdo con los datos calculados de recargas y descargas anuales para el acuífero El Coco no existe déficit de agua, pues la mayor descarga que se da al océano Pacífico, lo que indica que el acuífero presenta suficiente agua para satisfacer la demanda de toda la población (Ramos, 2011).

### El clima del espacio urbano costero El Coco

El clima según la clasificación de Köppen, es tropical de sabana. Según la clasificación USAF, se presenta durante el año como: cálido seco por cinco meses, húmedo cinco meses y muy húmedo dos meses (Hernández, 2005).

El Coco presenta una temperatura media mayor de 30°C a 32 °C y una temperatura mínima de 22°C. La precipitación y la evapotranspiración mensuales en la tabla 2. Puede observarse que el área de estudio es bastante seca desde los meses de enero a abril, en coincidencia con la mayor demanda de agua por el incremento de turismo.

**Tabla 2.** Precipitación y evapotranspiración mensuales, 2005

Meses	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
PP	25	25	25	46	205	259	155	233	379	358	136	34
EVT	142	141	176	171	164	148	153	158	148	145	129	131

PP: Precipitación, EVT: Evotranspiración

Fuente: Hernández (2005)

La costa de El Coco está condicionada por fenómenos atmosféricos externos como ENOS, que se presenta en forma cíclica con intervalos de dos a siete años. Esta condición eleva la temperatura a valores de hasta 2°C en el período seco, con la consecuente aparición de sequía, que pueden prolongarse alrededor de un año o más, lo cual afecta seriamente al acuífero El Coco, debido a la disminución de la recarga acuífera. Esta situación se presentó durante el ENOS 2012- 2013.

### **Marco teórico**

La disponibilidad del recurso hídrico, como parte fundamental de la gestión integral, requiere mecanismos capaces de prevenir y solucionar los conflictos cada vez mayores por el uso del agua, considerando además que la legislación existente es deficiente. Dourojenni y Jouravlev (2001) se refieren a *crisis* de gobernabilidad de la gestión del agua, para aludir a la ausencia de un rumbo definido que generara consensos sobre opciones para mejorar dicha gestión. Los autores destacaban que aún cuando se diseñan estrategias materializadas en planes de ordenamiento de recursos hídricos sigue siendo una práctica poco común.

La gestión integral del recurso hídrico encuentra muchas aristas y definirla no es tarea fácil; sin embargo, de una manera más pragmática, “La gestión integrada ha venido desarrollándose en un concepto que incorpora la conservación de la naturaleza a través de proyectos interdisciplinarios, intersectoriales e interinstitucionales. Se trata de un proceso gradual para que los actores se vayan adaptando a un manejo sostenible del agua” (CEDARENA, 2001. p.10).

La gestión integral del recurso hídrico, definido desde el sistema natural, incluye el manejo de la tierra y del agua, en vista de que los usos de la tierra y la cobertura vegetal de los suelos influyen sobre la calidad del agua y su distribución física. De igual forma, se incluye el sistema humano, que considera las formas más eficientes para asignar y conservar el agua tomando en cuenta la equidad y los valores sociales, así como el valor social, económico y ambiental del agua en el proceso de desarrollo sostenible.

Acercas del componente ambiental, la bibliografía sobre la temática de la gestión ambiental es profusa, sin embargo es escasa en términos de estrategias claras. Esta debería concebirse desde los ámbitos de la administración pública, las empresas privadas y otros actores sociales posibles.

Existe confusión acerca de que los actores sociales son aquellas personas directamente relacionadas con una problemática ambiental, sin embargo, los aportes a las posibles soluciones pueden venir desde “el Estado-la institución, la administración municipal-regional, el empresario-el productor, el campesino, usuario o ciudadano común y corriente, las ONG’s, la iglesia, en resumen los diferentes actores y representantes del estado, de la institucionalidad estatal, de la sociedad civil en general y empresarios y ciudadanos del común” (Ibagué - Tolima, 2002. p.14).

### **Las condiciones hidrogeológicas del acuífero de El Coco**

Es necesario considerar las causas de la contaminación, para establecer las medidas de protección. Para ello es fundamental evaluar el peligro de contaminación del agua subterránea. Foster et al. (2003) indicaron que el enfoque más lógico sobre el peligro de contaminación del agua subterránea es considerar la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero, entendido como la sensibilidad de un acuífero a ser afectado en forma adversa por una carga contaminante impuesta. Asimismo, los autores conceptualizaron el peligro de contaminación del recurso hídrico subterráneo como la probabilidad de que el agua subterránea de un acuífero se contamine, en concentraciones que superan los valores guía de la Organización Mundial de la Salud para la calidad del agua potable.

Para que el peligro resulte una amenaza dependerá de la ubicación de la fuente de abastecimiento respecto al área de captación de la fuente de agua subterránea, la movilidad y la dispersión de los contaminantes involucrados en el régimen local del flujo de agua subterránea. Además de considerar los conceptos de vulnerabilidad y de contaminación del agua subterránea con el fin de retomar la necesidad de su protección, los autores citados aclararon que es necesario restringir las prácticas actuales y futuras del uso del territorio, la descarga de afluentes y el vertido de residuos, a través de la definición de estrategias de protección que garanticen un equilibrio entre los diversos intereses en juego.

Existe gran cantidad de definiciones sobre el concepto de vulnerabilidad del agua subterránea desde que Margaret Wilder lo introdujo en 1968. Tal noción es utilizada para representar las características geológicas e hidrogeológicas intrínsecas que determinan la facilidad con la que el agua subterránea puede contaminarse por la actividad humana desde la superficie (Daly y Warren, 1994).

La vulnerabilidad intrínseca es aquella derivada de las características propias del acuífero y su entorno, sin considerar la acción de los contaminantes. Sin embargo, existe otro término conocido como vulnerabilidad específica, en el que además de las características físicas e hidrogeológicas del medio se toma en cuenta la incidencia de sustancias contaminantes. La aplicación de la metodología GOD permite el estudio de la vulnerabilidad intrínseca. Esta metodología fue desarrollada por Foster (1987) y Foster e Hirata (1991), y permite estimar la sensibilidad de un acuífero a ser contaminado.

Es un método simplificado que no considera el tipo de suelo, la infiltración efectiva ni la dispersión/dilución de contaminantes dentro del acuífero, esto hace que no sea posible diferenciar contaminantes. Sin embargo, una vez obtenidos los valores numéricos permite la interpretación de las causas contaminantes.

El método GOD se basa en la asignación de índices entre 0 y 1 a tres parámetros, que son:

- G:** *ground water occurrence*. Tipo de acuífero o modo de confinamiento u ocurrencia del agua subterránea.
- O:** *overall aquifer class*. Litología de la zona no saturada. Se evalúa teniendo en cuenta el grado de consolidación, las características litológicas de forma indirecta y relativa, la porosidad, la permeabilidad y el contenido o la retención específica de humedad de la zona no saturada.
- D:** *depth to groundwater*. Profundidad del agua subterránea o del acuífero.

Estos tres parámetros se multiplican para obtener una valoración de la vulnerabilidad de 0 (despreciable) a 1 (extrema):  $GOD = G \cdot O \cdot D \approx 0-1$

El acuífero El Coco presenta las condiciones para desarrollar la metodología GOD.

### **Metodología**

Para analizar la expansión urbana del Espacio urbano costero El Coco y su relación con la vulnerabilidad a la contaminación del recurso hídrico fue indispensable:

1. La documentación escrita referente a la historia y a los aspectos físicos y antrópicos del área de estudio.
2. Para describir la geología y la geomorfología del área de estudio se realizaron los siguientes pasos:
  - 2.1. Búsqueda de material bibliográfico específico del área de estudio.
  - 2.2. Uso del Mapa Geológico Carrillo Norte, escala 1: 50 000 (Arias y Denyer, 1993), para confeccionar el mapa geológico del espacio urbano costero El Coco, con la aplicación del software Arcmap 9.3.
  - 2.3. Uso del Mapa Geomorfológico de Costa Rica (Madrigal y Rojas, 1980), para describir las formaciones de origen ígneo y aluvial.
3. La hidrogeología del área de estudio fue descrita a partir de los datos de Gómez (2005), referidos a zonas de recarga y descarga acuíferas.
4. La elaboración de los mapas de uso de la tierra 2009 y 1947-2009 siguió los siguientes pasos:
  - 4.1. Fotointerpretación, fotografías aéreas 1947, 1971 y 1998.
  - 4.2. Teledetección con el procesamiento de la imagen Landsat TM (2007) y verificación con puntos de control en el campo, con el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) de las diferentes categorías de uso de la tierra
  - 4.3. La información digital obtenida se exportó al software ArcView 3.3 para crear los mapas de uso de la tierra.
5. Para analizar la sensibilidad del acuífero El Coco, se utilizó el Mapa de Vulnerabilidad Intrínseca a la Contaminación (GOD), modificado del original Gómez (2005).

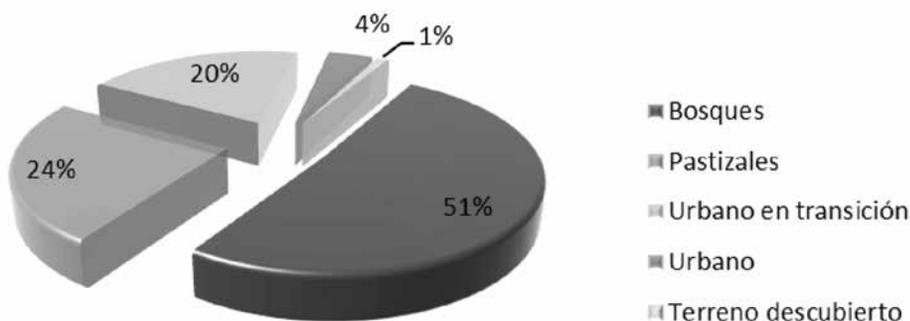
## **Discusión de resultados**

### **La expansión urbana versus el recurso hídrico costero**

El mapa 3, correspondiente a los usos de la tierra para el año 2009,<sup>1</sup> se observa un cambio ingente en el que ha aumentado el crecimiento de la mancha urbana, que en un 4%. El área urbana en transición ha provocado la desaparición de gran parte del bosque, que para 1998 era de un 63,74%, ahora ha desaparecido cerca del 13%; parte de esta disminución

también se halla en el aumento de áreas de pastizales con una representación del 24% (4,77 km<sup>2</sup>) y un incremento respecto al año 1998 de un 13%; de esta manera, sumando al área urbana, la de urbana en transición y de pastizales se obtiene un 49% (9,89 km<sup>2</sup>) del total del área de estudio. Se observan manchas de bosque aisladas, sobre todo en el área sur y la suroeste que corresponden al área de alta vulnerabilidad a la contaminación del acuífero El Coco. La figura 1 correspondiente a los porcentajes de uso de la tierra de 2009.

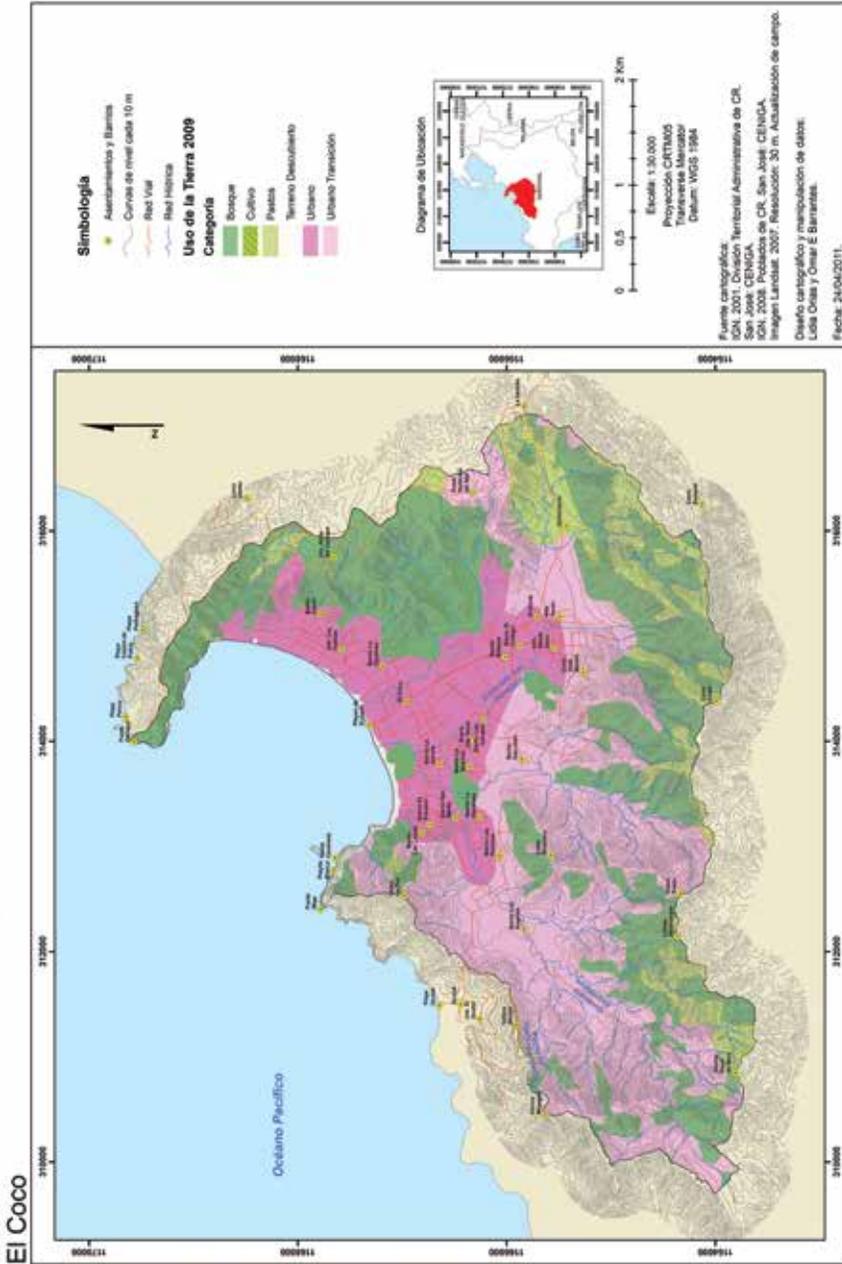
**Figura 1.** Uso de la tierra en el área de estudio, 2009



**Fuente:** Elaboración propia, apartir de los datos obtenidos durante el trabajo de campo y la teledetección.

Lidia Orias Arguedas. The sprawl of urban coastal space and its relationship to the pollution of water resources along The Coco coast, Nicoya Peninsula, Costa Rica

Mapa 3. Uso de la tierra en el área de estudio, 2009



**Fuente:** Derivado de la teledetección a partir de imágenes satelitales del año 2007 y del trabajo de campo de 2009.

<sup>1</sup> El mapa representa las condiciones de uso actual (2013), a causa de la desaceleración del sector construcción, y de la crisis mundial que afectó la macroeconomía nacional; el resultado fue la baja en el número de días de visita del turismo transnacional y flotante.

El crecimiento urbano ha generado la pérdida del paisaje natural y de los ecosistemas como los humedales; esta realidad fue confirmada a partir de la teledetección realizada con imágenes satelitales (descrita en la metodología). Asimismo, la Contraloría General de la República (2008) corroboró en el Informe No. DFOE-SM-22-2008 la desecación de los manglares, ya que se han construido caminos en áreas de protección; igualmente, algunas de las vías de acceso públicas han sido restringidas con la instalación de puestos de seguridad privada.

La creación de hoteles y de condominios con jardines siempre verdes, de plantas exóticas foráneas no aptas para las condiciones climáticas del área de estudio, requiere un consumo permanente del recurso hídrico, que aumenta en el período seco de siete meses.

La presión por la construcción de residencias y de hoteles cercanos a las áreas de protección boscosa también han afectado los hábitats de especies que se han visto reducidas, debido a la desaparición de áreas que servían como corredores biológicos, obsérvese la figura 2.

**Figura 2.** Fotografía de una sección lateral del Complejo de Nicoya, durante el período seco. Espacio urbano costero de El Coco



**Fuente:** Elaboración propia

Cabe aclarar que el paisaje expuesto en la figura 2, corresponde al período seco, cuando los árboles pierden su follaje y verdor. A escasos días de la entrada del período lluvioso reverdecen; sin embargo la situación sigue siendo la misma; la degradación de áreas boscosas está generando erosión aun cerca del área de playa.

Durante el trabajo de campo se constató que especies nativas como los cactus columnares (*Stenocereuns aragoni*) y árboles como el saíno, el ocotal, el cenízaro y el guanacaste están perdiendo su hábitat.

El sitio no representa un hábitat adecuado para el repoblamiento de la fauna local, dada su poca variabilidad específica; no hay árboles que ofrezcan refugio ni alimento a las aves, por ejemplo, ni anfractuosidades en el terreno que permitan a algunos mamíferos deambular con cierta seguridad. Todo ello configura un escenario desolado y monótono que guarda poca relación con la zona de vida local (Chaves, 2010).

Especies animales como los congos, los venados, los sahínos, los cusucos (armadillos), y las aves (pericos) están desapareciendo debido a la disminución del área boscosa, como resultado de la deforestación y los incendios. Es frecuente el ingreso de animales silvestres a hoteles cercanos a los cerros del Copmplejo de Nicoya, en busca de agua y alimento durante el período seco.

### **El suministro de agua potable de las unidades poblacionales y su relación con las áreas de recarga del acuífero**

El espacio urbano costero El Coco presenta un crecimiento que ha cambiado la conformación original en torno al área del litoral; ha seguido un patrón radial en función de la carretera principal que une a Sardinal y al área de costa. Este crecimiento ha seguido una distribución lineal de residencias, servicios y comercio, ocupando la tierra para la especulación e incrementando su valor.

La expansión urbana también ha provocado el constante terraceo en las laderas de los cerros del Complejo de Nicoya, para la construcción de viviendas de lujo. Esta realidad hace ver el problema de la desestructuración del espacio costero; por tanto, la sostenibilidad del recurso hídrico no está garantizada, ya que se compromete la capacidad de carga del acuífero,

que obligará a corto plazo a AyA a invertir en la ampliación de la red de tuberías a áreas cada vez más distantes (observese la figura 3).

**Figura 3.** Fotografía de una sección lateral del Complejo de Nicoya, durante el período seco. Espacio El Coco



**Fuente:** Elaboración propia

El mapa 4 correspondiente al uso de la tierra en el área de estudio, muestra el crecimiento urbano; en el se observa la expansión de la mancha urbana en el período comprendido entre 1947 - 2009. La imagen muestra que todavía en los años 70 no existía un área urbana. No es hasta inicio de la década de los 90, que la actividad turística iniciará el proceso de crecimiento de la mancha urbana, misma que actualmente cubre toda el área perteneciente a los depósitos cuaternarios, donde se produce la recarga del acuífero El Coco

En el espacio urbano costero El Coco no existe una red de alcantarillado sanitario. La mayoría de las construcciones, desde pequeñas viviendas hasta grandes edificaciones, poseen tanques sépticos. El cantón de Carrillo se localiza dentro de una región sísmica caracterizada por presentar eventos generados por el choque de las placas Coco-Caribe. Según

la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE, 2011), existen registros históricos que indican la presencia de sismos de importancia frente a las costas de la Península de Nicoya, por lo que en el espacio urbano costero El Coco habría afectación por daños, como fracturas y licuefacción del suelo y tsunamis, con daños a la infraestructura. La presencia de dos fallas (ver Mapa 2), hace más vulnerable al acuífero a la contaminación, dado que en un sismo de gran magnitud podrían romperse muchos tanques sépticos.

La CNE indicó que dadas las características geológicas, topográficas y climáticas del cantón de Carrillo se deben tomar en cuenta las siguientes recomendaciones para el desarrollo urbano:

Evitar la concesión de permisos de construcción sobre laderas de fuerte pendiente o al pie de las mismas, igual restricción se debe aplicar para sectores donde existen antecedentes de inestabilidad.

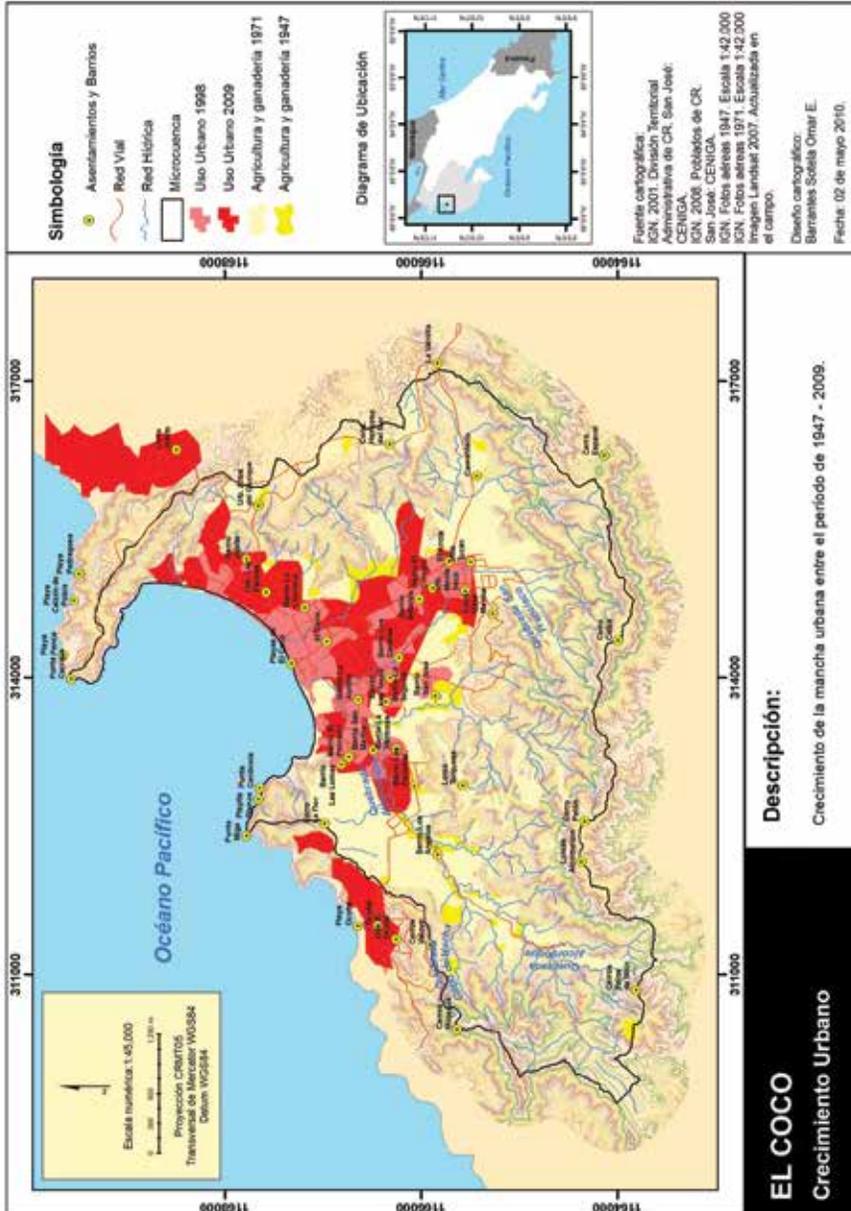
En sectores donde existan fallas geológicas es importante mantener una franja de no construcción a ambos lados de la traza de falla. Si tiene dudas consulte con un profesional del ramo. Darle seguimiento a los permisos de construcción o intervenir los mismos en los casos que se compruebe que la práctica constructiva o la calidad de los materiales no es la más adecuada, de tal manera que garantice su resistencia a los sismos (2011, p.2).

La falta de planificación urbana y las condiciones sociales de la población han creado desigualdad socio espacial, entendida como: “las formas de apropiación y uso del espacio urbano por parte de las distintas clases sociales, lo que conduce a que los habitantes de ciertas áreas se vean forzosamente afectados con relación a otros de sectores con mejores condiciones socioeconómicas, en cuanto a servicios de consumo colectivo, la división social del trabajo, el mercado y la localización espacial de la tierra y la vivienda” (Orias, 2000, p.16).

Esta situación ha dado origen al surgimiento de asentamientos humanos en condiciones de pobreza, así como el continuo crecimiento de barrios populares espontáneos con infraestructura y servicios colectivos deficientes, desde los años 90.

Aun sin el auge del turismo esta situación ya se presentaba a causa de que la tierra estaba legalizada y concentrada en pocos propietarios.

**Mapa 4. Crecimiento urbano en espacio urbano costero El Coco. Período 1947-2009**



### **Pozos potencialmente vulnerables a la contaminación por el uso de la tierra**

Al examinar las proyecciones de población, realizadas por A y A (2006) sin considerar a la población flotante de proyectos habitacionales, se calculó que había 9 445 habitantes en el Espacio urbano costero El Coco para el año 2010, y para el 2015 se estimó un total de 10777 habitantes. Si se consideran los resultados del VI Censo Nacional de Vivienda 2011, el promedio de ocupantes por vivienda en Costa Rica es de 3,5 personas, lo que equivale a que existen unos 2698 tanques sépticos; esto quiere decir que para el 2015 habrán unos 3079. Aun cuando la proyección fuese menor debido a las emigraciones por la escasez de fuentes de trabajo, también habría más de 2000 tanques sépticos diseminados por toda el área de estudio.

Según la proyección mencionada, habría unas 32 457 personas viviendo en proyectos; muchos de ellos son condominios en los que los tanques sépticos se hallan in situ. En tanto muchos proyectos habitacionales y turísticos permanecen inconclusos desde el año 2009, debido a la crisis global que también ha provocado la disminución de la afluencia de población flotante. Igualmente, el censo de población no brinda datos específicos de la población El Coco.

El mapa 5, correspondiente a la vulnerabilidad hidrogeológica del área de estudio, presenta la red de pozos oficialmente inscritos en SENARA hasta el año 2010, correspondiente a 52 pozos. Se especifica que a la fecha SENARA prohíbe cualquier apertura de pozos en el área de estudio. Asimismo, Gómez (2005), realizó un inventario de 106 pozos, 27 de ellos registrados por SENARA.

Ante el extraordinario crecimiento urbano, se hace difícil cuantificar la cantidad de pozos existentes en el área de estudio, debido a que se hallan en grandes propiedades y edificaciones de acceso restringido.

Un factor que explica la ilegalidad de pozos es la deficiente oferta de suministro de agua potable por AyA, ya que las decisiones y los presupuestos son fijados desde la presidencia ejecutiva (en la capital de la república). Su función es cumplir con los trámites de impresión de duplicados, las redistribuciones de consumo, las cortas y reconexiones, los traspasos, los cambios de titular, los arreglos de pago, la emisión de estados de cuenta, el reporte de fugas, las refacturaciones por errores de lectura, las estimaciones, el enlace con áreas de operaciones y con la comunidad y el trámite de nuevos servicios.

Otro factor que explica la ilegalidad de pozos es la escasa intervención de SENARA durante el período de expansión urbana, en el que se otorgaron cantidad de concesiones de construcción por la municipalidad de manera irregular. Paradójicamente, en el año 2008 esta institución presentó el Informe de revisión sobre la propuesta de AyA para la ampliación del acueducto El Coco-Ocotol, del que se desprende:

A fin de salvaguardar la calidad del agua subterránea en el acuífero y de los pozos de abastecimiento público existente en ambos acuíferos, se debe realizar además la valoración de la susceptibilidad a la contaminación del acuífero, considerando las zonas de captura y protección de estos pozos, a fin de determinar si el sistema puede sostener la infraestructura proyectada para evaluar la factibilidad de la construcción y puesta en operación del acueducto.

Los estudios presentados no cuentan con la información suficiente para valorar el efecto de la explotación de los campos de pozos de Sardinal y El Coco, sobre los acuíferos explotados y sobre otras captaciones y aguas superficiales existentes en el área de influencia de los campos. (SENARA, p.5).

A partir de los párrafos precedentes queda esbozada la indefinición de estrategias y prioridades de protección del recurso hídrico en el espacio urbano costero El Coco.

El crecimiento urbano espontáneo y horizontal, a partir de la década de los 90, está comprometiendo la calidad del agua del acuífero, que por su condición de acuífero libre, su litología y su profundidad es muy vulnerable a la contaminación, en tanto el consumo aumenta sin limitaciones materiales ni energéticas. La dilapidación de suelo, bosque y vegetación sin control ha puesto en riesgo la capacidad de carga del acuífero El Coco.

Debido a que no existen áreas agrícolas ni industrias pesqueras que contaminen, el riesgo se encuentra en el uso desplanificado de la tierra, orientado a la actividad turística, que generó la construcción masiva y difusa de hoteles, servicios, comercio y proyectos habitacionales, al igual que la cantidad de pozos ilegales. Este crecimiento podría hacer insostenible el recurso hídrico, porque está basado en la sobreexplotación de pozos, amenazando su continuidad a futuro.

El mapa 5 de vulnerabilidad GOD para los acuíferos de El Coco-Ocotol de Gómez (2005) fue rediseñado en esta investigación, con nuevos

elementos cartográficos como la red de pozos, los asentamientos y barrios, la vialidad, las construcciones y la red hídrica, con el propósito de mostrar la susceptibilidad a la contaminación del acuífero El Coco.

El conjunto de pozos del espacio urbano costero El Coco hace referencia a la red de pozos, que se hallan conectados entre sí, por el acuífero. Esta red de pozos podría permitir que circulen elementos potencialmente contaminantes o contaminados entre estos.

Es importante delimitar las áreas que se encuentran alrededor de los pozos de abastecimiento. El AyA cuenta con tres pozos en la ciudad de El Coco. Son utilizados para el consumo humano de agua y para otros usos en las actividades económicas. Actualmente, los pozos inscritos en SENARA para uso industrial, doméstico y riego no son destinados para estos fines.

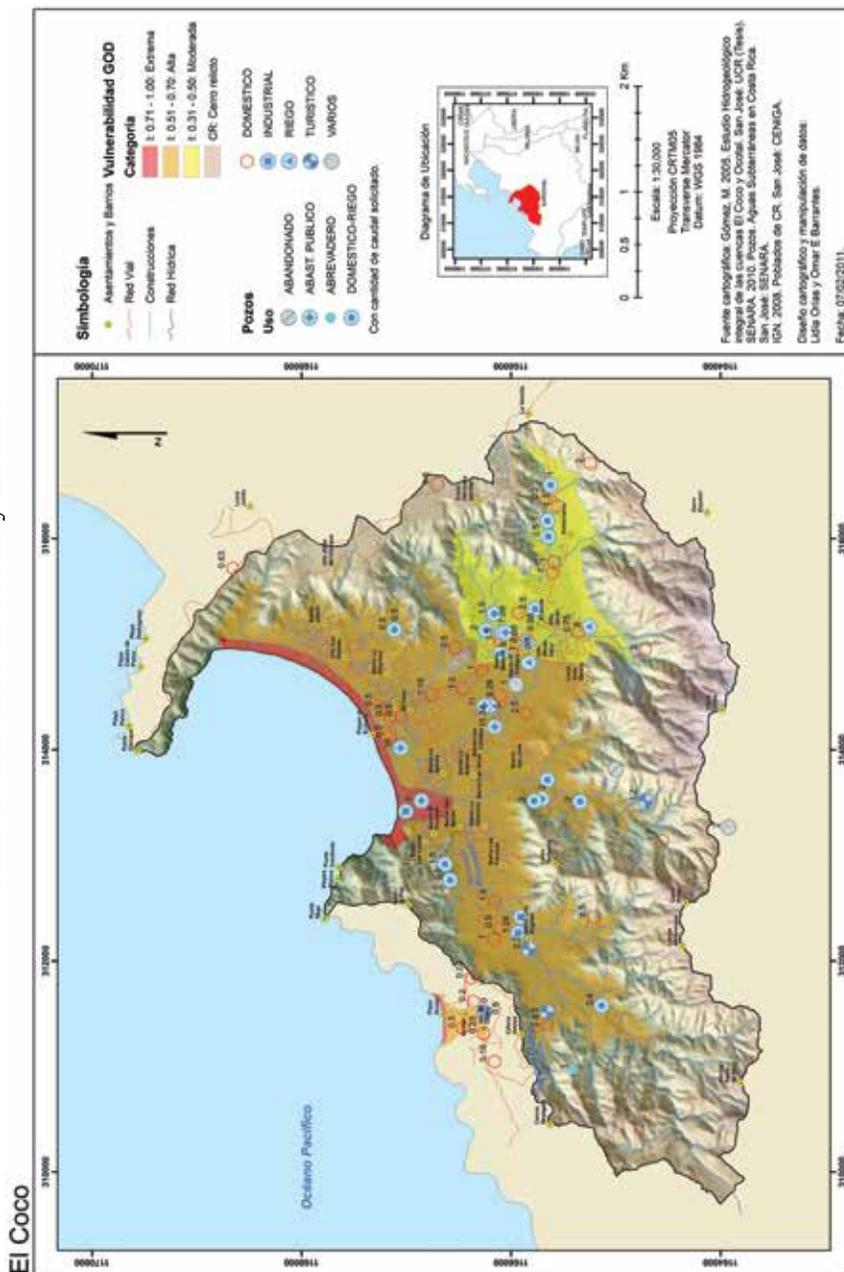
A causa del crecimiento urbano difuso, existe riesgo de contaminación de los pozos. Hirata (2002) propuso una metodología referente al uso de dos estrategias: la determinación de Perímetros de Protección de Pozos (PPP), como un instrumento legal utilizado para restringir el uso de la tierra, y la utilización del mapa de vulnerabilidad GOD (Foster, 1987) para definir la susceptibilidad intrínseca de un acuífero a la contaminación.

El PPP también establece una zona de captura de pozo (ZOC), es decir el área de recarga del acuífero El Coco. Un método para establecer la ZOC es el mapa de vulnerabilidad a la contaminación GOD que evalúa de manera general la vulnerabilidad del acuífero.

La red de pozos muestra un patrón de distribución difusa, sin embargo, tiende a concentrarse en las áreas próximas a la costa y en dirección sur, coincidiendo con el gran número de proyectos habitacionales, turísticos, comerciales y de servicios.

Al correlacionar la distribución espacial de los pozos registrados en SENARA y la diseminación de tanques sépticos con la cercanía en metros de los campos de pozos unos de otros se expresa una alta vulnerabilidad a la contaminación en el acuífero El Coco.

**Mapa 5. Vulnerabilidad GOD para los acuíferos coluvio- aluviales de Ocotal y El Coco**



**Fuente:** Elaboración propia. Modificado de Gómez, 2005.

El artículo 31 de la Ley de Aguas declara como reserva de dominio a favor de la Nación:

Las tierras que circunden los sitios de captación o tomas surtidoras de agua potables, en un perímetro no menor de doscientos metros de radio; b) La zona forestal que protege o debe proteger el conjunto de terrenos en que se produce la infiltración de aguas potables así como el de los que dan asiento a cuencas hidrográficas y márgenes de depósito, fuentes surtidoras o curso permanente de las mismas aguas (1942, p.7).

Esta obligación del Estado exige a sus instituciones a determinar las áreas PPP o ZOC de 200 metros, así como las áreas de recarga acuífera, que deben contar con una protección forestal. Es así que al AyA y al MINAET les compete mantener el carácter demanial de los terrenos ubicados en un perímetro de 200 metros de radio, alrededor de las fuentes de agua que bordean captaciones, tomas o surtidores de agua potable, mientras que los recursos forestales le atañen únicamente al MINAET.

El artículo 32 de la Ley de Aguas establece que “Cuando en un área mayor de la anteriormente señalada exista peligro de contaminación ya sea en las aguas superficiales o en las subterráneas, el Poder Ejecutivo, por medio de AyA (la Sección de Aguas Potables) a que alude el artículo siguiente, dispondrá en el área dicha las medidas que juzgue oportunas para evitar el peligro de contaminación” (1942, p.7).

### **Área ocupada de extrema vulnerabilidad**

El mapa GOD muestra que el área de extrema vulnerabilidad se presenta al norte, en dirección este-oeste, con índices entre 0,71 y 1,0; un área de 0,40 km<sup>2</sup> que cubre el 4,72 % correspondiente a los depósitos cuaternarios y que concierne al área de playas que comprende los primeros 200 metros de protección, según la ley Zona Marítimo Terrestre N° 6043. Es un área en la que el riesgo a la intrusión salina está presente. Igualmente, se hallan muy cercanos los barrios populares de San Martín y El Porvenir y el asentamiento en condiciones de pobreza Las Lomas, los cuales presentan una deficiente disposición de residuos sólidos.

En esta área solo se registran dos pozos legales, sin embargo existen otros pozos vecinos en el centro urbano con peligros potenciales de

contaminación, debido a la cercanía entre uno y otro a menos de los 200 metros establecidos (entre 50 y 100 metros), lo cual infringe la Ley de Aguas al no delimitar los PPP, sobre todo por la cantidad de tanques sépticos y las descargas de aguas grises que van directamente al mar.

Es necesario que las instituciones públicas (AyA, SENARA, MINAET y la Municipalidad de Carrillo) prioricen la vigilancia y el monitoreo ambiental, como la regulación del crecimiento urbano. Debido a que no es posible la reubicación de la actividad turística, residencial y comercial, es necesario el uso de plantas de tratamiento de aguas servidas y grises, a fin de salvaguardar las ZOC.

### **Áreas ocupadas de alta vulnerabilidad**

La mayoría de la población se asienta en el área de alta vulnerabilidad a la contaminación del acuífero con índices entre 0,51- 0,70. Esta área cubre 6,27 km<sup>2</sup>, representando el 74,86% de los depósitos cuaternarios, con una densidad de 4,8 pozos por km<sup>2</sup>.

Se ha reiterado que gran parte de las edificaciones presentan tanques sépticos, debido a que no existe alcantarillado sanitario. Además, la disposición de desechos sólidos, aguas servidas y grises es deficiente en los barrios de la periferia, y el servicio de recolección de basura por la municipalidad es insuficiente en barrios pobres y cercanos a pendientes.

El mapa GOD muestra que aún es posible proteger esta área de la contaminación de pozos, por ser la de mayor extensión, presenta áreas de escaso poblamiento en el extremo suroeste y en las áreas circundantes al piedemonte de los cerros del Complejo de Nicoya (ver mapa 2), donde se presentan la mayor cantidad de pozos privados e ilegales.

### **Áreas de futura ocupación territorial (fuentes futuras)**

Al observar el mapa GOD, el área de moderada vulnerabilidad con índices de 0,31- 0,50, cuya área es de 1,71 km<sup>2</sup>, correspondiente a un 20,42% del total del área de los depósitos cuaternarios coincide con la de menor crecimiento urbano, pero la mayor densidad de pozos con 11,7 por km<sup>2</sup> se extiende hacia el sureste en el área litoral, es decir, más allá de los primeros 200 metros de la línea de costa, a dos kilómetros del centro de El Coco, donde se asientan los grupos sociales de medios y altos ingresos, además de hoteles y condominios lujosos.

La densidad habitacional es baja y dispersa, existen muchas áreas en desuso convertidas en charrales por la tala de árboles o lotes a la espera de su venta. Paradójicamente, esta condición hace que la densidad de pozos en el área sea alta.

Los hoteles utilizan pozos y cuentan con tanques de almacenamiento, por lo que su abasto de agua está asegurado y sin regulaciones de uso. Aun siendo el área de menor extensión presenta la mayor densidad de pozos registrados con 11,70 pozos/ km<sup>2</sup>, siendo esta situación comprometedor para la disponibilidad del recurso hídrico de otros sectores de la población, dado que la oferta de agua potable de AyA no es suficiente para cubrir las nuevas áreas de construcción, cada vez más próximas a las laderas de los cerros y áreas de recarga.

El área de moderada vulnerabilidad no cuenta con suficiente infraestructura, servicios y equipamientos públicos; pero dado que en toda la periferia del área central El Coco, la realidad es similar, y con el fin de establecer una zonificación de uso de la tierra, podría establecerse como futura área de crecimiento urbano con características de ciudad compacta, a fin de tener los usos mixtos posibles que salvaguarden los PPP y las ZOC.

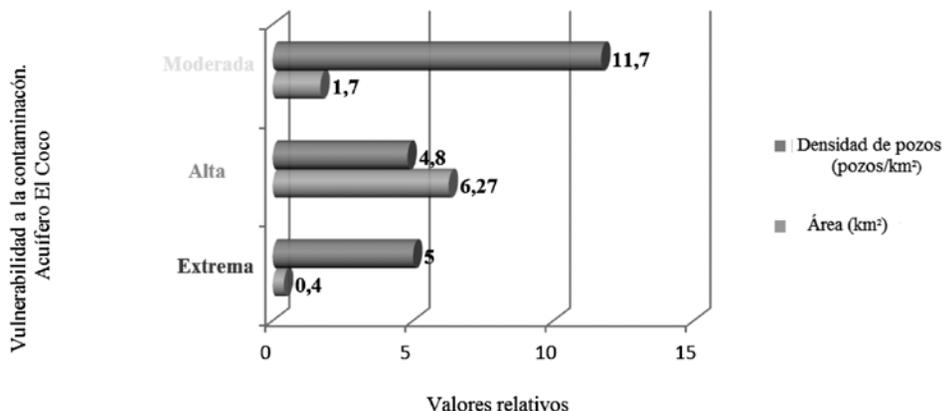
Para completar el análisis de las áreas ocupadas de extrema, alta y moderada vulnerabilidad, a continuación se presentan la tabla 2 y el gráfico 3, los cauales resumen los datos concernientes al mapa de vulnerabilidad a la contaminación, visualizados en el mapa 5.

**Tabla 2.** Datos del mapa de vulnerabilidad a la contaminación del Espacio urbano costero El Coco

Mapa GOD Código del índice	Vulnerabilidad a la contaminación	Índices de vulnerabilidad	Área (Km <sup>2</sup> )	Nº Pozos	Densidad de Pozos (pozos/km <sup>2</sup> )
3	Moderada	0,31 - 0,50	1,7	20	11,7
2	Alta	0,51 - 0,7	6,27	30	4,8
1	Extrema	0,71 - 1,00	0,4	2	5
<b>Totales</b>			<b>8,37</b>	<b>53</b>	

Fuente: Elaboración propia

**Grafico 3.** Valores relativos de la densidad de pozos (pozos /km<sup>2</sup>) según área (km<sup>2</sup>) de extrema, alta y moderada vulnerabilidad a la contaminación en el Espacio urbano costero El Coco



Fuente: Elaboración propia

### Conclusiones

A partir del análisis realizado en el proceso investigativo se concluyó que la disponibilidad del recurso hidrogeológico no es clara, ya que se han realizado escasos informes institucionales (AyA, 2006 y SENARA 2008). La mayoría de las fuentes revisadas especulan sobre la sobreexplotación del recurso hidrogeológico, sin suficiente información científica; de igual forma, otros datos indican que el acuífero El Coco no está sobreexplotado. Gómez (2005) concluyó que el total de descarga anual es mayor que la recarga, con una diferencia de 651, 900,67m<sup>3</sup>, e indicó que hasta ese año el acuífero El Coco no estaba sobreexplotado, pero que existían factores que lo hacían vulnerable a la contaminación, como el incremento en la extracción de agua de pozos, el sobreuso de la tierra y la falta de planificación urbana, que podían generar una futura sobreexplotación. Otras especulaciones advierten que la sobreexplotación ha disminuido la descarga al mar, lo cual posibilitaría la intrusión salina. Independientemente de la incertidumbre de que el acuífero El Coco no se encuentre sobre explotado, este debe protegerse.

Se constató que en la problemática relacionada con el recurso hídrico en el Espacio urbano costero El Coco, se evidencia la continua

descoordinación de las instancias estatales como: el MINAET, el SENA-RA, la Secretaría Técnica Ambiental y la Municipalidad de Carrillo.

Otras instituciones de vital importancia en la conservación del ambiente y de la salud han tenido una participación deficiente, tanto por acción como por omisión; esto se evidencia en el crecimiento urbano en áreas de alta fragilidad ambiental y acuífera, ejemplo de estas instituciones es el Ministerio de Salud Pública que, por sus competencias relacionadas con la protección de la salud, está obligado por la Ley de Salud a intervenir y dar seguimiento a las condiciones esbozadas.

La municipalidad de Carrillo no contempló el ordenamiento territorial como una política local de largo plazo, cuya consecuencia inmediata fue el crecimiento urbano difuso. Se evidencian los efectos de las políticas de globalización sobre el área costera como un impacto en apariencia desarrollador, pero que desatiende los ecosistemas autóctonos que excluye las posibilidades de participación de la riqueza, del desarrollo social de la población local y, por amplificación, del recurso hídrico.

Ante el extraordinario crecimiento de la actividad turística en la década de los 90 y la escasa capacidad de oferta del servicio de agua potable por AyA en el Espacio urbano costero El Coco se recurrió a la perforación de nuevos pozos, tanto legales como ilegales, por la urgencia de su disponibilidad, cuya lógica fue la explotación sin control. En este sentido, se hace necesario establecer una base mínima común y compartida de conocimiento para las instituciones y generar el fortalecimiento técnico de las instituciones responsables de su manejo y gestión.

El mapa GOD, la definición de áreas de Protección Perimetral de Pozo (PPP) y la determinación de las zonas de captura o de carga de pozos (ZOC) deben ser una prioridad para el MINAET, el AyA y la Municipalidad de Carrillo.

Los resultados de correlacionar el mapa GOD del Espacio urbano costero El Coco con los pozos legalmente registrados pone en relieve la alta densidad de los pozos sin que se respete la determinación según la Ley de aguas de PPP o ZOC, en tanto existen pozos perforados a distancias menores de 200 metros entre sí, incluso a menos de 50 metros en áreas urbanizadas con tanques sépticos, que comprometen la calidad del agua potable e incluso de aquella que se infiltra.

Es necesario un plan de gestión del recurso hídrico de manera integral, con una visión a largo plazo sostenible, que plantee una dirección de desarrollo económico- ambiental en equilibrio con todos los sectores empresariales y las instituciones públicas vinculantes con el manejo, la administración y la protección del recurso hídrico, a fin de hacer cumplir el amplio marco legal existente.

### Referencias

- Arias, O. y Denyer, P. (1992). Mapa Geológico de la hoja Carrillo Norte, Guanacaste, Costa Rica (1: 50 000). Instituto Geográfico Nacional. San José, Costa Rica
- Asamblea Legislativa. (1973). *Ley General de Salud N° 5395*. San José, Costa Rica.
- Asamblea Legislativa. (1977). *Ley sobre de zona marítima terrestre N° 604*. San José, Costa Rica.
- Asamblea Legislativa. (2002). *Proyecto de Ley del Recurso Hídrico- texto sustitutivo, Expediente N° 14.585*. San José, Costa Rica.
- CEDARENA. (2001). *La Gestión Integrada del Recurso Hídrico. Manual de Regulaciones Jurídicas para la Gestión del Recurso Hidrico en Costa Rica*. San José, Costa Rica.
- Chaves, L. (comunicación escrita, 2010).
- Contraloría General de la República. (2008). *El informe No. DFOE-SM-22-2008*. San José, Costa Rica.
- Comisión Nacional de Emergencia. (2011). *Amenazas Naturales del cantón de Carrillo*. Recuperado de: <http://www.cne.go.cr/Atlas%20de%20Amenazas/CARRILLO.htm>
- Daly, D. y Warren, W.P. (1994). Mapping groundwater vulnerability to pollution: Geological Survey of Ireland guidelines. The Geological Survey of Ireland Groundwater Newsletter, 25, 10-15
- Dourojeanni, A. y Jouravlev, A. (2001). Crisis de Gobernabilidad en la gestión del agua. Recursos naturales e Infraestructura, 35, 71
- El Congreso Constitucional de la República de Costa Rica. (1999). *Ley de Aguas 276, 26 de agosto de 1942 y sus reformas, unidad de actualización normativa, ALCR*. San José, Costa Rica.
- Foster, S. (1987). Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. En W. Duijvenbooden & H.G.,

- Waegeningh, (eds.). Vulnerability of soil and groundwater to pollutants. The Netherlands (pp.69-86).
- Foster e Hirata (1991). Determinación del Riesgo de Contaminación de aguas subterráneas: Una metodología basada en datos existentes. Lima: OPS. p.81
- Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D'lia, M. y Paris, M. (2003). *Protección de la Calidad del Agua Subterránea. Guía para empresas de autoridades municipales y agencias ambientales*. Washington, D.C: Banco Mundial.
- Gómez, M. (2005). *Estudio Hidrogeológico Integral de La Cuenca Hidrográfica de los poblados El Coco y Ocotal, Carrillo, Guanacaste*. Tesis para optar el grado de Maestría Académica en Hidrogeología y Manejo de Recursos Hídricos. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica p.167.
- Hernández, G. (2005). *Mapa climatológico de Costa Rica*. Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional. Recuperado de: <http://www.una.ac.cr/geocrad/mapas/index.html>
- Hirata, R. (2002). Contaminación del agua subterránea: mejor prevenir que remediar. En: J. Reynolds (eds.), *Manejo Integrado de Aguas Subterráneas. Un Reto para el Futuro*. San José: EUNED (pp.3-18).
- Ibagué-Tolima. (2002). *Gestión Sostenible del Agua en la Cuenca Hidrográfica del Río Combeima*. Universidad de Tolima / Alcaldía de Ibagué, Colombia. p 74.
- Instituto de Acueductos y Alcantarillados (AyA). (2008). *Informe del estudio especial realizado en el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, en relación con el desarrollo de los proyectos de los acueductos Sardinal y El Coco-Ocotal*. San José, Costa Rica.
- Instituto Geográfico Nacional. (1965). *Hoja topográfica Carrillo Norte, Guanacaste, Costa Rica (1: 50 000)*. San José, Costa Rica
- Instituto Geográfico Nacional. (1947). *Fotografías aéreas, Carrillo Norte, Guanacaste, Costa Rica (1: 40 000)*. San José, Costa Rica.
- Instituto Geográfico Nacional. (1971). *Fotografías aéreas, Carrillo Norte, Guanacaste, Costa Rica (1: 40 000)*. San José, Costa Rica
- Instituto Geográfico Nacional. (1998). *Fotografías aéreas, Carrillo Norte, Guanacaste, Costa Rica (1: 40 000)*. San José, Costa Rica.

- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2012). *X Censo Nacional de Población y VI de Vivienda 2011. Resultados Generales*. San José, Costa Rica. p.140.
- Madrigal, R. y Rojas. E. (1980): Mapa Geomorfológico de Costa Rica. (1:200,000). San José, Costa Rica. IGN – MAG - FAO
- Orias, L. (2000). *La Movilidad Urbana de los Miembros de las Unidades Domésticas en Ocho Barrios Populares de San José*. Tesis de Licenciatura en Ciencias Geográficas. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. p.86.
- Ortega, A. (comunicación personal, 2010).
- Ramos, V. (comunicación personal, 2011).
- Salazar, C. (2002). Gestión de Aguas subterráneas en Chile. En J. Reynols (ed.), *Manejo Integrado de Aguas Subterráneas. Un reto para el futuro*. San José: EUNED. (pp. 247-260).
- SENARA. (2008). *Revisión de documentos estudio hidrogeológico de Acuífero Sardinal e informe proyecto final Playas del Coco-Ocotol*. San José, Costa Rica.