

TOMÁS GUERRERO JIMÉNEZ
Asesor de Proyectos Ambientales en la Corporación para
el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés,
Providencia y Santa Catalina (CORALINA)
Candidato a magíster en Planificación y Gestión del Turismo
por la Universidad Externado de Colombia
Colombia
[tguerreroj@gmail.com]



CRISIS DEL AGUA, TURISMO Y VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA ISLA DE SAN ANDRÉS¹

WATER CRISIS, TOURISM AND CLIMATIC VARIABILITY ON SAN ANDRES ISLAND

1 Para citar el artículo: Guerrero, T. (2020). Crisis del agua, turismo y variabilidad climática en la isla de San Andrés. *Turismo y Sociedad*, xxvi, pp. 127-154. DOI: <https://doi.org/10.18601/01207555.n26.06>

Fecha de recepción: 16 de noviembre de 2018
Fecha de modificación: 27 de abril de 2019
Fecha de aceptación: 4 de junio de 2019

Resumen

Por medio de los Decretos 0170 del 15 de abril de 2016 y 0340 del 16 de agosto de 2017, la Gobernación departamental declaró el inicio y el final de la calamidad pública por desabastecimiento hídrico en la isla de San Andrés (Colombia), que tuvo una duración de 15 meses. La reducida oferta hídrica de 2016 llevó a manifestaciones sociales en contra de la administración departamental, generó conflictos entre el sector turístico y la población residente por el acceso oportuno al agua y dejó en el imaginario colectivo institucional como culpable de la situación presentada al fenómeno climatológico ENOS (El Niño oscilación del sur) de ese año, que trajo consigo una disminución importante en las precipitaciones y, con ello, en la oferta de agua potable. En este artículo se exploran factores adicionales que contribuyeron a la disminución de la oferta de agua en la isla, como el incipiente control de fugas en redes de distribución del acueducto, la falta de planificación demográfica para un turismo de sol y playa creciente, y una prospectiva territorial discordante con el cambio climático esperado en atención a la disminución de lluvias (y, por ende, la oferta de agua subterránea), principal fuente de abastecimiento hídrico en San Andrés. Adicionalmente, el artículo presenta un análisis –para 10 años previos a la crisis hídrica– de oferta de agua bajo escenarios de variabilidad climática, después de pérdidas técnicas y operacionales en los sistemas de acueducto, con respecto a la demanda de agua de turistas y residentes de esos mismos años y proyección a 2040. Se encuentra que, de seguir los patrones actuales de explotación de acuíferos y manejo de la oferta disponible, se tendrían los mismos problemas hídricos en el primer semestre de cada año, independientemente de un evento climatológico.

Palabras clave: Turismo, islas, San Andrés, agua subterránea, cambio climático.

Abstract

Through Decrees 0170 of April 15, 2016 and 0340 of August 16, 2017, the departmental government declares the beginning and the end of the public calamity due to the lack of water on the island of San Andrés (Colombia) during 15 months. The reduction of the water supply of 2016 entails social demonstrations against the departmental administration and generates conflicts in the tourism sector and the resident population in timely access to water, in the collective institutional imaginary as the culprit of the situation of the climatic phenomenon Southern Oscillation El Niño in that year (that brought with it a significant decrease in rainfall and thus in the supply of drinking water). This article explores additional factors that contributed to the decrease of water supply on the island, such as the incipient control of the aqueduct networks distribution leakage, the lack of demographic planning for an increasing sun and beach tourism and a possible discordance with the expected climate change in response to the decrease in rainfall (and, therefore, the supply of groundwater), the main source of water supply in San Andrés. In addition, this article presents an analysis, for a term of 10 years before a water crisis, of water supply in scenarios of climatic variability, after technical and operational losses in the aqueduct systems, against the water demand of tourists and residents of those same years and a projection to 2040; finding that if the current patterns of aquifer exploitation and management of the available supply continue, the same water problems will be experienced in the first half of each year, regardless of a climatic event ENSO El Niño.

Keywords: Tourism, islands, San Andrés, groundwater, climate change.

Introducción

La escasez de agua es uno de los principales desafíos ambientales que enfrenta la reserva de la biosfera Seaflower, de la que forma parte la isla de San Andrés (Colombia). Esta isla se caracteriza por una alta dependencia de las aguas subterráneas para abastecimiento hídrico y por un aumento poblacional acelerado, que demanda más agua que la disponible. Esta demanda varía según proporción, tipo y distribución de la población en el territorio, por tanto, este es un factor determinante para la gestión del recurso hídrico en San Andrés. Sus habitantes actuales pertenecen a tres grupos: los residentes inmigrantes del continente de Colombia, otros descendientes de por lo menos 12 diferentes países, principalmente del Medio Oriente, y los isleños nativos, conocidos desde 1991 como raizales (Howard y Nicholson, 2012).

En esta isla, nativos y residentes dependían de las precipitaciones y la recarga de acuíferos para cubrir sus necesidades hídricas por medio de la captación y el almacenamiento directo de las lluvias en cisternas domésticas, así como a partir de la extracción manual (aljibes) de agua subterránea. Sin embargo, el incremento de la población hizo insuficiente el abastecimiento tradicional, y esta situación promovió la construcción masiva de pozos, especialmente de tipo barreno, para la explotación intensiva de acuíferos; en esta actividad, el uso de bombas hidráulicas posibilitó mayores extracciones hídricas para atender otras demandas, como la del sector hotelero². Todo ello representa impactos ambientales, sociales y un aumento significativo en la extracción de agua subterránea que podrían llevar a la sobreexplotación de

2 Por ejemplo, para la última década, la Cámara de Comercio de San Andrés reportó un aumento considerable en la ocupación hotelera, que pasó del 65 % en 2007 al 89 % en 2016 (Cámara de Comercio de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, 2017).

acuíferos y, con ello, a su contaminación por salinización³.

El uso de aljibes y barrenos es más común en la población residente y turística, que se concentra principalmente en el norte de la isla, mientras que el aprovechamiento directo del agua lluvia lo es en la población nativa, ubicada en especial en zonas rurales del centro y del suroriente de la isla. Estas son formas de abastecimiento dependientes de las precipitaciones, por tanto, hay una oferta de agua incierta en períodos de sequía, precisamente en aquellos meses en los que hay más concentración de personas y menos lluvias. Además de esto, la llegada de turistas y la oferta de alojamientos turísticos en San Andrés siguen en aumento, lo que agudiza la competencia entre nativos y turistas por el acceso oportuno al agua e incrementa el riesgo de agotamiento y deterioro de acuíferos, razón por la cual la sostenibilidad futura del modelo turístico actual es insegura.

Si bien residentes y nativos encuentran en el modelo turístico al principal culpable de la carencia de agua, en este artículo se analizan los cambios históricos en la precipitación y recarga de acuíferos con motivo de la variabilidad climática, el cambio climático, la dinámica poblacional de residentes y turistas, así como el grado de eficacia de la administración pública del agua como factores que pueden explicar de manera más acertada el déficit hídrico en la isla de San Andrés. Así pues, el movimiento civil del primer semestre de 2016 que llevó a declarar la isla en calamidad pública por escasez hídrica, especialmente en sectores de mayor concentración de población nativa, reveló que las medidas gubernamentales para suplir la demanda de agua no han sido

eficientes y acordes con la disponibilidad hídrica de la isla.

En principio, el artículo resalta en su marco teórico la importancia de los acuíferos costeros en islas turísticas y su vulnerabilidad con respecto a la disminución de lluvias por variabilidad y cambio climáticos. Se analiza para San Andrés su crecimiento poblacional en las tres últimas décadas y su relación con el advenimiento del turismo de sol y playa en los años noventa del pasado siglo; luego se establecen las relaciones entre (a) disponibilidad natural del agua y (b) oferta-demanda hídrica de residentes y turistas, todo esto en lo referente a las precipitaciones históricas, los escenarios futuros de variabilidad y cambio climático, el crecimiento poblacional y los factores operacionales de los sistemas de distribución de agua potable.

Para llegar a las conclusiones, se usaron datos históricos de precipitación y del fenómeno de El Niño oscilación del sur (ENOS) reportados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), además de datos aportados por el Departamento Nacional de Estadística (DANE) sobre población residente y llegada de turistas a la isla de San Andrés. Adicionalmente, con base en los reportes de variabilidad climática del IDEAM (2014) que se tienen para la isla desde 1965 y predicciones de cambio climático a 2040, el artículo entrega tendencias futuras de oferta y demanda de agua en períodos interanuales y mensuales para establecer eventuales crisis y conflictos asociados con el agua entre el sector turístico y el residencial. Las proyecciones de crecimiento de población residente y turista se establecieron a partir de un modelo de regresión lineal y usando datos demográficos de 31 años a partir de 1985.

3 Custodio (1996) menciona que, en acuíferos costeros, si el caudal extraído iguala a la recarga o la supera, se perderá el equilibrio natural y todo el acuífero quedará salinizado en más o menos tiempo.

1. Acuíferos costeros

Debajo del suelo existen rocas porosas o fracturadas que conforman unidades geológicas con la capacidad de almacenar agua. Esta agua se denomina subterránea, y los terrenos que la contienen se conocen como acuíferos (IDEAM, 2013). Estos acuíferos pueden ser extensos o reducidos, lo que condiciona su volumen de almacenamiento de agua. Por ejemplo, el IDEAM reveló que en Colombia existen alrededor de 5.848 km³ de reservas de agua subterránea en un área potencial de acuíferos equivalente al 74,5 % del territorio nacional, lo que la convierte en una fuente potencial de abastecimiento, dado que de 318 cabeceras municipales con probabilidad de escasez hídrica solo 35 se abastecen de pozos profundos (IDEAM, 2014), es decir, solo el 11 % de estas zonas aprovechan las aguas subterráneas.

Para que en el subsuelo se almacene agua, es necesario que se dé una recarga efectiva, entendida esta como la cantidad de agua (por lo general de lluvia) que entra en un acuífero (Andreo, Vías, López-Geta, Carrasco, Durán y Jiménez, 2004). Esta agua luego es captada principalmente por medio de procesos mecánicos de extracción para su uso con diferentes fines, en especial, en regiones áridas y en islas—debido a la escasez de fuentes superficiales (Otálvaro, Vélez y Ariza, 2010)—, donde “el agua subterránea constituye un buen ejemplo de recurso natural renovable siempre que las pautas de extracción se aproximen a las de recarga y el uso no deteriore la calidad del acuífero” (Aguilera, Pérez y Sánchez, 1998, p. 223). Por tanto, según Schosinsky (2006, p. 30), “en una cuenca no es conveniente extraer mediante pozos un caudal mayor que la recarga potencial”.

Así pues, la cantidad de agua que se puede extraer de un acuífero podría considerarse infinita si la demanda no supera la recarga y si las condiciones climáticas no cambian

(Aguilera et al., 1998). Sobre este asunto, Custodio (1981) menciona que en un acuífero costero existe un equilibrio natural entre el agua subterránea dulce que descarga al mar y, de esta, la que pugna por penetrar tierra adentro (Custodio, 1981); de no cumplirse este equilibrio, se corre el riesgo de intrusión del agua de mar hacia el acuífero, y como consecuencia de desplazaría el agua dulce, se provocaría su salinización y con ello se limitaría su aprovechamiento para determinados usos (López-Geta y Gómez, 2007). Algunos autores, como Cheeturvedi (1988) y Sehgal (1973) (citados en Universidad Nacional [UNAL], 2010), han presentado expresiones empíricas para estimar la recarga potencial de acuíferos; también está el uso de modelos numéricos, como el de Bradbury, Drips, Hankey, Anderson y Potter (2000) (citados en Universidad Nacional [UNAL], 2010), a partir de la precipitación, la escorrentía y otras variables climatológicas, como la temperatura y la evaporación, que condicionan la capacidad de almacenamiento de agua en acuíferos. Por ejemplo, el Instituto Nacional de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química (INGEOMINAS) y la Universidad Nacional de Colombia encontraron que, en San Andrés, dado el comportamiento irregular de las precipitaciones en esta isla, la recarga de agua al acuífero entre enero y mayo es despreciable (INGEOMINAS, 1997; UNAL, 2010) y, por tanto, también lo es la capacidad de oferta de agua subterránea; por esta razón, la atención de la demanda hídrica en ese período del año se ve reducida.

Asociado con lo anterior, Custodio y Llamas (1996) mencionan que la expansión urbana hacia zonas rurales también tiene impactos muy fuertes en la dinámica natural de recarga en acuíferos, puesto que, “en las áreas urbanizadas, se reduce considerablemente la posibilidad de infiltración” (p. 342); por tanto, a mayor zona urbanizada menores serán la recarga y la oferta de agua subterránea (INGEOMINAS, 1997). En Barbados, por

ejemplo, un estudio reciente reveló que lo que se alcanza a infiltrar hacia los acuíferos no supera el 30 % de las precipitaciones anuales, y solo para tres meses del año. Otras islas –como Cuba, Bahamas, Trinidad y Tobago– han presentado recientemente escenarios de salinización de acuíferos atribuidos, adicionalmente, al aumento del nivel del mar y al bombeo excesivo (Nurse, Hay, Suárez, Wong, Briguglio y Ragoonadem, 2001).

Sobre esto último, cabe referirse a las situaciones de escasez de agua en las islas turísticas de Mallorca y Canarias, en España, documentadas por López-García y Mateos (2003), Rico Amorós (2004) y López-Geta y Gómez (2007), que identificaron tasas de explotación superiores a la recarga de acuíferos que conllevaron salinización e intrusión marina, donde la “gran mayoría de los acuíferos del litoral mediterráneo, incluido el archipiélago Balear, y una parte importante de las costas de las islas Canarias presentan altos contenidos de cloruros” (López-Geta y Gómez, 2007, p. 269). López-García y Mateos (2003) puntualizan además que, en la isla de Mallorca, donde se concentra el 80 % de la población de Baleares y con fuertes aumentos estacionales en verano debido al carácter turístico, se “ha generado un problema histórico de déficit de recursos hídricos subterráneos, principal fuente de abastecimiento de agua en la isla” (p. 383).

2. Incidencia del cambio climático en la oferta hídrica de pequeñas islas turísticas

En el año 2015, la Organización Mundial del Turismo (OMT) indicó que la llegada de turistas internacionales a escala mundial pasó de 278 millones en 1980 a 1.133 millones en 2014, después de haber superado los mil millones de turistas en 2012 y con previsiones de alcanzar los 1.800 millones en 2030. También mencionó que, para ese mismo año

en el Caribe, la llegada de turistas extranjeros aumentó un 6 %, con crecimientos en destinos pequeños, como las islas Turcas y Caicos (+50 %), Montserrat (+22 %), Granada (+15 %), Haití (+11 %) y Caimán (+11 %) (OMT, 2015). Las anteriores cifras revelan cuán importante es la industria del turismo en islas, algunas de estas denominadas desde 1992 por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) pequeños estados insulares en desarrollo (SIDS, por su sigla en inglés) (Girvan, 1997; Kelman, 2018; Kelman y West, 2009).

Los SIDS están conformados por 52 pequeños países y territorios –especialmente islas del trópico y del subtropico– que comparten similitudes, como su insularidad y vulnerabilidad al cambio climático, a pesar de sus diferencias geopolíticas, como su tamaño, población y nivel económico (Shultz, Cohen, Hermosilla, Espinel y MacLean, 2016). Si bien estos territorios presentan la particularidad de situarse en zonas costeras del mundo y, por tanto, tienen riesgos semejantes a causa del cambio climático, varios autores concuerdan en señalar que las islas pequeñas son las más propensas y vulnerables debido a sus limitados recursos naturales y, por ende, a una menor resiliencia (Kelman, 2018; Shultz et al., 2016; Nurse et al., 2001).

En la región Caribe se identifican 13 islas en el grupo de los SIDS, clasificadas según Girvan (1997) en islas grandes y pequeñas. Estas últimas se caracterizan además por contar con una alta densidad de población (Lal, Hrasawa y Takahashi, 2002) y, por consiguiente, con una mayor presión sobre la base natural que soporta sus economías. Para Shultz et al. (2016), estas características permiten ver a este conjunto de islas como una importante red de alerta temprana con respecto a las perturbaciones ambientales por la variabilidad o el cambio climático mundial (Shultz et al., 2016).

Tabla 1. Densidad poblacional en pequeñas islas del Caribe

Isla	Superficie	Población (2015)	Densidad
	(km ²)	(miles)	(hab./km ²)
Antigua y Barbuda	400	94	235
Bahamas	14.000	374	27
Barbados	300	285	950
Dominica	700	71	101
Granada	300	110	367
Saint Kitts and Nevis	300	51	170
Santa Lucía	600	179	298
San Vicente y las Granadinas	400	109	273
San Andrés (Colombia)	27	71,3	2.640,92

Fuente: Elaboración propia a partir de Romero (2013) para superficie; CEPAL (2018, <https://cepalstat-prod.cepal.org/cepalstat/tabulador/ConsultaIntegrada.asp?idIndicador=1&idioma=e>) para población; Howard y Nicholson (2012) para superficie de San Andrés; DANE (2005a) para población de San Andrés.

El concepto cambio climático ha sido definido por la ONU como “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (ONU, 1992, p. 3), especialmente en la precipitación y la temperatura (IDEAM, PNUD, MADS, DNP y Cancillería, 2015). Para Kelman y West (2009), por estar situadas en climas más cálidos, las pequeñas islas del Caribe son más propensas a experimentar impactos relacionados con el calor. De hecho, en estas islas se ha registrado un aumento en la temperatura de más de 0,5 °C desde 1900 (Nurse et al., 2001) y una significativa reducción en la precipitación total anual, con proyecciones a 2100 de hasta -49,3 % respecto a las observadas entre 1961 y 1990 (Kelman y West,

2009); esto conlleva una mayor frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos, como sequías y olas de calor (Amelung, Nicholls y Viner, 2007).

Estas islas también se caracterizan por su alta dependencia del turismo (Girvan, 1997; Kelman, 2018; Shultz et al., 2016), puesto que el número de visitantes supera sustancialmente la cantidad de habitantes permanentes (Nurse et al., 2001), y de ello se deriva una mayor demanda hídrica. Esta situación es paradójica, ya que los cambios en el clima en el Caribe están conduciendo a una reducción de las reservas de agua que sostienen la industria turística y la calidad de vida de sus habitantes. Lo anterior sucede debido, principalmente, a que la disminución de lluvias y el aumento del nivel del mar ocasionan que las aguas subterráneas se contaminen por la intrusión de agua salada (Kelman, 2018; Lal et al., 2002), lo que las hace no aptas para el consumo humano, como ha ocurrido en los acuíferos de Aruba, Barbados, Kiribati, Puerto Rico, Jamaica, Maldivas y Tokelau (Kelman y West, 2009).

Sin embargo, varios autores sostienen que los desequilibrios ambientales relacionados con el agua no deben ser atribuidos exclusivamente al cambio climático, dado que las fuentes hídricas ya se encuentran “bajo estrés debido a las presiones antropogénicas actuales” (Lal et al., 2002, p. 180). Por tanto, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático deben ser abordadas en el contexto de múltiples factores de estrés (Kelman y West, 2009), donde, por ejemplo, “una sequía puede ser desencadenada por la forma en que la sociedad hace uso del agua, y no por los cambios ocurridos en la precipitación” (Kelman, 2018, p. 152).

Sea debido a una causa o a la otra, la disponibilidad de recursos hídricos suficientes sigue siendo una preocupación crítica en las comunidades insulares en virtud de la alta

dependencia del régimen de lluvia y la poca capacidad de abastecimiento de sus cuencas y lentes de agua dulce. Al respecto, Jones et al. (1998) mencionan que en Anguilla, Granada, Antigua y Barbuda más del 65 % de las precipitaciones anuales se concentran en solo seis meses (entre junio y diciembre), lo que sugiere un riesgo de desabastecimiento de agua para los primeros meses del año, y donde se espera además que la salinización de los acuíferos costeros sea generalizada para estos territorios insulares (Nurse et al., 2001).

Estos cambios en el clima sin duda alterarán las condiciones que hacen de un destino turístico su fuerte con respecto a otros. Por ejemplo, la modalidad de turismo de sol y playa presenta una alta vulnerabilidad ante el calentamiento térmico planetario y sus procesos asociados, debido a la pérdida del confort climático, con el riesgo potencial de desaparición de este tipo de turismo (Olcina Cantos, 2012), característico de las costas e islas del mundo. De hecho, y resaltando lo anterior, la concentración de visitantes en la temporada alta supone una mayor tensión en el medio ambiente local, con implicaciones para el suministro de agua tanto para turistas como para residentes (Amelung et al., 2007).

Con sus propias particularidades —especialmente ser parte de la Red Mundial de Reservas de la Biosfera, ser un espacio terrestre de solo 27 km² (Howard y Nicholson, 2012), tener una densidad poblacional a 2015 de 2.640 hab./km² y una alta dependencia de la industria turística, que representa el 60,7 % de su producto interno bruto (DANE y Banco de la República, 2014)—, la isla de San Andrés (Colombia) es tal vez la isla más vulnerable con respecto a las afectaciones por cambio climático en el conjunto de las islas turísticas del Caribe. Por ejemplo, en comparación con algunas pertenecientes al grupo de las SIDS, San Andrés tiene, por mucho, la mayor densidad poblacional por superficie terrestre

(tabla 1), a la que se suman los turistas que la visitan, que a 2017 superaba el millón de personas.

Por su parte, del mismo modo que el cambio climático global, el ciclo meteorológico conocido como ENOS (El Niño o La Niña oscilación del sur) tiene efectos climáticos con implicaciones socioeconómicas y ambientales en casi todo el planeta (IDEAM, 2007). Para Colombia, el IDEAM indica que las alteraciones que se producen en el régimen de lluvias son explicadas, en buena parte, por esta variabilidad climática, causal de sequías (en eventos como El Niño) y lluvias (en eventos como La Niña) extremas en regiones del país, lo que ocasiona un efecto negativo sobre el medio físico natural e impactos sociales y económicos (IDEAM, 2007). Este mismo instituto ha llevado a cabo análisis multianuales con información histórica de 65 años con el fin de determinar eventos de variabilidad climática en las diferentes regiones del país, y con base en ello ha establecido el umbral de normalidad de precipitación⁴ que sirve para categorizar el grado de incidencia de los fenómenos climatológicos en las lluvias.

Por ejemplo, para el más reciente evento registrado entre 2014 y 2016, el IDEAM (2016) indicó para Colombia que, “en cuanto a la anomalía de precipitación, es decir, la diferencia entre lo registrado y el promedio histórico, casi la totalidad del país presentó condiciones muy por debajo de lo normal en el 59 % del territorio y por debajo de lo normal en el 32 %” (p. 26). Es decir, el 91 % del país experimentó una disminución importante en las precipitaciones y, por tanto, en la oferta de agua en este período.

4 El IDEAM (2014) define un rango de variabilidad normal o umbral de normalidad como aquel en el que se incluyen todos los valores que se presentan con mayor frecuencia y que, en consecuencia, no han sido catalogados como valores extremos (déficits y superávit, en el caso de la precipitación).

Para la isla de San Andrés, la UNAL estimó en 2010 que la relación de recarga de agua hacia los acuíferos con respecto a las precipitaciones (R/P) es del orden del 15%, del 26% y de un 33% para un año seco, normal y húmedo, respectivamente. También determinó que, con una disminución del 5% de la recarga anual de agua hacia los acuíferos y manteniendo la tasa de extracción de agua subterránea de ese año, el principal acuífero de la isla podría presentar panoramas de intrusión marina (UNAL, 2010), y con ello la pérdida de su principal fuente de agua dulce. Lo anterior revela lo vulnerable de esta isla a una escasez, ya que la principal fuente de recarga hídrica de acuíferos es la lluvia, y esta, a su vez, es sensible a la variabilidad climática. El IDEAM (2014) menciona además que, para San Andrés, se espera una reducción de lluvias de hasta un 32,78% y un aumento de 1,4 °C en la temperatura media para 2040 con respecto a 2011; esto conlleva efectos en el servicio ecosistémico de provisión hídrica, razón por la cual el sector turístico podría verse afectado (IDEAM et al., 2015).

Por todo lo anterior, es evidente entonces que las empresas y los destinos turísticos se verán obligados a modificar algunos aspectos de su oferta y tendrán que protegerse y/o adaptarse a las situaciones de cambio climático próximas, más en regiones insulares, como las pequeñas islas del Caribe, con una economía dependiente del turismo y recursos hídricos limitados para soportar la demanda creciente de agua.

3. Metodología

Se llevó a cabo un análisis de escasez hídrica para diferentes escenarios de oferta de agua subterránea en función de la precipitación y del crecimiento de la población turística y residencial en San Andrés. Para ello, primero se cuantificó la demanda de agua anual entre 1985 y 2016 con base en el consumo

personal definido en la bibliografía consultada: de 150 l/día para residentes y de 293 l/día (años 1985-2015) a 323,6 l/día (años 2016 y proyecciones) para turistas. Al respecto, se usaron los registros históricos de crecimiento poblacional y llegada de turistas aportados por el Departamento Nacional de Estadística (DANE), la Cámara de Comercio de San Andrés y otras fuentes bibliográficas. Luego fue analizado el comportamiento de la disponibilidad hídrica (oferta natural vs. oferta disponible)⁵ proveniente de la recarga de agua lluvia hacia los acuíferos, y se examinó su capacidad de extracción. Con este fin, se usaron datos históricos de precipitación obtenidos de la estación meteorológica Sesquicentenario del IDEAM, que sirvieron para cuantificar la recarga para diferentes años según su condición climática (El Niño o La Niña oscilación del sur), con referencia a las estimaciones de la Universidad Nacional de Colombia (2010) que se muestran en la tabla 1 y a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Recarga} = \text{precipitación(m)} * \text{área de recarga(m}^2\text{)} \\ * \text{relación (R/P para año evaluado)}$$

Para el uso correcto de la relación (R/P), primero se llevó a cabo una verificación y reagrupación de los años con reporte de condiciones climatológicas para Colombia y con evidencia real de disminución o aumento de las lluvias en San Andrés. Para definir a qué tipo de condición climática perteneció cada año, se usaron los umbrales de normalidad que se indican en la tabla 2, así se seleccionaron los años cuya precipitación se ubicó por debajo del 80% de las lluvias normales para El Niño y mayores a 120% para La Niña. Para el promedio de lluvias fueron usados

5 En este artículo, oferta natural se refiere a la disponibilidad hídrica en acuíferos proveniente de la recarga de estos a partir de las precipitaciones. Es decir, oferta natural = recarga. Por oferta disponible se hace referencia al volumen de agua permitido para su extracción, el que efectivamente es extraído y entregado para cubrir la demanda después de pérdidas técnicas y operacionales.

los registros de 55 años, comprendidos entre 1962 y 2016.

Tabla 2. Recarga potencial de acuíferos con relación a las precipitaciones anuales en la isla de San Andrés y para diferentes escenarios de variabilidad climática

Tipo de año	R/P (%) ^a
Fase cálida (El Niño)	15
Promedio (año normal)	26
Fase fría (La Niña)	33

Fuente: Adaptado de Universidad Nacional de Colombia (2010). Modelo numérico del acuífero de San Andrés islas (p. 29): Medellín: Proyecto INAP-COLOMBIA/Posgrado en Recursos Hidráulicos.

^aRelación de la recarga (R) en función de las precipitaciones anuales (P) (R/P).

Tabla 3. Categorías de anomalías de precipitación establecidas para Colombia por el IDEAM

% de precipitación presentada respecto a promedio histórico	Umbral de normalidad
0-40	MPDN
40-80	PDN
80-120	N
120-160	PEN
>160	MPEN

Nota: MPDN = muy por debajo de lo normal; PDN = por debajo de lo normal; N = normal; PEN = por encima de lo normal; MPEN = muy por encima de lo normal.

Fuente: Adaptado de IDEAM (2015). Determinación de un rango normal para la precipitación—análisis comparativo entre los umbrales de normalidad (80-120%) y (90-110%) (p. 11).

El análisis de la oferta y la demanda hídrica se hizo para los años comprendidos entre 2006 y 2016, contrastando las demandas totales de turistas y residentes con la oferta natural y disponible de esos mismos años obtenida a partir de la relación (R/P) para dos escenarios de área de recarga y conforme al tipo de condición climática de cada año. También se contrastó la demanda con la oferta de agua disponible a partir de

la capacidad técnica de extracción y distribución de agua subterránea de operadores legales (incluyendo fugas). Para ello, se usaron registros de extracción hídrica del acueducto y de pozos privados que cuentan con permisos de la entidad ambiental de la isla para la explotación de acuíferos. Esta información fue obtenida de bases de datos suministradas por la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (CORALINA).

Con el fin de determinar períodos futuros de escasez hídrica, se llevaron a cabo escenarios de demanda y oferta hídrica con un modelo de regresión lineal y un intervalo de confianza del 95% a partir del cual se pronosticó el crecimiento poblacional y turístico esperado a 2040, para lo cual se usó el paquete estadístico de Excel 2016. Para el último año de pronóstico, se determinó la oferta natural de agua subterránea suponiendo condiciones climáticas para un año de El Niño, La Niña y normal, y con una reducción del 32,78% en las precipitaciones a causa del cambio climático esperado desde la tercera comunicación nacional de cambio climático para Colombia entregado por el IDEAM (2015).

4. Resultados y discusión

4.1 Demanda hídrica actual y futura a partir de tendencias demográficas de turistas y residentes en la isla de San Andrés

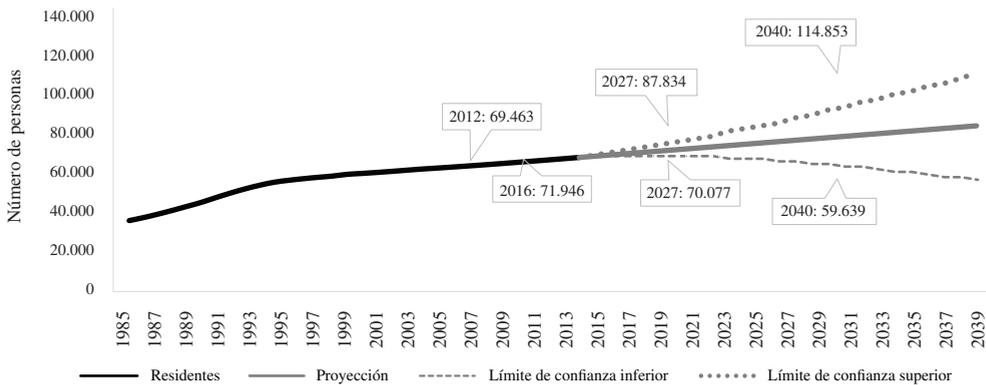
En San Andrés se ha experimentado un crecimiento demográfico acelerado desde finales de los años cincuenta del pasado siglo, favorecido inicialmente por la Ley 127 de 1959, que declaró esta isla como puerto libre (DNP, 1999) y promovió un turismo asociado con el comercio. Esto significó una gran migración de personas a la isla, lo que aumentó de 3.705 (Meisel Roca, 2003)

a 50.471 (DANE, 2005 b y c) el número de habitantes permanentes entre 1951 y 1991; es decir, en cuatro décadas la población aumentó trece veces. Como se aprecia en la figura 1, el número de personas que residían en los escasos 27 km² de tierra emergida de San Andrés era de 69.463 habitantes⁶ en 2012. Según proyecciones del DANE (2005 b y c), el número de residentes permanentes en 2016 fue de 71.946, y para el año 2040, la población podría incrementar a 114.853 habitantes⁷.

Sumado a lo anterior, con el advenimiento del turismo de sol y playa de principios de los años noventa, se aumentó la afluencia turística de 299.708 turistas en 1991 a 926.617 en 2016⁸. Para 2040, esta afluencia podría llegar a 1.906.593 turistas al año, como puede apreciarse en la figura 2.

Este incremento de la población ha significado en las últimas décadas mayor demanda de agua y un aumento en la presión sobre las limitadas fuentes de abastecimiento hídrico de la isla. Sobre ello y la construcción del Plan Director de Acueducto y Alcantarillado para San Andrés, Ángel y Rodríguez Ingenieros Ltda. (1997) revelaron que, con los patrones de consumo de agua y proyecciones de crecimiento de población a 2027 (tabla 4), se tendría un déficit hídrico de 9.884 m³/día, y, por tanto, era necesario aumentar la explotación de acuíferos para asegurar la demanda futura de agua, que para 2015 –y según ese estudio– se situaba en 3.763.528 m³/año de una población proyectada de 66.386 residentes y 109.978 turistas para ese año, con un consumo per cápita de 150 l/día y 293 l/día, respectivamente (Ángel y Rodríguez Ingenieros Ltda., 1997).

Figura 1. Crecimiento histórico de la población residente en la isla de San Andrés y proyecciones a 2040



Fuente: Elaboración del autor a partir de Meisel Roca (2003) años 1985-2001; DANE (2005 b y c) años 2003-2016; pronóstico 2017-2040.

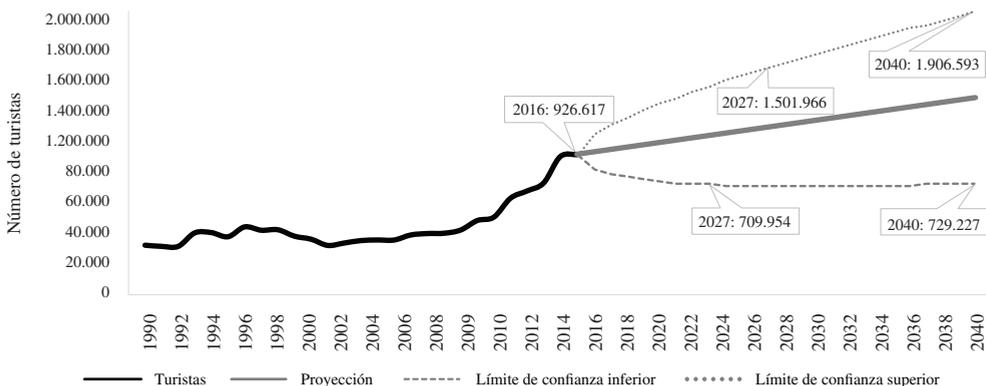
6 Taylor, Howard, Medina y Bent (2012) mencionan que la densidad poblacional de San Andrés de 2012 permitió que esta isla fuera declarada como la más densamente poblada del Caribe.

7 Por medio de un modelo de regresión lineal, se pronosticó el crecimiento de residentes y turistas esperado para 2040, con un intervalo de confianza del 95 %.

8 La apertura económica de Colombia de principios de los noventa del siglo XX condujo a una gran pérdida de competitividad comercial en las islas (Taylor et al., 2012), lo que dio paso a un turismo de sol y playa (DNP, 1999).

Sin embargo, la estadística actual revela que las proyecciones demográficas de Ángel y Rodríguez Ingenieros Ltda. (1997) fueron conservadoras a la luz de las cifras oficiales, que para 2015 se ubicaron en 71.305 residentes (DANE, 2005 b y c) y 914.369 turistas (Cámara de Comercio de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, 2017), es decir, un 7% y el 831% más residentes y turistas

Figura 2. Crecimiento histórico de llegada de turistas a la isla de San Andrés



Fuente: Elaboración del autor a partir de Meisel Roca (2003) años 1990-2001; DANE y Banco de la República (2007) años 2003-2006; Cámara de Comercio de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (2017) años 2006-2017; año 2002, interpolación; años 2017-2040, pronóstico.

Tabla 4. Proyecciones de población residente y turistas, y demanda de agua estimada en el Plan Director de Acueducto y Alcantarillado para San Andrés, Providencia y Santa Catalina de 1997

Año	Habitantes	Turistas	Demanda agua	Año	Habitantes	Turistas	Demanda agua (m ³ /año)
2012	64.080	100.644	3.626.335	2020	70.413	127.494	4.004.535
2013	64.840	103.663	3.671.483	2021	71.248	131.319	4.054.734
2014	65.608	106.774	3.717.177	2022	72.092	135.257	4.105.558
2015	66.386	109.978	3.763.528	2023	72.946	139.317	4.157.073
2016	67.172	113.277	3.810.428	2024	73.811	143.496	4.209.330
2017	67.968	116.675	3.857.991	2025	74.685	147.802	4.262.228
2018	68.774	120.175	3.906.222	2026	75.570	152.234	4.315.876
2019	69.589	123.781	3.955.069	2027	76.466	156.802	4.370.285

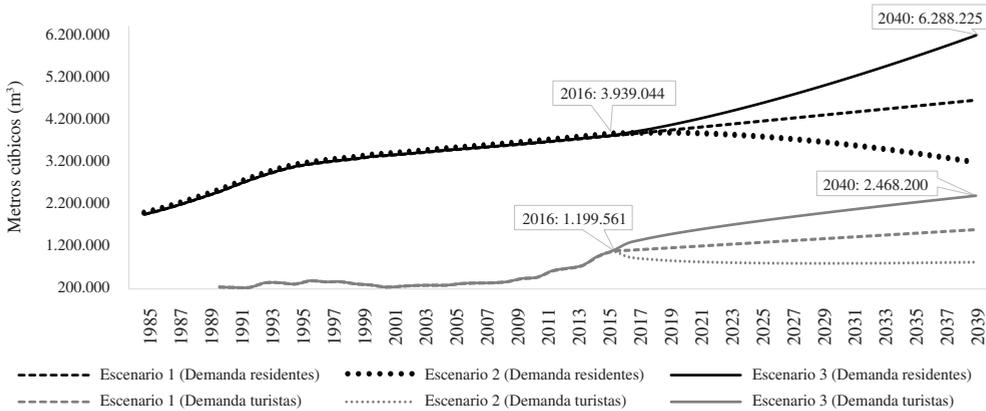
Fuente: Adaptado de Ángel y Rodríguez Ingenieros Ltda. (1997). Plan Director de Acueducto y Alcantarillado para San Andrés, Providencia y Santa Catalina al año 2027. San Andrés.

demandantes de agua que en las proyecciones iniciales para ese año. Un estudio reciente reveló que el consumo per cápita es de 323,64 l/día para turistas (CDM Smith-INGESAM, 2016) y que, por tanto, la demanda real de agua se situó para el año 2016 en 5.138.605 m³/año, de manera que superó las proyecciones de Ángel y Rodríguez Ingenieros Ltda. (1997). Lo anterior puede observarse en la figura 3, en la que además se muestra que la demanda de turistas y residentes esperada para 2040 podría llegar a los 8.756.425 m³/

año según proyecciones del presente estudio, lo que supone un posible desabastecimiento hídrico para los próximos años.

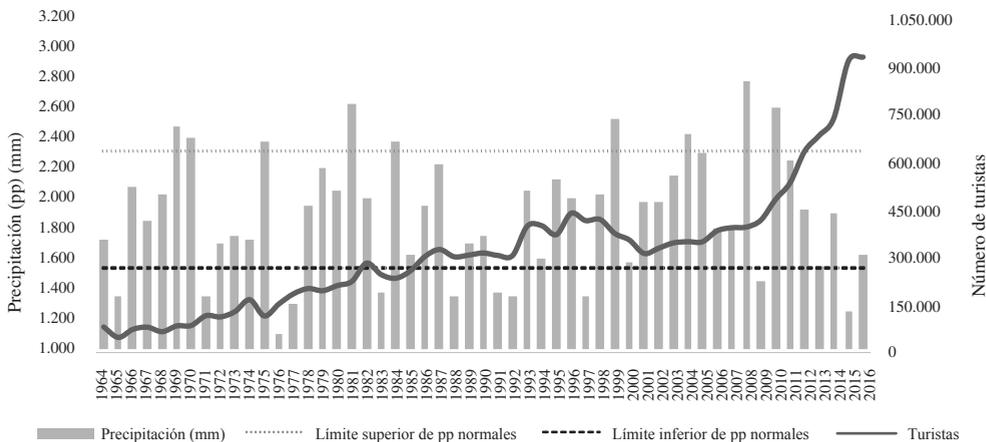
Comparando las tendencias demográficas con el registro histórico de las precipitaciones en la figura 4, se nota cómo a partir del año 2006 hay un descenso paulatino en las lluvias y un acelerado crecimiento en la llegada de turistas a la isla. De 2012 a 2016, las lluvias se ubicaron por debajo del promedio histórico de precipitación, mientras que la llegada de

Figura 3. Demanda de agua proyectada para 2040 para población residente y turística en la isla de San Andrés



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Comportamiento histórico en las precipitaciones y llegada de turistas a la isla de San Andrés



Fuente: Elaboración del autor.

turistas siguió en aumento. De hecho, 2015 fue el segundo año con el menor registro de precipitaciones en los 55 años analizados (el primero con menores precipitaciones fue 1976), y desde 2010 el único por debajo del rango normal de precipitación.

Con todo lo anterior, se concluye que, aunque la demanda anual de agua en el sector doméstico es mayor que en el turístico, la cantidad de agua per cápita demandada por este último es más del doble que la de los habitantes

residentes, lo que podría suponer un riesgo en la disponibilidad del recurso hídrico para habitantes nativos y residentes con ocasión del aumento de turistas en sectores que antes no eran usados con fines de hospedaje turístico, donde no exista acueducto y la demanda de agua sea cubierta principalmente por métodos artesanales (captación de agua lluvia en techos y extracción de agua subterránea con barrenos) de aprovisionamiento hídrico, que se caracterizan por una alta dependencia del régimen de lluvias, estas,

a su vez, con un carácter estacional, lo cual implica que la oferta de agua es diferente entre años y más crítica entre meses. Estas proyecciones en la demanda muestran que de continuar la reducción en las precipitaciones se corre el riesgo de que los acuíferos –principal fuente de suministro de agua de la isla– no almacenen agua suficiente para cubrir las necesidades hídricas, y, por tanto, sería inevitable un desabastecimiento en los próximos años.

4.2 Capacidad hídrica de acuíferos y su relación con la disponibilidad de agua subterránea a partir de la precipitación y la variabilidad climática

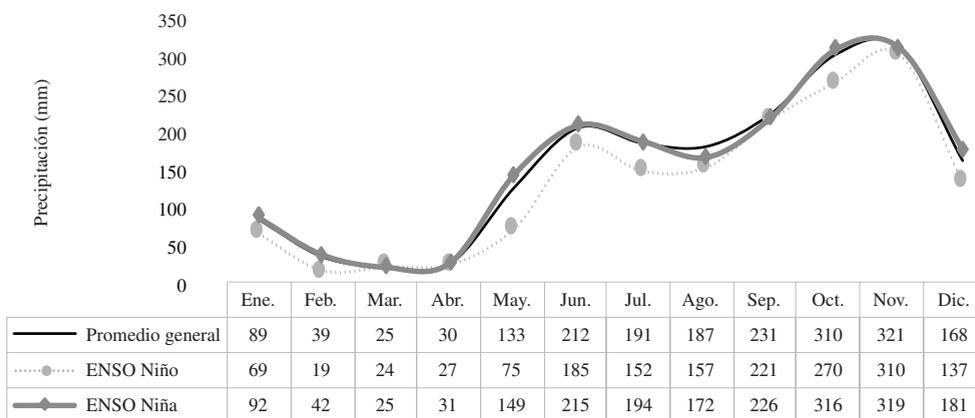
Como ha sido expuesto, en la isla de San Andrés se reconocen dos fuentes principales para atender las necesidades hídricas de la población, donde el agua lluvia que se infiltra en acuíferos y luego se extrae cubre hasta el 86% de la demanda de agua de algunos sectores de la isla (CDM Smith-INGESAM, 2016). Este recurso se encuentra almacenado en dos acuíferos denominados “San Luis” y “San Andrés”, con extensiones de 8,89 km² y 17,3 km², respectivamente (UNAL, 2010,

pp. 6-2). El agua lluvia captada en cisternas y tanques –otra fuente de abastecimiento de importancia– es aprovechada en un 42% en las viviendas (Gobernación departamental, 2004), de modo que logra cubrir entre un 14% y un 27% de la demanda doméstica (CDM Smith-INGESAM, 2016), y un porcentaje de la que no se capta es la responsable de la recarga de los acuíferos.

Por consiguiente, la recarga de acuíferos depende de las precipitaciones, que presentan variaciones interanuales y mensuales. Como se aprecia en la figura 5, estas condiciones meteorológicas significan una mayor vulnerabilidad a la escasez hídrica para los primeros meses del año, dado que restringen la capacidad natural que tienen los acuíferos para ofrecer agua a la comunidad residente y flotante de San Andrés en forma sostenible, sin implicar una extracción superior a su oferta natural.

El cálculo de la oferta anual de agua de los acuíferos de la isla realizado en este estudio revela que la oferta natural se situó entre los 7.303.852 m³/año y los 11.057.104 m³/año para 2016 si se toma toda la extensión del acuífero San Andrés (17,3 km²) o la extensión de

Figura 5. Promedio histórico de precipitación mensual en la isla de San Andrés



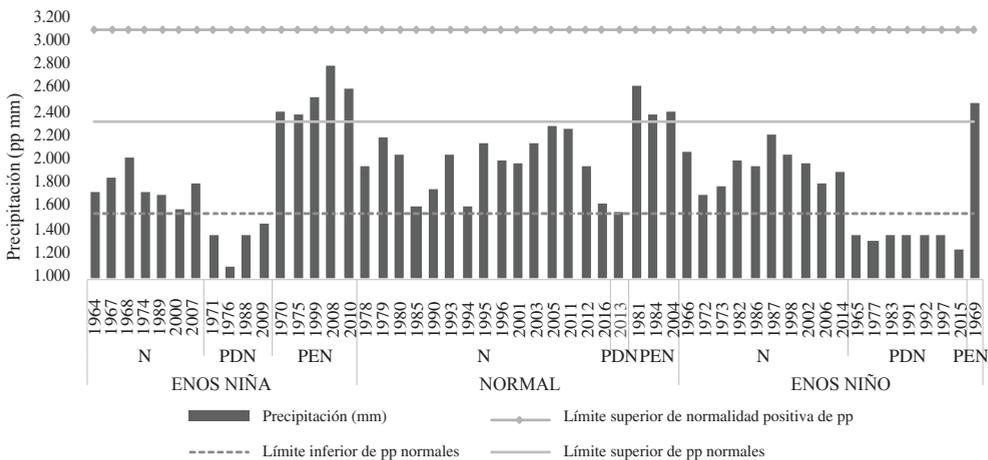
Fuente: Elaboración del autor a partir de registros históricos de precipitación IDEAM (2016).

ambos acuíferos (26,19 km²) como zona de recarga directa de agua lluvia⁹ (tabla 5). El volumen de agua subterránea concesionado por año para diferentes usuarios¹⁰ se presenta en la tabla 6, en la que se aprecia que en ese año se contaba con permisos para extraer de los acuíferos un volumen seguro de 5.793.297,6 m³/año en los siguientes porcentajes: acueducto urbano (76%), acueducto rural (17%), embotelladoras (3%), hoteles (2%), carrotanques de venta de agua (1%) e industrial (1%). Esta cantidad de agua permitiría, bajo condiciones ideales, cubrir el 100% de la demanda a 2016 (calculada en 5.138.605 m³/año) de una población de 71.946 habitantes y 926.617 turistas que visitaron la isla en ese año. Esta situación

resulta contradictoria dada la escasez de agua en ese año, lo que supone que otros factores adicionales a la variabilidad climática fueron responsables de la crisis hídrica de ese año.

Por otro lado, como resultado del análisis de los umbrales y las anomalías de precipitación anual para las lluvias registradas en San Andrés desde 1965, se concluye que estas no siempre presentaron alteraciones relacionadas con eventos de variabilidad climática decretadas por el IDEAM; es decir, aunque en otras regiones del país los fenómenos de La Niña y El Niño causaron aumentos o descensos en las lluvias, para San Andrés no ocurrió así en todos los años. Los resultados consignados en la figura 6

Figura 6. Comportamiento histórico de la precipitación en San Andrés en eventos climatológicos (ENOS) El Niño y La Niña reportado para Colombia por el IDEAM



Fuente: Elaboración propia.

9 La bibliografía especializada menciona que la recarga hacia acuíferos es mínima en zonas urbanizadas (Custodio, 1981). Sobre ello, INGEOMINAS (1997) y la Universidad Nacional de Colombia (2010) indican que, para San Andrés, la recarga de agua lluvia hacia el acuífero San Luis, donde se encuentra la mayor urbanización de la isla, es mucho menor en comparación con el acuífero San Andrés. No obstante, se desconocen datos concretos de la tasa de recarga para este acuífero.

10 Para acceder a la oferta hídrica de estos acuíferos, la entidad ambiental del departamento (CORALINA) otorga permisos de explotación bajo el marco normativo del Decreto 1575 de 2007 del Ministerio de Salud y Protección Social, por medio del cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

permiten establecer que solo en el 31% de los años con reporte del fenómeno de La Niña se registraron lluvias por encima del límite superior de los valores normales de precipitación (años 1970, 1975, 1999, 2008 y 2010); el mismo caso se presentó en los años bajo condición de El Niño: solo en el 39% de los años las lluvias se ubicaron por debajo del límite inferior de los valores normales (años 1965, 1977, 1983, 1991, 1992, 1997 y 2015).

Tabla 5. Recarga anual de acuíferos estimada a partir de las precipitaciones registradas y por tipo de evento climático

Año/ Evento climático (IDEAM) ^a	Precipitación promedio (mm) ^b	Recarga promedio acuífero San Andrés (m ³) ^{a,b}	Recarga promedio acuífero San Luis y San Andrés (m ³) ^{a,b}
ENOS La Niña	2.519	14.378.180	21.766.736
ENOS El Niño	1.354	3.514.863	5.321.055
Normal	1.922	8.643.413	13.085.028
2014	1.902	8.553.847	12.949.436
2015	1.250	3.243.231	4.909.839
2016	1.624	7.303.852	11.057.104

Nota: Para “ENOS La Niña”, años 1969, 1970, 1975, 1981, 1984, 1999, 2004, 2008 y 2010. Para “ENOS El Niño”, años 1965, 1971, 1976, 1977, 1983, 1988, 1991, 1992, 1997, 2009, 2013, 2015. Para “normal”, años 1964, 1966, 1967, 1968, 1972, 1973, 1974, 1978, 1979, 1980, 1982, 1985, 1986, 1987, 1989, 1990, 1993, 1994, 1995, 1996, 1998, 2000, 2001, 2002, 2003, 2005, 2006, 2007, 2011, 2012, 2014 y 2016.

Fuente: Elaboración del autor a partir de datos de precipitación del IDEAM.

^a A partir del universo de eventos climatológicos registrados por el IDEAM y después de haber aplicado rangos de normalidad.

^b Para ENOS La Niña, ENOS El Niño y normal, valores promedio. Para 2014, 2015 y 2016, valores reales.

*Recarga = precipitación(m)*área de recarga(m²)* $\left(\frac{R}{P}\right)$ evento climático

Tabla 6. Volúmenes concesionados y de extracción de agua subterránea en la isla de San Andrés

Año	Embotelladoras (m ³)	Hoteleros (m ³)	Comerciales e industrial (m ³)	Carrota-ques (m ³)	Agricul-tura (m ³)	Acueducto rural (m ³)	Acueducto urbano (m ³)	Total volu-men conce-sionado (m ³)	% extrac-ción	Total volu-men extraí-do (m ³)
2007	119.592	1.062.081	20.740	146.380	0	968.112	4.354.560	6.671.465	59%	3.936.164
2008	119.592	1.069.857	20.740	138.604	0	968.112	4.354.560	6.671.465	55%	3.669.306
2009	158.004	657.622	9.544	146.380	4.967,65	968.112	4.354.560	6.299.189,5	48%	3.023.611
2010	158.076	447.285	0	147.014	4.967,65	968.112	4.354.560	6.080.014,2	55%	3.344.008
2011	149.808	536.899	0	133.109	4.967,65	988.200	4.354.560	6.167.543,5	53%	3.268.798
2012	149.808	319.459	0	118.923	4.967,65	988.200	4.415.040	5.996.397,3	50%	2.998.199
2013	27.606	182.314	0	85.476,3	4.967,65	988.200	4.415.040	5.703.603,8	54%	3.079.946
2014	138.858	131.623	89.719,9	32.769,7	0	988.200	4.415.040	5.796.210,3	56%	3.245.878
2015	129.222	117.760	89.719,9	32.769,7	0	988.200	4.415.040	5.772.711,6	54%	3.117.264
2016	149.808	117.760	89.719,9	32.769,7	0	988.200	4.415.040	5.793.297,6	54%	3.128.381

Fuente: Elaboración del autor a partir de base de datos de CORALINA (2016).

Otra característica observada en el análisis es que, si bien para el histórico de años bajo condición de El Niño y La Niña se ve una correspondencia de mayores anomalías (negativas y positivas, respectivamente)

(tabla 7), para los años sin reporte de alteraciones climáticas para Colombia se dio un número mayor, es decir, sí existe una alteración por el ENOS, mas no es la única causa de la variación en las precipitaciones

anuales normales. Para el mismo período analizado, se evidenció que en el 45 % de los meses se presentó reducción de lluvias respecto a los valores normales, lo cual revela mayor correspondencia entre los factores climáticos y la reducción de lluvias mensuales

(tabla 8), principalmente para abril, agosto, junio, mayo y marzo (figura 7), por tanto, se concluye que estos son los meses con mayor riesgo de desabastecimiento hídrico ante una eventual variabilidad climática de El Niño.

Tabla 7. Distribución de anomalías de precipitación registradas entre 1962 y 2016 para años con condiciones climáticas normales, El Niño y La Niña en la isla de San Andrés

Categoría de anomalías de precipitación	Número de meses con registro de anomalía y agrupado por evento climático entre 1965 y 2016		
	Año normal	Año El Niño	Año La Niña
MPDN	52	28	4
PDN	143	56	16
N	117	24	27
PEN	58	8	12
MPEN	68	16	19
Total	438	132	78

Fuente: Elaboración del autor a partir del registro de precipitación del IDEAM.

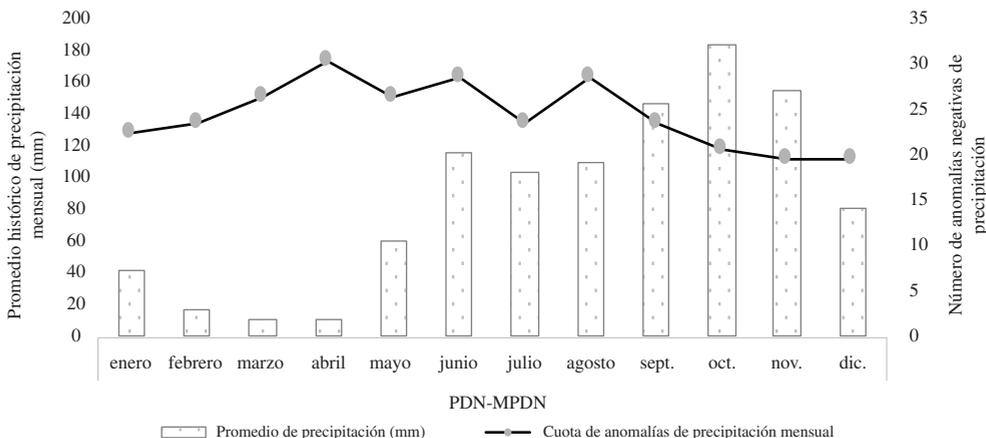
Tabla 8. Históricos de precipitación mensual 1965-2016 agrupados por tipo de anomalía a partir de los rangos de normalidad establecidos por el IDEAM (2014) para Colombia

Mes	Valores promedio de precipitación mensual (mm) 1965-2016	Número de meses categorizados por tipología de anomalía de precipitación con respecto al promedio histórico de lluvias				
		MPEN >160 %	PEN 120-160 %	N 80-120 %	PDN 40-80 %	MPDN 0-40 %
Enero	88,38	9	7	15	18	6
Febrero	38,50	7	12	11	16	9
Marzo	24,93	11	7	7	23	7
Abril	29,95	11	3	7	18	16
Mayo	132,57	11	5	13	16	10
Junio	210,89	9	8	13	20	5
Julio	189,87	7	10	16	15	7
Agosto	195,49	8	7	13	23	4
Septiembre	229,33	6	9	19	19	2
Octubre	308,97	6	9	22	15	3
Noviembre	320,95	11	3	20	15	6
Diciembre	166,04	9	6	18	16	6
Total de registros		105	86	174	214	81

Nota: MPDN = muy por debajo de lo normal; PDN = por debajo de lo normal; N = normal; PEN = por encima de lo normal; MPEN = muy por encima de lo normal.

Fuente: Elaboración del autor a partir de datos del IDEAM (2014).

Figura 7. Histórico de anomalías de precipitaciones negativas identificadas y disgregadas por mes, y su relación con el promedio histórico de lluvias



Fuente: Elaboración propia.

Resumiendo, se tiene que el promedio histórico de lluvias fue de 1.922 mm para aquellos años en los que el IDEAM no registró alteraciones climáticas por ENOS y de 1.354 mm para los años con condición climática de El Niño entre 1962 y 2014. El análisis de las anomalías de precipitación revela que en San Andrés se dio esa condición en 2015, con una disminución del 35 % de las precipitaciones respecto al promedio normal y del 8 % en relación con el promedio histórico de años bajo esa condición climática, lo que llevó a que la oferta natural de agua en acuíferos se situara entre los 3.243.231 m³/año y los 4.909.839 m³/año (tabla 5), ambas cifras por debajo de la demanda hídrica de ese año. A excepción de 1976, su acumulado anual fue el más bajo en 54 años de análisis.

Otro aspecto para señalar es que, paradójicamente, en 2015 se dio un aumento en la llegada de turistas en todos los meses en comparación con el año anterior, situación no encontrada en la historia de datos de afluencia turística de la última década. Como se observa en la tabla 9, a partir de septiembre de 2014 hubo un incremento sostenido en el arribo de turistas que llegó hasta marzo de 2016, mes previo a la declaratoria de la

calamidad pública por desabastecimiento hídrico, y que contrasta con que el 67 % de los meses de los tres años anteriores a la crisis presentaron anomalías negativas de precipitación; de hecho, para ese año, en 9 de los 12 meses hubo este tipo de anomalía. Es decir, mientras que en cada mes se aumentó la demanda hídrica en la isla por mayor presión demográfica, sucedió de manera inversa para las precipitaciones, la recarga, la oferta de agua subterránea y la capacidad de aprovechamiento directo del agua de lluvia. No obstante, si bien el evento climático de 2015 tuvo responsabilidad en la crisis del agua de 2016, otros factores –como las deficiencias operacionales del acueducto y de otros operadores de agua– pudieron haber sumado a la crisis, como será expuesto adelante.

Por último, es importante indicar que, en un escenario futuro como el mostrado en la figura 8¹¹ para 2040, la oferta de acuíferos

11 Se llevó a cabo la proyección de demanda a 2040 a partir del pronóstico de crecimiento de la población residente y turística y con base en el comportamiento demográfico. Lo anterior se realizó con el uso del instrumento estadístico “Pronóstico”, de Excel 2016, proyectando 24 años en el futuro a partir de 2016 y con un intervalo de confianza del 95 %. Para el año 2040 se determinó la oferta natural de acuíferos suponiendo tres

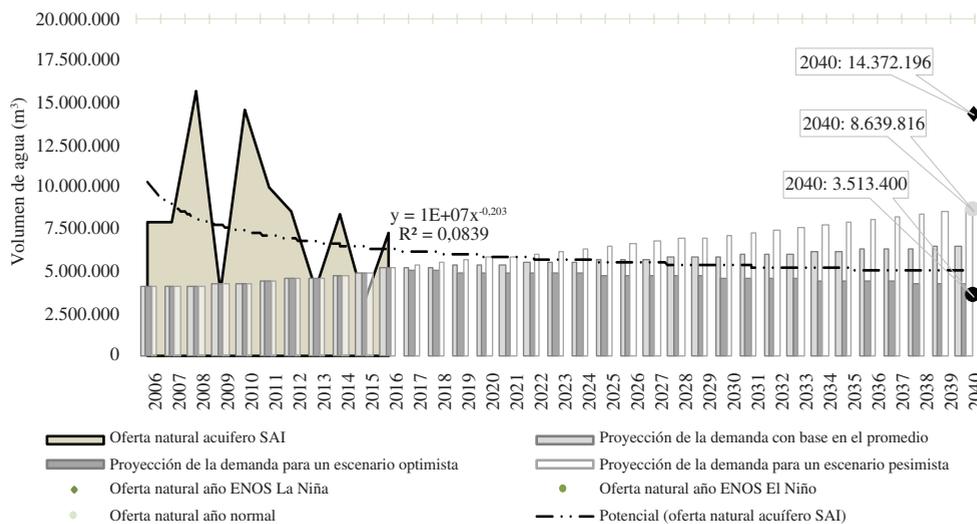
Tabla 9. Variación histórica mensual de llegada de turistas

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2007	8.296	5.258	10.762	-308	3.509	1.885	-6.311	-4.139	-4.073	1.742	-1.003	-5.785
2008	-4.013	-2.796	-5.063	-4.043	4.486	-2.764	2.318	6.734	4.868	1.035	-1.543	2.830
2009	175	-1.697	-2.844	1.169	-3.642	4.706	-1.796	-748	100	8.479	8.661	9.262
2010	3.003	11.947	5.561	2.462	10.177	9.429	8.984	1.981	5.399	3.248	3.972	-1.055
2011	14.505	2.336	9.759	7.716	-118	4.370	-9.781	-23.178	4.262	-273	5.761	7.823
2012	2.779	37.778	-5.399	736	6.648	7.411	14.655	29.200	7.023	7.681	10.601	10.343
2013	7.642	-26.871	15.351	1.551	3.197	10.222	3.216	12.695	2.057	10.339	5.802	4.577
2014	4.195	6.363	7.178	12.380	3.928	-8.230	8.123	-1.360	7.948	5.984	942	7.625
2015	9.670	4.906	11.510	12.600	22.680	25.053	14.844	17.560	10.934	15.937	18.484	16.265
2016	10.950	15.805	5.143	-2.333	-2.800	-5.526	10.804	3.701	8.089	-1.770	-25.781	-4.034

Nota: La tabla muestra la variación de llegada de turistas en un mes respecto a la de ese mismo mes en el año siguiente.

Fuente: Elaboración del autor a partir de Cámara de Comercio de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (2017).

Figura 8. Relación de la oferta hídrica de acuíferos y la demanda proyectada a 2040 bajo condiciones de variabilidad y cambio climáticos esperadas



Fuente: Elaboración propia.

podría estar por debajo de la demanda si ese año se comporta como un año con precipitaciones normales o bajo una condición

escenarios de condición climática (El Niño, La Niña y normal), y para cada condición, una reducción en las precipitaciones del 32,78 % esperado con motivo de cambio climático.

climática de El Niño. Solo en el caso de que se dé una condición climática de La Niña, el acuífero contara con suficiente recarga para suplir la demanda proyectada para ese año, condición que, como se demostró, es menos probable para San Andrés; por tanto, la recarga de acuíferos y con ello su oferta de

agua no podrán soportar la creciente demanda hídrica de residentes y turistas.

4.3 Factores técnicos y operativos de extracción y distribución de agua subterránea y su relación con la oferta real de agua potable

A pesar de lo positivo que resulta contar con disponibilidad hídrica en acuíferos y la suficiente oferta de agua concesionada por la entidad ambiental, como se indica en la tabla 6, la realidad es que el volumen anual de agua subterránea extraída para abastecer la demanda de este recurso ha sido menor en todos los años de análisis, puesto que el porcentaje de extracción se ubicó levemente por encima del 50 % del volumen

total concesionado. Esta situación ha sido común en la última década, con un máximo de explotación en 2007 de solo el 59 % con relación al caudal total concesionado, y para los cuatro años previos a la calamidad pública por desabastecimiento hídrico de 2016 el porcentaje de extracción promedio estuvo en un 54 % del máximo permitido.

Una situación adicional y de importancia en la crisis hídrica de la isla tiene que ver con que el aporte neto final del acueducto es bastante reducido respecto al volumen de extracción de agua subterránea permitido. Esto, según CDM Smith-INGESAM (2016), se debe a que la eficiencia de potabilización de la planta desalinizadora instalada en el acueducto urbano es del 54 %, ya que el restante

Tabla 10. Oferta real de agua subterránea después de pérdidas técnicas y operacionales

	<i>Hoteleros (m³/año)</i>	<i>Carrotanques (m³/año)</i>	<i>Acueducto rural y urbano (m³/año)</i>	<i>Otros operadores (m³/año)</i>	<i>Oferta total (m³/año)</i>
2012	163.888	62.741	968.814	66.625	1.262.068
2013	112.907	45.029	1.014.500	17.247	1.189.684
2014	56.498	23.863	1.071.731	33.770	1.185.862
2015	52.275	23.021	1.038.080	42.969	1.156.344
2016	76.554	28.424	1.003.034	51.519	1.159.531
Prom.	92.424	36.615	1.019.231	42.426	1.190.697

Fuente: Elaboración propia a partir de base de datos de CORALINA (2016).

Tabla 11. Porcentaje de cubrimiento de la demanda hídrica de turistas y residentes después de pérdidas técnicas y operacionales del acueducto urbano y rural (m³/año)

<i>Año</i>	<i>Oferta total (m³/año)</i>	<i>Demanda residentes (m³/año)</i>	<i>Demanda turistas (m³/año)</i>	<i>Demanda total (m³/año)</i>	<i>% de cubrimiento</i>
2012	1.262.068	3.803.099	814.371	4.617.471	27%
2013	1.189.684	3.836.278	878.812	4.715.090	25%
2014	1.185.862	3.869.949	950.111	4.820.060	25%
2015	1.156.344	3.903.949	1.183.706	5.087.654	23%
2016	1.159.531	3.939.044	1.199.561	5.138.605	23%
Prom.	1.190.698	3.870.464	1.005.312	4.875.776	25%

Fuente: Elaboración propia.

46% del agua tratada es rechazada por su alta concentración salina, y en las redes de suministro se pierde un 44,4% en fugas. Para el acueducto rural también se tiene estimado un 41% de pérdidas y, por tanto, como se indica en la tabla 10, el volumen de agua que en promedio llegó a los usuarios por medio de operadores legales de suministro de agua subterránea entre 2012 y 2016 fue de solo 1.190.697 m³/año (3.262 m³/día). Es decir, en toda la cadena de suministro de agua potable para consumo humano se pierde hasta el 65% del recurso hídrico extraído.

Lo dicho hasta aquí revela que las proyecciones iniciales de crecimiento turístico y de población residente con base en las cuales se determinó la capacidad requerida de producción de agua potable para la isla en 1997 (Ángel y Rodríguez, 1997) fueron bastante conservadoras, pues se nota una marcada diferencia respecto a la cantidad de turistas que actualmente llegan a la isla y, por tanto, una demanda de agua en aumento difícilmente cubierta por la oferta real de agua de los operadores legales. A partir de la tabla 11 se concluye que el cubrimiento de la demanda entre 2012 y 2016 por medio de estos operadores fue en promedio de tan solo el 25% para toda la población residente y turística de San Andrés, con el agravante implícito de que, para cubrir este bajo porcentaje, la entidad ambiental del departamento ya otorgó en concesión hasta un 92% de la máxima oferta natural de agua subterránea, si se asume el acuífero San Andrés como única zona de recarga de agua lluvia de importancia en la isla. De hecho, como se reveló, para el año 2015, y en comparación con la última década, se pudo dar la más baja tasa de recarga del acuífero San Andrés, es decir, para ese año la fuente principal de abastecimiento de agua se encontró en su máximo de explotación, mientras que la cobertura de la demanda siguió siendo muy baja, lo que contribuyó en mayor medida a la crisis hídrica de 2016.

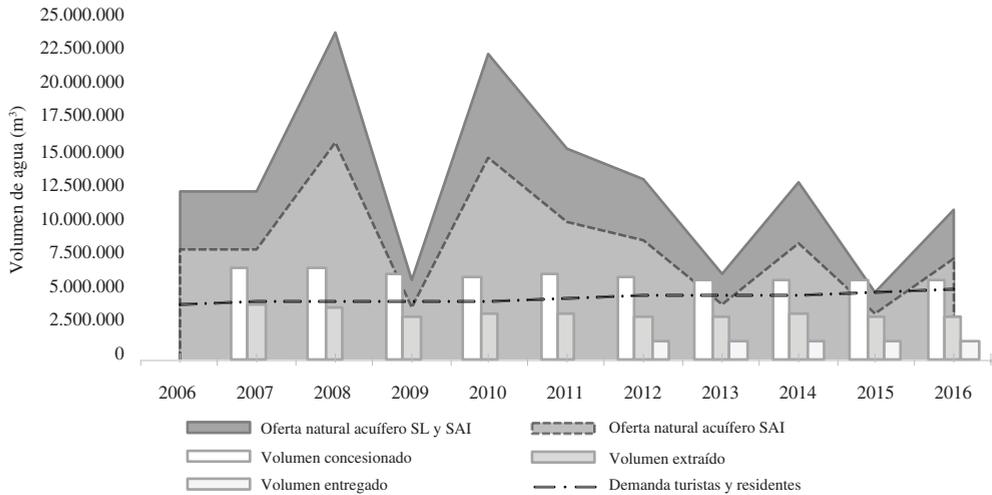
De la figura 9 también se concluye que la baja cobertura de la demanda ha sido una condición típica en la isla, por tanto, no extraña que el déficit hídrico haya sido cubierto por otras fuentes de agua, especialmente captación y almacenamiento directo de lluvias en el ámbito domiciliario y la extracción de agua subterránea a través de pozos domésticos¹² ilegítimos. Sin desconocer lo negativo que resulta la extracción ilegítima del agua para el ambiente y la gestión sostenible de acuíferos en la isla, lo cierto es que esta práctica permitió por años que se contara con un excedente hídrico al aportado por los operadores de agua legales, que en 2015 llegó a valores críticos. Las escasas lluvias de los últimos años también han influenciado la capacidad de aprovechamiento de esta mediante la captación y el almacenamiento doméstico propios de la cultura isleña, lo cual acentuó la crisis hídrica de 2016.

5. Importancia de los pozos domésticos en la crisis del agua de 2016

Para San Andrés, se tiene un estimado de 6.035 pozos de extracción de agua subterránea, en especial, los de tipo barreno

12 El artículo 155 del Decreto 1541 de 1978, expedido por la República de Colombia, “por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974: “De las aguas no marítimas”, establece que los aprovechamientos de aguas subterráneas, tanto en predios propios como ajenos, requieren concesión, con excepción de los que se utilicen para usos domésticos en propiedad del beneficiario o en predios que este tenga en posesión o tenencia. Por su parte, la Resolución 416 de 2005 de CORALINA, “por la cual se dictan medidas de preservación y control de las aguas subterráneas en la isla de San Andrés”, define como pozos de uso domésticos todos aquellos cuya extracción de agua no sea destinada a fines comerciales o para atención de servicios públicos de abastecimiento y, por tanto, no requieren concesión. No obstante, esta misma Resolución establece que la perforación de este tipo de pozos deberá contar con permiso previo de CORALINA, la cual definirá la ubicación más apropiada, la profundidad y las condiciones de operación, razón por la cual en este artículo se considera que, si bien el aprovechamiento de agua subterránea a través de pozos domésticos es legal, muchos de ellos tienen un comportamiento ilegítimo, dado que fueron perforados sin permiso previo de la entidad ambiental.

Figura 9. Comparación entre disponibilidad natural, extracción y oferta de agua subterránea con la demanda presentada entre 2006 y 2016 en la isla de San Andrés



Fuente: Elaboración propia.

(Gobernación departamental, 2004), la mayoría de estos residenciales, ubicados en la zona norte de la isla, que además cuenta con un acueducto con una capacidad de abastecimiento tres veces mayor que el rural. El 75 % de los turistas se hospedan en la zona norte, y el otro 25 %, en sectores rurales del sur, oriente, occidente y centro de la isla (CDM Smith-INGESAM, 2016), donde se concentra la mayor proporción de los nativos. Fue en este último sector donde se agudizó la crisis hídrica de 2016.

El acueducto rural se abastece de la cuenca El Cove, ubicada en la formación acuífera San Andrés, que, conforme a datos del Plan de Manejo Ambiental de Acuíferos para la isla, tiene una capacidad segura de extracción de 988.200 m³/año de agua subterránea. Como se explicó, el porcentaje de extracción ha disminuido paulatinamente debido a factores operacionales, y en 2016 se situó en solo el 38 % del total permitido, con unas pérdidas por fugas situadas en un 41 % del caudal extraído, es decir, un volumen real de aprovisionamiento de 220.921 m³/año, con lo cual fue posible cubrir solo un porcentaje de las

necesidades hídricas de esta proporción de la población nativa.

A diferencia del sector urbano y hotelero, las viviendas ubicadas sobre la formación acuífera San Andrés no cuentan con posibilidades de acceso directo al agua subterránea a través de barrenos; esto se debe a que este sector se encuentra en la parte más alta de la isla y su topografía dificulta el acceso al agua subterránea, la cual puede encontrarse a profundidades de hasta doscientos metros bajo el nivel del mar. Para la zona de crisis no existen pozos domésticos, en contraste con el gran número de pozos encontrados en las zonas oriente, sur y, especialmente, en el norte de la isla; es en esta última zona donde se localizan la mayoría de los hoteles turísticos. Esto significa, entonces, que ante una crisis de desabastecimiento hídrico como la ocurrida en 2016, los habitantes ubicados en las partes altas de la isla contarán solo con los sistemas de captura y almacenamiento de agua lluvia para cubrir el déficit de oferta de agua del acueducto rural, mientras que otros sectores, en especial, el hotelero, contarán con dos fuentes alternas de

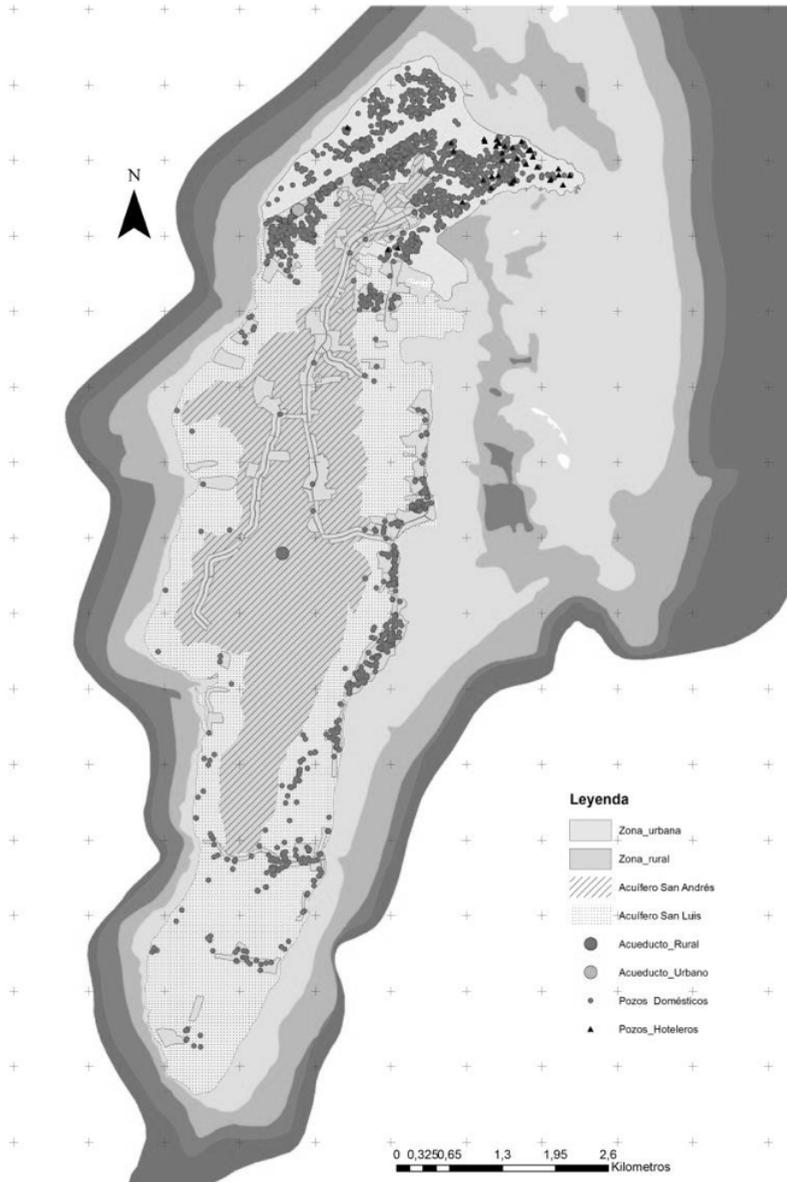
aprovisionamiento hídrico y, por tanto, con una posición ventajosa para enfrentar eventuales crisis hídricas.

Nótese cómo la mayor concentración de los pozos se encuentra en las zonas norte, oriente y sur de la isla, sobre el acuífero San Luis,

en contraste con el reducido número en el centro de la isla (acuífero San Andrés), donde se dio la crisis hídrica de 2016.

Así pues, lo anterior permite entrever que el sector turístico en San Andrés ha sido menos vulnerable a los cambios en las precipitacio-

Figura 10. Distribución de pozos domésticos y hoteleros en la isla de San Andrés



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CORALINA (2017).

nes de los últimos años, ya que cuenta con una oferta mayor de agua del acueducto y con posibilidades de generar sus propios sistemas de autoabastecimiento por medio de la explotación directa de acuíferos costeros y la desalinización; por tanto, no extraña que la crisis hídrica de 2016 no haya afectado a esta parte de la isla, pero sí las zonas rurales altas, donde se concentra la población raizal.

6. Conclusiones

San Andrés, por ser una isla oceánica con pocas reservas hídricas y una fuerte demanda de agua potable de la población nativa y turística, es muy sensible a los cambios en la cantidad y distribución de las precipitaciones. En el año 2015, una disminución del 35 % de las lluvias y un déficit de estas en 9 de los 12 meses de ese año permitieron evidenciar el estrecho equilibrio entre la oferta y la demanda de agua que la población nativa culturalmente ha construido alrededor de las lluvias. Sea por medio de la captación en techos o del uso de pozos para su extracción en acuíferos, residentes y turistas dependen de las precipitaciones para satisfacer la demanda de agua que el Estado no suplente eficientemente a través de pozos autorizados para el abastecimiento público.

El análisis de la oferta de agua subterránea con respecto a la capacidad de infiltración de sus acuíferos y las precipitaciones anuales permitió demostrar que, con los escasos 17,3 km² de área efectiva de recarga y en condiciones normales de lluvias, la isla logra almacenar en acuíferos suficiente agua para atender la demanda hídrica de la población turística y residencial. A excepción de los años 2009, 2013 y 2015, e independientemente de las anomalías climatológicas, la cantidad de agua ofertada de acuíferos —y de esta, la que el Estado permitió extraer para abastecer la demanda desde 2016— ha sido suficiente. Se ha encontrado para este mismo período que la causa principal del

déficit hídrico ha sido por deficiencias operacionales, especialmente del acueducto, donde las fugas en redes tuvieron mayor responsabilidad.

En consecuencia, se concluye que, dado que los requerimientos hídricos en la mayoría de los años han sido superiores al agua distribuida a través de los operadores autorizados por el Estado, la población se ha visto forzada a valerse de métodos artesanales para suplir el déficit de agua, lo que ha llevado, por una parte, a la masificación en la perforación de pozos domésticos, y por otra, a una mayor dependencia del almacenamiento de aguas lluvias. Esta cultura, que ha prevalecido por años, ha permitido que residentes y turistas cuenten con dos fuentes alternas al acueducto para cubrir sus necesidades hídricas. Ambas formas de aprovisionamiento son altamente dependientes del régimen de lluvias y, por tanto, un factor decisivo en el equilibrio entre la oferta y la demanda de agua en San Andrés.

El estudio del comportamiento de las lluvias anuales bajo eventos climatológicos adversos revela lo vulnerable de la población ante la disminución de las precipitaciones, pero más aún el riesgo inminente del acuífero a ser sobreexplotado. Para los años 2009, 2013 y 2015, se pudo observar cómo la recarga —y con ello la oferta natural de agua subterránea— se ubicó por debajo de los caudales de extracción autorizados por el Estado y, dicho sea de paso, con un crecimiento sostenido en la llegada de turistas mensuales desde el año 2014 y un descenso de las precipitaciones en ese mismo período, que estaría sumando al estrés hídrico de los acuíferos.

En el imaginario de la población está que el sector turístico requiere más agua que los residentes, sin embargo, se pudo establecer que estos últimos demandan un 73 % del total de los requerimientos hídricos anuales en San Andrés. El problema radica en el reparto inequitativo del agua disponible por medio

de los operadores autorizados por el Estado, puesto que los mayores caudales extraídos del acuífero son entregados en la zona norte, donde se concentra el 75 % de la población turística, lo cual pone en evidencia una de las principales causas del conflicto por el agua entre turistas y residentes.

Contrario a lo que se piensa, los registros de extracción de agua subterránea a través de pozos privados (legales) de hoteles demuestran que han ido disminuyendo en la última década y que se ha llegado a extraer hasta un 90 % menos de agua con relación a los caudales de 2008. Esta situación se atribuye, especialmente, a la entrada en operación del acueducto urbano en 2007 y al uso de plantas de desalinización individuales.

Con todo lo anterior, más que un factor determinante para la crisis del agua de 2016, el fenómeno de El Niño permitió revelar una realidad oculta en cuanto al manejo y la administración que por décadas se ha dado a la oferta natural de agua de acuíferos en la isla. Se concluye que el conflicto hídrico de 2016 se dio por una sumatoria de factores, entre los cuales está el turismo creciente de los últimos años. Pero el turismo no fue el más importante, puesto que se consideran de mayor relevancia, y como los principales responsables de la crisis, la reducción de precipitaciones en los tres años previos (2013-2015), que condujo a una disminución importante de las reservas naturales de agua, y el deficiente manejo de esta reserva por parte de las concesiones hídricas. Este hallazgo confirma las afirmaciones de Kelman (2018), Kelman y West (2009) y Lal et al. (2002) en estudios realizados para las islas del Caribe, en los que mencionan que los desequilibrios ambientales relacionados con el agua no deben ser atribuidos exclusivamente al cambio climático, dado que las fuentes hídricas ya se encuentran bajo estrés debido a las presiones antropogénicas actuales.

Se pudo corroborar que el fenómeno de El Niño tiene mayor incidencia en la disminución de precipitaciones a escala mensual que anual, en especial durante abril, agosto, junio, mayo y marzo, por lo cual, para futuras investigaciones se recomienda estudiar la estacionalidad turística para estos meses, puesto que es en ellos cuando hay mayor riesgo de desabastecimiento hídrico, por tanto, es de esperarse que en el primer semestre de los próximos años se tengan los mismos problemas hídricos que en 2016.

De no regular el crecimiento poblacional y turístico en la isla, se corre el riesgo de agotar las reservas de agua subterránea si se siguen usando los acuíferos como principal fuente de abastecimiento de agua potable en la isla, lo que implicaría que el modelo turístico actual sea insostenible en el futuro. De hecho, se pudo establecer que, de seguir las tendencias actuales de precipitación y demanda, la oferta hídrica de acuíferos a 2020 se igualaría a los requerimientos de agua de turistas y residentes para ese año, y, por tanto, el cubrimiento de la demanda por medio de esta fuente de agua sería insostenible; ello pone en evidencia el riesgo de desabastecimiento hídrico, pero, más aún, el deterioro irreversible de la principal fuente de agua de la isla por una posible intrusión marina.

Para hacer frente a las crisis hídricas próximas, es necesario mejorar la eficiencia en los sistemas de extracción, aprovechamiento y distribución de agua proveniente de acuíferos, y, de ser posible, ajustar las demandas hídricas del sector turístico en los meses más vulnerables ante eventuales cambios en la precipitación a causa del ENOS El Niño identificados en este estudio. No obstante, se concluye que es necesario estudiar otras fuentes de abastecimiento hídrico menos vulnerables a las alteraciones climáticas, como la desalinización de agua de mar, para garantizar así la oferta suficiente de agua que

soporte las demandas hídricas futuras de la población turística y residencial de la isla.

Referencias bibliográficas

Aguilera, F., Pérez, E. D. y Sánchez, J. (1998). Valoración ambiental del agua subterránea en un contexto insular: el caso de Tenerife (islas Canarias). *Agricultura y Sociedad*, 86, 223-248.

Amelung, B., Nicholls, S. y Viner, D. (2007). Implications of global climate change for tourism flows and seasonality. *Journal of Travel Research*, 45(3), 285-296. DOI: 10.1177/0047287506295937

American Psychological Association. (2010). *Manual de publicaciones de la American Psychological Association* (6.ª ed.) (Trad. M. G. Frías) México: El Manual Moderno.

Andreo, B., Vías, J., López-Geta, J. A., Carrasco, F., Durán, J. y Jiménez, P. (2004). Propuesta metodológica para la estimación de la recarga en acuíferos carbonáticos. *Boletín Geológico Minero*, 115(2), 177-186. Recuperado de http://aiplanetatierra.igme.es/Boletin/2004/115_2_2004/ARTICULO%201.pdf

Ángel & Rodríguez Ingenieros Ltda. (1997). *Plan Director de Acueducto y Alcantarillado para San Andrés, Providencia y Santa Catalina al año 2027*. San Andrés.

Base de datos de CORALINA. (2016 y 2017).

Bedoya, M., Contreras, C. y Ruiz, F. (2011). Alteraciones del régimen hidrológico y de la oferta hídrica por variabilidad y cambio climático. En IDEAM (ed.), *Estudio nacional del agua 2010* (pp. 281-319). Bogotá: IDEAM.

Brida, J. G., Monterubbianesi, P. D. y Zapata-Aguirre, S. (2011). Impactos del turismo sobre el crecimiento económico y el desarrollo. El caso de los principales destinos turísticos de Colombia. *PASOS*, 9(2), 291-303. DOI: 10.25145/j.pasos.2011.09.026

Cámara de Comercio de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. (30 de agosto de 2017). www.camarasai.org. Recuperado de <http://www.camarasai.org/investigaciones-y-publicaciones/visitantes-a-la-isla>

CDM Smith-INGESAM. (2016). *Plan Director del Recurso Hídrico de San Andrés-PDRH*. San Andrés: Findeter. Recuperado de <http://www.observatorio.biosferaseaflower.org/index.php/es/publicaciones/item/477-plan-director-del-recurso-hidrico-de-san-andres-pdrh>

Congreso de Colombia. (21 de diciembre de 1959). Ley 127 de 1959. Sobre puerto libre de San Andrés. D. O. 30136, del 29 de diciembre de 1959. Recuperada de <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1647466>

CORALINA. (1999). *Plan de Manejo de Aguas Subterráneas de la Isla de San Andrés*. San Andrés: Autor.

CORALINA-INAP. (2010). *Modelación del acuífero de San Andrés islas*. San Andrés: Universidad Nacional Sede Medellín.

CORALINA-INVEMAR. (2012). *Atlas de la reserva de biosfera Seaflower. Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina* (Serie de Publicaciones Especiales del INVEMAR, n.º 128). Santa Marta: CORALINA-INVEMAR.

Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina. (29 de abril de 2005). Resolución 416 de 2005. Por la cual se dictan medidas de preservación y control de las aguas subterráneas de la isla de San Andrés. D. O. 46.531, del 3 de enero de 2007. Recuperada de http://www.avancejuridico.com/actualidad/documentosoficiales/2007/46531/r_coralina_0416_2005.html

Custodio, E. (1981). Evaluación y causas de la contaminación por invasión marina en los acuíferos de la costa peninsular y en sus áreas insulares. En Curso Internacional de Hidrología

Subterránea (ed.), *Análisis y evolución de la contaminación de las aguas subterráneas en España. Tomo 1* (pp. 447-506). Barcelona: CIHS. Recuperado de <https://www.ircwash.org/sites/default/files/71CIHS81-263.pdf>

Custodio, E. y Llamas, M. R. (1996). *Hidrología subterránea* (Vol. 1, 2.^a ed.). Barcelona España: Omega S. A.

DANE. (2005a). *Censo general*. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-general-2005-1>

_____. (2005b). *Estimaciones y proyecciones de población. Estimación y proyección de población nacional, departamental y municipal total por área 1985-2020*. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>

_____. (2005c). *Estimaciones y proyecciones de población. Proyecciones de población total por sexo y grupos de edad de 0 hasta 80 y más años (2005-2020)*. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>

DANE y Banco de la República. (2007). *Informe de Coyuntura Económica Regional Departamento de San Andrés Isla*. Bogotá: Departamento de Documentación y Editorial Banco de la República. Recuperado de https://www.dane.gov.co/files/icer/2007/sanandres_icer_07.pdf

_____. (2014). *Informe de Coyuntura Económica Regional: Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina*. San Andrés: DANE y Banco de la República.

DNP. (6 de diciembre de 1999). *Documento Conpes 3058. Estrategia del Gobierno nacional para apoyar el desarrollo del departamento Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina*. Bogotá: DNP. Recuperado de

<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/CONPES/Econ%C3%B3micos/3058.pdf>

Girvan, N. (1997). *Societies at risk? The Caribbean and global change*. Trabajo presentado en la Caribbean Regional Consultation on the Management of Social Transformations. Programa de la UNESCO, Kingston. Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0011/001107/110757Eo.pdf>

Gobernación Departamental. (2004). *Informe de resultados de actualización y sistematización del censo y diagnóstico sanitario de viviendas en San Andrés isla*. San Andrés islas.

Howard, M. y Nicholson, D. (2012). Población, tenencia de la tierra y aspectos socioeconómicos en la isla de San Andrés. En CORALINA-INVEMAR (eds.), *Atlas de la reserva de biósfera Seaflower. Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina* (pp. 160-165) (Serie de Publicaciones Especiales del INVEMAR, n.º 28). Santa Marta: INVEMAR y CORALINA. Recuperado de <http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/10447AtlasSAISeaflower.pdf>

IDEAM. (2007). *Modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia*. Bogotá: IDEAM. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/440517/Modelo+Institucional+El+Ni%C3%B1o+-+La+Ni%C3%B1a.pdf/232c8740-c6ee-4a73-a8f7-17e49c5edda0>

_____. (2013). *Aguas subterráneas en Colombia: una visión general*. Bogotá: IDEAM.

_____. (2014). *Determinación de un rango normal para la precipitación—Análisis comparativo entre los umbrales de normalidad (80-120 %) y (90-110 %)*. Bogotá: IDEAM. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/Nota+T%C3%A9cnica+-+Umbrales+de+Normalidad.pdf/2909eb15-ccd1-4c30-a20f-a50922a3514e>

- _____. (2015). *Estudio Nacional del Agua*. Bogotá: IDEAM. Recuperado de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf
- _____. (2016). *Anuario climatológico 2016*. Bogotá: IDEAM.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP y Cancillería. (2015). *Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011-2100. Herramientas científicas para la toma de decisiones – Enfoque nacional-regional: Tercera comunicación nacional de cambio climático*. Bogotá: IDEAM y ONU. Recuperado de https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Nuevos%20Escenarios%20de%20Cambio%20Climatico%20para%20Colombia%202011_2100.pdf
- INGEOMINAS. (1997). *Caracterización de la modelación del régimen de las aguas subterráneas*. Bogotá: INGEOMINAS.
- Jones, I. C., Banner, J. L. y Mwansa, B. J. (1998). Geochemical constraints on recharge and groundwater evolution: The Pleistocene limestone aquifer of Barbados. En R. I. Segarra-García (ed.), *Proceedings: Tropical hydrology and Caribbean water resources. Third International Symposium on Tropical Hydrology and Fifth Caribbean Islands Water Resources Congress* (pp. 9-14). USA: American Water Resources Association (AWRA). Recuperado de <http://www.jsjg.utexas.edu/banner/files/geochem-constraints-on-recharge.pdf>
- Kelman, I. (2018). Islandness within climate change narratives of small island developing states (SIDS). *Island Studies Journal*, 13(1), 149-166. Recuperado de <https://www.islandstudies.ca/sites/default/files/ISJKelmanClimateChange-NarrativesSIDS.pdf>
- Kelman, I. y West, J. (2009). Climate change and small island developing states: A critical review. *Ecological and Environmental Anthropology*, 5(1). Recuperado de <http://ilankelman.org/articles1/eea2009.pdf>
- Lal, M., Hrasawa, H. y Takahashi, K. (2002). Future climate change and its impacts over small island states. *Climate Research*, 19, 179-192. DOI: 10.3354/cr019179
- López-García, J. M. y Mateos, R. M. (2003). La intrusión marina en los acuíferos de la isla de Mallorca. En J. A. López Geta, J. Gómez-Gómez, V. de la Orden, G. Ramos y L. Rodríguez (eds.), *Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: países mediterráneos* (Serie: Hidrogeología y Aguas Subterráneas, n.º 8) (pp. 383-392). Madrid: IGME.
- López-Geta, J. A. y Gómez, J. (2007). La intrusión marina y su incidencia en los acuíferos españoles. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15(3), 266-273.
- Meisel Roca, A. (2003). *La continentalización de la isla de San Andrés, Colombia: panyas, raizales y turismo, 1953-2003* (Documentos de Trabajo sobre Economía Regional, n.º 37). Cartagena de Indias: Centro de Estudios Económicos Regionales, Banco de la República. Recuperado de <http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/DTSER37-SanAndres.pdf>
- Nurse, L. A. et al. (2001). Small island States. En J. J. McCarthy, O. F. Canziani, N. A. Leary, D. J. Dokken y K. S. White (eds.), *Climate change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability* (pp. 843-875). Cambridge: Cambridge University Press.
- Olcina Cantos, J. (2012). Turismo y cambio climático: una actividad vulnerable que debe adaptarse. *Investigaciones Turísticas*, 4, 1-34. DOI: 10.14198/INTURI2012.4.01
- OMT. (2015). *Panorama OMT del turismo internacional. Edición 2015*. Madrid: OMT. DOI: 10.18111/9789284416875
- ONU. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Recuperado

de <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

Presidencia de la República de Colombia. (28 de julio de 1978). Decreto 1541 de 1978. Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974: “De las aguas no marítimas”, y parcialmente la Ley 23 de 1973. Recuperado de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1250>

_____. (9 de mayo de 2007). Decreto 1575 de 2007. Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Recuperado de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=30007>

Pulido-Fernández, J. I. y López-Sánchez, Y. (2014). Turismo y cambio climático. *Revista de Economía Mundial*, 36, 257-283. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/866/86632963010.pdf>

Rico Amorós, A. M. (2004). Sequías y abastecimientos de agua potable en España. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 37, 137-181. Recuperado de <http://age.ieg.csic.es/boletin/37/07-SEQUIAS.pdf>

Romero, A. (2013). La CELAC y los países caribeños. En A. Bonilla Soria e I. Álvarez Echandi (eds.), *Desafíos estratégicos del regionalismo contemporáneo: CELAC e Iberoamérica* (pp. 99-110). San José de Costa Rica: FLACSO y AECID. Recuperado de <http://www.aecid.es/Centro-Documentacion/Documentos/Publicaciones%20coeditadas%20por%20AECID/Desaf%C3%ADos%20estrat%C3%A9gicos%20CELAC.pdf>

Schosinsky, G. (2006). Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. *Revista Geológica de América Central*,

34-35, 13-30. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/454/45437342002.pdf>

Shultz, J. M., Cohen, M. A., Hermosilla, S., Espinel, Z. y McLean, A. (2016). Disaster risk reduction and sustainable development for small island developing states. *Disaster Health*, 3(1), 32-44. DOI: 10.1080/21665044.2016.1173443

Taylor, E., Howard, M., Medina, R. y Bent, O. (2012). Gestión ambiental en la reserva de la biosfera Seaflower, archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Caribe occidental, Colombia. En CORALINA-INVEMAR (eds.), *Atlas de la reserva de biósfera Seaflower. Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina* (pp. 13-34) (Serie de Publicaciones Especiales del INVEMAR, n.º 28). Santa Marta: INVEMAR y CORALINA.

UNESCO. (s. f.). *Biosphere reserves – Learning sites for sustainable development*. Recuperado de <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/ecological-sciences/biosphere-reserves/>

Universidad Nacional de Colombia. (2010). *Modelación del acuífero de San Andrés islas*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

Velásquez, C. (2018). Making sense of the 2016 water crisis in San Andrés, a Colombian Caribbean island. *Anais Brasileiros de Estudos Turísticos: ABET*, 8(3), 59-73.

Vélez, M. V. y Vásquez, L. M. (2010). *Métodos para determinar la recarga en acuíferos*. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/4442/1/EA3760.pdf>