

CAPÍTULO II:

El estado del ambiente costarricense



Contenido

1.1 Características Biofísicas	9
1.1.1 Atmósfera, clima y condiciones meteorológicas	9
1.1.2 Características hidrográficas	10
1.1.3 Características geológicas, geomorfológicas y geográficas	12
1.1.4 Características del suelo	13
1.2 Cobertura Terrestre, Ecosistemas y Biodiversidad	14
1.2.1 Estado de las coberturas terrestres	14
1.2.2 Estado de los ecosistemas	15
1.2.3 Estado de la biodiversidad	16
1.2.4 Estado de los bosques	19
1.3 Estado de la Calidad Ambiental	20
1.3.1 Estado de la calidad del aire	20
1.3.2 Estado de la calidad del agua dulce	22
1.3.3 Estado de la calidad del agua marina	23
1.3.4 Estado de la calidad del suelo	23
1.4 Estado de los Recursos Naturales	24
1.4.1 Uso de la Tierra	24
1.4.2 Recursos Maderables	25
1.4.3 Recursos Acuáticos	26
1.4.4 Recursos biológicos silvestres, no cultivados (excepto los de pescado y madera)	29
1.4.5 Recursos Hídricos	30
1.4.6 Extracción, uso y vertidos de agua	31
1.5 Conclusión	32
2.1 Características de la Atmósfera, clima y condiciones meteorológicas	38
2.1.1 Temperaturas	38
2.1.2 Precipitaciones	43
2.1.3 Radiación solar	46
2.1.4 Radiación Ultravioleta (UV)	49
2.1.5 Ocurrencia de los eventos de El Niño y la Niña	50
2.2 Características Hidrográficas	52

2.3 Características geológica y geográfica	68
2.3.1 Geografía	68
2.3.2 Terrestres	68
2.3.3 Marinas	71
2.3.4 Geología de la Isla del Coco	71
2.3.5 Geomorfología Isla del Coco	72
2.3.6 Área Costera	73
2.3.7 Longitud de la línea costera	75
2.4 Características del suelo	82
2.4.1 Degradación de suelos	83
2.4.2 Contenido de nutrientes del suelo.	84
3.1 Estado de las Coberturas terrestres	87
3.1.1 Uso/Cobertura 1992	88
3.1.2 Cobertura/uso 2000	89
3.1.3 Cobertura/Usó 2005	90
3.1.4 Cobertura 2010	90
3.1.5 Cobertura/uso 2013	91
3.1.6 Censo 2014	91
3.2 Estado de los Ecosistemas	96
3.2.1 Extensión y características generales de los ecosistemas	96
3.2.2 Características físicas y químicas de los ecosistemas	99
3.2.3 Componentes biológicos de los ecosistemas	101
3.3 Estado de la Biodiversidad	101
3.3.1 Flora	105
3.3.2 Fauna	106
3.3.3 Áreas protegidas	109
3.3.4 Especies endémicas	110
3.3.5 Especies amenazadas y extintas	110
3.3.6 Especies introducidas o exóticas	110
3.3.7 Amenazas a la biodiversidad	111
3.3.8 Diversidad genética y recursos filogenéticos	111
3.4 Estado de los Bosques	113

3.4.1 Esfuerzos nacionales para estimar la cobertura forestal	113
3.4.2 Cobertura forestal en Costa Rica en las últimas dos décadas y sus características	113
3.4.3 Deforestación y degradación de bosques en Costa Rica	115
3.4.4 Beneficios brindados por los bosques	115
3.4.5 El ciclo del carbono en los bosques: valores de biomasa y secuestro de dióxido de carbono	116
3.4.6 El Inventario Nacional Forestal	117
4.1 Estado de la Calidad del aire	119
4.1.1. Las partículas respirables como indicador de la calidad del aire	119
4.1.2 La Calidad del Aire en el Área Metropolitana 1993-2015	120
4.1.3 El aporte del sector transporte en la calidad del aire	125
4.1.4 Emisiones de Gases Efecto Invernadero	125
4.1,5 Tendencias de las emisiones de Gases Efecto Invernadero	126
4.1.6 La calidad de aire y el sector agrícola	127
4.1.7 La Industria Química y el impacto en el aire	129
4.2 Estado de la Calidad del agua dulce	136
4.2.1 Cobertura de acceso al Agua Potable	139
4.2.2 Materia orgánica en cuerpos de agua dulce	142
4.2.3 Patógenos	142
4.2.4 Metales	143
4.2.5 Contaminantes orgánicos (ej., PCBs, DDT, pesticidas, furanos, dioxinas, fenoles y desechos radioactivos)	145
4.2.6 Características físicas y químicas:	145
4.3 Estado de la Calidad del agua marina	148
4.3.1 Desechos sólidos, plásticos	148
4.3.2 Materia orgánica, contaminación fecal, y patógenos	149
4.3.3 Metales pesados	150
4.3.4 Contaminantes orgánicos	150
4.3.5 Derrames de petróleo	150
4.3.6 Mareas rojas	151
4.3.7 Contaminación en aguas profundas	151

4.3.8 Contaminación acústica marina	152
4.4 Estado de la Calidad del suelo	153
4.4.1 Contaminación de suelos	153
4.4.2 Erosión y desertificación.	154
4.4.3 Recursos minerales no energéticos.	158
5.1 Uso de la Tierra	160
5.1.1 Área de uso de la tierra	160
5.1.2 Área de uso de aguas interiores	161
5.2.1.3 Propiedad de la tierra	161
5.1.4 Áreas de trabajo de productores orgánicos.	162
5.1.5 Áreas de suelo bajo administración forestal sostenible.	163
5.1.6 Áreas de tierra bajo agroforestería	164
5.1.7 Cambio de uso de la tierra.	164
5.2 Recursos maderables	168
5.2.1 Fuentes de producción de madera en Costa Rica	168
5.2.2 Consumo aparente de madera en Costa Rica	169
5.2.3 Usos de la madera en Costa Rica	169
5.2.4 Valor agregado y empleo de la industria forestal nacional	170
5.2.5 Balanza comercial de la madera y sus derivados en Costa Rica	170
5.3 Recursos Acuáticos	176
5.3.1 Captura-producción pesquera	176
5.3.2 Producción Acuícola	176
5.3.3 Importaciones de pescado y productos pesqueros	177
5.3.4 Exportaciones de pescado y productos pesqueros	177
5.3.5 Recursos pesqueros (natural; cultivo)	178
5.4 Recursos biológicos silvestres, no cultivados (excepto los de pescado y madera)	181
5.4.1 Permisos para la caza regulada y la captura de animales silvestres	181
5.4.2 Importación de especies en peligro de extinción	182
5.4.3 Exportación de especies en peligro de extinción	185
5.4.4 Reporte de animales muertos o atrapados por comida o venta	186
5.4.5 Productos forestales no maderables y otras plantas	187

5.5 Recursos Hídricos	187
5.5.1 Datos para un Balance Hídrico del país	189
5.5.2 Avances generales para la Gestión del Recurso Hídrico	192
5.6 Extracción, uso y vertidos de agua	194

Índice de Cuadros

Cuadro N° 1 Promedios anuales de diversas variables por región climática. Costa Rica, 2012	43
Cuadro N° 2 Variación del periodo 1991-2005 con respecto a la línea base. Costa Rica	45
Cuadro N° 3 Longitud de los 25 ríos más extensos de Costa Rica	64
Cuadro N° 4 Área y porcentaje del territorio nacional correspondiente a las 8 cuencas hidrográficas más grandes del país	65
Cuadro N° 5 Anomalías en el nivel del mar en diferentes puntos de interés (diciembre 1992 – diciembre 2011).	66
Cuadro N° 6 Extracción total de agua en millones m ³ /año.	67
Cuadro N° 7 Formación Geológica del Territorio de Costa Rica	79
Cuadro N° 8 Unidades Geomórficas Territorio de Costa Rica	79
Cuadro N° 9 Clasificación de Suelos. Costa Rica.	86
Cuadro N° 10 Áreas por cobertura/uso en Costa Rica para el año 1992.	93
Cuadro N° 11 Área por cobertura/uso en Costa Rica para el año 2000.	93
Cuadro N° 12 Distribución porcentual de la cobertura forestal/no forestal por provincia para Costa Rica en el 2000.	94
Cuadro N° 13 Área por cobertura en Costa Rica para el año 2005.	94
Cuadro N° 14 Área por cobertura en Costa Rica para el año 2010.	95
Cuadro N° 15 Distribución porcentual de la cobertura forestal/no forestal por provincia para Costa Rica en el año 2010	95
Cuadro N° 16 Área por cobertura/uso en Costa Rica para el año 2013.	96
Cuadro N° 17 Tipo de uso de la tierra según el censo agropecuario de 2014.	96
Cuadro N° 18 Porcentaje de distribución de los tipos de uso de la tierra en las provincias del país.	97
Cuadro N° 19 Valores normados para los contaminantes del aire en Costa Rica según decreto 30221-S.	133
Cuadro N° 20 Variación de promedios anuales de la concentración de PM ₁₀ en los dos sitios de muestreo ubicados en la ciudad de San José (2004.2008)	133
Cuadro N° 21 Evolución de los promedios anuales de partículas PM ₁₀ (µg/m ³) obtenidas en el Área Metropolitana de Costa Rica (2008-2012).	134
Cuadro N° 22 Evolución de los promedios anuales de partículas PM ₁₀ (µg/m ³) obtenidas en el Área Metropolitana de Costa Rica (2013-2015)	134

Cuadro N° 23 Emisiones de CO ₂ e de los subsectores de acuerdo al inventario de emisiones 2012.	135
Cuadro N° 24 Emisión de gases efecto invernadero como CO ₂ equivalente para el año 2012 según sector	136
Cuadro N° 25 Emisión total de gases efecto invernadero según sector económico en el año 2012.	136
Cuadro N° 26 Consumo de Sustancias Agotadoras del Ozono (SAO) entre los años 2010 y 2014 (Toneladas ODP)	136
Cuadro N° 27 Acciones establecidas en la Ley 9391, Convenio MINAMATA sobre el mercurio	137
Cuadro N° 28 Suministro de agua potable según operador	142
Cuadro N° 29 Agua para consumo humano, período 2015. Estimación general de cobertura y calidad en Costa Rica	142
Cuadro N° 30 Riesgos por contaminación química del 2001-2016	149
Cuadro N° 31 Tasa de deforestación 1980-2010. Costa Rica	168
Cuadro N° 32 Cultivo orgánico certificado	169
Cuadro N° 33 Distribución de los pagos por servicios ambientales	169
Cuadro N° 34 Cobertura del suelo según tipo. Año 2015	169
Cuadro N° 35 Evolución de la cobertura del suelo de Costa Rica, 1987-2013.	170

Índice de Gráficos

Gráfico N° 1 Promedio de temperatura de la superficie de la tierra para América Central	42
Gráfico N° 2 Temperatura más alta registrada de la superficie de la tierra para América Central	42
Gráfico N° 3 Temperatura más baja registrada de la superficie de la tierra para América Central	43
Gráfico N° 4 Brillo solar promedio por región. Costa Rica	49
Gráfico N° 5 Brillo solar promedio promedio anual por región. Costa Rica	49
Gráfico N° 6 Impacto mensual del Índice de ENOS, 2015-2016	52
Gráfico N° 7 Eventos de El Niño 1982-1983, 1997-1998, 2015-2016. Costa Rica	52
Gráfico N° 8 Concentraciones de material particulado PM ₁₀ en la capital de Costa Rica entre los años 1997 y 2002	132
Gráfico N° 11 Relación general de resultados conformes con resultados no conformes para todos los sistemas verificados en las 2015 regiones Huetar Atlántica y Pacífico Central	149
Gráfico N° 13 Fuentes de abastecimiento de madera en Costa Rica (m ³)	174
Gráfico N° 14 Fuentes principales de consumo de madera en Costa Rica (m ³)	175
Gráfico N° 15 Principales usos de la madera en Costa Rica (m ³)	175
Gráfico N° 16 Valor agregado por el uso de la madera en Costa Rica (USD)	176
Gráfico N° 17 Empleo forestal en Costa Rica (número de empleos directos)	176
Gráfico N° 18 Balanza comercial de la madera y sus derivados en Costa Rica (USD)	177

Índice de Mapas

Mapa N° 1 Temperatura media anual en Costa Rica, 2015	44
Mapa N° 2 Precipitación promedio anual. Costa Rica	47
Mapa N° 3 Brillo solar anual en Costa Rica	50
Mapa N° 4 Cuerpos de Agua. Costa Rica	54
Mapa N° 5 Cauces y drenajes de todos los ríos del país. Costa Rica	56
Mapa N° 6 Cuencas hidrográficas de Costa Rica	58
Mapa N° 7 Límites marinos. Costa Rica	61
Mapa N° 9 Mapa Geológico de Costa Rica	78
Mapa N° 10 Geomorfología de Costa Rica	81
Mapa N° 11 Geomorfología Isla del Coco	82
Mapa N° 12 Ordenes de suelos. Costa Rica	87
Mapa N° 13 Mapa de cobertura de suelo para Costa Rica. 1996-1997	90
Mapa N° 14 Cobertura y uso de la tierra, 2010	167

Índice de Recuadros

Recuadro 1 Proyecto de Exploración y Evaluación de Aguas Subterráneas en la República de Costa Rica	12
Recuadro 2 El aporte del Herbario de la Universidad de Costa Rica (USJ), a la biodiversidad.	17
Recuadro 3 La importancia de la pesca deportiva como método de control de especies invasoras, el caso del Pez León.	29
Recuadro 4 Nuevas especies de importancia para la herpetología nacional	104
Recuadro 5 El Museo de Zoología de la Universidad de Costa Rica (MZUCR), y su aporte a la Investigación	110
Recuadro 6 El cultivo de la Piña en Costa Rica	158
Recuadro 7 La importancia del Pez Sierra en la vida marina de Costa Rica	185

1. Introducción

El presente capítulo muestra el Estado del Ambiente en Costa Rica con datos obtenidos de los últimos 15 años (2002-2017). El capítulo se divide en cuatro secciones: 1) Características Biofísicas, 2) Estado de la Cobertura Terrestre, Ecosistemas y Biodiversidad, 3) Estado de la Calidad Ambiental, y 4) Estado de los Recursos Naturales. El objetivo de este capítulo es presentar un panorama general, pero comprehensivo del ambiente costarricense a partir de la información confiable disponible. La información del capítulo II servirá de base para fundamentar los capítulos posteriores de este informe que detallan tanto las presiones como las políticas y acciones sobre el ambiente costarricense, para poder lograr una evaluación integrada, lo más actualizada posible, del ambiente costarricense basada en indicadores.

1.1 Características Biofísicas

La primera sección sobre Características Biofísicas posee cuatro apartados: 1) Características de la atmósfera, clima y condiciones

meteorológicas; 2) Características hidrográficas; 3) Características geológicas, geomorfológicas y geográficas; y 4) Características del suelo. Las características biofísicas del ambiente tienden a ser relativamente constantes a lo largo del tiempo. Sin embargo, en esta sección se observarán datos que alertan a fluctuaciones significativas en algunas de estas características. También se hará nota de algunos vacíos de información confiable sobre las características biofísicas del ambiente costarricense, deficiencias que se resaltan para promover mejoras en los mecanismos de medición de estos datos.

1.1.1 Atmósfera, clima y condiciones meteorológicas

En el apartado sobre características de la atmósfera, clima y condiciones meteorológicas, se describen las principales regiones climáticas del país. Particularmente, se menciona que entre 1990 y 2005 las temperaturas han aumentado en la mayoría de las regiones (IMN, 2008), y entre 2012 y 2015 el promedio anual de lluvia en Costa Rica aumentó de 2.047,6 mm a 3.402,0 mm (INEC, 2015). Se observa además, que los eventos hidrometeorológicos

extremos, que incluyen fuertes lluvias y sequías, aumentan en frecuencia, y que entre 1988 y 2009 estos le costaron al país \$US 1.161.422.141, afectando principalmente al sector de obras públicas y transporte y al sector agropecuario (Flores Verdejo et al., 2010). Parte importante de la variabilidad climática son los eventos del Niño y la Niña, también llamados ENOS (El Niño, Oscilación del Sur), que para el 2015 alcanzaron la más fuerte categoría.

Características como la radiación solar y la radiación ultravioleta muestran un patrón de variabilidad diurna, anual y geográfica, con las medidas de radiación solar más altas durante los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, y con los valores más altos registrados para la región del Pacífico Norte. La radiación ultravioleta, por su parte, muestra un patrón de variabilidad diurna con los valores más altos coincidiendo con la curva de la altura solar, alcanzando un valor máximo de 48W/m^2 en torno al mediodía local. Algunas características como la radiación solar no muestran una evolución en el tiempo, sin embargo, en este apartado se documenta como hay otras características de la atmósfera, clima y condiciones meteorológicas que sí han evolucionado, alcanzando valores extremos en algunos casos.

1.1.2 Características hidrográficas

En el segundo apartado, sobre características hidrográficas, se presenta información sobre lagos, lagunas, embalses, ríos, cuencas hidrográficas, mares, aguas subterráneas y glaciares. Los lagos y/o lagunas del país son numerosos pero pequeños, en comparación con los embalses. Se han identificado 8.461 lagos y/o lagunas (que son menos profundas que los lagos, y pueden ser permanentes o intermitentes) que suman 54Km^2 , y 24 embalses artificiales que suman 93Km^2 (IGN, 2017). Sobre los lagos y/o lagunas se menciona que muchos de ellos carecen de información respecto a su profundidad, y algunos ni siquiera tienen asignado un nombre. En cuanto a los embalses, cuyo fin es principalmente contribuir a la generación hidroeléctrica, se menciona el problema de la sedimentación que reduce su vida útil.

Las vertientes del Pacífico y del Atlántico drenan el país con numerosos ríos en 34 cuencas hidrográficas. El monitoreo de caudales es vital para poder establecer alertas tempranas que permitan prevenir posibles amenazas como inundaciones o sequías. Asimismo, menciona que estas mediciones son deficientes en el país. Las cuencas hidrográficas son consideradas como una excelente

forma de hacer planificación y gestión territorial. El país se ha esmerado por crear leyes para el manejo de sus 34 cuencas, sin embargo, existen grandes retos administrativos para encontrar coincidencias entre las divisiones político-administrativas y las cuencas hidrográficas, lo cual complica la gestión bajo enfoque de cuencas.

En cuanto a las características marino-costeras, esta sección anota como los límites del Mar Territorial y la Zona Económica Exclusiva de Costa Rica, que suman 589.683 km² (INCOPECA, 2006), contribuyen al tamaño total del país y representan importantes reservorios de recursos naturales. Sin embargo, estos límites siguen en contienda por diferencias que existen entre Costa Rica y Nicaragua sobre la interpretación y medición de estos límites marítimos. El país cuenta con 1.660 km de costa en el Pacífico y 212 km en la costa caribeña, con 69 estuarios, la

mayoría de ellos en la costa pacífica. Los estuarios son importantes ecosistemas para gran diversidad de especies. Con más de 1.800 km de costa, Costa Rica tiene posibilidades de ser impactado por el aumento en los niveles del mar provocado por los efectos del cambio climático. Estudios entre 1992 y 2011 detectan un aumento en el nivel del mar para la costa caribeña, pero una disminución en la costa pacífica (Bouroncle e Imbach, 2013). A pesar de la importancia para el país de tener claridad sobre futuros escenarios por estas posibles tendencias, se afirma que estas mediciones siguen siendo difíciles de lograr.

En el país se han identificado 61 acuíferos, sin embargo, existe poca información referente a la profundidad y salinidad de éstas. Para el país esta es información imprescindible para poder planificar el manejo y el cuidado del líquido vital.

Recuadro 1 Proyecto de Exploración y Evaluación de Aguas Subterráneas en la República de Costa Rica

Proyecto de Exploración y Evaluación de Aguas Subterráneas en la República de Costa Rica a realizarse con el Servicio Geológico de Estados Unidos –USGS- por sus siglas en inglés, dicho convenio firmado con el USGS es un Acuerdo de Cooperación Internacional, mediante el cual ese organismo apoyará al país con la identificación y ubicación de acuíferos, así como las zonas de recarga y descarga de aguas subterráneas, todo a nivel nacional, aplicando herramienta tecnológica no comercial de desarrollo y uso exclusivo de este organismo denominada WATEX; además colaborará con el desarrollo de capacidades y transferencia de tecnología a funcionarios e instituciones involucradas; todo lo cual, ejecutará sin costo comercial para el Estado Costarricense, en tanto, el país solamente debe cubrir algunos de los costos operativos e insumos requeridos, recursos dispuestos en la Dirección de Aguas.

El acuerdo se suscribe al amparo del Convenio General para la ayuda económica, técnica y para propósitos afines, suscrito entre el Gobierno de Costa Rica y el Gobierno de los Estados Unidos de América, confirmado por la Ley 3011, del 18 de julio de 1962 y Ley 7494, el 9 de noviembre de 2016.

Este organismo no es una entidad con fines de lucro comercial, sino más bien una agencia del Gobierno Federal de los Estados Unidos de Norteamérica, fundada en 1879, dedicada a la investigación de las ciencias naturales más grande del mundo y la principal fuente de conocimientos técnicos especializados mediante investigaciones en geología, hidrología, geografía y biología, líderes mundiales en la teledetección, siendo propietario, operador y distribuidor de la información generada por el satélite Landsat TMD; y que tiene como parte de su misión apoyar a otros países en la materia de su especialidad.

El resultado de esta colaboración permitirá a Costa Rica mejorar sustantivamente el conocimiento del agua subterránea a nivel nacional para abastecer de agua de calidad a la población y proporcionar la base para gestionar adecuadamente este recurso, minimizando impactos de sequías y cambio climático potencializando su aprovechamiento sostenible. En razón de lo cual, el Gobierno ha declarado de interés público este proyecto según decreto 40503-MP-MINAE.

Fuente: MINAE, 2017

1.1.3 Características geológicas, geomorfológicas y geográficas

El apartado sobre características geológicas, geomorfológicas y geográficas remite primeramente a la historia geológica del territorio nacional, con evidencias de que

hace más de 1.8 millones de años, durante el Cuaternario se formaron las cordilleras volcánicas actuales, con un vulcanismo activo en las cordilleras Tilarán, Central y Guanacaste (Denyer *et al*, 2000). Más recientemente, hace 10.000 años, durante el Pleistoceno, las partes altas se cubrieron con glaciares, particularmente en la Cordillera de Talamanca. El hecho

de que al menos tres cuartas partes del territorio nacional sean el resultado de procesos volcánicos (Flores, 2001), y por su situación geotectónica, no es de extrañar que Costa Rica sea una región sumamente activa en términos de sismicidad (Protti, Güendel y Malavassi, 2001).

Costa Rica cuenta con un amplio número de islas tanto litorales, como oceánicas, que en su conjunto suman 34.390 km² (Vargas 2008). Cabe destacar la Isla del Coco, cuya extensión territorial es de 24 km², situada a unos 500 km del litoral continental en el Océano Pacífico. Se constituyó Parque Nacional en 1978 y fue declarada Patrimonio Natural de la Humanidad por la UNESCO en 1997, e incorporada como Humedal de Importancia Internacional (RAMSAR) en 1998 (Bergoing, 2014).

Los arrecifes coralinos están entre los ecosistemas más importantes y más estudiados del país, destacándose por ser entre los más diversos del mundo. Sin embargo, se encuentran fuertemente amenazados, especialmente por los efectos de la sedimentación proveniente de actividades agroindustriales, esto ha provocado la mortalidad de arrecifes la cual en algunos casos supera el 80% (Morales *et al*, 2009). Los humedales costeros también se ven afectados por altos niveles de sedimentación y contaminación por agroquímicos. Sin embargo, los

estudios de contaminación son insuficientes para un monitoreo adecuado (INRECOSMAR/INBIO, 2001).

1.1.4 Características del suelo

Para el último apartado en la sección sobre las características biofísicas, se presenta el estado de los suelos en Costa Rica. Los suelos son vitales para la vida por su papel en la producción de alimentos, en la absorción y filtración del agua, y en el sostén de la flora y fauna, por lo que es necesario su manejo juicioso, ante las amenazas de degradación a las que están sujetos. Es por esto por lo que en 1998 se emite la Ley de Uso, Manejo y Conservación de Suelos (Ley No. 7779) y en el 2004 se elabora el Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Degradación de la Tierra en Costa Rica (PAN) por parte de la Comisión Asesora sobre Degradación de Tierras (CADETI). No obstante, los procesos de degradación del suelo afectan a una quinta parte del territorio nacional, causados por una docena de factores, entre ellos, el mal manejo de cuencas hidrográficas, la utilización de tierras no aptas para la producción agropecuaria, y desequilibrios hídricos y el mal uso y manejo de las tierras. Por otro lado, según el Inventario Nacional Forestal (INF *et al*, 2014), el país cuenta con un 52,4% de cobertura forestal de varios tipos, lo cual implica que ya se

está cumpliendo con el uso adecuado de áreas limitadas al uso forestal y de conservación (CADETI, 2000). Finalmente, se indica que a pesar de la utilidad de monitorear la fertilidad del suelo, estas mediciones no se realizan sistemáticamente.

1.2 Cobertura Terrestre, Ecosistemas y Biodiversidad

La segunda sección, sobre el estado de la Cobertura Terrestre, Ecosistemas y Biodiversidad, posee cuatro apartados: 1) Estado de las coberturas terrestres; 2) Estado de los ecosistemas; 3) Estado de la biodiversidad; y 4) Estado de los bosques. En contraste a la mayor parte de las características biofísicas de la primera sección, los fenómenos tratados en ésta son más sujetos a cambios en el corto plazo, producto de los tipos de manejo que reciben. Por lo tanto, buenas prácticas pueden ser vitales para su sostenibilidad en el tiempo, mientras que malos manejos pueden resultar en cambios, a veces irreversibles.

1.2.1 Estado de las coberturas terrestres

En el primer apartado, se presenta el estado de las coberturas terrestres, no sin antes indicar que esta

información está plasmada principalmente en mapas que actualmente presentan dificultades para su interpretación. Esto porque son elaborados mediante metodologías diferentes, con diferentes fuentes de información, o con discrepancias en el uso y cobertura. En este sentido, el país está haciendo un esfuerzo por tener un sistema de clasificación de uso y cobertura de la tierra armonizado a través del Sistema Nacional de Monitoreo de Cobertura y Uso de la Tierra, y Ecosistemas (SIMOCUTE).

Para 1992, la cobertura forestal era de 32,9%, mientras que el área dedicada a pastos era de 46,6% y la de agricultura 8,5%, para un total de 55,1% correspondiente a la cobertura agropecuaria (INEC, 2013). Es importante mencionar que desde la entrada en vigor de la Ley Forestal 7575 en el año de 1997, se prohíbe el cambio de uso de tierras con cobertura forestal. Para el año 2000, la cobertura agropecuaria había disminuido a 48,6%, mientras que la cobertura forestal del país ya era de 46,5%, siendo Limón la provincia con la mayor cobertura forestal con 69,2% (Sánchez et al, 2002). Para el primer Inventario Nacional Forestal (INF) del país, en 2014, la cobertura forestal asciende a 51,9%, mientras que los pastos para ese año representan aproximadamente el 24,0% de la cobertura (Programa REDD/CCAD-GIZ – SINAC, 2015).

Para el 2015, según datos del INEC (2015), los cultivos anuales suman 141.362,6 ha. De esta área el 58.539,7 ha son cultivos de arroz, 19.470,5 ha frijol, 15.768,9 ha maíz, y 15.044,49 ha de yuca. Por otra parte, el autor menciona que el área sembrada de cultivos permanentes asciende a 557.888,6 ha, y se destacan por sus cultivos de café (84.133,1 ha), palma aceitera (66.419,8 ha), caña de azúcar (65.062,0), banano (51.758,1 ha) y piña (37).

1.2.2 Estado de los ecosistemas

En el siguiente apartado sobre el estado de los ecosistemas se explica cómo Costa Rica, al formar parte del Istmo Centroamericano que une a América del Norte y América del Sur, separando los océanos Pacífico y Atlántico, y al estar dividida por dos vertientes, Pacífica y Caribe, por un cordón montañoso central que atraviesa al país de noroeste a sureste, cuenta con una alta diversidad de climas y ecosistemas (Herrera, 2016). Junto con su área marina de 589.683 km², que incluye el Mar Territorial y la Zona Económica Exclusiva en ambas costas (INCOPECA, 2006), los ecosistemas del país se agrupan en ecosistemas terrestres, ecosistemas dulceacuícolas y ecosistemas marino-costeros (Kappelle, 2016).

En los ecosistemas terrestres, destacan los ecosistemas boscosos que cubren 2.677.304 hectáreas, o lo que es equivalente al 53% del territorio continental del país. En las tierras bajas de Guanacaste y la península de Nicoya en el Pacífico Norte, se encuentra el bosque estacional seco, con una extensión aproximada de 234.164 hectáreas (Jiménez, Carrillo y Kappelle, 2016), o 4,6% de la cobertura boscosa total del país (MINAE-SINAC, 2013). En el Pacífico Central, el Valle Central y parte del Pacífico Sur predomina el bosque estacional húmedo (Jiménez y Carrillo, 2016), siendo este uno de los ecosistemas terrestres más alterados de Costa Rica (Hartshorn, 1991). En las zonas caracterizadas por alta pluviosidad con más de 3.000 mm anuales, como la Península de Osa, las Llanuras del Caribe y la Zona Norte, se encuentran los bosques húmedos y lluviosos siempreverdes (Gilbert *et al.*, 2016; Hartshorn, 1991; McClearn *et al.*, 2016). El bosque nuboso montano se presenta entre los 500 y los 3.500 m.s.n.m en áreas con bajas temperaturas durante todo el año (Kappelle, 2016). En las cumbres del Cerro de la Muerte y el Cerro Chirripó, por encima de los 3.000 m.s.n.m., se encuentran los páramos con vegetación predominantemente arbustiva (Kappelle y Horn, 2016). Costa Rica también posee un gran número de humedales, doce de ellos declarados sitios RAMSAR de importancia internacional (Springer *et al.*, 2014).

El país también cuenta con una gran riqueza de ecosistemas marino-costeros. Por ejemplo, la Isla del Coco tiene un área marina protegida de 1.997 km², la cual alberga uno de los ecosistemas arrecifales más productivos y biodiversos del Pacífico Oriental Tropical (Cortés, 2016a). Por otro lado, los ecosistemas costeros continentales reciben altas descargas de sedimentos, impactando negativamente el crecimiento de arrecifes coralinos (Cortés, 2016).

Costa Rica, a pesar de su corta extensión geográfica, alberga cerca de 90.000 especies terrestres, aproximadamente el 4,5% de la biodiversidad mundial (Obando-Acuña, 2002). Entre las especies terrestres de Costa Rica se cuenta con 912 especies de aves, 243 especies de mamíferos, 235 especies de reptiles, 182 especies de anfibios, además de 65.883 especies de insectos, 4.256 especies de otros invertebrados, 838 especies de peces marinos en el Pacífico, 625 en el Caribe y 250 especies de peces de agua dulce, así como 10.979 especies de plantas, 564 especies de algas, unas 1.377 especies de líquenes, y 2.000 especies de hongos, (Angulo et al, 2013; Bussing y López, 2009; MINAE-SINAC, 2000 y Sandoval y Sánchez 2014). A esta riqueza se suman 6.500 especies marinas, lo que representa un 3,5% de las especies marinas reportadas en el mundo.

Alrededor de 90 de estas especies marinas son endémicas, la mayoría provenientes de la Isla del Coco (Cortés y Wehrtmann, 2009).

1.2.3 Estado de la biodiversidad

En el apartado sobre biodiversidad, se explica que al hablar de biodiversidad normalmente se hace referencia a las especies u organismos vivos que se encuentran en un sitio, pero que también puede incluir tanto la diversidad genética dentro de los organismos, como la diversidad de hábitats y de ecosistemas. En Costa Rica se estima que habitan más de 94.753 especies, o aproximadamente el 5% de todas las especies conocidas globalmente, lo cual ubica a Costa Rica como el país de mayor densidad de especies (número de especies por área de territorio) (INBIO, 2004; MINAE, 2015). Costa Rica es reconocida a nivel mundial por sus logros en conservación de la biodiversidad. En el 2015 el país oficializó la Política Nacional de Biodiversidad mediante el decreto ejecutivo N.º 39118-MINAE (MINAE, 2015).

Se estima que hay más de 12.000 especies de plantas terrestres en el país, de las cuales ya se han descrito más de 10.000 (Zamora, 2000; INBIO, 2004). En el 2012, Costa Rica emprende el primer Inventario

Nacional Forestal. Entre los ecosistemas en proceso de deterioro, se encuentran los bosques de palmas, los páramos y los manglares (MINAE, 2015). En cuanto a la diversidad florística marina, se ha reportado 707 especies, aunque muy posiblemente queden todavía muchas nuevas especies por

encontrar, particularmente de fitoplancton, algas bentónicas y hongos marinos (Guiry, 2012; Richards et al, 2012). Para resguardar la diversidad florística del país, Costa Rica cuenta con varios herbarios, de los cuáles el herbario del Museo Nacional es el más grande de Mesoamérica.

Recuadro 2 El aporte del Herbario de la Universidad de Costa Rica (USJ), a la biodiversidad.

El Herbario de la Universidad de Costa Rica (USJ) se fundó en 1931 como parte del entonces Centro Nacional de Agricultura. En 1940 se le asigna a la Universidad de Costa Rica la administración y custodia de las colecciones botánicas.

Actualmente, las colecciones del Herbario USJ están representadas por más de 115.000 especímenes de los diferentes grupos biológicos estudiados por la botánica tradicional, la gran mayoría de ellos de la flora costarricense.

Las Plantas Vasculares son la colección más numerosa con +80.000 especímenes, seguido por las colecciones de Hongos y Líquenes con +6.000 especímenes, las plantas No Vasculares y Briófitos con +5.000 especímenes, una colección de algas de +2.500 especímenes y una colección de frutos, flores y semillas en líquido o secas de +2.500 especímenes. Adicionalmente, cuenta con una colección de muestras “tipo” de aproximadamente 250 especímenes de gran valor científico porque respaldan las descripciones de especies nuevas para la ciencia (Comisión de Infraestructura Escuela de Biología, 2012).

Durante su existencia, las colecciones del Herbario han sido fuente de consulta para especialistas nacionales e internacionales en la taxonomía botánica y han servido como apoyo importante para el desarrollo de trabajos de tesis de pregrado y posgrado.

El USJ cuenta con curadores, investigadores y proyectos de investigación asociados en temas muy diversos como ecología, sistemática, evolución, filogenia, taxonomía y conservación de muchas de sus colecciones (Comisión de Infraestructura Escuela de Biología, 2012).

En el herbario se espera el aumento de las colecciones de algas con especímenes preservados en seco y en húmedo, así como muestras preservadas en silica gel, gracias a la incorporación reciente de una especialista en el grupo, lo cual aumentará el valor general de las colecciones y la posicionará como la colección de algas más importante del área centroamericana. Por otro lado, en un corto plazo se pretende iniciar una colección de muestras de polen o palinoteca, para ser utilizada en estudios de taxonomía de plantas y en investigaciones ecológicas y forenses, constituyendo una colección novedosa a nivel de país (Comisión de Infraestructura Escuela de Biología, 2012).

El material de las colecciones húmedas y secas permiten análisis genéticos que son de suma importancia para el desarrollo de investigaciones en la actualidad; por ejemplo, actualmente la investigadora y docente de la escuela de biología de la UCR, Ph.D. Cindy Fernández, se encuentra desarrollando una investigación con la tecnología de código de barras en algas rojas (Alfredo Cascante, Comu pers, 2017).

En sus inicios el Herbario no contó con las instalaciones físicas apropiadas para el mantenimiento de una colección biológica. Esta instancia se encuentra en el sótano de la escuela de biología, con presencia de tuberías viejas de agua en el cielorraso que han ocasionado inundaciones en la colección destruyendo o deteriorando especímenes, cuya recuperación y reparación ha consumido tiempo y recursos económicos adicionales. Además, el hacinamiento de las colecciones acelera su deterioro físico debido a la dificultad para manipulación de especímenes (Comisión de Infraestructura Escuela de Biología, 2012). Sin embargo, en el 2006 se adquirieron vagones móviles (compactadores) para almacenar las colecciones de plantas vasculares, sistema que permite ahorrar espacio.

Aun así, este equipo solo resolvió parcialmente el problema de almacenaje de la colección y los problemas de infraestructura continuaban vigentes.

Para solventar estas necesidades, los funcionarios del herbario establecieron ciertas prioridades dentro de la planificación del nuevo edificio que se está construyendo (2017) para la ampliación de la Escuela de Biología (Comisión de Infraestructura Escuela de Biología, 2012). Entre ellas un cuarto de montaje, áreas de trabajo y consulta de especímenes, oficina de informática y biblioteca, oficina para curadores, asistentes e investigadores y una sala de reuniones. Además, solicitaron la adecuada planificación con respecto a la ubicación y condiciones generales de la nueva instalación, así como las necesidades de mobiliario y equipo correspondiente. Alfredo Cascante, actual director del USJ, considera que esta ampliación suplirá las necesidades espaciales del herbario a mediano plazo, aproximadamente de 5 a 10 años en el futuro.

El herbario tiene necesidad de aumentar su personal técnico, administrativo y asistentes que colaboran con el mantenimiento de las colecciones; para esto actualmente realizaron una solicitud para contratar a una persona permanente encargada de parte de la colección de plantas vasculares. Además, han externado el requerimiento de más horas asistente para poner al día la información de las colecciones y bases de datos, así como darle seguimiento a ciertos trabajos particulares internos del herbario (Cascante, 2017).

Debido a la falta de actualización de la información en bases de datos interoperables, las colecciones del USJ actualmente no participan activamente en procesos de planificación de la gestión de la biodiversidad en el país. Sin embargo, uno de los esfuerzos que se está realizando para cambiar esta situación, consiste en un convenio entre el USJ y el Museo Nacional. Esta alianza pretende fomentar el intercambio de material, información, literatura, la facilidad de préstamo y donaciones, beneficiando a los usuarios de ambos reservorios. Esto se facilitará utilizando el sistema Specifi, el cual es un portal de información de código abierto, que funciona como una herramienta para acceso rápido de información. Además, bajo el marco de la celebración de los 60 años de la Escuela de Biología, se está planeando una exhibición a nivel de toda la unidad académica, que incluye las colecciones del USJ (Cascante, 2017).

Vale mencionar que el USJ funciona como una colección activa y que a partir del cierre del INBio y el descuido de otras colecciones privadas, actualmente éste y la colección del Museo Nacional son los únicos repositorios de consulta oficial a nivel nacional. El material del USJ es una colección institucional, que teóricamente debería estar en manos de las autoridades de la UCR, entre ellas las Vicerrectoría de Investigación y Vicerrectoría de Docencia. Sin embargo, por los vacíos legales existentes, la responsabilidad económica que mantiene esta instancia ha sido evadida por las anteriores, afectando el funcionamiento de la misma (Cascante, 2017).

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la USJ-UCR, 2017

En cuanto a la diversidad faunística de Costa Rica, el grupo más numeroso es el de los insectos, con un estimado de 360.000 especies, de las cuales 66.265 ya han sido descritas. En lo referente a los vertebrados, Costa Rica cuenta con 2.415 especies reportadas de las 3.011 estimadas para su territorio (INBIO, 2004). Con más de 6.071 especies de fauna marina, Costa Rica posee cerca del 3,5% de todas estas especies del planeta (Wehrtmann & Cortés, 2009). El país también cuenta con varias colecciones zoológicas necesarias para el registro de la biodiversidad faunística, como el Museo de Zoología de la Universidad de Costa Rica, el Museo Nacional y el Museo de Zoología de la Universidad Nacional.

Desde hace más de 30 años, Costa Rica inició la creación de un sistema de áreas silvestres protegidas para el resguardo de la biodiversidad nacional. Actualmente el país cuenta con 166 áreas protegidas que suman 2.855.973 ha, de las cuales 1.354.488 ha son terrestres y representan 26,51% del territorio terrestre nacional, mientras que 1.501.485 ha son marinas, representando el 49,54% de las aguas territoriales, aunque solo alrededor del 2,5% del territorio marino nacional (INEC-MINAE, 2015).

A pesar de estos esfuerzos, la biodiversidad del país continúa siendo amenazada, principalmente

por la pérdida de hábitat, la sobreexplotación, la contaminación, el cambio climático y las especies exóticas invasoras (MINAE, 2015). Se recalca la existencia de otras amenazas que incluyen: debilidades en legislación, insuficiencias en recursos humanos, falta de visión integral en el manejo de cuencas y ecosistemas, valoración deficiente de servicios ambientales del bosque, conocimiento científico limitado sobre el estado de la biodiversidad, fallas en el monitoreo ambiental, e incentivos perversos que conducen a la fragmentación o destrucción de los ecosistemas (MINAE, 2002).

1.2.4 Estado de los bosques

Profundizando sobre el estado de los bosques en Costa Rica, se indica que, en los últimos 30 años, políticas nacionales como los Programas de Pagos por Servicios Ambientales, han ayudado a revertir procesos de deforestación que venían desde mediados del siglo pasado, las cuáles han logrado que Costa Rica se posicione internacionalmente como país de vanguardia en cuanto a la conservación y mantenimiento de sus bosques. Según estimaciones de diferentes autores, en las últimas dos décadas, la cobertura de bosques ha aumentado en un 12,1% (Joyce y Sader, 1986; Sánchez-Azofeifa, 1996; CCT y CIEDES, 1998; Sánchez-Azofeifa, 2000; Sánchez-Azofeifa, Calvo-Alvarado, Foley, Arroyo,

Hamilton, y Jiménez, 2002; Sánchez-Azofeifa, Pfaff, Robalino, Boomhower, 2007; Calvo-Alvarado, McLennan, Sanchez-Azofeifa y Garvin, 2009; Chavarría y Castillo, 2013; Sánchez-Azofeifa, 2015). Para el 2013, el último mapa oficial realizado indica que la cobertura forestal es de 52,4% del territorio nacional. De esta cobertura, aproximadamente la mitad se encuentra en áreas protegidas por el Estado, donde la mayoría de los bosques tienen una estructura de bosques maduros, mientras que la otra mitad se encuentra en terrenos de dominio privado, con bosques de diferentes estados de desarrollo. A pesar de estas cifras positivas, la deforestación, como consecuencia directa de una débil gobernanza forestal, continúa en Costa Rica con tasas de entre 30.000 y 50.000 hectáreas por año durante las últimas dos décadas, y dándose en mayor grado en bosques fuera de las áreas protegidas (MINAE, 2015).

Para las metas del país de reducción de emisiones de dióxido de carbono, la cobertura actual forestal ayuda a absorber cerca de 7,4 millones de toneladas de CO₂ cada año (IMN, 2015). Estas mediciones se logran mediante la existencia de biomasa y carbono forestal analizados en el primer Inventario Nacional Forestal (INF) realizado entre el 2012 y 2015, liderado por el SINAC. De todo el CO₂ fijado en los bosques de Costa Rica, el 39% se encuentra en áreas protegidas por parte del Estado

(principalmente en los Parques Nacionales), y 61% en áreas no protegidas (Programa REDD/CCAD-GIZ – SINAC, 2015).

1.3 Estado de la Calidad Ambiental

La tercera sección sobre la Calidad Ambiental incluye cuatro apartados: 1) Estado de la calidad del aire, 2) Estado de la calidad del agua dulce, 3) Estado de la calidad del agua marina, y 4) Estado de la calidad del suelo.

1.3.1 Estado de la calidad del aire

El primer apartado de esta sección abarca el estado de la calidad del aire. Menciona cómo el aire necesario para vivir puede ser contaminado por pequeñas partículas de milésimas de milímetro en diámetro, o micrones. Estas partículas se clasifican de 10 a 2,5 micrones como fracción gruesa (PM₁₀), que pueden ingresar a los pulmones, a menos de 2,5 micrones como fracción fina (PM_{2,5}), que pueden penetrar hasta la sangre, causando problemas de salud en ambos casos. Estas partículas pueden ser generadas de forma natural o artificialmente por actividades humanas.

En Costa Rica, desde 1993 se ha monitoreado la calidad del aire, iniciando dicho proceso en la ciudad de San José. La principal fuente artificial de contaminación del aire es la flota vehicular (Garrido y Camagro, 2012). Esta contaminación provocada la flota ha venido en ascenso hasta que en el año 2002 se instauró la revisión técnica anual obligatoria de los vehículos (aunque previamente se habían hecho esfuerzos con métodos de revisión de gases como el eco marchamo). Aun así, para el año 2002, los promedios mensuales de sulfato y nitrato en la PM_{10} fueron mayores a los establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) (Herrera y Rodríguez, 2004).

El monitoreo de la calidad del aire que se ha venido realizando, es parte de un programa de colaboración entre el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales (UNA), el MINAE, el Ministerio de Salud y las municipalidades de San José y Belén. Las primeras estaciones de muestreo se ubicaron en San José, en Heredia y en Belén. En el año 2007 se incorpora al monitoreo el análisis de materiales pesados (plomo, cromo, manganeso, níquel, cobalto, aluminio, vanadio, cobre y hierro) presentes en las PM_{10} . Cabe señalar, que el límite de PM_{10} establecido en Decreto 30221-SALUD es de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Del 2004 al 2008, San José mostró tendencia hacia la baja en cuanto a

los valores establecidos por la normativa, no superando los límites de la misma. En cuanto al NO_2 , se encontraron concentraciones mayores a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, por encima de la norma anual establecida por la OMS para este contaminante. Cabe señalar que los sitios de muestreo que superan este límite corresponden a los de mayor tránsito vehicular (Herrera, Rodríguez y Rojas, 2008).

A partir del 2008 se incorporan nuevas estaciones de muestreo en Cartago, Alajuela, Escazú, Santa Ana, Moravia y Santo Domingo, dando mayor representatividad al Gran Área Metropolitana. Se detectó que en San José se revirtió la tendencia a la baja que se venía registrando en años anteriores para los PM_{10} , mientras que, en Moravia, Santa Ana y Alajuela, hubo una disminución significativa con respecto al año 2011 (Herrera, 2012). Para el periodo del 2013 al 2015, en términos generales, los valores promedio anuales de concentración de PM_{10} estuvieron bajo los límites máximos que establece la normativa nacional ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), registrándose los valores más altos en las zonas comerciales e industriales con un mayor flujo vehicular y los valores más bajos en las zonas residenciales (UNA, 2015).

La baja en los niveles de contaminación está directamente relacionada con la aplicación de la revisión técnica y otras estrategias de mejora en la flota vehicular, no obstante, son muchos los esfuerzos

para mitigar los efectos, pero no para evitarlos o prevenirlos, esto implica que en el momento de que se deje de mitigar, los niveles de contaminación pueden volver a aumentar, ya que el constante crecimiento de la flotilla vehicular no se detiene. Por ejemplo, en la actualidad, Costa Rica cuenta con aproximadamente 1,4 millones de vehículos, donde el sector transporte utiliza el 67% del total de hidrocarburos importados al país (CEGESTI, 2015). A raíz de estos datos, Costa Rica debe establecer estrategias más agresivas para transformar este sector si pretende lograr la meta de ser Carbono Neutral para el año 2021.

1.3.2 Estado de la calidad del agua dulce

En esta sección se menciona como en Costa Rica se reconoce el derecho de la población al acceso al agua potable en cantidad y calidad suficiente. Para esto es necesario monitorear que el recurso cumpla con los requisitos físico-químicos y microbiológicos establecidos en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Reglamento de Calidad de Agua Potable Decreto 38924-S, 2015). Sin embargo, la evaluación de la calidad del agua, tanto superficial como subterránea, se ha hecho en Costa Rica solo de manera puntual (Astorga, 2006 y Zeledon, 2012).

El Programa Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos de Agua busca determinar la calidad de las aguas superficiales de las cuencas hidrográficas del país. La primera fase del programa corresponde al Pacífico Central y ya se cuenta con los resultados de la época de verano de 2016, los cuales indican que los ríos con situaciones más críticas son el Tárcoles y el Virilla (AyA, MINAE y MS, 2016).

En cuanto al potencial de carga contaminante (nitratos) en los acuíferos, se prevé que en algunos acuíferos del Valle Central (en zonas como Barva, la Libertad y Colima), en un determinado tiempo podrán no ser aptos para el consumo humano (Astorga, 2006). El uso de tanques sépticos como mecanismo de saneamiento en 76,4% del país, es preocupante. Con el fin de contrarrestar este problema, en setiembre de 2015 se inauguró una planta de tratamiento de aguas residuales al noroeste de la capital denominada Los Tajos, la cual podrá servir a 245 mil usuarios del AyA (Banco Central de Costa Rica, 2016).

Según el Censo del 2011, el 92,5% de las viviendas del país obtienen su agua de consumo (aunque no necesariamente potable) a través de una conexión intradomiciliar proveniente de un acueducto (MINAE, AyA, MS, 2016). El AYA abastece al 50,7% de la población, mientras que aproximadamente

1.500 ASADAS cubren un 25% de la población. El porcentaje restante es cubierto por Municipalidades, otras entidades y por otros medios (MINAE, AyA, MS, 2016). El ARESEP estableció un Programa de Verificación de Calidad del Agua Potable para verificar la calidad del agua que ofrecen los operadores regulados. Para el 2015 el programa evaluó las regiones Huetar Atlántica y Pacífico Central (sin incluir la región de Cóbano) y encontró que un 97% de los sistemas de abastecimiento presentó al menos un parámetro no conforme con los parámetros del Reglamento para la Calidad de Agua Potable (ARESEP, 2015).

1.3.3 Estado de la calidad del agua marina

El Golfo de Nicoya es una de las áreas más contaminadas en toda la costa Pacífica (Cortés & Wehrtmann, 2009). Los agroquímicos son una de sus principales fuentes de contaminación (García et al, 2006; Cortés & Wehrtmann, 2009), ya que Costa Rica es el país con el consumo per cápita de agroquímicos más alto del mundo (Araya, 2015). Los desechos sólidos son otro de sus principales contaminantes (García et al, 2006), con los plásticos y microplásticos representando un grave problema para la alimentación y procesos fisiológicos de la vida marina (Taylor, Gwinnett, Robinson & Woodall, 2016; Soto, 2015). Otra

f fuente de contaminación marina, son las aguas residuales que acarrear al mar materia orgánica, contaminación fecal, y patógenos. De los ambientes marino-costeros, los estuarios son los más afectados por este tipo de contaminación. El AyA determinó que el 56% de los esteros del país no son aptos para la mayoría de los usos del agua (Mora, 2011). Por otro lado, más del 90% de las playas han sido evaluadas como de excelente o muy buena calidad (Mora, Chávez & Portuguez, 2012).

Los ecosistemas de aguas profundas son probablemente los hábitats marinos menos estudiados, sin embargo, exploraciones recientes, utilizando submarinos Alvin y DeepSee, han evidenciado la presencia de contaminantes a más de 1000m de profundidad (Beatriz Naranjo-Elizondo, comunicación personal). Otro fenómeno poco estudiado es la contaminación acústica que puede provocar el incremento de las flotas pesqueras, el comercio marítimo y las actividades extractivas en el mar, con posibles impactos sobre la vida marina (Salas, 2014).

1.3.4 Estado de la calidad del suelo

La calidad de los suelos puede verse afectada negativamente por sobreuso, procesos de erosión y contaminación. En este apartado se

presentan algunos datos significativos. En Costa Rica la contaminación de los suelos proviene de diversas fuentes, como la industria, el comercio y las actividades agropecuarias. Para el 2008 la importación y el consumo de plaguicidas en el país era de 13 millones de kilogramos por año (IRET, 2011). En el 2005, se determinó que el 25% de los suelos estaban afectados por el sobreuso (CADETI, 2005). Para el 2015, un 10% del territorio nacional presentaba problemas de erosión, que a su vez afectaba las aguas nacionales con el lavado de sedimentos (CADETI, 2015).

1.4 Estado de los Recursos Naturales

La última sección de este capítulo sobre el Estado del Ambiente Costarricense explora el Estado de los Recursos Naturales. Esta sección tiene cuatro apartados: 1) Uso de la Tierra; 2) Recursos Maderables; 3) Recursos Acuáticos; 4) Recursos biológicos silvestres, no cultivados (excepto los de pescado y madera); 5) Recursos Hídricos; y 6) Extracción, uso y vertidos de agua.

1.4.1 Uso de la Tierra

En este apartado, se explica que el término “capacidad de uso de la tierra” hace referencia a la

capacidad natural y a las limitaciones que tienen las tierras para soportar distintas formas de uso. Dependiendo de características como relieve, drenaje, suelos y clima, se determinan ocho usos, de menor a mayores limitaciones. Los usos agropecuarios pueden darse del uso I al IV sin mayores complicaciones, mientras que los usos VII y VIII se limitan a usos forestales y de conservación (MAG/MIRENEM, 1995). Se estima que el 55,6% del territorio continental se encuentra en su estado natural de uso de la tierra (CADETI, 2004).

A diferencia de las tierras, no existe una categorización oficial para el aprovechamiento del agua, ya que se entiende que el agua es inseparable de la tierra y sus ecosistemas.¹ No obstante, existen grandes infraestructuras diseñadas para extraer beneficios del agua que impactan directamente el recurso acuífero. Para el año 2011 se determinó que la capacidad de almacenamiento de los embalses artificiales del país era de 1.997 millones de m³ para uso hidroeléctrico principalmente, pero también para riego y consumo humano (FAO, 2015). Actualmente, existen unos 350 humedales que cubren aproximadamente el 7% del territorio nacional, de los cuales 12 se han identificado como Sitios RAMSAR

¹ El MINAE ha desarrollado esfuerzos significativos a través de la Ley de Aguas para establecer prioridades sobre el uso y aprovechamiento del recurso.

con una extensión total de 569.742 ha, aunque por la presión en los cambios de uso de la tierra, se encuentran seriamente amenazados (RAMSAR, 2012).

En cuanto a la propiedad de la tierra, en 1984 había un total de 101.938 fincas que ocupaban 3.070.300 hectáreas, mientras que para el 2014 se reducen a 93.017 fincas agropecuarias con una extensión de 2.406.418,4 hectáreas (INEC, 2014). Aunque el 90% de las propiedades están inscritas en el Registro de la Propiedad, se crea recientemente el Registro Inmobiliario, para integrar los datos registrales y catastrales. El 21% de los distritos han oficializado este proceso, y el 46% están en proceso, mientras que 33% aún no lo han iniciado (MOCUPP, 2017).

La producción de agricultura orgánica en el país ha tenido un crecimiento lento. Para el año 1998 cubría unas 9.607 hectáreas. Para el 2004, este número habría incrementado a 10.682 hectáreas. Para el 2010 la producción orgánica abarcaba 11.107 hectáreas, o el 2,3% de la producción agrícola nacional. Entre el 2012 y el 2015, se continuó con un incremento paulatino (Granados, 2006). Las áreas bajo administración forestal sostenible son aquellas con contratos de Pago por Servicios Ambientales (PSA). Entre el 2010 y el 2015 las áreas sometidas a PSA pasaron de 65.414 a 69.444 hectáreas. Las áreas registradas

como agroforestales para PSA pasaron de 536.839 hectáreas en el 2010 a 599.706 para el 2014 (MINAE, 2016). Por otro lado, en cuanto al uso urbano, de 1980 al año 2010 la superficie del área urbanizada en la GAM se triplicó, llegando a 17.907 hectáreas (PREVDA, 2011).

1.4.2 Recursos Maderables

Sobre el estado de los recursos maderables, entre 1998 y el 2015, la principal fuente de producción de madera provino de plantaciones forestales, con un aporte aproximado de 9 millones de metros cúbicos, mientras que los terrenos agropecuarios aportaron unos 5 millones de metros cúbicos, y los bosques menos de 1 millón de metros cúbicos (Barrantes y Salazar, 2004-2010; Barrantes, Paniagua y Salazar, 2011; Barrantes y Ugalde, 2012, 2016).

En cuanto al consumo de madera, entre el 2011 y el 2015, se consumieron 3.3 millones de metros cúbicos, principalmente de madera proveniente de plantaciones forestales (55%) y madera importada del exterior (18%). A pesar de ello, la balanza comercial de madera y sus derivados, entre el 2004 y el 2015, fue negativa, es decir, se importó más madera de lo que se logró exportar. Estas cifras también explican los datos sobre empleo forestal. Para el 2015, se generaron

aproximadamente 15.000 empleos directos relacionados con la industria de la madera, sin embargo, desde el 2007, se han perdido en promedio 1.115 empleos al año (ONF, 2017).

Sobre los principales usos que se le da a la madera en el país, la construcción de tarimas para la exportación de productos comestibles sobresale en mayor importancia. Del 2006 al 2015 se utilizaron 4,3 millones de metros cúbicos de madera en la fabricación de 54 millones de tarimas, principalmente para la exportación de banano y piña. Además, 2,5 millones de metros cúbicos se destinaron a la construcción, y 1,3 millones de metros cúbicos a la mueblería (ONF, 2017).

Estas cifras de producción y consumo de madera en el país generaron entre el período del 2004 al 2015, un valor agregado de USD 93 millones al año en el sector secundario, USD 74 millones al año en el sector primario, y USD 57 millones al año en el sector construcción (ONF, 2017).

1.4.3 Recursos Acuáticos

Los recursos acuáticos se refieren principalmente a los recursos pesqueros. En este apartado se presentan los datos relevantes más actualizados. Del 2002 al 2010 Costa Rica produjo 511.705 toneladas de recursos pesqueros, 59,1% producto de la pesca marina y 40,9% de la

acuicultura. Del 2002 al 2014 el 64% de la pesca marina se concentró en el Pacífico Norte de Guanacaste y el Golfo de Nicoya, el 26% en las costas del Pacífico Central, y la Zona Sur y el Caribe aportaron 7% y 3%, respectivamente. Durante este período, la pesca de atún representó una tercera parte de la biomasa capturada (INCOPECA, 2014; FAO, 2014). En el país hay más de 2.800 fincas de producción acuícola con un espejo de agua total de 7.226.766 m², del cual el 87% se encuentra en Puntarenas y Guanacaste (INEC, 2014; FAO, 2017). Entre 2002 y 2010 la producción acuícola creció un 33,6%. De la biomasa total producida, el 77% corresponde a tilapia, 21% a camarón marino y 2% a trucha (INEC, 2014). Entre el 2010 y el 2016, Costa Rica mantuvo un balance comercial positivo, importando 195.000.000 kg de peces y mariscos, por un valor de USD 404 millones, y exportando 102.000.000 kg de peces y mariscos, por un valor de USD 735 millones (INEC, 2016).

A pesar de contar con 589.683 km² de área marina, tomando en cuenta el Mar Territorial y la Zona Económica Exclusiva en ambas costas (INCOPECA, 2006), cerca del 60% de la extracción pesquera nacional se concentra en las zonas marino-costera del Pacífico Norte (INCOPECA, 2014), donde se han identificado unas 424 especies de peces pertenecientes a 97 familias (Villalobos-Rojas *et al.*, 2014). A pesar de su gran valor ecológico,

económico y comercial, junto a los diversos moluscos explotados en la zona, se desconoce el estado poblacional de muchos de ellos.

En las cercanías de la Isla del Coco, está el Domo Térmico, donde afloran aguas frías cargadas de nutrientes, haciendo que sea una de las zonas más productivas de Costa Rica, al favorecer la presencia de grandes bancos de atún y una alta abundancia de tiburones y otras especies pelágicas de gran importancia pesquera (Ballesteros, 2006 y Jiménez, 2016). No obstante, la existencia del Domo se encuentra amenazada por la intensa actividad

de flotas pesqueras industriales (Jiménez, 2016).

A finales del 2008, el pez león (*Pterois volitans*, Scorpaenidae), nativa del Indo-Pacífico, invadió las aguas del Caribe costarricense. Poco después, en el 2009 las comunidades del Caribe Sur realizaron capturas del pez león para tratar de disminuir sus efectos nocivos sobre las especies nativas, aprovechándolo para consumo humano (Molina-Ureña 2016 y Sandelet *et al.*, 2015).

Recuadro 3 La importancia de la pesca deportiva como método de control de especies invasoras, el caso del pez León

Se conoce con el nombre común de Pez León a dos especies de peces arrecifales venenosos emparentados: *Pterois volitans* y *P. miles*. Ambas especies son nativas del océano Indo-Pacífico, pero aparecieron en aguas del Caribe Occidental desde 1992. Esta expansión de su distribución se debe presuntamente a la liberación de individuos a partir de la destrucción de peceras en la costa este estadounidense durante el huracán Andrew (Molina-Ureña, 2016). Estas especies son depredadoras de peces de arrecife (algunos de alto valor comercial y de subsistencia), langostas juveniles y otros crustáceos pequeños. Este hábito alimenticio y la toxicidad de la mayoría de sus espinas, le ha permitido invadir agresivamente la costa este de Estados Unidos, Bermuda, Antillas Mayores, Caribe Mesoamericano, y las costas septentrionales de Sur América (Molina-Ureña, 2016).

Esta situación representa una verdadera amenaza para el equilibrio de ecosistemas arrecifales. Su primer avistamiento en Costa Rica se dio en abril 2009, desencadenando una respuesta inmediata y seria por parte de científicos, entidades gubernamentales y comunidades locales. Esta gestión se ha llevado a cabo en cuatro fases o etapas de manejo principales, cada una con un enfoque definido (Molina-Ureña, 2016).

La Etapa I (Mayo 2009 – Diciembre 2011), estuvo liderada por el SINAC y en conjunto con administradores locales de recursos y apoyo técnico de la academia, se estableció la Comisión Interinstitucional del Pez León (CIPL); ésta coordina las acciones en cuatro ejes de respuesta principales: Control de Impactos, Monitoreo, Investigación y Divulgación/Extensión (Molina-Ureña, 2017). Durante este período las comunidades pesqueras locales empezaron a

organizarse, desarrollar redes de comunicación y formalizar su situación; en agosto de 2011 se creó la Asociación de Pescadores Artesanales del Caribe Sur (AsoPACS).

La Etapa II (Enero 2012 – Agosto 2013) consistió en la consolidación gradual de iniciativas comunitarias con apoyo de la academia y ONGs (Molina-Ureña, 2017).

La Etapa III (Setiembre 2013 – Marzo 2016) se enfocó en el grupo de trabajo de la Comisión Nacional Ad Hoc de Control de Pez León (CNCPL), la cual se reactivó gracias al aporte del Viceministro de Aguas y Mares; esta comisión multisectorial pretende supervisar el control, la investigación y la mitigación de impactos con acompañamiento académico de cinco universidades públicas y otras entidades privadas (Molina-Ureña, 2017). Entre los logros de la CNCPL se encuentran la participación en planes estratégicos nacionales y regionales, expansión de iniciativas gracias a la cooperación internacional a mejoras en la colaboración intersectorial.

A partir de la Etapa IV (Abril 2016 – hoy) se incorporaron otras organizaciones locales como la Asociación de Pescadores de Subsistencia y Acuicultura de Cahuita (APSAC), y se está consolidando el estatus jurídico de la CNCPL, con énfasis en manejo, control y aprovechamiento del Pez León (Molina-Ureña, 2017).

El manejo de esta invasión también se ha caracterizado por la participación de voluntarios nacionales y extranjeros en torneos organizados por pescadores de la costa caribeña para controlar la población local. En los torneos generalmente se pescan hembras, por cada hembra capturada se evita el nacimiento de 4 millones de peces por año (Vargas, 2016). Para la realización del torneo es necesario invertir alrededor de ₡5.500.000, respectivamente desglosados en: ₡1.000.000 para camisas y gorras, ₡750.000 para gasolina, ₡1.250.000 correspondiente al alquiler de lanchas, ₡850.000 en comida, ₡500.000 en barnet, ₡300.000 en afiches y ₡850.000 en premios (Vargas, 2016). Es importante señalar que es muy poca la ayuda económica que se recibe para la realización de los torneos, y todo cae en manos de la asociación de pescadores. Por torneo se pide una contribución voluntaria de 10 mil colones que incluye: camisa, lancha, almuerzo y en caso de resultar ganador un premio o trofeo (Vargas, 2016).

La primera edición del torneo de pesca del Pez León se realizó en el 2011 con el apoyo del CIMAR; se contó con la asistencia de 80 personas y la participación de 3 pescadores, producto de este torneo se capturaron 10 peces León hembras (Vargas, 2016). En el 2013, se realizó la segunda edición, en la cual se contó con la participación de 40 pescadores y tuvo la particularidad de que también participaron mujeres y niños. Este día se logró capturar un total de 148 peces, 70 hembras, 6 indefinidos y el resto machos. Los ganadores de esta edición fueron Andrés Hernández con el pez más grande y Julio Ugalde con la mayor cantidad pescada. Se contó con la participación de la junta directiva de INCOPESCA, quienes por primera vez desde su creación se acercaron al Caribe Sur costarricense. De igual forma, se obtuvo el apoyo del área de conservación de la UCR, UNED, INA, UNA y financiamiento del programa de pequeñas donaciones (PPD)(Vargas, 2016).

En los últimos años el torneo ha tomado relevancia tanto a nivel nacional como internacional; Costa Rica fue el país que comenzó con la iniciativa en Centroamérica, y actualmente se realizan torneos similares en otros países de la región como Colombia, Honduras, Panamá, Belice y Bermudas (Vargas, 2016). Costa Rica también fue el primer país en todo el Caribe en montar un proyecto que llega a profundidades superiores a los 100 metros. Todo esto ha valido la mención en varios periódicos nacionales e internacionales, así como en revistas científicas (Vargas, 2016).

Los esfuerzos por reducir la presencia del Pez León en el Caribe sur costarricense parecen dar frutos. El reciente torneo que fomenta la captura y consumo del Pez León registró una baja en la cantidad de peces capturados. En 2014 extrajeron 153 peces, la cifra bajó a 147 en el 2015 y en el 2016 con la participación de 10 equipos de hasta 5 personas lograron extraer 38 peces. Este año (2017) se impuso un record al registrarse el pez más pequeño capturado hasta el momento en aguas nacionales, un Pez León de apenas 4 centímetros de largo y tan solo un gramo de peso (Vargas, 2016).

Para la especialista en el tema, Helena Molina-Ureña, el resultado es alentador, pero no se debe bajar la guardia. El Pez León es una especie invasora, un depredador que arrasa con la fauna marina de la zona donde arriba, lo que pone en peligro recursos marinos importantes para el país (Vargas, 2016).

Fuente: Elaboración propia a partir de información, MINAE, Sociedad Civil.

Finalmente, la reducción en los recursos pequeros es un tema preocupante, al considerar que la pesqueros en Costa Rica disminuyó en un 52% entre el 2002 y el 2014 (INCOPESCA, 2014). Una de las zonas más sobreexplotadas de Costa Rica es el Pacífico Norte. En los últimos años hubo una disminución substancial en las descargas de las principales especies de interés comercial, tanto de grandes depredadores pelágicos, como de especies costeras (Villalobos-Rojas *et al.*, 2014). En las últimas décadas, la sobreexplotación del camarón ha hecho que varias especies (fidel, tifi, café) prácticamente desaparezcan. En 2013 la Sala Constitucional declaró inconstitucional la pesca de arrastre de camarón en el país (Sentencia N° 2013-10540). No obstante, aún permanecen vigentes cerca de 18

licencias de pesca de arrastre al 2017. (CIMAR, UCR)

1.4.4 Recursos biológicos silvestres, no cultivados (excepto los de pescado y madera)

El comercio ilegal de especies silvestres es una de las actividades ilegítimas más lucrativas a nivel mundial junto al tráfico de armas y el narcotráfico (CITES, 2013). Entre los esfuerzos que Costa Rica ha emprendido para proteger sus especies silvestres, está la Ley N° 5605 de 1975, que ratifica los acuerdos de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES); la Ley de

Conservación de la Vida Silvestre N° 7317 en 1992; y la Ley N° 9106 en 2012 presentada por iniciativa popular y aprobada por la Asamblea Legislativa, que prohíbe la caza de especies silvestres en el territorio costarricense. A partir del 2014 el SINAC no extendió más permisos de caza de animales silvestres (SINAC, 2014). Esta normativa hace de Costa Rica un país pionero en la protección de la vida silvestre por medio de la participación ciudadana (Chaverri, 2013). No obstante, en el período 2014-2016 la institución otorgó 226 licencias para pesca en aguas continentales, conforme a la ley.

Costa Rica posee cerca de 1.100 especies enlistadas en CITES, incluyendo flora y fauna terrestre, marina y de agua dulce (UNEP-WCMC, 2014) para controlar su importación y exportación. Estas incluyen especies en peligro de extinción, en riesgo potencial de extinción, y especies vulnerables a sobreexplotación. El SINAC está a cargo de emitir los permisos respectivos. Entre 2003 y 2012, Costa Rica fue el principal exportador de especies silvestres en la región centroamericana, con más del 50% de las exportaciones costarricenses consistiendo en plantas reproducidas artificialmente, y siendo especie de boa el animal más exportado (UNEP-WCMC, 2014).

La caza ilegal continúa amenazando a la fauna silvestre de Costa Rica, especialmente en zonas remotas

donde hay pocos controles. La cacería ilegal se da mayormente con el uso de perros de cacería y armas de fuego, en zonas boscosas de difícil acceso (Rivera, 2008a; b y Vaughan, 2012). Algunos animales son cazados por sus pieles (e.g. puma, jaguar), otros por su carne (e.g. tepezcuintle, danta).

1.4.5 Recursos Hídricos

De conformidad con el Plan Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídrico, la oferta hídrica en Costa Rica es de 25.271 metros cúbicos por persona, lo que triplica el promedio mundial (Murillo, 2013). El país dispone de unos 113 mil millones de metros cúbicos de agua, de los cuales la demanda corresponde a un 20,73%. Según los cálculos del Banco Central, basados en los balances hídricos de 2007 y 2008, el 30% de la precipitación anual se evapora, y del 70% restante un 23% se infiltra y un 77% se convierte en escorrentía superficial. A esto hay que restarle el agua que resulta inaccesible por contaminación. El flujo de agua que sale hacia Nicaragua se estima en 33 kilómetros cúbicos al año y hacia Panamá, en 6,5 kilómetros cúbicos, mientras que hacia Costa Rica no existen entradas de agua desde otros países (Banco Central de Costa Rica, Banco Mundial, Waves, 2016). De las 34 cuencas hidrográficas del país, 10 presentan déficit de agua al menos

tres veces al año, siendo los casos más críticos las cuencas de Lago Arenal, Tempisque-Bebedero, Península de Nicoya y Grande de Tárcoles (Contraloría General de la República de Costa Rica, 2014).

A pesar de continuar en discusión una actualización de la legislación sobre aguas, el país ha creado instrumentos de política pública para mejorar la gestión del agua. En el año 2002 el Decreto Ejecutivo N° 30480-MINAE establece los principios rectores de la política hídrica, reconociendo el acceso al agua potable como un derecho humano, el agua como un bien de dominio público y el reconocimiento de la función ecológica del agua, así como su valor económico, que procede del costo de administrarla, protegerla y recuperarla para el bienestar de todos.

Más recientemente, la Agenda del Agua 2013- 2030 sirve como una hoja de ruta para el país en la definición de acciones futuras y la Política Nacional para el Subsector de Agua Potable 2017-2030 (Espeleta, octubre - diciembre 2016). Destaca, además, la creación del Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico con el objetivo de permitir a las instituciones intercambiar y acceder a información de manera expedita, facilitando la toma de decisiones e identificar los vacíos de información (Dirección de Agua MINAE, 2017). Finalmente, el Banco Central de

Costa Rica, en mayo de 2016 elaboró un primer documento de trabajo de Cuentas de Agua, que combina variables de tipo ambiental y económico para el diseño y evaluación de políticas públicas (Banco Central de Costa Rica, Banco Mundial, Waves, 2016).

1.4.6 Extracción, uso y vertidos de agua

Según un estudio Ballesteros & Zeledón del 2016, la precipitación media anual en el territorio nacional es de 2.626 mm, lo cual se traduce en un total de 170 km³, del cual 37 km³ se infiltran en el suelo y recargan los mantos acuíferos, mientras que 75 km³ escurren como agua superficial en los ríos (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2016). Con una oferta hídrica per cápita en el país de 23.405 m³ al año (Ballesteros & Zeledón, 2016), para el 2016 se concesionaron aproximadamente 138 millones de metros cúbicos, una cuarta parte tomada de fuentes subterráneas y el resto de fuentes superficiales. Del agua total concesionada solo 22% es para consumo humano. La mayoría (40%) es para actividades agropecuarias, agroindustriales y riego, y el resto va al sector industrial (13%), comercial (10%), y turismo (8%) (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2016). El uso de agua por el sector hidroeléctrico supera en mucho todos estos rubros, pero su uso

es considerado no consuntivo (Ballestero & Zeledón, 2016). A todo este consumo determinado por concesiones registradas, debe sumarse el uso ilegal que se da sin concesiones o que supera los límites concesionados, para lo cual no hay datos certeros, pero que se estima puede llegar a representar el 30% de los usuarios (Ballestero, 2010).

El agua subterránea es sumamente importante para el país. Los tres acuíferos más explotados son el Colima Inferior, Colima Superior y Barva, los cuales abastecen al 65% de la población de la GAM (OPS, 2003). Para monitorear los acuíferos del país, entró en operación en el 2017 el Sistema de Monitoreo de Aguas Subterráneas en Tiempo Real (SIMASTIR), que actualmente se concentra en la Península de Nicoya, zona de especial vulnerabilidad hídrica (Dirección General de Aguas, 2017).

Actualmente, el 91,8% de los hogares cuenta con agua potable por medio de cañería intradomiciliar, y sólo el 0,5% de los hogares aún no cuenta con un servicio de agua por tubería (Mora *et al*, 2016). El AyA es el mayor proveedor de agua potable, al cubrir el 47,2% de la población y los Comités Administradores de Acueductos Rurales (CAAR) y las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados (ASADAS) abastecen a cerca del 30% de los hogares, mientras que las municipalidades

proveen de agua al 14% de la población.

En cuanto al tratamiento de aguas residuales, un 76,6% de los hogares utilizan un tanque séptico, mientras que un 21,3% utiliza el sistema de alcantarilla (Mora & Portuguez, 2016). Para el sistema público de alcantarillado, el AyA, las ASADAS y las municipalidades son quienes administran las plantas de tratamiento, pero también hay un creciente número de plantas de tratamiento administradas por condominios privados. Por otro lado, las aguas residuales que no son tratadas son vertidas directamente en los cuerpos de agua, afectando principalmente al Río Virilla (5.198 m³/día), al Estero de Puntarenas (5.742 m³/día), al Mar Caribe (5.757 m³/día), y al Río Liberia (6.055 m³/día), con impactos negativos sobre los ecosistemas asociados (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados *et al*, 2016). Afortunadamente, el AyA ya ha podido definir las acciones necesarias para otorgar tratamiento de aguas residuales al 100% de la población urbana del país para el año 2045.

1.5 Conclusión

Costa Rica es reconocida mundialmente por las cualidades excepcionales de su ambiente natural y por las iniciativas que ha

emprendido por cuidarlo. El país continúa apostando por su riqueza ambiental como clave para su futuro. Sin embargo, a pesar de importantes esfuerzos para la conservación y uso sostenible de sus recursos ambientales, persisten serias deficiencias de monitoreo y de gestión, y amenazas en contra de este patrimonio. Es fundamental tomar en cuenta el estado actual del ambiente costarricense, conocer sus fortalezas y debilidades para poder

mejorar su gestión. En este capítulo se ha presentado de manera sucinta el desarrollo del estado del ambiente en los últimos 15 años, con el fin de visibilizar las oportunidades que aún se tienen, así como los principales retos que se enfrentan para mantener el posicionamiento actual de liderazgo mundial en materia ambiental.



Hallazgos principales

Característica	Hallazgos	Desafíos
CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS		
Atmósfera, clima y condiciones meteorológicas	Se llevan a cabo mediciones en el país.	Temperaturas y precipitación están en aumento lo que acarrea costos económicos al país.
Características hidrográficas	Se han identificado 8.461 lagos y/o lagunas. Existen leyes para el manejo de cuencas.	Persisten vacíos de información. Mediciones puntuales sobre caudales de ríos.
Características geológicas, geomorfológicas y geográficas	El territorio marítimo es 11,54 veces más que el territorio continental, lo cual amerita una mayor investigación y reflexión crítica para una gestión ambiental sostenible de estos grandes espacios. Arrecifes de Costa Rica entre los más diversos en el mundo.	El tectonismo del país produce gran actividad sísmica anual y una actividad volcánica relativamente intensa, lo cual hace imperante una adecuada planificación y gestión territorial que disminuya las vulnerabilidades del país y aumente la resiliencia de la población. Existen amenazas por sedimentación provocada por actividades agropecuarias.
Estado de los suelos	52% de cobertura forestal.	Degradación del suelo afecta 20% del territorio nacional.
COBERTURA TERRESTRE, ECOSISTEMAS Y BIODIVERSIDAD		
Coberturas terrestres	Existen esfuerzos para lograr sistema armonizado de clasificación de uso y cobertura. La Ley Forestal 7575, establece una prohibición para el cambio de uso de tierras con cobertura forestal.	Aún falta establecer un sistema armonizado de clasificación de uso y cobertura.
Ecosistemas	Hay gran riqueza de ecosistemas terrestres y marino-costeros.	Existen grandes retos en la protección y gestión de ecosistemas y en el empoderamiento de las instancias rectoras, así como en la investigación.
Biodiversidad	Costa Rica posee cerca del 5% de todas las especies conocidas globalmente, lo cual nos ubica como el país de mayor densidad de especies. Costa Rica alberga aproximadamente el 4,5% de la biodiversidad terrestre mundial. Costa Rica posee cerca del 3,5% de todas las especies de fauna marina. Creación de Sistema de Áreas Silvestres. Ley de Conservación de la Vida Silvestre N° 7317 prohíbe la cacería deportiva de la fauna silvestre.	Biodiversidad sigue amenazada por pérdida de hábitat, sobreexplotación, contaminación, especies invasoras, cambio climático. Otras amenazas incluyen: debilidades en legislación, insuficientes recursos humanos, falta de visión integral en el manejo de cuencas y ecosistemas, valoración deficiente de servicios ambientales del bosque, conocimiento científico limitado sobre el estado de la biodiversidad, debilidades en el monitoreo ambiental, e incentivos perversos que conducen a la fragmentación o destrucción de los

Característica	Hallazgos	Desafíos
Bosques	Costa Rica posee una tasa de incremento de bosques de poco más de 0,5% anual. Implementación del Programa de Pagos por Servicios Ambientales. Inventario Nacional Forestal (INF) realizado entre el 2012 y 2015.	ecosistemas (MINAE 2002). La deforestación es un problema constante en Costa Rica, con tasas de entre 30.000 y 50.000 hectáreas por año durante las últimas dos décadas, con el 61,08% de la deforestación entre 2001 y 2013 ocurriendo fuera de las áreas protegidas.
ESTADO DE LA CALIDAD AMBIENTAL		
Calidad del Aire	Desde 1993 se viene monitoreando la calidad del aire en la ciudad de San José y a través de los años se ha incrementado el monitoreo a otras ciudades de diferentes cantones y provincias (Heredia, Alajuela y Cartago). Además de análisis de Partículas PM10 y PM25, se han incorporado metales (Como por ejemplo el plomo) que pueden perjudicar la salud humana.	La principal fuente artificial de contaminación es la flota vehicular. Costa Rica cuenta con aproximadamente 1,4 millones de vehículos. El sector de transporte utiliza el 67% del total de hidrocarburos importados al país. Esto quiere decir que la flota va en aumento y es mayor la necesidad de una transformación del sector a una estrategia de estar mitigando.
Calidad del agua dulce	Se reconoce el derecho de la población al acceso al agua potable. Existe el Programa Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos de Agua, el cual evalúa las aguas superficiales de las cuencas hidrográficas del país. El 92,5% de las viviendas tienen acceso a agua entubada.	La evaluación de la calidad del agua, tanto superficial como subterránea es deficiente. En el Pacífico Central los ríos con situaciones más críticas son el Tárcoles y el Virilla. El país enfrenta un escenario de contaminación hídrica sin control, que afecta cuencas como el Grande de Tárcoles, Grande de Térraba, Tempisque y Reventazón, incidiendo negativamente en las playas del país, en la acuicultura y en el balance de los ecosistemas acuáticos, como es el caso de la degradación de los arrecifes coralinos. Además, amenaza la cobertura nacional de agua potable.
Calidad del agua marina	Más del 90% de las playas han sido evaluadas como de excelente o muy buena calidad.	Golfo de Nicoya es una de las áreas más contaminadas en toda nuestra costa Pacífica. Los agroquímicos son una de sus principales fuentes de contaminación. El 56% de los esteros del país no son aptos para la mayoría de los usos del agua. Los ecosistemas de aguas profundas son probablemente los hábitats marinos menos estudiados.
Calidad del suelo		Para el 2015, un 10% del territorio nacional presentó problemas de erosión.

Característica	Hallazgos	Desafíos
ESTADO DE LOS RECURSOS NATURALES		
Uso de la Tierra	<p>El 55,6% del territorio continental se encuentra en su estado natural de uso de la tierra (2004).</p> <p>El 90% de las propiedades están inscritas en el Registro de la Propiedad, se crea recientemente el Registro Inmobiliario, para integrar los datos registrales y catastrales.</p> <p>El 21% de los distritos han oficializado este proceso, y el 46% están en proceso.</p>	De 1980 al año 2010 la superficie del área urbanizada en la GAM se más que triplicó.
Recursos Maderables	<p>La principal fuente de producción de madera ha sido las plantaciones forestales.</p> <p>Para el 2015, se generaron aproximadamente 15.000 empleos directos relacionados con la industria de la madera.</p>	Entre el 2004 y el 2015, la balanza comercial de madera y sus derivados ha sido negativa.
Recursos Acuáticos	Entre el 2010 y el 2016, Costa Rica mantuvo un balance comercial positivo.	<p>Las existencias de El Domo Térmico se encuentran amenazadas por la intensa actividad de flotas pesqueras industriales.</p> <p>La captura total de productos pesqueros en Costa Rica disminuyó en un 52% entre 2002 y 2014.</p>
Recursos biológicos silvestres, no cultivados (excepto los de pescado y madera)	La Ley de Conservación de Vida Silvestre N° 9106 en 2012 presentada por iniciativa popular y aprobada por la Asamblea Legislativa, prohíbe la caza de especies silvestres en el territorio costarricense.	Costa Rica tiene cerca de 1.100 especies enlistados en CITES, incluyendo flora y fauna terrestre, marina y de agua dulce. La caza ilegal continúa amenazando a la fauna silvestre de Costa Rica, especialmente en zonas remotas donde hay pocos controles.
Recursos Hídricos	<p>La oferta hídrica en Costa Rica es de 25.271 metros cúbicos por persona, lo que triplica el promedio mundial.</p> <p>En el 2002 el Decreto Ejecutivo N° 30480-MINAE reconoce el acceso al agua potable como un derecho humano.</p> <p>Se crea el Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico con el fin de facilitar el acceso e intercambio de información entre las instituciones, facilitando la toma de decisiones.</p>	<p>De las 34 cuencas hidrográficas del país, 10 presentan déficit de agua al menos tres veces al año.</p> <p>Existe una gran deficiencia en información relevante a los recursos hídricos, resultado de su dispersión en diversas instituciones y por la falta de mecanismos de integración.</p>
Extracción, uso y vertidos de agua	<p>Existe una oferta hídrica per cápita en el país de 23.405 m³ al año.</p> <p>En el 2016 se concesionaron aproximadamente 138 millones de</p>	<p>Se estima que el consumo ilegal puede abarcar a 30% de los usuarios.</p> <p>Un 76,6% de los hogares utilizan un tanque séptico para el tratamiento de</p>

Característica	Hallazgos	Desafíos
	<p>metros cúbicos de agua.</p> <p>Para monitorear los acuíferos del país, se inauguró recientemente el Sistema de Monitoreo de Aguas Subterráneas en Tiempo Real (SIMASTIR).</p> <p>El 91,8% de los hogares cuenta con agua potable por medio de cañería intradomiciliar.</p> <p>El AyA define las acciones necesarias para tratar aguas residuales al 100% de la población urbana del país para el año 2045.</p>	<p>aguas residuales.</p>

Fuente: Elaboración propia, 2017.

2. Características Biofísicas

2.1 Características de la Atmósfera, clima y condiciones meteorológicas

Costa Rica presenta tres principales climas: el clima de la Región Tropical Húmeda del Atlántico, que incluye la Región Norte y la región Atlántica; el clima de la Región Intermontana Central, que incluye la Región del Valle Intermontano Central y Montañosa Sur; y el clima de la Región Tropical del Pacífico, a la cual pertenecen las Regiones Pacífico Norte, Sur y Central, con dos estaciones bien definidas, la húmeda y seca (Solano & Villalobos, s.f.).

Esta división en tres diferentes climas ocurre por causa de la topografía de Costa Rica. Compuestos de montañas y valles, dos sistemas montañosos principales se encuentran en el centro y el sur del país: la Cordillera Volcánica del Norte y la Cordillera de Talamanca. Estas montañas dividen a Costa Rica en tres regiones fisiográficas, norte,

central y sur, lo cual causa un impacto sobre el clima (Solano & Villalobos, s.f.).

El clima de la región Tropical Húmeda del Atlántico está caracterizado por lluvias todos los meses, sin estación seca bien definida y una temperatura media superior a los 18°C durante todo el año, mientras que el clima de la región Intermontana Central es húmedo en ambas estaciones, con una temperatura media inferior a los 18°C en el mes más frío. Finalmente, el clima de la región Tropical del Pacífico está caracterizado por una estación seca y una estación húmeda con temperaturas medias superiores a los 18°C durante todo el año (UNED, s.f.).

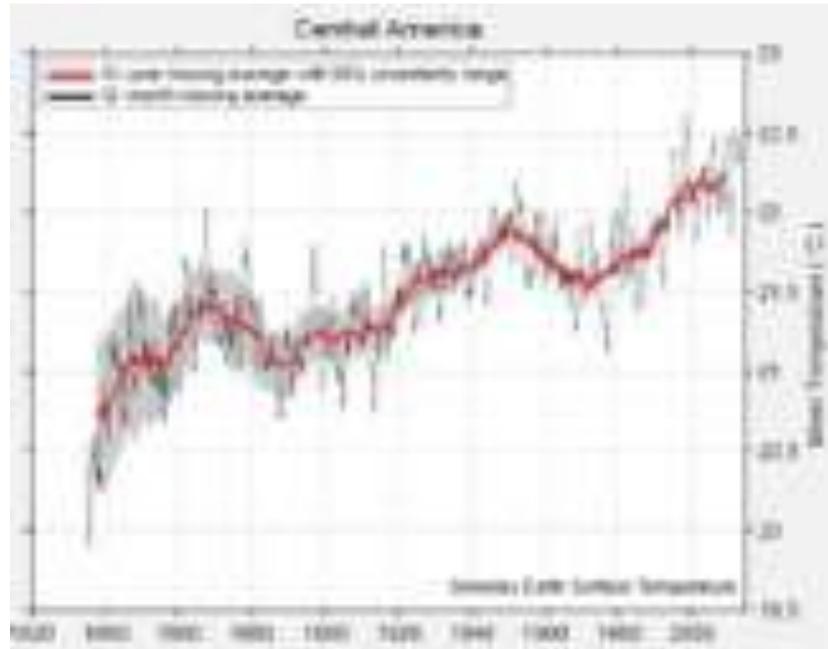
2.1.1 Temperaturas

Según los datos de Berkeley Earth (2015), es posible observar que las temperaturas en América Central han aumentado en promedio $1,49 \pm 0,44$ °C desde 1990. La variabilidad climática mensual se calcula en $\pm 1,14$ °C, la variabilidad anual se

calcula en $\pm 0,51$ °C, y para diez años en $\pm 0,27$, todas las estimaciones con un rango de incertidumbre de 95%.

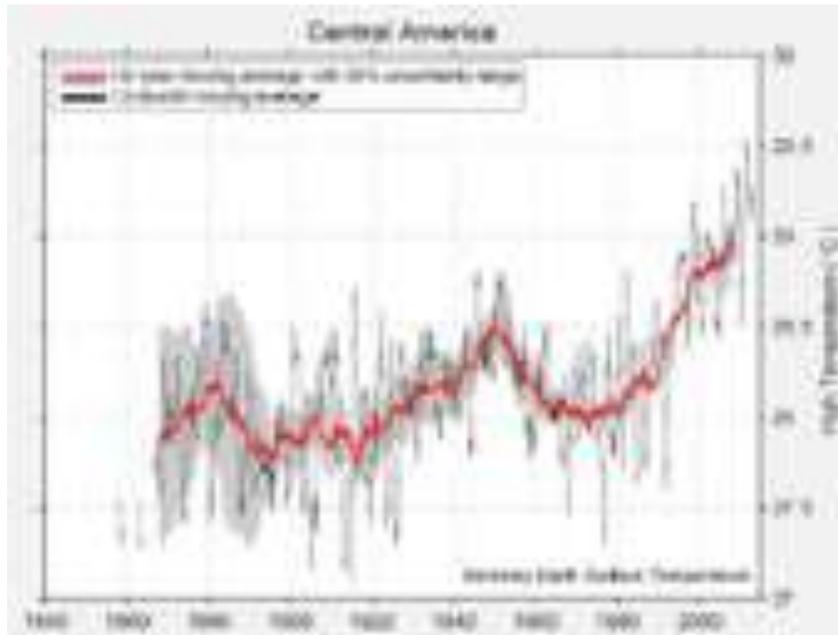
Los promedios diarios de temperaturas extremas siguen un patrón similar (Gráficos 1-3)

Gráfico N° 1 Promedio de temperatura de la superficie de la tierra para América Central



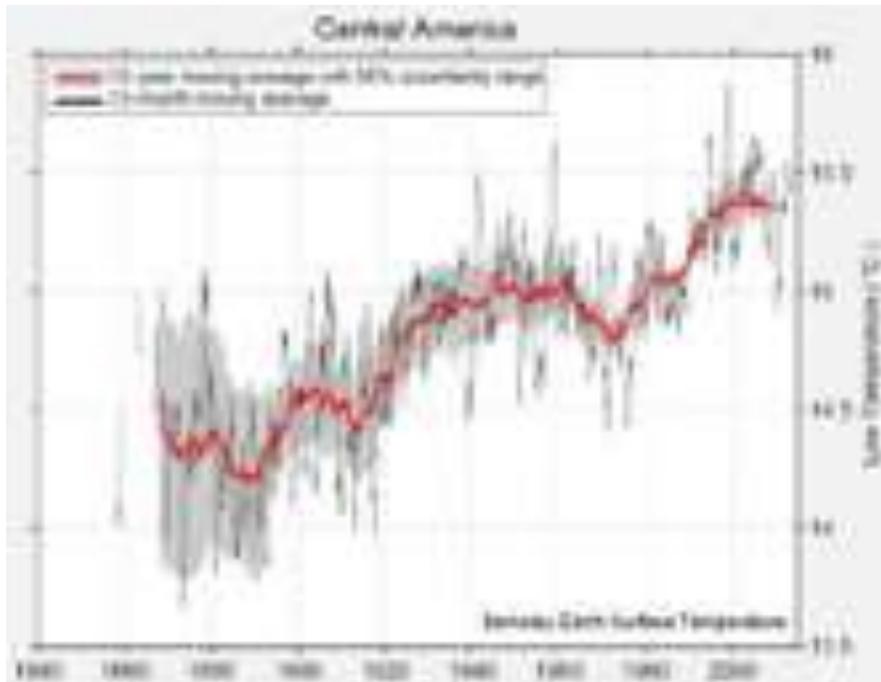
Fuente: Berkeley Earth, 2015

Gráfico N° 2 Temperatura más alta registrada de la superficie de la tierra para América Central



Fuente: Berkeley Earth, 2015.

Gráfico N° 3 Temperatura más baja registrada de la superficie de la tierra para América Central



Fuente: Berkeley Earth, 2015.

En Costa Rica, la variación de temperaturas depende de la zona del país debido a factores geográficos, atmosféricos y oceánicos. Por lo tanto, el país está dividido en siete regiones según su clima: Pacífico Norte, Pacífico

Central, Pacífico Sur, Región Central, Zona Norte, Región Caribe Norte y Región Caribe Sur. Las temperaturas promedio de cada región se presentan en el siguiente cuadro (1) (MINAE, 2014) y su distribución aparece en el mapa 1 (INEC, 2015).

Cuadro N° 1 Promedios anuales de diversas variables por región climática. Costa Rica, 2012

Parámetro	Regiones climáticas						
	Caribe Norte	Caribe Sur	Valle Central	Pacífico Norte	Pacífico Central	Pacífico Sur	Zona Norte
Lluvia (mm)	3.241,6	2.703,5	1.791,0	1.634,8	2.816,4	3.897,2	2.946,2
Días con lluvia	165	153	121	145	171	198	157
Temperatura máxima (°C)	33,5	31,4	26,0	32,4	31,6	33,6	33,3
Temperatura mínima (°C)	19,6	20,2	12,0	18,9	19,2	19,2	19,3
Temperatura media (°C)	26,5	25,8	19,0	25,6	25,4	26,4	26,3

Fuente: IMN, 2014.

Mapa N° 1 Temperatura media anual en Costa Rica, 2015

Fuente: INEC, 2015.

Según el IMN (2008), entre 1990 y 2005 las temperaturas han aumentado en la mayoría de las regiones. Sin embargo, se puede observar que las diferencias entre 1960-1990 y 1990-2005 varían por región en un aumento de entre $-0,7^{\circ}\text{C}$ en la región Caribe Central y $1,0^{\circ}\text{C}$ en las zonas medias y altas de la Región Central

Occidental (cuadro 2) (IMN, 2008). Finalmente, entre el 2012 y 2015, las temperaturas promedio al nivel nacional fueron similares, sin embargo, se nota un ascenso de 1°C en Puntarenas y de $1,3^{\circ}\text{C}$ en Limón, y un descenso de $0,8^{\circ}\text{C}$ en la estación del Aeropuerto Juan Santamaría en Alajuela (INEC, 2015).

Cuadro N° 2 Variación del periodo 1991-2005 con respecto a la línea base. Costa Rica

Zona	Precipitación anual		Elevación	Tipo	Temperatura		Diferencia
	1991-2005	1991-2005			1991-2005	1991-2005	
PACÍFICO NORTE							
Zona Alta	220	217	3	Montaña	20.1	20.9	-0.8
San Isidro	200	170	3				
San José	100	110	10				
San Carlos	100	110	10	Sierra	20.2	20.9	-0.7
San Juan	200	210	10				
PACÍFICO CENTRAL							
Valle Abasco	200	200	0	Montaña	20.2	21.0	-0.8
PACÍFICO SUR							
Valle Ujarrés	200	200	0	Montaña	20.8	21.0	-0.2
Costa Rica	200	210	10				
San José	200	210	10				
Valle Central	200	210	10	Sierra	20.3	20.7	-0.4
San Juan	200	210	10				
REGIÓN CENTRAL OCCIDENTAL							
San José	200	210	10	Montaña	20.4	20.7	-0.3
San José	200	210	10				
San José	200	210	10	Sierra	20.9	21.0	-0.1
REGIÓN CENTRAL OCCIDENTAL							
Valle Central	200	210	10	Montaña	20.8	20.9	-0.1
San José	200	210	10	Sierra	20.9	20.9	0.0
San José	200	210	10				
ZONA NORTE							
San José	200	210	10	Montaña	20.0	21.1	-1.1
San José	200	210	10				
San José	200	210	10	Sierra	20.7	21.0	-0.3
San José	200	210	10				
REGIÓN CARIBE							
San José	200	210	10	Montaña	20.7	20.8	-0.1
San José	200	210	10	Sierra	20.7	22.0	-1.3
San José	200	210	10				

Fuente: IMN, 2008.

2.1.1 Precipitaciones

Costa Rica posee dos regímenes principales de precipitación: la Vertiente del Caribe y la Vertiente del Pacífico. Ambos presentan una distribución distinta de la estación lluviosa, así como las horas en que ocurre la precipitación. Por lo general, “la disminución relativa de la lluvia en julio en la Vertiente del Pacífico corresponde a un máximo relativo en la Vertiente Atlántica” (Ramírez, s.f.).

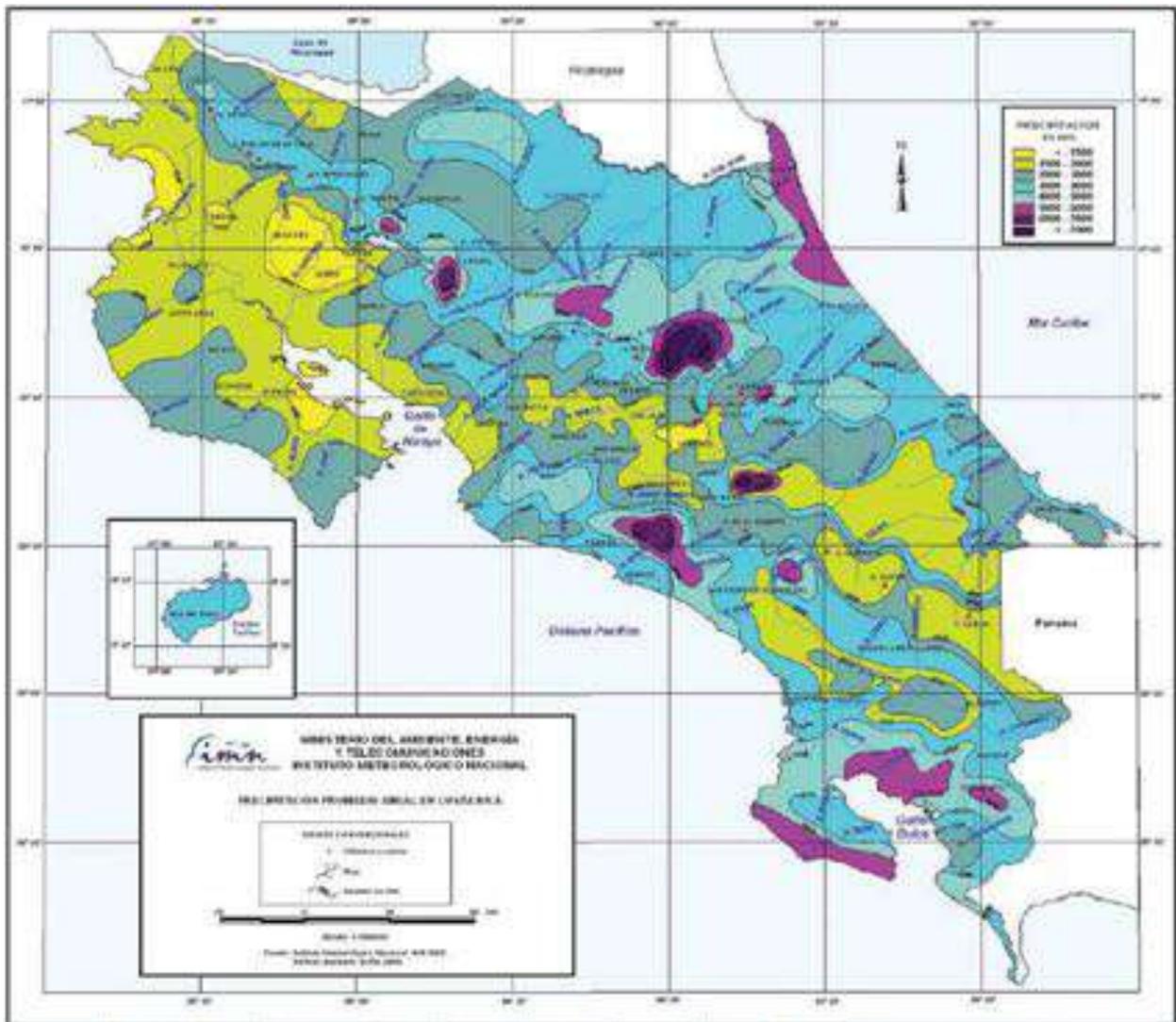
Por un lado, la Vertiente del Pacífico está caracterizada por estaciones seca y lluviosa bien definidas desde mayo hasta noviembre, con una disminución relativa de la cantidad de lluvia en julio y agosto, ocurriendo predominantemente durante la tarde y primeras horas de la noche. Por otro lado, la Vertiente Caribe no presenta estaciones tan definidas como las de su contraparte. El mes de diciembre está caracterizado por lluvias, sin

embargo, en los meses de marzo y septiembre, llamados "secos", las lluvias permanecen, aunque en menor cantidad. Además, la variación diurna de las lluvias no presenta un orden bien definido, aunque se supone un patrón donde llueve más durante horas de la noche y la mañana (Ramírez, s.f.).

El promedio de lluvia por regiones para el 2012 se presenta en el cuadro 1 (IMN, 2014) y su distribución en el 2015, en el mapa 1 (INEC, 2015a). De

estos datos, se puede observar que las cantidades más altas de precipitación se encuentran en la Región del Pacífico Sur y más bajas en la Región del Pacífico Norte con un promedio nacional de 2.034,4 mm. Según el IMN, entre 1960-1990 y 1990-2005, los cambios en las lluvias del país varían entre 22% en la Zona Norte, 20% en la Región Caribe Sur y -16% en Santa Elena en la Región Pacífico Norte (cuadro 2) (IMN, 2008).

Mapa N° 2 Precipitación promedio anual. Costa Rica



Fuente: INEC, 2015.

Finalmente, entre 2012 y 2015, la cantidad promedio de lluvia aumentó de 2.047,6 mm a 3.402,0 mm con un incremento gradual, sin embargo, con aumentos más marcados en la estación de la Selva (de 3.176,6mm a 6.117,5mm), en Limón (de 2.938,8mm a 5.147,3mm), y en Puntarenas (de 881,1 a 1.243,89 (INEC, 2015).

Los impactos de las lluvias intensas y las sequías en el país han sido estudiados por Flores Verdejo, Salas Jimenez, Astorga Molina, & Rivera Ugarte (s.f.). Los autores concluyen que entre 1988 y 2009, los eventos hidrometeorológicos extremos le costaron al país USD 1.161.422.141. También, el estudio muestra que los eventos extremos incrementan en frecuencia y que los sectores más

impactados son primero, el sector de obras públicas y transporte, y luego el sector agropecuario (Flores Verdejo et al., 2010).

2.1.3 Radiación solar

La radiación solar, también llamada brillo solar, es *“el proceso físico por medio del cual se transmite energía en forma de ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz (300.000 km/s)”* (Heinrich et al., 2013). Por un lado, esta energía depende de parámetros tales como la traslación de la Tierra alrededor del Sol, la inclinación sobre su eje, la actividad solar, y la cobertura nubosa o la absorción energética atmosférica (Castro, 1987). Por otro lado, la cantidad recibida de este flujo de radiación hasta la superficie de la Tierra también depende de los parámetros topográficos. Así, las tasas de brillo solar más bajas se han medido en los lugares más bajos y de menor insolación. En Costa Rica,

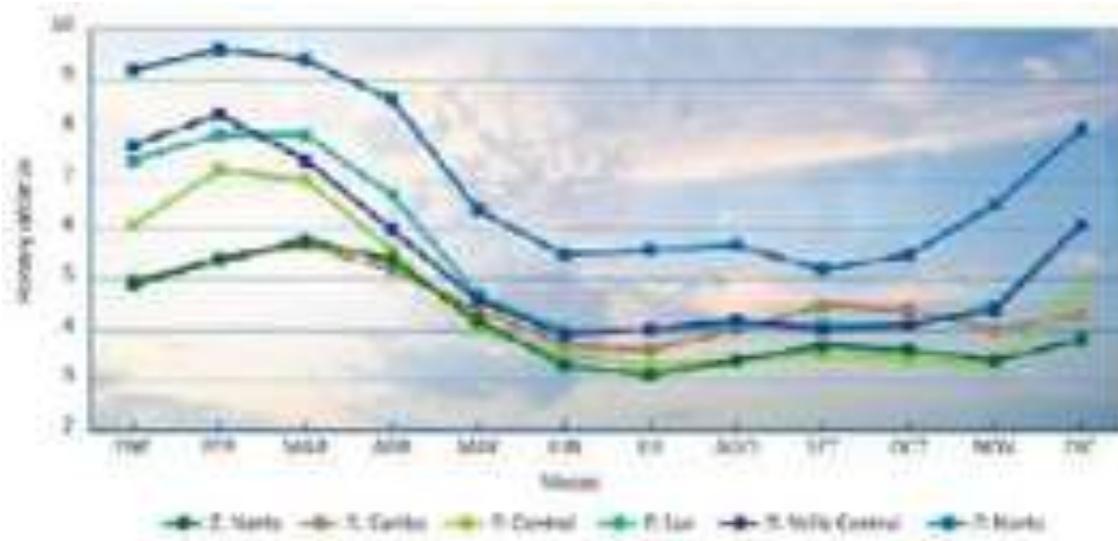
“Los niveles medios de radiación observados oscilan entre 11 y 25 MJ m⁻², con los valores más altos en la sección norte de la vertiente del Pacífico (Pacífico Seco y oeste del Valle Central) y en las cimas de las montañas más altas” (Heinrich et al., 2013).

También, se ha observado que los coeficientes de correlación entre valores medios de radiación y heliofanía² se reducen considerablemente dependiendo de la longitud de las medidas (Heinrich et al., 2013).

Los siguientes gráficos (Gráficos 4) muestran la cantidad promedio de brillo solar recibida por región entre los años 1970s y 2010s. Se puede observar que, durante los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, las medidas de radiación solar son más altas que durante el resto del año, y que las medidas más altas entre todas las regiones se registran para el Pacífico Norte (Heinrich et al., 2013).

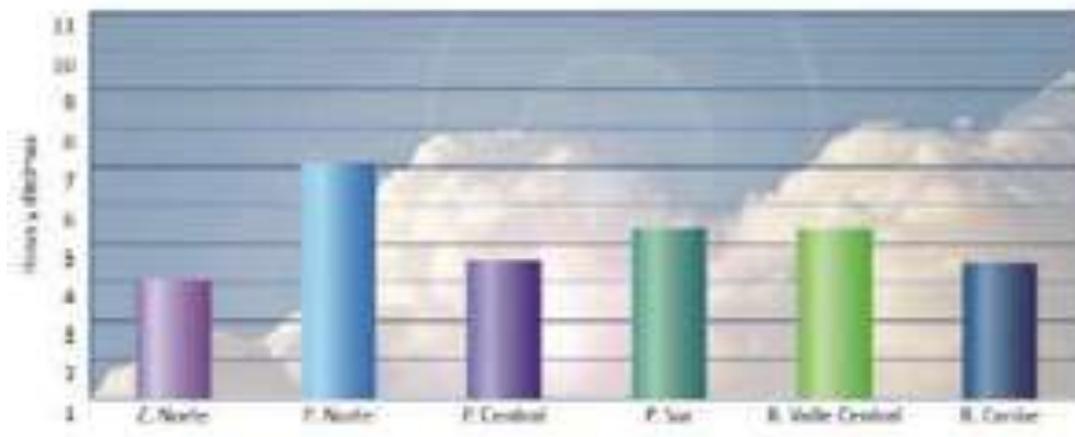
² La heliofanía representa la duración del brillo solar u horas de sol, y está ligada al hecho de que el instrumento utilizado para su medición, heliofanógrafo, registra el tiempo en que recibe la radiación solar directa.

Gráfico N° 4 Brillo solar promedio por región. Costa Rica



Fuente: IMN, 2017.

Gráfico N° 5 Brillo solar promedio promedio anual por región. Costa Rica



Fuente: IMN, 2017.

Mapa N° 3 Brillo solar anual en Costa Rica



2.1.4 Radiación Ultravioleta (UV)

La radiación ultravioleta es un tipo particular de energía radiante del sol que se propaga en forma de ondas electromagnéticas con una longitud de onda particular. Dentro de este espectro existen clases de energía

radiante diferentes, tales como la Radiación Visible e Infrarroja, los Rayos Cósmicos, los Rayos Gama, los Rayos X y los Rayos Ultravioleta. Dentro de estas categorías, los rayos UV comprenden un rango de longitudes de onda entre 10 nm y 400 nm y, por su alta energía, interfieren con los procesos biológicos del cuerpo humano, produciendo muchos tipos de enfermedades,

incluyendo diversos cánceres (IMN, 2017b). Los principales factores que influyen en la radiación UV sobre la superficie son los efectos de la latitud, la nubosidad, los aerosoles, los efectos de la altitud y de la oblicuidad, o masa de aire atmosférica, y el tipo de superficie reflejante (albedo) (IMN, 2017a).

Jaime Wright (2009) concluye que la curva de evolución diaria de los valores de la irradiancia UV es coincidente, salvo un factor de escala, en la curva de la altura solar, alcanzando un valor máximo en torno al mediodía local. Los valores máximos se sitúan en torno al mediodía local, alcanzando $48\text{W}/\text{m}^2$, lo cual es consistente con los valores predichos en condiciones de cielos claros al mediodía local.

2.1.5 Ocurrencia de los eventos de El Niño y la Niña

Los eventos del Niño y la Niña, también llamado ENOS (El Niño, Oscilación del Sur), son parte de la variabilidad climática. ENOS está creado por *“acople de anomalías en el océano y la atmósfera, consiste en la interacción del enfriamiento o el calentamiento -más allá de los niveles normales- de las aguas del océano Pacífico tropical con la atmósfera circundante.”* (IMN, n.d.-b) Es cíclico y aperiódico, con una recurrencia de 2 a 4 años con fases consecutivas cálidas y frías (IMN, n.d.-b).

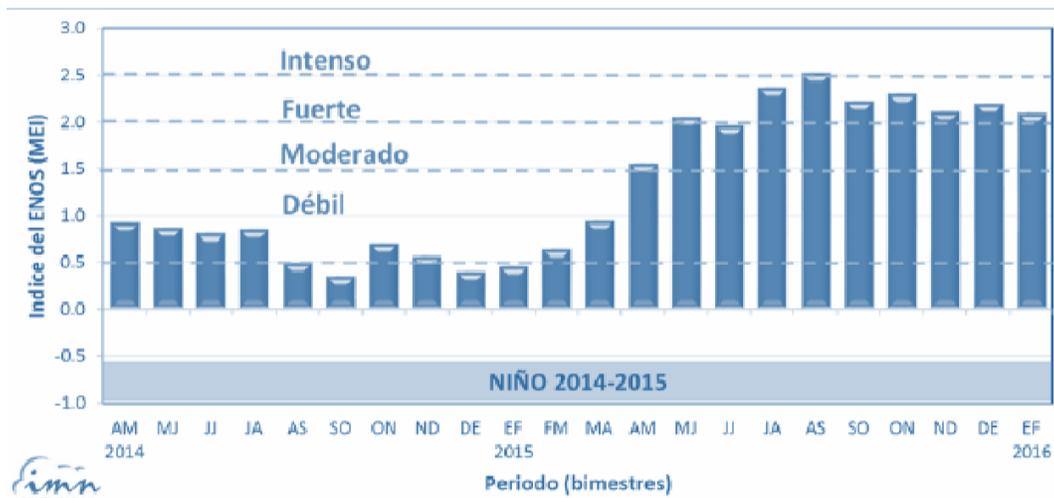
En Costa Rica,

“durante el Niño existe mayor probabilidad de que toda la vertiente Pacífica y región Central experimenten condiciones de secas a secas extremas, mientras en el Caribe existe una mayor probabilidad de escenarios lluviosos extremos. Durante La Niña, los escenarios lluviosos extremos tienen más probabilidad de ocurrir en la vertiente Pacífica, la región Central y Zona Norte, mientras que el Caribe tiene mayores probabilidades de escenarios deficitarios” (IMN, 2008).

Según el IMN, entre abril y mayo 2014, empezó un periodo de El Niño. En 2015, se intensificó, alcanzando una mayor intensidad³ entre agosto y setiembre, y la más fuerte categoría por tercera vez en menos de 50 años. El IMN declara: *“Anteriormente, solo los Niños de 1982-1983 y 1997-1998 mostraron una magnitud parecida a la del actual evento”* (IMN, 2016). La gráfica 6 muestra la intensidad de El Niño del 2014-2016 en comparación a los fenómenos anteriores en términos de temperatura del océano Pacífico (IMN, 2016).

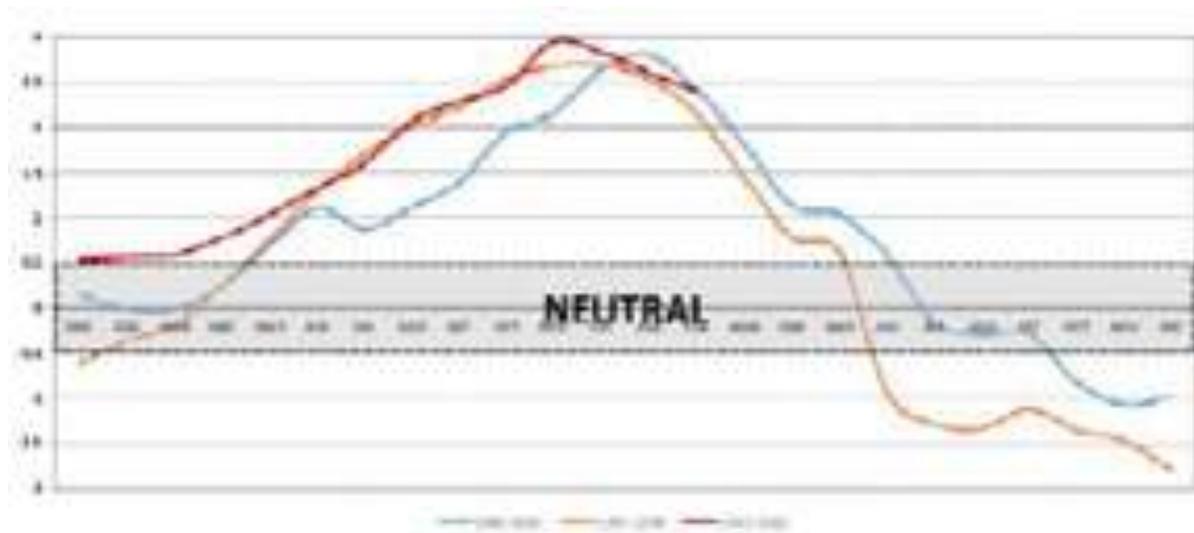
³ Por ejemplo, la fase cálida del ENOS (El Niño) suele clasificarse según la intensidad del mismo: (a) Intensidad débil a moderada : $0,3^{\circ}\text{C} < \text{anomalía de temperatura} < 0,8^{\circ}\text{C}$; (b) Intensidad fuerte: $0,8 < \text{anomalía de temperatura} < 1,2^{\circ}\text{C}$; (c) Intensidad muy fuerte : $\text{anomalía de temperatura} > 1,2^{\circ}\text{C}$ (IMN, n.d.-a).

Gráfico N° 6 Impacto mensual del Índice de ENOS, 2015-2016



Fuente: IMN, 2016.

Gráfico N° 7 Eventos de El Niño 1982-1983, 1997-1998, 2015-2016. Costa Rica



Fuente: IMN, 2016.

Se ha demostrado el impacto del ENOS en el sector agropecuario, lo que provoca un incremento de los precios. También, en Costa Rica, este fenómeno afecta el sector energético, reduce la cantidad de

agua potable y, de manera más general, la estabilidad económica (Quirós & Martínez, 2015). Flores Verdejo, Salas Jiménez, & Rivera Ugarte (2016) evaluaron los costos del evento de El Niño de 1997-1998

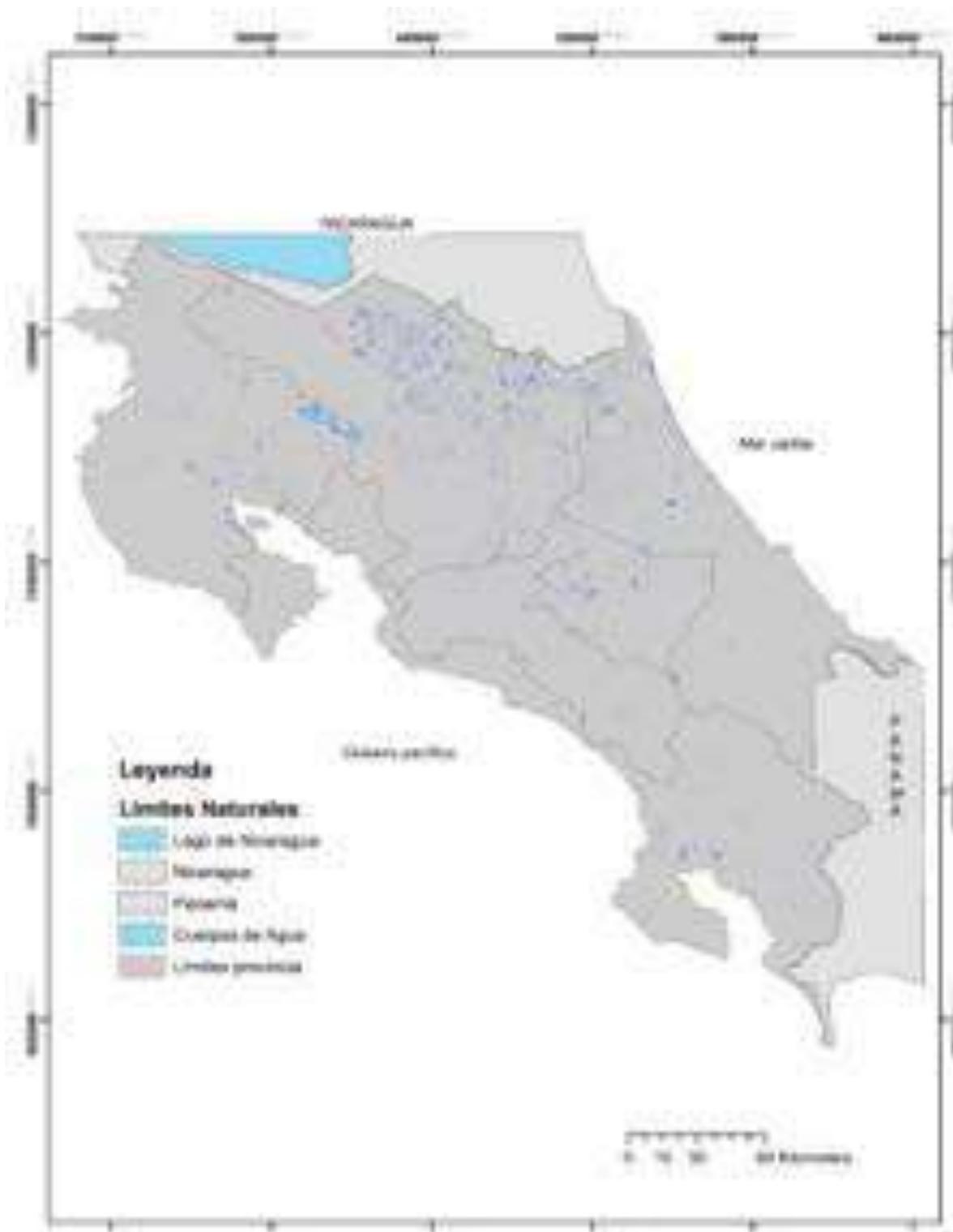
contabilizando USD 1,31 millones para el sector de acueductos y alcantarillados, USD 0,62 millones para el sector de la vivienda, USD 26,18 millones para el sector del ambiente y USD 49,35 millones para el sector agropecuario. En cuanto al evento de la Niña de 2010-2012, un monto total en pérdidas por USD 283,95 millones fue estimado, de los cuales, el sector de infraestructura vial sufrió el mayor impacto (USD 132,3 millones). Flores Verdejo et al. (2010) evalúan las pérdidas totales que este sector ha acumulado entre 1988-2009 en un total de USD 696,6 millones a causa de desastres provocados por diferentes eventos extremos, en su mayoría de origen hidrometeorológico y cuyos casos

más graves ameritaron una declaratoria de emergencia nacional.

2.2 Características Hidrográficas

El agua es un recurso natural de vital importancia para la vida en el planeta. La disponibilidad de agua, así como su calidad, son determinantes para el ser humano y muchos ecosistemas. Es un recurso muy vulnerable y finito, por tanto, es necesario conocer su disponibilidad y características básicas.

Mapa N° 4 Cuerpos de Agua. Costa Rica



Fuente: SNIT, 2017.

En el país se han identificado 8.485 cuerpos de agua continental, es decir lagos, lagunas y embalses (SNIT, 2017). Los embalses son estructuras creadas por el ser humano para retener agua con el fin de utilizarla para diferentes cosas. Por su parte, los lagos y las lagunas son áreas donde naturalmente se deposita y acumula el agua. Pueden ser intermitentes, es decir que se forman únicamente en la época lluviosa y se “secan” durante la época seca, o bien pueden ser permanentes. La diferencia entre lago y laguna es básicamente la profundidad, siendo las lagunas menos profundas que los lagos. Hay poca información respecto a la profundidad de todos los lagos y lagunas del país, por eso se han unido en una sola categoría. En el país existen 8.461 lagos y/o lagunas (permanentes e intermitentes) que suman 54 Km², y 24 embalses que suman 93 Km² (SNIT, 2017).

El lago/laguna más grande es la Laguna Tigre con poco más de 4 km², ésta se ubica al norte de la Península de Osa, Puntarenas (SNIT, 2017). En segundo lugar, se encuentra la Laguna Penitencia con casi 3 km², ubicada en Tortuguero, Limón (SNIT, 2017). Los lagos y/o lagunas del país son numerosos pero pequeños, en comparación con los embalses.

Además, muchos de ellos carecen de información respecto a su profundidad, algunos ni siquiera tienen asignado un nombre, al menos de manera oficial. Por otra parte también se debe destacar el hecho de que, al ser tan pequeños y muchos intermitentes, la identificación de lagos y/o lagunas se vuelve una tarea muy difícil.

En cuanto a los embalses, en el país uno de los usos más frecuentes es la generación de energía hidroeléctrica. De hecho, el conocido “Lago del Arenal” es en realidad un embalse, no un lago. Este es el embalse el más grande del país con 88 Km² (SNIT, 2017) localizado en el límite entre Guanacaste y Heredia.

La profundidad de los embalses varía producto de la sedimentación que ocurre. Es decir, a medida que pasa el tiempo, las lluvias y las actividades del ser humano ocasionan erosión, el suelo que se desprende llega a los embalses, y con el tiempo el suelo se asienta en el fondo. A medida que estos fenómenos de erosión-sedimentación ocurren, la profundidad de los embalses se ve afectada, impactando el reservorio de agua y su utilidad para diversos fines, especialmente para la generación hidroeléctrica.

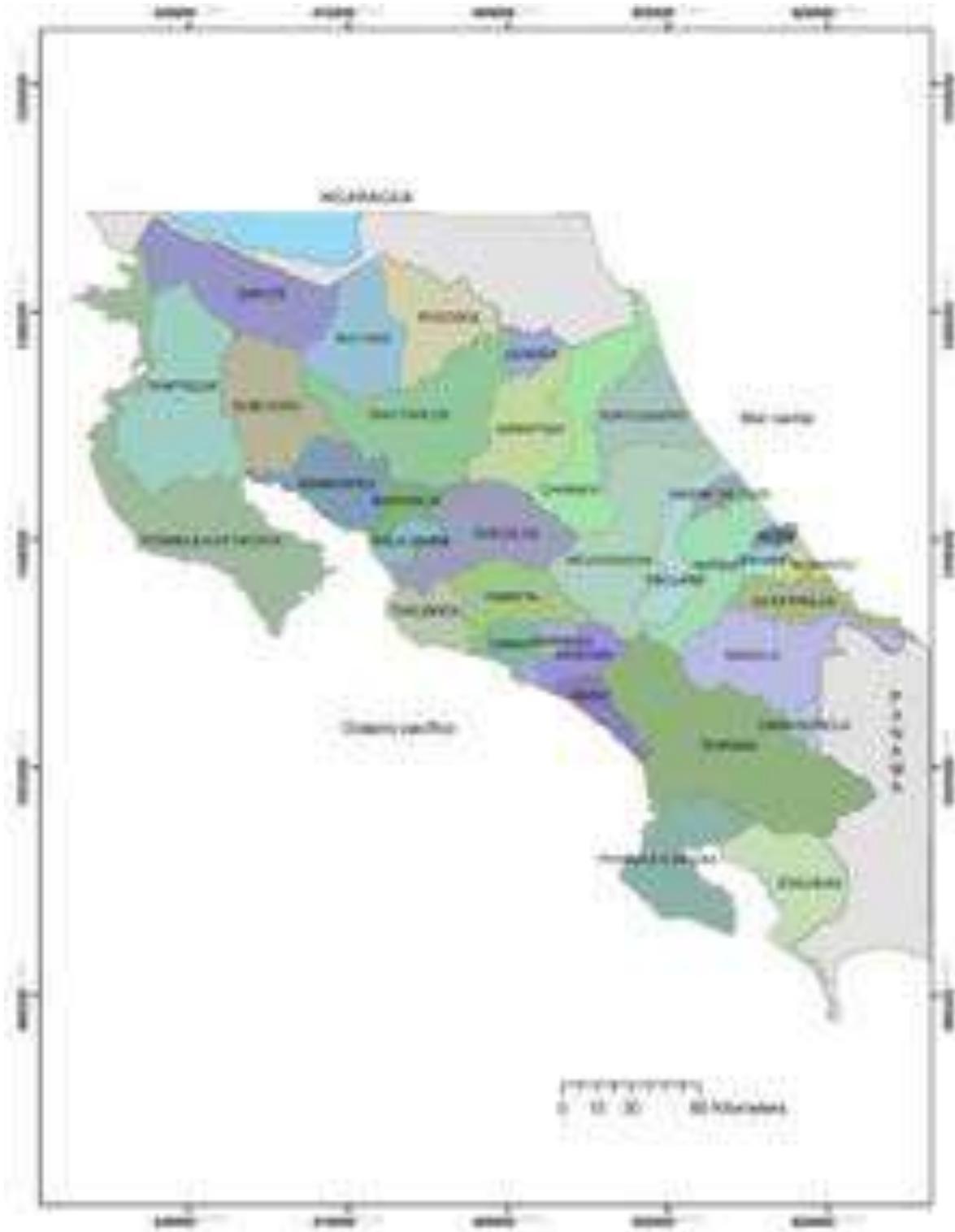
Los ríos de Costa Rica drenan hacia dos vertientes principales: la vertiente del Océano Pacífico y la vertiente del Atlántico o del mar Caribe. Algunos ríos drenan hacia el río San Juan, que marca la frontera con Nicaragua al norte del país, pero éste a su vez desemboca en el mar Caribe. Existen diferentes fuentes de información respecto a la longitud de los ríos, éstos provienen de mapas que se han elaborado en el país y que varían en escala. Por ejemplo, a escala 1:50.000 se tendrá mayor detalle que a escala 1:500.000. Las diferencias en escala hacen que la estimación de la longitud de los ríos sea diferente, además, la ubicación precisa de donde “nace” el río puede ser muy difícil de determinar. Se debe agregar la dificultad que puede surgir por los nombres, por ejemplo, algunos autores aseguran que el río Reventazón nace en las faldas del Volcán Irazú con el nombre río Reventado, mientras que otros afirman que el río Reventazón surge cuando se unen los ríos Aguacaliente y el Grande de Orosi.

En el cuadro 3 se muestra la longitud de los 25 ríos más extensos de acuerdo con la información de (SNIT, 2017). El río Chirripó se identifica como el más extenso, con más de 200 km de recorrido, que inicia en la Provincia de Cartago y desemboca en el mar Caribe (SNIT, 2017).

Los ríos tienen una función ecológica muy importante, por ley se debe resguardar una franja a ambas orillas dependiendo de las características del terreno y su ubicación. En el artículo 33 de la Ley Forestal se definen varias áreas de protección, entre ellas las referentes a los ríos. Dicho artículo determina una franja de 10 metros de protección en zona urbana y 15 metros en zona rural, pero si el terreno es quebrado se debe proteger 50 metros medidos horizontalmente. Si se respetara esta legislación los ríos serían verdaderos corredores biológicos.

La longitud de los ríos poco tiene que ver con la cantidad de agua que llevan. Existen muchos métodos que permiten medir el agua en los ríos, esto se conoce como caudal. El caudal determina cuál es el volumen de agua que está pasando en una unidad de tiempo dada. Esta información es utilizada con diversos fines, por ejemplo, se pueden realizar estudios hidrológicos e hidráulicos para conocer cuánto caudal podría ocasionar inundaciones en una comunidad. Con la información generada del ejemplo anterior se pueden establecer alertas tempranas que permitan a las y los comunitarios reaccionar ante una posible amenaza.

Mapa N° 6 Cuencas hidrográficas de Costa Rica



Fuente: SNIT, 2017.

Las cuencas hidrográficas son áreas en las cuales confluye un sistema de drenaje, conformado por quebradas y ríos, en un mismo punto, conocido como punto de aforo. El área de una cuenca hidrográfica entonces es delimitada por la cumbre de las montañas y cerros, conocido como divisoria de aguas. En el punto de aforo se puede medir la cantidad de agua que drena toda el área de la cuenca a través de diferentes métodos. Las cuencas hidrográficas se pueden sub-dividir en, por lo general, tres partes: cuenca alta, media y baja. Cada una de ellas tiene sus propias características, por ejemplo, en la cuenca alta se localizan las pendientes más altas, porque generalmente el terreno es más quebrado.

De acuerdo con (SNIT, 2017) Costa Rica se divide en 34 cuencas hidrográficas. Las más grandes se denominan Térraba, Península de Nicoya, Tempisque, San Carlos y Reventazón. En el cuadro 4 se muestra el área en kilómetros cuadrados de las cuencas hidrográficas del país y el porcentaje que cada una representa del área total de Costa Rica. Dicho cuadro muestra en orden descendente la información de área de las cuencas, esto significa que la primera cuenca, Térraba es la más grande del país, mientras que Moín es la más pequeña. Un hecho a destacar es que las primeras ocho cuencas

hidrográficas del cuadro suman 50% del territorio del país.

Los límites de las cuencas hidrográficas son naturales, por lo tanto difícilmente respetan límites administrativos como las Provincias o los Cantones. Por esta razón muchas cuencas forman parte de una, dos, tres, cuatro y hasta cinco Provincias. Un buen ejemplo es la cuenca del río Tárcoles, que forma parte de San José, Heredia, Alajuela, Cartago y Puntarenas. Costa Rica tiene una legislación desactualizada en aguas, la actual ley data de 1942. Uno de los elementos más llamativos del proyecto de ley para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico por iniciativa popular es, precisamente la manera de planificar y gestionar las cuencas. Sin embargo, aunque se han recogido herramientas del proyecto de ley y han existido ciertos avances, como lo menciona Astorga (2016), lo cierto es que la urgencia de una nueva ley de aguas que integre las condiciones y necesidades de la sociedad costarricense del siglo XXI es irrefutable.

En la sección anterior se aclaró respecto a las dos vertientes a las cuales drenan la mayoría de los ríos del país. Las cuencas hidrográficas del país drenan hacia una y otra vertiente de una manera bastante equilibrada, el 52% del área del país drena hacia el Pacífico mientras que el restante 48% lo hace hacia el Mar

Caribe (algunos drenan hacia el río San Juan que a su vez drena hacia el mar Caribe) (SNIT, 2017).

Cada cuenca hidrográfica cuenta con características únicas, en el país existen diversos esfuerzos por hacer planificación y gestión integrada de las cuencas hidrográficas. Un ejemplo a resaltar es la Comisión para el Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Reventazón (COMCURE), ya que es la única autoridad de cuenca establecida por ley en el país y en la región Centroamericana. Hay que mencionar que también existen esfuerzos por una gestión integrada de los recursos hídricos en algunas microcuencas que forman parte de las 34 cuencas del país, mediante la conformación de Comités de Cuenca, con la participación de las comunidades.

Las cuencas hidrográficas son consideradas como una excelente forma de hacer planificación y gestión territorial porque son áreas que se conforman de manera natural y lo que pasa en la parte alta de la cuenca impacta la parte media y baja. Por lo tanto una buena gestión de los recursos naturales en la parte alta de la cuenca tendrá un impacto positivo en todo el territorio que la conforma, haciendo que los esfuerzos sean más notables y satisfactorios. Sin embargo, en la actualidad se hace poca planificación y gestión de esa manera, salvo algunos ejemplos como la COMCURE. Aun así, para la COMCURE se hace un trabajo muy complejo porque debe de existir una coordinación no sólo entre diferentes instituciones del estado, sino también entre las municipalidades que tienen una injerencia en las diferentes partes que conforman la cuenca del río Reventazón.

Mapa N° 7 Límites marinos. Costa Rica



Fuente: SNIT, 2017.

Hace mucho tiempo los mares y océanos eran territorios libres, sin embargo, debido a la necesidad de los países por extender su territorialidad y por razones de seguridad se estableció de común acuerdo una serie de reglas que se suscribieron en la Convención de Derechos del Mar de 1982. En esta

Convención se encuentra, por ejemplo, la definición de límites de Mar Territorial y la Zona Económica Exclusiva.

Área de Mar territorial

Según el artículo 6 la Constitución Política de Costa Rica, se define

como aguas territoriales aquellas que se encuentran a partir de la línea de bajamar a lo largo de sus costas, en su plataforma continental y zócalo insular a doce millas náuticas. El área que se conforma bajo esas condiciones se estima en alrededor de 589.000 km² (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, 2011).

Área de Zona Económica Exclusiva

Según Alvarado et al. (2012), la Zona Económica Exclusiva del país se extiende desde la línea base del mar por 200 millas náuticas mar adentro. En el Pacífico el área suma 589.682,99 Km² mientras que en el Mar Caribe suma 24.000 Km² (IGN, 2017). En total el país cuenta con un área de Zona Económica Exclusiva de 613.682,99 Km².

Ésta es la zona en disputa actualmente en la Corte Internacional de La Haya con Nicaragua. Básicamente ambos países tienen una visión muy diferente de cómo se establece el límite de esta zona porque, dependiendo de cómo se delimite existen recursos petroleros importantes que son de interés para ambos.

Área de Aguas Costeras

La costa del pacífico tiene 1.660 km mientras que la costa caribeña tiene 212 km (Cortés & Jiménez, 2003 citado por Alvarado et al., 2012). No existe información respecto a las

aguas costeras como tal. Las aguas costeras se refieren a las áreas que se encuentran en las costas donde desembocan los ríos hacia el Océano o Mar, es decir los deltas y estuarios. Tienen características únicas y por tanto su estudio es importante.

Los estuarios son altamente productivos, de ahí su importancia económica y, sobre todo, biológica. Gómez (2006) indica que en el país existen 69 estuarios, siendo tres los principales: Golfo de Nicoya, Golfo Dulce y el delta Térraba-Sierpe. Según el mismo autor, la mayoría de los estuarios en Costa Rica se clasifican como positivos, porque la cantidad de agua dulce que recibe excede a aquella perdida por efecto de la evaporación y donde se produce una disminución en la salinidad respecto al agua de mar que ingresa. Además, asevera que en el país la mayoría se localiza en la costa pacífica. El más grande es el Golfo de Nicoya con una longitud de 80 Km y un ancho de 14 Km en promedio, en él drena el río Tempisque.

Nivel del mar (profundidad)

Bouroncle & Imbach (2013c) llevaron a cabo un trabajo para conocer las anomalías en el nivel del mar de distintos puntos en el país. Los autores mencionan un aumento en el nivel del mar para la costa caribeña, pero una disminución en la costa pacífica entre 1992 y 2011. La medición del

nivel del mar no es algo sencillo de medir ni de estudiar, existen múltiples factores que se tienen que considerar cuando se analizan datos respecto al nivel del mar, por ejemplo, los oleajes y marejadas. En el cuadro 5 se muestran los resultados del estudio respecto a las anomalías registradas en los puntos de interés.

Es importante mencionar que existen diferentes escenarios de cambio climático en el mundo, así como también modelos que tratan de predecir cómo se verán impactadas las variables climáticas según los escenarios planteados. Según IPCC (2014), para fines de siglo en el 95% de las zonas oceánicas el nivel del mar habrá aumentado.

Aguas subterráneas

La importancia de las aguas subterráneas reside especialmente en que permite disponibilidad de agua en época seca. Según la Dirección de Agua (2017) El mayor usuario del agua subterránea en el país lo constituye el riego para la agricultura, que acaparó el 34% de la extracción de agua subterránea en el 2015 (ver cuadro 6). En segundo lugar, se encuentra el agua para consumo humano con 24% y para uso industrial un 14% (Dirección de Agua, 2017). Cabe destacar que el 12% del uso de agua reportada para el 2015, sin considerar la fuerza hidráulica, provino de aguas subterráneas (Dirección de Agua,

2017). Sin embargo, los autores recalcan la importancia de manejar los datos con mucha preocupación ya que los mismos que se presentan se derivan de las concesiones de agua del Registro Nacional, de la Dirección de Agua del MINAE. Es decir, las extracciones ilegales de agua no se encuentran contabilizadas en los datos. Lo anterior podría explicar por qué en el 2005 se reporta que el 99% de la extracción de agua subterránea fue para consumo humano con apenas 5,44 millones de m³/año, comparado con los 59,93 millones de m³/año del 2015 (Dirección de Agua, 2017).

Existe poca información referente a la profundidad y salinidad de todas las aguas subterráneas o acuíferos del país. La información respecto a la profundidad es dispersa y la mayoría se refiere a datos gráficos, no tabulares. El análisis de la información de la profundidad, salinidad y demás características físico-químicas de las aguas subterráneas es complejo, en el tanto sus niveles dependerán de aspectos climáticos, sobre todo precipitación, geomorfológicos, cobertura y uso de la tierra, así como el uso extractivo del agua.

Se han identificado 61 acuíferos en el país (SNIT, 2017). El más grande de ellos, Tempisque ubicado en Guanacaste con más de 1.150 km², seguido por el acuífero de ciudad Neily en la zona Sur del país con más de 530 Km².

Cuadro N° 3 Longitud de los 25 ríos más extensos de Costa Rica

Nombre	Longitud (Km)	Caudal (m ³ /s)
Río Chirripó	203.661	
Río Frío	139.022	28
Río San Carlos	133.591	212
Canal de Tortuguero	107.141	
Río General	104.889	
Río Reventazón	96.334	136
Río Sixaola	94.248	231
Río Sarapiquí	92.728	118
Río Pacuare	92.245	60
Río Tempisque	91.388	27
Río Matina	87.424	6
Río Nosara	85.93	
Río Pocosol	84.365	
Río Tenorio	81.278	
Río Telire	80.075	
Río Pizote	79.893	
Río Higuerón	78.366	
Río Infiernito	77.443	
Río Naranjo	75.104	
Río Estrella	74.884	
Río Savegre	66.231	56
Río Suerte	62.379	
Río Cañas	60.899	
Río Pirris	60.584	
Río Sucio	60.359	

Fuente: SNIT, 2017; ICE, 2004 citado por Vargas Ulate, 2011 citado por Dirección de Agua, 2017.

Cuadro N° 4 Área y porcentaje del territorio nacional correspondiente a las 8 cuencas hidrográficas más grandes del país

Cuenca Hidrográfica	Área (Km ²)	Área %
Térraba	5.063,5	9,9
Península de Nicoya	4.178,6	8,2
Tempisque	3.383,9	6,6
San Carlos	3.129,4	6,1
Reventazón	2.809,8	5,5
Zapote	2.450,9	4,8
Sixaola	2.309,8	4,5
Tárcoles	2.164,0	4,2
Bebedero	2.068,9	4,0
Chirripó	2.061,0	4,0
Península de Osa	1.962,3	3,8
Esquinas	1.787,6	3,5
Sarapiquí	1.720,7	3,4
Río Frío	1.685,6	3,3
Pocosol	1.643,6	3,2
Matina	1.611,9	3,2
Tortuguero	1.471,9	2,9
Abangares	1.349,7	2,6
Parrita	1.273,5	2,5
La Estrella	980,4	1,9
Pacuare	908,2	1,8
Tusubres	823,1	1,6
Savegre	606,2	1,2
Barú	545,1	1,1
Barranca	481,6	0,9
Damas	452,0	0,9
JesúsMaría	377,8	0,7
Cureña	359,6	0,7
Naranjo	325,1	0,6
Madre de Dios	254,5	0,5
Changuinola	253,5	0,5
Bananito	225,2	0,4
Banano	206,9	0,4
Moín	162,9	0,3
TOTAL	51.088,6	100,0

Fuente: SNIT, 2017.

Cuadro N° 5 Anomalías en el nivel del mar en diferentes puntos de interés (diciembre 1992 – diciembre 2011).

Lugar	Cambio en el nivel del mar (mm/año)
Pacífico	
Bahía Santa Elena	-0,96
Cabo Blanco	-0,98
Golfo Dulce	-0,22
Golfo de Papagayo	-0,92
Chira-Tempisque	-1,18
Isla del Caño	-0,88
Caribe	
Bahía del Colorado	+1,87
Cahuita	+2,02

Fuente: Bouroncle & Imbach, c2013.

Cuadro N° 6 Extracción total de agua en millones m³/año.

Fuente de extracción/Sector	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Extracción de agua dulce	2.802,39	2.963,09	4.260,87	4.770,27	4.860,21	6.718,27	10076,29	12.390,13	13.168,19	15.190,41	16.251,10
Agua para consumo humano	139,97	181,13	207,58	248,45	273,47	2.94,65	308,29	313,84	322,78	345,96	351,11
Suministro público de agua ^{1/}	135,26	175,05	200,51	230,78	240,27	240,27	240,38	241,08	240,42	240,46	236,78
Consumo privado	4,71	6,07	7,07	17,66	33,2	54,38	67,91	72,75	82,35	105,5	114,33
Agricultura, Silvicultura y Pesca	0,02	22,2	55,46	125,02	195,88	529,32	717,76	881,09	952,73	1.209,55	1.525,62
Agroindustrial	0,00	2,59	8,03	10,21	18,04	47,86	52,91	60,02	82,55	122,67	209,9
Agropecuario	0,00	0,18	1,22	2,83	9,37	18,6	25,19	28,44	31,47	40,36	54,82
Riego	0,02	19,43	46,21	111,98	168,46	462,85	639,67	792,63	838,71	1.046,51	1.260,89
Industrial	0,00	0,21	2,09	4,81	8,91	16,24	20,54	26,01	42,81	65,91	77,12
Otras actividades económicas	0,03	0,69	3,45	6,19	8,16	13,13	19,62	25,08	29,1	34,91	39,1
Comercial	0,00	0,33	0,39	0,45	0,55	1,57	2,52	2,72	3,01	3,85	4,18
Turístico	0,03	0,36	3,07	5,74	7,61	11,57	17,1	22,36	26,09	31,06	34,92
Fuerza hidráulica	2.662,37	2.758,85	3.992,29	4.385,81	4.373,79	5.864,93	9.010,08	11.144,11	11.820,78	13.534,08	14.258,15
Extracción de agua dulce superficial	2.796,90	2.947,62	4.232,69	4.723,01	4.798,26	6.636,32	9.975,48	12.264,88	13.015,66	14.973,94	16.001,58
Agua para consumo humano	134,53	169,8	192,69	225,16	245,4	264,41	274,79	277,76	280,25	290,31	291,18
Suministro público de agua ^{1/}	130,98	165,03	187,41	209,81	215,91	215,91	215,91	216,5	215,91	215,95	212,27
Consumo privado	3,55	4,77	5,27	15,34	29,49	48,5	58,88	61,25	64,34	74,36	78,91
Agricultura, Silvicultura y Pesca	0,00	18,55	45,49	107,92	171,48	492,71	670,69	817,99	873,67	1.090,81	1.389,59
Agroindustrial	0,00	2,21	6,63	7,82	13,58	38,43	41,39	43,95	59,52	81,61	163,88
Agropecuario	0,00	0,11	0,98	2,54	8,88	17,16	23,56	26,09	28,55	36,5	50,23
Riego	0,00	16,23	37,88	97,57	149,02	437,13	605,74	747,95	785,6	972,71	1175,49
Industrial	0,00	0,00	0,99	1,94	4,8	8,08	8,85	11,23	24,75	39,74	41,36
Otras actividades económicas	0,00	0,41	1,22	2,18	2,8	6,19	11,06	13,79	16,2	18,99	21,3
Comercial	0,00	0,32	0,34	0,37	0,41	1,32	2,19	2,2	2,22	2,57	2,8
Turístico	0,00	0,09	0,88	1,81	2,39	4,86	8,87	11,6	13,98	16,42	18,5
Fuerza hidráulica	2.662,37	2.758,85	3.992,29	4.385,81	4.373,79	5.864,93	9.010,08	11.144,11	11.820,78	13.534,08	14.258,15
Extracción de agua dulce subterránea	5,49	15,47	28,18	47,26	61,94	81,95	100,81	125,25	152,53	216,47	249,51
Agua para consumo humano	5,44	11,32	14,89	23,29	28,07	30,24	33,5	36,08	42,52	55,65	59,93
Suministro público de agua ^{1/}	4,28	10,02	13,1	20,97	24,36	24,36	24,47	24,58	24,51	24,51	24,51
Consumo privado	1,16	1,31	1,79	2,32	3,71	5,88	9,03	11,5	18,01	31,14	35,42
Agricultura, Silvicultura y Pesca	0,02	3,65	9,96	17,1	24,4	36,6	47,07	63,1	79,06	118,73	136,02
Agroindustrial	0,00	0,38	1,4	2,4	4,46	9,44	11,52	16,07	23,03	41,06	46,02
Agropecuario	0,00	0,07	0,23	0,29	0,49	1,44	1,62	2,35	2,92	3,86	4,6
Riego	0,02	3,2	8,33	14,41	19,44	25,73	33,93	44,68	53,11	73,81	85,41
Industrial	0,00	0,21	1,1	2,87	4,11	8,16	11,68	14,77	18,06	26,17	35,75

Fuente de extracción/Sector	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Otras actividades económicas	0,03	0,29	2,23	4,01	5,36	6,94	8,56	11,29	12,89	15,92	17,8
Comercial	0,00	0,02	0,05	0,08	0,14	0,24	0,34	0,53	0,79	1,29	1,38
Turístico	0,03	0,27	2,18	3,93	5,22	6,7	8,23	10,77	12,11	14,64	16,42
Fuerza hidráulica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: Dirección de Agua, 2017.



2.3 Características geológica y geográfica

2.3.1 Geografía

Costa Rica es un territorio ístmico de aproximadamente 51.100 km², geográficamente localizado en América Central, (Vargas, 2006, p. 24). Según las coordenadas cartográficas se extiende en plena zona tropical entre los (11° 13' 12" y 8° 57' 57" Lat N) y 82° 33' 48" Long O a "unos 1.000 kilómetros del Ecuador" (Flores, 2001, p. 28).

Costa Rica no es solamente territorio continental, posee también superficie marina la cual es aproximadamente 11,54 veces más grande que el territorio continental. Se estima que la totalidad del territorio nacional es de 640.000 km² aproximadamente, aunque la superficie marina no se ha definido todavía, ni aún es oficial, por cuanto el tratado con Nicaragua no está concluido (Bedoya-Benítez, 2008) (Ver Mapa 8).

2.3.2 Terrestres

Geología

Costa Rica es un país geológicamente joven y sus orígenes se remontan al fondo marino hace aproximadamente 150 millones de

años durante el periodo Cretácico. De acuerdo con Vargas (2006), el país surgió producto de un vulcanismo submarino, donde actualmente se ubican los territorios del sur de Nicaragua, Costa Rica y Panamá que estaban dominados por mar, y existía un canal interoceánico que comunicaba los océanos Pacífico y Atlántico. Por lo tanto, según este mismo autor la historia geológica de Costa Rica es producto de la interrelación de un conjunto de unidades geotectónicas: la Placa del Coco, la Placa Caribe, y la Microplaca de Panamá.

Por otro lado, para Flores (2001), la actividad sísmica como consecuencia de la subducción de la placa Coco bajo el margen suroeste de la Placa Caribeña es la condición geológica que explicaría la intensa actividad sísmica y volcánica que está presente en todo el país. El mapa geológico de Costa Rica (Ver Mapa 9) (Denyer y Alvarado, 2007) muestra la presencia en el territorio nacional de rocas y depósitos de origen volcánico; y "se puede llegar a la conclusión de que el territorio nacional es, por lo menos en sus tres cuartas partes, resultado de vulcanismo extrusivo e intrusivo" (Flores, 2001, p. 41).

Según Denyer, Alvarado y Aguilar (2000) "las rocas más antiguas de Costa Rica afloran en las Penínsulas de Santa Elena y Nicoya (sedimentarias) que se depositaron sobre basaltos en un fondo oceánico

profundo" (p. 157). Así, la teoría menciona (...) "la existencia de una serie de aislados promontorios submarinos, dispuestos en arco desde el sur de Nicaragua hasta el norte de Colombia, sobre los cuales se edificaron islas volcánicas cuyas lavas pasaron a constituir la formación geológica llamada Complejo Nicoya" (p. 43); suponiendo que desde el tiempo Cretácico hasta comienzos del Terciario, Costa Rica y Panamá estaban ocupados por un gran canal marino que unía el actual mar Caribe con el Pacífico, como se mencionó anteriormente (Flores, 2001).

Los periodos Holoceno y Pleistoceno (Cuaternario) iniciaron hace más de 1,8 millones de años en los cuales se formaron las cordilleras volcánicas actuales, con un vulcanismo activo en Tilarán, Central y Guanacaste y, en sus fases póstumas un vulcanismo en Talamanca (Denyer *et al*, 2000, p.165) (Cuadro 7).

Así mismo, según los mismos autores, al final del Cuaternario, hace unos 10 mil años, "las partes altas se cubrieron con glaciares (...)". Se pueden encontrar evidencias bastante fuertes en la Cordillera de Talamanca: Cerros de la Muerte, Chirripó y Kamuk; así como en los volcanes más altos, tales como el Irazú, donde debieron de existir nieves perpetuas que provocaron deshielos a causa de la actividad volcánica y propiciaron el desplazamiento de "violentos flujos

volcanoclásticos" que rellenaron el Valle Central (p. 165).

Según Alpízar y Peraldo (1995) "la situación geotectónica de Costa Rica desde el punto de vista de la teoría de la tectónica de placas está determinada por la subducción de placa litosfera bajo otra placa (...) con el nombre de trinchera oceánica que es el accidente morfológico producido por la subducción" (p.4). Según los mismos autores, de acuerdo con las formas topográficas originadas por la actividad tectónica (interacción entre las placas Coco y Caribe) Costa Rica se divide en: zona ante-arco (península de Nicoya y Osa), cuenca ante-arco (llanura del Tempisque), cuenca tras-arco (llanuras de San Carlos y Upala) y cuencas ubicadas dentro del arco interno (valle Central y Valle del General) (p.4).

Para Protti, Güendel y Malavassi (2001) "este ambiente tectónico hace que Costa Rica sea una región sumamente activa en términos de sismicidad, con fuentes sísmicas de diverso origen y profundidad, dispersas por todo el país" (p.29). Por su parte, Alvarado (2000) afirma que Costa Rica ha sido y es un territorio cuyo vulcanismo ha influenciado su formación en una cadena de volcanes en toda Centroamérica cuya actividad se concentra entre los 25 a 40 km de ancho y de 1.400 km de largo, en el contexto del Cinturón de Fuego del Pacífico (p.41).

Geomorfología

El término geomorfología hace referencia a las formas del espacio terrestre y da una idea sobre la dinámica de éstas, su origen, su estado actual y su evolución. De manera que “la forma del terreno actual es el resultado del proceso geomórfico que actuó sobre rocas diversas bajo diferentes climas, todo relacionado con la estructura, vegetación y el suelo en función del tiempo” (Salazar, 2000, p.171). El periodo Cuaternario es una etapa de gran importancia para entender la formación actual del país. Según Flores (2001) la mitad del territorio nacional tiene materiales de este periodo geológico.

La geotectónica modeló la gran mayoría del territorio de Costa Rica, el cual (Vargas, 2006) presenta un relieve muy variado y heterogéneo. De manera tal que “Su complejidad orográfica es dominada por un relieve montañoso que atraviesa, como una espina dorsal, el país con dirección noreste a sureste. A cada lado del eje montañoso, se localizan las llanuras del Caribe y las del Pacífico, y en el interior se desarrollan depresiones o valles (p. 45).

Para Salazar (2000), hay seis factores que influenciaron los aspectos geomorfológicos en Costa Rica: el primero indica que las formas que se originan por agentes externos e internos, como lo son los valles fluviales y los levantamientos

corticales más recientes, por ejemplo, el terremoto de Limón de 1991, donde la costa se levantó aproximadamente 2 metros; el segundo factor indica que la edad de las formas en Costa Rica fueron labradas entre el periodo Terciario y el Pleistoceno.

El tercer factor fueron las glaciaciones durante el Pleistoceno, que en Costa Rica fueron cuatro, al inicio del Holoceno los procesos geomorfológicos cambiaron en todo el mundo de un sistema glacial a uno fluvial; el cuarto factor explica que el clima según las características de una región determina el ciclo geomórfico de erosión (fluvial, árido o glacial), el cual es único y solo varía de intensidad. El quinto factor explica el aspecto de la erosión diferencial, esto porque las rocas presentan distinto comportamiento ante el factor erosivo dominante por lo que su desgaste es diferente, sobresaliendo las más resistentes; por último el sexto factor indica que los mismos procesos geomórficos que actúan hoy, lo han hecho en el pasado.

En el Manual Descriptivo del Mapa Geomorfológico de Costa Rica (Madrigal y Rojas 2000) se incluyen las unidades geomórficas (Ver Cuadro 8) de acuerdo a las formas de denudación, formas de origen volcánico, formas de sedimentación aluvial, formas de origen estructural, formas litorales de origen marino, formas originadas por la acción

intrusiva, formas de origen tectónico y erosivo y formas de origen glaciárico y formas originadas por remoción en masa. Cada una de ellas describe las formas del relieve de Costa Rica el cual es posible observar en el Mapa de Geomorfología de Costa Rica (Ver Mapa 10), el cual es el mapa más reciente con que se cuenta, elaborado por Bergoing y Lizano (2015) de la Escuela de Geografía de la Universidad de Costa Rica.

2.3.3 Marinas

Según Vargas (2006), el mar territorial de Costa Rica tiene una extensión de 12 millas náuticas (alrededor de 22,2 km mar adentro) a partir de la línea de bajamar sobre los cuales Costa Rica ejerce soberanía y es considerado una extensión directa del territorio continental de Costa Rica. El mar patrimonial alcanza una extensión de 200 millas náuticas (alrededor de 370 km mar adentro) en las cuales Costa Rica tiene derecho a explotar sus recursos minerales y pesqueros, así como otorgar permisos para que otros países los hagan, por lo tanto es una Zona Económica Exclusiva (ZEE) desde el 5 de junio de 1975, creada mediante la Ley 5699.

Las áreas marinas de Costa Rica comprenden también islas que pueden clasificarse según Flores (2001), en litorales y oceánicas; las

primeras están cerca de la línea de costa y se levantan desde la plataforma continental y las segundas se encuentran en alta mar, son de origen volcánico y se levantan desde las dorsales oceánicas.

Según el mismo autor "entre las primeras hay varias en el Pacífico que merecen, por lo menos, ser mencionadas. La de Chira es la mayor (52 km²) y se ubica en el extremo NO del Golfo de Nicoya; las de Venado, Bejuco, Caballo están más hacia afuera; la de San Lucas (...) La del Caño está ubicada como a 20 km en línea recta al O de Bahía Drake, península de Osa, mide solo 3 km², pero es internacionalmente conocida por haber sido cementerio indígena..." (p.56).

Según Vargas (2006) basado en el IGN (2003) "se incluyen a Isla Calero (151,60 km²), Isla Brava (44,40 km²) también Isla Portillos (16,90 km² e Isla Machuca (11 km²) y otros islotes (53 km²) para un total de superficie insular para Costa Rica de 343,90 km²" (p.26).

2.3.4 Geología de la Isla del Coco

Según Bergoing (2014) "La isla se sitúa en el Océano Pacífico entre los 5° 29' 52'' y 5° 33' 50'' de latitud norte y 87° 01' 44'' y 87° 06' 23'' de longitud oeste (...). El 22 de junio de 1978, por

decreto ejecutivo 8748-A la isla se constituyó en Parque Nacional, y el 4 de diciembre de 1997 fue declarada Patrimonio Natural de la Humanidad por la UNESCO. Finalmente, en 1998 fue incorporada como Humedal de Importancia Internacional (Sitio RAMSAR)” (p.198).

Para Flores (2001) “La isla del Coco y los ocho islotes circundantes (Manuelita, Cónica, Montagne, Juan Bautista, Muela, Dos Amigos, Cáscara y Pájara) son del tipo oceánico, pues constituyen la cumbre de un volcán o de agujas, mogotes o conos adventicios (o separaciones por erosión marina de la isla principal) que han surgido desde la dorsal del Pacífico” (p.57). Según el mismo autor “Unos 500 km la separan del litoral continental”, (p. 57) y según Bergoing (2014) abarca una superficie de 24 km²”.

De acuerdo con Flores (2001), la isla “Está compuesta de materiales volcánicos relativamente antiguos y diversos (lavas, tobas, piedra pómez); es de topografía muy irregular, con acantilados costeros impresionantes.” (p.57). Así mismo, para Bergoing (2014) “es de origen volcánico y corresponde a la emisión del *hotspot* de las Galápagos, porque sus lavas son eminentemente basálticas (...). La isla del Coco es el punto emergido de la placa tectónica de Cocos (*sic*) que colisionó a fines del Plioceno con la placa del Caribe. El fondo marino entre Cocos (*sic*) y Costa Rica se caracteriza por una dorsal o cadena

volcánica submarina conformada por una serie de conos volcánicos. Según el mismo autor basado en (Hey *et al*, 1977) la isla del Coco tendría una edad entre 10 a 15 millones de años (...). Las coladas de lava características son tarquitas, basaltos con olivino y con hornblenda en menor cantidad” (p.199).

2.3.5 Geomorfología Isla del Coco

Bergoing (1994; 2014) menciona en el mapa del esbozo geomorfológico de la isla: “Su punto culminante al suroeste es el Cerro Yglesias, que se eleva a 575 m de altitud” (p.198), también señala que más al sur está el Cerro Jesús Jiménez a 430 m de altitud, erosionados por el río Yglesias (Ver Mapa 11). Según el mismo autor, “La isla se caracteriza por dos grandes episodios volcánicos. El cono volcánico del cerro Yglesias es el principal foco de emisión, es un cráter erosionado y abierto hacia el sur, drenado por el río del mismo nombre, sus paredes están erosionadas formando escarpes de erosión verticales (...). La isla se caracteriza igualmente por acantilados vivos, erosionados por el mar y que alcanzan 200 m de caída libre con estranes basálticos en algunas partes de su base e islas e islotes menores que lo acompañan. Algunos sectores del acantilado están recubiertos por conos de derrubios. Los acantilados encierran

una gran cantidad de cuevas submarinas expresión del vulcanismo basáltico explotado en sus partes más débiles tanto por la erosión fluvial como marina."(p.201).

2.3.6 Área Costera

De acuerdo al MINAE/UICN (2001) "Costa Rica es un país con una gran diversidad biológica (5% aproximadamente) representada en más de 500.000 especies de flora y fauna" (p.3). Según Morales, Silva y González (2009) "Costa Rica por su reciente formación geológica permite tener una amplia variedad de formas costeras: playas, acantilados, lagunas, penínsulas, cabos y otras. Así mismo la costa Caribe se caracteriza por la presencia de pantanos y playas de arena y la costa del Pacífico es mucho más accidentada, también presenta gran cantidad de playas, así como salientes rocosos" (p.44).

Según Morales *et al* (2009) "En la costa caribe existen pocos asentamientos poblacionales, el principal, la ciudad de Limón, donde las playas del centro de la ciudad presentan actualmente una terraza litoral por efecto de la tectónica, la cual sufrió un levantamiento de hasta un metro durante el terremoto de 1991" (p.44).

Así mismo, para Morales *et al* (2009) "La Ley Marítimo Terrestre promulgada en 1977, define los usos y

límites de esta zona. En este sentido la ley establece una franja costera de 200 m de anchura, a partir del promedio de la pleamar, donde los primeros 50 metros son de uso público (incluidos sistemas de manglar, independientemente de su tamaño) y los restantes 150 m se denominan "zona de concesión", que el estado otorga para el desarrollo de diversas actividades reguladas y controladas por la ley" (p.45).

Arrecifes

Según INRECOSMAR/INBIO (2001) "Estos ambientes se pueden dividir en arrecifes rocosos y arrecifes de coral, ambos de gran importancia en términos de biodiversidad. Sin embargo, son los arrecifes de coral los que más impactos ambientales han sufrido en Costa Rica. En particular, los arrecifes coralinos de Limón, Cahuita y Gandoca Manzanillo. La mortalidad de estos arrecifes supera el 80% en general, y es provocado principalmente por procesos de sedimentación de las actividades agrícolas en toda la costa del Caribe. También, hay evidencia de mortalidad por sedimentación en los corales del Pacífico, especialmente en la Isla del Coco" (p.24).

Para Morales *et al* (2009) "Los arrecifes coralinos constituyen uno de los ecosistemas más importantes y estudiados del país. Destacan entre los más diversos del mundo y se encuentran fuertemente

amenazados en la actualidad. En general, se pueden encontrar 59 especies de corales formadoras de arrecifes (7,4% de la diversidad global), con 36 especies en el Caribe (55% del total de especies del Caribe) y 23 en el Pacífico (62% del total de especies del Pacífico Oriental). Es notable observar que no existen especies de arrecifes en común entre las costas Caribe y Pacífica de nuestro país. Las tres áreas más diversas del Pacífico son Isla del Coco, Bahía Culebra e Isla del Caño" (p.50).

Para estos mismos autores (2009) "En el Caribe, los arrecifes están limitados al sector sur, desde Limón hasta Manzanillo y presentan mayor desarrollo estructural que los del Pacífico. De nuevo, la sedimentación, tanto la natural como la provocada por plantaciones de banano y otras actividades representan las principales amenazas antropogénicas sobre estos ecosistemas" (p.50).

Manglares

Morales *et al* (2009) señalan que "En cuanto a los sistemas de manglares, el 99% de la cobertura de manglares del país se encuentra en la costa Pacífica, la mayor área de manglar del país se ubica en el Golfo de Nicoya, destacando el más extenso en Sierpe-Térraba. La extracción *Anadara* y *A. tuberculosa* en los manglares es la principal actividad económica y de sustento para

numerosas familias costeras del Pacífico. En el caso del Caribe, el manglar más extenso se localiza en Laguna de Gandoca, también existen pequeños manglares en Moín y en el Parque Nacional Cahuita. Destacando los manglares del Parque Nacional Corcovado y la Laguna del Refugio de Vida Silvestre Guandoca-Manzanillo, únicos del país que aun muestran la conexión bosque manglar océano" (p.50).

Humedales

Según el INRESCOMAR/INBIO (2001) "Los ecosistemas estuarios son ambientes particulares de transición de agua marina y agua dulce y tienen una dinámica muy especial de intercambio físico y biológico, y en general se consideran zonas de reproducción y crianza" (p.24).

Para las mismas instituciones (2001) "El estuario más importante de Costa Rica es el Golfo de Nicoya, el cual sufre una gran diversidad de presiones ambientales, desde impactos de contaminación de la escorrentía del 25% del territorio nacional, cambios en el uso del suelo por desarrollos agrícolas y turísticos y sobrepesca. La mayor parte de la investigación científica costero-marina se ha desarrollado en el Golfo de Nicoya, y muestra que el recurso en mayor riesgo es el recurso pesquero, que actualmente se encuentra sobreexplotado. La evidencia de contaminación existe pero, de acuerdo a los resultados

obtenidos, no alcanza niveles extremos y en algunos casos se encuentra por debajo de las normas, en especial para metales pesados y agroquímicos” (p.24).

De igual manera “Otro sistema estuarino de alto riesgo, por el tamaño de la cuenca que drena hacia él es la zona de Barra del Colorado y la desembocadura del San Juan, que drena la extensa cuenca binacional del Río San Juan, y que además sufre problemas de pesca ilegal de la calva (*Centropomus parallelus*). En general, todos los sistemas estuarinos reciben los impactos directos de las actividades que se desarrollan en sus cuencas. Otros casos importantes de mencionar son el Río Reventazón, que drena hacia los Canales del Tortuguero, el estuario de los ríos La Estrella, Sixaola y Grande de Térraba, para mencionar algunos” (p.24).

Igualmente INRECOSMAR/INBIO (2001) resaltan que los canales y lagunas costeras, el caso más importante lo constituye el sistema de canales naturales y artificiales del Tortuguero, siendo el humedal costero más extenso de Costa Rica con grandes presiones ambientales, principalmente por los altos niveles de sedimentación y contaminación por agroquímicos. Así mismo las instituciones mencionadas con anterioridad indican que “los estudios de contaminación, sin embargo, son puntuales” (p. 25). Valga recalcar que en el año 2007 (PNUMA, 2008) se

inició el proyecto de monitoreo costero “*Colombia, Costa Rica y Nicaragua – Reduciendo el Escurrimiento de Plaguicidas al Mar Caribe*” (Proyecto GEF-REPCar) con el apoyo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés). El objetivo del programa es monitorear y evaluar el escurrimiento de plaguicidas al Mar Caribe en respuesta al cumplimiento de la convención de Cartagena para la protección del Mar Caribe.

2.3.7 Longitud de la línea costera

Según Instituto Geográfico Nacional (IGN, 2017), la línea de costa en el Océano Pacífico es de 1.543 kilómetros siendo este el más extenso desde la frontera con Nicaragua hasta el extremo de Punta Burica en el límite con Panamá (Flores, 2001). Así mismo en el Mar Caribe el litoral es de menor extensión, este mide 234,9 kilómetros y se extiende desde Punta Castilla, en la boca del Río San Juan, en la frontera con Nicaragua, hasta la desembocadura del Río Sixaola, frontera con Panamá (IGN, 2017). El litoral del Pacífico va de los puntos extremos del Mojón XX en la frontera con Nicaragua, hasta el Mojón II en la frontera con Panamá en Punta Burica.

Para el litoral Caribe (234,9 kilómetros) los puntos extremos van desde Punta Castilla en la frontera con Nicaragua

(datos preliminares): $10^{\circ} 55' 50,1649''$ N / $83^{\circ} 40' 00,5666''$ W, hasta la desembocadura del río Sixaola en el punto medio de la desembocadura del río en la frontera con Panamá ($09^{\circ} 34' 21,0237''$ N $82^{\circ} 33' 49,9312''$ W). Es pertinente mencionar que las coordenadas de ese punto extremo en el Caribe con Nicaragua podrían variar, después del fallo que emita la Corte Internacional de Justicia (a finales de este año o a principios del otro) a la hora de trazar los límites marítimos con Nicaragua, pero por ahora se puede aceptar como punto de inicio aproximado las coordenadas en Punta Castilla, las cuales son los que se muestran en el mapa 7.

En cuanto a las fronteras, la frontera norte tiene una longitud de 315,04 kilómetros y va del Mojón XX hasta Punta Castilla. Mientras que la frontera con Panamá tiene una longitud de 356,25 kilómetros y se extiende desde la desembocadura del Río Sixaola, hasta el Mojón II en Punta Burica. El Mojón XX tiene las coordenadas: $11^{\circ} 04' 47,1225''$ N / $85^{\circ} 41' 33,2848''$ W. El Mojón II tiene las coordenadas: $08^{\circ} 02' 26,4637''$ N, $82^{\circ} 54' 11,5833''$ W.

Según IGN (2017), los datos de longitudes podrían variar en alguna medida una vez que se tengan los nuevos insumos producto de una nueva cartografía a escala 1:25.000, de los cuales se esperan productos para finales del 2018.

Cuadro N° 7 Formación Geológica del Territorio de Costa Rica

Período	Años	Características
Primario (Paleozoico)	200-140 millones	Movimiento Placa Farallón
Secundario-Terciario (Cretácico-Paleoceno)	75-49 millones	Vulcanismo Submarino que forma el arco de islas en el Litoral Pacífico y Serranías de Nicoya y Osa (arco externo)
Terciario (Eoceno)	41-34 millones	Formación Cerros de Turrubares y Cordillera Costeña
Terciario 8 (Mioceno)	22-5 millones	Levantamiento Cordillera de Talamanca y formación cordillera Volcánica de Tilarán
Cuaternario (Pleistoceno)	1,8 millones	Formación y Actividad Volcánica de las Cordilleras de Guanacaste y Central (arco interno).
Cuaternario (Holoceno)	Hoy	Formación de las llanuras litorales.

Fuente: Elaboración propia basada en Vargas, (2006); Flores, (2001) y Salazar (2000).

Cuadro N° 8 Unidades Geomórficas Territorio de Costa Rica

Formas de denudación	Formas de origen volcánico	Formas de sedimentación aluvial	Formas de origen estructural	Formas litorales de origen marino	Formas originadas por la acción intrusiva	Formas de origen tectónico y erosivo	Formas de origen glaciárico	Formas originadas por remoción en masa
Se deben principalmente a la erosión laminar y fluvial (secundaria), así mismo el tectonismo ha tenido su actuación, su principal característica es el poder erosivo dejando la roca expuesta en porcentaje alto.	Estas formas se deben a la actividad volcánica de la cordillera central y de Guanacaste. La erosión posterior a la meteorización ha tenido influencia en el origen final de las formas.	Se deben al relleno por aluviones traídos por los ríos y quebradas. En algunos casos ha existido aporte marino en forma de cordones litorales y por lagos, que podrían haber sido arenosas o pantanosas.	Aunque la erosión ha influenciado el desarrollo de estas unidades, es la disposición de los estratos o los desplazamientos a lo largo de fallas, lo que ha dado la forma actual.	Se incluyen las formas que están en la categoría de "playas", originadas por el relleno ocasionadas por el oleaje y corrientes marinas litorales, también incluyen formas coralinas.	La presencia de rocas intrusivas, o efectos secundarios como solidificación y brechiación junto con la erosión diferencial posterior a originar las formas.	Deben su origen al movimiento ascendente y a la subsiguiente erosión.	Estas formas han sido originadas principalmente por la erosión glaciárica con subsiguiente deposición morrénica, en las altas cumbres de la Cordillera de Talamanca.	Estas formas son originadas principalmente por el movimiento en masa del terreno a consecuencia de meteorización y mal manejo del mismo.
Península de Santa Elena. Serranías y Valles en rocas cretácicas.	Cordillera de Guanacaste. Cordillera Central. Cordillera de Tilarán y Montes del Aguacate. Mesetas Ignimbríticas. Lomas de Lava. Planicie ondulada de Lahares.	Llanuras, planos aluviales y valles. Terrazas fluviales. Deltas. Conos aluviales. Pantanos y marismas.	Planicies estructurales y montañas plegadas.	Cordones litorales del Atlántico y del Pacífico.	Cerros de Escazú. Cordillera de Talamanca.	Cordillera Costeña Serranías de Osa y Burica.	Valles y depósitos glaciares.	Deslizamientos Santiago de Puriscal, y alto de Tapezco. Deslizamiento Río Reventado. Deslizamiento de Lajas y Chitaría Deslizamiento Cabecera Río Telire. Deslizamiento faldas Volcán Miravalles.

Formas de denudación	Formas de origen volcánico	Formas de sedimentación aluvial	Formas de origen estructural	Formas litorales de origen marino	Formas originadas por la acción intrusiva	Formas de origen tectónico y erosivo	Formas de origen glaciárico	Formas originadas por remoción en masa
	Relictos Volcánicos. Cerros y Colinas del Vulcanismo Intragraben.							

Fuente: Elaboración propia basada en Madrigal y Rojas (1980) y Salazar (2000).

Mapa N° 9 Geomorfología de Costa Rica



Fuente: Bergoing J.P y Lizano M. (2015). Escuela de Geografía/UCR) Escala 1:500.000

Mapa N° 10 Geomorfología Isla del Coco



Fuente: Bergoing J.P. (1994). Esbozo Geomorfológico Isla del Coco. Universidad de Costa Rica.

2.4 Características del suelo

El suelo es un recurso natural esencial para la vida, de ahí es de donde extraemos la gran mayoría de los alimentos que consumimos, brota el agua y la vuelve a absorber, regula el clima, sostiene los bosques, contiene la fauna y es el espacio físico donde realizamos casi todas las actividades humanas. Es en el suelo es donde se desarrolla la vida.

Sin embargo, el recurso está bajo intensa presión ya que la población mundial ha aumentado considerablemente el uso que le hemos dado. Actualmente se cultivan más alimentos, crecen las ciudades, se reducen los bosques, se construyen más caminos y la degradación de la calidad del suelo es cada vez más inminente. Los suelos se pierden y por eso se debe planificar el uso y gestión del recurso, porque ha dejado de ser infinito y a pasado a ser limitado, escaso, irreversible a los daños recibidos, por lo que es de suma importancia considerar como cuidar la calidad, la manera de usarlos y protegerlos.

Por medio de la Ley N° 7699 de octubre de 1997, Costa Rica ratifica la "Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación en los países Afectados por Sequía Grave o

Desertificación en particular en África," reconociendo la importancia del problema de la degradación de las tierras y la necesidad de un trabajo conjunto entre los diversos sectores de la sociedad civil y el gobierno para ejecutar programas de acción de lucha contra esta problemática. En abril de 1998, se emite la Ley de Uso, Manejo y Conservación de Suelos, que establece que el Ministerio de Agricultura y Ganadería, con el Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones, basados en los usos primordiales de las tierras, elaborará el Plan Nacional de Manejo y Conservación de Suelos para las tierras de uso agroecológico, el cual contendrá los lineamientos generales que serán de carácter vinculante y de acatamiento obligatorio en cuanto realicen o ejecuten programas o proyectos que incidan en el uso de las tierras estudiadas. En mayo del 2004 se elabora el Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Degradación de la Tierra en Costa Rica (PAN), por parte de la Comisión Asesora sobre Degradación de Tierras (CADETI); donde se encuentran los lineamientos técnicos básicos para la implementación de la Ley de Uso, Manejo y Conservación de Suelos N° 7779 en los Planes y Comités por área creados por efecto de esta normativa.

El análisis de suelo para determinar origen, características y manejo se divide en órdenes o clases a lo largo

de todo el territorio y su uso y distribución ha cambiado con los años. Desde el año 1991 a la fecha ha habido un cambio en las estructuras de horizontes del suelo. En el año 1991 la composición del suelo estaba constituida especialmente por inceptisoles 38,9%, ultisoles 21%, andisoles 14,4%, entisoles 12,4% (MAG, Biblioteca virtual). En el 2012 los inceptisoles, suelos relativamente jóvenes utilizados principalmente en actividades agropecuarias, se redujeron a un 22% y a un 13,66% para el 2016. Los ultisoles, suelos que principalmente se formaron luego del abandono del ganado y que se transformaron en suelos de grandes cultivos agroindustriales, pasaron al 37% en el 2012 a 41,32% para el 2016. Los andisoles, suelos de origen principalmente volcánico se mantienen, 17% para el año 2012, 14,10% para el 2016. Los entisoles, suelos minerales muy débilmente desarrollados y con fertilidad muy baja se redujeron al 11% para el 2012 y al 8,9% para el 2016.

2.4.1 Degradación de suelos

El proceso de degradación de tierras en Costa Rica debe ser visualizado de manera integral, lo cual significa que no solo se debe de considerar para su análisis, los factores propiamente geomorfológicos, geográficos y climáticos, sino también los condicionamientos derivados de la realidad social, política y la ejecución de diversos

modelos económicos que se han implementado en el país, tales como el modelo de sustitución de importaciones el cual se extendió hasta finales de los años setenta, y posteriormente el modelo de fomento a las exportaciones no tradicionales, puesto en práctica en los años ochenta (CADETI, 2000).

Los procesos de degradación que experimenta la quinta parte del territorio nacional se originan en:

- i. Sistemas de producción y políticas agropecuarias de corto plazo que han propiciado la inadecuada planificación del uso de la tierra.
- ii. Mal manejo de cuencas hidrográficas.
- iii. Utilización de tierras no aptas a la producción agropecuaria.
- iv. Abandono de áreas que fueron de explotación agrícola y pecuaria.
- v. Sistemas de riego mal planeados, diseñados y operados.
- vi. Desequilibrios hídricos y el mal uso de las tierras.
- vii. Aumento irracional de la deforestación y mal manejo de bosques.
- viii. Establecimiento de ganadería extensiva en terrenos no aptos.
- ix. Insuficiente investigación básica y aplicada para el desarrollo de tecnologías.
- x. Cambios en el uso de la tierra a cultivos con tecnologías

- inadecuadas.
- xi. Quemadas en zonas secas e incendios forestales.
 - xii. Desigual distribución de la tierra que obliga a utilizar zonas frágiles y no aptas.

Un estudio de tendencias de cobertura del suelo compara a través de la presencia de bosques, no bosques y nubes las tendencias en los cambios de coberturas. En este período se refleja un aumento en la cobertura forestal de entre 1997 y el 2010 arrojando un 10,27% de aumento en la cobertura boscosa y una disminución de 12,82% en el uso de tierras que no son forestales. En el Inventario Nacional Forestal del año 2014, se puede observar que hay un 52,4% de cobertura forestal de varios tipos (IFN, SINAC, FONAFIFO, GIG, RED+, MINAE: 2014) un 26,28% (SINAC, 2010) son áreas protegidas por lo que un 26,12% está en tierras fuera de estas áreas. Según el Mapa de Capacidad de Uso de la Tierra de Costa Rica (Mata, R., Jiménez, R. 2015) el país tiene como capacidad de Uso Forestal (Clase VII) un 16,16% y en Capacidad de uso de Conservación (Clase VIII) fuera de las áreas protegidas tiene un 4,72% para un total de capacidad de uso forestal y de conservación fuera de las áreas protegidas de 20,88%. Estos datos señalan que el país ha sobrepasado con cobertura forestal, la capacidad de uso forestal y de conservación fuera de las áreas protegidas con un 5,44% (CADETI, 2000).

2.4.2 Contenido de nutrientes del suelo.

En los suelos, el pH es usado como un indicador de la acidez o alcalinidad de éstos y es medido en unidades de pH. El pH es una de las propiedades más importantes del suelo que afectan la disponibilidad de los nutrimentos, controla muchas de las actividades químicas y biológicas que ocurren en el suelo y tiene una influencia indirecta en el desarrollo de las plantas. (CIAUCR, 2017)⁴

Pérdida de fertilidad del suelo es un proceso dinámico y amplio que reduce las cualidades químicas, físicas y biológicas del suelo, las cuales son fundamentales para sustentar la actividad agrícola, ya que se reducen o pierden los nutrientes del suelo. La calidad física del suelo costarricense se ha visto mermada por los sistemas de producción que involucran un tipo de labranza que pulveriza la capa arable facilitando su transporte por el agua o por el viento. Esto se ve agravado por la utilización de máquinas y equipos inadecuados que provocan la destrucción de la estructura en la capa laborada; la falta de cobertura vegetal; cultivo de plantas que producen poca biomasa para reciclar y la ganadería extensiva, debido al proceso de compactación superficial del suelo por el ganado en sobrepastoreo. Por

⁴ <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/LSF/20130520/Info%20pH.pdf>

otra parte, la pérdida de fertilidad biológica del suelo se favorece por el exceso de labranza con remoción y exposición del suelo a la intemperie; el monocultivo; el mal manejo de la vegetación y de los residuos orgánicos y el uso de productos con alta toxicidad y con prolongado efecto residual (Ministerio de Agricultura y Ganadería FAO, 1996).

Los problemas de acidez, principal limitante nutricional de los suelos, abarcaban en la década de los 90 apenas alrededor de un 20% de los suelos bajo uso agrícola, y en general constituían más una situación de niveles bajos de bases (35%) que de fuertes problemas de aluminio. El N se consideró una limitante generalizada y el 74% de los suelos agrícolas presentaban deficiencias de P. Otros elementos que ejercían limitantes según el estudio de 1986 eran Zn (26%), K (22%) y Mn (23%) (Estado de

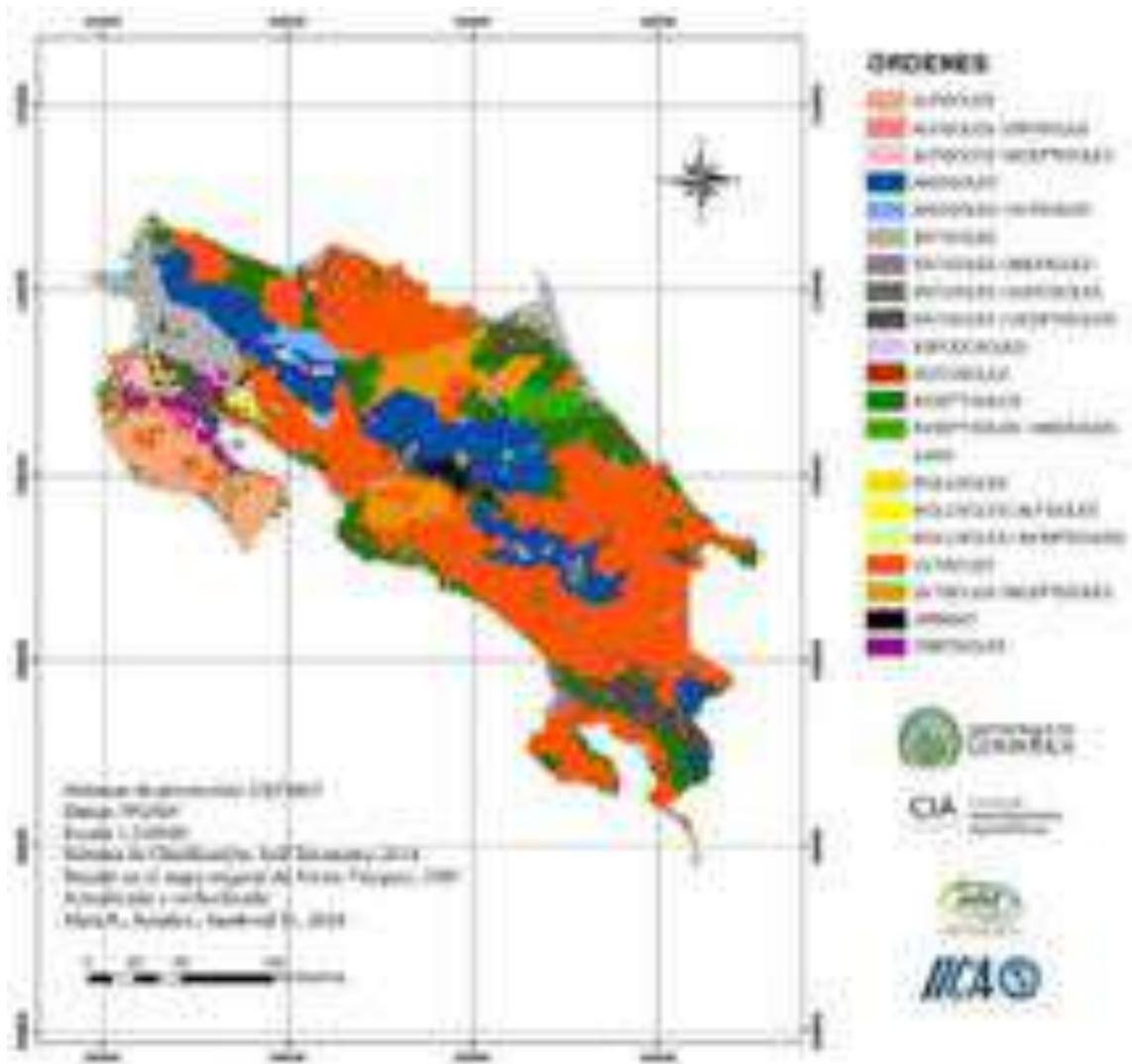
la Nación, 1996). Una nueva y sencilla evaluación por frecuencias de muestras altas, medias y bajas por cantón, con base en la información acumulada de los laboratorios de suelos del país, podría permitir fácilmente en futuros informes, establecer los cambios en las tendencias nutricionales de las áreas agrícolas. Pueden darse cambios por prácticas de manejo específicas (uso o no de fertilizantes o enmiendas), o por cambio en las zonas de producción. Las limitantes físicas de los suelos causadas por el manejo, a saber, compactación, mal drenaje, podrían también ser cuantificadas como indicadores de la gestión del recurso, sin embargo, pese a su indiscutible relevancia no han sido cuantificadas sistemáticamente. (Bertsch, 2006).

Cuadro N° 9 Clasificación de Suelos. Costa Rica.

Orden	1990		2012		2016	
	Km2	Porcentaje	Km2	Porcentaje	Km2	Porcentaje
Inceptisoles	15.642,0	38,9	10.983,0	0,2	6.969,0	13,7
Ultisoles	8.402,0	21,0	18.721,0	0,4	21.076,0	41,3
Andisoles	5.874,0	14,4	8.444,0	0,2	7.192,0	14,1
Entisoles	4.963,0	12,4	5.702,0	0,5	4.535,0	8,9
Alfisoles	3.857,0	9,6	5.370,0	0,1	2.824,0	5,5
Vertisoles	621,0	1,6	795,0	0,0	788,0	1,6
Molisoles	546,0	1,4	546,0	0,0	451,0	88,0
Esodosoles	62,0	0,9			32,0	0,1
Histosoles	390,0	-	157,0	0,0	128,0	0,3

Fuente: MAG, ICCA, 2016.

Mapa N° 11 Ordenes de suelos. Costa Rica



Fuente: Malta R. et al, 2016.

3. Estado de la Cobertura Terrestre, Ecosistemas y Biodiversidad

3.1 Estado de las Coberturas terrestres

Los mapas de cobertura provienen de la clasificación de imágenes satelitales o fotografías aéreas. Estas imágenes cuentan con características especiales que ayudan a identificar los elementos que en ellas se observan, por ejemplo la resolución espacial. Las imágenes se componen de numerosos píxeles, la resolución espacial indica el tamaño del píxel en la realidad. Así, una imagen con una resolución espacial de 30 metros quiere decir que cada píxel que compone la imagen representa en la realidad un cuadrado de 30 x 30 metros. Otra característica muy útil que se utiliza para clasificar elementos de una imagen satelital es la resolución espectral. Una imagen se puede componer de varias bandas, cada banda contiene información específica de un rango del espectro electromagnético. Los seres humanos sólo somos capaces de “ver” un

rango muy limitado del espectro electromagnético, pero se han construido dispositivos que permiten captar la información del espectro electromagnético invisible para el ojo humano y hacerlo visible a través de la composición de imágenes de falso color. Dependiendo del sensor que toma la fotografía o la imagen satelital se podrá captar más, o menos información del espectro electromagnético.

Existe una diferencia importante entre uso y cobertura de la tierra. Un ejemplo práctico para entender esa diferencia es un área en el que la cobertura se identifica como “Árboles” y el uso es “Bosque”. Muchas veces no se respeta la diferencia entre uso y cobertura, se elaboran mapas que mezclan ambos conceptos.

Además de entremezclar los conceptos de uso y cobertura muchas veces se elaboran mapas utilizando diferentes metodologías y/o fuentes de información (diferentes resoluciones espaciales y

espectrales), lo cual hace que las comparaciones sean un tanto complejas y no tan directas como se piensa o se desea. Al respecto se debe resaltar y rescatar el esfuerzo que está haciendo el país por tener un sistema de clasificación de uso y cobertura de la tierra armonizado a través del Sistema Nacional de Monitoreo de Cobertura y Uso de la Tierra, y Ecosistemas (SIMOCUTE).

Es normal que en los mapas existan clasificaciones para agrupar aquellas zonas que no se han podido clasificar debido a presencia de nubes y/o sombras. Sin embargo, es también importante que dichas zonas no representen un área demasiado grande, en Costa Rica es de esperar una cobertura de nubes importante en la zona norte donde hay una persistencia de la nubosidad importante. Otro aspecto que considerar es que la clasificación que se ha hecho históricamente en el país corresponde, en su gran mayoría al territorio continental sin considerar las islas.

3.1.1 Uso/Cobertura 1992

El mapa se construyó haciendo una clasificación de imágenes Landsat TM de los años 1991 y 1993 (Fallas & Savitsky, 1995). Los autores mencionan que se usaron categorías de clasificación similares a las utilizadas en el mapa de 1984. En el cuadro 1 se puede observar los resultados de la clasificación, en la cual predominan los pastos con 47% de cobertura en todo el país (Fallas & Savitsky, 1995). Es importante mencionar que para este mapa los autores reportan una exactitud global de 74%, donde la exactitud para el área urbana fue la menor, con un 50%.

Mapa N° 12 Mapa de cobertura de suelo para Costa Rica. 1996-1997



3.1.2 Cobertura/uso 2000

En el cuadro 11, se presenta la información referente a la cobertura identificada para el año 2000 obtenida del procesamiento de la capa oficial de cobertura vegetal para Costa Rica del año 2000. Es necesario resaltar que la información que se presenta en el cuadro 10 tiene una característica particular y es que presenta información respecto a un cambio de cobertura entre 1997 y el 2000, específicamente en áreas

deforestadas. Aunque el dato de deforestación no es alto, apenas representa un 0,2% del país, no se conoce cuál fue la cobertura en el 2000 y el motivo del cambio (por ejemplo, incendio o tala). Es importante hacer hincapié en el hecho de que el dato de deforestación se presenta probablemente porque en el año 1997 entra a regir la Ley Forestal 7575 en la cual se prohíbe el cambio de uso de la cobertura forestal.

En el año 2000 la cobertura del país era predominantemente

agropecuario, aún si se suman las áreas de bosque, mangle, páramo, plantaciones forestales y regeneración forestal el porcentaje de cobertura forestal del país asciende a 46,5%, mientras que el agropecuario es 48,6%. Sin embargo, es importante aclarar que Sánchez et al. (2002) no presentan en el informe la categoría "Agropecuario", sino más bien "No cobertura forestal". Los autores reportan una precisión global de 92% para coberturas forestal/no forestal y mencionan que utilizaron imágenes Landsat TM 7 que tienen una resolución espacial de 30 metros. La provincia con mayor cobertura forestal fue Limón con un 69,2%, mientras que la provincia con mayor porcentaje de cobertura no forestal fue Alajuela con 66,4% (ver cuadro 12).

3.1.3 Cobertura/Uso 2005

El mapa de cobertura para el 2005 se hizo con las imágenes de satélite Landsat ETM+, que tienen una resolución espacial de 30 x 30 metros (Sánchez et al., 2007). En el cuadro 13 se muestra la información de la clasificación que se utilizó, cabe aclarar que contiene datos de cambio. El cambio registrado se refiere a la comparación de la cobertura 2005 con la del 2000. Así, se registra una pérdida de 0.5% de cobertura forestal, aunque el dato es mayor al registrado anteriormente se debe considerar que en esta

oportunidad el dato se refiere a un periodo de tiempo más amplio (Sánchez et al., 2007). Los mismos autores reportan una precisión global de 90%.

Se debe rescatar que para la clasificación del 2005 se hizo un esfuerzo por identificar y separar las áreas urbanas.

3.1.4 Cobertura 2010

Para este mapa se clasificaron las imágenes satelitales SPOT⁵, las cuales tienen una resolución espacial de 10 x 10 metros (FONAFIFO, 2012). En el cuadro 14 se puede observar la información de cobertura para el 2010. La clasificación utilizada en esta ocasión fue forestal, no forestal y nubes. Cabe mencionar que FONAFIFO (2012) no reporta un dato respecto a la precisión global de la clasificación.

Las provincias donde se concentró el mayor porcentaje de cobertura forestal fueron, Limón y Puntarenas, ambas con 11%, mientras que la provincia donde se concentra la mayor cobertura no forestal del país fue Alajuela con 12% (FONAFIFO, 2012) (ver cuadro 15)

⁵ Los satélites Spot (Satellite Pour l'Observation de la Terre: Satélite Para la Observación de la Tierra) son una serie de satélites de teledetección civiles de observación del suelo terrestre.

3.1.5 Cobertura/uso 2013

El mapa de cobertura del país para el año 2013 se realizó con una clasificación de imágenes satelitales con una resolución espacial de 5 metros. Se debe resaltar que, si bien el mapa se reporta para el 2013, lo cierto es que las imágenes satelitales que se usaron para hacer la clasificación son de los años 2011-2012.

Este mapa de clasificación se realizó como un insumo importante para el primer Inventario Nacional Forestal (INF) del país, por esta razón se puede apreciar que las categorías se orientan a una perspectiva forestal, donde se puede observar mayor detalle en ciertos tipos de bosques que fueron de interés para el INF. Según este mapa el país cuenta con una cobertura forestal que asciende a 51,9%, dato calculado a partir del mapa base de cobertura y uso de Costa Rica para el año 2013). Si bien la cobertura, o más bien el uso Plantación Forestal parece haber aumentado del 2000 al 2013, es sabido que para el mapa del 2013 se reportan errores muy grandes de clasificación para esa categoría, por lo que tal análisis no se puede realizar. En el cuadro 16 se observa la información de la clasificación para el país.

3.1.6 Censo 2014

De acuerdo con datos del censo hay 2.406.417,4 hectáreas distribuidas en fincas con diferente tipo de tenencia (INEC, 2015). En el cuadro 17 se muestra la información del censo respecto al tipo de uso considerado en el censo. Si se considera el área total del país, los pastos corresponden al uso de mayor área con un 20,5% (INEC, 2015), nótese que según el mapa de cobertura/uso del año 2013 los pastos representan casi un 24% del territorio nacional, información calculada a partir del tipo de bosque, para el año 2013.

La mayoría de las tierras de labranza se encuentran en Puntarenas con un 28,1%, seguido por Guanacaste y Alajuela con 24% cada una (INEC, 2015). Por su parte, los cultivos permanentes se concentran en Puntarenas con un 24%, seguido por Alajuela con 21% (INEC, 2015). Mientras tanto los pastos se localizan mayoritariamente en Alajuela con un 29% seguido de cerca por Guanacaste con 27% (INEC, 2015). En el cuadro 18 se muestra los demás resultados por provincia.

De acuerdo con el INEC (2015), los cultivos anuales suman 141.362,6 ha. De esta área el 58.539,7 ha son cultivos de arroz, 19.470,5 ha frijol, 15.768,9 ha de maíz, y 15.044,49 ha de yuca. Por otra parte, el autor menciona que el área sembrada de cultivos permanentes asciende a

557.888,6 ha, y se destacan por sus cultivos de café (84.133,1 ha), palma aceitera (66.419,8 ha), caña de azúcar (65.062,0), banano (51.758,1 ha) y piña (37). Además, se indica

que los principales cultivos forestales suman un área de 88.891,5 ha, de las cuales se destaca teca (47.167 ha), melina (18.235,1) y pochote (4.294,9 ha)

Cuadro N° 10 Áreas por cobertura/uso en Costa Rica para el año 1992.

Cobertura/Uso	Km2	%
Urbano	203	0,4
Agricultura	4.456	8,5
Pasto	23.774	46,6
Bosque	16.798	32,9
Sin cobertura vegetal	154	0,3
Humedales	1.149	2,3
Cuerpos de agua	100	0,2
Mangle	376	0,7
Páramo – vegetación subalpina	136	0,3
No clasificado/mixto/deforestado	4.002	7,8

Fuente: Elaboración propia a partir de mapas base de cobertura/uso del MINAE, 2017

Cuadro N° 11 Área por cobertura/uso en Costa Rica para el año 2000.

Cobertura/Uso	Ha	%
Agropecuario	2.481.323,6	48,6
Agua	24.402,8	0,5
Bosque	2.318.350,1	45,4
Deforestación 97-2000	9.212,5	0,2
Mangle	41.841,5	0,8
Nubes	200.689,4	3,9
Páramo	99.38,3	0,2
Plantaciones forestales	5.437,6	0,1
Regeneración forestal	897,4	0,0
Sin datos	13.532,4	0,3
TOTAL	5.105.625,6	100,0

Fuente: Elaboración propia a partir de mapas base de cobertura/uso del MINAE, 2017

Cuadro N° 12 Distribución porcentual de la cobertura forestal/no forestal por provincia para Costa Rica en el 2000.

Provincia	% Cobertura Forestal	% Cobertura No Forestal
San José	40,2	59,8
Alajuela	33,6	66,4
Cartago	65,4	34,6
Heredia	53,8	46,2
Guanacaste	41,4	58,6
Puntarenas	45,5	54,5
Limón	69,2	30,8
Total	45,4	54,6

Fuente: Elaboración propia a partir de mapas base de cobertura/uso del MINAE, 2017

Cuadro N° 13 Área por cobertura en Costa Rica para el año 2005.

Cobertura	Área (Ha)	%
Forestal	2.276.205	43,2
No Forestal	2.346.823	45,6
Recuperación de cobertura forestal	169.914	4,8
Pérdida cobertura forestal	23.689	0,5
Manglar	41.121	0,8
Páramo	11.061	0,2
Nubes	184.649	3,9
Áreas urbanas	26.036	0,5
Agua	23.740	0,5
TOTAL	5.103.238	100,0

Fuente: Elaboración propia a partir de mapas base de cobertura/uso del MINAE, 2017

Cuadro N° 14 Área por cobertura en Costa Rica para el año 2010.

Cobertura	Área ⁶	%
No Forestal	2.388.315,38	46,8
Forestal	2.668.993,47	52,3
Nubes	35.722,66	0,7
TOTAL	5.103.238	100,0

Fuente: Elaboración propia a partir de mapas base de cobertura/uso del MINAE, 2017

Cuadro N° 15 Distribución porcentual de la cobertura forestal/no forestal por provincia para Costa Rica en el año 2010

Provincia	No Forestal	Forestal	Nubes
Alajuela	11,9	6,9	0,4
Cartago	1,5	4,5	0,0
Guanacaste	10,0	9,9	0,0
Heredia	2,3	3,0	0,0
Limón	6,4	11,4	0,1
Puntarenas	10,4	11,2	0,1
San José	4,3	5,4	0,1
Total	46,8	52,3	0,7

Fuente: Elaboración propia a partir de mapas base de cobertura/uso del MINAE, 2017

⁶ Área calculada con base en los porcentajes reportados

Cuadro N° 16 Área por cobertura/uso en Costa Rica para el año 2013.

Cobertura	Ha	%
Bosque deciduo	24.0107,0	4,7
Bosque maduro	1.545.761,3	30,3
Bosque palmas	47.152,6	0,9
Bosque secundario	697.735,0	13,7
Manglar	36.153,4	0,7
No forestal	761.034,8	14,9
Nubes	344.485,4	6,7
Pastos	1.216.128,7	23,8
Páramo	10.240,5	0,2
Plantación forestal	74.390,2	1,5
Sombra de nubes	136.447,6	2,7
TOTAL	5109636,5	100,0

Fuente: Elaboración propia a partir de mapas base de cobertura/uso del MINAE, 2017

Cuadro N° 17 Tipo de uso de la tierra según el censo agropecuario de 2014.

Tipo de uso	Área	%
Tierras de labranza	167.133,1	3,3
Cultivos permanentes	377.214,4	7,4
Pastos	1.044.909,7	20,5
Bosques	736.505,4	14,4
Otros usos	80.656,0	1,6
Total	2.406.418,4	47,2

Fuente: Elaboración propia a partir de mapas base de cobertura/uso del MINAE, 2017

Cuadro N° 18 Porcentaje de distribución de los tipos de uso de la tierra en las provincias del país.

Provincia	Tierras de labranza	Cultivos permanentes	Pastos	Bosques	Otros usos
San José	5,7	11,7	8,9	10,4	5,8
Alajuela	24,1	20,7	28,7	19,5	25,8
Cartago	6,6	5,7	2,9	3,7	3,4
Heredia	2,9	5,9	5,8	6,0	6,1
Guanacaste	24,5	13,5	27,2	27,3	19,0
Puntarenas	28,1	24,4	18,4	22,6	20,2
Limón	8,2	18,1	8,1	10,5	19,5
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Fuente: Elaboración propia a partir de mapas base de cobertura/uso del MINAE, 2017

3.2 Estado de los Ecosistemas

3.2.1 Extensión y características generales de los ecosistemas

Costa Rica es un país situado en el Istmo Centroamericano, una estrecha franja de tierra que emergió hace 3,5 millones de años, uniendo las masas continentales de América del Norte y América del Sur y separando los océanos Pacífico y Atlántico (Alvarado y Cárdenes, 2016). El territorio costarricense posee un área de 51.100 km², lo que representa el 0,03% de la superficie mundial. No obstante, su área marina es diez veces mayor (589.683 km²), incluyendo el Mar Territorial y la Zona Económica Exclusiva en ambas costas (INCOPECA, 2006). Las aguas

del Pacífico costarricense cubren un área de 565.683 km², lo que representa alrededor del 96% de la superficie marina total del país (Cortés, 2016c; Cortés y Wehrtmann, 2009; INCOPECA, 2006).

Costa Rica está dividida en dos vertientes, Caribe y Pacífico, por un cordón montañoso central que atraviesa al país de noroeste a sureste. La máxima elevación es el Cerro Chirripó, con 3.819 m.s.n.m. La vertiente Pacífico tiene un área de 26.585 km², mientras que la vertiente Caribe tiene una superficie de 24.395 km². El 51% del territorio nacional está conformado por tierras situadas por debajo de los 300 m.s.n.m. El sistema montañoso central actúa como una barrera que intercepta los vientos provenientes de los océanos, lo que resulta en una alta diversidad de climas y ecosistemas (Herrera, 2016). Los ecosistemas de Costa Rica se dividen en tres grandes grupos: i)

ecosistemas terrestres, ii) ecosistemas dulceacuícolas y iii) ecosistemas marino-costeros (Kappelle, 2016). Los ecosistemas terrestres de Costa Rica han sido tradicionalmente clasificados con base en las propiedades físicas, climáticas y biológicas de cada eco-región. Así consta en los trabajos de Holdridge (1967) y Gómez (1986). Sin embargo, el país no ha oficializado un sistema particular para agrupar su biodiversidad. Por este motivo, la información aquí presente se basa en la clasificación propuesta por Kapelle (2016), sin omitir los aportes de Janzen (1991) y datos aportados por MINAE-SINAC (2013).

Los ecosistemas boscosos de Costa Rica abarcan 2.677.304 hectáreas, equivalentes al 53% del territorio continental del país. El 31% de la cobertura boscosa corresponde a bosque maduro, 24% a pastizales, 14% a bosque secundario, 13% a cobertura no forestal, 9% a terrenos cubiertos por nubes y sombras y 9% a otros tipos de bosque (MINAE-SINAC, 2013). Las tierras bajas de Guanacaste y la Península de Nicoya, en el Pacífico Norte, albergan un bosque estacional seco, con una extensión aproximada de 234.164 hectáreas (Jiménez, Carrillo y Kappelle, 2016; MINAE-SINAC, 2013). Esto equivale al 4,6% de la cobertura boscosa total del país (MINAE-SINAC, 2013). Las condiciones secas de las planicies del norte de Costa Rica contrastan con la nubosidad que caracteriza las zonas intermedias y

altas de las cordilleras volcánicas de Tilarán, Guanacaste y Central (Lawton, Lawton, Lawton y Daniels, 2016). En el Pacífico Central, parte del Pacífico Sur y el Valle Central predomina el bosque estacional húmedo, una zona de transición climática y biológica entre los extremos norte y sur del país (Jiménez y Carillo, 2016). Este es uno de los ecosistemas terrestres más alterados de Costa Rica, pues quedan muy pocos parches de bosque primario (Hartshorn, 1991). En la Península de Osa se encuentra el bosque húmedo siempre verde, caracterizado por altas precipitaciones que sobrepasan los 3.000 mm anuales (Gilbert et al., 2016; Hartshorn, 1991). La alta pluviosidad también distingue a los bosques húmedos y lluviosos siempre verdes de las llanuras del Caribe y la Zona Norte (McClearn et al., 2016). El bosque nuboso montano ocurre entre los 500 y los 3.500 m.s.n.m a ambos extremos de la Cordillera de Talamanca. Este ecosistema se distingue por presentar bajas temperaturas durante todo el año. Los robles (*Quercus* spp.) son el componente predominante de la vegetación arbórea (Kappelle, 2016). Los picos altos de la Cordillera de Talamanca presentan un clima frío, húmedo e inhóspito, donde predomina la vegetación arbustiva. Este ecosistema, conocido como páramo, ocurre en las cumbres del Cerro de la Muerte y el Cerro Chirripó, sobre los 3.000 m.s.n.m (Kapelle y Horn, 2016). El páramo de Costa Rica tiene una extensión de

10.253 hectáreas, lo que equivale al 0,20% de la cobertura boscosa total del país (MINAE, 2013). Los ecosistemas terrestres de Isla del Coco (24 km²), a 500 km de la costa Pacífica de Costa Rica, presentan una vegetación propia del bosque tropical lluvioso, no obstante, en su punto más alto (el Cerro Yglesias) predominan condiciones nubosas (Montoya, 2016).

Costa Rica cuenta con 34 cuencas hidrográficas, las cuales cubren un área de 50.803 km² (ICE, 1996; Springer, Echeverría y Gutiérrez, 2014). La vertiente Pacífica cubre el 53% del territorio costarricense y tiene 16 cuencas. Por su parte, la vertiente Caribe ocupa el 47% del territorio nacional y alberga 18 cuencas (Springer et al., 2014). Solo el 1% del área total de las cuencas de Costa Rica cumple con condiciones favorables para la navegación (ICE, 1996). La cuenca del río Grande de Térraba, en el Pacífico sur, es la más grande del país con un área de 5.077 km². En contraposición, la cuenca del Río Banano, en la vertiente Caribe, es la más pequeña con 204 km² (ICE, 2004). Costa Rica también posee alrededor de 320 humedales, doce de ellos declarados de importancia internacional y sujetos a la convención RAMSAR (Springer et al., 2014).

El país cuenta con una gran riqueza de ambientes y ecosistemas marino-costeros, entre ellos: arrecifes de coral, manglares, fondos lodosos,

playas arenosas y rocosas, praderas de pastos marinos, un fiordo tropical (Golfo Dulce), áreas de surgencia (el Golfo de Papagayo), estuarios, una isla oceánica (Isla del Coco), islas costeras, una fosa oceánica de más de 4000 m de profundidad, ventilas hidrotermales y un domo térmico (Alvarado, Herrera, Corrales, Asch y Paaby, 2011; Cortés y Wehrtmann, 2009). La costa Pacífica es muy irregular, tiene una extensión de 1.254 km. Entre las principales irregularidades del Pacífico costarricense están cuatro golfos (Papagayo, Nicoya, Coronado y Dulce) y tres grandes penínsulas (Santa Elena, Nicoya y Osa). En general el Pacífico alberga comunidades coralinas dispersas, entremezcladas con arrecifes rocosos tropicales. Isla del Caño presenta las comunidades arrecifales más grandes de la costa Pacífica, con coberturas coralinas cercanas al 30% (Cortés, 2016c). Isla del Coco tiene un área marina protegida de 1.997 km², la cual alberga uno de los ecosistemas arrecifales más productivos y biodiversos del Pacífico Oriental Tropical (Cortés, 2016a). La costa Caribe es rectilínea y tiene una extensión de 212 km. La sección norte de la costa caribeña presenta playas arenosas con fuerte oleaje. Por su parte, la sección sur posee playas arenosas interrumpidas por formaciones rocosas, además de extensos arrecifes coralinos (Cortés y Wehrtmann, 2009). El área marino-costera protegida representa el 0,9% de la superficie jurisdiccional del país

(Alvarado et al., 2011; SINAC, 2006).

3.2.2 Características físicas y químicas de los ecosistemas

En las tierras bajas del Pacífico Norte existe una marcada estacionalidad, pues el 95% de la precipitación anual cae durante la estación lluviosa, que se extiende desde mediados de mayo hasta diciembre (Jiménez et al., 2016). Las condiciones secas y ventosas han dado origen a un bosque menos complejo a nivel estructural respecto al que se observa en zonas húmedas de las cordilleras volcánicas. Esto se debe a que muchos de los árboles propios del bosque seco pierden sus hojas durante el período de baja precipitación, retribuyendo los nutrientes al suelo (Jiménez, 2016; Lawton et al., 2016). El río Tempisque atraviesa las planicies guanacastecas, su caudal es de 27 m³/s y representa un oasis para vida silvestre y los asentamientos humanos (Jiménez, 2016). Los ecosistemas marino-costeros del Pacífico Norte reciben la influencia de los vientos alisios durante la estación seca. Esto causa una disminución de la temperatura superficial del agua y un aumento en la productividad primaria (afloramiento costero) (Alfaro y Cortés, 2012). Sin embargo, se han detectado flujos artificiales de nutrientes desde las zonas costeras a lo largo del año (Fernández-García, Cortés, Alvarado y Nivia-Ruiz, 2012).

Esto ha ocasionado un serio deterioro de los arrecifes coralinos (Alvarado, Cortés & Reyes-Bonilla, 2012).

El bosque húmedo estacional en el extremo occidental del Valle Central, Pacífico Central y Pacífico Sur es un ecosistema heterogéneo, donde parches de bosque secundario se entremezclan con zonas agrícolas, ganaderas y urbanas. Esto se debe a la presencia de suelos fértiles con alto contenido de materia orgánica (Alvarado y Mata, 2016; Jiménez y Carillo, 2016). La Meseta Central también tiene influencia de la flora y fauna de la Cordillera Volcánica Central y la Cordillera de Talamanca (Jiménez y Carillo, 2016). El Valle de Tárcoles, en el Pacífico Central, presenta un clima seco moderado. No obstante, las precipitaciones aumentan hacia las regiones de Parrita, Quepos y Dominical, en el sur del país (Herrera, 2016; Jiménez y Carillo, 2016). El Parque Nacional Carara es uno de los pocos sitios que resguarda un pequeño parche de bosque primario, situado en el centro de su área (Jiménez y Carillo, 2016). Los ecosistemas costeros del Pacífico Central reciben altas descargas de sedimentos. La turbidez de las aguas limita el crecimiento de arrecifes coralinos y favorece el predominio de zonas arenosas, lodosas y rocosas (Cortés, 2016c).

La Península de Osa alberga uno de los ecosistemas terrestres más diversos de Costa Rica. Su clima es húmedo y muy lluvioso, con temperaturas

promedio de 27 °C en zonas cercanas a la costa y de 18 °C hacia los bordes de la Fila Costeña. Los suelos permanecen saturados con agua durante todo el año (Gilbert et al., 2016). Los bosques de las tierras bajas de la Península son dominados por árboles de gran altura, con gambas y bejucos colgantes. Los densos bosques del Parque Nacional Corcovado presentan suelos pobres en nutrientes, pues la riqueza mineral se concentra en el follaje de la vegetación (Gilbert et al., 2016; Hartshorn, 1991). Al noroeste de la península se encuentra el Humedal Nacional Térraba-Sierpe, con un área de manglar de 16.700 hectáreas, que representa el 40% de la cobertura total de bosque de mangle en Costa Rica (Silva-Benavides, 2009). Golfo Dulce es una porción continental invadida por el mar (fiordo), sus aguas profundas son anóxicas, pero en muchas de sus regiones costeras hay arrecifes coralinos (Cortés, 2016c).

Los bosques nubosos y húmedos siempre verdes del Caribe y la subvertiente Norte presentan un clima cálido, con precipitaciones que varían entre los 2.500 y 5.000 mm anuales (Herrera, 2016; McClearn et al., 2016). La composición química de los suelos del Caribe varía dependiendo de la actividad volcánica y las inundaciones. El desbordamiento de los ríos durante el período de máxima precipitación facilita la distribución y el depósito de nutrientes y materiales disueltos hacia

los valles. Aunque las inundaciones favorecen la conectividad biológica entre cuencas, también ayudan a dispersar contaminantes provenientes de extensas plantaciones bananeras en la provincia de Limón (McClearn et al., 2016; Pringle et al., 2016). Los canales de Tortuguero, en el Caribe Norte, se entremezclan con densos bosques y lagunas costeras. El régimen de marea en el Caribe no sobrepasa los 40 cm, a diferencia del Pacífico, donde las mareas pueden presentar variaciones de más de 2,5 m (Cortés, 2016b; c).

Los bosques nubosos de las cordilleras reciben la influencia de los vientos alisios provenientes del Atlántico, los aires cargados de humedad se condensan entre la densa vegetación de las montañas, creando espesos bancos de nubes (Hartshorn, 1991; Lawton et al., 2016). Este es el tipo de ecosistema característico de la Reserva Biológica Bosque Nuboso Monteverde (Hartshorn, 1991). En los altos picos de las montañas la temperatura desciende producto de la disminución en la presión atmosférica. El Valle de las Morrenas, en el Parque Nacional Chirripó, alberga lagunas de origen glacial de más de 10.000 años de antigüedad (Kappelle y Horn, 2016).

3.2.3 Componentes biológicos de los ecosistemas

Mesoamérica está entre las 34 regiones con mayor biodiversidad del planeta y destaca por varias condiciones: i) la presencia de un corredor biológico terrestre entre América del Norte y América del Sur, ii) la presencia de dos océanos, Pacífico y Atlántico y iii) gran cantidad de especies que no se observan en ninguna otra región del planeta (alto endemismo) (Myers, Mittermeier, Mittermeier, Da Fonseca y Kent, 2000). Costa Rica forma parte de la región Mesoamericana (Rich y Rich, 1991). A pesar de su corta extensión geográfica, el país alberga cerca de 90.000 especies terrestres, aproximadamente el 4,5% de la biodiversidad mundial (Obando-Acuña, 2002). A esta riqueza se suman 6.500 especies marinas, lo que representa el 3,5% de las especies reportadas en el mundo. Alrededor de 90 especies marinas son endémicas, la mayoría de Isla del Coco (Cortés y Wehrtmann, 2009). Para Costa Rica se han descrito alrededor de 125 especies de virus, 213 especies de bacterias, 2.000 especies de hongos, 670 especies de protozoarios, 243 especies de mamíferos, 912 especies de aves, 235 especies de reptiles, 182 especies de anfibios, 65.883 especies de insectos, 4.256 especies de otros invertebrados, 838 especies de peces marinos en el Pacífico, 625 en el

Caribe y 250 especies de peces dulceacuícolas, 10.979 especies de plantas, 564 especies de algas y cerca de 1.377 especies de líquenes. Las cuatro zonas de mayor endemismo del país identificadas hasta la fecha son Golfo Dulce, la Cordillera Volcánica Central, la Cordillera de Talamanca y los ecosistemas marinos de Isla del Coco (Angulo, Garita-Alvarado, Bussing y López, 2013; Bussing y López, 2009; MINAE-SINAC, 2000; Sandoval y Sánchez 2014).

3.3 Estado de la Biodiversidad

La biodiversidad es uno de los aspectos más sorprendentes de nuestro planeta, y sin embargo el número de especies con las que compartimos la Tierra sigue siendo una pregunta sin responder (Mora, Tittensor, Adl, Simpson & Worm, 2011). La biodiversidad se entiende como la variedad de vida que existe, la cual puede ser estudiada en varias escalas (por ejemplo: un lago, un bosque, un ecosistema o el planeta). Normalmente cuando se habla de biodiversidad se está refiriendo al grupo de especies u organismos vivientes que se pueden encontrar en un sitio. Sin embargo, la biodiversidad también incluye la diversidad genética dentro de los organismos, así como la diversidad de hábitats y ecosistemas. En los últimos 264 años el

ser humano ha descubierto y clasificado cerca de 1,2 millones de especies, pero se cree que en el planeta existen más de 8,7 millones de especies, y que todavía falta por descubrir 86% de la biodiversidad terrestre y 91% de la biodiversidad marina (Mora et al. 2011).

Costa Rica se encuentra habitada por más de 94.753 especies, lo cual representa cerca del 5% de todas las especies conocidas globalmente (INBio 2004, MINAE, 2015). Por su alta biodiversidad y su pequeño territorio (51.000 km² de superficie terrestre y más de 589.000 km² de mar), no se ha encontrado ningún otro país que supere a Costa Rica en cuanto a la densidad de especies (número de especies por área de territorio), estando por encima de centros de diversidad como México, Colombia, Brasil, Indonesia y Australia (INBio 2004, MINAE, 2015).

Gracias a los esfuerzos realizados desde mediados de la década de 1980, en Costa Rica se han realizado avances importantes en el conocimiento sobre la biodiversidad

existente, especialmente en lo referente al número de especies (Obando 2002). Costa Rica sigue el patrón de diversidad que se espera en general para el planeta, siendo los insectos el grupo que representa la mayor diversidad (71%), seguido por hongos (13%), bacterias (5%), otros invertebrados, principalmente crustáceos y moluscos (3%), plantas (2%) y vertebrados (menos de 1%) (MINAE 2002, INBio 2004). Sin embargo, cada año se siguen descubriendo nuevas especies para nuestro país, y se cree que en Costa Rica existen 504.063 especies (INBio 2004, MINAE, 2015). Desde el punto de vista de diversidad genética, el país cuenta con parientes silvestres de cultivos domésticos ampliamente usados en todo el mundo, lo que podría servir en actividades de bioprospección o mejoramiento genético (MINAE, 2015). En cuanto a la diversidad de los ecosistemas, Costa Rica posee una gran importancia, tanto marina como terrestre y de agua dulce (MINAE, 2002), sin embargo, este tema se desarrolla en otra sección de este capítulo.

Recuadro 4. Nuevas especies de importancia para la herpetología nacional

El 2016 y 2017 fueron años muy productivos para la herpetología nacional. Se describieron dos especies de salamandras, una especie de serpiente y una especie de rana nuevas para el país; además se amplió la descripción de una especie de rana descrita anteriormente y se describió una subespecie de una serpiente marina.

Salamandras

- *Bolitoglossa aurae*

En noviembre del 2016 los herpetólogos Brian Kubicky y Erick Arias describieron una nueva especie de salamandra amarilla perteneciente al género *Bolitoglossa*, subgénero *Eladinea*. Esta salamandra fue encontrada en un Bosque Lluvioso Premontano, a una elevación de aprox. 1300 m.s.n.m, cerca de Moravia de Chirripó, en la vertiente noreste de la Cordillera de Talamanca (Kubicky & Arias, 2016).

Bolitoglossa aurae se diferencia de otras *Bolitoglossa* por su larga cola prensil, la coloración característica amarillo claro en todo su cuerpo, una línea café oscuro que sale desde la cabeza extendiéndose a lo largo del cuerpo y un par de líneas laterales, también de color café oscuro, que inician justo detrás del ojo y se extienden hasta la cola (Kubicky & Arias, 2016). Además, esta especie presenta en la superficie dorsal del cuerpo unas estructuras iridiscentes llamadas cromatóforos, las cuales le permiten lucir de color verdoso según la incidencia de la luz. Los autores también separaron la especie a través de métodos moleculares, encontrando diferencias en los genes mitocondriales 16S rARN y el citocromo b (Kubicky & Arias, 2016).

- *Oedipina berlini*

En diciembre de 2016, el mismo Brian Kubicky publicó la descripción de otra nueva especie de salamandra perteneciente al género *Oedipina*, subgénero *Oedopinola*. Esta salamandra fue encontrada en dos sitios de Bosque Lluvioso Premontano en las zonas montañosas del Caribe central de Costa Rica, entre los 540 y 850 m.s.n.m. La localidad tipo se encuentra dentro de la Reserva del Bosque Lluvioso de Guayacán (Guayacán Rainforest Reserve), ubicada aproximadamente a 2 km al norte de Guayacán de Siquirres, en la provincia de Limón (Kubicky, 2016). *Oedipina berlini* se distingue de otras *Oedipina* por características fenotípicas como su cabeza aplanada más ancha que larga, sus ojos saltones y su coloración con tonos terrestres. Además, Kubicky realizó pruebas moleculares haciendo distinción en los genes mitocondriales 16S rARN y el citocromo b de la especie (Kubicky, 2016).

Ranas

- *Craugastor gabbi*

En junio de 2016, los herpetólogos Erick Arias, Gerardo Chaves, Andrew Crawford y Gabriela Parra publicaron la descripción de una nueva especie de rana de la vertiente pacífica en un Bosque Premontano cerca de la frontera Costa Rica-Panamá; esta especie pertenece al grupo de especies relacionadas con *Craugastor podiciferus*. A través de análisis de ADN mitocondrial y de cariotipo, los investigadores reportaron una marcada divergencia genética entre dos poblaciones de ranas que hasta el momento habían sido catalogadas como una única especie (Arias et al., 2016). Estas diferencias permitieron establecer que las ranas de una población del bosque premontano en la Fila Costeña se denominan a partir de ahora como *Craugastor gabbi*, mientras que las de una población de zonas bajas en el Pacífico Sur siguen

perteneciendo a la especie *Craugastor stejnegerianus*. *C. gabbi* se caracteriza por la coloración clara de su vientre, una proporción definida de cuerpo-cabeza y presenta diferencias en su mtDNA (Arias et al., 2016).

- *Diasporus tigrillo* (ampliación descripción)

En abril de 2016 los herpetólogos costarricenses Adrián García-Rodríguez, Erick Arias y Gerardo Chaves publicaron una ampliación de la descripción de la especie *Diasporus tigrillo*. Los investigadores registraron datos de morfología, genética, uso del hábitat y actividad bioacústica para *D. tigrillo*. Este documento enriquece la información disponible acerca de las características de esta rana, la cual había sido hasta el momento la especie menos estudiada dentro del género *Diasporus*. Además, la redescipción morfológica, inferencia molecular, observaciones ecológicas y análisis acústico, permiten identificar importantes diferencias entre *D. tigrillo* y *D. citrinobapheus*; esta última había sido descrita por sus autores como la especie más cercana a *D. tigrillo*, por lo que esta nueva publicación brinda evidencia robusta para validar la existencia de ambas especies (García-Rodríguez, Arias y Chaves, 2016).

Serpientes

- *Bothriechis nubestris*

En el 2016 los investigadores Tiffany Doan, Andrew Mason, Todd Castoe, Mahmood Sasa y Christopher Parkinson publicaron información sobre la variación genética y morfológica entre poblaciones de la serpiente descrita como *Bothriechis nigroviridis*; esta habita bosques nubosos en las zonas altas de la Cordillera Volcánica Central, Tilarán y Talamanca en Costa Rica y Panamá. Los autores reportan variaciones genéticas y morfológicas que permiten separar dos linajes evidentemente divergentes, permitiendo la descripción de una nueva especie: *Bothriechis nubestris* sp. nov. (Doan et al., 2016).

B. nubestris se diferencia de *B. nigroviridis* porque tiene un mayor número de escamas en el vientre y dos hileras de escamas irregulares bajo los ojos; además, *B. nubestris* cuenta con un rango de distribución restringido a la parte central y norte de la Cordillera de Talamanca, mientras que *B. nigroviridis* habita los bosques de las zonas altas de la Cordillera Central, Tilarán y Talamanca (Doan et al., 2016).

- *Hidrophis platurus xanthos* (subespecie)

En julio de 2017 se publicó la descripción realizada por Brooke Bessesen y Gary Galbreath de una nueva subespecie de la serpiente marina *Hidrophis platurus*. Esta descripción se hizo utilizando datos de 154 especímenes colectados entre el 2010 y el 2017 en aguas internas del Golfo Dulce de Costa Rica, 123 individuos criados en cautiverio y 31 muestras de museo.

Hidrophis platurus xanthos se caracteriza por el tamaño de su cuerpo, notablemente más pequeño, y su coloración amarilla casi uniforme, la cual contrasta con las bandas negras y amarillas y las manchas que presenta en la cola (Bessensen & Galbreath, 2017). Además, *H. p. xanthos* se alimenta por las noches en aguas turbulentas, y presenta un comportamiento distintivo el cual consiste en colocarse en posición de emboscada con el cuerpo en forma de S al forrajear; este comportamiento no había sido reportado anteriormente para la especie (Bessensen & Galbreath, 2017).

Fuente: Elaboración propia a partir de Investigaciones publicaciones de la Escuela de Biología de la Universidad de Costa Rica, 2017

A nivel mundial Costa Rica es reconocida por sus logros en conservación y uso sostenible de la biodiversidad (MINAE 2015). Con el fin de mantener estos esfuerzos, Costa Rica oficializó la Política Nacional de Biodiversidad (PNB) mediante el decreto ejecutivo N° 39118-MINAE, publicado en La Gaceta N° 178 el 11 de setiembre de 2015 (MINAE 2015). La PNB es la visión conjunta del pueblo y el Gobierno de Costa Rica sobre la gestión y uso sostenible de la biodiversidad, considerando la distribución de sus beneficios derivados, y mejorando la coordinación y efectividad de la gestión pública relacionada con la biodiversidad.

3.3.1 Flora

Costa Rica tiene una gran diversidad en cuanto a su flora terrestre, con más de 10.000 especies de plantas terrestres conocidas (Zamora 2000). Este es uno de los grupos que mejor se conoce, con casi 80% de especies descritas de las 12.117 especies estimadas que se encuentran en nuestro país (INBio 2004). En el 2012, Costa Rica emprendió la tarea de realizar el primer Inventario Nacional Forestal (INF-CR), según el cual Costa Rica cuenta con 64,38% de cobertura conjunta de bosque maduro y bosque secundario, siendo la matriz terrestre mayormente "natural", sin embargo, se encuentra distribuida de forma heterogénea y fragmentada

(SINAC 2014, MINAE 2015, Programa REDD/CCAD-GIZ-SINAC 2015). Estas formaciones vegetales salvaguardan la biodiversidad vegetal que las conforma, sin embargo, otros ecosistemas como el bosque de palmas (conocido como yolillal), el páramo (ecosistema propio de las tierras altas en el neotrópico) y los manglares se están deteriorando (MINAE, 2015).

La flora de aguas continentales (o agua dulce) es menos conocida que la flora terrestre, o incluso que la flora marina. Esto se debe probablemente a la falta de estudios taxonómicos exhaustivos sobre estos grupos. Sin embargo, a pesar de que no existe un inventario detallado sobre la flora de aguas continentales de Costa Rica, existen varios trabajos sobre sitios específicos. En los ríos se han reportado 4 géneros de algas verde-azules (cianobacterias), una especie de alga verde y 52 especies de diatomeas (Silva-Benavides, Sili & Torzillo, 2008). Por otro lado se han reportado hasta 119 especies en el fitoplancton de lagos y embalses de Costa Rica (Umaña & Collado, 1990). Algunos trabajos que se han enfocado en explorar la biodiversidad en ambientes extremos, como las nacientes hidrotermales, donde se han detectado varios grupos de especies (Finsinger et al., 2007). Históricamente, los estudios de algas de aguas continentales se han basado en características anatómicas para la identificación, sin embargo, recientemente se han

empezado a utilizar nuevas técnicas genéticas y moleculares para ello (Finsinger et al. 2007, Silva-Benavides, Sili & Torzillo, 2008). Es muy probable que estos números sigan aumentando, especialmente en grupos tan diversos como las diatomeas (Guiry, 2012).

En cuanto a la diversidad florística marina, uno de los inventarios más recientes fue publicado por Wehrtmann & Cortés (2009) con el aporte de varios expertos en los distintos grupos. En cuanto al fitoplancton (organismos unicelulares fotosintéticos, que incluyen diatomeas, dinoflagelados, coccolitofóridos y flagelados) se han reportado 268 especies, de las algas bentónicas (algas macroscópicas del grupo de las algas verdes, pardas, rojas y doradas) y cianobacterias o algas verde-azules (bacterias fotosintéticas) se han reportado 420 especies, de los hongos marinos se han reportado cinco especies, y de las plantas marinas (incluyendo los árboles de manglar y los pastos marinos) se han reportado 14 especies (Wehrtmann & Cortés 2009). Por lo tanto, para los mares de Costa Rica se han reportado 707 especies florísticas. Aunque grupos como pastos marinos y árboles de manglar están ya bastante estudiados, es muy posible que todavía queden muchas nuevas especies por encontrar en el fitoplancton, las algas bentónicas y los hongos marinos (Guiry, 2012; Richards et al., 2012).

Costa Rica cuenta con varios herbarios importantes, los cuales son depositarios de la biodiversidad florística del país. El herbario más grande de Costa Rica, y de Mesoamérica es el del Museo Nacional. Otros herbarios importantes en nuestro país son el herbario del INBio, el herbario Dr. Luis A. Fournier Origgi de la Universidad de Costa Rica, el herbario Anastacio Alfaro de la Universidad Nacional, el herbario del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y el Jardín Botánico Lankester. Mantener estos depositarios de biodiversidad florística es importante para que el país cuente con un registro confiable de su flora, el cual puede ser accedido fácilmente con fines de investigación y educación.

3.3.2 Fauna

En cuanto a la biodiversidad faunística terrestre, el grupo con mayor número de especies es el de los insectos, con más de 66.265 especies descritas y alrededor de 360.000 especies estimadas (INBio, 2004). Dentro de este grupo, Coleoptera (escarabajos y abejones) contiene el mayor número de especies con 2.856, seguido por Hymenoptera (hormigas, abejas y avispas) con 1.196 especies y Diptera (moscas, zancudos, tórsalos, purrujas, moscas de la fruta) con 1.300 especies (Corrales, 1999; Solís, 1999; Zumbado, 1999; Hanson, 2000; INBio, 2004). En cuanto a vertebrados,

Costa Rica cuenta con 2.415 especies reportadas, y 3.011 estimadas para su territorio (INBio, 2004).

Respecto a la biodiversidad faunística de las aguas continentales, los peces son uno de los grupos más estudiados, con más de 128 especies (Bussing 1987). Por otro lado los insectos acuáticos son posiblemente el grupo más diverso, con probablemente mucho más de 1.655 especies (mucho más, debido a que este número no incluye todos los grupos de insectos acuáticos), sin embargo todavía falta más información sobre estos grupos y la información existente está dispersa (Springer, 2009). Otros grupos faunísticos importantes en los ríos y lagos de Costa Rica son los camarones (a veces llamados langostinos, burras o maruchas) y los cangrejos, con aproximadamente 21 y 15 especies respectivamente (Rólier-Lara & Wehrtmann, 2011; Magalhães, Wehrtmann, Lara & Mantelatto, 2015). Existen también estudios que reportan hasta 58 especies de zooplancton (capépodos, rotíferos y cladóceros) en lagos y embalses de Costa Rica (Umaña & Collado C., 1990). Sin embargo, la información sobre estos grupos también es dispersa (Umaña-Villalobos, comunicación personal).

La biodiversidad faunística marina comprende más de 6.071 especies de distintos grupos, y en general el país posee cerca de 3,5% de todas las especies marinas del planeta (~190.000 especies) (Wehrtmann & Cortés, 2009). El mayor número de especies de fauna marina pertenece a los moluscos (2.170), seguido por los peces y otros cordados (1.605), y artrópodos (1.066), incluyendo crustáceos y otros grupos (Wehrtmann & Cortés, 2009). Comparado con otros países de la región, Costa Rica ocupa el cuarto lugar en biodiversidad marina, luego de Chile (8.649), Colombia (7.217) y Brasil (7.083).

Costa Rica cuenta con varias colecciones zoológicas necesarias para el registro de la biodiversidad faunística, como el Museo de Zoología de la Universidad de Costa Rica, el Museo Nacional y el Museo de Zoología de la Universidad Nacional. Al igual que cómo sucede con la biodiversidad florística, muchos registros únicos de la biodiversidad faunística fueron recolectados por naturalistas extranjeros hace muchos años, y los especímenes fueron depositados en colecciones fuera del país. Aunque son de acceso más restringido, se pueden realizar algunas consultas a dichas colecciones respecto a la biodiversidad nacional.

Recuadro 5 El Museo de Zoología de la Universidad de Costa Rica (MZUCR, y su aporte a la Investigación

El Museo de Zoología de la Universidad de Costa Rica (MZUCR) tiene como principal competencia el funcionar como reservorio de colecciones zoológicas, esto a su vez permite mantener y desarrollar la investigación nacional en el área. Este Museo es patrimonio científico, cultural e histórico del país, el material es exclusivamente de uso científico y docente, pero se hacen préstamos del mismo con fines científicos (Museo de Zoología UCR, 2015).

La investigación en las colecciones, realizada por el personal del Museo, ha contribuido en la descripción de más de 200 nuevas especies para la ciencia; además, la descripción de varios cientos de especies nuevas realizadas por investigadores asociados o visitantes, y estudiantes que hacen uso de las colecciones (Museo de Zoología UCR, 2015).

Dichas colecciones siguen en crecimiento; los curadores indican que más de 16.000 nuevos especímenes de fauna invertebrada y más de 400 de fauna vertebrada ingresan anualmente al Museo. Estos especímenes provienen de proyectos de investigación, colectas realizadas en giras de docencia, donaciones realizadas por investigadores e instituciones nacionales e internacionales y de muestras recolectadas para monitoreo y estudios ambientales (Rodríguez Herrera B., 2013). De algunos grupos existen además colecciones de esqueletos y huesos (especialmente ornitología, herpetología y mastozoología), así como colecciones de tejidos y ADN (MZUCR, 2015).

En cuanto a su estructura organizativa el MZUCR se destaca por poseer muchas de las colecciones zoológicas más importantes del país (más de 2 millones de especímenes y más de 13 mil especies identificadas en 24 colecciones de invertebrados y vertebrados) y participación de profesionales calificados a cargo de la mayor parte de las colecciones. En este aspecto el Museo menciona la necesidad de un mayor número de personal permanente (curador y asistentes curatoriales), mayor número de horas de trabajo asignadas al mantenimiento de las colecciones y mayor facilidad para obtener los permisos oficiales de recolecta (MZUCR, 2015).

En cuanto a equipamiento y recursos, el Museo requiere mayor espacio de trabajo para los curadores y asistentes, y más salas de almacenamiento para las colecciones. A partir de esto, los funcionarios han desarrollado una propuesta de ampliación de sus instalaciones y enfatizan en la necesidad de equipamiento específico; estas necesidades se verán parcialmente solucionadas con la inauguración del nuevo edificio de la Escuela de Biología (MZUCR, 2015).

Más de la mitad de los registros del Museo se encuentran organizados en algún tipo de base de datos y el 60% de las colecciones tiene datos georreferenciados. Toda la información está disponible para estudiantes e investigadores, nacionales o extranjeros que lo soliciten y reciban la autorización; en la actualidad se trabaja para completar dicha información y hacerla interoperable (Museo de Zoología UCR, 2015).

Cinco de las colecciones del MZUCR aportan información y participan en aproximadamente 14 procesos de planificación de la gestión de la biodiversidad por año. Anualmente, dos curadores indicaron que participan en una evaluación del impacto ambiental y otros dos aportan con los datos de sus colecciones en 3 procesos de denuncia. Es decir, aunque el Museo actualmente no se encuentra posicionado como una referencia para la toma de decisiones a nivel nacional, podría llegar a serlo si se modifica la colección en un portal o repositorio de datos sobre biodiversidad de código abierto; este proceso se encuentra dentro de los objetivos del MZUCR (Museo de Zoología UCR, 2015).

El Museo ha enfocado su trabajo principalmente en procesos de investigación y formación, produciendo más de 40 publicaciones, 11 tesis de grado y 9 tesis de postgrado por año y aportando en la formación de más de 150 estudiantes anualmente en 22 cursos de la Universidad de Costa Rica (UCR), todo esto a partir de los datos de las colecciones. Más de 250 personas hacen consultas a los datos de las colecciones por año, principalmente investigadores y estudiantes (Museo de Zoología UCR, 2015).

Aun así, el Museo se ha propuesto establecer un procedimiento sobre el uso y divulgación de la información de las colecciones e incursionar en métodos para poner en línea los datos. Se han propuesto también incidir en el aumento del presupuesto disponible, formas alternativas de generar financiamiento y el diseño de mecanismos para garantizar que los especímenes que depositan otras instancias sean debidamente mantenidos (Museo de Zoología UCR, 2015).

En el 2016, bajo la consigna "llevar el museo fuera del museo", se realizó la primera exposición pública de las colecciones del MZUCR. Esta consistió en el montaje de material zoológico en una sala de eventos de la UCR; la actividad fue abierta al público, se extendió por tres días y alcanzó una visitación total de aproximadamente 3000 personas. Para este año (2017) se está planeando realizar la misma actividad en la sede de la UCR en Turrialba y posteriormente en la sede de San Ramón (Bernal Rodríguez, Comu pers, 2017).

Actualmente también se está gestionando un convenio del MZUCR y el Museo Nacional, con el objetivo de mejorar la comunicación de las ciencias y la importancia de las colecciones. Esta iniciativa comprende la unificación de los datos de ambas colecciones en una sola base de datos denominada Specifi; además, migrar los datos de las colecciones que anteriormente pertenecieron al INBio, hoy pertenecientes a la colección del Museo Nacional, a esta misma base (Com pers, Mónica Springer, 2017). Este esfuerzo se dio a partir del interés común de ambas instituciones por las colecciones y la buena relación entre ambas; por lo tanto, pretende fomentar el intercambio de material, información, literatura, la facilidad de préstamo y donaciones, beneficiando a los usuarios de ambos reservorios (Springer, 2017).

Fuente: Elaboración propia a partir de MZUCR, 2017

3.3.3 Áreas protegidas

Costa Rica asumió políticas de uso sostenible de la biodiversidad desde 1980, basadas en la trilogía de "salvar, conocer y usar" (MINAE, 2002). Las áreas protegidas representan sitios de protección para la biodiversidad nacional. Desde hace más de 30 años Costa Rica inició la creación de un sistema de

áreas silvestres protegidas, el cual es reconocido mundialmente en la actualidad, las cuales se clasifican en siete categorías de manejo: parque nacional, reserva biológica, reserva forestal, zona protectora, refugio de vida silvestre, humedal y monumento natural (MINAE, 2002). Actualmente el país cuenta con 166 áreas protegidas, las cuales suman en conjunto 2.855.973 ha, de las cuales 1.354.488 ha son terrestres y

representan 26,51% del territorio terrestre nacional, mientras que 1.501.485 ha marinas están dentro de un área protegida, representando 49,54% de las aguas territoriales, pero solamente alrededor 2,5% de toda la extensión del territorio marino de Costa Rica (INEC-MINAE, 2015).

3.3.4 Especies endémicas

Una especie es endémica cuando habita solamente en un sitio determinado, como una región o un país, y puede ir variando dependiendo de los avances en el conocimiento de la biodiversidad en distintas regiones. Se ha estimado que en total 1,5% especies son endémicas, considerando los mamíferos, aves, reptiles, peces, anfibios y plantas. Se estima que aproximadamente el 12% de las plantas de Costa Rica son endémicas (INBio, 2004). En cuanto a los vertebrados terrestres, los anfibios tienen mayor endemismo (20%) que las aves (0,8%) (MINAE, 2002). Respecto a los peces de agua dulce hay un 14% de endemismo, y en cuanto a la fauna marina hay un 4,7% de endemismo (INBio, 2004; Wehrtmann & Cortés, 2009). Varios estudios han demostrado que Costa Rica presenta 4 zonas de alto endemismo: Isla del Coco, Golfo Dulce, Pacífico Central y las zonas altas de las cordilleras Central y Talamanca (MINAE, 2002; INBio, 2004; Wehrtmann & Cortés, 2009).

3.3.5 Especies amenazadas y extintas

En nuestro país varias especies han sido consideradas extintas localmente, como el sapo dorado, sapo arlequín, el oso caballo y el águila arpía, debido a que no se les ha observado durante muchos años en sus áreas de distribución (INBio, 2004). El decreto N° 26435-MINAE publicado en La Gaceta N° 70 del 03 de diciembre de 1997, estableció que 83 aves, 14 mamíferos, 81 anfibios, 28 reptiles y 1.303 plantas presentan poblaciones amenazadas o reducidas (INBio, 2004). Más recientemente se ha incrementado el interés sobre el estado de conservación de especies marinas, como la inclusión de la manta raya, el tiburón martillo y el tiburón punta blanca oceánico, en el Apéndice II de CITES (Vargas, 2013), y más recientemente el proyecto del pez sierra (Soto, 2017).

3.3.6 Especies introducidas o exóticas

Las especies introducidas a veces pueden desarrollar poblaciones invasivas, que generalmente tienen un efecto negativo sobre los ecosistemas, la biodiversidad y el bienestar humano. Según el INBio (2004) para Costa Rica se ha reportado la introducción de 38 especies invasoras de peces, 20 de mamíferos, 58 de aves y cerca de

1.500 de plantas. Sin embargo, se hace necesario mencionar la inclusión de dos langostinos de agua dulce (*Procambarus clarkii* y *Cherax quadricarinatus*) y el camarón tigre en aguas, del mar Caribe (*Penaeus monodon*) (Wehrtmann et al., 2016; Soto, 2015), ya que los crustáceos no se mencionan en el documento anterior.

3.3.7 Amenazas a la biodiversidad

En Costa Rica las principales amenazas a la biodiversidad son la pérdida de hábitat, la sobreexplotación, la contaminación, el cambio climático y las especies exóticas invasoras (MINAE, 2015). A pesar de los esfuerzos en conservación que se han realizado en el país, la mayoría de estas amenazas persiste o aumenta en la actualidad (MINAE, 2015). Además de las amenazas ya mencionadas, también existen otras presiones de carácter legislativo, institucional y de gestión, como ciertas debilidades en legislación y disponibilidad de recursos humanos, falta de visión integral en el manejo de cuencas y ecosistemas, indebida valoración de servicios ambientales del bosque, limitado conocimiento científico sobre la biodiversidad y su estado, debilidades en monitoreo ambiental y políticas de incentivos que conducen a la fragmentación o destrucción de ecosistemas (MINAE, 2002).

3.3.8 Diversidad genética y recursos filogenéticos

El conocimiento sobre diversidad genética es cada vez más importante, y en el futuro se plantea como una herramienta importante para la seguridad alimentaria y los avances biotecnológicos. Costa Rica es un país importante desde el punto de vista de la diversidad genética, debido a la variabilidad de parientes silvestres de cultivos mundialmente importantes como la papa (*Solanum tuberosum*) y el frijol (*Phaseolus vulgaris*) (MINAE, 2015). Los grupos con más información en cuanto a la diversidad genética son los virus y las plantas, particularmente aquellas con importancia comercial como el peñibaye, arroz, banano, café, maíz y árboles maderables (INBio, 2004). Con la creación de la CONAGEBIO mediante el artículo 14 de la Ley de Biodiversidad N° 7788 durante 1998, el país ha comenzado a organizar de forma adecuada y a mantener un registro actualizado del acceso a los elementos de la biodiversidad costarricense que estén relacionados con la diversidad genética.

Conclusiones

- Costa Rica es un país con una alta biodiversidad, con más de 94.753 especies, lo que representa cerca del 5% de la biodiversidad conocida mundialmente.
- Debido a su reducido territorio

y su alta biodiversidad, Costa Rica es considerado el país con más densidad de especies por territorio.

- Costa Rica cuenta con más de 10.000 especies de plantas terrestres, sin embargo, la vegetación boscosa se encuentra distribuida de forma heterogénea y fragmentada.
- En cuanto a la diversidad faunística, los insectos siguen siendo el grupo predominante con más de 66.265 especies descritas.
- El conocimiento de la biodiversidad terrestre se encuentra más completo que la marina o la de aguas continentales.
- En Costa Rica se pueden

observar 4 zonas de alto endemismo: Isla del Coco, Golfo Dulce, Pacífico Central y las zonas altas de las cordilleras Central y Talamanca

- El país cuenta con 166 áreas protegidas que en total suman 2.855.973 ha.
- Costa Rica es reconocida mundialmente por sus esfuerzos en materia de conservación, y el país sigue esforzándose en esta línea, recientemente por medio de la Política Nacional de Biodiversidad 2015-2030 y la actualización al Reglamento a la Ley Vida Silvestre en el año 2017.

3.4 Estado de los Bosques

3.4.1 Esfuerzos nacionales para estimar la cobertura forestal

Históricamente, Costa Rica ha sido un país comprometido con el desarrollo sostenible y en particular con la protección de los recursos naturales, los bosques y sus servicios ambientales, que conforma parte central del patrimonio natural sobre el que se asientan sus expectativas de desarrollo humano y lucha contra la pobreza. En su Constitución Política, el país ha plasmado el derecho fundamental a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado y la responsabilidad del Estado en garantizarlo. En la conciencia costarricense, la protección del ambiente ocupa un puesto de privilegio y goza de apoyo popular (MINAE, 2015).

En los últimos 30 años, distintas políticas (por ejemplo, el Programa de Pagos por Servicios Ambientales - PPSA) ayudaron a revertir procesos de deforestación que el país experimentó desde mediados del siglo pasado, para posicionarse como un país de vanguardia a nivel internacional en cuanto a la conservación y mantenimiento de la cobertura de sus bosques.

Desde los primeros estudios que se realizaron sobre el mapeo de los

bosques en el país a mediados de los años 80s, distintas investigaciones han continuado de forma relativamente sistemática los mapeos sobre la cobertura forestal nacional y el estado de dicha cobertura (ver Joyce y Sader, 1986; Sánchez-Azofeifa, 1996; CCT y CIEDES, 1998; Sánchez-Azofeifa, 2000; Sánchez-Azofeifa, Calvo-Alvarado, Foley, Arroyo, Hamilton, y Jiménez, 2002; Sánchez-Azofeifa, Pfaff, Robalino, Boomhower, 2007; Calvo-Alvarado, McLennan, Sanchez-Azofeifa y Garvin, 2009; Chavarría y Castillo, 2013; Sánchez-Azofeifa, 2015).

Se estima que Costa Rica tiene hoy en día una tasa de incremento de bosques de poco más de 0.5% anual (MINAE, CONAGEBIO y SINAC, 2013), lo que significa que a pesar de que aún persisten procesos de deforestación en zonas localizadas del país, el cambio neto de cobertura forestal en el tiempo es positivo (se regeneran más bosques de los que se deforestan).

3.4.2 Cobertura forestal en Costa Rica en las últimas dos décadas y sus características

En términos generales, en las últimas dos décadas, la cobertura de bosques ha aumentado en un 12,1%. En 1997, se determinó que la cobertura forestal que el país poseía era de 40,3%. Este porcentaje aumentó a 45,4% en el 2000, a 48%

en el 2005y a 51,4% en el 2010. Mientras que el último mapa oficial realizado para el año 2013, indica que el país posee un total de 52,4% de su territorio bajo algún tipo de cobertura forestal.

De la actual cobertura de bosques, la mitad corresponde a áreas protegidas por el Estado y la otra mitad a bosques de dominio privado. Adicionalmente, entre un 60% y 70% de la cobertura forestal nacional tiene características estructurales similares a los bosques maduros, con lo cual algunos servicios ecosistémicos como almacenamiento de carbono, belleza escénica y protección de recursos hídricos se mantienen relativamente estables (Calvo, 2008; MINAE, 2015). A pesar de ello, es de especial consideración el hecho de que, con mayor frecuencia, el mapeo del estado de los bosques muestra que estos bosques, independientemente de su ubicación, tienden a estar más fragmentados (áreas más pequeñas y sin conectividad entre sí) y con un mayor efecto de borde.

Los bosques ubicados en áreas protegidas son en su mayoría bosques catalogados como maduros, donde hay una presencia de grandes claros, gran riqueza de árboles que sobresalen (especies del dosel superior), que a su vez son especies tolerantes a la sombra y de gran porte, y donde hay una gran heterogeneidad de ambientes de luz

en los niveles bajos del sotobosque (Guariguata y Ostertag, 2002), además, son bosques donde el ciclo de vida puede abarcar entre 75 y 150 años (Hartshorn, 1980). La mayor extensión de estos bosques se encuentra en las cimas de las cordilleras de Guanacaste, Tilarán, Central y Talamanca; en la península de Osa, Carara, cerro de Turrubares y Fila Costeña, en el extremo noreste de las llanuras de Tortuguero y en el manglar del humedal Térraba-Sierpe.

Por su parte, los bosques de dominio privado se caracterizan por ser en su mayoría bosques secundarios, donde destaca el hecho de que más de 1 millón de hectáreas se encuentra bajo contratos de PPSA (FONAFIFO 2015). Este tipo de bosques pueden diferenciarse según su climatología (como bosques secos y bosques húmedos) y su edad (bosques tempranos con edades menores a 15 años, intermedios con edades de 15 hasta 30 años, y tardíos con edades de más de 30 años).

En cuanto al estado de su calidad, en los últimos años se ha generado una amplia discusión en el sentido de la capacidad que tienen estos bosques de proveer servicios ecosistémicos (por ejemplo, almacenamiento de carbono y protección de ríos) y materia prima (por ejemplo, madera para consumo nacional). Al respecto, diversos estudios (ver Herrera y Finegan, 1997; Guariguata, Chazdon, Denslow, Dupuy y Anderson, 1997; Clark,

Palmer y Clark, 1999), indican que la capacidad de estos ecosistemas de brindar dichos servicios y alcanzar valores de composición florística y estructura de bosques maduros, está en función de variables como su topografía, las fuentes de semilla y el banco de semillas, la fertilidad de sus suelos y el uso que se le dio al área anteriormente, y las presiones de otros usos del suelo más competitivos en sus cercanías, entre otros.

En conjunto, estos bosques secundarios se caracterizan por tener áreas pequeñas y fragmentadas, con diferentes estadios de desarrollo, y con la presencia de árboles catalogados como maderas suaves y semiduras, de baja rentabilidad económica, a excepción de algunos sitios específicos. Algunas investigaciones realizadas en bosques secundarios de más de 30 años en tierras bajas de Costa Rica, indican que en un área de 10.000 m², se pueden encontrar hasta 565 árboles mayores a 10cm de diámetro, agrupados en 33 especies distintas (Finegan y Delgado, 2000).

3.4.3 Deforestación y degradación de bosques en Costa Rica

En cuanto a la deforestación, los bosques en donde se presentan las tasa más altas son aquellos de dominio privado (entre el 2001 y el 2013 el 61,08% de la deforestación a

nivel nacional se ubicó en bosques fuera de áreas protegidas), y con edades tempranas (bosques con edades menores a 15 años donde la deforestación alcanza valores de hasta 4,5% anual), lo cual muestra un enorme dinamismo en el desarrollo de su composición y estructura, sobre todo influenciada por factores socioeconómicos, de regulación del uso forestal y de acceso a mercados. En general, en Costa Rica los bosques han mostrado una deforestación constante en las últimas dos décadas, la cual se ha mantenido entre 30.000 y 50.000 hectáreas cada año (MINAE, 2015).

Respecto a elementos que generan procesos de degradación en los bosques de Costa Rica, datos sobre la tala ilegal indican que, en el 2011, esta fue de aproximadamente un 36% o 200.000 m³, entendida como el porcentaje del volumen de madera proveniente de actividades ilegales (MINAE, 2015), mientras que los incendios forestales, pasaron de emitir 96.270 toneladas de CO₂ al año en el período 1998-2005 a 51.738 toneladas de CO₂ al año en el período 2006-2014 (Vega-Araya, 2015).

3.4.4 Beneficios brindados por los bosques

La protección y mantenimiento de la cobertura forestal que el país ha logrado mantener en las últimas décadas, también ha generado

importantes beneficios a nivel nacional. En los bosques de Costa Rica existen 95.157 especies conocidas, o alrededor del 5% de la biodiversidad mundial conocida (alrededor de dos millones de especies conocidas en 2005) (MINAE, CONAGEBIO y SINAC, 2016), los recursos forestales tienen un aporte del 2% al PIB en cuanto a la producción de madera y valor de las importaciones de este material (BCCR, 2016); el turismo y su reconocimiento de los bosques como un atractivo a nivel internacional aporta un 4% al PIB (BCCR, 2016), y la protección de la erosión de suelos y el mantenimiento de los mantos acuíferos por parte de estos ecosistemas ayuda de forma sustancial en la provisión del 74% del suministro eléctrico total proveniente de fuentes hídricas (CENCE-ICE, 2016).

3.4.5 El ciclo del carbono en los bosques: valores de biomasa y secuestro de dióxido de carbono

La importancia de los bosques también tiene un peso significativo en el ciclo del carbono y la regulación del clima. A pesar de que los bosques pueden actuar como fuentes de liberación de dióxido de carbono en la atmósfera (por causas humanas o naturales), su capacidad de almacenar gases de efecto invernadero constituye un valor de

suma importancia para el país. Esto cobra especial atención en el contexto de Costa Rica y sus metas de reducción de emisiones de dióxido de carbono, ya que la actual cobertura forestal que el país posee ayuda en la absorción de cerca de 7,4 millones de toneladas de CO₂ cada año (IMN, 2015).

El dióxido de carbono que los bosques absorben se calcula a partir de datos de biomasa forestal, definida como toda materia orgánica aérea o subterránea, viva o muerta (IPCC, 2003). Sus mediciones se realizan generalmente mediante inventarios forestales y/o el uso sensores remotos. Según las Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, el dióxido de carbono almacenado en los bosques, corresponde a la mitad de la biomasa que se estima en los inventarios (IPCC, 2007).

Costa Rica cuenta con una amplia red de parcelas de muestreo en diferentes tipos de bosques, las cuales han sido medidas a lo largo de las últimas tres décadas y han generado información valiosa sobre el crecimiento, composición y estructura de los bosques, y a partir de las cuales se conoce sobre la importancia que tienen los bosques, como ecosistemas que ayudan a disminuir la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Ulate (2011) sistematizó datos existentes de inventarios forestales en esta red de parcelas, estimando que en cuanto a tipos de bosques, los bosques secundarios tempranos tienen los datos de biomasa más bajos, con un valor de 2 toneladas por hectárea⁷, mientras que los bosques maduros reportan los valores más altos, llegando a tener 445,40 toneladas por hectárea para bosques muy húmedos en el piso altitudinal montano bajo, y 161,33 toneladas por hectárea para bosques secos en el piso altitudinal basal.

3.4.6 El Inventario Nacional Forestal

Recientemente, las existencias actuales de biomasa forestal y carbono forestal se analizaron mediante el primer Inventario Nacional Forestal (INF) realizado entre el 2012 y 2015, y liderado por el SINAC.

En general, la superficie considerada en el INF fue de 3,9 millones de hectáreas aproximadamente, dentro de las cuales se determinó que existe un total de 2.950.174,696 toneladas de CO₂ secuestrado en la biomasa (Programa REDD/CCAD-GIZ – SINAC, 2015). Estas estimaciones provienen de 280 parcelas de muestreo que se midieron a lo largo de todo el país. En

⁷Se refiere a biomasa arriba del suelo, definida como toda la biomasa viva por encima del suelo incluyendo el tronco, el tocón, las ramas, la corteza, semillas y las hojas (IPCC 2003).

términos generales, los resultados del INF se dividen por tipos de bosques (bosque maduro, bosque secundario, pastos con árboles, plantaciones forestales, bosque de palmas y rodales de mangle) y/o por componentes (suelo, árboles, raíces, maderas muertas y hojarasca).

En cuanto a los tipos de bosques, se estimó que los bosques maduros poseen un total de biomasa de 224 toneladas por hectárea, mientras que los bosques secundarios un total de 148,4 toneladas por hectárea⁸. En valores totales, el bosque maduro es el que posee la mayor cantidad de sumideros con 1.605.409,870 toneladas (54%), seguido por el bosque secundario con 639.872,834 toneladas (22%), y los pastos con árboles con 605.790,978 toneladas (21%).

En cuanto a los componentes, los mayores valores de CO₂ se encuentran en el componente suelo con 1.553.309,375 toneladas (53%), seguido por los árboles mayores a 10cm de diámetro con 958.281,487 (32%), y las raíces con 268.910,831 toneladas (9%).

Si se analiza la ubicación de todo el CO₂ fijado en los bosques de Costa Rica, el 39% se encuentra en áreas bajo algún tipo de protección por parte del Estado (principalmente en los Parques Nacionales), y 61% en

⁸Se refiere a datos de biomasa para árboles mayores a 10cm de diámetro a la altura del pecho (DAP) (Programa REDD/CCAD-GIZ – SINAC, 2015).

áreas no protegidas. Adicionalmente, las existencias de CO₂ se concentran principalmente en las altitudes menores o igual a 1.500 msnm (solo el 14% del CO₂ capturado se encuentra en altitudes superiores a 1.500 msnm).

Estos esfuerzos que el país ha realizado en cuanto a la medición de variables forestales, y en especial a la cuantificación de la biomasa forestal, son de suma importancia para contabilizar y monitorear las reservas de carbono, la productividad de los ecosistemas y la degradación ambiental.

4. Estado de la Calidad Ambiental

4.1 Estado de la Calidad del aire

4.1.1. Las partículas respirables como indicador de la calidad del aire

Las partículas respirables en el aire son las que cuentan con un diámetro menor o igual a 10 micrones⁹, por lo tanto, en la literatura se puede encontrar como PM_{10} ¹⁰. Estas partículas pueden ingresar al sistema respiratorio de los seres humanos y conforme estas sean más pequeñas, el daño potencial en la salud es mayor. El material particulado puede clasificarse de la siguiente manera: a) Fracción gruesa, de 2,5 a 10 micrones (puede llegar hasta los pulmones) y b) Fracción fina, menor a 2,5 micrones (PM_{25}) (Puede ingresar hasta los alvéolos y luego a la sangre).

Este material se considera como un contaminante, el cual está constituido por material líquido y sólido que se encuentra en el aire. Las fuentes que lo generan pueden

ser móviles o estacionarios, de igual forma pueden ser generados naturalmente o por el ser humano. Esta generación está asociada a la combustión no controlada o a la desintegración mecánica de la materia o la re-suspensión de partículas en el ambiente. Según investigaciones, se ha determinado que estas partículas están constituidas por siete componentes químicos o especies: material geológico, sulfatos de amonio, nitratos de amonio, material orgánico, carbón elemental, sales y elementos trazas (Canales, Quintero, Castro y García, 2014).

Según investigación de monitoreo de partículas respirables en Latinoamérica, la principal fuente generada por el ser humano en Costa Rica de PM_{10} , es la flota vehicular, con cantidades que oscilan entre 42 y 50 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) entre el año 2006 y 2007 (Según estudio realizado en la ciudad de Heredia), esto en comparación con otros países donde sobresalen algunas otras fuentes como la actividad industrial, agricultura, industria química, re-suspensión de polvo, desgaste de pavimento, entre otros (Herrera; Rodríguez y Solís, 2009 y Herrera;

⁹Un micrón es la milésima parte de un milímetro.
¹⁰ PM_{10} : Material particulado de 10 micrones.

Rodríguez y Báez, 2010, citado por Garrido y Camagro, 2012). Por ejemplo, la cantidad de PM_{10} generada por la flota vehicular de México en el año 2011, para compararlo con Costa Rica, fue de $129 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Secretaría del Medio Ambiente de México, 2011, citado por Garrido y Camagro, 2012).

4.1.2 La Calidad del Aire en el Área Metropolitana 1993-2015

Estado de la Calidad del Aire 1993-2003

En Costa Rica, desde el año 1993 se viene monitoreando la calidad del aire en la ciudad de San José. Este monitoreo nace a raíz de la preocupación por los resultados obtenidos en un estudio realizado en el año de 1989, donde se estableció un serio daño sobre el sector del Teatro Nacional. Del monitoreo realizado por este estudio, el cual contó con seis puntos de muestreo, se determinó en los primeros datos que los valores promedio de plomo llegaban a $1,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Según datos de la Norma de EEUU¹¹ el valor promedio permitido basado en salud es de $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) con niveles mínimos por punto de muestreo de $0,89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ anual (Alfaro, 1999, citado por Herrera y Rodríguez, 2004). El plomo es considerado un metal pesado y se puede encontrar en los combustibles, ya que es utilizado como aditivo. Este

metal puede producir diferentes daños sobre el organismo humano ya que su principal característica es que es un tóxico acumulativo por lo que el organismo no es capaz de eliminarlo con el tiempo (Jarabo et al, 2000). No obstante, para el año 2002, mediante estudio realizado por el Programa de Estudios de Calidad del Aire de la Universidad Nacional (PECAIRE), se determinaron valores promedio anuales de concentración de plomo presente en el material particulado de $0,035 \mu\text{g}/\text{m}^3$, cuya significativa reducción se debe a la acción establecida en el Decreto Ejecutivo 190088-S (1989) donde se encomienda a la Refinadora Costarricense de Petróleo a eliminar paulatinamente el plomo en la gasolina (Herrera y Rodríguez, 2004).

En cuanto a la concentraciones de PM_{10} en la Capital de Costa Rica entre 1997 y el 2002 según monitoreo realizado por el PECAIRE, como se muestra en la gráfica 8 (tomada de Herrera y Rodríguez, 2004), venían en ascenso hasta el año 1998, ya que entre 1998 y 1999 se muestra una disminución considerable de aproximadamente $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (pasando de $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$), causada por la entrada del Eco-marchamo, cuyo programa exigía la reducción de las emisiones de gases de los vehículos. No obstante, en el año 2001, con la desaparición del Eco-marchamo, se vuelve a generar un aumento en las concentraciones de PM_{10} hasta el año 2002 que fue cuando se inician las revisiones

¹¹Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA)

técnicas obligatorias anuales en los vehículos (inicia actividades la empresa RITEVE S y C S.A.)

En el año 2002, además del análisis del material particulado en la capital, se realizó un estudio de los niveles de Sulfato (SO_4^{2-}) y Nitrato (NO_3^-) contenidos en las partículas, obteniendo resultados que van de 2,48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 5,02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de Sulfato y de 0,71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 1,89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de Nitrato entre los meses de agosto y noviembre (Pecaire, 2002, citado por Herrera y Rodríguez, 2004). Es importante señalar que la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) establece 3,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como valor típico de concentración de sulfato en material particulado y 0,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el caso de nitrato. De acuerdo con los datos obtenidos en Costa Rica en el año 2002, el promedio mensual de sulfato y nitrato en la PM_{10} fueron mayores a los establecidos por la EPA, cuya causa está asociada al alto flujo vehicular y las características del combustible que se expendía en el país.

Otro contaminante importante que se analizó en San José en el período entre 1993 y 2003 es el dióxido de nitrógeno, el cual se origina por combustiones de alta temperatura y tiempo prolongado. Este tipo de combustión se dan tanto en la industria como en la operación de vehículos automotores (Baca et al, 2007). Por parte de la Organización Mundial de la Salud (OMS) se ha recomendado un límite promedio de

40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y como se observa en la figura 2, entre los años 1993 y 2003, el comportamiento promedio anual es similar al del material particulado con valores superiores a los 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, recomendados por la OMS.

Estado de la Calidad del Aire 2004-2008

Un aspecto importante en este período de monitoreo de la calidad del aire es que se contaba con el Reglamento sobre inmisión de contaminantes atmosféricos, el cual contiene las normas nacionales de calidad del aire, estableciendo así las concentraciones máximas de contaminantes en el ambiente. Dicho reglamento se crea bajo el Decreto 30221-SALUD, en el año 2002. Los contaminantes establecidos en dicha norma y los valores límite se muestran en el cuadro 19.

Este monitoreo es parte de un programa de colaboración entre el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales (UNA), el Ministerio de Ambiente y Energía, el Ministerio de Salud y las municipalidades de San José y Belén, donde se analizan los contaminantes establecidos en el cuadro 1, además de la incorporación en el año 2007 del análisis de materiales pesados (plomo, cromo, manganeso, níquel, cobalto, aluminio, vanadio, cobre y hierro) presentes en las PM_{10} . Las estaciones de muestreo se ubicaron además de la ciudad de San José (en la Catedral Metropolitana y la

junta de Educación), en la Ciudad de Heredia (Rectoría de la Universidad Nacional y el edificio de Gobernación de Heredia) y Belén (Centro Comercial La Ribera).

De los principales resultados del monitoreo (Herrera, Rodríguez y Rojas, 2008), se determinó que el período entre 2004 y 2008, único punto de muestreo donde sobrepasó los límites establecidos por la Norma en cuanto a PM_{10} fue el ubicado en la Rectoría de la Universidad Nacional en Heredia, con un valor promedio de $58 \text{ ug}/\text{m}^3$. Los demás sitios de muestreo obtuvieron valores promedio menores a $50 \text{ ug}/\text{m}^3$ (Límite de PM_{10} establecido en Decreto 30221-SALUD). Con el fin de comparar el estado de la calidad del aire del período anterior con éste, se muestra el cuadro 20, donde en San José hay una tendencia a la disminución de PM_{10} , ya que en el caso de la Estación de la Catedral pasó de $46 \text{ ug}/\text{m}^3$ en el año 2004 a $29 \text{ ug}/\text{m}^3$ en el año 2008 y en el caso de la Estación de muestreo en Junta de Educación, se mantuvo en $26 \text{ ug}/\text{m}^3$ del año 2004 al 2008. En ambas estaciones de muestreo, las PM_{10} no superaron el límite establecido por la Normativa Nacional.

Con respecto a los resultados obtenidos sobre el promedio anual de las concentraciones de NO_2 obtenidos en el monitoreo entre el 2004 y 2008 citado anteriormente, se detectó que, en cinco sitios de San José, dos de Heredia y dos de Belén,

se presentaron valores mayores a $40 \text{ ug}/\text{m}^3$, que corresponde a la norma anual establecida por la OMS para este contaminante. Cabe señalar, que los sitios de muestreo que superan este límite corresponden a los de mayor tránsito vehicular, y por lo contrario, los sitios de muestreo con valores bajo el límite establecido por la OMS corresponden a sectores residenciales y comerciales con menor tránsito vehicular. Por otro lado, la tendencia en los sitios de mayor afectación por este contaminante, no mostraron en este período una tendencia a la disminución de la concentración.

En el caso de los niveles de Sulfato (SO_4^{2-}) y Nitrato (NO_3^-) en análisis realizado entre los años 2004 y 2006, se determinaron concentraciones en la ciudad de San José entre $2,50 \text{ ug}/\text{m}^3$ y $7,15 \text{ ug}/\text{m}^3$ de Sulfato y de $0,83 \text{ ug}/\text{m}^3$ a $1,14 \text{ ug}/\text{m}^3$ de Nitrato, por lo que al igual que en el período anterior, hay datos que superan los valores típicos establecidos por la EPA, donde el año 2005 es cuando se observaron las mayores concentraciones (Herrera, Rodríguez y Rojas, 2008).

Estado de la Calidad del Aire 2008-2012

A diferencia del monitoreo de la calidad del aire realizado en el período anterior, en éste, se incorporan estaciones de muestreo en Cartago, Alajuela, Escazú y Santa Ana, Moravia y Santo Domingo, por

lo que la muestra tiende a ser de mayor representatividad en el Área Metropolitana. Dentro de los principales resultados en cuanto a la concentración de PM10, se hace mención que durante el año 2012, los sitios de muestreo ubicados en Catedral Metropolitana (SJ-01) y la Sección de Parques de la Municipalidad de San José (SJ-02) revirtieron la tendencia a la baja que se venía registrando en años anteriores (2008-2011), por otro lado, los sitios SJ-03, SJ-04, SA-01 (Santa Ana), MO-01 (Moravia) y AL-01 (Alajuela) presentaron una disminución significativa con respecto al año 2011 (Herrera, 2012).

Otro aspecto importante a retomar en el cuadro 3, es que tanto Heredia (HE-01) como Belén (BE-02) muestran valores de concentración de PM10 en los años 2010 y 2011 mayores a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que indican que están sobre el límite que establece el Decreto 30221-SALUD.

Es interesante como del período (2004-2008) al período (2008-2012), hay una tendencia, en un sitio de muestreo como el de la Catedral Metropolitana, hacia la baja de los niveles de concentración de PM10, pasando de 46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el año 2004 a 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el año 2012. En el caso de Heredia (principalmente en el sector de la rectoría de la UNA), de igual forma se ha dado una disminución desde el año 2008, pasando de 58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el año 2012, logrando estar bajo el

límite establecido en el Decreto 30221-SALUD.

En cuanto a los valores de plomo, desde el año 2004 al 2012, no se han detectado concentraciones que superen lo establecido en el límite anual de 500 ng/m^3 para Costa Rica, con un valor máximo promedio de 13,7 ng/m^3 en el año 2008 y un valor máximo promedio de 9,3 ng/m^3 en el año 2012.

En el caso del NO₂ entre los años 2011 y 2012, período donde se realizaron muestreos a lo largo del Área Metropolitana se detectaron sitios con concentraciones mayores a los 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, que corresponde a la norma anual establecida por la OMS para este contaminante. Como cita Herrera (2012), las concentraciones mayores de NO₂, se presentan en sitios de muestreo comerciales con alto flujo vehicular en donde se llegan a alcanzar excedencias de hasta un 45% con respecto al valor criterio de la OMS. Al comparar estos valores con los obtenidos para años anteriores se registra una tasa de incremento de 11 y 13% para sitios comerciales e industriales respectivamente. Es importante indicar que esta tasa aumentó ligeramente con respecto a la registrada en años anteriores donde se registraban incrementos de hasta 10% para zonas comerciales de alto flujo vehicular.

En el caso de los niveles de Sulfato (SO₄²⁻) y Nitrato (NO₃⁻) en análisis

realizado en el año 2012, se determinaron concentraciones en San José y Belén entre 2,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 2,95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de Sulfato y de 0,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 0,98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de Nitrato. A diferencia que el período anterior, en el caso de los Sulfatos, no se superaron las concentraciones establecidas como límite según EPA, mientras que en lo que respecta a Nitrato, hay dos sitios que superan el límite de la EPA.

Estado de la Calidad del Aire 2013-2015

Para este período, de acuerdo al sexto informe de calidad de aire del área metropolitana (UNA, 2015) se utilizaron las mismas estaciones de muestreo para monitorear la calidad de aire que en el período 2008-2012. De los resultados obtenidos para los tres años de medición (2013, 2014 y 2015), el valor promedio anual de los datos de concentración de PM10 cumplieron con la norma nacional de un límite máximo de promedio anual de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Además, las concentraciones de menor valor se obtuvieron en las zonas residenciales, que oscila entre 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en el caso de las mayores concentraciones se obtuvieron en las zonas comerciales e industriales, con promedios anuales que oscilan entre 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

En el caso de las mediciones en Heredia por ejemplo, se muestra una disminución considerable con respecto al período anterior, bajando los niveles de concentración de PM10

para que cumplan con la normativa, ya que pasó del año 2010 de 56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el 2013.

Con respecto a los valores que se obtuvieron de plomo en el aire, se mantiene una concentración por debajo de la normativa nacional (máximo admisible es de 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), por ejemplo, el valor máximo encontrado de plomo en las estaciones de muestreo según el sexto informe de calidad del aire es de 0,014 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el sector de Hatillo.

Siguiendo el análisis comparativo entre los períodos al medir el NO₂, se determinó que en varios sectores medidos se obtuvieron concentraciones mayores a los 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, que corresponde a la norma anual establecida por la OMS para este contaminante, cuya causa principal es el flujo vehicular, por lo que coinciden las áreas de mayor concentración de NO₂ con las zonas comerciales e industriales. No obstante, a pesar de que se incumple la norma según la OMS, al referirlo a la normativa nacional (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como máximo permitido) se cumple en todos los sitios de muestreo (Los promedios anuales oscilan entre 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

En lo que respecta a los niveles de concentración de Nitrato (NO₃-), oscilaron entre 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en promedio anual. Por otro lado, el Sulfato (SO₄²⁻) presentó los niveles más altos con concentraciones de

hasta $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el año 2013. Los valores máximos de estos dos contaminantes del aire se asocian a los sitios de mayor flujo vehicular.

4.1.3 El aporte del sector transporte en la calidad del aire

A nivel mundial, el sector transporte es uno de los mayores consumidores de energía. En el año 2012 fue el responsable del 63,7% de todos los derivados de petróleo consumido según estadísticas de la Agencia Internacional de Energía (2014), esto implica que los derivados de petróleo emiten el 35,3% de las emisiones totales de CO_2e para todos los combustibles fósiles. El crecimiento de la flota vehicular a nivel mundial aumentará considerablemente y Costa Rica no se escapa de esta tendencia, donde en la actualidad se cuenta con 1.399.082 de vehículos, de los cuales 80% es de particulares y motocicletas. Además, se conoce que el 66% de la matriz energética está constituida por hidrocarburos y el transporte utiliza el 67% del total de hidrocarburos importados al país (CEGESTI, 2015). Estos datos hacen ver que Costa Rica debe intervenir el sector transporte si quiere migrar hacia una economía baja en carbono y cumplir efectivamente su meta de ser Carbono Neutral para el año 2021.

4.1.4 Emisiones de Gases Efecto Invernadero

De acuerdo al artículo 4 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), las Partes deberán elaborar, actualizar periódicamente, publicar y facilitar a la Conferencia de las Partes inventarios nacionales de las emisiones antropogénicas, para lo cual se deben aplicar metodologías comparables (MINAE et al, 2012).

Según el inventario nacional de gases de efecto invernadero y absorción de carbono del año 2102 de Costa Rica (MINAE et al, 2012), se analizaron cuatro grandes sectores emisores, los cuales se categorizaron de la siguiente forma: energía, procesos industriales y usos de productos, agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra y residuos. La metodología utilizada para dicho inventario es la proporcionada por el IPCC¹² de 1996, donde se contemplaron los siguientes gases: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), halocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC), hexafluoruro de azufre (SF_6), monóxido de carbono (CO), óxido de nitrógeno (NO_x), otros hidrocarburos volátiles diferentes del metano (NMVOC) y dióxido de azufre (SO_2). Para efectos de comparar los

¹²Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

sectores y sus emisiones, se utilizó el CO₂ equivalente (CO₂eq), sin embargo, en el inventario nacional se calculó la información de cada uno de los gases.

Para el año 2012, en el caso del sector energético, el componente con mayor emisión de CO₂ equivalente es el de transporte, con 4.955,55 Gg de CO₂e, seguido de la industria manufacturera y de la construcción con 1.125,79 Gg de CO₂e. En el sector de procesos industriales y uso de productos, el campo de la industria de los minerales fue el que generó mayor emisión de CO₂e (663,26 Gg CO₂e). Por otro lado, en la agricultura, la fermentación entérica y manejo de estiércol es la actividad que produce mayores emisiones con un total de 2.182,81 Gg CO₂e. Por último, en el sector de residuos, los sólidos generan más emisiones que las aguas residuales, con un total de los primeros de 1.250,56 Gg CO₂e en comparación con las segundas que presentan un valor total de emisiones de 613,71 Gg CO₂e (ver cuadro 5).

Al hacer una comparación entre los sectores, como se muestra en el cuadro 23, energía es el que predomina desde el año 2005 en cuanto a generación de emisiones, seguido del sector residuos.

En el cuadro 24, se muestra la distribución de los valores de los diferentes gases con respecto al sector, donde el de mayor

representatividad en cada sector es el CO₂, con excepción del sector agrícola, donde el valor de este gas es negativo a causa del aporte del sector forestal. El gas de mayor representación en el sector agrícola es el Metano (CH₄).

En el cuadro 25, se hace mención de información del consumo de sustancias agotadoras del Ozono (SAO), entre el año 2010 y 2014, y cabe señalar que en el caso de los hidroclorofluorocarbonos y el bromuro de Metilo, tienden a la baja en su consumo, siendo esto un aspecto positivo en cuanto a la calidad del aire (ONU, 2016)

4.1.5 Tendencias de las emisiones de Gases Efecto Invernadero

Debido al cambio del clima eminente que se vienen palpando, es que Costa Rica mediante el Plan Nacional de Desarrollo ha involucrado este tema como un eje transversal. Esto aunado al compromiso ambiental que el país ha tomado a través de la contribución prevista nacional presentada a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático, definiendo su compromiso en acciones climáticas hacia el año 2030. Este compromiso implica según el MINAE (2015), establecer una meta de mantener el aumento de la

temperatura media mundial por debajo de 2°C y por lo contrario se pretende reducirlo a 1,5 °C¹³.

Con el fin de cumplir con el compromiso, así como lo establece el MINAE (2015) en la contribución prevista a nivel nacional, Costa Rica se centrará en aumentar la resiliencia de la sociedad ante los impactos del cambio climático y fortalecer las capacidades locales para un desarrollo bajo en emisiones a largo plazo. En este sentido, el país se concentrará en las dos siguientes acciones: a) Reafirmar la aspiración de orientar su economía hacia la carbono neutralidad para el año 2021, por lo que desde el 2007 se pretendía compensar sus emisiones mediante la remoción de estas por parte del sector forestal y b) Comprometerse a un máximo absoluto de emisiones de 9.374.000 TCO_{2e} netas al 2030, con una trayectoria propuesta de emisiones per cápita de 1,73 toneladas netas per cápita para el 2030; 1,19 toneladas netas per cápita al 2050 y -0,27 toneladas netas per cápita al 2100. Este compromiso pretende reducir las emisiones de GEI un 44% si se compara con un escenario del Business As Usual (BAU), y representa una reducción de emisiones de GEI de 25% contrapuesto con las emisiones de 2012. Para lograr su meta, Costa Rica tendrá que reducir 170.500 toneladas de GEI año con

¹³Para lograr esto, se requería que a partir del año 2012 las emisiones globales de gases de efecto invernadero no excedieran en un total de 1.000 Gg CO_{2e}.

año, hasta el 2030. En la gráfico 9 se muestra la trayectoria propuesta de las emisiones totales netas de GEI de Costa Rica entre los años 2012 y 2050.

Además, Costa Rica en Ley No. 9405 del 6 de octubre del año 2016, aprueba en cada una de sus partes, el Acuerdo de París, el cual se suscribe en la ciudad de Nueva York el 22 de abril del 2016, donde se establece en el artículo 2, que con el afán de reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza, se debe mantener como se citó anteriormente un aumento de la temperatura no mayor a 1,5 C, por otro lado, es fundamental aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promover la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de GEI sin comprometer la producción de alimentos y por último situar los flujos financieros en un nivel compatible con una trayectoria que conduzca a un desarrollo resiliente al clima con bajas emisiones de GEI (Asamblea Legislativa, 2016).

4.1.6 La calidad de aire y el sector agrícola

El Plan de Acción de la Estrategia Nacional de Cambio Climático, el cual fue oficializado a través del Decreto Ejecutivo N° 39114- MINAE (25 de julio, 2014), tiene como

objetivo establecer grandes acciones para alcanzar la meta país en los sectores energía, transporte, agricultura y recursos hídricos. Con respecto a la calidad del aire, ya se abarcaron los sectores transporte y energía a través de la generación de Gases Efecto Invernadero, pero en el tema de agricultura es importante analizar el uso de agroquímicos y fertilizantes y el aporte al deterioro de la calidad del aire.

Con respecto al uso de fertilizantes y plaguicidas cabe señalar que estas son prácticas muy comunes en las fincas agrícolas, y se determinó en el Censo Nacional Agropecuario 2014 (INEC, 2016), un total de 64.377 fincas que aplican fertilizante (82,1%) y 70.699 utilizan plaguicidas (90,1%). El uso de ambos predomina en las provincias de Alajuela y San José. Además, según PROCOMER (2012) citado en el decimotavo Informe del Estado de la Nación (2012), las importaciones de plaguicidas alcanzaron en el año 2010 valores de 25,4 millones de kg, que si se compara con el año 2009 que se importaron en total 21,7 millones de kg hay un aumento significativo. Otro dato interesante es la cantidad de kilogramos de fertilizantes importados, con valores del año 1999 de 294,5 millones pasando al año 2009 a 335,2. Como lo menciona el IRET¹⁴ en el decimotavo Informe del Estado de la Nación en Desarrollo Humano

Sostenible, "Si bien los fertilizantes no tienen las características de toxicidad que tienen los plaguicidas tampoco están exentos de impactos en la salud y en el ambiente".

El alto uso de plaguicidas según el Ministerio de Salud, trae como consecuencia: reducción de la biodiversidad, erosión y pérdida de permeabilidad de los suelos, aumenta la vulnerabilidad a las plagas y enfermedades y conduce al desequilibrio y agotamiento de los agro sistemas. Esto hace que se genere un deterioro en la calidad del aire.

Otra afectación del aire por parte del sector agrícola es la actividad de quema. En el Decimonoveno Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible (2013), se hace mención de que aproximadamente el 50% de las hectáreas de plantaciones comerciales de caña de azúcar se cosechan anualmente mediante la práctica de la quema. Si se toma como referencia un estudio realizado en Colombia donde determinaron que por una hectárea de caña quemada se llega a producir 1,9 toneladas de monóxido de carbono en veinte minutos, se podría hablar de que, en Guanacaste, donde frecuente esta práctica, se estaría generando 65.577 toneladas de monóxido de carbono.

Teniendo este panorama y con el fin de lograr que el país tenga una economía baja en emisiones de

¹⁴Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas de la Universidad Nacional

carbono y competitiva para el 2021, el sector agropecuario mediante la Estrategia de Articulación Sectorial Agroambiental y de Cambio Climático (SEPSA, 2016) ha establecido líneas estratégicas, donde se ha realizado propuestas de acciones como las siguientes: a) Acciones como el establecimiento de medidas a las actividades agropecuarias más emisoras a partir de enfoques integrales mediante NAMAs¹⁵, como NAMA café, NAMA ganadería, entre otros), b) Uso eficiente de agroquímicos y alternativas de complementación y/o sustitución, c) Fomento de biocombustible d) Promoción de la agricultura orgánica, e) Agro cadenas sostenibles, f) Programa de reconocimiento de beneficios ambientales en el sector agropecuario, entre otros.

4.1.7 La Industria Química y el impacto en el aire

Un sector que no se ha discutido y que aporta al impacto en la calidad del aire, es la industria química. El sector químico en Costa Rica, se caracteriza por la importación de las materias primas químicas para la elaboración de los productos de consumo interno o para exportación (MINAE; DIGECA; GEF Y PNUD, 2017). Dentro de los principales productos que se importan están los insecticidas, abonos minerales y

químicos nitrogenados, donde muchos de estas materias primas son utilizados para la producción de fertilizantes, agroquímicos, fungicidas, herbicidas, entre otros. Por ejemplo, según datos de PROCOMER (2014), los productos químicos que más se importan son: medicamentos con una representación del 25,4% y en segundo lugar los insecticidas y fungicidas con un 6% del total¹⁶. En el caso de los productos químicos que más exporta Costa Rica son: medicamentos (22%), antisueros (17,5%), pinturas (9,8%) e Insecticidas y fungicidas con 8,8% del total. Un dato importante es que la importación de productos químicos del 2010 al 2014 muestra un aumento (pasó de 1.593 a 1.902 millones de USD) mientras que en la exportación sucede lo contrario, ya que viene en disminución desde el año 2011.

Cabe señalar, que Costa Rica pertenece a tres Convenios que luchan por el adecuado uso de sustancias químicas y de estos han surgido normas que a nivel interno se han generado acciones de disminución y control del uso de químicos. Los Convenios a los cuales pertenece el país son: Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes (COP), Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación y Convenio de Rotterdam para la

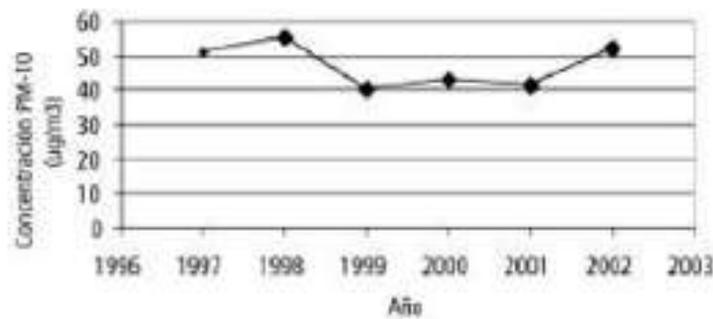
¹⁵Acciones de Mitigación Apropriadas por sus siglas en inglés.

¹⁶Los valores se muestran en millones de dólares americanos.

aplicación de procedimiento de consentimiento fundamentado previo a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos, objeto de Comercio Internacional. Además, Costa Rica es parte del Protocolo de Montreal relativo a las Sustancias

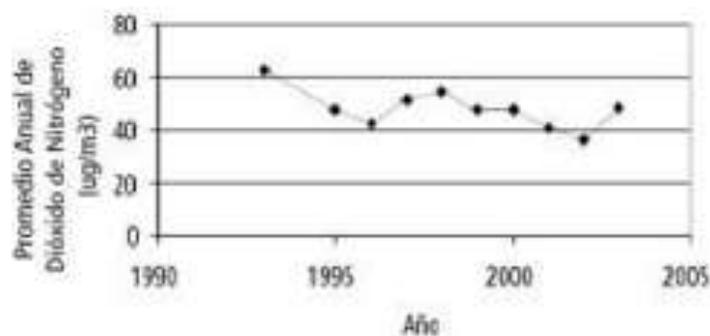
Agotadoras del Ozono (SAO) y Recientemente fue ratificado el Convenio de Minamata sobre Mercurio, mediante la Ley 9391 (Ver cuadro 27, acciones establecidas en esta Ley).

Gráfico N° 8 Concentraciones de material particulado PM₁₀ en la capital de Costa Rica entre los años 1997 y 2002



Fuente: Alfaro, 1999 y Herrera, 2002.

Gráfico N° 9 Concentraciones de dióxido de nitrógeno en la capital de Costa Rica entre los años 1993 y 2003



Fuente: Alfaro, 1999 y Herrera, 2002 tomado de Herrera y Rodríguez, 2004.

Cuadro N° 19 Valores normados para los contaminantes del aire en Costa Rica según decreto 30221-S.

Contaminante	Valores Límite		
	Exposición Aguda		Exposición Crónica
	Concentración y tiempo promedio	Frecuencia máxima aceptable	(Para la protección de la salud de la población susceptible)
Dióxido de Azufre (SO ₂)	365 µg/ m ³ (24 horas)	Sin sobrepasar más de una vez al año	80 µg/ m ³ (promedio anual)
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	400 µg/ m ³ (1 hora)	Sin sobrepasar más de una vez al año	100 µg/ m ³ (promedio anual)
Monóxido de Carbono (CO)	40 mg/ m ³ (1 hora)	Sin sobrepasar más de una vez al año	10 mg/ m ³ (promedio aritmético en 8 horas)
Partículas PM ₁₀	150 µg/ m ³ (24 horas)	Sin sobrepasar más de una vez al año	50 µg/ m ³ (promedio anual)
Ozono	160 µg/ m ³ (1 hora)	Sin sobrepasar más de una vez al año	

Fuente: Herrera, Rodriguez y Rojas, 2008.

Cuadro N° 20 Variación de promedios anuales de la concentración de PM₁₀ en los dos sitios de muestreo ubicados en la ciudad de San José (2004.2008)

	Catedral metropolitana					Junta de educación				
	2004	2005	2006	2007	2008	2004	2005	2006	2007	2008
N	9	12	12	12	12	9	12	12	12	12
Promedio	46	41	33	44	29	26	28	26	30	26
Máximo	66	51	41	53	37	32	40	32	37	32
Mínimo	31	31	27	22	23	18	21	18	20	21
S	12	7	4	9	5	5	6	4	5	4

Fuente: Herrera, Rodriguez y Rojas, 2008.

Cuadro N° 21 Evolución de los promedios anuales de partículas PM₁₀ (µg/m³) obtenidas en el Área Metropolitana de Costa Rica (2008-2012).

Sitio de muestreo	2008	2009	2010	2011	2012	Sitio de muestreo	2008	2009	2010	2011	2012
SJ-01	29	27	28	24	27	MO-01			20	20	15
SJ-02				26	29	HE-01			56	45	42
SJ-03			35	32	27	BE-01	41	38	34	33	32
SJ-04			37	32	29	BE-02			52	54	
SJ-05			29	22	22	SD-01			22	21	18
ES-01			22	23	23	CA-01			28	28	25
SA-01			26	26	22	AL-01			25	26	22

Fuente: Herrera, 2012.

Cuadro N° 22 Evolución de los promedios anuales de partículas PM₁₀ (µg/m³) obtenidas en el Área Metropolitana de Costa Rica (2013-2015)

Sitio de Muestreo	2013	2014	2015
Catedral Metropolitana	23	21	23
Sección de Parques MSJ	27	27	24
Centro de Reciclaje de Hatillo MSJ	29	25	26
La Uruca	30	30	33
Registro Nacional, Zapote	23	23	25
Palacio Municipal, Escazú	22	24	26
Rectoría de la UNA, Heredia	30	32	35
Centro Comercial La Ribera	36	29	30
Lindora, Santa Ana	23	25	-
Universidad Técnica Nacional, Alajuela	27	21	30
Compañía EATON, Moravia	17	17	-
Estación Ferrocarril, Cartago	34	20	26
Parque Industrial, Cartago	26	24	-

Fuente: UNA, 2015.

Cuadro N° 23 Emisiones de CO₂e de los subsectores de acuerdo al inventario de emisiones 2012.Emisiones de CO₂e en el Sector Energía

Subsector	Emisiones Gg CO ₂ e equivalente
Industrias de la energía	595,07
Industria manufacturera y de la construcción	1125,79
Transporte	4355,05
Otros sectores	447,85
Fugitivas (geotérmica)	89,57
Total	7213,83

Emisiones de CO₂e en el Sector Procesos Industriales y Uso de Productos

Subsector	Emisiones Gg CO ₂ e equivalente
Industria de los minerales	663,26
Uso de productos sustitutos de SAO	315,67
SF ₆ en equipo eléctrico	1,75
Total	980,68

Emisiones de CO₂e en el Sector Agricultura, Silvicultura y otros Usos de la Tierra

Subsector	Emisiones Gg CO ₂ e equivalente
Fermentación entérica y manejo de estiércol	2382,81
Cultivos de arroz	288,64
Quema de residuos agrícolas y pastos	38,59
Suelos agrícolas	787,90
Tierras forestales	-2051,65
Embalses	45,99
Total	1996,38

Emisiones de CO₂e en el Sector Residuos

Subsector	Emisiones Gg CO ₂ e equivalente
Residuos sólidos	1250,56
Aguas residuales	613,71
Total	1864,26

Cuadro N° 24 Emisión de gases efecto invernadero como CO₂ equivalente para el año 2012 según sector

Sector que emite	Emisiones expresadas en CO ₂ equivalente (Gg)		
	2005	2010	2012
Total	7 689,93	9 617,15	11 250,20
Energía	5 922,14	7 027,66	7 213,83
Procesos industriales y usos de productos	612,62	824,89	980,70
Agricultura, Silvicultura y otros usos de tierra	- 228,64	224,70	1 119,36
Residuos	1 383,81	1 539,90	1 864,31

Fuente: MINAE, 2012.

Cuadro N° 25 Emisión total de gases efecto invernadero según sector económico en el año 2012.

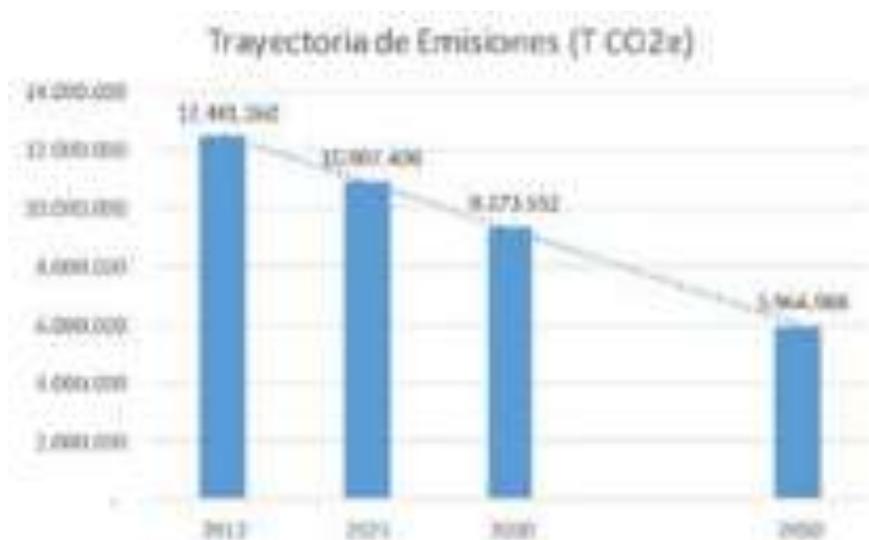
Sector	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC ^{1/}	SF ₆	CO	NO _x	NM VOC	SO ₂
Total por gas	5 661,45	204,67	3,14	0,18	0,00	379,76	58,27	82,04	6,98
Energía	6 984,78	4,24	0,45	-	-	344,30	55,56	67,36	6,49
Procesos industriales y usos de productos	663,26	-	-	-	-	-	-	24,68	0,49
Agricultura, Silvicultura y otros usos de tierra	- 2 077,65	118,91	2,49	-	-	35,46	2,71	-	-
Residuos	91,06	81,52	0,20	-	-	-	-	-	-

Fuente: (MINAE, 2012)

Cuadro N° 26 Consumo de Sustancias Agotadoras del Ozono (SAO) entre los años 2010 y 2014 (Toneladas ODP)

Sustancias agotadoras del Ozono	2010	2011	2012	2013	2014	Línea base
Hydroclorofluorocarbonos (HCFC)	14,00	21,75	23,00	12,60	12,63	14,10
Bromuro de Metilo	166,90	106,10	83,30	0,00	0,00	342,50

Fuente: (ONU, 2016)

Gráfico N° 10 Trayectoria propuesta de las Emisiones Totales Netas de GEI de Costa Rica 2012-2050.

Fuente: IMN, MINAE, 2015.

Cuadro N° 27 Acciones establecidas en la Ley 9391¹⁷, Convenio MINAMATA sobre el mercurio

ARTÍCULOS DEL CONVENIO	ACCIONES EXISTENTES O ESTRATÉGICAS
Artículo 3: Fuentes de suministros y comercio de mercurio Inciso (8)	La Dirección General de Aduanas cuenta con una partida arancelaria específica para mercurio y compuestos de mercurio, la cual corresponde a 2852.00.00
Artículo 5: Fabricación en los que se utiliza mercurio o compuestos de mercurio Inciso (3)(7)	El país no fabrica productos con mercurio y el mismo no forma parte de ningún proceso productivo.
Artículo 8: Emisiones Inciso (3)(7)	En el tema el país cuenta con la siguiente normativa: <ul style="list-style-type: none"> ● Reglamento sobre límites de emisiones al aire para hornos de fundición de vidrio. Decreto Ejecutivo No. 38237-S, Art. 9. ● Reglamento sobre condiciones de operación y control de emisiones de las instalaciones para coincineración de residuos sólidos ordinarios, Decreto Ejecutivo No. 39136-S-MINAE. ● Reglamento de requisitos, condiciones y controles para la utilización de combustibles alternos en los hornos cementeros. Decreto Ejecutivo No. 31837-S.
Artículo 9: Liberaciones Inciso (3) (4)(5)	En el Decreto Ejecutivo N° 33601 de uso y vertido de aguas se establecen los parámetros para vertido de Hg: 0,01mg/l al alcantarillado y 0,01 mg/L para cuerpos receptores.
Artículo 11: Desechos de Mercurio Inciso (3)	Las baterías y los fluorescentes son residuos de manejo especial establecido en el Decreto Ejecutivo N°38272 Reglamento para la

¹⁷ Ley número 9391 del día dieciséis de agosto de dos mil dieciséis, publicada en el Alcance número 226 de La Gaceta Digital N° 202 del 21 de octubre de 2016, se aprueba el Convenio de Minamata sobre el Mercurio, hecho en Kumamoto, Japón, el 10 de octubre de 2013.

ARTÍCULOS DEL CONVENIO	ACCIONES EXISTENTES O ESTRATÉGICAS
Artículo 12: Sitios contaminados Inciso (1)	Declaratoria de Residuos de Manejo Especial. Reglamento sobre Valores Guía en Suelos para descontaminación de Sitios Afectados por Emergencias Ambientales y Derrames. Decreto Ejecutivo No. 37757
Artículo 4: Productos con mercurio añadido	Establecer límites de contenido máximo de mercurio en los productos (Anexo A, parte I del Convenio) y cuando se considere necesario establecer la prohibición requerida.
Artículo 7: Extracción de oro artesanal y en pequeña escala	Promover la capacitación y sensibilización para el cambio tecnológico. Establecer un mecanismo de elaboración intersectorial del Plan de Acción establecido en este artículo, incorporando temas sociales, económicos y de capacitación.
Artículo 16: Aspectos relacionados con la salud	Desarrollar un estudio epidemiológico en la zona de Abangares donde se desarrolla la minería artesanal. ^[1] Promover la elaboración de una recomendación nutricional para la ingesta de pescado.

Fuente: elaboración propia. 2017

4.2 Estado de la Calidad del agua dulce

La contaminación de las aguas superficiales y subterráneas puede ser ocasionada por agentes como bacterias, virus y otros microorganismos, materia orgánica, metales pesados, detergentes, insecticidas, fungicidas, plaguicidas (Rueda, 2000) citado por (Auquilla, 2005).

Al reconocerse el derecho de la población al acceso al agua en cantidad y calidad suficiente, esto implica que el agua que se consume debe ser de calidad potable. (Castro, Monge, & Ovares, 2013) Se entiende por agua potable el agua que, al ser consumida, no causa daño a la salud del usuario, para lo cual debe cumplir con los requisitos

físico-químicos y microbiológicos indicados en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Reglamento de Calidad de Agua Potable Decreto 38924-S, 2015). Esta norma establece controles obligatorios de calidad de agua que deben cumplir los operadores del servicio de agua potable. Los controles establecidos son el control operativo y cuatro niveles de control que miden distintos parámetros. El control operativo mide turbiedad, olor, sabor y cloro residual. El Nivel 1 es el control básico de color, conductividad, ph, olor, sabor, temperatura y coliformes fecales. El Nivel 2 es un programa de control ampliado que verifica metales como: aluminio, calcio, cloruro, cobre. El Nivel 3 es el Control Avanzado que incluye análisis para detectar metales como amonio, arsénico, cianuro, mercurio, níquel y el Nivel 4 corresponde a controles por

ejecutarse en situaciones de emergencia o especiales, como controles para detectar plaguicidas.

Los operadores del servicio de agua potable deben hacer un reporte semestral por acueducto a la Dirección de Área Rectora de Salud del Ministerio de Salud, este reporte debe que incluir el control operativo más los controles de Nivel 1 a 3 y de calidad microbiológica. La frecuencia de las pruebas obligatorias depende de la cantidad de población abastecida. Adicionalmente a estos controles, el Ministerio de Salud cuenta con un Programa de Control de Calidad del Agua¹⁸.

A pesar de lo que establece el Reglamento, el control de la calidad del agua cruda (sin ningún tipo de tratamiento) y del agua suministrada en las redes de distribución en los sistemas de abastecimiento, varía de acuerdo con la entidad que administra el servicio de agua potable, sea AYA¹⁹, las ASADAS²⁰, la ESPH²¹ o las Municipalidades. La evaluación de la potabilidad del agua en los diferentes sistemas de distribución se realiza desde el punto de vista microbiológico y se basa desde el año 1998 en el porcentaje de negatividad por coliformes fecales en los acueductos clorados y

con base en el promedio geométrico de coliformes fecales en los acueductos no clorados” (Espinoza, Morera, & Mora, 2004).

De las 34 cuencas hidrográficas que tiene el país, 15 nunca han sido evaluadas desde el punto de vista de calidad y 18 han sido evaluadas en una a cinco campañas de monitoreo, pero no de forma permanente. Las cuencas con mayor evaluación de la calidad del agua son la del río Tempisque y las de los ríos Tárcoles y Reventazón (Zeledón, 2012). Las cuales representan en total un área de 8.510,5 km cuadrados, es decir, un 16,6 % del total del territorio nacional. Los períodos de monitoreo efectuados sobre algunas de las cuencas de mayor importancia han sido cortos e insuficientes para lograr determinar la verdadera calidad del recurso hídrico (Zeledón, 2012).

En el año 2015 se crea el Programa Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos de Agua del MINAE, que tiene como objetivo implementar un plan para determinar la clasificación de calidad de las aguas superficiales de las cuencas hidrográficas del país, con ayuda de las universidades estatales. El Plan de Monitoreo está dividido en 5 fases, según regiones geográficas del país. La primera fase corresponde al Pacífico Central y ya se cuenta con los resultados de la época de verano de 2016, según el Índice Holandés de Calidad del Agua (IHCA) y el Índice

18 Ver anexo sobre parámetros de Calidad de Agua del Reglamento de Calidad de Agua Potable, N 38924-S. 2015

19 Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

20 Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales.

21 Empresa de Servicios Públicos de Heredia

Biológico (BMWP-CR) (AyA, MINAE y MS, 2016).

De los resultados obtenidos hasta ahora se tiene que, de 47 puntos muestreados, para 22 ríos, se detectaron según el índice IHCA 26 puntos con contaminación incipiente, 4 con contaminación moderada y 1 con contaminación severa, en contraste 16 puntos sin contaminación. Según el índice biológico, tenemos para los mismos 47 puntos 30 con calidad excelente o buena, 11 con calidad regular, 4 con calidad mala contaminada y 2 con calidad mala muy contaminada. Los ríos con situaciones más críticas según este monitoreo son el Tárcoles y el Virilla (AyA, MINAE y MS, 2016).

Sobre los riesgos generales para la calidad del agua, se han detectado algunos tales como: cambio de uso del suelo de plantaciones de café a zonas residenciales urbanas sin sistemas de alcantarillado sanitario y en general, riesgos con tanques sépticos contruidos de forma inadecuada, sin un buen mantenimiento y en sitios con limitaciones del suelo. Este potencial de contaminación, principalmente en los acuíferos del Valle Central, en zonas como Barva, la Libertad y Colima puede seguir en aumento. La repercusión de estos riesgos en la calidad de agua será que, en algún tiempo, estos acuíferos no serán aptos para considerarse como fuente de consumo humano (Astorga, 2006). El riesgo relativo al uso de tanques

sépticos es particularmente preocupante ya que el uso de este mecanismo de saneamiento en el país es del 76,4%, (incluido tanque séptico con tratamiento), y la cobertura de alcantarillado sanitario es de solo 21,43% (AyA, MINAE y MS, 2016). En el país, los responsables del saneamiento de aguas residuales son los operadores del servicio de agua potable, pero no todos ejecutan acciones en ese tema. Frente a este problema, se han tomado medidas que incluyen la emisión de la Política Nacional de Saneamiento de Aguas Residuales 2016-2045 y el Plan Nacional de Inversiones en Saneamiento 2016-2045. El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) inauguró en setiembre de 2015 una planta de tratamiento de aguas residuales denominada Los Tajos que es parte del Sistema de Alcantarillado Metropolitano. Este incluye 1.400 kilómetros de tuberías, un tunel de trasvase, siete plantas de tratamiento y 11 estaciones de bombeo (AyA, 2017). Dicha planta podrá dar tratamiento al agua residual de 245 mil clientes de AyA, lo que aumentará el porcentaje de tratamiento de aguas a nivel nacional (Banco Central de Costa Rica, 2016). Una vez terminado el proyecto de Mejoramiento ambiental del Área Metropolitana al 2020 y según datos del AyA, los Tajos dará cobertura a 11 cantones del GAM y 1,4 millones de personas, para un 65% de la población del Área Metropolitana, con lo que la

cobertura de saneamiento sería de alrededor del 28% (AyA, 2017).

4.2.1 Cobertura de acceso al Agua Potable

De conformidad con los resultados del X Censo de Población y Vivienda, de 2011, el 92,5 % de las viviendas en Costa Rica obtienen su agua de consumo a través de una conexión intradomiciliaria proveniente de un acueducto. Esto no significa que esa agua sea necesariamente potable. (MINAE, AyA, MS, 2016).

Según datos del Decimosexto Informe del Estado de la Nación en Desarrollo humano sostenible sobre la situación de potabilización y saneamiento en Costa Rica (publicado en el año 2010) la cobertura de agua potable ha mejorado considerablemente en los últimos años. A continuación, se muestra el cuadro de cobertura de agua potable para el período de 2006-2009²².

²² Ver cuadros en el Decimosexto Informe del Estado de la Nación en Desarrollo humano sostenible sobre la situación de potabilización y saneamiento en Costa Rica. 2010 sostenible (2010)

Cuadro N° 28 Suministro de agua potable según operador

Ente que suministra el agua potable	2006	2007	2008	2009
AyA	98,6 %	97,8 %	98,2 %	98,9 %
ASADAS	59,1 %	59,8 %	58,7 %	69,7 %
MUNICIPALIDADES	70,1 %	76,3 %	78,8 %	79,4 %
ESPH	99,7 %	100,0 %	99,6 %	100,0 %
TOTAL	81,2 %	83,5 %	83,4 %	87,3 %

Fuente: Informes del AYA, 2017

Para el año 2015 se estimó que la distribución de la población abastecida con agua potable fue de

99% para el AYA, Municipalidades un 90%, ESPH un 95%. ASADAS un 80%. (Ver cuadro 29).

Cuadro N° 29 Agua para consumo humano, período 2015. Estimación general de cobertura y calidad en Costa Rica

Categoría	Población	Población abastecida		Población no abastecida		Cobertura (%)	Calidad (%)
		Población	Porcentaje	Población	Porcentaje		
Total	5.000.000	4.950.000	99,0	50.000	1,0	99,0	
Municipalidades	3.500.000	3.150.000	90,0	350.000	10,0	90,0	
ESPH	1.000.000	950.000	95,0	50.000	5,0	95,0	
ASADAS	500.000	400.000	80,0	100.000	20,0	80,0	
Operadores privados	1.000.000	950.000	95,0	50.000	5,0	95,0	
Operadores públicos	2.000.000	1.900.000	95,0	100.000	5,0	95,0	
Operadores privados	2.000.000	1.900.000	95,0	100.000	5,0	95,0	
Operadores públicos	2.000.000	1.900.000	95,0	100.000	5,0	95,0	
Operadores privados	2.000.000	1.900.000	95,0	100.000	5,0	95,0	
Operadores públicos	2.000.000	1.900.000	95,0	100.000	5,0	95,0	
Operadores privados	2.000.000	1.900.000	95,0	100.000	5,0	95,0	
Operadores públicos	2.000.000	1.900.000	95,0	100.000	5,0	95,0	

Fuente: Informe Agua para Consumo Humano y Saneamiento y su relación con las actividades e industrias de salud en Costa Rica. Laboratorio Nacional de Agua, AYA, 2015.
 (1) Incluye población que recibe agua potable.
 (2) Incluye población que recibe agua potable.
 (3) Incluye población que recibe agua potable.
 (4) Incluye población que recibe agua potable.
 (5) Incluye población que recibe agua potable.

A pesar de haber mejorado, el servicio de agua potable continúa siendo vulnerable por algunas razones. En nuestro país principalmente por la extensión geográfica, la ubicación de muchos de sus componentes en zonas de amenaza natural, condiciones de diseño poco flexibles, la necesidad de funcionamiento continuo y de brindar el servicio de calidad.

En el caso Costa Rica, la ubicación geográfica y tectónica del país, las condiciones climáticas y otras afectaciones comunes como: del fluido eléctrico impacta en la continuidad del servicio de agua potable; o bien, la necesidad de suministro de agua implica el uso de camiones cisterna (AyA, 2016).

Sumado a lo anterior, como parte de las afectaciones climáticas en el territorio nacional en los últimos años durante la época de verano, más de 70.000 personas que habitan en las comunidades josefinas de Barrio Cuba, Paso Ancho, San Sebastián, Hatillos y Mata Redonda, se han visto afectadas en su servicio de abastecimiento, lo cual obliga a AyA a implementar acciones operativas que permitan el aporte de agua potable desde otras zonas de operación, así como a definir horarios de racionamiento y el suministro de agua mediante camiones cisternas. Esta situación evidencia la necesidad de invertir en nueva infraestructura de producción y distribución, que permita lograr un saldo positivo entre

el Balance hídrico de la oferta y demanda (AyA, 2016)

Este servicio es ofrecido por varios operadores, así el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AYA) abastece al 50,7% de la población, alrededor de 1.500 ASADAS al 25%, 28 Municipalidades y un Consejo de Distrito al 13,8 % de la población y la ESPH al 5%. Un 5,5% se abastece por otros medios (MINAE, AyA, MS, 2016).

La Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP), entidad encargada del establecimiento de tarifas de agua potable para todos los operadores mencionados con excepción de las Municipalidades, estableció un Programa de Verificación de Calidad del Agua Potable, para verificar si la calidad del agua que ofrecen los operadores regulados está conforme con los parámetros del Reglamento para la Calidad de Agua Potable. (Reglamento de Calidad de Agua Potable Decreto 38924-S, 2015).

Para el año 2015, este programa evaluó los sistemas de abastecimiento del AyA en las regiones Huetar Atlántica y Pacífico Central (sin incluir la región de Cóbano). Se encontró que un 97% de los sistemas de abastecimiento presentó al menos un parámetro no conforme. (ARESEP, 2015).

El estudio de ARESEP encontró múltiples no conformidades en los parámetros de calidad verificados, algunos de los cuales corresponden a parámetros que podrían representar riesgos para la salud como es el caso de los metales o microbiológicos. La ARESEP concluye que: “se presentan oportunidades de mejora en mayoría de los sistemas de abastecimiento en cuanto al tema de la cloración, ya que se observa en general 2 situaciones: En primer lugar, no se tiene cloración en el sistema de abastecimiento. En segundo lugar, se tiene cloración pero las concentraciones que se mantienen de cloro residual libre en la red no son conformes a las que estipula el Decreto 38924-S”. (ARESEP, 2015).

4.2.2 Materia orgánica en cuerpos de agua dulce

En cuanto al tema de la materia orgánica en agua dulce, según datos del último Informe del Estado de la Nación sobre Desarrollo Sostenible, publicado el año pasado Programa de la Nación ha encontrado que existen problemas sobre todo del vertido de aguas residuales de las actividades domésticas, comerciales, industriales y pecuarias, y de fuentes difusas causadas por el escurrimiento de aguas en la actividad agrícola, el pastoreo y las mismas ciudades.

4.2.3 Patógenos

En el tema de patógenos, las estadísticas del Ministerio de Salud indican que existe un aumento de las patologías que pueden ser transmitidas por el agua, que en el 2012 afectaron a 315.948 personas. La de mayor incidencia es la enfermedad diarreica aguda, con 299.593 casos reportados ese año. Cabe señalar que estos casos ocupan el segundo lugar en el registro de enfermedades infecciosas de declaración obligatoria (Ministerio de Salud, 2013).

Según otros datos también del Ministerio de Salud en el año 2014. La mortalidad causada por diarrea ha tenido un comportamiento diferente, su variación relativa mostró una disminución de un 33%, pasando de 2,35 en el año 2005 a 1,76 por cien mil habitantes en el año 2012. La mortalidad por diarreas es muy baja en nuestro país. El valor más bajo ocurrió en el 2008, con 1,19 defunciones por cien mil habitantes (Ministerio de Salud Pública, 2014)

En el caso de otras enfermedades asociadas con la calidad de agua, la falta de infraestructura de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento o el deterioro de los mismos ha propiciado en ciertos sectores del país la presencia de enfermedades transmisibles. Las enfermedades que han sido relacionadas con el agua y

detectadas por el sistema de vigilancia epidemiológica en el país han sido las siguientes: Disentería amebina, Disentería bacilar, enfermedades diarreicas (como salmonelosis y shigelosis), Hepatitis A, Fiebre paratifoidea y Tifoidea y Dengue. En Costa Rica la diarrea ha ocupado la segunda causa dentro del grupo de enfermedades de declaración obligatoria en el periodo de 1994 hasta el 2001 (Mora, 2004).

4.2.4 Metales

Con base en los documentos analizados, se logró determinar que existe contaminación en cuerpos de agua a causa de la presencia de distintos metales. En el informe de Calidad de Agua Superficial de San José de 2014, que incluye los ríos del Cantón de San José concluye que todos los ríos con excepción de un sitio en el río Torres están dentro de los límites permisibles de pH según el Decreto 33903- MINAE. En todos los cuerpos de agua evaluados, el fósforo total y los orto fosfatos generalmente tuvieron concentraciones más altas en la época seca (25 a 40% mayores) que en la lluviosa. Los valores presentes en las quebradas más importantes fluctuaron entre 1,1 mg/L en lluvias y 2,8 mg/L en época seca, debido a que los residuos de plantas, los fertilizantes comerciales, los abonos de animales, los desechos industriales, domésticos y agrícolas son vías de introducción adicionales

del fósforo a los ecosistemas. El decreto de clasificación de cuerpos de agua no establece el límite máximo permisible de fósforo total en ríos con uso para riego agrícola, pero en normas internacionales como la mexicana (NOM-001-ECOL-1996) se fija este valor como 20 mg/L. Para Metcalf y Eddy (1991) una concentración de 4 mg/L de fósforo es considerada una concentración débil, 8 mg/L una concentración media y 15 mg/L concentración fuerte. Por lo tanto, las concentraciones de fósforo a lo largo de todos los sistemas presentaron una concentración débil. (Municipalidad de San José, Universidad Nacional, Ministerio de Salud, 2014). Del estudio mencionado puede concluirse que existen diferentes niveles de concentración de metales, los cuales determinan el grado de contaminación del agua, algunos tales como el fósforo, en este caso, de los sistemas de agua analizados, todos presentaron una concentración débil, lo que se significa que existe una baja contaminación por este metal presente en los sistemas estudiados.

El nitrato es la forma principal del nitrógeno que se presenta en las aguas naturales. Para los cuerpos de agua evaluados se registró aumento en la concentración de nitratos durante la época de lluvia. La Organización Mundial de la Salud establece los parámetros permisibles y los ríos evaluados se encuentran dentro de lo establecido por la OMS

(Municipalidad de San José, Universidad Nacional, Ministerio de Salud, 2014). Para la Organización Mundial de la Salud, un valor de referencia es la concentración de un componente que no supera el riesgo tolerable para la salud del consumidor durante el consumo vitalicio de agua. Los valores de referencia de algunos contaminantes químicos (por ejemplo, el plomo y el nitrato) se fijan de modo que protejan a los grupos de población vulnerables. El valor de referencia (50 mg/l) correspondiente al nitrato se basa en la metahemoglobinemia, o síndrome del recién nacido cianótico, en lactantes alimentados con biberón. Este efecto sobre la salud se complica por la presencia de contaminación microbiana, que puede aumentar significativamente el riesgo para este grupo de población (Organización Mundial de la Salud., 2016)

Para el caso del amonio, en el mismo estudio de cita, se encontró que la mayoría de los sitios de muestreo tuvieron concentraciones entre 0,3 y 4 mg/L. En todos los cuerpos de agua, las concentraciones de amonio en la época seca fueron superiores a las encontradas durante las lluvias. A lo largo de los sistemas evaluados, las concentraciones de amonio se encontraron por encima de lo establecido por Dieter y Möller (1991), ellos consideran que la concentración de amonio en aguas naturales generalmente se encuentra por debajo de 0,2 mg/L.

De acuerdo con el decreto 33903-MINAE-S y la información sobre la calidad ambiental del área de estudio, la calidad del agua de la clase 1 se considera limpia o de condición de baja contaminación (LP), la calidad del agua de clase 2 y 3 corresponde a contaminación moderada (MP), la calidad del agua de las clases 4 y 5 se considera como contaminación alta (HP). En el estudio realizado en San José, ninguno de los sitios de monitoreo de los cuerpos de agua fue clasificados como agua limpia; 1 sitio se clasificó como contaminación moderada, y 17 sitios como contaminación alta. La mayoría de estos sitios están ubicados en las quebradas y afluentes de las zonas urbanas de alta densidad. (Municipalidad de San José, Universidad Nacional, Ministerio de Salud, 2014).

Se han encontrado además casos de contaminación química natural, en el 2007 contaminación con calcio en Colorado de Abangares, tomándose como medida la creación del nuevo acueducto Colorado, Raizal e Higuerrilla de Abangares. En el 2010 contaminaciones por Arsénico en El Jobo (La Cruz) de Cañas, Bagaces, Hotel Cañas, Bebedero y Agua Caliente. En el 2011 en las comunidades abastecidas por ASADA en San Carlos, Cristo Rey de Los Chiles y Santa Cecilia. En el 2012 en Jabilla de Bebedero. En el 2013 en Bagatsi de Bagaces y en el 2014 La Pochota, Macacono, Esparza y

Santiago de Palmares" (Mora., Mata, & Portuguez, 2016). Esta contaminación se ha resuelto mediante la unión de sistemas y el uso de equipo de remoción de Arsénico.

Finalmente, el Laboratorio Nacional de Aguas ha descubierto al menos 22 acueductos con concentraciones de aluminio (superiores a 200 µg/L), desde que se modificó el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto 32327-S. Estos acueductos se ubican principalmente en la zona de los Santos (Mora., Mata, & Portuguez, 2016).

4.2.5 Contaminantes orgánicos (ej., PCBs, DDT, pesticidas, furanos, dioxinas, fenoles y desechos radioactivos)

Según un Informe reciente sobre la calidad de agua elaborado por Darner Mora del Laboratorio Nacional de Aguas, las principales fuentes de contaminación de los sistemas de abastecimiento en son materia fecal, hidrocarburos, plaguicidas y nitratos en algunos acueductos de la parte central del país" (Mora, 2004). Las principales fuentes de contaminación aquí mencionadas, se encuentran en el cuadro 6 del documento citado, se

resumen los episodios 12 hallazgos de contaminación química del 2001 a 2014²³.

Mediante el Sistema de Gestión de Residuos Peligros (SIGREP) se pudo contabilizar que para el año 2016 se generaron cerca de 28.928.955,57 kg de residuos peligrosos y se registraron 33 gestores, 576 generadores y 25 empresas transportistas de residuos peligrosos.

4.2.6 Características físicas y químicas:

A través del análisis de las características físicas y químicas del agua es posible conocer con mayor detalle la calidad del agua. Las características físicas son fácilmente perceptibles a través de los sentidos y pueden indicarnos cuando el agua es apta o no para consumo humano. Elementos como la turbiedad, los sólidos totales, olor y color son algunos de los factores más importantes para conocer la calidad del agua. De acuerdo con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, los parámetros físico-químicos se dividen en estéticos u organolépticos, sustancias no deseadas y sustancias orgánicas e inorgánicas de significado para la salud. (Reglamento de Calidad de Agua Potable Decreto 38924-S, 2015).

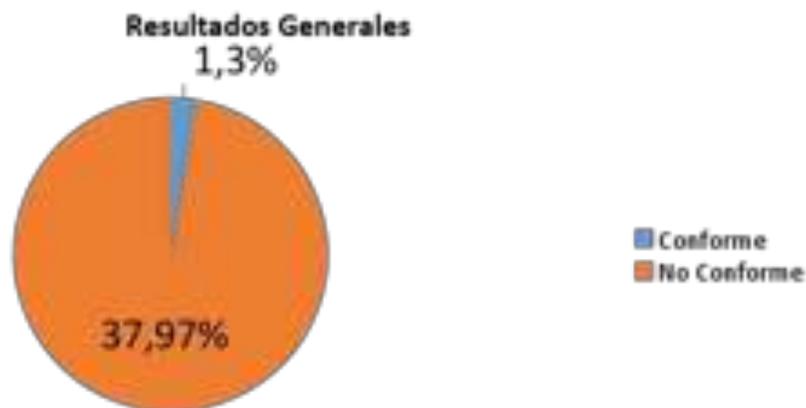
²³ Ver cuadro 6 del documento "Agua para consumo humano y saneamiento y su relación con los indicadores básicos de salud en Costa Rica: Objetivos de Desarrollo del Milenio y la Agenda para el 2030"

La turbiedad de las aguas superficiales se debe principalmente al material producto de la erosión de las rocas y esto se aprecia por la presencia de partículas de arcilla, limo, arena, así como su mezcla; que al acumularse generan una serie de sistemas coloidales que no permiten el paso de la luz, reduciendo de esta manera la transparencia del agua (Vargas, 2004 citado en (Municipalidad de San José, Universidad Nacional, Laboratorio Nacional de Aguas, 2013); sin embargo la turbiedad no sólo se desarrolla por la acción de agentes externos al cauce ya que la misma se puede generar por la resuspensión del lecho del río debido a la acción de las lluvias, que aumentan la velocidad y el caudal del río. (Municipalidad de San José, Universidad Nacional, Laboratorio Nacional de Aguas, 2013).

En el período de 1989 a 2002, a través de los Programas de Control y

Vigilancia de los operadores de agua potable (AyA, ESPH y ASADAS) se realizaron análisis fisicoquímicos de las fuentes de agua en 2.069 acueductos todo el país. La información suministrada por los operadores fue analizada por el Laboratorio Nacional de Aguas. Los resultados de dicho análisis indican que el país cuenta con fuentes de agua de muy buena calidad fisicoquímica. Los principales problemas se presentan en las fuentes superficiales sin tratamiento, las cuales tienen turbiedades oscilantes, sobre todo en la época de invierno, debido a la deforestación aguas arriba. Los ejemplos más preocupantes son el río Virilla en la zona de Guadalupe, el río Bananito en Limón y varias quebradas que abastecen a 147 acueductos rurales y 47 acueductos municipales" (Mora & Portuguez, Evolución de la Cobertura y Calidad de Agua para consumo humano en Costa Rica 1989 - 2002, 2003).

Gráfico N° 9 Relación general de resultados conformes con resultados no conformes para todos los sistemas verificados en las 2015 regiones Huetar Atlántica y Pacífico Central



Fuente: ARESEP, 2015.

El siguiente cuadro representa los riesgos por contaminación química del 2001-2016.

Cuadro N° 30 Riesgos por contaminación química del 2001-2016

Año	Tipo de contaminación	Lugar
2001-2007	Hidrocarburos	Planta Guadalupe, Perez Zeledón, planta los Sitios, Embalse El Ilano- Orósi, Belén, Moín, San Ignacio de Acosta.
2003	Plaguicidas: Bromacil, diurón y otros	El Cairo, Luisiana, Milano de Siquirres.
2008	Plaguicidas: Terbufos	Veracruz de San Carlos
2005, 2009	Nitratos	Banderrillos y Tierra Blanca de Cartago
2010-2014	Arsénico, Manganeso y hierro	Guanacaste, zona norte, caribe sur
2015-2016	Salinización de pozos	Zona costera Guanacaste

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2016.

4.3 Estado de la Calidad del agua marina

La contaminación marina es definida como “la introducción por el hombre, directa o indirectamente, de sustancias o de energía en el medio marino incluidos los estuarios, que produzca o pueda producir efectos nocivos tales como daños a los recursos vivos y a la vida marina, peligros para la salud humana, obstaculización de las actividades marítimas, incluidos la pesca y otros usos legítimos del mar, deterioro de la calidad del agua del mar para su utilización y menoscabo de los lugares de esparcimiento” (CNUDM 1982). Actualmente, se considera que no existe ningún lugar en todo el planeta que no haya sido alcanzado y afectado por la contaminación, y esto por supuesto incluye a los océanos. Cuando se trata de la contaminación humana, parece no importar cuán lejos se esté de un asentamiento humano o qué tan profundo se esté, los impactos son visibles (Barnes, Walters & Gonçalves, 2010).

Costa Rica tiene más de 589.000 km² de territorio marino, y 1.254 km de costa Pacífica y 212 km de costa Caribe (INBio, 2004; Cortés & Wehrtmann, 2009; MINAE, 2015). Además cuenta con una gran diversidad de hábitats marinos que van desde las zonas costeras hasta las profundidades de la fosa

mesoamericana a cerca 4.000 m (Cortés & Wehrtmann 2009). Sin embargo, todos estos hábitats están bajo los impactos de fenómenos naturales y actividades antropogénicas. El Golfo de Nicoya que es uno de los sitios más productivos y donde se realizan la mayoría de las extracciones pesqueras también es una de las áreas más contaminadas a lo largo de la costa del Pacífico (Cortés & Wehrtmann, 2009). Los ambientes marinos enfrentan diferentes tipos de contaminación en los que sobresalen los desechos sólidos como los plásticos, los agroquímicos y las aguas residuales.

4.3.1 Desechos sólidos, plásticos

Los desechos sólidos son posiblemente los elementos de contaminación más conspicuos, ya que se pueden observar frecuentemente y con facilidad en las playas, flotando en el agua o en el fondo del mar. En el Golfo de Nicoya los desechos sólidos son uno de los principales contaminantes (García et al., 2006). Mucha de esta contaminación se origina en las zonas costeras, pero los ríos también acarrear elementos contaminantes de otras fuentes en la cuenca (Ching & Moreno, 2001). Dentro de todos estos elementos, posiblemente los plásticos son los que representan el mayor problema, ya que no se

degradan completamente, pueden viajar miles de kilómetros y causan problemas en la alimentación de muchos organismos marinos y pueden interferir con procesos fisiológicos (Taylor, Gwinnett, Robinson & Woodall 2016). El problema de la basura y de los plásticos es ampliamente conocido por los costarricenses, y puede ser fácilmente apreciado en muchas playas nacionales (Blanco, 2015), sin embargo, un tema del que no se habla tanto es la presencia de los microplásticos que pueden ser aún más dañinos y también están presentes (Soto, 2015). A partir del año 2017, el país promueve la Estrategia Nacional para sustitución de plástico de un solo uso por alternativas renovables y compostables.

4.3.2 Materia orgánica, contaminación fecal, y patógenos

Otra fuente de contaminación marina es la intrusión de aguas residuales, que pueden acarrear materia orgánica, contaminación fecal, y patógenos. Uno de los ambientes marino-costeros más impactados por este tipo de contaminación son los estuarios. El AyA encontró que solamente 24% de los esteros en ambas costas son aptos para natación, protección de comunidades acuáticas y para la

irrigación de hortalizas o árboles frutales de cultivos que se suelen comer crudos (Mora, 2011). Por otro lado 56% no son aptos para la mayoría de los usos del agua, y se notó que los esteros y desembocaduras en la costa del Caribe hay una mayor contaminación fecal (Mora, 2011). Por otro lado, el estero más limpio del país fue estero Iguanita en Guanacaste con niveles menores a los 20CF/100 mL (Mora, 2011). El AyA también ha analizado la calidad del agua de las playas en ambas costas, de las cuales 50% tienen una excelente calidad y son aptas para la natación, 41% son de buena calidad, 5% son de calidad regular, y también hay un 1% de mala, 1% muy mala y 2% pésima calidad (Mora, Chávez & Portuguez, 2012). Las playas que fueron de mala calidad están muy cerca de focos de contaminación en esteros que llevan aguas residuales a las playas, tal es el caso de playa Portete y el Balneario Municipal de Limón en el Caribe, y playa Azul y Tárcoles en el Pacífico (Mora, Chávez & Portuguez 2012). Se han realizado algunos monitoreos temporales en aguas de Bahía Culebra en Guanacaste, Golfo de Nicoya y Bahía de Golfito en Puntarenas, y Bahía Moín en Limón, donde frecuentemente se midieron condiciones de contaminación fecal moderada o alta (Acuña et al. 1998, García et al., 2006).

4.3.3 Metales pesados

Los metales pesados son un grupo de elementos químicos con una alta densidad, y son generalmente tóxicos para el ser humano y otros organismos. Algunos de los elementos más comunes en el agua son el mercurio, níquel, cobre, plomo y cromo, y muchos de estos terminan en el agua producto de actividades mineras e industriales, emisiones de automóviles, pinturas, baterías e incluso basura doméstica (Ching & Moreno, 2001). Los sedimentos marinos pueden acumular una cantidad importante de metales pesados. El Centro de Investigaciones en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR) de la Universidad de Costa Rica analizó los metales pesados en sedimentos de Bahía Culebra, Golfo de Nicoya, Bahía de Golfito y Bahía Moín, y encontró que Bahía de Golfito presenta la mayor contaminación por metales pesados, incluyendo hierro, cobre, zinc y plomo (García-Céspedes et al., 2004). Los metales pesados también se pueden acumular en los tejidos de los organismos marinos, como se ha encontrado en nuestras costas en pepinos marinos (Rojas et al., 1998) y elasmobranquios (Sandoval-Herrera, Vargas-Soto, Espinoza, Clarke, Fisk & Wehtmann, 2016).

4.3.4 Contaminantes orgánicos

Los contaminantes orgánicos tienen

efectos muy perjudiciales sobre los organismos, ya que pueden interferir fácilmente con las funciones fisiológicas vitales y reproductivas. Dentro de este grupo se encuentran los policlorobifenilos (conocidos como PCB), dicloro difenil tricloroetano (DDT), pesticidas, furanos, dioxinas, y fenoles. El Golfo de Nicoya es uno de los sitios más productivos, pero a la vez más contaminados, y los agroquímicos son una de las principales causas de esta contaminación (García et al. 2006, Cortés & Wehtmann, 2009). Además de esto, Costa Rica es el país con el consumo per cápita de agroquímicos más alto del mundo (Araya, 2015). En el Golfo de Nicoya también se han encontrado PCB en los sedimentos marinos (Spongberg, 2004a, b), al igual que en Golfo Dulce (Spongberg & Davus 1998, Spongberg, 2004c).

4.3.5 Derrames de petróleo

La contaminación por petróleo se ha detectado principalmente cerca de los puertos, donde puede haber fugas y derrames de combustibles y aceites derivados de hidrocarburos, como en Limón (Mata et al. 1987, Ching & Moreno, 2001; Acuña-González et al., 2004) y en el Golfo de Nicoya (Acuña-González et al., 2004). Los niveles generalmente se mantienen bajos, pero se pueden presentar eventos esporádicos de altos niveles de hidrocarburos en el agua (Ching & Moreno, 2001). El

CIMAR designó en el Caribe algunas áreas con sensibilidad ambiental a contaminación por hidrocarburos debido a la presencia de manglares y fondos arenosos con baja energía, como por ejemplo las playas entre Tortuguero y Moín, la zona entre Moín y Ciénaga, y algunas playas entre Cahuita y Puerto Vargas, Puerto Viejo, Punta Cocles y cerca del río Sixaola (Ching & Moreno, 2001).

4.3.6 Mareas rojas

Las mareas rojas son proliferaciones de organismos unicelulares en el plancton, como cianobacterias, dinoflagelados o diatomeas, que pueden tener un efecto nocivo sobre los seres humanos o los ecosistemas marinos. En el Golfo de Nicoya estas proliferaciones generalmente están asociadas a un alto ingreso de nutrientes, que se dan con mayor frecuencia durante la época lluviosa por el acarreo en la escorrentía superficial (Ching & Moreno, 2001). No es únicamente una sola especie la que produce las mareas rojas, y cada evento de marea roja puede estar conformado por un conjunto de algas, siendo una predominante. Estos eventos pueden suceder en muchas partes del país, pero son relativamente frecuentes en zonas como el Golfo de Nicoya (Vargas-Montero & Freer, 2004) y Bahía Culebra (Morales-Ramírez, Víquez, Rodríguez & Vargas, 2001).

4.3.7 Contaminación en aguas profundas

Los ecosistemas de aguas profundas son probablemente los hábitats marinos menos estudiados, debido a las condiciones extremas que los caracterizan y a las limitaciones tecnológicas para estudiarlos (Ramírez-Llodra et al., 2011). Sin embargo, esto no ha evitado que las actividades humanas tengan un impacto sobre estos ecosistemas, lo que se ha evidenciado con la incorporación de macro-plásticos y micro-plásticos en los fondos de aguas profundas e incluso la ingestión de microfibras por organismos que allí habitan (Taylor, Gwinnett, Robinson & Woodall, 2016). Exploraciones recientes en los mares costarricenses, han llegado a los fondos profundos en las afueras de la costa continental del Pacífico y en los alrededores de la Isla del Coco utilizando los submarinos Alvin y DeepSee. A partir de esas exploraciones se evidenció la presencia de contaminación por artículos humanos de uso diario a profundidades de más de 1.000 m, y llama la atención la presencia de muchos aparejos de pesca en los que siguen quedando atrapados algunos organismos (Beatriz Naranjo-Elizondo, comunicación personal).

4.3.8 Contaminación acústica marina

El incremento de las flotas pesqueras, el comercio marítimo y las actividades extractivas en el mar provocan ruidos que resultan en contaminación acústica (Salas 2014). Es importante entender que este tipo de contaminación puede afectar negativamente la comunicación entre animales de una misma especie, enmascarar los sonidos que conforman el ambiente acústico o que sirven para ecolocalización, e incluso puede provocar daño fisiológico en animales y provocar varamientos masivos (Salas 2014). En Costa Rica no se ha dado un seguimiento de la contaminación acústica marina ni de los efectos que pudiera tener sobre la fauna marina.

Conclusiones

- Todos los ambientes marinos de Costa Rica están vulnerables de algún tipo de contaminación.
- El Golfo de Nicoya es uno de los sitios más importante por su productividad pesquera, sin embargo, también es uno de los más contaminados.
- Los desechos sólidos y los agroquímicos se encuentran entre los principales contaminantes del agua marina en Costa Rica.
- El mal manejo de las aguas residuales y un mal manejo de

las cuencas produce que se acareen elementos de contaminación hasta las zonas costeras, a los estuarios y a las playas.

- Una parte importante de los estuarios contienen agua no apta para la utilización.
- La mayoría de las playas presenta condiciones aptas para la natación, y las pocas que presentan niveles de contaminación severos están ubicadas cerca de estuarios y desembocaduras contaminados.
- La Bahía de Golfito presenta niveles de contaminación importante de metales pesados.
- Los contaminantes orgánicos podrían tener un efecto muy negativo sobre los ecosistemas marinos, y a pesar de eso Costa Rica sigue siendo uno de los mayores consumidores per cápita de agroquímicos.
- Zonas portuarias y de alto tránsito marino, como el Golfo de Nicoya y la Bahía de Moín, presentan niveles importantes de contaminación por hidrocarburos.
- Se han encontrado desechos sólidos provenientes de aparejos de pesca y objetos de uso diario en las aguas profundas de Costa Rica, hasta más de 1.000 m.
- Los temas de contaminación del mar profundo y la contaminación acústica son

temas que el país no ha estudiado atentamente hasta el momento.

4.4 Estado de la Calidad del suelo

En el 2013, aproximadamente el 62% del territorio de Costa Rica estaba cubierto de su vegetación natural en diversos estados de conservación, de esta área, el 94% eran bosques siempre verdes, bosques y matorrales secos, 5% bosques de palma o yolillales, 1% manglares, y algo más del 0,3% páramos. Del 38% del área nacional con cobertura antropogénica, la mayoría, cerca del 91%, correspondía a sistemas agropecuarios, algo menos del 7% a sistemas forestales comerciales, y el resto, aproximadamente 2,5%, a sistemas urbanos, rurales densos e infraestructura. Tres de cada diez hectáreas agropecuarias estaban dedicadas a cultivos y 7 de cada 10 a pastos para varios tipos de ganadería. De acuerdo al Censo Agropecuario del 2014, aproximadamente 20% del área cultivada correspondía a cultivos transitorios (arroz, frijol, maíz, etc.), 79% a cultivos permanentes (café, palma aceitera, caña de azúcar, etc.), y 1% a otros. El tipo de cobertura que se expandió más rápidamente fueron áreas urbanas e infraestructura, 2,9% al año, pero aun así no llegó a más de 1% del país a inicios de la década del 2010.

Cuarenta por ciento de la expansión urbana entre 1987 y 2013 ocupó áreas que eran bosque natural, sin embargo, esta área representa menos del 3% de la deforestación bruta en el mismo periodo. (Sierra, 2016).

Hacia fines de la década de 1980 las tasas de deforestación de Costa Rica eran bajas, manteniéndose en alrededor de 0,2% al año entre 1987 y 1997. El país pasó a ganador de bosques nativos entre 1997 y 2008. Entre 2008 y 2013 el área forestal natural creció 0,5% al año. El área forestal nativa pasó paulatinamente de perder aproximadamente 100 Km²/año a fines de los 1980s a ganar alrededor de 300 Km²/año a inicios de la década del 2010. De los tres tipos de bosque, los yolillales perdieron anualmente en promedio 0,34 % de su área. Los bosques se incrementaron su superficie anualmente alrededor del 0,02% y los manglares 0,04%. (Sierra, 2016).

4.4.1 Contaminación de suelos

El Reglamento sobre Valores Guía en Suelos para Descontaminación de Sitios Afectados por Emergencias Ambientales y Derrames (Decreto Ejecutivo 37757-S de julio del 2013) estableció una serie de reglas especiales de responsabilidad por daño ambiental, así como procedimientos aplicables específicamente a sitios

contaminados, incluyendo aquellos que califican como pasivos ambientales. Para esto las autoridades pueden, mediante inspección y toma de muestras, según sus competencias, pueden recibir denuncias ciudadanas. Las Autoridades competentes corresponden al Ministerio de Salud y Dirección de Gestión de la Calidad Ambiental del Ministerio de Ambiente y Energía.

La contaminación que se presenta en los suelos de Costa Rica proviene de variadas actividades, como industria, comercios y actividades agropecuarias. Los suelos se ven afectados por la gran cantidad de químicos que la agroindustria utiliza en sus cultivos. Desde el año 2002 se ha incrementado la importación y el consumo de plaguicidas, superando los 10 mill de kgr de ingrediente activo por año, para el 2008 ya eran 13 millones de kilogramos. (IRET, 2011). Se han presentado denuncias por contaminación de mantos acuíferos en la zona caribe y norte asociados principalmente a cultivos de piña. Desde el año 2007 el Acueducto de Milano en Siquirres presenta una considerable presencia de agroquímicos en sus aguas. Hasta la fecha no se ha resuelto el tema de descontaminación del acueducto ni del suelo, abasteciendo a la población se agua por casi 10 años, en camiones cisterna mientras se construye uno nuevo. El caso ha sido presentado a la Corte

Interamericana de Derechos Humanos.

4.4.2 Erosión y desertificación.

En el año 2005 la Comisión Asesora sobre Degradación de Tierras (CADETI) determinó que un 25% de los suelos de Costa Rica son sobreutilizados, situación que genera degradación de las tierras y baja productividad agrícola. A la sobreexplotación se unen la deforestación y prácticas inapropiadas de manejo y conservación de suelos. Estos fenómenos generan erosión de los suelos, el aumento del riesgo de amenazas naturales y el deterioro de recursos como el agua y la biodiversidad. Los humedales se ven directamente afectados porque reciben los sedimentos que arrastran los ríos y que, a su vez, son consecuencia de la erosión de los suelos

Para el año 2012 agricultores de las pendientes del volcán Irazú, están usando cercos eléctricos, pastos mejorados y "agricultura en curvas de nivel"- plantando sembradíos a lo largo de la pendiente – como parte de sus esfuerzos para luchar contra la erosión del suelo y conservar el agua en una región que ha sido declarada por los expertos como "altamente vulnerable" al cambio climático. "La erosión del suelo limita la habilidad de los agricultores para reducir la pérdida del mismo, y al mismo

tiempo, puede aumentar su demanda de fertilizantes y pesticidas para compensar la fertilidad perdida,"

En Costa Rica la desertificación se presenta en las tierras afectadas por la marcada época seca en el Pacífico Norte, especialmente en Guanacaste. Las fuertes lluvias que caracterizan a sectores como los del Valle Central y el Caribe afectan los terrenos que han sido deforestados y que carecen de la protección natural que ofrecen los árboles ante la ocurrencia de las tormentas. En todo el mundo, una de cada cinco personas está siendo afectada por el fenómeno de la desertificación y degradación de las tierras. De acuerdo con lo establecido por la Convención de las Naciones Unidas para Combatir la Desertificación, las mujeres pobres sufren muchas de las consecuencias negativas de este fenómeno, pero también dan un valioso aporte en la búsqueda de soluciones.

Algunos esfuerzos locales se realizan contra la degradación del suelo, es el caso de las acciones realizadas por CADETI y la UNED en el 2013, en la cuenca Jesús María, considerada como una de las más degradadas por las actividades antrópicas en el país. Se espera que la cuenca sea un reservorio de oportunidades para las prácticas de los estudiantes, en cuanto a la recuperación de su estado inicial. El trabajo que se

realiza de forma conjunta con las demás instituciones del sector agropecuario y académico está enmarcado dentro de las líneas de investigación de las universidades donde toma cada vez más importancia el tema de adaptación al cambio climático; para ello existen grupos académicos que vienen desarrollando el tema y buscando alternativas para el uso de aguas y suelos.

Para el año 2015 Costa Rica tiene el 10% de su territorio con problemas de erosión. (CADETI, 2015). Alrededor de unos 5.110 kilómetros cuadrados están afectados por la erosión, deslaves, pérdida de fertilidad y otros fenómenos asociados al suelo a través de un alto impacto referente a la producción agropecuaria. La FAO declaró al 2015 como el Año Internacional de los Suelos. Expertos destacaron que para bajar el impacto de la erosión de los suelos en las labores agropecuarias y en el crecimiento de otras acciones económicas se debe implementar una política pública de Ordenamiento Territorial y efectuar de manera todavía más eficaz las disposiciones contenidas en la Ley de Suelos (N. 7779). (VIII Congreso Nacional de Suelos, 2015).

Un estudio recientemente realizado por el sistema de monitoreo de cambio de uso de la tierra en paisajes productivos vinculado a tenencia determina que entre los

años 2000 y 2015 se da una disminución de la cobertura forestal en paisajes productivos de piña de 5.565,98 ha. Entre las regiones la pérdida se distribuye de la siguiente manera: 3.192,70 Ha. región Huetar Norte; 545,26 ha. región Huetar Caribe, 1.789,71 ha región Brunca; 38,31 región Pacífico Central, (MOCUPP, 2017). El MOCUPP vinculado a tenencia es una herramienta para manejar sosteniblemente los territorios en los que se cultivan materias primas agrícolas de exportación en todo el país. Fortalece la capacidad del sector público de ordenar el territorio al identificar cada año, de manera

digital y a bajo costo, la cobertura total de materias primas que pueden ser teledetectadas usando sensores remotos. Identifica también, los focos de deforestación o regeneración de bosque cada año lo cual permite generar incentivos para que aumente la cobertura forestal en predios privados. Con esta herramienta se puede diferenciar a las unidades productivas libres de deforestación, contribuyendo así con la competitividad del país al facilitar su posicionamiento como agroexportador en desarrollo sostenible, cumpliendo con ello varias metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Recuadro 6: El cultivo de la Piña en Costa Rica

Los orígenes del cultivo de piña (*Ananas comosus*, Bromeliaceae) en Costa Rica se remontan al período precolombino, durante el cual era uno de los principales frutos cultivados entre los indios Huetares de Tucurrique. Durante la colonia se sembró en pequeñas parcelas en varias zonas del país y a finales del siglo XIX se inició el cultivo comercial en zonas como el Cacao y la Garita en Alajuela, Sarapiquí y San Carlos, entre otros (Banco Central de Costa Rica, 1965, Bonatti et al., 2005). En ese entonces, la producción piñera en Costa Rica se daba de manera natural, sin tecnologías que aceleraran la maduración de la fruta (Acuña, 2006).

Sin embargo, a partir de los años 80 el gobierno costarricense implementó una política de incentivo a la exportación de piña, lo que a su vez en conjunto con la crisis de otras frutas como los cítricos y el banano, generó que muchos empresarios optaran por dedicarse a producir dicha fruta, generando un carácter expansivo de la actividad piñera (Acuña, 2006).

A finales de los años 80 la empresa Pindeco S.A., subsidiaria de Del Monte, inició la producción masiva de piña en la zona sur del país. Esto se llevó a cabo mediante la utilización de un paquete tecnológico para producir la mayor cantidad de piña posible por hectárea, generando un sistema productivo dependiente de insumos químicos como herbicidas, fungicidas, nematicidas, insecticidas, fertilizantes y compuestos químicos que inducen la floración de la planta y regulan la cosecha. Sugieren estudios que esta expansión piñera desencadenó el establecimiento de complejos industriales para la recolección y empaquetamiento del producto, cambiando drásticamente el paisaje nacional (Maglianesi, 2013).

Para el año 2007 Costa Rica se había convertido en el primer productor de piña del mundo, operando a partir de aproximadamente 144 compañías (nacionales y transnacionales) y exportando un total de 485 millones de dólares anualmente. En la zona norte se dio un aumento de los pequeños y medianos productores involucrados en la actividad piñera, no obstante, las compañías transnacionales seguían siendo las mayores captadoras de fruta (Maglianesi, 2013). En el 2011 la Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria estimó que el área de piña sembrada para ese año abarcaba aproximadamente 45 000 hectáreas (Baltodano, 2007, Salazar, 2008, SEPSA, 2012).

En cuanto al consumo, en el 2013 un estudio reveló que el 75% de la piña originaria de Costa Rica era exportada, mientras que el resto era destinada a consumo interno. En ese mismo año se registró que el 49 % de la piña que se consumía en Europa era proveniente de Costa Rica, mientras que Estados Unidos consumía en un 46%. Dentro del mercado europeo, Holanda se establecía como el principal importador, con 61,0%, seguido de Bélgica con 43,3%, Alemania con 34,7%, Italia, 32,1%, Reino Unido 25,9% y España 3,7% (Maglianesi, 2013).

Estudios indican que esta alta demanda en el extranjero, sumada a la ausencia de planificación previa, ha generado un alto impacto por parte de las piñeras, produciendo una serie de consecuencias negativas en el área ambiental, social y en la salud humana del país. Análisis realizados por el Instituto Regional de Estudios en Toxicología (IRET) confirman el mal uso de los recursos naturales por parte de las piñeras, destacando la contaminación de mantos acuíferos por el uso intensivo de agrotóxicos, afectando los acueductos rurales de muchas comunidades aledañas y perjudicando a su vez la salud humana. Aguirre y Arboleda, 2008). El IRET estableció que el herbicida Bromacil, es el compuesto contaminante más frecuente en las nacientes de agua afectadas por la expansión piñera (Ruepert et al. 2005).

Otros estudios han abordado el manejo incorrecto de los desechos de piña, genera focos de propagación de la mosca del establo (*Stomoxys calcitrans*); esto perjudica la supervivencia del ganado de la zona (Cuadrado y Castro, 2009; Salazar, 2008) y a su vez produce una desvalorización de las tierras y viviendas vecinas, provocando que numerosos ganaderos se vieran obligados a vender sus fincas, incluso a las compañías causantes de sus pérdidas (Cuadrado y Castro, 2009).

Por otro lado, respecto a los ecosistemas naturales, estudios indican que uno de los impactos negativos de la expansión piñera se ha evidenciado sobre la vida silvestre en la reducción de las poblaciones de ciertos animales como monos, aves y murciélagos, debido a varios factores como la presencia de plaguicidas (Acuña, 2006; Sánchez, 2007, Sigel, 2007). Asimismo, se ha producido un cambio de uso del suelo de miles de hectáreas que antes estaban destinadas a la protección del bosque y de mantos acuíferos, y actualmente se encuentran sembradas con piña; además, ciertas compañías piñeras han invadido áreas de protección de ríos y manantiales, generando problemas de erosión y contaminación de cuerpos de agua (Acuña, 2006).

Estudios han hecho señalamientos sobre incentivos financieros e indican que la alta disponibilidad de créditos para sembrar piña ha generado que muchas tierras abandonadas que se encontraban en proceso de regeneración secundaria, fueran deforestadas para desarrollar piñeras. Esto se ha dado aún en el interior de áreas de conservación como Refugio de Vida Silvestre Maquenque y el corredor biológico San Juan - La Selva, estableciendo la deforestación como otro perjuicio por parte de la expansión piñera, reduciendo los ecosistemas naturales (Altieri y Nicholls, 1999; Chassot et al. 2005).

A pesar de esta problemática, existen alternativas que podrían reducir los impactos del cultivo de piña sobre los ecosistemas naturales y agro-urbanos. Se ha planteado la reorganización territorial, a partir de los pocos requerimientos nutricionales que necesita este cultivo, evaluando si actualmente se le está asignando suelos muy productivos, los cuales se aprovecharían mejor para otro tipo de producción (Valverde et al., 2006). Con respecto a los desechos orgánicos, han empezado a ser utilizados por productores en la alimentación del ganado, así como la técnica de ensilaje combinándolo con desechos animales como gallinaza, los cuales se encuentran en gran cantidad por ser residuos de otras actividades productivas en diversas zonas agropecuarias del país (Gutiérrez, 2003).

Asimismo, se propone incentivar el desarrollo de cultivo de piña orgánica en el país, el cual reduce los impactos ambientales al utilizar agroquímicos aprobados y avalados por organismos ambientales, ya que presentan un menor grado de toxicidad que los que se usan en la producción convencional y se aplican de forma periódica para controlar plagas, garantizar la fertilidad del suelo y el equilibrio ecológico (Rodríguez, 2006; Maglianesi, 2013).

Fuente Elaboración propia, 2017

4.4.3 Recursos minerales no energéticos.

Los recursos minerales no energéticos son aquellos que proporcionan al ser humano los alimentos y los instrumentos necesarios para su existencia. Se dividen en dos tipos: recursos minerales metálicos, como hierro y plomo; y no metálicos como fertilizantes y rocas industriales, como áridos, conglomerados, rocas de construcción, vidrios y productos cerámicos.

Para el año 2010 la importación de productos minerales no energético correspondía a un total de 177 millones de kg. Para el 2011 las importaciones aumentaron en más de un 150%, disminuyendo paulatinamente entre el 2012 y 2014 a un 20% y 10% respectivamente,

para volver a incrementarse en el 2014 a más de un 200%. (INEC, 2015).

En Costa Rica la importación de plaguicidas se ha visto incrementada en las últimas décadas. Según estadísticas de la FAO en 2010, Costa Rica consumió²⁴: 24,56 Kilogramos de ingrediente activo (el compuesto químico que ejerce la acción plaguicida) por hectárea al año (i.a/ha/año), le sigue Colombia con 14,50 y China con 17,81. Mientras, en fertilizantes según datos del Banco Mundial estamos en los primeros lugares de mayor de consumo de fertilizantes del mundo superando 5 veces el promedio mundial, con un promedio de consumo de 705 kg mientras el rango mundial ronda los 141 kg/ha de tierra cultivable, lo cual nos coloca por encima de cientos de

²⁴ Si bien es cierto se consumió una gran parte del producto activo, vía importación, también se exporta una parte. (FUENTE)

países y regiones.

El consumo descendió paulatinamente, para el 2010 era de

23Kg/ha, el 2011 y 2012 se mantiene en 20kg/ha y el 2013 y 2014 en 18 kg/ha, según información de la FAO, MAG y el IRET.



5. Estado de los Recursos Naturales

5.1 Uso de la Tierra

El término “capacidad de uso de la tierra” se utiliza para reflejar la capacidad natural que tienen las tierras para soportar distintas formas de uso. Combina características de los suelos, del relieve, del drenaje y del clima. Estas combinaciones han sido definidas en la metodología oficial existente para Costa Rica, que fue establecida mediante Decreto Ejecutivo 23214-MAG-MIRENEM (MAG/MIRENEM, 1995).

El sistema contempla ocho clases de capacidad de uso, designadas con números romanos, en donde las limitaciones de las tierras aumentan progresivamente de la clase I a la VIII. La intensidad de uso está ligada al grado de laboreo que requiere una tierra para sembrar determinados cultivos, pastos o árboles. Las clases con capacidad agropecuaria alcanzan hasta la IV, sin mayores limitantes. (Bertsch, 2006). Para el año 1992 las áreas con cultivos anuales alcanzaban el 8,65% del territorio (categorías I, II,), los cultivos perennes 11,9 % (III), pastizales 18,8% (V y VI), los bosques 36,4% (V, VII y VIII) y otros usos el 24% (MAG, 1997).

5.1.1 Área de uso de la tierra

En cuanto el estado general de los ecosistemas, la cobertura natural continental de Costa Rica (bosque, humedales, paramo y mangle) se estima en 28.419,32 Km² (55,6%) por lo que la matriz del país aún es considerada mayormente “natural”; sin embargo, su distribución espacial es heterogénea y fragmentada. Los ecosistemas naturales mejor conservados se encuentran generalmente en áreas de fuerte pendiente, abundante lluvia, o se encuentran en zonas anegadas y/o forman parte de Áreas Silvestres Protegidas. (CADETI, 2004). Para el 2013 Costa Rica cuenta con 2.215.543 ha de bosques primarios (43% del territorio nacional), con 10,35% del territorio de cultivos (529.140 ha), con 24.870 ha de aguas interiores (humedales naturales, lagos y embalses correspondiente a un 0,5%, con 1.190.835 ha de pastizales que corresponden a 23,29% y un 1 % de áreas urbana (REDD+ y MINAE, 2015; Sierra 2016).

5.1.2 Área de uso de aguas interiores

Las aguas superficiales del país se han aprovechado para múltiples usos, en la producción de energía hidroeléctrica, en el control de inundaciones, en el tratamiento de agua potable y en la recreación. Es el caso de la Cuenca Arenal-Tempisque, donde funciona el embalse Arenal, se encuentra el proyecto hidroeléctrico más grande del país, río abajo en la provincia de Guanacaste. Se utiliza para el riego, acuicultura, recreación, control de inundaciones y conservación del ecosistema de humedal.

Los embalses que se han construido son principalmente para propósitos hidroeléctricos. Estos proyectos cuentan con embalses artificiales, dotando al país de una capacidad total de almacenamiento de 1.997 millones de m³ en 2011. El mayor de ellos es Lago Arenal (1.991 millones de m³ de capacidad útil), luego proyecto Reventazón (118 millones de m³), Cachí (36 millones de m³), Pirris (30 millones de m³), Angostura (11 millones de m³), Sandillal (5 millones de m³). Los embalses aprovechan el agua exclusivamente para la generación de energía, con excepción del Lago Arenal y Embalse Sandillal, los cuales aprovechan el agua en tres proyectos hidroeléctricos en cascada y luego es utilizada en el Distrito de Riego Arenal Tempisque (DRAT); el embalse

Angostura, cuyo uso principal es la generación eléctrica, pero también se aprovecha para el riego; y el embalse El Llano en río Macho, construido para generación eléctrica y como segundo propósito para abastecimiento para consumo humano. Los embalses de mayor volumen son de regulación anual (Arenal y Cachí), o semanal (Angostura), pero todos los demás son de regulación diaria. Para el 2013, el volumen total extraído 1.554 km³ o el 66,2 por ciento viene de fuentes superficiales, 0,793 km³ o el 33,8 por ciento viene de fuentes subterráneas y 0,003 km³ o el 0,1 por ciento viene de agua desalinizada. El 70% del agua de los ríos se utiliza para generación eléctrica y 22,8% la actividad agrícola, (FAO, 2015).

Existen cerca de 350 humedales que cubren aproximadamente el 7% del territorio nacional, de los cuales 12 se han identificado como Sitios RAMSAR con una extensión total de 569.742 ha. El embalse Arenal y el Maquenque se declararon en el 2000 y 2010 respectivamente y a pesar de la declaratoria para la proyección, se han visto afectados por la presión en los cambios de uso de la tierra.

5.2.1.3 Propiedad de la tierra

El sistema de registro de la propiedad en Costa Rica, está consolidado en la cultura y dinámica económica del país. Datos recientes señalan que en

el país más del 90% de las propiedades responden a una inscripción; esto significa que en general la tenencia de la tierra está en dominio de propietarios registrales; es decir, existe la referencia legal del responsable del uso de la tierra. Por la reciente creación del Registro Inmobiliario, la integración plena de datos registrales y catastrales, así como la oficialización del mapa catastral están aún en proceso. La cobertura del catastro muestra que aún en un mismo distrito se pueden tener tres estados del mapa catastral "oficializado", "en proceso" y "sin información". Los distritos en los que ha sido oficializado son 101 que equivale a un 21% del territorio. Hay 221 distritos en los que el levantamiento está en proceso, en distintas etapas como en la conformación, la exposición pública o el mantenimiento, anteriores a su oficialización, correspondiente al 46%. Y hay 161 distritos, es decir el 33% en los que el levantamiento de información aún no se ha iniciado por lo que no existe información (MOCUPP, 2017).

El INEC presenta otra fórmula para propiedad de la tierra equivalente a propietarios de fincas agropecuarias definidas como toda extensión de terreno, dedicada total o parcialmente a la producción agropecuaria para la venta o el autoconsumo, administrada por un hogar, sociedad, empresa, institución pública u otra, cuyas labores pueden ser dirigidas o ejecutadas

directamente por una persona o con la ayuda de otras. Para estos efectos se refiere a dueños de fincas de personas físicas, sociedades de hecho, sociedades de derecho y otras categorías. También pueden ser dueños de las tierras o alquiladas para el uso agropecuario. En 1984 había un total de 101.938 fincas que ocupaban 3.070.300 hectáreas y para el 2014 en Costa Rica hay 93.017 fincas agropecuarias con una extensión de 2.406.418,4 hectáreas de las cuales el 87,06% equivale a personas jurídicas, 8,53% a sociedades de derecho, el 3,12% a sociedad de hecho y el 1,18% a otro tipo de propietarios (INEC, 2014).

5.1.4 Áreas de trabajo de productores orgánicos.

En Costa Rica se siembran productos orgánicos desde los años 80. En ese decenio, pequeños productores hortícolas apoyados por misiones de cooperación internacional se capacitaron en agricultura orgánica, producción de abonos orgánicos, control de plagas y enfermedades. Estos productores formaron una de las organizaciones más importantes en el ámbito nacional, no sólo por la producción de hortalizas, sino también por su rol en la experimentación y capacitación de un gran número de agricultores, técnicos, consumidores y otros actores que pasaron por sus fincas. En 1998 la agricultura orgánica

alcanzaba 9.607 hectáreas de cultivos en todas las regiones del país (GEO, 2002) para el año 2000 la producción alcanza 8.606 hectáreas y para el 2004, 10.682 hectáreas incrementando la superficie sembrada en un 17,4% (PNAO, 2005 citado en Granados, 2006). A finales de los años 90 el estado promueve la producción orgánica con la creación de leyes y reglamentos que contribuyen y generan más apoyo para la producción y comercialización de los productos orgánicos. Entre el 2005 y 2010 la producción tiene una baja en más de medio punto porcentual, debido a que decrece la cooperación internacional viéndose fuertemente reflejado en la baja de producción, en la reducción de las iniciativas comerciales y en la difusión de información y conocimiento. Para el 2010 la producción se incrementa un poco abarcando 11.107 hectáreas (2,3% de la producción agrícola) (PNAO, 2013). Entre el 2012 y el 2014 la producción ha tenido un crecimiento disperejo baja de 2 a 1,5% de la producción nacional y para el 2015 repunta la producción a un 2%, ya que los productores han tenido más acceso a los mercados nacionales e internacionales, a la certificación de sus productos y a la conciencia y educación alimentaria de la población (MINAE, 2016).

5.1 5 Áreas de suelo bajo administración forestal sostenible.

Las áreas con administración forestal sostenible están reconocidas bajo contratos de Pago de Servicios Ambientales-PSA. Para el 2000 se contaba con 271 contratos firmados, para el 2005 se incrementa a 755, más de 200%, el 2010 a 1.111 y para el 2015 hay una baja a 832 contratos, correspondiendo a un 196 % de incremento entre 2000 y 2015. En el año 2006 hay un exponencial crecimiento de los contratos 190%, que recae para el 2009 para volver a incrementarse hasta el 2013, donde empieza a decaer considerablemente (INEC-MINAE, 2016).

Entre el 2010 y el 2015 las áreas sometidas al Pago de Servicios Ambientales pasaron de 1,28% a 1,36% del territorio nacional que incluyen las categorías de protección de bosque, con 91% para el 2010, una baja a 89,9% 2013 y un incremento al 92% 2015 y, para manejo de bosque 0,47% 2010, 0,21% para el 2013 y un aumento 0,55% al 2015, para las áreas en reforestación los índices pasaron de 6,4% 2010 a 3,36% para el 2015 y se incluyen posteriormente para regeneración natural 1,95% en el 2010, 5,68% para el 2013 y una baja de 4,05% para el 2015. Las áreas sometidas a PSA en comunidades indígenas entre los

años 2010 a 2015 se incrementan de 0,177% a 0,206% (MINAE, 2016).

A partir del 2008 se incluyen al Pago de Servicios Ambientales las áreas sometidas a la protección del recurso hídrico iniciándose con 1.082 hectáreas, 0,021% del territorio nacional en el 2008 0,106% en el 2012 y 0,096% en el 2015 e incrementándose en más de 400% las áreas para los siguientes 7 años (MINAE, 2016).

5.1.6 Áreas de tierra bajo agroforestería

Agroforestería es el conjunto de técnicas de manejo de tierras, que incluye la combinación de los árboles forestales con la ganadería o con otros cultivos. Agroforestería es una forma de cultivo múltiple donde se deben cumplir tres condiciones fundamentales 1) existencia de al menos dos especies de plantas que interactúan biológicamente, 2) uno de los componentes es una planta leñosa perenne y 3) uno de los componentes es una planta manejada con fines agrícolas, incluidos pastos. Para el año 2010 había 536.839 hectáreas en el sistema agroforestal para la protección y reforestación de PSA. Para el 2013 aumentó a 738.869 y para el 2014 volvió a reducirse a 599.706 ha. Para el 2014 los sistemas silvopastoriles contaban con 28.941 fincas. (INEC, 2014)

Según el Censo Agropecuario del 2014, varias fincas realizan actividades agrícolas con prácticas agroconservacionistas generando regeneración y capacidad de reposición de suelo. De 78.408 fincas encuestadas, el 49% siembra en contorno o curvas de nivel, el 10% construye terrazas o gradas de plantación, el 0,05% rota los cultivos, el 46% utiliza cercas vivas, ceca del 10% utiliza barreras de protección de vientos, 5,4% combina sistemas agroforestales, el 11% produce cultivos intercalados, el 5% realiza quemas controladas y un 3,5% no realiza ninguna práctica.

5.1.7 Cambio de uso de la tierra.

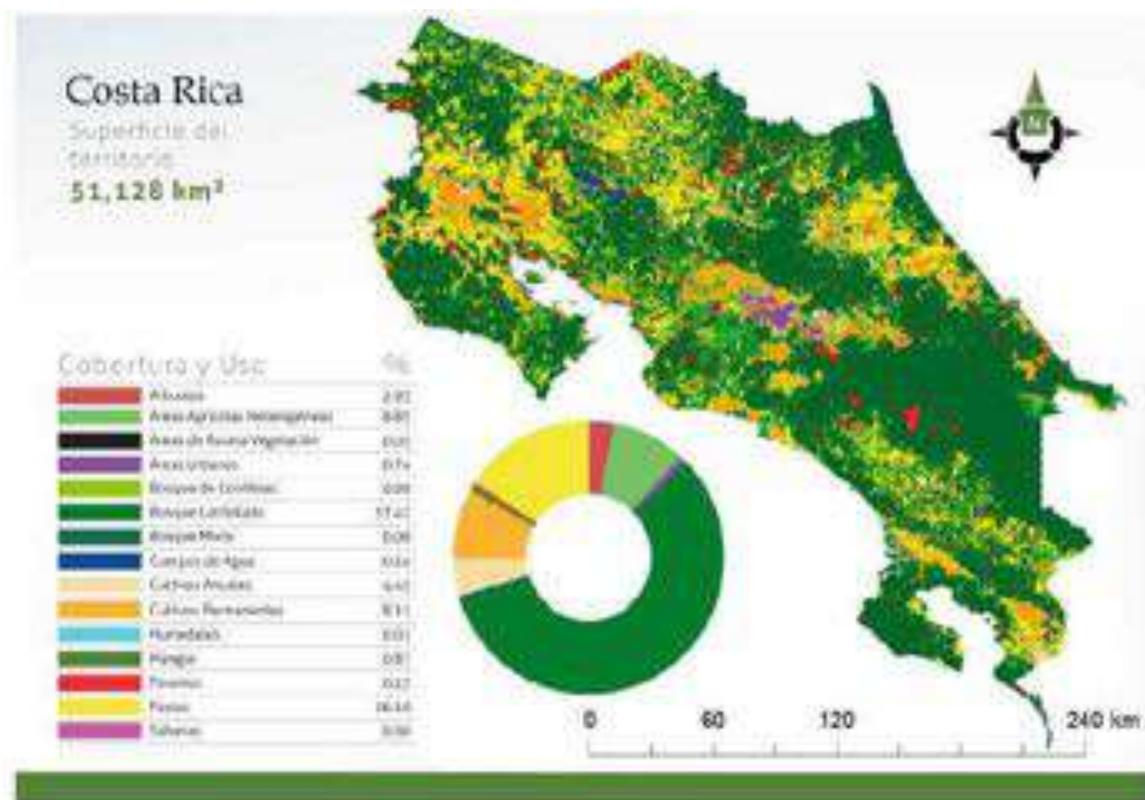
El uso principal de las áreas deforestadas entre 1987 y 2013 fue pastos. Entre seis y ocho de cada 10 hectáreas deforestadas anualmente en Costa Rica fueron incorporadas a sistemas productivos ganaderos. Los cultivos para el mercado doméstico (arroz, frijoles, maíz, etc.) y para exportación (piña, banano, naranja, etc.) captaron dos de cada 10 hectáreas deforestadas, las plantaciones forestales alrededor de 1 de cada 10, y áreas urbanas e infraestructura 3 de cada 100 hectáreas (Sierra, 2016).

Para el año de 1980 la ciudad de San José cubría una superficie urbanizada de 5.763 hectáreas, en el

año de 1990 la superficie se expandió en un 29,22% equivalente a 2.379 hectáreas; ya para el año 2000 aumentó a un 34,88% equivalente a 4.361 hectáreas, para el año 2010 se observó un incremento de 30,18% equivalente a 5.404 hectáreas. Y para el año 2012 la GAM ocupa el 38% del territorio con 196.700 hectáreas de superficie. A partir del área que cubría la ciudad de Costa Rica en 1980, en 30 años se expandió en un 187,24%, La década en la que

se observó la mayor tasa de crecimiento fue en el periodo de 1990 al 2000, con un 34,88% de incremento. En el periodo de 1980 al 2010, hubo una expansión total de la ciudad de 11.673 hectáreas. Para el año 2010 la superficie de área urbanizada fue de 17.907 hectáreas, que equivale aproximadamente a un poco más del triple del área ocupada para el año 1980 (PREVDA, 2011).

Mapa N° 13 Cobertura y uso de la tierra, 2010



Cuadro N° 31 Tasa de deforestación 1980-2010. Costa Rica

Costa Rica (Deforestación 1980-2010) %	25,55
Arbustos	7,79
Pastos	34,26
Cultivos anuales	11,84
Áreas agrícolas heterogéneas	25,72
Cultivos permanentes	18,89
Áreas urbanas	1,26
Áreas de escasa vegetación	0,10
Cuerpos de agua	0,15

Fuente: Sierra, R., Cambronero A., Vega, E. Febrero, 2016

Gráfico N° 12 Cobertura del levantamiento distrital para el MOCUPP



Fuente: MINAE, GWF PNUD Registro nacional CeNAT, PRIAS 2017.

Cuadro N° 32 Cultivo orgánico certificado

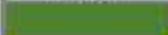
Cultivo orgánico certificado	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
%	1,0	2,0	2,1	2,1	3,5	2,2	2,4	1,8	1,8	3,7	2,3	1,9	2,0	3,5	1,6	2,4
hectáreas	9 906	8 670	9 893	9 206	12 482	9 890	10 711	7 879	8 069	8 831	11 107	9 960	9 807	7 430	7 893	11 210
principales actividades agrícolas forestales	440 454	440 435	435 514	439 533	431 832	443 295	441 552	437 569	461 697	473 210	483 881	496 329	483 842	499 870	490 009	482 981

Fuente: Geo 2002, Gráficos 2006, PMAO 2011, MINAE 2015.

Cuadro N° 33 Distribución de los pagos por servicios ambientales

Pagos por servicios ambientales	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Número de unidades de pago de servicios ambientales	27	30	37	37	76	79	47	1 780	1 760	78	1 177	1 180	1 788	1 478	876	804
Área cubierta a pago de servicios ambientales (hectáreas)	29 444	27 807	24 804	28 180	73 400	27 869	28 177	27 144	78 277	27 824	28 898	70 870	27 120	29 877	26 488	28 444
Área cubierta a pago de servicios ambientales (hectáreas)	28 300	27 030	23 870	25 180	71 187	24 279	24 017	24 905	20 474	21 117	28 548	28 807	27 720	29 877	26 438	28 218
%											81,74	80,52	97,08	99,17	97,52	97,04
Número de fincas	0	1 201	1 000	0	11	0	0	0	0	0	0	1 013	1 078	1 07	73	1 010
%												9,37	9,06	0,25	0,27	0,13
Financiamiento	0 000	0 000	1 000	0 700	1 000	0 000	0 000	0 000	0 000	0 000	0 000	0 000	0 000	0 000	0 000	0 000
%																
Financiamiento estatal								274	700	1 000	1 000	1 700	2 200	1 200	1 700	2 170
%								274	700	1 000	1 000	1 700	2 200	1 200	1 700	2 170
Área cubierta a pago de servicios ambientales en comunidades indígenas (hectáreas)		4 180	0 000	0 000	7 000	0 000	2 000	0 000	12 811	0 000	0 000	14 907	10 940	12 200	12 400	18 847
%		14,6	0,0	0,0	24,3	0,0	6,8	0,0	43,5	0,0	0,0	43,5	39,5	43,9	46,6	66,3
Área cubierta a pago de servicios ambientales en parcelación del terreno de las fincas		0 000	0 000	0 000	0 000	0 000	0 000	0 000	0 000	0 000	0 000	0 000	0 000	0 000	0 000	0 000
%		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fuente: MINAE 2015, información propia																

Cuadro N° 34 Cobertura del suelo según tipo. Año 2015

Cobertura del suelo		Área
Color	Descripción	ha
	TIERRAS FORESTALES - Bosques primarios	2,215,543.23
	TIERRAS FORESTALES - Bosques nuevos	918,483.39
	CULTIVOS - permanentes	277,262.82
	CULTIVOS - anuales	251,873.55
	PASTIZALES	1,190,834.73
	ÁREAS URBANAS	46,998.90
	HUMEDALES - naturales	24,484.86
	HUMEDALES - artificiales	382.32
	OTRAS TIERRAS - páramo	10,423.71
	OTRAS TIERRAS - suelos desnudos naturales	1,897.29
	OTRAS TIERRAS - suelos desnudos artificiales	60,390.54
	SIN INFORMACIÓN – nubes y sombras	115,364.16
Área total		5,113,939.50

FUENTE: CDI (2015).

Fuente: MINAE, Estrategia Nacional REDD+ Costa Rica, Sept 2015.

Cuadro N° 35 Evolución de la cobertura del suelo de Costa Rica, 1987-2013.

Cobertura del Suelo (%)	1987	1992	1997	2001	2008	2011	2013
Bosque	56.8	56.7	56.1	56.3	56.3	56.5	57.7
Yolillal	3.2	3.1	3.0	2.9	2.9	2.8	3.0
Manglar	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Páramo	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Pastos	23.8	25.0	25.1	25.1	25.5	25.2	24.1
Cultivos	10.6	10.8	11.2	11.4	11.4	11.2	10.6
Plantación Forestal	2.9	2.7	2.8	2.4	2.0	2.2	2.5
Urbano e Infraestructura	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9	1.0
Costa Rica	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Nota: Los valores han sido ajustadas por las áreas sin información en los mapas respectivos

Fuente: Sierra, R., Cambroner A., Vega, E. Febrero 2016. Patrones y factores de cambio de la cobertura forestal natural de Costa Rica, 1987-2013.

5.2 Recursos maderables

Según el mapa de tipos de bosque para Costa Rica (Chavarría y Castillo, 2013), el país cuenta con una superficie forestal estimada en 2.677.304 hectáreas, que se divide en bosque maduro, bosque secundario, bosque deciduo, plantaciones forestales, bosque de palmas y bosque de mangle. De estos tipos de cobertura, las tres con mayor área dentro del territorio nacional son bosque maduro, que representa el 31%, bosque secundario con 13,7% y bosque deciduo con 4,6%. Las plantaciones forestales tienen un área estimada de 74.627, y representan el 1,5% del uso del suelo en el país.

Estas áreas forestales aportan bienes y servicios a la sociedad, dentro de los cuales se encuentra la madera. La caracterización de los principales usos y aportes de la industria forestal

en el país ha sido un trabajo liderado por la Oficina Forestal Nacional (ONF) desde el año 2001 (ver Barrantes y Salazar, 2004; Barrantes y Salazar, 2007; Barrantes, y Salazar, 2008; Barrantes, Salazar y Salas, 2009; Barrantes y Salazar, 2010; Barrantes, Paniagua y Salazar, 2011; Barrantes y Ugalde, 2012; Barrantes y Ugalde, 2013; Barrantes y Ugalde, 2014; Barrantes y Ugalde, 2015; Barrantes y Ugalde, 2016). De forma consistente, se han publicado un compendio de estadísticas sobre el sector forestal y la industria maderera, que da muestras de su importancia en la economía nacional.

5.2.1 Fuentes de producción de madera en Costa Rica

En los últimos años, la principal fuente de producción de madera en el país han sido las plantaciones forestales, esto a pesar del reducido tamaño de su área dentro del territorio nacional.

Desde el 1998 hasta el 2015, las plantaciones forestales han producido un poco más de 9 millones de metros cúbicos²⁵ de madera a la industria forestal. La segunda fuente de producción de madera, son los terrenos con uso agropecuario, con aproximadamente 5 millones de metro cúbicos, y en tercer puesto, los bosques con un poco menos de 1 millón de metros cúbicos. (Ver Gráfico 13)

5.2.2 Consumo aparente de madera en Costa Rica

El consumo aparente de madera, medido como lo que el país consume de madera producida nacionalmente (sin contar con la madera exportada) más lo que se consume de madera importada, sumó un total de 3,3 millones de metros cúbicos en el período 2011 al 2015, lo que equivale a 657.000 metros cúbicos de madera al año. Las fuentes principales de donde se consume madera en el país concuerdan con las principales fuentes de abastecimiento. Así, la madera proveniente de plantaciones forestales tuvo el mayor consumo (55%), seguido de madera aserrada importada (18%), madera aserrada de terrenos de uso agropecuario (16%), madera importada de chapas, contrachapada y tableros (8%), y madera de bosques (3%) (Ver Gráfico 14).

²⁵ Sin contar con la producción de los años 2005 y 2009 donde no se obtuvieron datos.

En este mismo período, es importante resaltar que el país tuvo una contracción en el consumo de madera, al pasar de consumir 680.864 metros cúbicos en el 2011 a 633.266 metros cúbicos en el 2015, lo cual es reflejado principalmente por una reducción en el abastecimiento de madera proveniente de plantaciones forestales, al mercado nacional.

5.2.3 Usos de la madera en Costa Rica

El principal uso que se le da a la madera en el país ha sido la construcción de tarimas para la exportación de productos comestibles. Desde el 2006 hasta el 2015, el país produjo aproximadamente 54 millones de tarimas, que necesitaron 4,3 millones de metros cúbicos de madera y generaron aproximadamente USD 556 millones. Del total de tarimas producidas, 21 millones fueron para la exportación de banano y 15 millones para la exportación de piña. La fabricación de tarimas se hizo principalmente con madera de plantaciones forestales, donde la especie melina fue la más utilizada. Solamente en el 2015, estas tarimas posibilitaron la exportación de unos USD 5.317 millones, de los cuales, USD 1.631 millones se destinó a las exportaciones de piña y banano

En el mismo período del 2006 al 2015, los otros principales usos de madera

en el país corresponden a madera para la construcción (aproximadamente 2,5 millones de metros cúbicos), mueblería (1,3 millones de metros cúbicos), exportación de madera en rollo y aserrada (0,9 millones de metros cúbicos) y otros usos como lápices y tableros (0,3 millones de metros cúbicos)²⁶ (Gráfico 15).

5.2.4 Valor agregado y empleo de la industria forestal nacional

Desde el 2004 hasta el 2015, el valor agregado del sector secundario fue el principal dentro de la industria forestal nacional, al sumar USD 93 millones al año, seguido del valor agregado del sector primario con USD 74 millones al año, y la construcción con USD 57 millones. El sector primario incluye las actividades de viveros, aprovechamiento forestal, aserrío de la madera y consultorías y regencias forestales. El sector secundario está compuesto de la fabricación de molduras, muebles y tarimas. La construcción incluye toda la madera utilizada en esta actividad. Otros sectores que también tienen un peso importante en el valor agregado son el transporte de madera, la comercialización a partir de depósitos de madera, y las compras

²⁶ Estos resultados no contemplan los valores de metros cúbicos utilizados para los diferentes usos en el 2009, ni los valores de metros cúbicos utilizados en los productos de exportación para los años 2007, 2008 y 2009.

por parte del sector gubernamental (Gráfico 16).

El valor agregado tiene una importancia sustancial en el uso de la madera, ya que es una fuente importante de empleo en poblaciones rurales. Solamente en el 2015, se generaron cerca de 15.000 empleos directos²⁷ relacionados con la industria de la madera, de los cuales el 34% correspondieron al sector primario y 30% al sector secundario. Además, del total del valor agregado para ese mismo año, el 31% correspondió a la generación de empleo. A pesar de estas cifras, es de especial atención el hecho de que desde el 2007, el empleo de la industria forestal se redujo a una tasa promedio de 6,4% anual, es decir, en el período mencionado, cada año se perdieron 1.115 empleos en promedio (Gráfico 17).

5.2.5 Balanza comercial de la madera y sus derivados en Costa Rica

Entre el 2004 y el 2015, la balanza comercial de madera y sus derivados²⁸ ha sido negativa (se importa más de lo que se exporta). En ese período, el país exportó un total de USD 668,5 millones, mientras

²⁷ Según Santamaría (2017), un empleo directo en el sector forestal "se define como aquel que cumple los siguientes criterios: personal contratado directamente por la empresa al menos por 6 meses continuos, pagados por la empresa (en planilla) y que está claramente vinculado a la actividad económica de madera".

²⁸ Productos dentro del Capítulo 44 y Partida 9403

que las importaciones sumaron USD 826,7 millones. El peso monetario en la comercialización de madera fue mayor en los productos pertenecientes al Capítulo 44 de la clasificación arancelaria (madera, carbón vegetal y manufacturas de madera), en comparación con los productos de la partida arancelaria 9.403 (muebles de madera). Esto significa que Costa Rica comercializa más madera en bruto, madera aserrada y tarimas de madera, que lo que comercializa en muebles de madera (tanto en las exportaciones como en las importaciones) (Ver gráfico 18).

En cuanto a las exportaciones del Capítulo 44, en el 2004 el mayor peso lo tuvieron los tableros de partículas de madera (23%), las tablillas, molduras y frisos de parquet (21%) y la madera en bruto (18%), mientras que en el 2015 fue la madera aserrada (37%), la madera en bruto (30%) y las paletas, cajones, cajas y similares (27%).

En el mismo período, cabe destacar que el valor de la madera aserrada que se exportó, pasó de USD 154.754 en el 2004 a USD 5.003.805 en el 2015, es decir, un incremento de más del 3.000%, que es indicativo de que mucha madera sembrada a inicios del 2000, ya ha llegado a su ciclo de vida óptimo para ser aprovechada y comercializada en el exterior. Esta misma situación también se presenta en la madera en bruto, que pasó de exportarse por un valor de USD 3,8

millones en el 2004, a un valor de USD 21 millones en el 2015, un incremento sustantivo principalmente por la cosecha y exportación de madera de teca a los mercados asiáticos (India, China, Singapur y Vietnam compraron el 98% de la madera en bruto que Costa Rica cosechó en el 2015).

Sobre las importaciones del Capítulo 44, los tableros de fibra de madera, la madera aserrada y la madera contrachapada, acapararon más del 60% del comercio nacional en el período analizado. En el 2004, un 24% de las importaciones fue de tableros de fibra de madera, un 23% fue de madera aserrada, y un 14% de madera contrachapada, mientras que, en el 2015, la madera aserrada tuvo un porcentaje de 45%, la madera contrachapada un 13% y los tableros de fibra de madera un 12%.

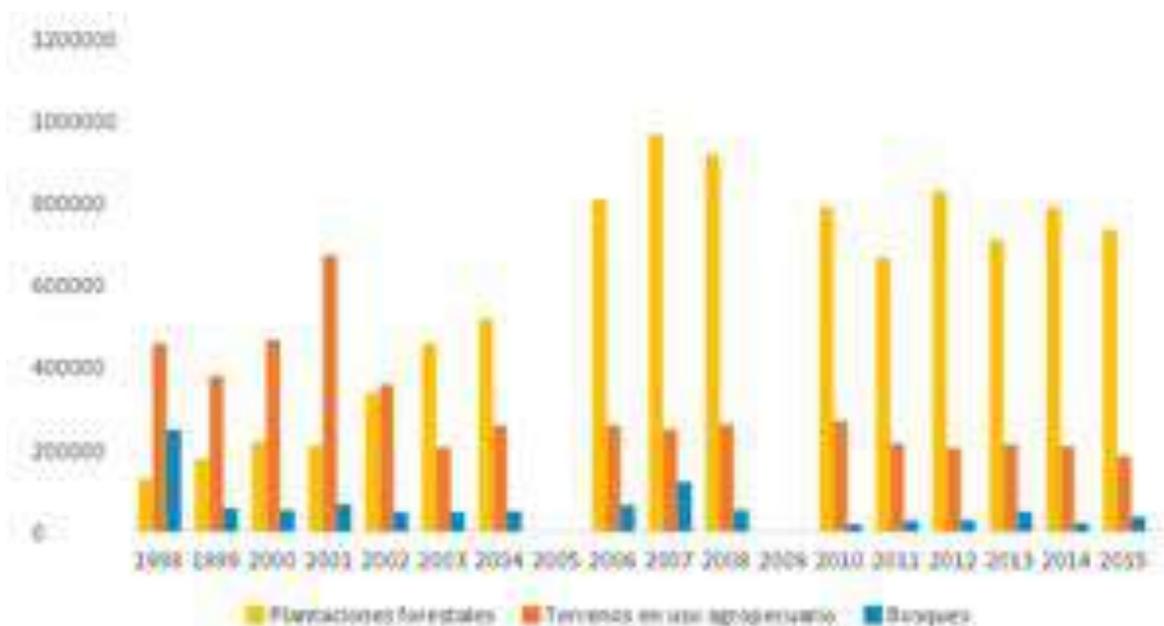
Estos tres productos provienen en su mayoría de Chile y China, países que se han mantenido como los dos principales socios comerciales respecto a la madera que Costa Rica compra en el exterior. Además, cabe resaltar que el valor de la madera proveniente de Chile (pino) creció de forma constante en el período analizado, pasando de USD 5 millones en el 2004 a USD 42,8 millones en el 2015.

Respecto a la comercialización de muebles de madera (partida arancelaria 9403), las estadísticas de la industria forestal de Costa Rica

indican que su comercio, tanto en exportaciones como en importaciones, no tiene una importancia tan alta en comparación con los productos del Capítulo 44. Además, la balanza comercial en esta partida, al igual que en el Capítulo 44, es deficitaria, y tiende al alza.

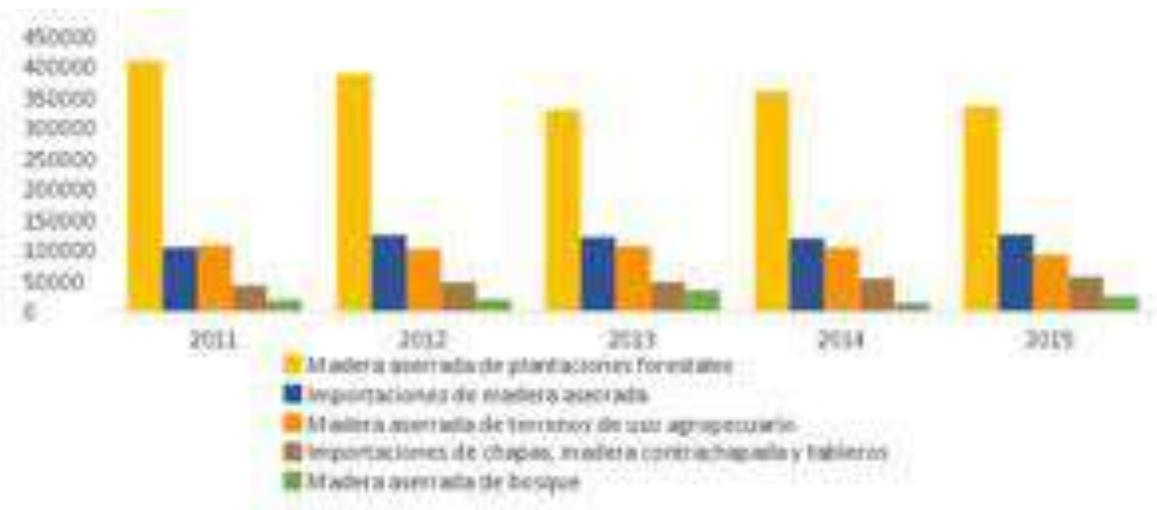
El comercio de muebles de madera el 2004 registró un valor de exportaciones de USD 3,8 millones y de importaciones de USD 12,6 millones, mientras que en el 2015 las exportaciones fueron de USD 5,3 millones y las importaciones de USD 24,1 millones. Estos datos indican que el déficit comercial entre el 2004 y el 2015, se ha incrementado en 114%, al pasar de 8,8 millones a USD 18,8 millones. (ONF, 2017)

Gráfico N° 10 Fuentes de abastecimiento de madera en Costa Rica (m³)



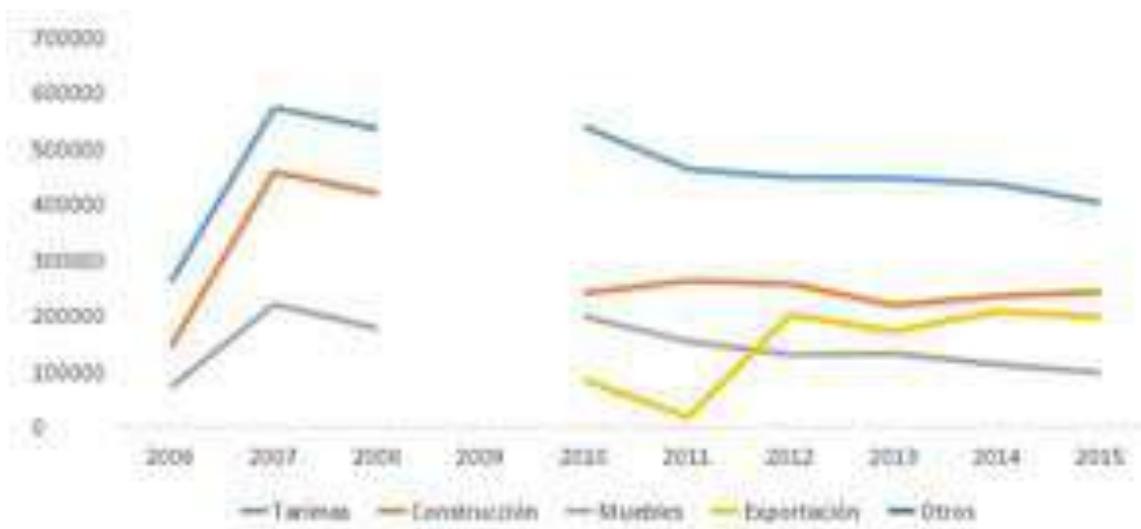
Fuente: ONF, 2017

Gráfico N° 11 Fuentes principales de consumo de madera en Costa Rica (m3)



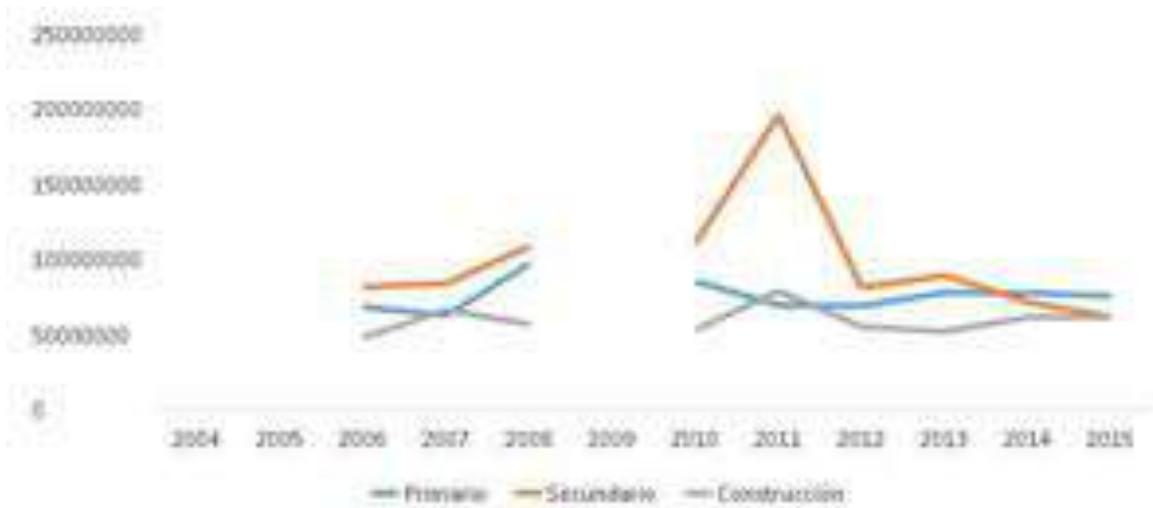
Fuente: ONF, 2017

Gráfico N° 12 Principales usos de la madera en Costa Rica (m³)



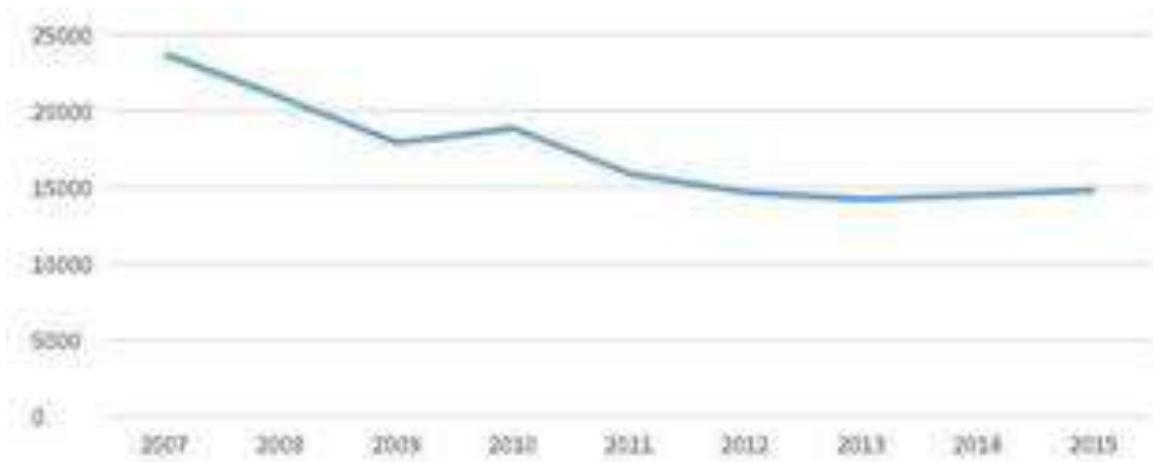
Fuente: ONF, 2017

Gráfico N° 13 Valor agregado por el uso de la madera en Costa Rica (USD)



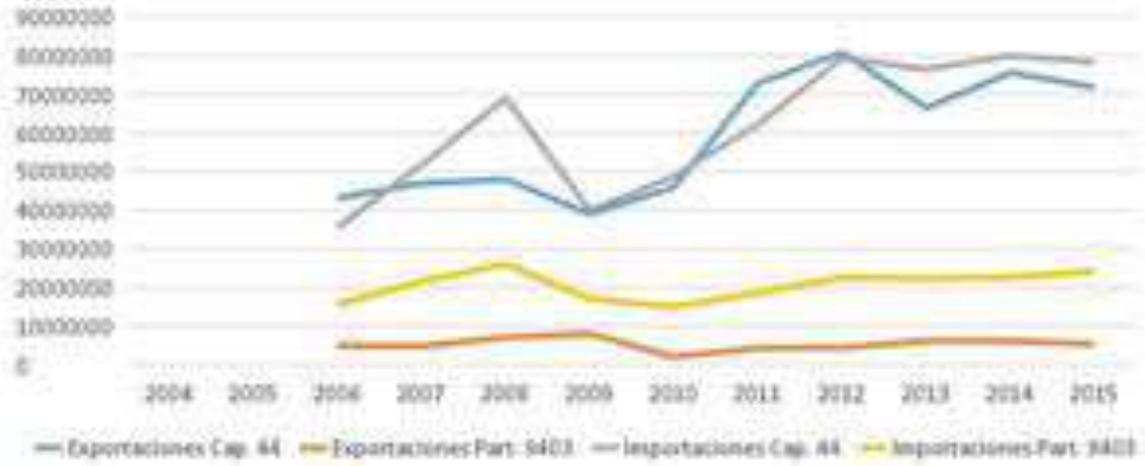
Fuente: ONF, 2017

Gráfico N° 14 Empleo forestal en Costa Rica (número de empleos directos)



Fuente: ONF, 2017

Gráfico N° 15 Balanza comercial de la madera y sus derivados en Costa Rica (USD)



Fuente: ONF, 2017

5.3 Recursos Acuáticos

5.3.1 Captura-producción pesquera

Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Costa Rica produjo 511.705 toneladas de productos pesqueros entre 2002 y 2010. La pesca marina representó el 59,1% de la producción total y la acuicultura el 40,9% restante (FAO, 2014). La extracción de productos marinos fue cercana a las 429.692,31 toneladas durante el período 2002-2014. El 64% del esfuerzo pesquero nacional se concentró en aguas del Pacífico de Guanacaste y el Golfo de Nicoya. En las costas del Pacífico Central se extrajeron alrededor de 54.849 toneladas de pescado, moluscos, crustáceos y otros productos. Esto equivale al 26% de la captura marina total del país. La zona sur y el Caribe aportaron respectivamente el 7 y 3% de la biomasa total capturada por las flotas de pequeña, mediana y avanzada escala (Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura INCOPECA, 2014). La pesca de atún representó el 33% de la biomasa marina total capturada durante el período 2000-2010 (FAO, 2014).

5.3.2 Producción Acuícola

En Costa Rica hay alrededor de 2.804 fincas de producción acuícola, que ocupan un espejo de agua de 7.226.766 m². San José, Alajuela, Heredia, Cartago y Limón albergan cerca del 76% de las fincas productoras. No obstante, la mayoría de proyectos de cultivo intensivo se sitúan en Guanacaste y Puntarenas (FAO, 2017; INEC, 2014). En conjunto ambas provincias mantienen un espejo de agua de 6.256.539 m², es decir, cerca del 87% del área total cultivada a nivel nacional. El 65% de los cultivos nacionales se desarrollan en estanques hechos en tierra, 21% en estanques de concreto, 5% en pilas, 4,6% en lagos y 4,4% en otros sistemas de cultivo (INEC, 2014).

La acuicultura continental en Costa Rica se concentra en dos especies exóticas de peces, la tilapia (*Oreochromis niloticus*, Cichlidae) y la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*, Salmonidae). El langostino de río o langostino Gigante de Malasia (*Macrobrachium rosenbergii*, Palaemonidae) fue introducido al país en la década de 1960. Actualmente se cultiva en pequeña escala, con una producción anual cercana a las 5 toneladas (FAO, 2017). El cultivo de camarón marino se desarrolla principalmente en zonas costeras cercanas a manglares. El área total cultivada con camarón se aproxima a las 1.000 hectáreas

(Valverde-Moya y Alfaro-Montoya, 2013). Se practican dos sistemas de cultivo semi-intensivo: i) con una sola cosecha y ii) con cosechas parciales. La principal especie cultivada es el camarón patiblanco *Penaeus vannamei* (Penaeidae) (FAO, 2014).

Cerca del 88% de las fincas de producción acuícola a nivel nacional se dedican al cultivo de tilapia, 6% al cultivo de trucha, 2% al cultivo de camarón y 5% a otros productos. En conjunto San José, Alajuela, Cartago y Heredia albergan el 60% de las fincas productoras de tilapia del país. El 40% restante se distribuye entre las provincias de Puntarenas, Limón y Guanacaste (INEC, 2014). La trucha se produce principalmente en las zonas altas de Costa Rica, por encima de los 1.500 m.s.n.m. (FAO, 2017). San José, Cartago y Alajuela albergan en conjunto el 91% de las fincas productoras de trucha a nivel nacional (INEC, 2014). Alrededor del 49% de las fincas de cultivo de camarón están ubicadas en Puntarenas, 42% en Guanacaste y 9% en Alajuela. Entre 2002 y 2010 se produjeron 209.503 toneladas de productos acuícolas cultivados. Esto representa el 40,9% de la producción pesquera total del país, tomando en cuenta la extracción marina y el cultivo en aguas continentales. Entre 2002 y 2010 la producción acuícola creció un 33,6%, a una tasa promedio de 4% anual. El 77% de la biomasa total producida corresponde a tilapia, 21% a camarón marino y 2% a trucha (INEC, 2014).

5.3.3 Importaciones de pescado y productos pesqueros

Durante el período 2010-2016 Costa Rica importó cerca de 195 millones de kilogramos de pescado, moluscos y otros organismos acuáticos, por un monto aproximado de 404 millones de dólares. En 2011 el país importó alrededor de 34 millones de kg de mariscos; 35% más de lo importado en 2010. Entre 2012 y 2013 hubo una disminución proporcional al aumento experimentado un año atrás. En el curso siguiente hubo un nuevo incremento, hasta alcanzar valores promedio de 31 millones de kg. Estas cifras se mantuvieron estables hasta 2015. No obstante, para finales de 2016 las importaciones habían disminuido un 25% (INEC, 2016).

5.3.4 Exportaciones de pescado y productos pesqueros

Entre el 2010 y 2016 Costa Rica exportó alrededor de 102 millones de kg de peces, moluscos y otros invertebrados acuáticos, generando ganancias por aproximadamente 735 millones de dólares. Entre 2010 y 2013 las exportaciones de organismos acuáticos crecieron un 27%, partiendo de 13 millones de kg hasta los 18 millones de kg anuales. Sin embargo, a partir de 2013 se produjo

un descenso sostenido en las exportaciones de mariscos, hasta alcanzar 9 millones de kg a finales de 2016. A pesar de que la cantidad de kg de pescado importado fue mayor a la cantidad exportada, el país mantuvo un superávit de 330 millones de dólares en lo que a esa actividad respecta (INEC, 2016).

5.3.5 Recursos pesqueros (natural; cultivo)

Existencias de recursos pesqueros: El área marina total de Costa Rica es de 589.683 km², tomando en cuenta el Mar Territorial y la Zona Económica Exclusiva en ambas costas (INCOPECA, 2006). No obstante, cerca del 60% de la extracción pesquera nacional se concentra en el Pacífico Norte (INCOPECA, 2014). La alta productividad de esta zona se debe a la presencia de una gran diversidad de ambientes marino-costeros, entre ellos: arrecifes coralinos, manglares, estuarios, zonas profundas, arrecifes rocosos, fondos arenosos y zonas de afloramiento (Vargas, 2016). Existen alrededor de 15 comunidades de pescadores en el Pacífico Norte: Cuajiniquil, Tamarindo, Brasilito, Playas del Coco, Lagarto, San Juanillo, Playa Las Peladas, Sámara, Playa Guiones, Playa Garza, Puerto Carillo, Puerto Coyote, Bejuco, Mal País y Cabuya (PROAMBIENTE, 1999 en Villalobos-Rojas *et al.*, 2014).

Para el Pacífico Norte se han identificado alrededor de 424 especies de peces pertenecientes a 97 familias (Villalobos-Rojas *et al.*, 2014). La sección interna del Golfo de Nicoya alberga un importante recurso pesquero para las comunidades costeras (Espinoza y Nielsen-Muñoz, 2006; Fernández-Carvajal, 2013). Los principales grupos peces de interés comercial asociados a ambientes costeros del Pacífico son las corvinas (Sciaenidae), los roncadores (Haemulidae), los pargos (Lutjanidae), los jureles (Carangidae), y los róbalo (Centropomidae) (Bussing y López, 2011). Los estuarios y manglares también albergan especies de moluscos que han sido tradicionalmente extraídas para el consumo y el abastecimiento de los mercados locales, entre ellas: la piangua (*Anadara tuberculosa* y *A. similis*) y la chucheca (*Larkinia grandis*). A pesar de su alto valor ecológico, económico y comercial, se desconoce el estado poblacional de muchos de los organismos explotados (Espinoza y Nielsen-Muñoz, 2006; Nielsen-Muñoz y Zamora, 2006; Soto-Rojas, Mejía-Arana, Palacios y Hiramatsu, 2009).

El Domo Térmico de Costa Rica, en las cercanías de la Isla del Coco, es una de las zonas más productivas de Costa Rica, debido al afloramiento de aguas frías cargadas con una alta concentración de nutrientes. Este fenómeno oceanográfico favorece la presencia de grandes bancos de

atún (*Thunnus albacares*, *T. obesus* y *Katsuwonus pelamis*) y una alta abundancia de tiburones y otras especies pelágicas de gran importancia pesquera (Ballester, 2006; Jiménez, 2016). No obstante, las existencias de El Domo se encuentran amenazadas por la intensa actividad pesquera que se desarrolla en las aguas circundantes, principalmente por flotas pesqueras industriales (Jiménez, 2016).

Adiciones de recursos pesqueros: algunas especies que no constituyen el objetivo principal de las flotas pesqueras de mediana y avanzada escala, como los peces loro (*Scarus* spp.) y los peces chancho (familia Balistidae), son explotadas por pescadores locales. En zonas como el Pacífico Norte, la extracción de esos peces podría responder a la disminución en las poblaciones de algunas de las principales especies de interés comercial (Villalobos-Rojas *et al.*, 2014).

El pez león (*Pterois volitans*, Scorpaenidae) es una especie nativa del Indo-Pacífico que invadió las aguas del Caribe costarricense a finales de 2008. Desde 2009 las comunidades del Caribe Sur realizan capturas de pez león para tratar de disminuir los efectos nocivos de la invasión sobre las especies nativas (Molina-Ureña, 2016; Sandel *et al.*, 2015). Los peces capturados son aprovechados para consumo humano, situación que ha convertido a *P. volitans* en un nuevos recursos

pesquero a nivel local (Molina-Ureña, 2016).

Reducción de recursos pesqueros: la captura total de productos pesqueros en Costa Rica disminuyó en un 52% entre 2002 y 2014. Durante ese período, las descargas tendieron a disminuir tanto en la costa Pacífica como en el Caribe. No obstante, entre 2012 y 2014 la captura en aguas caribeñas aumentó en un 28% (INCOPECA, 2014).

El Pacífico Norte es una de las zonas más sobreexplotadas de Costa Rica. En los últimos años hubo una disminución substancial en las descargas de las principales especies de interés comercial, entre ellas grandes depredadores pelágicos como el pez dorado (*Coryphaena hippurus*), el pez vela (*Istiophorus albidus*), el marlin blanco (*Makaira mazara*), el marlin rosado (*Kajikia audax*) y el pez espada (*Xiphias gladius*). También hubo una reducción en las descargas de especies asociadas a ecosistemas costeros como el pargo seda (*Lutjanus peru*), la cabrilla (varias especies de la familia Serranidae) y la corvina agria (*Micropogonias altipinnis*). Asimismo, entre 2002 y 2009 se redujo el desembarque de tiburones en centros de acopio y recibidores de pescado situados en el Pacífico Norte del país (Villalobos-Rojas *et al.*, 2014).

Según datos recopilados por INCOPECA para la zona de Golfito,

la captura productos pesqueros pasó de 2,140 toneladas en 2002 a 656 toneladas en 2003, lo que representa un descenso del 70% en la captura total anual. Entre el 2003 y el 2014 la producción pesquera de la zona osciló entre las 500 y 1.500 toneladas (INCOPECA, 2014). Cabe destacar que Golfo Dulce fue declarado Área Marina de Pesca Responsable (AMPR) en 2009 (Decreto Ejecutivo N° 35502-MAG, 2009).

A lo largo de la década de 1990 se redujo la captura de algunas especies extraídas con fines ornamentales. Entre ellas, los peces ángel (*Holacanthus passer* y *Pomacanthus zonipectus*), el halconcito de coral (*Oxycirrhites typus* y *Cirrhitichthys oxycephalus*), el pez globo (*Diodon hystrix*), los cardenales (*Apogon* spp.) y el lábrido arcoíris de Cortez (*Thalassoma lucasanum*) (Alpermann, 2001). Un estudio realizado en el Pacífico Norte encontró que la densidad (ind/ha) y la talla (cm) del pez *T. lucasanum* fueron menores en zonas cercanas a la Península de Santa Elena, expuestas a una extracción intensa, en comparación con zonas con baja presión pesquera situadas en Islas Murciélago (McCauley, Joyce y Lowenstein, 2008). La extracción de peces ornamentales inició en la década de 1980 (Villalobos-Rojas *et al.*, 2014). Sin embargo, fue regulada hasta 1989 a través del Decreto Ejecutivo N° 19450 MAG. Este decreto estableció tres zonas para la

extracción de peces de acuario en el Pacífico Norte: 1) del límite Costa Rica-Nicaragua hasta Cabo Santa Elena, 2) de Cabo Santa Elena hasta Punta Guiones y 3) de Punta Guiones hasta Cabo Blanco (Decreto Ejecutivo N° 19450 MAG, 1989). El Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (INCOPECA) es la institución encargada de otorgar los permisos de extracción de peces con fines ornamentales. La actual ley permite el otorgamiento de hasta 20 permisos por zona. En la zona 1 y zona 3 se permite extraer hasta 500 individuos de cada especie por licencia por mes. En la zona 2 la cuota mensual permitida asciende hasta los 1.000 individuos de cada especie por licencia (Decreto Ejecutivo N° 35502-MAG, 2009).

La sobre-explotación del camarón en las últimas décadas ha causado una reducción considerable de este recurso pesquero, hasta el punto en que especies como el camarón fidel (*Solenocera agassizi*), el camarón tití (*Xiphopenaeus riveti*) y el camarón café *Penaeus (Farfantepenaeus) californiensis* han prácticamente desaparecido (FAO, 2014; Villalobos-Rojas *et al.*, 2014; Wehrtmann y Nielsen-Muñoz, 2009). En 2013 la Sala Constitucional declaró inconstitucional la pesca de arrastre de camarón en el país (Sentencia N° 2013-10540). No obstante, aún permanecen vigentes cerca de 18 licencias de pesca de arrastre al 2017. (CIMAR, UCR)

5.4 Recursos biológicos silvestres, no cultivados (excepto los de pescado y madera)

El comercio ilegal de especies silvestres es una de las principales amenazas que enfrenta la biodiversidad a nivel mundial. La trata ilegal de organismos silvestres moviliza alrededor de 7.000 millones de dólares anuales, consolidándose como una de las actividades ilegítimas más lucrativas junto al tráfico de armas y el narcotráfico (CITES, 2013). Costa Rica ha realizado numerosos esfuerzos para proteger su riqueza natural. En 1975 el país ratificó los acuerdos de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES, 1973), a través de la Ley N° 5605 (1975). El objetivo principal es evitar que el comercio internacional de especies se convierta en una amenaza para la supervivencia de los organismos silvestres (CITES, 2013). En 1992 entró en vigor la Ley de Conservación de la Vida Silvestre (Ley N° 7317, 1992), en la cual se establecen las regulaciones sobre los organismos que viven en condiciones naturales, temporales o permanentes en el territorio nacional. En 2012 la Asamblea Legislativa aprobó una nueva ley de conservación de vida silvestre, presentada por iniciativa popular con el respaldo de más de

177.000 firmas. La actual ley (Ley N° 9106) prohíbe la caza de especies silvestres en el territorio costarricense (Decreto Legislativo N° 9106, 2012) y en el año 2017 revisa y actualiza el reglamento de dicha ley. Con el establecimiento de esta normativa, Costa Rica se posiciona como un país pionero en materia de protección de la biodiversidad a través de la participación ciudadana (Chaverri, 2013).

5.4.1 Permisos para la caza regulada y la captura de animales silvestres

El Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) es el ente encargado de extender, denegar o cancelar los permisos de caza de control, extracción, investigación, colecta científica, académica y exportación de vida silvestre (Ley N° 7317, 1992). Entre el 2000 y el 2012 (previo a la reforma de la ley) el SINAC otorgó 28.773 licencias de caza y pesca. Alrededor del 80% de los permisos fueron concedidos para el Área de Conservación Cordillera Volcánica Central (ACCV). Aproximadamente el 56% de las licencias fueron otorgadas para caza menor de aves canoras, 18% para caza mayor, 9,2% para caza menor de mamíferos, 9,8% para pesca en aguas continentales (otorgadas a nacionales), y 0,7% para caza de subsistencia. El 6,3%

restante corresponde a permisos concedidos para la caza menor de aves de plumaje, caza menor de aves con arma de fuego y caza menor para residentes. En 2001 el SINAC otorgó 5.427 permisos de caza y pesca. Para el 2012 la cantidad de licencias otorgadas se redujo en un 63% con respecto a las cifras alcanzadas en 2001 (SINAC, 2011; SINAC, 2012a; b).

Durante 2013 el SINAC expidió 248 licencias de caza. Esto se debió a que la Ley N° 9106, publicada el 20 de diciembre de 2012, especifica que la licencia de caza podría ser utilizada mientras estuviera vigente en el año siguiente, o sea de marzo de 2013 a marzo de 2014. A partir de 2014 el SINAC no extendió más permisos de caza de animales silvestres (SINAC, 2014b). No obstante, en el período 2014-2016 la institución otorgó 226 licencias para pesca en aguas continentales, de conformidad con lo establecido en la legislación vigente (SINAC, 2014a; b; SINAC, 2015; SINAC, 2016).

5.4.2 Importación de especies en peligro de extinción

Las especies sujetas al control de CITES están incluidas en los apéndices I, II y III de la convención (Ley N° 5605, 1973). Costa Rica tiene cerca de 1.100 taxones enlistados en CITES, incluyendo fauna y flora terrestre, marina y dulceacuícola (UNEP-WCMC, 2014). El Apéndice I abarca las especies en peligro de extinción que son o pueden ser afectadas negativamente por el comercio. La importación y exportación de esas especies es permitida con un permiso, siempre y cuando no sea con fines comerciales. En el caso de Costa Rica algunas de las especies incluidas en el Apéndice I son: la lapa roja (*Ara macao*), la lapa verde (*Ara ambigua*), el puma (*Puma concolor*), el jaguar (*Panthera onca*), el pez sierra (Pristidae) y el sapo dorado (*Incilius periglenes*), este último reportado extinto desde 1989 (CITES, 2017).

Recuadro 7 La importancia del Pez Sierra en la vida marina de Costa Rica

Se conoce como Pez Sierra a un grupo de especies de peces cartilaginosos de gran tamaño, muy relacionados con los tiburones, pertenecientes a la familia Pristidae. Estos animales pueden llegar a medir más de 6 m de longitud y habitan variedad de ambientes acuáticos como ríos, humedales, manglares y aguas costeras; se caracterizan por poseer un rostro alargado en forma de sierra o serrucho, el cual utiliza para alimentarse y defenderse de algunos depredadores como tiburones y cocodrilos. Debido a su gran tamaño, el pez sierra tiene un papel ecológico muy importante como depredador tope, controlando la abundancia y distribución de especies más pequeñas, y manteniendo el balance y salud de los ecosistemas acuáticos tanto marinos como salobres (En Busca del Pez Sierra en Costa Rica - CIMAR-UCR, 2016).

Históricamente, el Pez Sierra se distribuía desde el Golfo de México hasta Perú. Sin embargo, la sobrepesca y desarrollo costero han reducido considerablemente sus poblaciones e inclusive en algunas regiones ha desaparecido por completo; a partir de esto, el Pez Sierra fue declarado en riesgo crítico de extinción (CR) según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (En Busca del Pez Sierra en Costa Rica - CIMAR-UCR, 2016).

En Costa Rica, hace unos 20-30 años las especies de Pez Sierra *Pristis pristis* y *Pristis pectinata* solían ser comunes en la costa Pacífica, Caribe y en la zona Norte del país (principalmente en los ríos y afluentes que desembocan en el Río San Juan); sin embargo, hoy en día su distribución está mucho más restringida y los avistamientos de pez sierra son cada vez más escasos.

A partir de esta lamentable situación, surge “En Busca del Pez Sierra- Costa Rica”, proyecto de la Universidad de Costa Rica, Conservación Internacional y Misión Tiburón para apoyar la conservación del Pez Sierra en Costa Rica y Centroamérica. Entre los principales objetivos esta iniciativa se encuentran: 1) Identificar sitios donde aún se encuentre la especie o haya sido vista recientemente, 2) Evaluar las amenazas locales que podrían afectar la salud de la población y 3) Definir medidas de manejo y conservación que garanticen su sobrevivencia (En Busca del Pez Sierra en Costa Rica - CIMAR-UCR, 2016).

Inicialmente, “En Busca del Pez Sierra” realizó un estudio liderado por el Dr. Mario Espinoza del CIMAR-UCR, el cual consistió en más de 250 entrevistas a pescadores y gente de zonas costeras y ribereñas, análisis de registros fotográficos históricos, además de trofeos (sierras exhibidas en casas y establecimientos). Los resultados del estudio demuestran que: (1) existe una reducción en la abundancia de ambas especies en el país; (2) se ha experimentado una reducción en la distribución del Pez Sierra de dientes grandes (*P. pristis*); (3) es muy posible que el Pez Sierra de dientes pequeños (*P. pectinata*) haya desaparecido por completo de Costa Rica (último registro hace 15 años en el Caribe); y (4) las principales amenazas que afectan localmente y nacionalmente al Pez Sierra son la pesca sobre todo la pesca con trasmallos, deterioro y destrucción de los hábitats naturales, y los efectos del cambio climático (En Busca del Pez Sierra en Costa Rica - CIMAR-UCR, 2016).

De 250 personas entrevistadas, 77% han visto a la especie en vivo, más de 55% de los entrevistados lo vieron o capturaron hace más de 20 años, mientras que solo un 13% lo ha visto en los últimos 5 años (del 2011 al 2016). Además, los únicos registros recientes (de 2011 a 2016) en donde se ha visto o capturado la especie es en la boca del Tempisque, el Humedal Nacional Terraba-Sierpe y los afluentes del Río San Juan (Boca Tapada, Boca San

Carlos y Cureña). Existen otros registros en el Caribe Sur y Caribe Norte, además de un registro reciente cerca de Tárcoles, sin embargo, debido a la poca frecuencia de avistamientos, se considera que los sitios primarios en donde se encuentra actualmente la especie son Sierpe, Río Tempisque y el sector de Cureña-Río San Juan (En Busca del Pez Sierra en Costa Rica - CIMAR-UCR, 2016).

Aun así, revertir el proceso y darle una oportunidad a la especie es factible; proyectos similares en Australia, Estados Unidos y Sur África iniciaron hace más de 20 años y han visto una recuperación en el tamaño de sus poblaciones de Pez Sierra. En estos países las especies de Pez Sierra son protegidas por Ley, lo que ha mejorado enormemente su estado de conservación, impulsando esfuerzos regionales y globales de conservación. Para obtener resultados similares en Costa Rica, se debe emprender acciones concretas de manejo y mecanismos legales que garanticen la protección y conservación de ambas especies de Pez Sierra (En Busca del Pez Sierra en Costa Rica - CIMAR-UCR, 2016).

Costa Rica es un miembro signatario de CITES y de la CMS, por lo tanto, tiene la responsabilidad de ratificar compromisos internacionales en los que se urge la protección de especies amenazadas que estén incluidas en los apéndices I y II de dichas convenciones. La inclusión del Pez Sierra de dientes pequeños (*P. pectinata*) y de dientes grandes (*P. pristis*) en el Apéndice I de CITES pone una restricción en la captura y comercialización en Costa Rica. Además, de acuerdo al Memorandum de Entendimiento de la CMS, los miembros signatarios de esta convención, como Costa Rica, deberían tratar de impulsar medidas que mejoren la conservación de especies en peligro de extinción como los son los Peces Sierra (En Busca del Pez Sierra en Costa Rica - CIMAR-UCR, 2016).

La Universidad de Costa Rica (UCR) ha trabajado en este caso, desarrollando talleres de capacitación para la manipulación y liberación de estas especies; además, implementó una estrategia nacional de divulgación y sensibilización ambiental para que más gente conozca a la especie, su situación, problemática y su importancia como depredador tope. Esto se ha hecho a través de charlas, entrevistas (televisión y radio), medios de prensa, talleres a escuelas y colegios, redes sociales, etc., obteniendo una gran respuesta de la gente. Además, la UCR inicio desde el año 2016 expediciones de pesca para tratar de generar más información biológica y ecológica de la especie (¿dónde están?, ¿cuántos quedan?, ¿de qué tamaño son?, ¿de qué se alimentan?, ¿en qué épocas del año se encuentran en determinado lugar?, etc.). Toda esta información ha ayudado a refinar el conocimiento de cuáles son las áreas críticas de la especie en el país (Humedal Nacional Térraba-Sierpe, afluentes de la zona norte con el Río San Juan, boca del Tempisque, Barra del Colorado) (En Busca del Pez Sierra en Costa Rica - CIMAR-UCR, 2016).

Más allá de esto, se espera apoyo y un compromiso más serio por parte de las instituciones ambientales y de pesca del gobierno (MINAE, SINAC, INCOPESCA) para regular y supervisar el uso de artes ilegales de pesca en sitios ilegales. Además, se debe trabajar de forma coordinada con instituciones como el IMAS para presentar alternativas a los pobladores de zonas de bajos recursos económicos ante la pesca ilegal o de especies en peligro de extinción (En Busca del Pez Sierra en Costa Rica - CIMAR-UCR, 2016).

Fuente: Elaboración propia a partir de insumos del CIMAR-Escuela de Biología de la Universidad de Costa Rica

El Apéndice II, incluye las especies en riesgo potencial de extinción, por lo que se requiere de un permiso para su importación o exportación. Algunas especies en este apartado son: el caimán (*Caiman crocodilus*), la iguana verde (incluida como *Iguana* spp.), todas las especies nativas de loras y pericos (Psittaciformes), las ranas venenosas de los géneros *Dendrobates* y *Oophaga*, todas las especies de orquídeas (con excepción de aquellas incluidas en el Apéndice I), el caracol rosado *Lobatus gigas* (incluido como *Strombus gigas*), el fiburón martillo (*Sphyrna* spp.), todos los corales pétreos y negros (*Scleractinea* y *Antipatharia*), el coral de fuego (*Milleporidae*) (CITES, 2017).

En el Apéndice III figuran las especies incluidas a solicitud de algunos de los países miembros para evitar su explotación indiscriminada. Algunas especies nacionales dentro de esta categoría son: el oso perezoso de tres dedos (*Choloepus hoffmanni*), el armadillo (*Cabassous centralis*) y dos especies de árboles caoba (*Swietenia macrophylla* y *S. humilis*) (CITES, 2017).

En Costa Rica, el SINAC es la instancia encargada de emitir los permisos y certificados, siempre y cuando los solicitantes cumplan con las normas establecidas. Además, los solicitantes deben cumplir con los requerimientos y disposiciones establecidas por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), para

el otorgamiento de los permisos fito o zoo-sanitarios. Los permisos de importación tienen un período de vigencia de tres a seis meses desde su aprobación (CCAD-PNUD/GEF, 2006).

Entre 2003 y 2012 se registraron 5.367 transacciones de importación directa de fauna y flora de origen silvestre en la región centroamericana. El 54% de las importaciones consistieron en productos reproducidos artificialmente, 22% de origen silvestre y 12% reproducidos en cautiverio. Costa Rica registró alrededor de 750 transacciones de importación, sin embargo, esa cifra aumenta a más de 1.200 transacciones de acuerdo con la información suministrada por los países de origen (UNEP-WCMC, 2014).

5.4.3 Exportación de especies en peligro de extinción

Entre 2003 y 2012, los países de la región centroamericana registraron 29.123 transacciones de exportación directa de origen silvestre. Costa Rica fue el principal exportador de especies silvestres en la región, representando el 46% y 33% de las exportaciones directas, según los datos consignados por importadores y exportadores, respectivamente. Más del 50% de las exportaciones costarricenses consistieron en plantas reproducidas artificialmente. Las principales especies vegetales

exportadas por el país son: la cícadas *Cycas revoluta* (26,045,311 hojas) y *C. thouarsii*, varias especies de orquídeas del género *Phalaenopsis* (5,118,164 plantas vivas), la zamia *Zamia furfuracea* (826,099 plantas vivas) y el candelabro (*Euphorbia abyssinica*) con 600,887 plantas vivas (UNEP-WCMC, 2014).

Las principales especies nativas de animales exportadas por Costa Rica fueron: la boa constrictora (*Boa constrictor*) con 697 especímenes vivos, la boa tornasol (*Epicrates maurus*) con 113 especímenes vivos y la serpiente arborícola anillada (*Corallus annulatus*) con 76 especímenes vivos (UNEP-WCMC, 2014). Las dos especies de boa están incluidas en el Apéndice II de CITES, mientras que *C. annulatus* no está sujeta al control de la Convención (CITES, 2017). En la lista de exportaciones realizadas por el país también figuran dos especies de aves Psittaciformes, *Agapornis roseicollis* (225 individuos vivos) y *A. personatus* (50 individuos vivos) (UNEP-WCMC, 2014). Ambas especies son nativas del continente africano, pero solo *A. personatus* está incluida en los apéndices CITES (CITES, 2017). Estados Unidos fue el principal importador de flora y fauna silvestre proveniente de Costa Rica, participando en cerca del 44% de las transacciones (UNEP-WCMC, 2014).

5.4.4 Reporte de animales muertos o atrapados por comida o venta

La caza ilegal de especies silvestres continúa amenazando a la fauna silvestre de Costa Rica. Esta actividad es realizada principalmente por cazadores locales y de zonas aledañas, mediante el uso de perros de cacería y armas de fuego, en zonas boscosas de difícil acceso (Rivera, 2008a; b; Vaughan, 2012). Especies como el jaguar (*P. onca*) y el puma (*P. concolor*) son cazados principalmente para la venta y colección de sus pieles (Dirzo et al., 2014). Otras especies como el saíno (*Pecari tajacu*), el chancho de monte (*Tayassu pecari*), el tepezcuintle (*Cuniculus paca*), el coatí (*Nasua narica*), el cabro de monte (*Mazama americana*), el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), la danta (*Tapirus bairdii*), la guatusa (*Dasyprocta punctata*) y la pava granadera (*Penelope purpurascens*), son cazadas para el consumo y venta de su carne (Dirzo et al., 2014; Rivera 2008a; b; Vaughan, 2012). Para citar un caso concreto, en la Península de Osa la caza de fauna silvestre se da con fines de autoconsumo y no de subsistencia, pues las aves domésticas son la principal fuente de proteína (Altrichter y Almeida, 2000). De acuerdo con Rivera (2008a), la biomasa de animales silvestres consumidas en Osa es cercana a los 18.000 kg anuales. Sin embargo, no

existen estimaciones precisas a nivel nacional, debido a la dificultad para establecer controles efectivos sobre la caza ilegal en zonas remotas y de difícil acceso (Dirzo *et al.*, 2014; Rivera, 2008a; Vaughan, 2012).

5.4.5 Productos forestales no maderables y otras plantas

Entre el 2003 y 2012 Costa Rica exportó cerca de 23.355.808 plantas no maderables vivas. Esta cantidad representa el 55% de la exportación total registrada por todos los países de Centroamérica y la República Dominicana. La principal especie exportada por el país fue la cica exótica *C. revoluta* (UNEP-WCMC, 2014). Esta planta es originaria de Japón, pero es cultivada en los trópicos y subtropicos del mundo (Zuchowski, 2005). Según datos del Ministerio de Comercio Exterior, Costa Rica exportó alrededor de 1.300 millones de kg de plantas vivas entre 2002 y 2016, lo que equivale a poco más de 2.500 millones de dólares (INEC, 2016). Durante ese mismo período el país importó cerca de 65 millones de plantas vivas y productos de floricultura, por un monto aproximado de 200 millones de dólares (INEC, 2016). Las estadísticas citadas no aclaran qué porcentaje de las plantas importadas y exportadas por el país corresponden a especies silvestres sujetas al control de CITES.

Costa Rica comercializa alrededor de 130 especies de plantas medicinales, de las cuales el 80% son especies nativas (Chandrasekharan *et al.*, 1996; Robles *et al.*, 2000). Entre las plantas autóctonas utilizadas para la producción de medicinas, especias y colorantes se encuentran: la zarzaparrilla y la cuculmeca (*Smilax* spp; Smilacaceae), la raicilla (*Psychotria ipecacuanha*; Rubiaceae), el hombre grande (*Quassia amara*, Simaroubaceae), el roble (*Quercus* spp., Fagaceae), el jinocuabe (*Bursera simaruba*, Burseraceae), el saragundí (*Senna reticulata*; Fabaceae) y la juanilama (*Lippia alba*; Verbenaceae), entre otras (Chandrasekharan *et al.* 1996 y Quesada-Monge, 2004). Otras especies silvestres como la palma *Geonoma congesta* (Arecaceae) son utilizadas como elementos constructivos de tipo rústico, altamente valorados en mercados como Estados Unidos. Plantas como el achiote (*Bixa orellana*, Bixaceae) y el pejibaye (*Bactris gasipaes*, Arecaceae) son extraídas del medio por poblaciones rurales para el consumo y la venta local (Chandrasekharan *et al.*, 1996).

5.5 Recursos Hídricos

De conformidad con el Plan Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, citado por el vigésimo Informe del Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible, la oferta hídrica del país es alta. Costa

Rica cuenta con 25.271 metros cúbicos de agua anuales por persona, lo que triplica el promedio mundial, que es de 7.000 metros cúbicos. (Programa Estado de La Nación, 2013). Sin embargo, tiene la tasa de extracción hídrica per cápita más elevada de Centroamérica, que se calcula en 6.896,23 metros cúbicos per cápita al año (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2004; Segura, 2004; Valverde 2010, citado por Valverde, 2013).

A nivel nacional, se dispone de unos 110 mil millones de metros cúbicos de agua. (MINAE, 2004) Según los cálculos del Banco Central, basados en los balances hídricos de 2007 y 2008, el 30% de la precipitación anual se evapora. Del 70% restante un 23% se infiltra y un 77% se convierte en escorrentía superficial (Banco Central de Costa Rica, Banco Mundial, Waves, 2016). A esto se debería restar la pérdida de agua por contaminación, la ineficiencia en el uso, las aguas no controladas, entre otros factores (Dirección de Agua, MINAE). No se encontraron datos sobre los factores mencionados. El flujo de salida de agua hacia Nicaragua se estima en 33 kilómetros cúbicos al año y el que sale hacia Panamá es de 6,5 kilómetros cúbicos. No existen entradas de agua desde otros países (Banco Central de Costa Rica, Banco Mundial, Waves, 2016).

Los recursos hídricos están distribuidos en una densa red hídrica constituida por dos vertientes: Caribe y Pacífico. La vertiente del Caribe, húmeda y lluviosa, sin déficit hídrico en todo el año, tiene una subvertiente norte que drena hacia el Río San Juan, río fronterizo con Nicaragua que luego tributa hacia el Mar Caribe. La vertiente del Océano Pacífico, más seca, tiene una marcada disminución de caudales durante el verano. (MINAE, 2004). Estas diferencias generan importantes retos para la gestión del recurso hídrico en el país, pues aunque hay suficiente disponibilidad del recurso este no se distribuye geográfica y estacionalmente de manera uniforme. La Política Hídrica Nacional menciona otros retos, tales como la falta de gobernabilidad, disminución de la cantidad de agua disponible debido a la contaminación, pérdida de capacidad de infiltración del suelo, falta de claridad de competencias, una legislación marco antigua (Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones, 2009).

La Contraloría General de la República indicó que los mecanismos de gestión implementados por el Estado son relevantes, pues, si bien la oferta hídrica del país asciende aproximadamente a 113.100 Mm³ y la demanda se estima en un 20,73% de ese total, de conformidad con el Balance Hídrico Nacional, 10 de las 34 cuencas hidrográficas del país presentan déficit de agua al menos tres veces al año. Los casos más

críticos corresponden a las cuencas hidrográficas de Lago Arenal, Tempisque-Bebadero, Península de Nicoya y Grande de Tárcoles (Contraloría General de la República de Costa Rica, 2014). En particular la cuenca del Tárcoles es la cuenca más poblada del país, con alrededor de 2.330.000 habitantes y concentra al 80% de la industria nacional. (Dirección de Gestión de Calidad Ambiental DIGECA MINAE, 2017).

5.5.1 Datos para un Balance Hídrico del país

La estimación de la oferta hídrica y su contraste con los requerimientos de agua para las diversas actividades del ser humano permiten estimar la disponibilidad del recurso hídrico. Este análisis es el primer paso para planificar el manejo sostenible de los recursos hídricos del país (Adamson-Badilla, 2010).

La información disponible en Costa Rica sobre la ocurrencia y disponibilidad de agua, superficial y subterránea, así como la correspondiente a los patrones de uso y consumo presenta limitaciones importantes. La problemática que se presenta en materia de información no se reduce, sin embargo, a su generación, sea por la mayor cobertura de las redes de medición o por la construcción de bases de datos sobre los usos del agua; tal vez, los mayores retos se refieren a la organización, procesamiento,

difusión y acceso a la información. (MINAE, 2004). En ese sentido, la Contraloría General de la República ha dicho que existen limitaciones en el acceso a la información en materia de recurso hídrico (por ejemplo, información no accesible, información que no se comparte entre instituciones, o información parcial) y que se presenta el riesgo de duplicar esfuerzos entre las instituciones y de vacíos de información en áreas estratégicas vinculadas al agua, lo cual, dificulta la toma de decisiones informada y la rendición de cuentas basada en suficiente información y de mayor calidad (Contraloría General de la República de Costa Rica, 2014).

En el país se han realizado algunos estudios de balance hídrico, vale la pena citar el Balance Hídrico Superficial, realizado por el Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe que se publica en el año 2007, y comprende la información recopilada de los años 1970 a 2002 (UNESCO, 2007). Este balance se hace para las 34 cuencas principales del país, con la salvedad de que un 32% de las cuencas (11) tenían suficiente información, mientras que en un 41% de las cuencas (14) la información era escasa, y un 26% de las cuencas (9) no tenían información. (UNESCO, 2007) En este informe se recomienda reforzar las redes de monitoreo.

La Cuenta del Agua, realizada por el Banco Central de Costa Rica, hace un cálculo de precipitación con datos del período entre 1985 y 2012 y establece, que la precipitación media anual de Costa Rica es de 2.626 mm. En la mayor parte del país la precipitación media anual supera los 3.000 mm, a excepción de las regiones climáticas del Pacífico Norte y Central. (Banco Central de Costa Rica, Banco Mundial, Waves, 2016). Sin embargo, la distribución en las distintas áreas del país no es regular, por lo tanto, " a nivel anual el país presenta máximos del orden de los 8.000 mm en las regiones de la vertiente del Caribe y zona norte, y la región central de la vertiente del Pacífico Central, y disminuye a valores de 1.400 mm en las regiones del Pacífico Norte y Valle Central". (UNESCO, 2007). Según datos de la FAO²⁹ este nivel de precipitación coloca a Costa Rica entre los países con mayor precipitación del mundo, tomando en cuenta que el promedio mundial es de 814 mm anuales y el latinoamericano y del caribe que es superior a los 1.600 mm anuales, estos datos son del año 2014 (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2017).

El Balance Hídrico 2008, se realiza para las 15 cuencas definidas como prioritarias por el MINAE. Estas cuencas son las siguientes: Abangares, Barranca, Frío, Grande

de Tárcoles, Grande de Térraba, Naranjo, Pacuare, Parrita, Península de Nicoya, Reventazón, San Carlos, Sarapiquí- Chirripó, Savegre, Tempisque y Bebedero. Las 15 cuencas abarcan una superficie de 32.922 km², que representan el 64% de la superficie total del país y la población estimada al año 2000 es de de 3.371.326 habitantes. Las conclusiones de este balance indican que, a pesar del esfuerzo institucional del MINAE, los balances se realizan con información que no es la adecuada ni en cantidad ni en calidad para obtener un balance del recurso hídrico con menos incertidumbre en los resultados; un ejemplo es el uso de la información de las concesiones de agua vigentes sabiendo que no representa el volumen que se consume en las diversas actividades poblacionales y económicas del país. De los resultados obtenidos se concluye, que las 15 cuencas a nivel anual tienen disponibilidad de agua superficial, pero que la época de lluvia origina escurrimientos altos que ocultan períodos de escasez o déficit de agua, 10 de las 15 cuencas estudiadas presentan déficit de agua en por lo menos tres meses del año. Además, se recomienda, entre otras cosas, delimitar las cuencas y acuíferos, unificar los datos de MINAE, Aya y Senara y establecer un mecanismo para que las instituciones entreguen sus datos (BID, MINAE, IMTA, 2008).

²⁹ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, por sus siglas en inglés.

Sobre el balance hídrico del 2008, la Contraloría reconoce que el Estado realizó acciones para contar con un balance hídrico, aunque, aún no es exhaustivo y requiere ser actualizado para prevenir la sobreexplotación de los aprovechamientos de agua, y contar con certeza científica acerca de la disponibilidad de agua superficial y subterránea del país (Contraloría General de La República de Costa Rica, 2014).

El estudio Disponibilidad del Recurso Hídrico en Costa Rica, de 2010, hace proyecciones hasta el año 2030 y un balance para las 19 cuencas que no se tomaron en cuenta en el análisis desarrollado por el BID, MINAE, IMTA. Este estudio indica que la información sobre estas cuencas es muy escasa tanto para el balance hídrico superficial como la parte subterránea. (Adamson-Badilla, 2010). Con estas 19 cuencas analizadas se completan las 34 cuencas que tiene el país.

En cuanto a los riesgos, la Contraloría señala que se han identificado zonas con estrés hídrico que ameritan ser reguladas como zonas con restricción al aprovechamiento del agua, pero aún no han sido oficializadas. En la cuenca Lago Arenal, el volumen de escurrimiento natural no es suficiente para el volumen que se le extrae al embalse. Aunque todo el volumen de lluvia que cae en su superficie de tierra llegara directamente al lago, el volumen durante los meses de

febrero a abril es menor a las extracciones en dicho período. En la cuenca Tempisque-Bebedero se presentan las precipitaciones más bajas del país, con una época seca muy marcada de diciembre a abril, cuando las precipitaciones medias mensuales son insuficientes, por lo cual, durante estos meses los usuarios demandan volúmenes superiores a los generados por la propia cuenca. En la cuenca Península de Nicoya, la principal demanda de agua es la correspondiente al proceso natural de evapotranspiración, y las precipitaciones son insuficientes. La cuenca Grande de Tárcos concentra la mayor parte de la población nacional y el mayor número de industrias. Presenta contaminación severa en sus ríos principales (Contraloría General de La República de Costa Rica, 2014).

Otras zonas que a criterio de la Dirección de Agua presentan estrés hídrico, son la parte norte de la Ciudad de Cartago, la cuenca del río Tapesco aguas arriba. También, algunos sistemas de acuíferos presentan limitantes de aprovechamiento, como es el caso del acuífero del Valle Central, los acuíferos Sardinal, Cóbano, Playa Panamá, y Nimboyores; casos para los cuales el Comité Técnico Interinstitucional MINAE-SENARA-AyA acordó medidas para la perforación de pozos y sus concesiones. (Contraloría General de La República de Costa Rica, 2014)

En la GAM (Gran Área Metropolitana) existen importantes presiones sobre el recurso hídrico. La demanda de agua potable va en aumento, como muestra de ello, la extracción de aguas subterráneas aumentó casi cuatro veces en el período 1996 – 2000 y alcanzó el 62,5% del volumen disponible, llegando a un stress hídrico alto de acuerdo con los parámetros de la Organización Meteorológica Mundial (MIVAH, MINAE, PNUMA, 2006).

5.5.2 Avances generales para la Gestión del Recurso Hídrico

A pesar de que no se ha actualizado la legislación sobre aguas y esto es un inconveniente importante, el país cuenta con instrumentos de política pública para la mejora de la gestión del agua. En el año 2002, se promulga el Decreto Ejecutivo N° 30480-MINAE que establece los principios rectores de la política hídrica, reconociendo al acceso al agua potable como un derecho humano, el agua como un bien de dominio público y el reconocimiento de la función ecológica del agua y su valor económico, que procede del costo de administrarla, protegerla y recuperarla para el bienestar de todos. (Decreto 30480- MINAE Determina los principios que regirán la política nacional en materia de gestión de los recursos hídricos, y deberán ser incorporados, en los planes de trabajo de las instituciones públicas relevantes, 2002).

En el 2009 se oficializa la Política Hídrica Nacional, que incorpora algunos de los elementos que se han propuesto en los proyectos de Ley, tales como el enfoque de gestión integrada del recurso hídrico considerando el ciclo hidrológico e hidrosocial, la coordinación entre las instituciones del sector y el esquema de participación de sociedad civil y sector privado (Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones, 2009).

Más recientemente, la Agenda del Agua 2013- 2030. La Agenda del agua, responde a una actualización del PNGIRH, y sirve como una hoja de ruta para el país en el largo plazo en la definición de acciones futuras (Espeleta, octubre - diciembre 2016) y la Política Nacional para el Subsector de Agua Potable 2017- 2030, pendiente de publicación a noviembre del 2017.

Destaca además la creación, del SINIGIRH o Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico. Este sistema da acceso electrónico a información importante sobre recursos hídricos. Es “la plataforma oficial para integrar la información relativa a la Gestión Integrada del Recurso Hídrico. Implementando tecnología de punta, les permite a las instituciones intercambiar y acceder a información de manera expedita, facilitando la toma de decisiones e identificar los vacíos de información.

También, evita duplicar esfuerzos e invertir recurso en temas que ya fueron desarrollados” (Dirección de Agua MINAE, 2017).

Otra iniciativa importante es el Proyecto “Sistema de Monitoreo de Agua Subterránea en Tiempo Real” (SIMASTIR), que se ejecuta en coordinación con el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) y el Servicio Nacional de Agua Subterránea, Riego y Avenamiento (SENARA). SIMASTIR tiene como objetivo, implementar una red nacional de monitoreo automatizada, mediante la cual se registren las variaciones de los niveles de aguas subterráneas, la temperatura del agua y la conductividad eléctrica en algunos sitios. A partir de esa información, es posible tomar decisiones referentes al aprovechamiento de agua, comprobar la influencia de fenómenos meteorológicos en el agua subterránea y el impacto generado por el cambio climático (Dirección de Agua MINAE, 2017).

El Instituto Nacional de Estadística y Censos, INEC, ha generado un sistema de indicadores para la gestión Integrada del Recurso hídrico. Este sistema de indicadores ambientales se obtiene a partir de las operaciones estadísticas de Instituciones que conforman el Comité Técnico Interinstitucional para estadísticas del Agua (CTI-Agua). Los datos e indicadores se encuentran agrupados en los seis componentes

del Marco de Estadísticas Ambientales (MDEA), aunque algunos componentes de este marco no se incluyen dentro de los datos que estas instituciones producen actualmente. Los datos presentados están acordes con estándares internacionales de las Naciones Unidas. (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2017).

Finalmente, el Banco Central de Costa Rica, en mayo de 2016 ha elaborado un primer documento de trabajo de Cuentas de Agua, como resultado de la coordinación con el MINAE y el apoyo de WAVES³⁰. Este esfuerzo combina variables de tipo ambiental y económico para el diseño y evaluación de políticas públicas (Banco Central de Costa Rica, Banco Mundial, Waves, 2016). Estas cuentas pretenden cuantificar el valor físico y económico de los recursos naturales y su importancia para la riqueza nacional (Banco Central de Costa Rica, 2017).

En cuanto a las existencias de Recursos Hídricos, para las Cuentas de Agua se realizó un cálculo de Activos físicos de Recursos hídricos interiores en millones de metros cúbicos anuales para el 2012. En este se indica que las existencias de recursos hídricos a la apertura eran de 2001 millones de metros cúbicos y al cierre de 1.764 millones de metros cúbicos lo que da un resultado final

30 Waves es una alianza global que reúne a agencias de las Naciones Unidas, gobiernos instituciones internacionales no gubernamentales y académicas, para implementar la Contabilidad del Capital Natural. (Banco Central, 2016).

de menos 237 millones de metros cúbicos, es decir, un cambio en las existencias hacia la baja. Esto es preocupante, a pesar de que el propio documento indica que el documento es un primer esfuerzo de cuantificación y que dichas cuentas no son definitivas (Banco Central de Costa Rica, Banco Mundial, Waves, 2016).

Como una de las prioridades de investigación futura, el Banco Central recomienda una revisión detallada de la información hidrológica, sobre todo los datos de precipitación para poder obtener la información de precipitación media por cuenca, por vertiente y por provincia, así como construir series de tiempo para poder calcular la precipitación normal.

5.6 Extracción, uso y vertidos de agua

El territorio nacional tiene una precipitación media de 2.626 mm por año, y por tanto recibe un promedio de 170 km³ de agua en forma de precipitación. De ese volumen total, 37 km³ se infiltran en el suelo y recargan los mantos acuíferos, mientras que 75 km³ escurren como agua superficial en los ríos que conforman las 34 cuencas hidrográficas del país (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2016). Se estima que del total de agua que cae en forma

de precipitación, aproximadamente un tercio vuelve a la atmósfera a través de la evapotranspiración; sin embargo, tanto el volumen de agua llovida como la cantidad que vuelve a la atmósfera varía notablemente según la región y sus características climáticas (OPS, 2003). De cualquier modo, a partir del total de precipitación en el país, se estima que cada costarricense tiene acceso a 23.405 m³ de agua al año, lo que corresponde a una cifra tres veces superior al promedio mundial (Ballesteros & Zeledón, 2016).

Para el año 2016 fueron concesionados aproximadamente 26 mil millones de metros cúbicos de agua. Sin embargo, el 92% de este volumen es destinado a la producción hidroeléctrica, y por tanto se considera un uso no consuntivo. Con respecto a los 2.174 millones concesionados para uso consuntivo, el 92% proviene a su vez de aguas superficiales y sólo el 8% lo hace de aguas subterráneas. Además, el 80% del agua de uso consuntivo es utilizada con fines de riego y 63% del total se gestiona a través de concesiones al SENARA. Apenas el 5,3% del agua de uso consuntivo es utilizada para consumo humano, el 4,7% es utilizada con fines agroindustriales, el 3,0% con propósitos de otros tipos de industria, el 3,9% para acuicultura y el 1,4% con fines turísticos (Ballesteros, 2016). También a esto debe sumarse el uso ilegal del agua, que corresponde al recurso utilizado sin la concesión

correspondiente o al consumo que excede la concesión otorgada. Actualmente no existen datos certeros sobre el volumen de este consumo, sin embargo, una estimación del 2010 sugiere que de cada tres usuarios del recurso hídrico, dos lo hacen legalmente (Ballesteros, 2010).

En total, existen cerca de 5.222 tomas de aguas concesionadas en el país, de estas 1.217 corresponden a pozos, 3.664 a nacientes y 361 a ríos u otras fuentes superficiales (Mora & Portuguez, 2016) De las 34 cuencas hidrográficas del país estipuladas por el Instituto Costarricense de Electricidad, dos a saber, Tárcoles y del Sarapiquí, presentan un mayor volumen de extracción; en la primera fundamentalmente con fines de consumo humano y en la segunda con el propósito de generación hidroeléctrica (Angulo, 2015). Con respecto a los cuerpos de agua subterráneos, los tres acuíferos más explotados del país pertenecen a la cuenca del Río Virilla y son el Colima Inferior, Colima Superior y Barva, los cuales abastecen al 65% de la población de la GAM. Los primeros abarcan desde San Juan de Tibás hasta San Antonio de Belén y están separados por el Miembro de Puente de Mulas, mientras que el segundo se extiende por las provincias de San José, Heredia y Alajuela (OPS, 2003).

Debido a la importancia de los cuerpos de agua subterráneos en el país, recientemente se inauguró el

Sistema de Monitoreo de Aguas Subterráneas en Tiempo Real (SIMASTIR), a través del cual se pretende brindar herramientas para comprender el comportamiento de los acuíferos subterráneos a través del tiempo. Actualmente el sistema monitorea acuíferos en 44 sitios, todos ubicados en la Península de Nicoya, zona de especial vulnerabilidad hídrica. Sin embargo, los datos obtenidos hasta ahora no son contundentes pues no se cuenta aún con el registro total de un año hidrológico (Dirección General de Aguas, 2017).

Con respecto al agua potable, la demanda promedio nacional es de 0,54 km³ por persona al año, lo que excede ampliamente la cantidad disponible mencionada previamente (OPS, 2003). El país cuenta con una red de distribución de agua destacada a nivel regional, donde el 91,8% de los hogares cuentan con agua potable por medio de cañería intradomiciliar y sólo el 0,5% de los hogares no cuenta con el servicio de agua por tubería. Esto representa un avance muy notable, si se considera que para 1991 sólo el 50% de la población tenía acceso a agua potable en sus hogares (Mora et al, 2016).

El mayor proveedor de agua potable en el país es el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, que cubre al 47,2% de la población. Sin embargo, también debe destacarse el papel

de los Comités Administradores de Acueductos Rurales (CAAR) y las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados (ASADAS), que abastecen a cerca del 30% de los hogares, mientras que las municipalidades proveen de agua al 14% de la población. Aunado a esto, el 74,1% de la población cuenta con un programa de control de calidad en el agua que reciben y el 86,3 % de los casos el agua es sometida a tratamiento y/o desinfección (Mora & Portuguez, 2016).

Mención especial merece la evolución del Canon de Aprovechamiento de Agua (CAA), el cual corresponde al valor que debe ser pagado al Estado por la utilización de este recurso. De acuerdo con la última actualización del CAA en 2006, se establecieron cuotas basadas en dos parámetros: el valor por el uso del agua y el servicio ambiental de protección al recurso hídrico. Así, los montos más bajos asignados corresponden al uso hidráulico y de acuicultura (entre 0,12 y 0,16 colones/m³) y los más altos al uso industrial y turístico (de 2,64 a 3,25 colones/m³) (Ballesteros & Zeledón, 2016). Más allá de eso, el precio promedio que cobran los operadores por la entrega de agua potable es 570 colones por metro cúbico; desde el 2004 este precio ha aumentado en más de un 85% (BCCR, 2016; Fernández, 2014).

Con respecto al tratamiento de aguas residuales, y en particular para la disposición de excretas, un 76,6% de los hogares del país cuenta con un tanque séptico y un 21,3% utiliza el sistema de alcantarilla o cloaca (Mora & Portuguez, 2016). En comparación con los datos del año 2000, se evidencia que aumentó la población que utiliza tanque séptico (desde un 60% a un 76,6%) y disminuyó la que recurre el alcantarillado (Mora et al, 2016).

Existen cerca de 68 sistemas públicos de tratamiento para las aguas residuales de alcantarillas en el país. El ente que administra la mayor cantidad de estos sistemas es el AyA, que actualmente cuenta con al menos 20 plantas de tratamiento en funcionamiento. Además, 10 ASADAS cuentan con plantas tratamiento de aguas residuales de distintas magnitudes, así como 5 municipalidades (Mora et al, 2016). Aunado a esto, existe una importante cantidad sistemas de tratamiento de aguas operados por condominios y urbanizaciones privada; se estima que hay 912 plantas de este tipo (Instituto Costarricense de Acueductos Alcantarillados et al, 2016).

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Los Tajos (PTAR Los Tajos) es la más grande del país, está ubicada en el distrito de La Uruca, y fue inaugurada en el 2015. Actualmente recibe 435 litros de aguas residuales por segundo (es

decir, 37 millones diarios), con al menos 10 toneladas diarias de residuos sólidos provenientes de una población cercana a los 200.000 habitantes de la Gran Área Metropolitana (GAM). Aunque ya la obra fue inaugurada, persisten las labores de construcción y ampliación de la misma. Así, se proyecta que esta será finalizada en el año 2020 y tendrá la capacidad para dar tratamiento a las aguas residuales de una población de 1,4 millones de personas, lo que a su vez implica la construcción de un adecuado sistema de recolección y encauzamiento de aguas residuales desde una gran parte de la GAM (Lara, 2016).

Sobre este último punto, debe anotarse que los sistemas de tratamiento de aguas residuales requieren evidentemente de un adecuado sistema de recolección de aguas. Sin embargo, para el 2015 se reportaron 795.930 conexiones de agua potable por las principales operadoras de la GAM (AyA, la ESPH y la Municipalidad de Alajuela), pero sólo se contaba con 266.789 conexiones de alcantarillado. Esto implica que un 67% de las conexiones de agua en la GAM no cuentan con servicio de recolección de agua, y por tanto el potencial tratamiento de aguas residuales queda a merced del usuario (Instituto Costarricense de Acueductos Alcantarillados et al, 2016).

Se estima que la población nacional genera un promedio de 0,2 metros cúbicos de aguas residuales por persona al día, lo que al extrapolarse para toda la población nacional resulta en un volumen diario de 966.455 m³. El caudal que reciben las plantas de tratamiento de las operadoras (como el AyA, las municipalidades y las ASADAS) es de aproximadamente 32.770 m³/día, excluyendo la PTAR Los Tajos. Esta última, por sí sola, actualmente recibe un caudal 44.456 m³/día. Por último, los operadores privados (como los condominios y urbanizaciones), reciben cerca de 62.271 m³/día. Al sumar, estos rubros y compararlos con el total de aguas residuales generadas, se concluye que sólo el 14,3% de estas aguas recibe algún tipo de tratamiento colectivo, lo que excluye los hogares con su propio tanque séptico (Instituto Costarricense de Acueductos Alcantarillados et al, 2016).

Dadas estas condiciones, actualmente la cobertura de la población urbana con acceso a tratamiento de aguas residuales es del 36,2%, mientras que para la población rural la cobertura es del 80,5%. Sin embargo, es notable que el grueso de la población rural trata sus aguas con tanques sépticos, lo que implica los consecuentes retos sobre el adecuado mantenimiento y planificación en el uso de los mismos. De cualquier modo, el AyA ya ha definido las acciones necesarias para

otorgar tratamiento de aguas residuales al 100% de la población urbana del país para el año 2045, lo que implica tratar 518 mil metros cúbicos de agua por día. Las proyecciones de esta institución estiman una inversión de \$6.224 millones en los próximos 28 años, o sea, un promedio anual de \$214 millones (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2017).

Con respecto a la generación de aguas residuales por usos industriales y comerciales, existen registrados 788 establecimientos que vierten sus aguas al alcantarillado sanitario y 733 lo hacen a cuerpos receptores. La suma de estos vertidos equivale a un volumen de 165.994 m³/día para todo el país, y de 82.980 m³/día sólo en zonas urbanas. Las actividades que más vertidos producen son el procesamiento de carnes y vegetales

y el expendio de combustibles. Sin embargo, de acuerdo con el AyA, no existen aún estadísticas claras que muestren qué porcentaje de estas aguas es tratado antes o después de ser vertido (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados et al, 2016).

Por último, las aguas residuales que no son tratadas son vertidas directamente sobre los cuerpos de agua. De estos, los que mayor caudal de aguas residuales reciben son el Río Liberia (6.055 m³/día), el Mar Caribe (5.757 m³/día), el Estero de Puntarenas (5.742 m³/día) y el Río Virilla (5.198 m³/día). Evidentemente, el vertido de estas aguas repercute negativamente sobre la calidad del agua y la salud de los ecosistemas asociados (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados et al, 2016).

Bibliografía



6. Bibliografía

- Acuña J, García V, Mondragón J. 1998. Comparación de algunos aspectos físico-químicos y calidad sanitaria del Estero de Puntarenas, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 46 (Suppl. 6): 1-10.
- Acuña-González J, Vargas-Zamora J, Gómez-Ramírez E, García-Céspedes J. 2004. Hidrocarburos de petróleo, disueltos y dispersos, en cuatro ambientes costeros de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 52 (Suppl. 2): 43-50.
- Alfaro, E. J., y Cortés, J. (2012). Atmospheric forcing of cool subsurface water events in Bahía Culebra, Gulf of Papagayo, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 60 (Suplemento 2), 173-186.
- Alpermann, T. J. (2001). The fisheries of ornamental fishes in Guanacaste, Costa Rica, with special emphasis on the population dynamics of the Cortes rainbow wrasse, *Thalassoma lucasanum* (Gill, 1863). M.Sc. Thesis, University of Bremen, Bremen, Germany.
- Alpízar R, Peraldo G (1995). Conocimientos básicos sobre tectónica, sismología y vulcanología, San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica.
- Altrichter, M. (2000). Importancia de los mamíferos silvestres en la dieta de pobladores de la península de Osa, Costa Rica. *Revista Mexicana de Mastozoología*, 4, 95-103.
- Alvarado, C., Chaves, X., Guevara, A.L., Quesada Alpízar, M.A., Navarro, M. (2012). Comisión Presidencial para la gobernanza marina: Informe. San José, Costa Rica. Recuperado de: http://www.pretoma.org/wp-content/uploads/2012/07/Informe-Final_Comision-Gobernanza-Marina.pdf
- Alvarado, G. E., y Cárdenes, G. (2016). Geology, Tectonics and Geomorphology of Costa Rica: A Natural History Approach. En M. Kappelle. (Ed.), *Costa Rican Ecosystems* (pp. 30-63). Chicago, Estados Unidos: University of Chicago Press.
- Alvarado, G. E., y Mata, G. (2016). Soils of Costa Rica: An Agroecological Approach. En M. Kappelle. (Ed.), *Costa Rican Ecosystems* (pp. 64-93). Chicago, Estados Unidos: University of Chicago Press.
- Alvarado, J. J., Cortés, J., y Reyes-Bonilla, H. (2012). Reconstruction of *Diadema mexicanum* bioerosion impact on three Costa Rican Pacific coral reefs. *Revista de Biología Tropical*, 60 (Suplemento 2), 121-132.
- Alvarado, J. J., Herrera, B., Corrales, L., Asch, J., y Paaby, P. (2011). Identificación de las prioridades de conservación de la biodiversidad marina y costera en Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 59(2), 829-842.

- Angulo, A., Garita-Alvarado, C. A., Bussing, W. A., & López, M. I. (2013). Annotated checklist of the freshwater fishes of continental and insular Costa Rica: additions and nomenclatural revisions. *Check List*, 9(5), 987-1019.
- Angulo, F. (2015). Informe final: Gestión del recurso hídrico y saneamiento en Costa Rica. Ponencia presentada para el Vigésimo Primer Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. San José, Costa Rica: Programa Estado de la Nación.
- Aquilla, R. C. (2005). Uso del suelo y calidad del agua en quebradas de fincas con sistemas silvipastoriles en la subcuenca del Río Jabona. Turrialba.
- Araya J. 2015. Costa Rica es el consumidor más voraz de plaguicidas en el mundo. *Semanario Universidad*. 03 de junio de 2015. <https://semanariouniversidad.com/pais/costa-rica-es-el-consumidor-mas-voraz-de-plaguicidas-en-el-mundo/>
- ARESEP. (2015). Informe de resultados de calidad del agua del programa de verificación de la calidad del agua potable ejecutado en el año 2015. Autoridad Reguladora de Servicios Públicos, Calidad de Agua, San José.
- Asamblea Legislativa de Costa Rica (2016). Aprobación del Acuerdo de París. Decreto Legislativo No. 9405. Imprenta Nacional. San José, Costa Rica.
- Astorga Espeleta, Y. (2016). Gestión del recurso hídrico en Costa Rica. *Ambientico*: 260, 17-24. Recuperado de: <http://www.ambientico.una.ac.cr/pdfs/ambientico/260.pdf>
- Astorga, Y. (2006). Recurso Aguas Superficiales y Subterráneas con énfasis en las principales cuencas hidrográficas. Décimo Tercer Informe del Estado de la Nación. San José, Costa Rica: Estado de la Nación.
- Astorga, Y. (2016). Gestión del Recurso Hídrico en Costa Rica. *Ambientico* No. 260, 17 - 24.
- Auquilla, R. (2005). Uso del suelo y calidad del agua en quebradas de fincas con sistemas silvopastoriles en la subcuenca del Río Jabonal. Turrialba: CATIE.
- Ávila Vega, Javier. Acidez del Suelo. http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/acidez_suelo.pdf
- AyA, C. I. (2016). Política Nacional para el Subsector de Agua Potable de Costa Rica 2017 – 2030. San Jose.
- AyA, MINAE y MS. (2016). Política Nacional de Saneamiento de Aguas Residuales 2016- 2045. San Jose, Costa Rica: AYA -MINAE -MS.
- AyA. (2017). Proyectos de Saneamiento. Suplemento AYA junio 2017. AYA invierte en Saneamiento de Aguas residuales y Mejoramiento Ambiental, 5-8.
- Baca, G et al (2007). Proyectos ambientales en la industria. Primera edición. Grupo Editorial Patria S.A. DE C.V. México, D.F.
- Ballester, D. (2006). El Domo Térmico de Costa Rica. En V. Nielsen-Muñoz y

M. A. Quesada-Alpizar (Eds.), *Ambientes Marinos Costeros de Costa Rica* (pp. 69-86). San José, Costa Rica: Informe Técnico Comisión Interdisciplinaria Marino Costera de la Zona Económica Exclusiva de Costa Rica.

- Ballester, M. (2010). Soporte y Fortalecimiento para la sostenibilidad del canon ambientalmente ajustado para el pago de servicios ambientales en Costa Rica. San José, Costa Rica: Conservación Internacional.
- Ballester, M.; Zeledón, J. (2016). Canon de Aprovechamiento de Agua: 10 años invirtiendo en el recurso hídrico. San José, Costa Rica: MINAE.
- Banco Central de Costa Rica, Banco Mundial, Waves. (2016). Cuentas Agua. Documento de Trabajo. San José, Costa Rica.
- Banco Central de Costa Rica. (2016). Cuentas Bosque. San José, CR 64 p.
- Banco Central de Costa Rica. (5 de octubre de 2017). Banco Central de Costa Rica. Cuentas Ambientales. Obtenido de http://www.bccr.fi.cr/cuentas_ambientales/documentos/Cuenta_Agua_Costa_Rica_2012.pdf
- Barnes DK, Walters A & Gonçalves L. 2010. Macroplastics at sea around Antarctica. *Marine Environmental Research* 70: 250-252.
- Barrantes, A.; Paniagua, R.; Salazar, G. (2011). Usos y aportes de la madera en Costa Rica Estadísticas 2010. San José, CR. 26 p.
- Barrantes, A.; Salazar, G. (2004). Usos y aportes de la madera en Costa Rica. San José, CR. 32 p.
- Barrantes, A.; Salazar, G. (2007). Usos y aportes de la madera en Costa Rica Estadísticas 2006. San José, CR. 28 p.
- Barrantes, A.; Salazar, G. (2008). Usos y aportes de la madera en Costa Rica Estadísticas 2007. San José, CR. 32 p.
- Barrantes, A.; Salazar, G. (2010). Usos y aportes de la madera en Costa Rica Estadísticas 2009. San José, CR. 24 p.
- Barrantes, A.; Salazar, G.; Salas, N. (2009). Usos y aportes de la madera en Costa Rica Estadísticas 2008. San José, CR. 28 p.
- Barrantes, A.; Ugalde, S. (2012). Usos y aportes de la madera en Costa Rica Estadísticas 2011. San José, CR. 28 p.
- Barrantes, A.; Ugalde, S. (2013). Usos y aportes de la madera en Costa Rica Estadísticas 2012. San José, CR. 32 p.
- Barrantes, A.; Ugalde, S. (2014). Usos y aportes de la madera en Costa Rica Estadísticas 2013. San José, CR. 32 p.
- Barrantes, A.; Ugalde, S. (2015). Usos y aportes de la madera en Costa Rica Estadísticas 2014. San José, CR. 40 p.
- Barrantes, A.; Ugalde, S. (2016). Usos y aportes de la madera en Costa Rica Estadísticas 2015. San José, CR. 44 p.
- BCCR (2016). Cuentas Agua: Documento de Trabajo. San José, Costa Rica: Banco Central de Costa Rica

- Bedoya-Benítez, E. (2008). Una Costa Rica que debemos conocer. Revista Herencia Vol. 21 (1), 81-88.
- Bergoing J.P y Lizano M. (2015). Mapa Geomorfológico de Costa Rica (Escuela de Geografía/UCR) Escala 1:500.000
- Bergoing, J.P. (1994). Esbozo Geomorfológico Isla del Coco (mapa). Escala 1:40 000. UCR, San José, Costa Rica.
- Bergoing, J.P. (2014). Geomorfología Regional de Costa Rica. Editorial ARTGERUST, San José, Costa Rica.
- Berkeley Earth. (2015). Regional Climate Change: Central America. Retrieved August 7, 2017, from <http://berkeleyearth.lbl.gov/regions/central-america>
- Bertsch, 2006. El Recurso Tierra en Costa Rica. Agronomía Costarricense. www.mag.go.cr/revagr/inicio.htm www.cia.ucr.ac.cr
- Bertsch, 2006. El Recurso Tierra en Costa Rica. Agronomía Costarricense. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5018150.pdf>
- BID, MINAE, IMTA. (2008). Elaboración de Balances Hídricos por Cuencas Hidrográficas y propuesta de modernización de las redes de medición de Costa Rica. Balances Hídricos Mensuales oferta y demanda. . San José, Costa Rica.
- Blanco P. 2010. Plástico predomina entre contaminantes de playas nacionales. Noticias UCR. 04 de marzo de 2010. <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2010/03/04/plastico-predomina-entre-contaminantes-de-playas-nacionales.html>
- Bouroncle, C. & Imbach, P. (c2013). Análisis de vulnerabilidad de las zonas oceánicas y marino costeras de Costa Rica frente al cambio climático. BIOMARCC-SINAC-GIZ. Costa Rica. Recuperado de: http://cambioclimaticocr.com/multimedia/recursos/mod-1/Documentos/SerieTecnica6_Vulnerabilidad_CR.pdf
- Bussing WA. 1987. Peces de las aguas continentales de Costa Rica. Editorial Universidad de Costa Rica. 27 pp.
- Bussing, W. A. y López, M. (2009). Marine Fish. En I.S. Wehrtmann y J. Cortés (Eds.), Marine Biodiversity of Costa Rica (pp. 453-458), Central America. Berlín, Alemania: Springer.
- Bussing, W. A. y López, M. I. (2011). Peces demersales y pelágicos costeros del Pacífico de Centroamérica Meridional. San José, Costa Rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Cabalceta G., Molina E., Agronomía Costarricense 30(2): 31-44 NIVELES CRÍTICOS DE NUTRIMENTOS EN SUELOS DE COSTA RICA UTILIZANDO LA SOLUCIÓN EXTRACTORA MEHLICH 3. ISSN:0377-9424 / 2006. www.mag.go.cr/revagr/inicio.htm www.cia.ucr.ac.cr
- CADETI 2000. Informe de Costa Rica para la Implementación de la Convención de las Naciones Unidas para Combatir la Desertificación,

Resumen Ejecutivo.

- CADETI, 2004. Comisión Asesora sobre Degradación de Tierras (CADETI) Programa de Acción Nacional de lucha contra la degradación de tierras / CADETI - 2 ed. - San José, C.R.: MINAE; CADETI. http://www.unccd.int/ActionProgrammes/costa_rica-spa2004.pdf
- Calvo-Alvarado, J.; McLennan, B.J.; Sanchez-Azofeifa, A.G; Garvin, T. (2009). Deforestation and forest restoration in Guanacaste, Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 258(6):931-940
- Canales, M et al (2014). Las Partículas Respirables PM10 y su composición química en la zona urbana y rural de Mexicali, Baja California en México. *Revista Información Tecnológica*. Vol 25, No. 6, La Serena. Chile.
- Castro René, INCAE. Febrero 2016. Costa Rica como ejemplo de regeneración de bosques naturales. <https://mba.americaeconomia.com/articulos/columnas/costa-rica-como-ejemplo-de-regeneracion-de-bosques-naturales>
- Castro, S., Monge, E., & Ovares, C. (2013). Manual para la Efectiva Implementación del Derecho Humano de acceso al agua y al Saneamiento en Costa Rica. San Jose, Costa Rica: Cedarena.
- Castro, V. (1987). RADIACION SOLAR GLOBAL EN COSTA RICA. San José, C.R.
- CCAD-PNUD/GEF. (2006). Proyecto para la Consolidación del Corredor Biológico Centroamericano Serie técnica 22: Manual Operativo Binacional Transfronterizo para el Comercio de Fauna y Flora Silvestres entre las Repúblicas de Costa Rica y Panamá (MOB). Recuperado de: http://www.ucipfg.com/Repositorio/ELAP/cites_s/recursos/crpa.pdf
- CEGESTI (2015). Calidad de Aire y Transporte de Costa Rica. *Revista Éxito Empresarial* No. 286-2015.
- Centro Científico Tropical; Centro de Investigaciones en Desarrollo Sostenible. (1998). Estudio de Cobertura Forestal Actual (1996/97) y de Cambio de Cobertura para el Periodo entre 1986/87 y 1996/97 para Costa Rica. San José, CR. 8 p.
- Centro de Monitoreo de la Conservación del Ambiente (UNEP-WCMC). (2014). Análisis del Comercio CITES: América Central y República Dominicana. UNEP-WCMC, Cambridge.
- Centro Nacional de Control de Energía Instituto Costarricense de Electricidad. (2016). Generación y Demanda: Informe Anual. San José, Costa Rica, CR. 27 p.
- Chandrasekharan, C., Frisk, T., y Roasio, J. C. (1996). Desarrollo de productos forestales no madereros en América Latina y El Caribe. Dirección de Productos Forestales, FAO, Santiago, Chile.
- Chavarría, M; Castillo, M. (2013). Reporte estadístico Forestal 2013. San José, Costa Rica. 42 p.

- Chaverri, F. (2013). Los zoológicos en el contexto histórico y su relación con la preocupación por el bienestar animal en Costa Rica. *Ambientico*, 239, 4-10.
- Ching EW & Moreno ML. 2001. Evaluación nacional sobre las fuentes de contaminación y actividades humanas originadas en tierra de afectan los ambientes marinos, costeros y dulceacuícolas asociados. Programa Nacional de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente-Centro de Derecho Ambiental y de los Recursos Naturales. San José. 122 pp.
- CITES. (2013). Sistema de solicitud de permisos de exportación, importación y reexportación. Recuperado de: <http://cites.sinac.go.cr/#/inicio>
- CITES. (2017). Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres: Apéndices I, II y III. Recuperado de: <https://cites.org/eng/app/appendices.php>
- Clark, D.B.; Palmer, M.W.; Clark, D.A. (1999). Edaphic factors and the landscape-scale distributions of tropical rain forest trees. *Ecology* 80: 2662–2675.
- CNUDM. 1982. Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar. Nueva York. 30 de abril de 1982. 223 pp.
- Contraloría General de La República de Costa Rica. . (2014). INFORME Nro. DFOE-AE-IF-03-2014 INFORME DE LA AUDITORÍA DE CARÁCTER ESPECIAL ACERCA DE LA. San José.
- Corrales, J. 1999. Mariposas comunes del Área de Conservación Tempisque / Common Butterflies-Tempisque Conservation Area. Costa Rica. Santo Domingo de Heredia, Costa Rica, INBio. p. 11-12.
- Cortés J & Wehrtmann IS. 2009. Diversity of marine habitats of the Caribbean and Pacific of Costa Rica. En: *Marine Biodiversity of Costa Rica, Central America*, Wehrtmann IS, Cortés J. Berlín, Springer. 1-45 pp.
- Cortés, J. (2008). Historia de la investigación marina de la Isla del Coco, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 56(2).
- Cortés, J. (2016a). Isla del Coco: Coastal and Marine Ecosystems. En M. Kappelle. (Ed.), *Costa Rican Ecosystems* (pp. 162-191). Chicago, Estados Unidos: University of Chicago Press.
- Cortés, J. (2016b). The Caribbean Coastal and Marine Ecosystems. En M. Kappelle. (Ed.), *Costa Rican Ecosystems* (pp. 591-617). Chicago, Estados Unidos: University of Chicago Press.
- Cortés, J. (2016c). The Pacific Coastal and Marine Ecosystems. En M. Kappelle. (Ed.), *Costa Rican Ecosystems* (pp. 97-138). Chicago, Estados Unidos: University of Chicago Press.
- Cortés, J. y Wehrtmann, I. S. (2009). Diversity of marine habitats of the Caribbean and Pacific of Costa Rica. En I. S. Wehrtmann y J. Cortés (Eds.), *Marine Biodiversity of Costa Rica* (pp. 1-45), Central America. Berlin, Alemania: Springer.

- Decreto 30480- MINAE Determina los principios que regirán la política nacional en materia de gestión de los recursos hídricos, y deberán ser incorporados, en los planes de trabajo de las instituciones públicas relevantes. (5 de junio de 2002). Costa Rica.
- Decreto Ejecutivo N° 19450-MAG. (1989). Zonas de pesca de peces de arrecife. Recuperado de: <http://www.gaceta.go.cr>
- Decreto Ejecutivo N° 35502-MAG. (2009). Reglamento para el Establecimiento de Áreas Marinas de Pesca Responsable y Declaratoria de Interés Público Nacional de las Áreas Marinas de Pesca Responsable. Recuperado de: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_articulo.aspx?param1=NRA&nValor1=1&nValor2=66353&nValor3=77994&nValor4=1&nValor5=2&nValor6=03/08/2009&strTipM=FA
- Decreto Legislativo N° 9106. (2012). Reformas y Adiciones a la Ley de Conservación de Vida Silvestre, Ley N° 7317, de 30 de Octubre de 1992. Recuperado de: <http://www.gaceta.go.cr>
- Denyer P, Alvarado G, Aguilar T (2000) Historia Geológica. En Denyer y Kussmaul (2000) Geología de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. Editorial Tecnológica.
- Denyer, P. y Alvarado, G. (2007). Mapa Geológico de Costa Rica. Escala 1.400.000. San José, Costa Rica, Escuela Centroamérica de Geología. UCR/ICE.
- Dirección de Agua MINAE. (27 de agosto de 2017). Dirección de Agua. Obtenido de www.da.go.cr
- Dirección de Agua Ministerio de Ambiente y energía. (14 de setiembre de 2017). Dirección de Agua. Ministerio de Ambiente. Obtenido de <http://www.da.go.cr/indicadores-de-la-gestion-del-recurso-hidrico>
- Dirección de Agua. (2017). Indicadores de la Gestión del Recurso Hídrico. Ministerio de Ambiente y Energía. Recuperado de: <http://www.da.go.cr/indicadores-de-la-gestion-del-recurso-hidrico/>
- Dirección de Gestión de Calidad Ambiental DIGECA MINAE. (4 de octubre de 2017). DIGECA. Obtenido de <http://www.digeca.go.cr>
- Dirección General de Aguas (2017). Sistema de Monitoreo de Aguas Subterráneas en Tiempo Real (SIMASTIR). Reporte: Junio 2017. San José, Costa Rica: MINAE.
- Dirzo, R., Broadbent, E. N., Almeyda-Zambrano, A. M., Morales-Barquero, L., Almeyda-Zambrano, S. L., Quispe-Gil, C. A. (2014). Especies indicadoras del estado de conservación de Osa y Golfito: Informe Final. California, Estados Unidos: Stanford Woods Institute for the Environment, Stanford University.
- El Programa de Acción Nacional (PAN) de lucha contra la degradación de tierras en el marco del ordenamiento territorial.
- Espinoza, A., Morera, A., & Mora, D. (2004). Calidad del agua potable en

Costa Rica: Situación actual y perspectivas. San José: AyA y OPS/OMS.

- Espinoza, M. y Nielsen-Muñoz, V. (2006). Especies Comerciales I: Peces. En V. Nielsen-Muñoz y M. A. Quesada-Alpizar (Eds.), *Ambientes Marinos Costeros de Costa Rica* (pp. 87-104). San José, Costa Rica: Informe Técnico Comisión Interdisciplinaria Marino Costera de la Zona Económica Exclusiva de Costa Rica.
- Fallas, J. & Savitsky, B. (1995). Uso y cobertura de la tierra en Costa Rica para 1992: Una aplicación de teledetección espacial y sistemas de información geográfica. *Revista Geográfica de América Central*, 32-33, 131-142.
- FAO 2017. http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/cri/indexesp.stm
- FAO, 2017 <http://www.fao.org/global-soil-partnership/overview/why-the-partnership/es>
- Fernández, A. (2014). Factura del agua pesa menos sobre empresas. En *El Financiero*. Disponible en: http://www.elfinancierocr.com/economia-y-politica/AYA-agua-potable-subsidio-empresarial-residencial-aresep-tarifas_0_582541770.html
- Fernández-Carvajal, D. (2013). Pesca artesanal y pobreza en comunidades aledañas al Golfo de Nicoya. *Revista de Ciencias Sociales*, 140, 137-152.
- Fernández-García, C., Cortés, J., Alvarado, J. J., y Nivia-Ruiz, J. (2012). Physical factors contributing to the benthic dominance of the alga *Caulerpa sertularioides* (Caulerpaceae, Chlorophyta) in the upwelling Bahía Culebra, north Pacific of Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 60 (Suplemento 2), 93-107.
- Finegan, B.; Delgado, D. (2000). Structural and floristic heterogeneity in a 30-year-old Costa Rican rain forest restored, on pasture through natural secondary succession. *Restoration Ecol.* 8: 380–393.
- Finsinger K, Scholz I, Serrano A, Morales S, Uribe-Lorio L, Mora M, Sittenfeld A, Weckesser J & Hess WR. 2007. Characterization of true-branching cyanobacteria from geothermal sites and hot springs of Costa Rica. *Environmental Microbiology* 10(2): 460-473. DOI: 10.1111/j.1462-2920.2007.01467.x
- Flores Verdejo, R., Salas Jiménez, J., & Rivera Ugarte, J. (2016). Análisis de fenómenos ENOS análogos, 1997- 1998 y 2015 - 2016. San José, C.R.
- Flores Verdejo, R., Salas Jimenez, J., Astorga Molina, M., & Rivera Ugarte, J. (2010). El Impacto Económico de los Eventos Naturales y Antrópicos Extremos en Costa Rica, 1988-2009. San José, C.R.
- Flores, Eusebio (2001). *Geografía de Costa Rica*, San José, Costa Rica, EUNED.
- Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO). (2012). Estudio de cobertura forestal de Costa Rica 2009-2010. Ministerio de Ambiente y

Energía. Costa Rica. Recuperado de: <http://www.minae.go.cr/recursos/documentos/cobertura-forestal/estudio-cobertura-forestal-fonafifo-marzo2012.pdf>

- Fondo Nacional de Financiamiento Forestal. (2015). Distribución de las hectáreas contratadas en el Programa de Pago por Servicios Ambientales, por año y por modalidad (en línea). San José, Costa Rica. 1p. Consultado el 20 de julio 2017. Recuperado de: <http://www.fonafifo.go.cr/psa/estadisticas/gePSA-HectareasContratadas.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2004). República de Costa Rica: datos económicos generales. Recuperado de: <http://www.fao.org/fi/oldsite/FCP/es/CRI/PROFILE.HTM>
- García V, Acuña-González J, Vargas-Zamora JA, García-Céspedes J. 2006. Calidad bacteriológica y desechos sólidos en cinco ambientes costeros de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 54 (Supl. 1): 35-48.
- García-Céspedes J, Acuña-González JA, Vargas-Zamora JA. 2004. Metales traza en sedimentos de cuatro ambientes costeros de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 52 (Supl. 2): 51-60.
- Garrido, A y Camargo, Y. (2012). Partículas respirables en el aire: generalidades y monitoreo en Latinoamérica. *Revista INGE CUC*. Vol 8, No. 1, octubre de 2012, pp 293-312. Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.
- Gilbert, L. E., Christen, C. A., Altrichter, M., Longino, J. T., Sherman, P. M., Plowes, R. Swartz, M. B., Winemiller, K. O., Weghorst, J. A., Vega, A., Phillips, P., Vaughan, C. y Kappelle, M. (2016). The Southern Pacific Lowland Evergreen Moist Forest of the Osa Region. En M. Kappelle. (Ed.), *Costa Rican Ecosystems* (pp. 360-411). Chicago, Estados Unidos: University of Chicago Press.
- Gómez, E. (2006). Estuarios. En: Informe Técnico Ambientes Marino Costeros de Costa Rica. V, Nielse & M, Quesada (eds). Comisión Interdisciplinaria Marino Costera de la Zona Económica Exclusiva de Costa Rica.
- Gómez, L. D. (1986). *Vegetación de Costa Rica: Apuntes para una Biogeografía Costarricense*. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- Granados Rojas, L., Álvarez López, C., Mayo 2006. Situación actual y desafíos de la Agricultura Orgánica en Costa Rica. Presentado en el I Congreso de Agroecología y Agricultura Ecológica Galicia, España.2 Sector Agropecuario y Universidad Nacional (Costa Rica). <http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Agricultura%20Orgánica/Agricultura%20organica%20en%20Costa%20Rica%202006.pdf>
- Guariguata, M.; Chazdon, R.L; Denslow, J.S.; Dupuy, J.M.; Anderson, L.

- (1997). Structure and floristics of secondary and old growth forest stands in lowland Costa Rica. *Plant Ecol.* 132: 107–120.
- Guariguata, M.; Ostertag, R. (2002). Sucesión secundaria. Pp. 591-623. En: Guariguata, M. R. y Kattan, G. H. (Eds.), *Ecología y conservación de bosques tropicales*. Editorial Tecnológica, Costa Rica.
 - Guiry MD. 2012. How many species of algae are there? *Journal of Phycology* 48(5): 1057-1063. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2012.01222.x
 - Hanson, P. 2000. In: Consejo Nacional de Rectores, Vicerrectores de Investigación, Subcomisión de Biodiversidad. Congreso Interuniversitario de Biodiversidad (31 de mayo a 4 de junio de 1999, Ciudad de la Investigación, UCR). Memoria. San José, CONARE, OPES: Publicaciones. p. 67.
 - Hartshorn, G. S. (1991). Plantas. En: D. H. Janzen (Ed.), *Historia Natural de Costa Rica* (pp. 119-353). San José, Costa Rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica.
 - Hartshorn, G.S. (1978). Tree falls and tropical forest dynamics, p. 617-638. En P.B. Tomlinson & M.H. Zimmerman (Eds.). *Tropical Trees as Living Systems*. Cambridge University, Cambridge, Reino Unido.
 - Hartshorn, G.S. (1980). Neotropical forest dynamics. *Biotropica* 12 (Supl. 1): 23-30.
 - Heinrich, K., Pacheco, R., Solera, M., & Alfaro, M. (2013). Series de brillo solar en Costa Rica. San José, C.R.
 - Herrera, B.; Finegan, B. (1997). Substrate conditions, foliar nutrients and the distributions of two canopy tree species in a Costa Rican secondary rain forest. *Plant Soil* 191: 259–267.
 - Herrera, J (2012). Quinto Informe: Estado de la Calidad del Aire en el Área Metropolitana de Costa Rica: 2012. Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.
 - Herrera, J y Rodríguez, S (2004). Calidad del aire en la Capital entre 1993 y 2003. *Revista Ambientales*. Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional. No. 27. Junio, 2004. Costa Rica.
 - Herrera, J; Rodríguez, S y Rojas, J (2008). Primer Informe. Calidad del Aire del Área Metropolitana de Costa Rica: 2008. Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.
 - Herrera, W. (2016). Climate of Costa Rica. En M. Kappelle. (Ed.), *Costa Rican Ecosystems* (pp. 19-29). Chicago, Estados Unidos: University of Chicago Press.
 - Holdridge, L. R. (1967). *Life Zone Ecology*. San José, Costa Rica: Tropical Science Center.
 - IMN. (2008). *Clima, variabilidad y cambio climático en Costa Rica*. San
- 

- José, C.R. Retrieved from http://www.cambioclimaticocr.com/multimedia/recursos/mod-1/Documentos/el_clima_variabilidad_y_cambio_climatico_en_cr_version_final.pdf
- IMN. (2016). PRONÓSTICO FENOMENO ENOS Y ESTACIÓN LLUVIOSA 2016. San José, C.R.
 - IMN. (2017a). FACTORES QUE INFLUYEN EN LA RADIACIÓN UV EN LA SUPERFICIE. San José, C.R.: Instituto Meteorológico Nacional. Retrieved from <https://www.cancer.org/es/cancer/cancer-de-piel/prevencion-y-deteccion-temprana/que-es-la-radiacion-de-luz-ultravioleta.html>
 - IMN. (2017b). Índice Ultravioleta. Retrieved August 7, 2017, from <https://www.imn.ac.cr/en/indice-ultravioleta>
 - IMN. (n.d.-a). EL NIÑO : FASE CÁLIDA DEL ENOS. San José, C.R.
 - IMN. (n.d.-b). Sobre algunos fenómenos meteorológicos en Costa Rica. San José, C.R.
 - INBio. 2004. Estado de la Biodiversidad en Costa Rica. Instituto Nacional de Biodiversidad – Sistema Nacional de Áreas de Conservación. http://www.inbio.ac.cr/estrategia/Estudio_2004
 - INEC, 2015. Estadísticas Clave sobre el Estado del Ambiente, Costa Rica. <http://www.inec.go.cr/medio-ambiente/indicadores-ambientales>
 - INEC, Noviembre 2015. VI Censo Nacional Agropecuario. ATLAS ESTADÍSTICO AGROPECUARIO, San José, Costa Rica. http://www.inec.go.cr/sites/default/files/documentos-biblioteca-virtual/01_atlas_estadistico_agropecuario_2014.pdf
 - INEC. (2015). ESTADÍSTICAS E INDICADORES CLAVES SOBRE EL ESTADO DEL AMBIENTE EN COSTA RICA. San José, C.R.
 - INEC. (2015). Precipitación anual, según estación (en milímetros) 2012 - 2015. San José, C.R.: Instituto nacional de estadística y censos.
 - INEC. (2015). Temperatura según estación (en grados centígrados) 2012 - 2015. San José, C.R.: Instituto nacional de estadística y censos.
 - INEC-MINAE. 2015. Compendio de Estadística Ambientales. Instituto Nacional de Estadística y Censos-Ministerio de Ambiente y Energía. San José. 156 pp.
 - INFORME DE COSTA RICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA CONVENCIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS DE LUCHA CONTRA LA DESERTIFICACIÓN (UNCCD) COMISIÓN ASESORA SOBRE DEGRADACIÓN DE TIERRAS (CADETI) mayo 2000
 - Informe de Costa Rica para la Implementación de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación (UNCCD). Comisión Asesora Sobre Degradación De Tierras CADETI. Mayo 2000. <http://www.unccd-prais.com/Uploads/GetReportPdf/ea864688-e126-4646-8ac0-a0fa014a4adc>

- INRECOSMAR/INBIO. (2001). Informe Final. Diagnóstico sobre la Investigación Marino-Costera en Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017) Plan Nacional de Inversiones en Saneamiento (2017 -2045). San José, Costa Rica: AyA
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) (2016). Política Nacional para el Subsector de Agua Potable de Costa Rica 2017 – 2030. San José, Costa Rica: AyA
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), Ministerio de Ambiente y Energía, y Ministerio de Salud (2016). Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales 2016-2045. San José, Costa Rica: AyA.
- Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). (1996). Mapa de Cuencas Hidrográficas, citado por Vargas-Ulate, G. (2011). Geografía de Costa Rica. San José, Costa Rica: Editorial UNED.
- Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). (2004). Boletín Hidrológico. Citado por Vargas-Ulate, G. (2011). Geografía de Costa Rica. San José, Costa Rica: Editorial UNED.
- Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura (INCOPECA). (2006). Memoria institucional 2002-2006: Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura. San José, Costa Rica: Imprenta Nacional.
- Instituto Geográfico Nacional (IGN) del Registro Nacional. Costa Rica. 31 de julio de 2017.
- Instituto Geográfico Nacional (IGN), Registro Nacional y Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto). (1996). (Mapa suministrado por el IGN, 2017. ZEE/Pacífico Costa Rica).
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2015). VI Censo Nacional Agropecuario: Características de las fincas y de las personas productoras. San José, Costa Rica. Recuperado de: <http://www.inec.go.cr/sites/default/files/documentos/agropecuario/publicaciones/reagropeccenagro2014-ti-006.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2016). Instituto Nacional de Estadística y Censos: Estadísticas de Comercio Exterior.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2017). Datos e indicadores claves para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico. San José, Costa Rica.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2014). IV Censo Nacional Agropecuario 2014. San José, Costa Rica.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2016). Estadísticas de Comercio Exterior, base de datos años 2010- 2015. San José, Costa Rica.
- Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INCOPECA). (2014). Estadísticas. Descargado de: <https://www.incopesca.go.cr/publicaciones/estadisticas/historico.html>

- Instituto Naciones de Estadísticas y Censos-INEC (2015). VI Censo Nacional Agropecuario: Características de las fincas y las personas productoras. Primer edición. INEC. San José, Costa Rica.
- IPCC. (1997). Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero - versión revisada en 1996. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Libro de Trabajo (Volumen 2). Editores: J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B. Lim., K. Tréanton, I. Mamaty, Y. Bonduki, D.J. Griggs and B.A. Callander. 185 p.
- IPCC. (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan, ISBN 4-88788-003-0
- IPCC. (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis, resumen para responsables de políticas Recuperado de: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM_es.pdf
- IRET, 2011. Importación de Plaguicidas en Costa Rica: Periodo 2007-2009.
- Janzen, D. H. (1991). Historia Natural de Costa Rica. San José, Costa Rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Jarabo, F et al (2000). Fundamentos de Tecnología Ambiental. Primera Edición. S.A.T Publicaciones Técnicas, S.L. Madrid, España.
- Jiménez, J. A. (2016). El Domo Térmico de Costa Rica: Un oasis de productividad frente a las costas del Pacífico Centroamericano. San José, Costa Rica: Fundación MarViva.
- Jiménez, Q. y Carrillo, E. (2016). The Central Pacific Seasonal Forest of Puntarenas and the Central Valley. En M. Kappelle. (Ed.), Costa Rican Ecosystems (pp. 345-359). Chicago, Estados Unidos: University of Chicago Press.
- Jiménez, Q., Carrillo, E., Kappelle, M. (2016). The Northern Pacific Lowland Seasonal Dry Forest of Guanacaste and the Nicoya Peninsula. En M. Kappelle. (Ed.), Costa Rican Ecosystems (pp. 247-289). Chicago, Estados Unidos: University of Chicago Press.
- Jones J., 2002. Noveno Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. Cambios en el uso de la Tierra en Costa Rica: mapeo y deforestación. http://estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/009/Uso_tierras.pdf
- Kappelle, M. (2016). The Montane Cloud Forests of the Cordillera de Talamanca. En M. Kappelle. (Ed.), Costa Rican Ecosystems (pp. 451-491). Chicago, Estados Unidos: University of Chicago Press.
- Kappelle, M. (Ed.). (2016). Costa Rican Ecosystems. Chicago, Estados Unidos: University of Chicago Press.
- Kappelle, M., y Horn, S. P. (2016). The Páramo Ecosystem of Costa Rica's Highlands. En M. Kappelle. (Ed.), Costa Rican Ecosystems (pp. 492-523).

Chicago, Estados Unidos: University of Chicago Press.

- Lara, F. (2016). Planta de tratamiento Los Tajos limpia 37 millones de litros de agua diarios. En La Nación. Disponible en: http://www.nacion.com/nacional/Planta-tratamiento-Los_Tajos-millones-litros-diaros_0_1593640729.html
- Lawton, R. O., Lawton, M. F., Lawton, R. M. y Daniels, J. D. (2016). The Montane Cloud Forest of the Volcanic Cordilleras. En M. Kappelle. (Ed.), Costa Rican Ecosystems (pp.
- Ley 7779. Uso, manejo y conservación de suelos. https://www.cne.go.cr/cedo_dvd5/files/flash_content/pdf/spa/doc379/doc379-contenido.pdf
- Ley N° 5605. (1975). Ley de Ratificación de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora. Recuperado de: <http://www.gaceta.go.cr>
- Ley N° 7317. (1992). Ley de Conservación de Vida Silvestre. Recuperado de: <http://www.conagebio.go.cr/Conagebio/public/documentos/legislacion/Leyes/Ley%20de%20Conservaci%C3%B3n%20de%20la%20Vida%20Silvestre,%20N%C2%B0%207317.pdf>
- López Lee. T, Septiembre 2013. Estado, Prioridades y Necesidades Para El Manejo Sostenible Del Suelo En Costa Rica, VICEMINISTRA MAG Y PRESIDENTA DEL INTA. <https://es.slideshare.net/FAOoftheUN/estado-prioridades-y-necesidades-parta-el-manejo-sostenible-del-suelo-en-costa-rica-ing-tania-lpez-lee-viceministra-mag-y-presidenta-del-inta-costa-rica>
- Madrigal, R. y Rojas, E. (1980). Manual descriptivo del mapa geomorfológico de Costa Rica: (escala 1:200.000). Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, San José (Costa Rica). San José. Imprenta Nacional. 1980. 79 pp.
- MAG (2011). Agenda agroambiental, cambio climático y carbono neutralidad en el sector agroalimentario de Costa Rica. Publicado en Noviembre del 2011. San José, Costa Rica.
- MAG, Mapa de la Capacidad de Uso de la Tierra en Costa Rica 1997. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/mapa_capacidad.pdf
- MAG. 2016 Plaguicidas en Costa Rica, 2010- 2016 https://www.sfe.go.cr/DocsResiduosAgroquim/Estadistica_uso_plaguicidas_2010_2016.pdf
- Magalhães C, Wehrtmann IS, Lara LR & Mantelatto FL. 2015. Taxonomy of the freshwater crabs of Costa Rica, with a revision of the genus *Ptychophallus* Smalley, 1964 (Crustacea: Decapoda: Pseudothelphusidae). *Zootaxa* 3905(3): 301-344. DOI: 10.11646/zootaxa.3905.3.1
- Marcos Adamson-Badilla, J. M. (2010). Disponibilidad del Recurso Hídrico en Costa Rica. San José: IMN, PNUD, MINAET, CIESA.

- Mata A, Acuña JA, Murillo MM, Cortés J. 1987. La contaminación por petróleo en el Caribe de Costa Rica: 1981–1985. *Caribbean Journal of Science* 23: 41–49.
- McCauley, D. J., Joyce, F. J., y Lowenstein, J. H. (2008). Effects of the aquarium fish industry in Costa Rica on populations of the Cortez rainbow wrasse *Thalassoma lucasanum*. *Ciencias Marinas*, 34(4), 445-451.
- McClearn, D., Arroyo-Mora, J. P., Castro, E., Coleman, R. C., Espeleta, J. F., García-Robledo, C., Gilman, A., González, J., Joyce, A. T., Kuprewicz, E., Longino, J. T., Michel, N. L., Rodríguez, C. M., Romero, A., Soto, C., Vargas, O., Wendt, A., Whitfield, S., y Timm, R. M. (2016). The Caribbean Lowland Evergreen Moist and Wet Forests. En M. Kappelle. (Ed.), *Costa Rican Ecosystems* (pp. 527-587). Chicago, Estados Unidos: University of Chicago Press.
- Millán Araujo José, Capacidad de Uso de la Tierra en Costa Rica. http://files.hidrico.webnode.es/200000081-717c0811e/Uso_de_la_Tierra_Costa_Rica.pdf
- MINAE (2015). Contribución prevista y determinada a nivel Nacional de Costa Rica. Publicado en setiembre del 2015. Gobierno de la República. Costa Rica.
- MINAE SINAC. Abril 2014. V Informe Nacional al Convenio sobre Diversidad Biológica, Costa Rica, CIA UCR <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/LSF/20130520/Info%20pH.pdf>
- MINAE SINAC. Abril 2014. V Informe Nacional al Convenio sobre Diversidad Biológica, Costa Rica, CIA UCR. <https://www.cbd.int/doc/world/cr/cr-nr-05-es.pdf>
- MINAE UNCCD, Sept 2015. Costa Rica Degradación neutral de la Tierra. <http://knowledge.unccd.int/sites/default/files/inline-files/costa-rica-ldn-country-report.pdf>
- MINAE UNCCD, Sept 2015. Costa Rica Degradación neutral de la Tierra. Informe Nacional. <http://knowledge.unccd.int/sites/default/files/inline-files/costa-rica-ldn-country-report.pdf>
- MINAE, AyA, MS. (2016). Política Nacional para el subsector de Agua Potable de Costa Rica 2017 - 2030. San José, Costa Rica: Ministerio de Ambiente y Energía.
- MINAE, Estrategia Nacional REDD+ Costa Rica. Sept 2015. Una iniciativa del Programa de Bosques y Desarrollo Rural. <https://www.forestcarbonpartnership.org/sites/fcp/files/2015/October/8-Costa%20Rica%20Borrador%20de%20la%20Estrategia%20Nacional%20REDD%20Spanish%20v%2030%20Sept.pdf>
- MINAE, GWF PNUD Registro Nacional CeNAT, PRIAS 2017. Monitoreo de Cambio de Uso En Paisajes Productivos (MOCUPP), Costa Rica. <http://www.mocupp.org>

- MINAE, IMN, GEF, PNUD (2012). Inventario Nacional de gases de efecto invernadero y absorción de carbono, 2012. Primer Edición. Costa Rica.
- MINAE. (2004). PRIMERA ETAPA DEL PLAN DE MANEJO INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO: UNA ESTRATEGIA NACIONAL PARA EL MIRH. DOCUMENTO DE DIAGNOSTICO. San José.
- MINAE. (2014). Tercera Comunicación Nacional. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (Vol. 1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- MINAE. 2002. GEO Costa Rica: una perspectiva sobre el medio ambiente. Ministerio de Ambiente y Energía – Programas de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. San José. 162 pp.
- MINAE. 2015. Política Nacional de Biodiversidad 2015-2030 Costa Rica. Ministerio de Ambiente y Energía – Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. San José. 86 pp.
- MINAE/UICN. (2001). Política de Humedales de Costa Rica. Gobierno de Noruega, San José, Costa Rica.
- MINAE; DIGECA; GEF Y PNUD (2017). Evaluación inicial para la implementación del convenio de Minamata (MIA) sobre mercurio. MINAE. San José, Costa Rica.
- MINAE-INEC, 2015. ESTADÍSTICAS SOBRE EL ESTADO DEL AMBIENTE. Compendio de Estadísticas Ambientales Costa Rica. <https://www.cbd.int/doc/world/cr/cr-nr-05-es.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Energía, Comisión Nacional para la Gestión de la Biodiversidad, Sistema Nacional de Áreas de Conservación. (2016). Estrategia Nacional de Biodiversidad 2016-2025, Costa Rica. FMAM-PNUD, Fundación de Parques Nacionales-Asociación Costa Rica por Siempre, San José, Costa Rica. 146 p.
- Ministerio de Ambiente y Energía, Sistema Nacional de Áreas de Conservación, Comisión Nacional para la Gestión de la Biodiversidad. (2013). Estado de los Recursos Genéticos Forestales de Costa Rica 2012. San José, Costa Rica. 143 p.
- Ministerio de Ambiente y Energía. (2015). Contribución Prevista y Determinada a Nivel Nacional de Costa Rica. San José, Costa Rica. 19 p.
- Ministerio de Ambiente y Energía-Sistema Nacional de Áreas de Conservación (MINAE-SINAC). (2000). Estrategia Nacional de Conservación y Uso Sostenible de la Biodiversidad.
- Ministerio de Ambiente y Energía-Sistema Nacional de Áreas de Conservación (MINAE-SINAC). (2013). Reporte Estadístico Forestal 2013. San José, Costa Rica: Cooperación Alemana Deutsche Zusammenarbeits GIZ.
- Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones. (2009). Política Hídrica Nacional. San José, Costa Rica: MINAET.
- Ministerio del Medio Ambiente Chile (2017). Registro de Emisiones y

- Transferencias de Contaminantes. Gobierno de Chile.
<http://www.mma.gob.cl/retc/1279/article-43790.html>.
- MIVAH, MINAE, PNUMA. (2006). GEO: Gran Área Metropolitana del Valle Central de Costa Rica: Perspectivas del medio ambiente urbano 2006. San José, Costa Rica: MINAE.
 - Molina-Ureña, H. M. (2016). El pez león del Indo-Pacífico: Nueva especie invasora en Costa Rica. *Biocenosis*, 22(1-2).
 - Montoya, M. (2016). Isla del Coco: Terrestrial Ecosystems. En M. Kappelle. (Ed.), *Costa Rican Ecosystems* (pp. 192-244). Chicago, Estados Unidos: University of Chicago Press.
 - Mora D, Chávez A & Portuguez CF. 2012. Calidad sanitaria de las aguas de playa de Costa Rica. Período 1996-2011. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Cartago. 12 pp.
 - Mora D. 2011. Calidad sanitaria de los esteros y/o desembocaduras de ríos en los litorales de Costa Rica: 1996-2011. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Cartago. 23 pp.
 - Mora, C., Tiffensor, D.P., Adl, S., Simpson, A.G.B., Worm, B. 2011. How many species are there on earth and in the ocean? *Plos Biology* 9(8): e1001127. Doi: 10.1371/journal.pbio.1001127.
 - Mora, D. (2004). Calidad del agua potable en Costa Rica. Situación actual y perspectivas. Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados. Laboratorio de aguas. San José: Laboratorio Nacional de Aguas.
 - Mora, D., & Portuguez, F. (2003). Evolución de la Cobertura y Calidad de Agua para consumo humano en Costa Rica 1989 - 2002. *Revista Costarricense de Salud Pública* Número 22.
 - Mora, D., A. M., & F. P. (s.f.). Agua para consumo humano y saneamiento y su relación con los indicadores básicos de salud en Costa Rica: Objetivos de Desarrollo del Milenio y Agenda para el 2030.
 - Mora, D.; Mata, A.; Portuguez, C. (2016). Agua para consumo humano y saneamiento y su relación con los indicadores básicos de salud en Costa Rica: Objetivos de Desarrollo del Milenio y la Agenda para el 2030. San José, Costa Rica: AyA.
 - Mora, D.; Portuguez, C. (2016). Agua para consumo humano y saneamiento en Costa Rica al 2016 - Metas al 2022 y 2030. San José, Costa Rica: AyA.
 - Mora, D., M. A., & Portuguez, C. (2016). Agua para consumo humano y saneamiento y su relación con los indicadores básicos de salud en Costa Rica: Objetivos de Desarrollo del Milenio y Agenda para el 2030. Instituto Nacional de Acueductos y Alcantarillados, Laboratorio de Aguas.
 - Morales-Ramírez A, Víquez R, Rodríguez K / Vargas M. 2001. Marea roja producida por *Lingulodinium polyedrum* (Peridinales, Dinophyceae) en Bahía Culebra, Golfo de Papagayo, Costa Rica. *Revista de Biología*

- Tropical 49 (Suppl. 2): 19-23.
- Morales-Ramírez, A., M. Silva Benavides & C. González-Gairaud. (2009). La Gestión Integrada de la Zona Costera en Costa Rica: experiencias y perspectivas. En: J.M. Barragán (Coord.). Manejo Costero Integrado y Política Pública en Iberoamérica: Un diagnóstico. Necesidad de Cambio. Red Ibermar, Universidad de Cádiz y Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), España.
 - Municipalidad de San José, Universidad Nacional, Laboratorio Nacional de Aguas. (2013). Informe de Calidad de las Aguas Superficiales. San José: Municipalidad de San José.
 - Municipalidad de San José, Universidad Nacional, Ministerio de Salud. (2014). Informe de Calidad de Aguas Superficiales de San Jose. San Jose: Municipalidad de San José.
 - Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Da Fonseca, G. A. B., y Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403, 853–858.
 - Nielsen-Muñoz, V. y Zamora, P. (2006). Especies Comerciales II: Crustáceos y Moluscos. En V. Nielsen-Muñoz y M. A. Quesada-Alpizar (Eds.), *Ambientes Marinos Costeros de Costa Rica* (pp. 105-118). San José, Costa Rica: Informe Técnico Comisión Interdisciplinaria Marino Costera de la Zona Económica Exclusiva de Costa Rica.
 - N° 35216-MINAET-MAG. Oficialización del Programa de Acción Nacional de Lucha Contra la Degradación de la tierra en Costa Rica y modificación del Decreto Ejecutivo de Creación de la Comisión Asesora sobre Degradación de Tierras – CADETI.
 - Obando, V. 2002. Biodiversidad en Costa Rica: Estado del conocimiento y gestión. Resumen del Estudio Nacional de Biodiversidad. Estrategia Nacional de Biodiversidad. MINAE-SINAC-INBio.
 - Obando-Acuña, V. (2002). Biodiversidad en Costa Rica: Estado de conocimiento y gestión. Santo Domingo de Heredia, Costa Rica: INBio.
 - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2014). Contribución de la pesca y la acuicultura a la seguridad alimentaria y el ingreso familiar en Centroamérica. Panamá.
 - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2017). Costa Rica: visión general del sector acuícola nacional. Descargado de: http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_costarica/es#tcN70044
 - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (5 de octubre de 2017). Aquastat. Obtenido de <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/didyouknow/indexesp.stm>
 - Organización de las Naciones Unidas-ONU (2016). Consumo de Sustancias Agotadoras del Ozono (SAO) entre los años 2010 y 2014. Secretaría de

Ozono. Publicado en Febrero del 2016.

- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2003). Calidad del agua potable en Costa Rica: Situación actual y perspectivas. San José, Costa Rica: OPS.
- Ortega, W., Barboza, G., Chacón, P., Ramírez, G. (2011). Indicadores básicos de Costa Rica 2005-2010. Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. San José, Costa Rica. Recuperado de: <https://documentos.mideplan.go.cr/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/ae57fd0a-6563-4a59-b767-d8557a4a3490/indicadores%20basicos%202005-2010.pdf?guest=true>
- PNAO, MAG 2013. Estudio sobre el entorno nacional de la agricultura orgánica en Costa Rica. http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual/bibliotecavirtual/prog-nac-agric-org-entorno.pdf
- PNUMA: Guía para el muestreo, preparación y análisis de contaminantes orgánicos en muestras ambientales (agua, suelos/sedimentos y biota). Manual del Programa del Monitoreo Costero del Proyecto GEF-REPCar. PNUMA Programa Ambiental del Caribe, Kingston 2008.
- PREVDA/UGR/SER/14/08, 2011. Mapa Centroamericano de Cobertura y Uso de la Tierra: Cambios de Cobertura y Uso de la Tierra 1980-1990-2000-2010. http://maps.cathalac.org/downloads/Data/temp/cam_cambio_cobertura_1980-2010_borrador.pdf Programa Regional para la Reducción de la Vulnerabilidad y Degradación Ambiental – Informe Final. Implementación de la Plataforma Geográfica e Hidrometeorológica integrada de la Región Centroamericana y sus aplicaciones prácticas. CONSORCIO CATHALAC-SIMEPAR.
- Pringle, C. M., Anderson, E. P., Ardón, M., Bixby, R. J., Connelly, S., Duff, J. H., Jackman, A. P., Paaby, P., Ramírez, A., Small, G. E., Snyder, M. N., Ganong, E. S., y Triska, F. J. (2016). Rivers of Costa Rica. En M. Kappelle. (Ed.), *Costa Rican Ecosystems* (pp. 621-655). Chicago, Estados Unidos: University of Chicago Press.
- Programa Estado de la Nación en Desarrollo Sostenible. (2016). Vigésimo segundo Informe del Estado de la Nación. San José.
- Programa Estado de la Nación, 2012. Decimonoveno Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. San José, Programa Estado de la Nación.
- Programa Estado de la Nación, 2013. Decimonoveno Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. San José, Programa Estado de la Nación.
- Programa Estado de La Nación. (2013). Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible. Un análisis amplio y objetivo sobre la Costa Rica que tenemos a partir de los indicadores más actuales. San José: Programa

Estado de La Nación.

- Programa REDD/CCAD-GIZ - SINAC. 2015. Inventario Nacional Forestal de Costa Rica 2014-2015. Resultados y Caracterización de los Recursos Forestales. Preparado por: Emanuelli, P., Milla, F., Duarte, E., Emanuelli, J., Jiménez, A. y Chavarría, M.I. Programa Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal en Centroamérica y la República Dominicana (REDD/CCAD/GIZ) y Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC) Costa Rica. San José, Costa Rica. 380 p.
- Protti Marino, Güendel Federico, Malavassi Eduardo (2001) Evaluación del Potencial Sísmico de la Península de Nicoya. Heredia, Costa Rica. EUNA
- Quesada-Monge, R. (2004). Caracterización y evaluación de productos no maderables en bosque secundario: Informe final de Proyecto. Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Quirós, E., & Martínez, K. (2015). EL FENÓMENO DE EL NIÑO 2014-2015. San José, C.R.
- Ramírez, P. (n.d.). ESTUDIO METEOROLOGICO de LOS VERANILLOS EN COSTA RICA. San José, C.R.
- Ramírez-Llodra ER, Tyler PA, Baker MC, Bergstad OA, Clark MR, Escobar E, Levin, LA, Menot L, Rowden AA, Smith CR & van Dover CL. 2011. Man and the last great wilderness: human impact on the deep sea. PLOS ONE 6, e22588.
- Reglamento de Calidad de Agua Potable Decreto 38924-S. (1 de setiembre de 2015). Costa Rica.
- Reglamento de Calidad de Agua Potable Decreto Ejecutivo 32327. (10 de febrero de 2005). Costa Rica.
- Retana, J., & Rosales, R. (2001). Efecto de la variabilidad climática sobre la producción bovina de carne en la Región Chorotega de Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos Y Oceanográficos*, 7(1), 1-5.
- Ricardo, V. (2013). Disponibilidad, distribución, calidad y perspectivas del agua en Costa Rica. *Ambientico* n 45, 5- 12.
- Rich, P. V., y Rich, T. H. (1991). La Ruta de Dispersión Centroamericana: Historia Biótica y Paleogeográfica. En: D. H. Janzen (Ed.), *Historia Natural de Costa Rica* (pp. 13-34). San José, Costa Rica: Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Richards TA, Jones MDM, Leonard G & Bass D. 2012. Marine Fungi: their ecology and molecular diversity. *Annual Reviews on Marine Science* 4: 495-522. DOI: 10.1146/annurev-marine-120710-100802
- Rivera, J. O. (2008a). Caracterización social, ambiental, económica y legal de la cacería de animales silvestres en el sitio Osa, Costa Rica Informe Final Parte I: Elementos del contexto relacionados con la cacería de animales silvestres en el ACOSA. Recuperado de: <http://www.inbio.ac.cr/osa/paginas/PDF/INBio-TNC-ACOSA-Est-Caceria->

Osa-Contexto-Final.pdf

- Rivera, J. O. (2008b). Caracterización social, ambiental, económica y legal de la cacería de animales silvestres en el sitio Osa, Costa Rica Informe Final Parte II: Hallazgos, conclusiones y medidas para la mitigación de la cacería de animales silvestres en el ACOSA.
- Robles, G., Oliveira, K., y Villalobos, R. (2000). Evaluación de los productos forestales no madereros en América Central. Proyecto Conservación para el Desarrollo Sostenible en América Central (OLAFO). Área de Manejo y Conservación de Bosques y Biodiversidad. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/007/ae159s/AE159S00.htm>
- Rojas M, Acuña JA, Rodríguez OM. 1998. Metales traza en pepinos de mar *Holothuria mexicana* del Caribe de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 46 (Supl. 6): 215-220.
- Rólier-Lara L, Wehrtmann IS (2011) Diversity, abundance and distribution of river shrimps (Decapoda, Caridea) in the largest river basin of Costa Rica, Central America. In: Asakura A, Fransen C (eds), *New Frontiers in Crustacean Biology*. Koninklijke Brill NV, Leiden, The Netherlands, pp 197-211, DOI: 10.1163/ej.9789004174252.i-354.140
- Rosales Albán, 2013. Manual para la Interpretación de Imágenes de Sensores Remotos de las Principales Coberturas y Usos de la Tierra de Costa Rica. MINAE, Instituto de Innovación y transferencia de tecnología agropecuaria.
- Sader, S.; Joycr, A. (1988). Deforestation rates and trends in Costa Rica, 1940 to 1983. *Biotropica* 20: 11–19.
- Salah, M.; El-Nouty, F.; Al-Hajri, M. (1992). Effecto of water sprinkling during the hot-dry summer season on semen quality of Holstein bulls in Saudi Arabia. *Animal Production*, 55, 59–63.
- Salas O. 2014. Contaminación acústica afecta fauna marina. *La Nación*. 6 de febrero de 2014. <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2014/02/06/contaminacion-acustica-afecta-fauna-marina.html>
- Salazar L.G. (2000). Geomorfología. En Denyer y Kussmaul (2000): *Geología de Costa Rica*, Cartago, Costa Rica. Editorial Tecnológica.
- Sánchez, A., Foley, S., Hamilton, S., Calvo, J.C., Arroyo, P., Jiménez, V. (2002). Estudio de cobertura forestal de Costa Rica con imágenes landsat TM 7 para el año 2000. Laboratorio de Sistemas de Observación Terrestre, Departamento de la Tierra y la Atmósfera, Universidad de Alberta & Centro Científico Tropical. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/262822252_Estudio_de_cambios_de_Cobertura_Forestal_de_Costa_Rica_1997-2000
- Sánchez-Azofeifa, A., Calvo-Alvarado, J.C., Chong, M., Castillo, M.,

- Jiménez, V. (2007). Estudio de monitoreo de cobertura forestal de Costa Rica 2005: Clasificación de la cobertura forestal con imágenes Landsat ETM+ 2005. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Julio_Calvo-Alvarado/publication/262803535_Estudio_de_cambios_de_Cobertura_Forestal_de_Costa_Rica_2000-2005_I_Parte_Clasificacion_de_la_Cobertura_Forestal_con_Imagenes_Landsat_ETM_2005/links/00463538e41607709e000000/Estudio-de-cambios-de-Cobertura-Forestal-de-Costa-Rica-2000-2005-I-Parte-Clasificacion-de-la-Cobertura-Forestal-con-Imagenes-Landsat-ETM-2005.pdf
- Sánchez-Azofeifa, G. A.; Pfaff, A.; Robalino, A.; Boomhower, J.P. (2007). Payments for Ecosystems Services in Costa Rica: examining their intention, implementation and impact. *Conservation Biology* 21(5): 1165-1173.
 - Sánchez-Azofeifa, G.A. (1996). *Assessing Land Use / Cover Change in Costa Rica*. Earth Sciences Department. Durham, New Hampshire, University of New Hampshire. Durham, New Hampshire, EU
 - Sánchez-Azofeifa, G.A. (2000). Land Use/Cover change in Costa Rica: A geographic perspective. En: Hall, C. A., León-Pérez, C. & Leclerc, G. (Eds.) *Quantifying Sustainable Development*. EU: Academic Press. Pp. 473-501.
 - Sánchez-Azofeifa, G.A. (2015). Análisis de la cobertura forestal de Costa Rica entre 1960 y 2013. *Ambientico*. P. 4-11.
 - Sánchez-Azofeifa, G.A.; Calvo-Alvarado, J.; Foley, S.; Arroyo, P.; Hamilton, s.; Jiménez, V. (2002). *Estudio de Cobertura Forestal de Costa Rica con Imágenes Landsat TM 7 para el año 2000*. San José, CR. 10 p.
 - Sandel, V., Martínez-Fernández, D., Wangpraseurt, D., y Sierra, L. (2015). Ecology and management of the invasive lionfish *Pterois volitans/miles* complex (Perciformes: Scorpaenidae) in Southern Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 63(1), 213-221.
 - Sandoval, L. y Sánchez, C. (2014). *Lista de aves de Costa Rica: décima séptima actualización*. Unión de Ornitólogos de Costa Rica, San José, Costa Rica.
 - Sandoval-Herrera NI, Vargas-Soto JS, Espinoza M, Clarke TM, Fisk AT & Wehtmann IS. 2016. Mercury levels in muscle tissue of four common elasmobranchs species from the Pacific coast of Costa Rica, Central America. *Regional Studies in Marine Science* 3: 254-261.
 - Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria-SEPSA (2016). *Estrategia de Articulación Sectorial Agroambiental y de Cambio Climático. Sector Agroalimentario*. Publicado en octubre Del 2016. San José, Costa Rica.
 - Sentencia N° 2013-10540. (2013). Sala constitucional prohíbe el uso de redes de arrastre para pesca de camarón. Recuperado de: <http://jurisprudencia.poder->

judicial.go.cr/SCIJ_PJ/busqueda/jurisprudencia/jur_Documento.aspx?param1=Ficha_Sentencia&nValor1=1&nValor2=583694&strTipM=T&strDirSel=direc
to

- Sierra, R., Cambroner A., Vega, E. Febrero 2016. Patrones y factores de cambio de la cobertura forestal natural de Costa Rica, 1987-2013. http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/rsierraacambronerovega_patrones_y_factores_cus.pdf Preparado para el Gobierno de Costa Rica bajo el Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF) Informe Final.
- Sierra, R., Cambroner A., Vega, E. Febrero 2016. Patrones y factores de cambio de la cobertura forestal natural de Costa Rica, 1987-2013. http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/rsierraacambronerovega_patrones_y_factores_cus.pdf. Preparado para el Gobierno de Costa Rica bajo el Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques (FCPF) Informe Final.
- Silva-Benavides AM, Sili C, Torzillo G. 2008. Cyanoprocaryota y microalgas (Chlorophyceae y Bacillariophyceae) bentónicas dominantes en ríos de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 56 (Suppl. 4): 221-235.
- Silva-Benavides, A. M. (2009). Mangroves. En I. S. Wehrtmann y J. Cortés (Eds.), *Marine Biodiversity of Costa Rica* (pp. 123-130), Central America. Berlin, Alemania: Springer.
- SINAC. 2014. Inventario Nacional Forestal de Costa Rica. Sistema Nacional de Áreas de Conservación. San José. 388 pp.
- SIREFOR, Mapa de Capacidad de Uso del Suelo, Atlas TEC, 2014, http://www.sirefor.go.cr/images/stories/contenidos/mapa-SINAC_CAPUSO_08-02.jpg
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2006). El sistema de áreas silvestres protegidas (Informe Nacional). II Congreso Mesoamericano de Áreas Protegidas. San José, Costa Rica.
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2011). SINAC en Números: Informe Década Estadísticas SEMEC 2000-2009. Comp. B Pavlotzky. San José, Costa Rica. 128 p.
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2012a). SINAC en Números: Informe Anual Estadísticas SEMEC 2011. Comps. B Pavlotzky, G Rojas. San José, Costa Rica. 62 p.
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2012b). SINAC en Números: Informe Anual Estadísticas SEMEC 2012. Comps. B Pavlotzky, G Rojas. San José, Costa Rica. 77 p.
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2014a). SINAC en Números: Informe Anual Estadísticas SEMEC 2013. Comps. B Pavlotzky, G Rojas. San José, Costa Rica. 99 p.
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2014b). SINAC en

- Números: Informe Anual Estadísticas SEMEC 2014. Comps. B Pavlotzky, G Rojas. San José, Costa Rica. 102 p.
- Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2016) SINAC en Números: Informe Anual Estadísticas SEMEC 2015. Comp. B Pavlotzky. San José, Costa Rica. 101 p.
 - Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC). (2017). SINAC en Números: Informe Anual Estadísticas SEMEC 2016. Comp. B Pavlotzky. San José, Costa Rica. 70 p.
 - Sistema Nacional de Desarrollo Sostenible (SINADES). http://www.mideplan.go.cr/sinades/Proyecto_SINADES/sostenibilidad/armo_nizacion/index-2.html
 - Solano, J., & Villalobos, R. (n.d.). REGIONES Y SUBREGIONES CLIMATICAS DE COSTA RICA. San José, C.R.
 - Solís, A. 1999. Escarabajos de Costa Rica / Costa Rica Beetles. Santo Domingo de Heredia, CR., INBio. p. 14.
 - Soto M. 2015. 12 playas de Costa Rica sufren los daños del microplástico. La Nación. 11 de agosto de 2015. http://www.nacion.com/vivir/ambiente/Microplastico-confunde-arena-playas-ticas_0_1505249462.html
 - Soto M. 2015. Especie Invasora de camarón ya está presente en Costa Rica. La Nación. 12 de abril de 2015. http://www.nacion.com/vivir/ambiente/Especie-invasora-presente-Costa-Rica_0_1481051925.html
 - Soto M. 2017. Se busca el pez sierra. La Nación. 15 de febrero de 2017. http://www.nacion.com/vivir/ambiente/busca-pez-sierra_0_1616038384.html
 - Soto-Rojas, R. L., Mejía-Arana, F., Palacios, J. A., y Hiramatsu, K. (2009). Reproducción y crecimiento del pargo mancha *Lutjanus guttatus* (Pisces: Lutjanidae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 57(1-2), 125-131.
 - Spongberg A, Davis P (1998) Organochlorinated pesticide contaminants in Golfo Dulce, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 46 (Suppl. 6): 111–124.
 - Spongberg AL. 2004a. PCB contamination in surface sediments in the coastal waters of Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 52 (Suppl. 2): 1–10.
 - Spongberg AL. 2004b. PCB concentrations in sediments from the Gulf of Nicoya estuary, Pacific coast of Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 52(Suppl. 2): 11–22.
 - Spongberg AL. 2004c. PCB contamination in marine sediments from Golfo Dulce, Pacific coast of Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 52 (Suppl. 2): 23–32.
 - Springer M. 2009. Aquatic insect diversity of Costa Rica: state of knowledge. *Revista de Biología Tropical* 56 (Suppl. 4): 273-295.

- Springer, M., Echeverría, S. y Gutiérrez, P. (2014). Costa Rica (pp. 119-155). Diversidad, conservación y uso de los macroinvertebrados dulceacuícolas de México, Centroamérica, Colombia, Cuba y Puerto Rico. En P. Alonso-Eguialis, J. M. Mora, B. Campbell y M. Springer. Jiutepec Morelos, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Taylor ML, Gwinnett C, Robinson LF & Woodall LC. 2016. Plastic microfiber ingestion by deep-sea organisms. *Scientific Report* 6: 33997.
- UCR, IICA. Mapa de Suelos de Costa Rica 2016. <https://www.ucr.ac.cr/medios/fotos/2016/ordenes-suelo-cr-201657a27b6687451.jpg>
- Ulate, C.A. (2011). Análisis y comparación de la biomasa aérea de la cobertura forestal según zona de vida y tipos de bosque para Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 61 p.
- Umaña G & Collado C. 1990. Asociación planctónica en el Embalse Arenal, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 38(2A): 311-321.
- UNA (2015). Sexto Informe: Estado de la Calidad del Aire en el Área Metropolitana de Costa Rica 2013-2015. Laboratorio de Análisis Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.
- UNED. (n.d.). Climatología. Retrieved August 9, 2017, from <http://repositorio.uned.ac.cr/multimedias/climatologia/5climas/52clima.html>
- UNESCO. (2007). Balance Hídrico Superficial de Costa Rica. Período: 1970 - 2002. Montevideo: Documentos Técnicos del PHI - LAC. No 10.
- Universidad Nacional, Municipalidad de San Jose. (2013). Informe de Calidad de Aguas Superficiales de San Jose. San Jose.
- Valverde, R. (2013). Disponibilidad, distribución, calidad y perspectivas del agua en Costa Rica. *Ambientico* número 45, 5 - 12.
- Valverde-Moya, J. A., y Alfaro-Montoya, J. (2013). La experiencia del cultivo comercial de camarones marinos en estanques de producción en Costa Rica. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 5, 87-105.
- Vargas, Gilbert (2006) Geografía de Costa Rica. San José, Costa Rica. EUNED.
- Vargas, J. A. (2016). The Gulf of Nicoya Estuarine Ecosystem. En M. Kappelle. (Ed.), *Costa Rican Ecosystems* (pp. 139-161). Chicago, Estados Unidos: University of Chicago Press.
- Vargas-Montero M & Freer E. 2004. Proliferaciones algales de la diatomea toxigénica *Pseudonitzschia* (Bacillariophyceae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 52 (Suppl. 1): 127-32.
- Vaughan, C. (2012). Creating wildlands in Costa Rica: Historical ecology of the creation of Corcovado National Park. *UNED Research Journal*, 4(1), 55-70.

- Vega-Araya, M. (2015). Fortalecimiento de la Estrategia Control y Protección de Incendios. San José, CR. 125 p.
- Villalobos-Rojas, F., Herrera-Correal, J., Garita-Alvarado, C. A., Clarke, T., y Beita-Jiménez, A. (2014). Actividades pesqueras dependientes de la ictiofauna en el Pacífico Norte de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 62 (Suplemento 4), 119-138.
- Wehrtmann IS, Ramírez A, Pérez-Reyes O (2016) Chapter 9. Freshwater Decapod Diversity and Conservation in Central America and the Caribbean. In: Kawai T, Cumberlidge N (eds), *A Global Overview of the Conservation of Freshwater Decapod Crustaceans*. Springer International Publishing, Cham, Switzerland, pp 267-301.
- Wehrtmann, I. S., y Nielsen-Muñoz, V. (2009). The deepwater fishery along the Pacific coast of Costa Rica, Central America. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 37(3), 543-554.
- Wehrtmann, I.S., Cortés, J. 2009. *Marine Biodiversity of Costa Rica, Central America*. Springer. Berlín. 544 pp.
- WMO. (1989). *Animal health and production at extremes of weather*. (WMO685 No. 191). Geneva, Switzerland.
- World Meteorological Organization, UNESCO. (2012). WMO- No. 385 *International Glossary of Hydrology*. Geneva: World Meteorological Organization.
- Wright, J. (n.d.). *Mapas de Radiación Ultravioleta en Costa Rica*. Uniciencia, 23(1-2).
- Zamora N. 2000. *Base de datos de plantas*, INBio.
- Zeledón, J. M. (2012). *Programa Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos de Agua*. Dirección de aguas . San Jose: MINAET Dirección de Agua.
- Zuchowski, W. (2005). *A guide to tropical plants of Costa Rica*. Florida, Estados Unidos: Zona Tropical Publications.
- Zumbado, M. 1999. *Dípteros de Costa Rica / Costa Rica Diptera*. Santo Domingo de Heredia, CR., INBio. p. 12-13.